

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 Денна

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Шамрієнко Богдан Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему

Механічне обладнання Вогнетривко-вапняного цеху Департаменту з виробництва чавуну та сталі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Розробка вібраційного двокамерного млина

(повна назва теми)

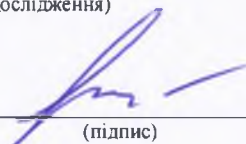
за матеріалами

Вогнетривко-вапняного цеху Департаменту з виробництва чавуну та сталі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник к.т.н., доцент

(наук. ступінь, вчене звання)



(підпис)

Велітченко В. Л.

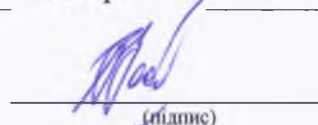
(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від 23 січня 2026 р № 9

Завідувач кафедри



(підпис)

д.т.н., професор

(наук. ступінь, вчене звання)

В. Й. Засельський

(ініціали, прізвище)

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

Рівень вищої освіти Другий (магістерський)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІГМ



(підпис)

проф., д.т.н., Засельський В. Й.

(посада, вчене звання, прізвище ініціали)

« 20 »

ЖОВТНЯ

2025 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА ЗДОБУВАЧА

Шамрієнко Богдан Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра

Механічне обладнання Вогнетривко-вапняного цеху Департаменту з виробництва чавуну та сталі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Розробка вібраційного двокамерного млина

керівник кваліфікаційної роботи магістра Велітченко В. Л., к.т.н., доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «20» жовтня 2025 р. № 723-ст

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 15.01.2026

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи магістра

Умови виробництва Вогнетривко-вапняного цеху Департаменту з виробництва чавуну та сталі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Конструкція та технічна характеристика вібраційного двокамерного млина, інформація про недоліки конструкції.

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

4.1 Аналітична частина;





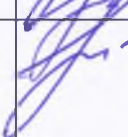

4.2 Основна частина;

4.3 Організація безпечного виробництва.

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

4 аркуші формату А1 складальний кресленик: вібраційний двокамерний млин, віброкорпус, вібратор; 1 аркуш формату А1 кресленик деталей: дебаланс, циліндр, кільце притискне, кришка підшипника.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітична частина	<i>Велітченко В. Л., доцент</i>	 20.10.25	 20.10.25
Основна частина	<i>Велітченко В. Л., доцент</i>	 20.10.25	 20.10.25
Організація безпечного виробництва	<i>Велітченко В. Л., доцент</i>	 20.10.25	 20.10.25

7. Дата видачі завдання 20 жовтня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

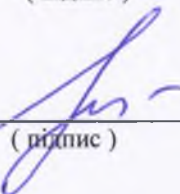
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	21.11.2025	вик.
2.	Основна частина	15.12.2025	вик.
3.	Організація безпечного виробництва	22.12.2025	вик.
4.	Оформлення пояснювальної записки	26.12.2025	вик.
5.	Виконання графічної частини	12.01.2026	вик.
6.	Подання роботи до кафедри	15.01.2026	вик.
7.	Захист роботи в ЕК	26-31.01.2026	

Здобувач


(підпис)

Шамрієнко Б. В.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи


(підпис)

Велітченко В. Л.
(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	KPM.133.26.20.00.000 СК	Складальне креслення	2		
7	A4	KPM.133.26.20.ПЗ	Пояснювальна записка	78		
8						
9			<u>Документація по</u>			
10			<u>складальним одиницям</u>			
11						
12			<u>Знов розроблена</u>			
13						
14	A1	KPM.133.26.20.01.000 СК	Відрокопус			
15			Складальне креслення	1		
16	A1	KPM.133.26.20.02.000 СК	Вібратор			
17			Складальне креслення	1		
18						
19						
20						
21						
22						

A

133.26.20.KPM				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разроб.		Шамрієнко	<i>[Signature]</i>	12.01.26
Пров.		Велітченко	<i>[Signature]</i>	12.01.26
Н.контр.		Велітченко	<i>[Signature]</i>	21.01.26
Утв.		Засельський	<i>[Signature]</i>	23.01.26
Вібраційний двокамерний млин				
Відомість кваліфікаційної роботи магістра				
Лист	Лист	Листов		
	1	2		
ННТІ ДУЕТ кафедра ІГМ гр. ГМ-24м				
Формат А4				

Копіював

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість	№ ЕКЗ	Примітки
23						
24			<u>Документація по деталям</u>			
25						
26			<u>Знов розроблена</u>			
27						
28	A3	KPM.133.26.20.02.001	Дебаланс	1		
29	A3	KPM.133.26.20.02.002	Кільце притискне	1		
30	A3	KPM.133.26.20.02.003	Циліндр	1		
31	A3	KPM.133.26.20.02.004	Кришка підшипника	1		
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						
41						
42						
43						
44						
45						
46						

A

Підп. і дата

Інв. № дідл.

Взам. інв. №

Підп. і дата

Інв. № подл.

Ізм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
------	------	----------	-------	------

133.26.20.KPM

Лист

2

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра: 78 стор., 19 рис., 11 табл., 26 джерела.

Об'єкт розробки – вібраційний двокамерний млин для помолу матеріалів Вогнетривко-вапняного цеху Департаменту з виробництва чавуну та сталі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Ціль розробки – поліпшення експлуатаційних характеристик млина для помолу вогнетривів.

Метод досліджень – аналітичний – перевірка міцності основних деталей.

Визначена необхідна потужність електродвигуна приводу.

Розглянута організація ремонтних робіт на підприємстві, методи монтажу і контролю при монтажі деталей і вузлів вібраційного двокамерного млина. Запропоновані заходи щодо організацій безпечного виробництва при експлуатації, обслуговуванні і ремонті вібраційного млина.

Запропонована розробка дозволить підвищити надійність млина за рахунок усунення можливих перевантажень деталей приводу.

Ключові слова: ВОГНЕТРИВИ, ВІБРОМЛИН, НАДІЙНІСТЬ, МЕТАЛОЄМНІСТЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Характеристика вогнетривко-вапняного цеху	9
1.2 Призначення та область застосування кульових млинів	13
1.3 Технічна характеристика	14
1.4 Опис базової конструкції	15
1.5 Аналіз недоліків в роботі машини. Можливі причини недоліків	17
1.6 Формування мети та задач для її досягнення	18
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	19
2.1 Аналіз стану існуючих інноваційних рішень	19
2.2 Пропозиції по досягненню поставленої мети	33
2.3 Аналітичні розрахунки	35
2.3.1 Розрахунок навантажень і визначення вихідних даних	35
2.3.2 Розрахунок потужності приводу	36
2.3.3 Силовий і кінематичний аналіз механізму	37
2.3.4 Розрахунок і вибір елементів кінематичної схеми	38
2.3.5 Розрахунки на міцність	41
2.3.6 Розрахунок болтів корпусу	43
2.3.7 Розрахунок підшипників	44
2.4 Монтаж, ремонт, змащення	46
2.4.1 Прив'язка машини до технологічного тракту	46
2.4.2 Технологічна карта монтажу	53
2.4.3 Зношення відповідальних деталей та методи їх відновлення	56
2.4.4 Розробка графіка планово-попереджувальних ремонтів	59
2.4.5 Змащення	60
3 ОРГАНІЗАЦІЯ БЕЗПЕЧНОГО ВИРОБНИЦТВА	64
3.1 Аналіз основних шкідливостей і небезпечностей	64

	7
3.2 Заходи щодо зниження шкідливостей і небезпечностей	67
3.2.1 Засоби індивідуального захисту	69
3.2.2 Санітарно-побутові приміщення і пристрої	71
3.3 Пожежна профілактика	72
ВИСНОВОК	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	76
ДОДАТКИ	78

ВСТУП

Процес подрібнення вогнетривких матеріалів зазвичай виконується за допомогою кульових млинів. Ці млини забезпечують високу якість помелу, однак вони відзначаються громіздкістю та мають низку конструктивних недоліків. Хоча деякі з цих недоліків можна частково усунути, це не вирішує всіх проблем, які виникають в процесі експлуатації даних машин.

Наразі існують млини, побудовані на інших принципах роботи й з альтернативними конструктивними рішеннями. У цій кваліфікаційній роботі магістра пропонується вібраційний двокамерний млин, який суттєво відрізняється від традиційного кульового млина. Він характеризується меншою масою, компактнішими розмірами та нижчим рівнем енергоспоживання.

Інтенсифікація процесу подрібнення в запропонованому млині досягається завдяки попередньому подрібненню матеріалу за рахунок вібраційних робочих поверхонь. Фінальне доопрацювання матеріалу здійснюється кулями у вібруючій розмельній камері.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика рудозбагачувальної фабрики №1

Основна місія вогнетривко-вапняного цеху полягає у постачанні металургійного вапна, конвертерних вогнетривів і вогнетривких мас для торкретування конвертерів у сталеплавильному та аглодоменному виробництвах [1].

До основних видів продукції підприємства належать:

- металургійне вапно (річний обсяг виробництва — 554 тис. тонн);
- смоломагнезитова цегла (обсяг виробництва за рік становить 58,4 тис. тонн);
- вогнетривка маса для торкретування (річний випуск — 14,5 тис. тонн);
- відсів вапняків;
- вапняково-вапняковий пил.

Структура цеху зображена на рисунку 1.1.

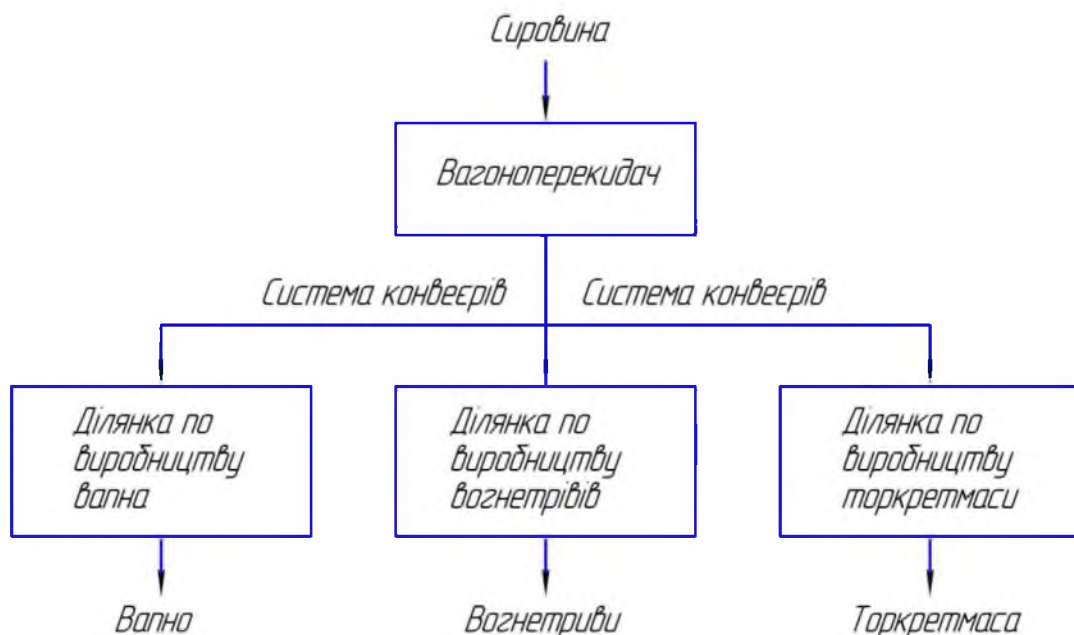


Рис. 1.1 Структура вогнетривко – вапняного цеху

Джерело: розроблено із використанням [1]

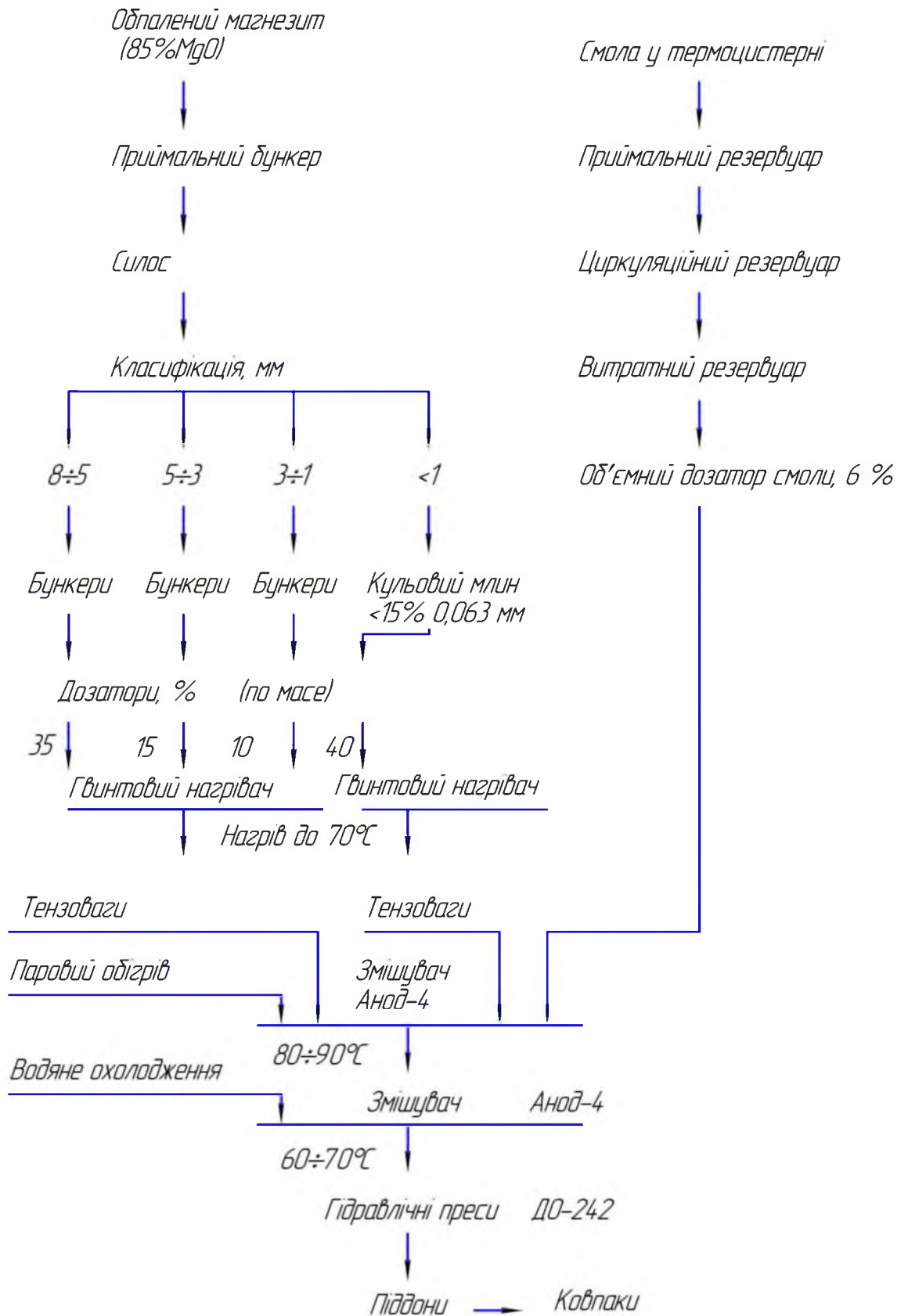


Рис. 1.2 Технологічний процес виробництва соломагнезитової цегли

Джерело: розроблено із використанням [1]

До складу обладнання цеху входять такі агрегати: – п'ять обертових печей із продуктивністю 11,5 тонн на годину; – кільцева піч із продуктивністю 18 тонн на годину; – сім шахтних печей; – п'ять гідравлічних пресів ДО-242 із зусиллям 1600 тс; – вагоперекидач та конвеєрний тракт із загальною продуктивністю 1 млн тонн на годину.

Технічні характеристики механічного обладнання дільниці для виробництва смоломагнезитової цегли залишається невід'ємною складовою цеху.

1. Автоматичні ваги-дозатори ДПС-800 призначені для роботи з рідким кам'яновугільним пеком.

Тип: стаціонарний, нерівноплечий.

Матеріали для зважування: гаряча кам'яновугільна суміш і пек.

Межі зважування, кг:	200–800
Об'єм ковша, м ³ :	0,6
Продуктивність, кг/год:	до 4000
Маса, кг:	1600

2. Гвинтовий нагрівач використовується для нагріву обпаленого доломітового порошку грануляцією 0–15 мм.

Продуктивність, т/год:	4
Температура нагрітого матеріалу, °С:	
– при продуктивності 4 т/год:	70
– при продуктивності 2 т/год:	95
Потужність електродвигуна, кВт:	4,5
Редуктор: РМ 350, і=40,17	
Маса машини, кг:	4300

3. Валкова дробарка ДГ 600×400.

Розміри валків:

– діаметр валків, мм:	600
– довжина бочки валка, мм:	400
Максимальний розмір завантажуваних шматків за мінімальної щілини, мм:	30
Межі регулювання щілини, мм:	2–14
Частота обертів валків, об/хв:	134
Потужність електродвигуна, кВт:	20
Продуктивність, м ³ /год:	
– за мінімальної щілини:	4,2
– за максимальної щілини:	29,4
Маса без електродвигуна, кг:	5000

4. Грохот ГВП-Б розроблено для попередньої класифікації та сортування антрациту, газового та енергетичного вугілля на товарні сорти.

Максимальний розмір шматків, мм:	100
Орієнтовна продуктивність, м ³ /год:	70
Кут нахилу короба, градусів:	15–25
Частота обертів валів вібратора, об/хв:	1200
Маса без електродвигуна, санчат і запчастин, кг:	1330

5. Ваговий дозатор АД-500-2П стаціонарний, тензOMETричний, двокомпонентний.

Найбільша межа дозування, кг:	500
Найменша межа дозування, кг:	50
Об'єм приймального пристрою, м ³ :	0,8
Тривалість дозування, с (не більше):	60
Тривалість розвантаження, с:	10
Маса дозатора без шафи і пульта управління, кг:	965

6. Змішувач АНОД-4 (періодичної дії) призначений для перемішування електродної та інших пастоподібних мас.

Робочий об'єм змішувача, л:	2000
Повний об'єм, л:	3000
Частота обертів ротора, об/хв:	
– передній ротор:	23,3
– задній ротор:	14,7
Потужність електродвигуна, кВт (одного):	40
Робочий тиск пари у сорочці змішувача, кгс/см ² :	40
Маса із приводом, кг:	18450

7. Гідравлічний прес для вогнетривів ДО-242 вертикального типу з револьверним чотирьохпозиційним столом [1].

Номінальне зусилля преса, тс:	1600
Максимальні габарити пресованих виробів, мм:	500×125×150
Кількість пресувань для формату цегли 500×125×150(шт./год):	150
Тривалість одного циклу пресування, с:	24
Максимальний хід головного плунжера, мм	320
Максимальний хід штока виштовхувача, мм	340
Потужність електродвигуна, кВт	55

1.2 Призначення та область застосування класифікатора 2КСН-30

Кульовий млин використовується для подрібнення твердих матеріалів і змішування речовин, як твердих із рідинами, так і для створення суспензій та емульсій. Під цим терміном розуміється цілий ряд обладнання з різними конструкціями і принципами дії, що забезпечують процеси подрібнення та змішування за допомогою кульок різного розміру і щільності [2]. Матеріал кульок може варіюватися від міцних сплавів і щільної кераміки до пластмас.

Кульові барабанні млини діють переважно на основі стираючого механізму. Ударний вплив здійснюється через падіння подрібнюючих тіл під час обертання барабана.

Це обладнання призначене для помелу матеріалів середньої твердості і наразі має широке застосування у виробництві цементу, гіпсу, будівельної продукції, металургійній галузі, гірничо-збагачувальній промисловості, а також у виробництві таких будівельних матеріалів, як комірчастий бетон автоклавного тверднення або сухі будівельні суміші. Основною частиною конструкції є барабан, що обертається та заповнений кульками певного діаметру, виготовленими зі сталі, чавуну, інших сплавів чи кераміки. Крім того, можуть використовуватися галька або кремій. Завдяки безперервній роботі млина необроблена сировина перетворюється на порошок. Невеликі моделі оснащені барабаном з ручкою для обертання, а також шківками і ременями для передачі руху. Сучасні високоякісні кульові млини здатні доводити матеріал до гранул розміром 0,0001 мм, що значно збільшує площу поверхні отриманої речовини.

У вогнетривко-вапняному цеху ПАТ "АМКР" кульові млини моделі СМ-1456 успішно застосовуються для підготовки порошків вогнетривких матеріалів.

Опис їх технічних характеристик, пристрою, принципу роботи та недоліків конструкції наведено в наступному розділі.

1.3 Технічна характеристика

Продуктивність, т/год:

- | | |
|---|-----|
| – При сухому помелі вапна з залишком 0,9–1%: | 6–7 |
| – При мокрому помелі вапняку з залишком 0,9–1%: | 7–8 |

Барабан:

- | | |
|------------------------|------|
| – Робоча довжина, мм: | 5600 |
| – Робочий діаметр, мм: | 1400 |

	15
– Частота обертання, об/хв:	29
Електродвигун:	
– Тип:	асинхронний з фазовим ротором
– Модель:	АК-104-8
– Потужність, кВт:	125
– Частота обертання, об/хв:	725
Редуктор:	
– Тип:	ЦД4-130Б
– Передавальне число:	25
Відстань між роликоопорами, мм:	6700
Розміри тіл, що мелють (діаметр куль), мм:	50, 75, 100
Максимальний розмір шматків матеріалу для помелу, мм:	50–65
Вологість матеріалу для сухого помелу, %:	не більше 1,5–2
Габарити млина, мм:	
– Довжина:	11840
– Ширина:	2600
– Висота:	2220
Маса барабана в зборі, кг:	17786

1.4 Опис базової конструкції

Барабанний млин (рис.1.3) являє собою порожнистий циліндричний барабан 1, закритий торцевими кришками 2 і 3. У центральних частинах кришок розташовані порожнисті цапфи 4 і 5. Внутрішня поверхня барабана та кришок облицьована сталевими футеровочними плитами для захисту від зношування [3]. Барабан виготовляється зі зварної або клепаної товстолистової сталі. Для роботи млин завантажують приблизно до половини об'єму дробильним середовищем, зокрема сталевими кулями. До обох кінців барабана прикріплюються сталеві оброблені фланці шляхом клепання або зварювання. Ці фланці слугують основою для кріплення торцевих кришок,

які приєднуються до фланців за допомогою болтів. Для забезпечення герметичності з'єднань і зменшення навантаження на болти передбачено спеціальний кільцевий виступ. Цапфи, у свою чергу, опираються на роликові опори 6, дозволяючи барабану обертатися навколо горизонтальної осі.

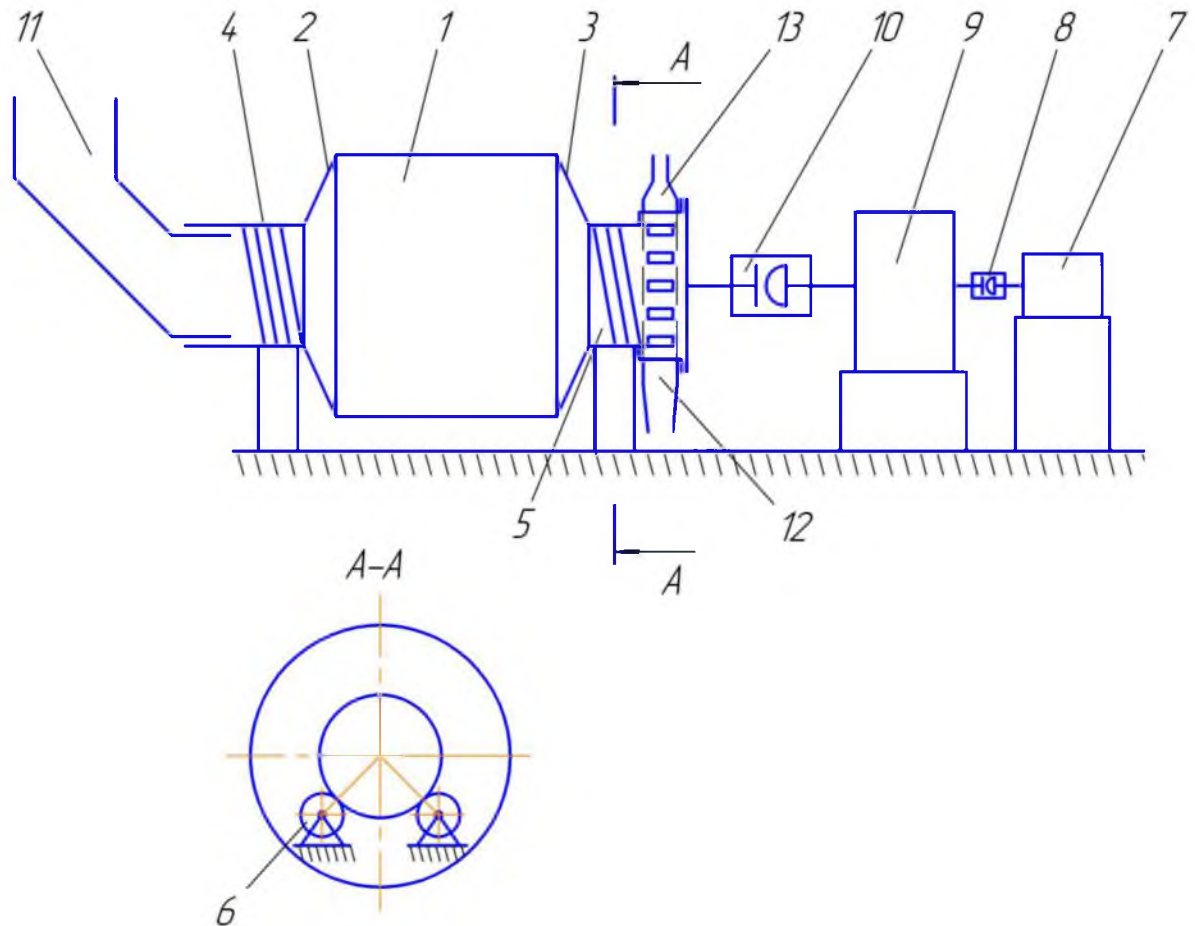


Рис. 1.3 Схема і принцип дії кульового млина

- 1 – барабан; 2, 3 – кришки торцеві; 4, 5 – цапфи; 6 – роликоопори;
 7 – електродвигун; 8 – муфта швидкохідна; 9 – редуктор;
 10 – муфта тихохідна; 11 – пристрій завантажувальний;
 12 – кожух розвантаження; 13 – патрубок аспіраційний

Джерело: розроблено із використанням [4]

Обертання барабана забезпечується від електродвигуна 7 через втулково-пальцову муфту 8, редуктор 9 та еластичну муфту 10. Під час його обертання дробильні тіла, завдяки силі тертя, захоплюються внутрішньою поверхнею барабана, піднімаються на певну висоту, а потім вільно падають або перекочуються вниз. Подрібнюваний матеріал безперервно подається через завантажувальний пристрій 11 та одну з порожнистих цапф 4 за допомогою гвинтових виступів шнека всередину барабана. Там він переміщається вздовж і піддається впливу дробильних тіл, подрібнюючись шляхом ударів, стирання або розчавлювання. Подрібнений матеріал постійно вивантажується через другу порожнисту цапфу 5, яка знаходиться у розвантажувальній кришці, і далі через вікна цапфи надходить у кожух розвантаження 12, звідки транспортується за призначенням.

Розвантажувальна цапфа зроблена трохи більшого діаметра, ніж завантажувальна, щоб забезпечити необхідний нахил пульпи млина. Матеріал переміщається вздовж осі барабана за рахунок перепаду рівнів між завантаженням та розвантаженням, а також завдяки постійній подачі.

Роликопори, які підтримують барабан через спеціальні бандажі, складаються зі сталеві рами, на якій жорстко закріплені опорні ролики [4].

У верхній частині кожуха розвантаження передбачений патрубков 13 для під'єднання до аспіраційного пристрою.

1.5 Аналіз недоліків в роботі машини. Можливі причини недоліків

Під час вивчення особливостей експлуатації та ремонту кульового млина СМ 1456 у вогнетривко-вапняному цеху було встановлено наявність наступних недоліків у його конструкції:

- високе енергоспоживання;
- значна маса обертових частин млина, мелючих тіл і подрібнюваного матеріалу, що створює великий момент інерції. Це, у свою чергу,

- спричиняє високий пусковий момент приводу, значну вібрацію машини та підвищені динамічні навантаження на фундамент;
- низька надійність деталей приводу.

1.6 Формування мети та задач для її досягнення

Аналіз виявлених конструктивних недоліків млина СМ 1456 свідчить про необхідність реалізації нових технічних рішень, спрямованих на зменшення енергоспоживання, зниження моменту інерції обертючих частин, а також підвищення загальної надійності конструкції.

Враховуючи поставлену мету, до виконання визначено наступні завдання:

1. Провести літературний і патентний аналіз для визначення нових можливих технічних рішень.
2. Підготувати обґрунтування вибору інноваційних рішень для модернізації конструкції кульового млина.
3. Виконати необхідні технічні й економічні розрахунки для підтвердження ефективності запропонованих змін.
4. Розробити заходи із технічного обслуговування та ремонту вдосконаленої конструкції млина.
5. Підготувати базовий комплект конструкторської документації.
6. Провести аналіз основних економічних показників, що стали результатами впроваджених проектних рішень.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз стану існуючих інноваційних рішень

Останнім часом розроблено низку методів подрібнення, де механізм руйнування гірських порід помітно відрізняється від того, який реалізований у барабанних млинах.

Ці методи запроваджуються у таких типах млинів:

- струменеві;
- планетарні;
- баштові;
- відцентрово-роторні;
- млини інтенсифікованого помелу (МПП);
- млини "МАЯ";
- вібраційні.

Струменеві млини. Їхня робота базується на використанні енергії стислого газу, який при розширенні в соплах досягає високих швидкостей. Ця швидкість спрямована на розгін частинок матеріалу, що подрібнюється. Частинки руйнуються внаслідок ударів об спеціально передбачені перешкоди чи зіткненням з іншими частинками в протилежно спрямованих потоках.

Серед переваг струменевих млинів можна виділити:

- низьку металоємність;
- точну класифікацію частинок за розміром;
- однорідність отриманого продукту;
- мінімальне забруднення апаратним залізом;
- можливість одночасного проведення таких процесів, як подрібнення, сушка чи випалювання;
- селективність під час розкриття зростків;
- зменшення утворення шламів;
- відсутність рухомих частин.

Дослідження показують, що під час подрібнення руд метод струменевого подрібнення дозволяє отримати кінцевий продукт необхідної крупності (до 100% класу менше 44 мкм), незалежно від міцності руди. Такий продукт характеризується зниженим утворенням шламів. Однак високе споживання енергії (у 1,5-2 рази більше порівняно з кульовим методом) обмежує сферу використання цього способу. Його доцільно застосовувати лише за умов, якщо економічний ефект у подальших стадіях обробки перевищуватиме додаткові витрати на рудопідготовку.

У районах із дефіцитом води газоструменеве подрібнення руд може виявитися більш економічним, ніж традиційний мокрий спосіб подрібнення у стрижневих млинах.

Планетарні млини характеризуються тим, що рухаються як навколо власної осі, так і по коловій траєкторії. Їхня ключова перевага – значно вища продуктивність (у декілька разів) за кульовий млин, особливо щодо створення нового класу частинок заданих розмірів. Водночас такі млини мають суттєві недоліки, зокрема стрімке зношування мелючих тіл та складнощі з безперервним завантаженням і розвантаженням матеріалу. Через це планетарні млини не набули поширення у промисловості. Наразі їх основне застосування обмежується лабораторними дослідженнями подрібнення чи механохімічною активацією матеріалів перед гідрометалургійною обробкою. Найчастіше використовують лабораторні чи напівпромислові моделі.

Баштові млини розроблені [6] спеціально для тонкого подрібнення мінералів. Процес подрібнення в такому млині відбувається шляхом тертя та розчавлювання, що забезпечує отримання частинок у діапазоні від 1 до 100 мкм. Стандартна версія баштового млина має продуктивність до 50 тонн на годину, а за потреби можливе створення моделей із продуктивністю до 100 тонн на годину.

У порівнянні з кульовим млином [7], баштовий млин є менш енергоємним. Наприклад, при подрібненні вапняку розміром 16 ± 0 мм до

продукту із частками 95% менше 0,044 мм, споживання енергії баштовим млином продуктивністю 22,5 тонн на годину склало 96,9 кВт·год порівняно з 196,4 кВт·год для кульового млина за аналогічних умов.

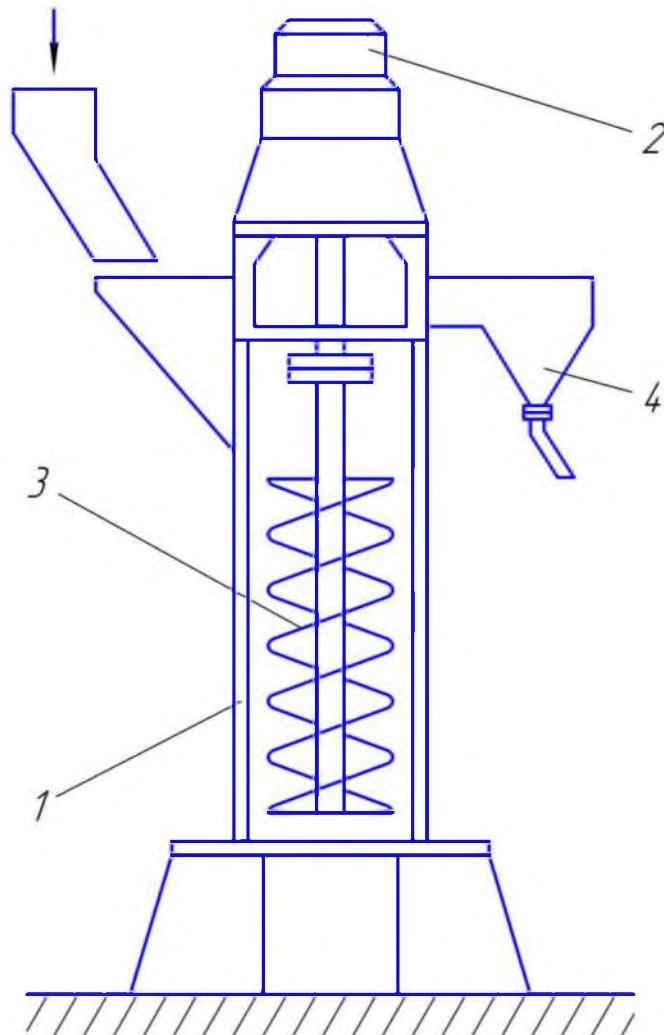


Рис. 2.1 Загальний вид баштового млина для тонкого подрібнення мінеральної сировини

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

Джерело: розроблено із використанням [6]

Подрібнення в баштовому млині здійснюється у вертикальній камері, оснащій гвинтовою мішалкою та завантаженням із куль [6].

Як подрібнювальне середовище можуть використовуватись сталеві кулі, керамічна або природна галька.

Процес подрібнення відбувається завдяки тертю, що виникає при відносному русі матеріалу й подрібнювального середовища. Отриманий дрібнозернистий матеріал виводиться через спеціальний поріг і сортується в класифікаційній системі.

Станом на сьогодні в Японії було виготовлено понад 280 промислових баштових млинів, для яких як подрібнювальне середовище застосовуються сталеві кулі, галька або руда. Конструкція таких млинів є доволі простою: вони складаються із вертикального циліндра з додатковим отвором для ремонту, зносостійкої мішалки або шнека. Внутрішня поверхня камери подрібнення захищена решітками, що утримують подрібнювальне завантаження та запобігають зносу футерування. Сирий матеріал подається зверху, а подрібнена дрібна фракція піднімається вгору й вивантажується через конусний класифікатор. Через відсутність ударної дії розмір сировини для завантаження обмежується 5 мм, а максимальний діаметр куль становить 25 мм.

Для досягнення ультратонкого подрібнення можна застосовувати дрібніше подрібнюоче середовище. Баштовий млин характеризується значною висотою і відносно невеликим діаметром, що сприяє створенню високого тиску шару подрібнюючих куль. Більші промислові установки із більшою висотою витрачають менше енергії на одиницю переробленої руди завдяки підвищеному тиску робочого шару. Однак існує обмеження за висотою млина, після досягнення якого коефіцієнт корисної дії більше не збільшується [6].

Типовий японський баштовий млин для мокрого подрібнення функціонує у замкнутому циклі разом із конусним сепаратором. Ця установка може працювати в декількох варіантах технологічного процесу, включаючи відкритий цикл із розвантаженням через дно або замкнутий цикл із використанням класифікатора.

На території Японії понад двадцять баштових млинів активно використовуються для подрібнювання вапняку, який потім застосовується в скруберах систем десульфуризації відхідних газів. Розмір частин живлення,

що надходять у млин, становить 6,5 мм. У результаті отримується продукт, 95% якого має розмір частинок менший за 0,044 мм. Споживання електроенергії при цьому становить приблизно половину витрат порівняно зі стандартними кульовими млинами.

Що стосується вібраційних млинів, їхній перший патент було отримано у Німеччині в 1909 році, а промислове виробництво таких агрегатів за кордоном триває вже понад п'ятдесят років. У країнах СНД ще не налагоджено серійного виробництва вібраційних млинів промислового масштабу.

З урахуванням постійного зростання частки важкозбагачуваних руд, які потрібно подрібнювати до розміру частинок менше 40 мкм, гірничодобувній промисловості потрібні млини, що працюють ефективніше й інтенсивніше, ніж кульові. До таких млинів відносяться вібраційні. За даними з-за кордону, продуктивність цих млинів в кілька разів більша, ніж у кульових, внаслідок чого їх металоємність при однаковій продуктивності менша в 4÷5 разів, а розміри в 2÷3 рази. Потужність, яку споживають окремі агрегати, коливається від 500 до 1000 кВт.

За конструкцією та принципом роботи вібраційний млин [7] включає камеру (або кілька камер), заповнену подрібнюючим середовищем (кулями, цильпесами або стрижнями), подрібненим матеріалом і водою, якщо подрібнення відбувається в мокрому режимі. Рух подрібнюючого середовища надається завдяки періодичним вібраціям самої камери (рухома робоча камера) або спеціальним вхідним поверхням (нерухома робоча камера). Подрібнення в камері може бути як переривчастим, так і безперервним.

Наразі промислові зразки вібромлинів виробляються в США, Німеччині, Японії, Швеції та інших країнах. Наприклад, у Німеччині випускають кілька типорозмірів вібромлинів. Зокрема, вібромлин типу Палла 65У з двома трубчастими помольними камерами має потужність двигуна 175 кВт, внутрішній діаметр камер – 650 мм, маса млинів без тіла, що мелють, – 11 т. Вони використовуються для подрібнення золотоносних пісків,

хромитової руди, фериту барію, шлаків, магнезитів, карбїду кремнію та різних вогнетривких матеріалів.

У залізорудній промисловості вібраційні млини можуть бути ефективно використані для допоміжних операцій, зокрема під час тонкого подрібнення класифікованих проміжних продуктів збагачення. Особливу увагу слід приділити вивченню процесу віброподрібнення, що дозволить підвищити вибірковість руйнування зростків великих класів промпродукту порівняно з традиційним кульовим способом, який є менш селективним.

Млин інтенсифікованого розмелювання (МІР) представляє собою барабанний млин, оснащений нерухомо зафіксованим робочим органом, відомим як інтенсифікатор [7].

При досягненні надкритичної швидкості обертання барабана матеріал проходить процес центрифугування, притискаючись до оболонки, завдяки чому формується клиноподібна зона на поверхні інтенсифікатора. У цій зоні матеріал зазнає високої інтенсивності розчавлювання та стирання.

Головною перевагою МІР є те, що матеріал дробиться в умовах значного стирання із розчавлюванням, що відрізняє його від традиційних способів, де основний вплив здійснюється механічними ударами.

Напівпромислові випробування експериментальної моделі млина проведено на фабриці ім. Артема об'єднання Южуралзолото. Для тестування використовувалася золотовмісна руда фракцією менше 14 мм із коефіцієнтом міцності за шкалою Протодьяконова 16–18 одиниць.

Результати показали, що при швидкостях обертання від однієї до трьох надкритичних частот питомі показники продуктивності та енергоспоживання можуть перевершувати аналогічні параметри кульових млинів того ж розміру більш ніж у десять разів.

У 1987 році на дослідному виробництві інституту Механобрчормет проводили випробування експериментального зразка млина МІР із барабаном діаметром 500 мм та довжиною 650 мм (рис. 2.2).

Тестування здійснювали на магнетитових кварцитах ЮГОКа розміром 16 мм у відкритому циклі. Зміна продуктивності для початкової руди

становила від 0,2 до 0,1 т/год, відносна частота обертання барабана варіювалася від 1,75 до 2,0 від критичної, а масова частка твердого матеріалу в млині — від 16,0% до 65,8%. У подрібненому продукті спостерігався приріст частки класу менше 0,044 мм у межах від 20,0% до 62,5%. Питомі енерговитрати на отримання готового класу склали 27,8–93,0 кВт·год/т.

Результати досліджень свідчать про значне зростання частки готового класу в подрібненому матеріалі (до 62,5%). Однак цей процес має високу питому витрату електроенергії (27,8–93,0 кВт·год/т) та значний знос робочих елементів млина. Таким чином, експерименти підтвердили, що подрібнення в млині МІР, яке базується на дотичних зусиллях у внутрішніх шарах руди, є більш доцільним для стадій тонкого подрібнення. Це особливо актуально для додаткового подрібнення проміжних продуктів у стадіальних схемах збагачення залізної руди.

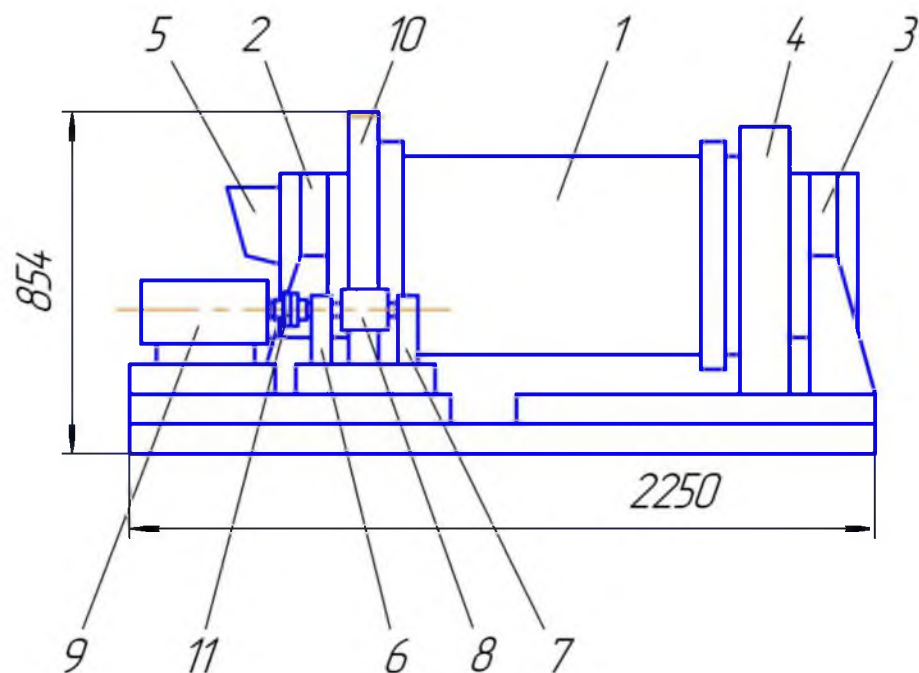


Рис. 2.2 Млин інтенсифікованого розмолу МІР 500×6503

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

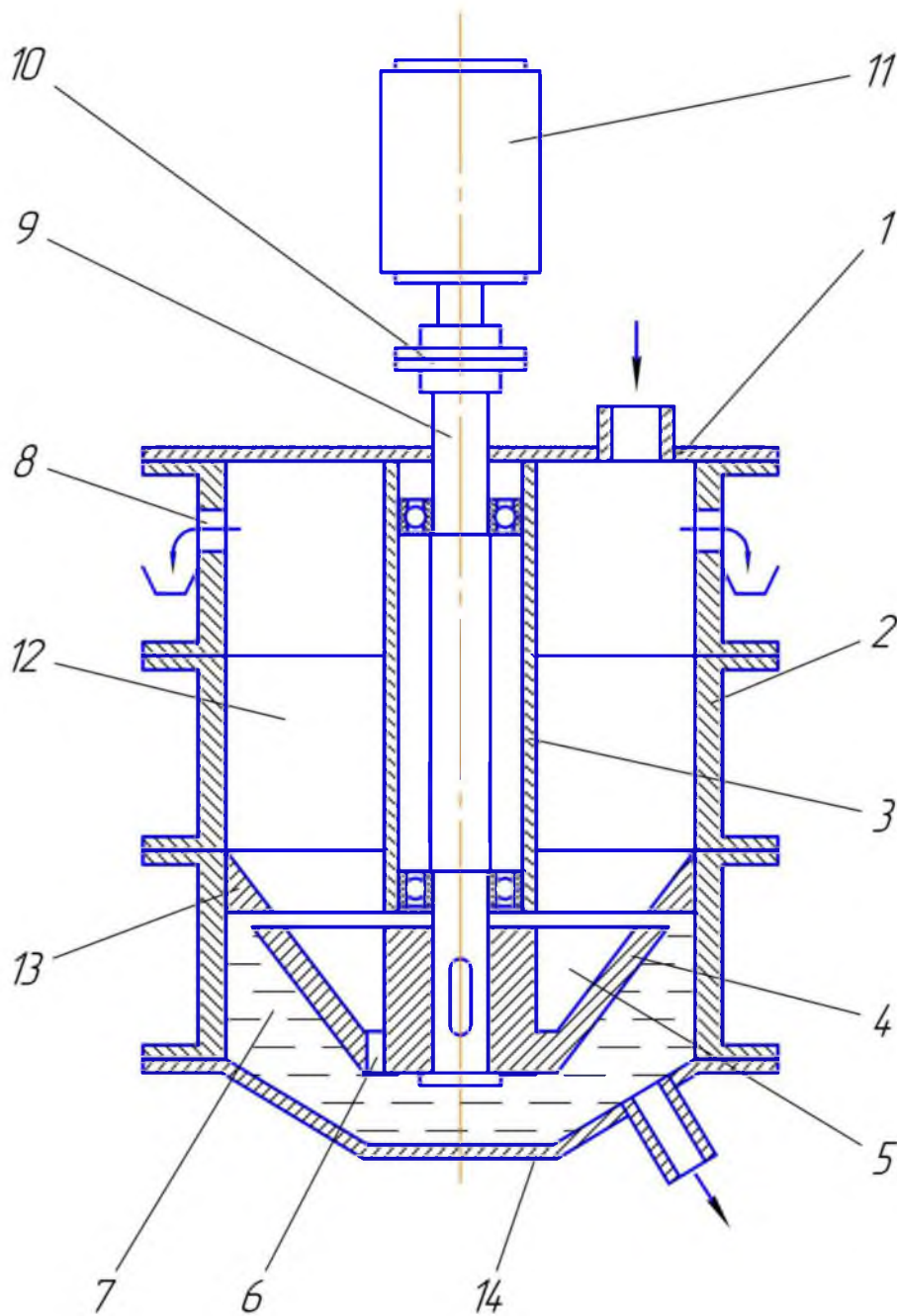
Джерело: розроблено із використанням [7]

Попередні експерименти з доподрібнення промпродукту в замкнутому циклі з використанням гідроциклона, де подрібнювальним середовищем слугувала роздроблена руда розміром 16–5 мм (дрібний клас менше 5 мм був вилучений за допомогою грохочення), показали обнадійливі результати. Зростання частки класу менше 0,044 мм сягнуло 27,3% (масова частка цього класу зростає з 70,1% у початковому матеріалі до 97,4% після доподрібнення).

Млин динамічного самоподрібнення (МАЯ) представляє новий метод у техніці подрібнення мінеральної сировини. Його принциповою особливістю є створення подрібнюваного матеріалу у вигляді вертикального циліндричного стовпа. Нижня частина цього стовпа приводиться в обертальний рух за допомогою чашоподібного ротора з внутрішньою порожниною, поділеною на секції вертикальними перегородками. Подрібнення руди за методом динамічного самоподрібнення відбувається у спеціалізованому млині типу МАЯ (див. рис. 2.3) [11]. Експериментальні та промислові установки для динамічного самоподрібнення мінеральної сировини були випробувані на практиці, зокрема під час подрібнення марганцевої руди на заводі "Електроцинк" у місті Орджонікідзе, мідної руди на збагачувальній фабриці Урупського Гоку, що на Північному Кавказі, а також для помелу антрациту та нафтового коксу на електродному заводі в Запоріжжі [12].

Під час промислових випробувань моделей експериментальних зразків машин типу "МАЯ" (МАЯ-3, МАЯ-Р4,5, МАЯ-Р6, МАЯ-К10) було зафіксовано вищі показники ефективності у порівнянні з наявним подрібнювальним устаткуванням. Зокрема, при порівнянні питомих показників продуктивності модель МАЯ-Р6, встановлена на збагачувальній фабриці Урупського Гока, продемонструвала перевагу інтенсивнішого процесу динамічного самоподрібнення над традиційним обладнанням.

Так, питома продуктивність по первинній руді для МАЯ-Р6 становила приблизно 3,7 т/(м³·год), тоді як промислові барабанні млини МШР-3200×3100, використовувані на першій стадії збагачувальної фабрики, мали лише близько 2,3 т/(м³·год) [13].



**Рис. 2.3 Барабан млина динамічного самоподрібнення
типу "МАЯ" в розрізі**

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 [12]

На базі інституту Механобрчормет були проведені випробування млина динамічного самоподрібнення типу МАЯ-К10. Метою досліджень стало оцінювання ефективності роботи млина типу МАЯ під час подрібнення магнетитових кварцитів, а також визначення технічних показників при мокрому способі помолу. У рамках випробувань використовували зразок млина промислових розмірів, а руда для аналізу була взята з поточного видобутку кар'єру ЮГОКу. За результатами досліджень встановлено, що під час тестування максимальна продуктивність по вихідній руді сягала 6,6 т/год при споживаній потужності 58 кВт. Це становить 77,2% від встановленої потужності двигуна млина, що вказує на наявність резерву потужності приводу.

Ця особливість теоретично допускає підвищення продуктивності агрегату за умови збереження існуючих конструктивних і технологічних параметрів. Однак реалізувати таке покращення наразі неможливо через проблему заклинювання робочого органу млина, що ускладнює його запуск при завалі. Максимальна питома продуктивність по вихідній руді становила 2,87 т/(м³·год), що на 20–30% перевищує аналогічний показник для млинів самоподрібнення типу ММС-90×30А. Водночас питома продуктивність по фракції менш ніж 0,07 мм знаходилася в межах від 0,05 до 0,28 т/(м³·год), що в середньому вдсятеро нижче за відповідний показник зазначених млинів.

Результати випробувань показали, що питома витрата електроенергії на переробку 1 тонни початкової руди становить від 4,95 до 8,82 кВт-год/т. Для класу "мінус 0,07" цей показник коливається в межах від 71,0 до 152,7 кВт-год/т. Таким чином, рівень енергоємності для початкової руди в млинах динамічного самоподрібнення є порівнянним із барабаними млинами самоподрібнення, однак для готового класу він значно вищий.

Щодо відцентрових дробарно-подрібнювальних апаратів: нині за кордоном активно розробляються конструкції таких апаратів із різними принципами функціонування. Принцип роботи відцентрових млинів із розгінним ротором полягає в наступному. Початкова руда, потрапляючи на

диск, що обертається в горизонтальній площині, захоплюється спеціальними радіальними лопатками й із силою відкидається у напрямку відбійної плити, де й здійснюється її руйнування (іл. 2.4).

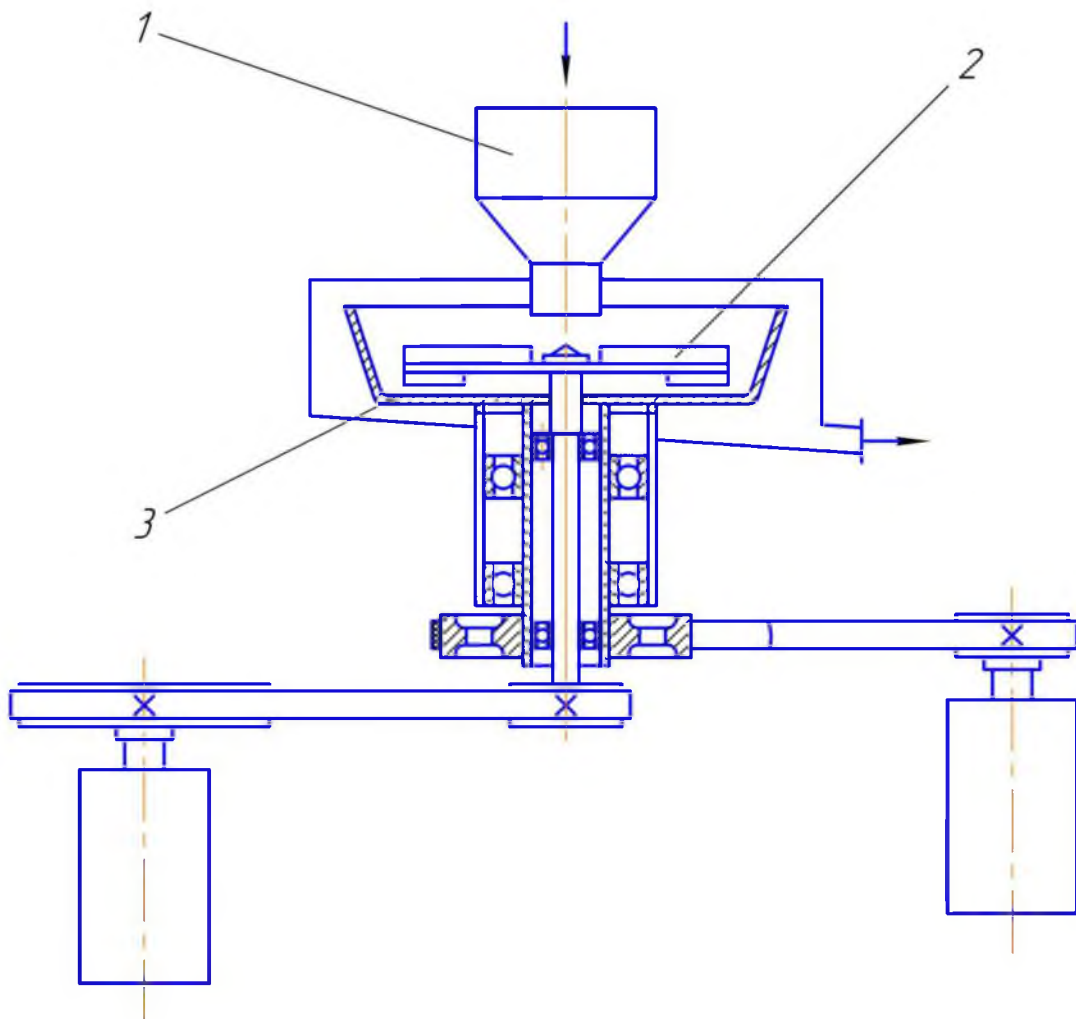


Рис. 2.4 Принципова схема відцентрово–роторного швидкісного подрібнення в млині з обичайкою, що обертається

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

Джерело: розроблено із використанням [14]

Технологічні переваги цього методу руйнування забезпечуються завдяки більш селективному розкриттю мінеральних зерен, що становлять руду. Це, в свою чергу, дозволяє досягти кращих технологічних показників під час збагачення. Подібні машини зазвичай менш матеріало- та енергоємні

порівняно з традиційними пристроями, які використовуються для дроблення чи подрібнення.

Головний недолік полягає у передачі значних вібрацій на фундамент і основу через технологічні та конструктивні дисбаланси робочого органу. Проте останнім часом ведуться активні пошуки способів усунення цього недоліку, що робить впровадження відцентрових дробарно-подрібнюючих апаратів у промисловість усе більш перспективним.

Серед перерахованих типів млинів особливе значення мають вібраційні млини. Вони найбільш ефективні для тонкого подрібнення матеріалів розміром менше 100 мкм. Ба більше, ефективність зростає зі зменшенням розміру частинок кінцевого продукту [14].

У порівнянні з іншими подрібнювальними машинами використання вібромлинів забезпечує низку суттєвих переваг:

- підвищення продуктивності завдяки скороченню часу помелу;
- зменшення споживання електроенергії;
- зниження зношування обладнання та подрібнювальних тіл;
- отримання чистішого кінцевого продукту;
- досягнення дуже тонкого помелу;
- можливість застосування подрібнювальних тіл із різних матеріалів;
- проведення процесу подрібнення в інертному середовищі, вакуумі чи за різних температур.

Вищенаведений аналіз нових конструкцій млинів свідчить про перспективність використання вібромлинів. Згідно з зарубіжними даними, такі млини ефективно застосовуються для подрібнення вогнетривів, а їх питома продуктивність значно перевищує аналогічні показники кульових млинів. Завдяки цьому, при однаковій продуктивності, металоємність вібромлинів менша у 4-5 разів, а їх габарити — у 2-3 рази.

Ознайомимося з технічними рішеннями, що базуються на принципі віброподрібнення [9].

Вібропривід млина має дебаланси (позначені як елемент 1 на рис. 2.5 – 2.6) та містить внутрішній мелючий елемент із циліндричною робочою поверхнею (елемент 2). Мелючий ролик складається з внутрішнього кільця (елемент 3) і складеного барабана (елемент 4). Права половина барабана має ребра (елемент 5), що з'єднують його з внутрішнім кільцем. Таким чином, ролик виступає у вигляді порожнистого кільця з розташованими всередині кулями (елемент 6), які виконують функцію подрібнення. Центральний отвір кільця 3 формує розмельну камеру, обмежену внутрішньою робочою поверхнею (елемент 2). Корпус млина представлений кожухом (елемент 7) із завантажувальним патрубком (елемент 8) та вивантажувальним отвором (елемент 9).

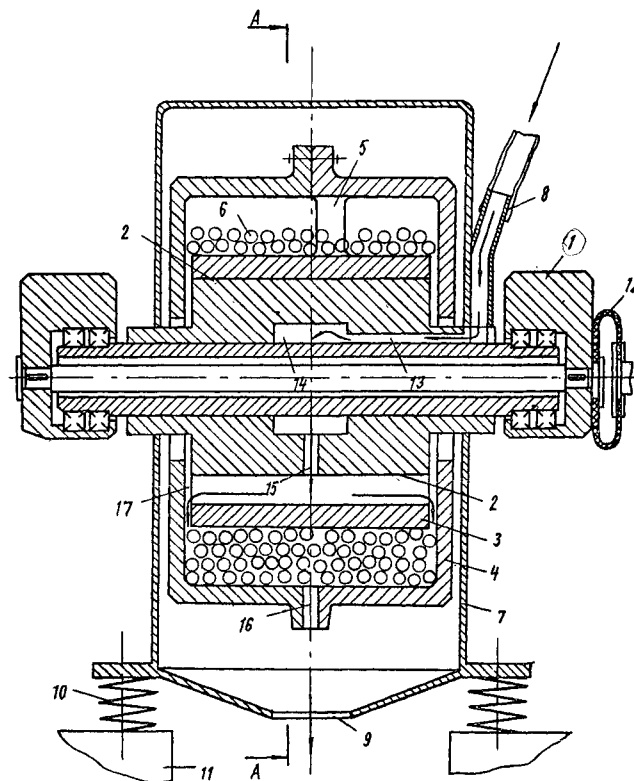


Рис. 2.5 Вібромлин

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

Джерело: розроблено із використанням [9]

Кожух спирається на пружини (10), зафіксовані на основі (11). Дебаланси приводяться в обертання двигуном, з'єднаним через еластичну муфту (12), яка забезпечує передачу руху. Внутрішній розмельний орган має канал (13), порожнину (14) та отвір (15), тоді як барабан оснащений щілинами (16). Між торцевими частинами кільця (3) і барабана (4) передбачені зазори (17), при цьому кільце (3) вільно встановлене на поверхні (2).

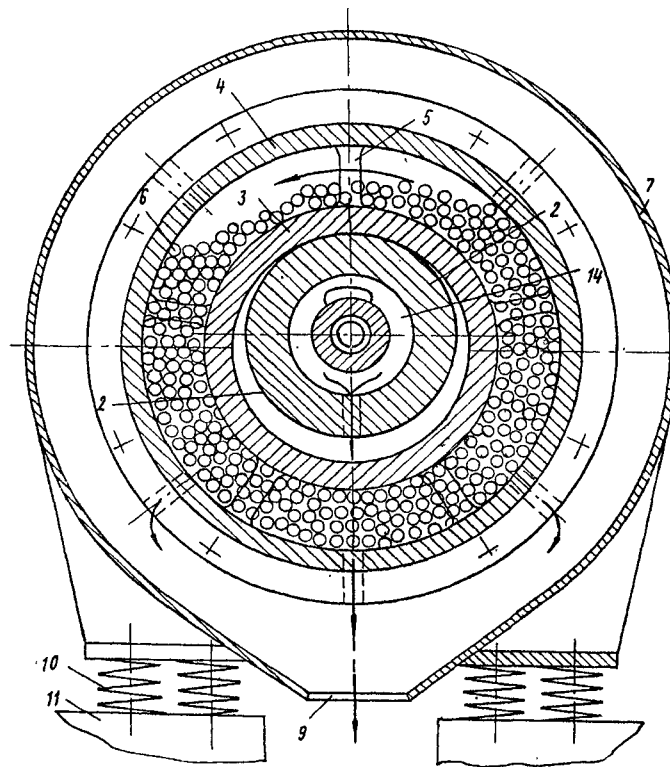


Рис. 2.6 Вібрмлин, розріз А-А по рис.2.5 (позначення на рис. 2.5)

Джерело: розроблено із використанням [7]

Вібраційний млин функціонує наступним чином: під дією обертання дебалансів (1), які утворюють коливання розмельного органу, ролик із кільцем (3) здійснює планетарно-фрикційне обкатування поверхні (2) із зовнішнього боку. Сировина, що надходить через патрубок (8), проходить

через канал (13), порожнину (14) та отвір (15), потрапляючи до розмельної порожнини, утвореної між поверхнею (2) і кільцем (3). У цій зоні здійснюється попереднє подрібнення матеріалу, який потім через зазори (17) переходить до зони домолу кульками (6) усередині ролика. Завершений продукт видаляється через щілини (16) та вікно (9).

Така конструкція млина дозволяє оптимізувати співвідношення робочих мас і збільшити пропускну здатність камери для кульового домолу, що в цілому сприяє підвищенню продуктивності пристрою.

Аналіз літератури та патентних розробок підтверджує перспективність цього технічного рішення завдяки наступним факторам:

- Вібраційні млини широко використовуються для подрібнення вогнетривких матеріалів.
- Запропонована конструкція млина забезпечує підвищення продуктивності та зменшення маси обладнання.
- Простота конструкції вібраційного млина спрощує обслуговування та експлуатацію.

2.2 Пропозиції по досягненню поставленої мети

Конструктивне рішення розробки вібраційного двокамерного млина для помолу матеріалів виконане згідно технічного рішення [15]. Розробка вібраційного двокамерного млина зазначена на рис. 2.7 – 2.8.

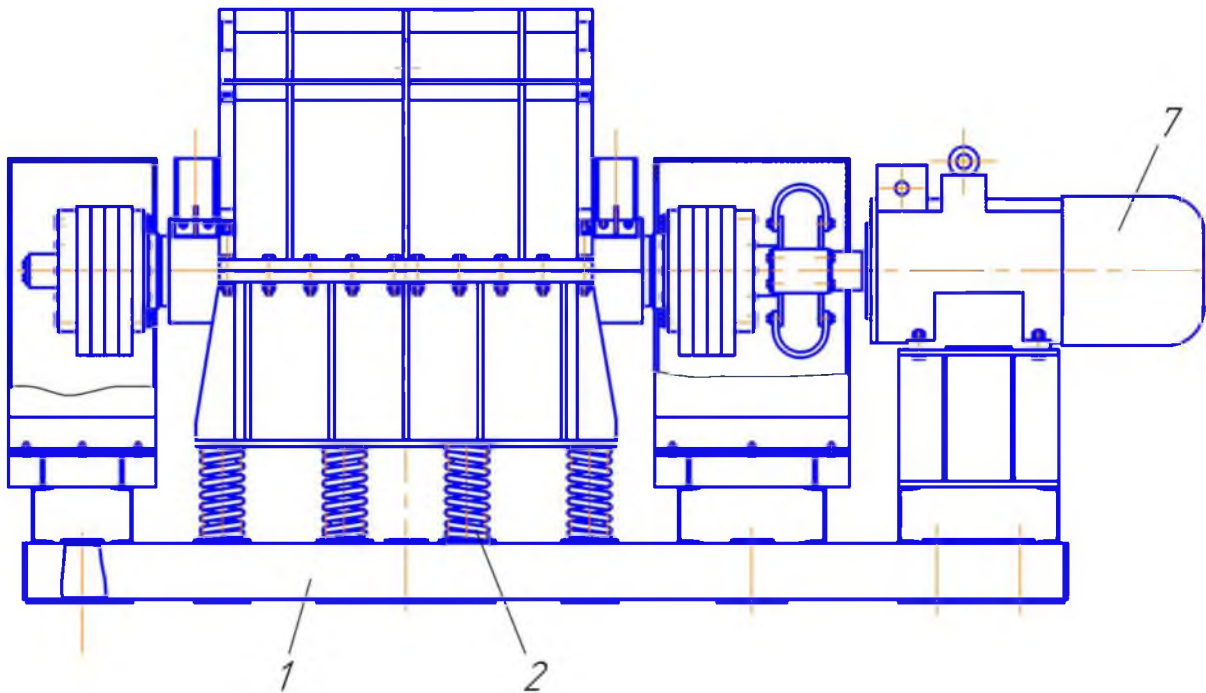
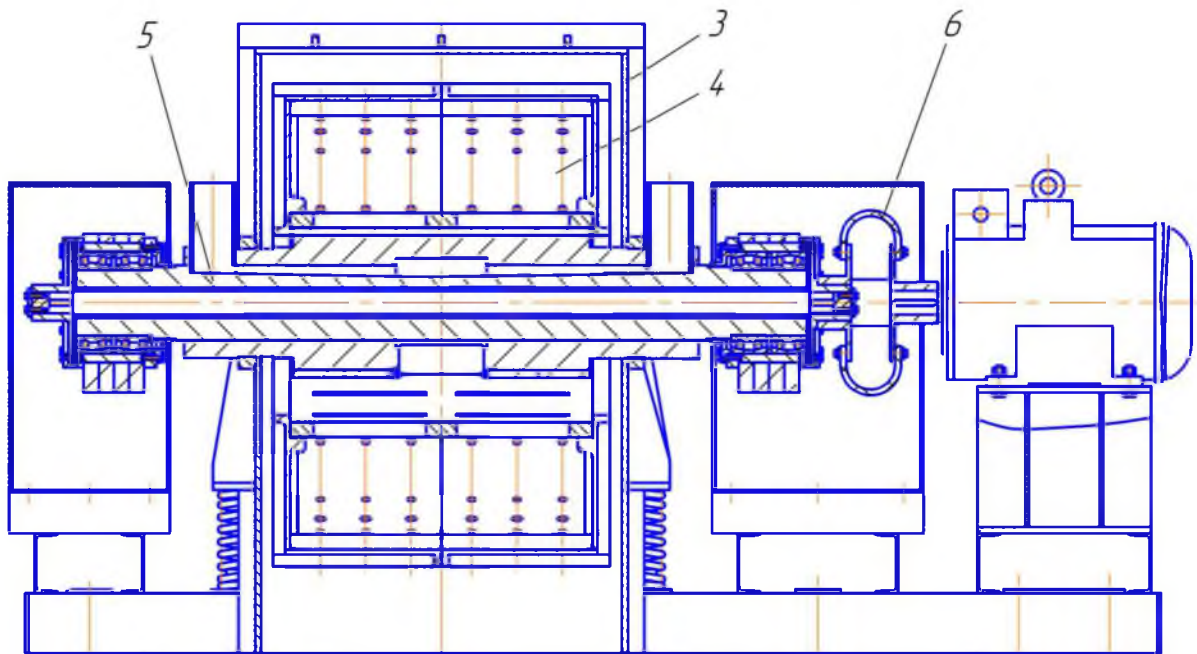


Рис. 2.7 Пристрій вібромлина, загальний вигляд

1 – рама; 2 – пружина; 3 – корпус млина; 4 – віброкорпус; 5 – вузол вібратора; 6 – муфта компенсуюча; 7 – електродвигун

Джерело: розроблено із використанням [9]



**Рис. 2.8 Пристрій вібромлина, вертикальний розріз по осі симетрії
(позначення на рис. 2.7)**

Джерело: розроблено із використанням [10]

Корпус 3 складається з двох частин, які з'єднуються болтами по горизонтальному стику. На нижній частині корпусу приварені опорні майданчики для встановлення пружин (2), що спираються на раму (1). У площині стику передбачено посадочне місце для монтажу вузла вібратора (5). Основу вузла вібратора утворює порожнистий вал, всередині якого розташований осьовий вал для передачі крутного моменту до дебалансів. Самі дебаланси встановлені на кінцях порожнистого вала з використанням підшипників кочення.

Порожнистий вал міцно закріплений у корпусі 3 і разом із ним здійснює коливальні рухи під час обертання дебалансів. На його зовнішній поверхні розміщені канавки, через які здійснюється транспортування матеріалу до внутрішньої частини млина від приймальних патрубків. Патрубки та канавки розташовані на обох кінцях порожнистого вала і можуть використовуватися одночасно або окремо. Віброкорпус (4) вільно спирається на вузол вібратора, що дозволяє йому виконувати коливання незалежно від основного корпусу. Вивантаження подрібненого матеріалу відбувається через спеціальні отвори у віброкорпусі. Матеріал спершу спрямовується на нижню внутрішню поверхню корпусу, а потім через отвір у ньому, під дією вібрації, потрапляє в приймальну воронку млина і транспортується далі стрічковим конвеєром. Передача обертання до дебалансів виконується електродвигуном (7) через компенсуючу муфту (6).

2.3 Аналітичні розрахунки

2.3.1 Розрахунок навантажень і визначення вихідних даних

Розрахунки основних конструктивних параметрів вібромлина проводимо по методиці представлені в роботі [16].

Геометричні розміри і динамічні параметри прийняті на підставі рекомендацій і перевіряються перевірою розрахунком.

Робочий об'єм помольної камери

$$V_p = \frac{k\pi(D^2 - d^2)}{4} b = \frac{0,8\pi(1,5^2 - 0,75^2)}{4} 0,95 \approx 1 \text{ м}^3$$

де k - коефіцієнт використання об'єму помольної камери, $k = 0,8$;

D - внутрішній діаметр віброкорпусу $D = 1,5$ м;

d - зовнішній діаметр кільця віброкорпусу $d = 0,75$ м;

b - ширина віброкорпусу $b = 0,95$ м.

Потужність, яку необхідно передати завантаженню

$$N_g = EV_p = 70 \cdot 1 = 70 \text{ кВт},$$

де E - енергонапруженість, при частоті обертання валу вібратора

$$n_g = 1000 \text{ об / хв} \quad E = 70 \text{ кВт / м}^3$$

Згідно рекомендаціям вибираємо амплітуду коливань помольної камери $A_n = 5$ мм.

Необхідний кінетостатичний момент вібратора

$$m_r = m_k A_n = 6200 \cdot 0,005 = 31 \text{ кгм},$$

де m_k - маса частин, що коливаються, $m_k = 6200$ кг

2.3.2 Розрахунок потужності приводу

Розрахункова потужність електродвигуна вібромлина

$$N_{\partial.p} = N_g + N_g = 70 + 27,4 = 97,4 \text{ кВт}.$$

Де N_b - втрати на тертя в підшипниках вібратора,

$$N_b = mr\omega^3 \mu \frac{d_n}{2} = 31 \cdot 104,7^3 \cdot 0,007 \frac{0,22}{2} = 27396 \text{ Вт} = 27,4 \text{ кВт}$$

ω -кутова швидкість електродвигуна

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{\pi 1000}{30} = 104,7 \text{ с}^{-1}$$

Умова вибору двигуна $N_d \geq N_{d.p.}$

Ці умові задовольняє електродвигун з фазним ротором, характеристика якого приведена нижче [16].

Характеристика електродвигуна

1. Тип двигуна	5АН-280
2. Потужність двигуна, кВт	110
3. Частота обертання, об/хв	1000
5. Рід струму	змінний
6. Номінальний момент, кНм	1,05
7. Напруга, В	380
8. Виконання	захищений, з незалежною вентиляцією
9. Маса, кг	1000

2.3.3 Силловий і кінематичний аналіз механізму

Обурююча сила, що діє з боку кожного дебаланса на вал

$$P_a = \frac{mr}{2} \omega^2 = \frac{31}{2} 104,7^2 = 169912 \text{ Н} \approx 170 \text{ кН}$$

Віброшвидкість мас млина, що коливаються [16]

$$v_x = A_x \omega = 0,005 \cdot 104,7 = 0,52 \text{ м / с.}$$

Віброприскорення мас млина, що коливаються

$$a_x = A_x \omega^2 = 0,005 \cdot 104,7^2 = 54,8 \text{ м / с}^2$$

Коефіцієнт режиму мас млина, що коливаються

$$k = \frac{a_x}{g} = \frac{54,8}{9,8} = 5,6$$

2.3.4 Розрахунок і вибір елементів кінематичної схеми

Для даної кінематичної схеми оптимальним вибором є муфта з тороподібним пружним елементом [17]. Як пружний елемент у цій муфті використовується гумо-кордова оболонка. Такі муфти відзначаються високими компенсаційними властивостями, здатністю знижувати динамічні навантаження завдяки низькій крутильній жорсткості та значній демпфуючій здатності, що забезпечує поглинання небажаних вібрацій. До того ж, муфта демонструє підвищену надійність роботи за умов значних взаємних зсувів з'єднаних валів.

Вибір муфти базується на розрахунку значенні моменту крутіння відповідно до необхідних умов.

$$[M_{кр}] \geq M_{кр.расч.} \quad (2.1)$$

де $M_{кр}$ – момент, що допускається, передаваний муфтою, визначається для кожного типорозміру муфти по довіднику;

$M_{кр.расч.}$ – розрахунковий момент, що крутить

$$M_{кр.расч.} = M_{кр.доп} k = \frac{N_{дв}}{\omega} k = \frac{110}{104,7} 3 = 3,15 \text{ кНм},$$

$N_{дв}$ – потужність двигуна $N_{дв} = 110$ кВт

k – коефіцієнт, що визначається типом робочої машини $k = 3$;

ω – кутова швидкість обертання електродвигуна $\omega = 104,7 \text{ с}^{-1}$

Вибираємо муфту по розрахунковому моменту, що крутить.

Характеристика муфти

1. Тип муфти з тороподібним пружним елементом	
2. Момент допускається, що крутить, кНм	5,5
3. Момент інерції муфти, кгм ²	0,34
4. Частота обертання муфти, об/хв	1800
5. Діаметр пружної оболонки, мм	580
6. Маса, кг	50

Умова вибору муфти виконується оскільки

$$[M_{кр}] = 5,5 \text{ кНм} > M_{кр.расч.} = 3,15 \text{ кНм}.$$

Розрахунок дебалансів.

Геометричні параметри дебалансів визначаються згідно з потрібним кінетостатичним моментом. Форма дебалансу обирається з огляду на конструктивні особливості [18]. Розрахунок координат центру маси та площі дебалансу здійснюється за допомогою програмного забезпечення Компас, а результати подаються на рисунку 2.9.

Координата центру маси складеної фігури: $y = -0,102$ м.

Площа обчисленої фігури: $F = 9,6 \cdot 10^{-2}$ м².

Кожен дебаланс являє собою комплект ідентичних пластин визначеної товщини $\delta = 50$ мм, встановлених на вал і закріплених за допомогою кришок. Для фіксації на валу використовується шпонка, причому шпоночні пази в дебалансах виконані зі зміщенням на 30° , що дозволяє регулювати величину обурливої сили.

Маса кожної окремої пластини дебалансу складає

$$m_i = F \delta \rho = 9,6 \cdot 10^{-2} \cdot 5 \cdot 10^{-2} \cdot 7850 \approx 38 \text{ кг}$$

где ρ – щільність сталі, $\rho = 7850$ кг/м³

Маса одного дебаланса, що складається з чотирьох пластин $m_a = 4m_i = 4 \cdot 38 = 152$ кг.

Кинетостатичний момент всіх дебалансів валу

$$mr = 2m_a y = 2 \cdot 152 \cdot 0,102 = 31 \text{ кгм}$$

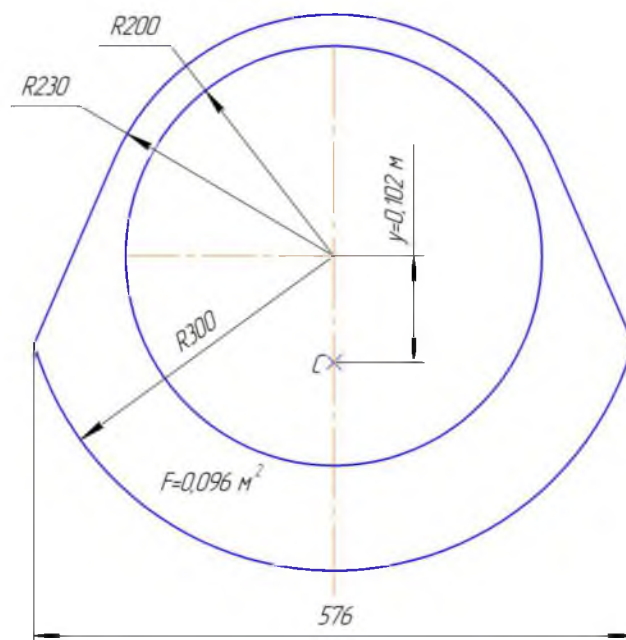


Рис. 2.9 До розрахунку центру мас дебалансів

Джерело: розроблено із використанням [18]

2.3.5 Розрахунки на міцність

Перевірочний розрахунок вала

Внутрішній вал передає момент, що крутить, на дебаланси. Розрахуємо вал на кручення.

Початкові дані для розрахунку

– діаметр валу, $d = 70$ мм

– максимальний момент передаваний, що крутить, валом $M = 1,05$ кНм;

– матеріал валу – сталь 45.

Напруга кручення

$$\tau_a = \frac{M}{0,2 d^3} = \frac{1,05 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 0,07^3} = 15,3 \text{ МПа}$$

Умова міцності валу виконується [18-20], оскільки $\tau_a = 15,3 \text{ МПа} < [\tau_a] = 80 \text{ МПа}$.

Порожнистий вал розрахуємо на вигин під дію обурюючих сил дебалансов.

Розрахункова схема валу приведена на рис. 2.10.

Розрахуємо реакції опор. Враховуючи, що, оскільки схема навантаження симетрична, отримуємо [19]

$$R_A = R_B = P_a = 170 \text{ кН}$$

Будуємо епюри моментів, що вигинають.

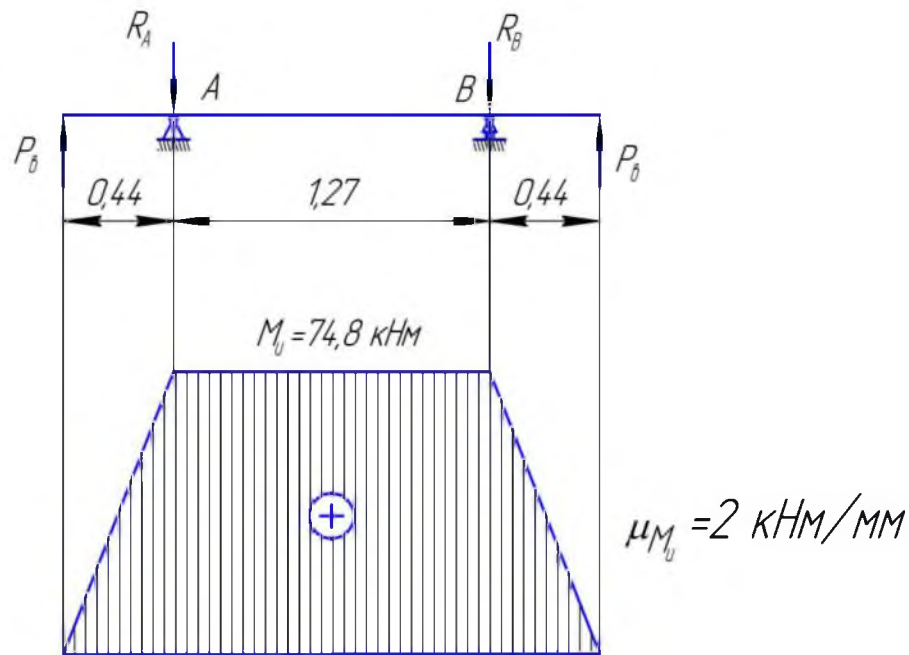


Рис. 2.10 Розрахункова схема порожнистого валу

Джерело: розроблено із використанням [17]

при $X = 0$ $M_{u0} = 0$

при $X = 0,44$ м $M_{uA} = R_A X = 170 \cdot 0,44 = 74,8$ кНм.

Напруга вигину в перетині 1-1

$$\sigma = \frac{M_u}{W_{1-1}} = \frac{74,8 \cdot 10^{-3}}{1,5 \cdot 10^{-3}} = 49,9 \text{ МПа,}$$

де W_{1-1} - момент опору вигину в перетині 1-1

$$W_{1-1} = 0,1d^3 \left(1 - \frac{d_0^4}{d^4} \right) = 0,1 \cdot 0,25^3 \left(1 - \frac{0,1^4}{0,25^4} \right) = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3;$$

d - зовнішній діаметр порожнистого валу, $d = 250$ мм

d_0 - внутрішній діаметр порожнистого валу, $d_0 = 100$ мм

Умова міцності валу виконується [18], оскільки

$$\sigma = 49,9 \text{ МПа} < [\sigma_u] = 75 \text{ МПа},$$

Где $[\sigma_e]$ - допускаемое напряжение на изгиб при посадке на вал деталей с острыми кромками, при $d = 250 \text{ мм}$ $[\sigma_u] = 75 \text{ МПа}$.

2.3.6 Розрахунок болтів корпусу

Корпус млина складається з двох половин, які забезпечені фланцями і закріплені болтами. Корпус вібратора встановлений між фланцями і обурюючі сили передаються на болти з'єднання корпусу. У місці установки вібратора розташовані по двадцять болтів М24 з кожного боку. Проведемо розрахунок цих болтів на міцність [18].

Початкові дані

- сила діє на болти з кожного боку, $P_g = 170 \text{ кН};$
- кількість болтів, $n = 20;$
- напруга, що допускається, на розтягування, $[\sigma_p] = 150 \text{ МПа};$
- матеріал болтів - сталь 40ХН;
- термообробка - гарт з охолодженням в маслі М 48.

Згідно умові збереження щільності стику розраховуємо зусилля затягування болтів по формулі

$$P_{\text{зат}} = \frac{k(1-X)P}{n} = \frac{4(1-0,2)170}{12} = 61,2 \text{ кН}, \quad (2.2)$$

де: k – коефіцієнт затягування, при змінному зовнішньому навантаженні

$$k = 4;$$

X – коефіцієнт основного навантаження, для з'єднання металевих

деталей без прокладок $X = 0,2$;

P – осьове навантаження $P = P_g = 170 \text{ кН}$;

n - кількість болтів $n = 20$.

Розрахункове навантаження на болт з урахуванням моменту затягування, що крутить

$$P_p = 1,5 P_{зат} + XP / n = 1,5 \cdot 61,2 + 0,2 \cdot 170 / 20 = 93,5 \text{ кН}.$$

Розрахунковий діаметр болта

$$d_\delta = \sqrt{\frac{4P_p}{\pi[\sigma]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 93,5 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 150}} = 0,022 \text{ м}.$$

Встановлені конструктивно болти М24 соответвуют умові міцності, оскільки $d = 0,024 \text{ мм} > d_p = 0,022 \text{ м}$.

2.3.7 Розрахунок підшипників

Враховуючи високе навантаження, вибираємо для валу роликотпідшипники радіальні дворядні сферичні, технічна характеристика яких приведена в табл. 2.1 – 2.2 [21].

Таблиця 2.1

Геометричні розміри підшипника

Умовне позначення підшипника	d , мм	D , мм	B , мм	R , мм	α°	d_2 , мін мм	D_2 , макс мм	Ролики		
								D_T , мм	L , мм	z
4003144 ГОСТ 5721-75	220	340	118	5	11	208	322	37	33,2	19

Технічна характеристика підшипника

Умовне позначення підшипника	Вантажо-підйомність, Н		e	$Fa/Fr < e$		$Fa/Fr > e$		Y_0	$G, кг$
	C	C_0		X	Y	X	Y		
4003144 ГОСТ 5721-75	1070000	1440000	0,3	1	2,27	0,67	3,37	2,22	35

Розрахуємо довговічність підшипників валу

$$L_h = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P} \right)^p = \frac{10^6}{60 \cdot 1000} \left(\frac{1070000}{223125} \right)^{\frac{10}{3}} = 1840 \text{ год} \quad (2.4)$$

де C - каталожна динамічна вантажопідйомність підшипника, для підшипника 4003144 $C = 1070000 \text{ Н}$

p – статичний показчик, для роликпідшипників, $p = 10/3$;

P – еквівалентне розрахункове навантаження на підшипник

$$P = (XVF_r + YF_a)K_dK_o = 85600 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 2,5 \cdot 1,05 = 223125 \text{ Н} \quad (2.5)$$

X – коефіцієнт радіального навантаження, $X = 1,0$;

V – коефіцієнт обертання, при обертанні внутрішнього кільця щодо напрямку навантаження, $V = 1,0$;

F_r – радіальне навантаження на один підшипник,

$$F_r = \frac{P_d}{2} = \frac{170000}{2} = 85000 \text{ Н};$$

K_d – коефіцієнт безпеки, $K_d = 2,5$;

K_o – температурний коефіцієнт, $K_o = 1,05$.

2.4 Монтаж, ремонт, змашення

2.4.1 Прив'язка машини до технологічного тракту

Установку та вирівнювання технологічного обладнання виконують, орієнтуючись на зіставлення осей машин з монтажними осями, закріпленими на фундаментах, призначених для цього обладнання. При цьому необхідно дотримуватися розмірів, передбачених проектом, у вертикальній площині між рівнем руху оброблюваного матеріалу та рівнем чистої підлоги цеху або іншою заданою відміткою [22].

Для цього на планах цехів позначають основні подовжні та поперечні осі машин, прив'язуючи їх до подовжніх і поперечних осей колон цеху. Висотні позначки вказуються на кресленнях розрізів приміщення. Під час монтажу усі висотні вимірювання виконуються на основі спеціальних фіксованих точок, які називаються реперами.

Монтажні осі у плані та висотні реperi поділяються на контрольні (основні) та робочі. Робочі осі й реperi, у свою чергу, також діляться на основні та допоміжні. Система осей та висотних відміток у цілому утворює геодезичну основу монтажу.

Контрольні осі та контрольні реperi беруть за базову основу геодезичного обґрунтування. Подальший розподіл робочих осей і висотних реперів під час спорудження фундаментів виконується з урахуванням цих контрольних елементів. Зазвичай контрольні осі збігаються з осями колон цехових будівель або інших конструкцій. Самі будівлі й споруди прив'язуються до осей робочої координатної сітки підприємства, яка представлена на генеральному плані і позначена на місцевості точками перетину цих осей. Осі координатної сітки розташовуються з кроком 100 або

200 метрів і визначаються відносно точки початку координат. Ця сітка геодезично з'єднується з найближчими полігонометричними знаками. Кожну контрольну вісь закріплюють за допомогою двох пластин або скоб, які встановлюються на окремих бетонних стовпах поза межами основи обладнання чи на кріпленнях колон.

Підставою для визначення висотних реперів є абсолютні позначки полігонометричних знаків стосовно рівня моря, які передаються на територію заводу. Ці абсолютні позначки, скориговані відповідно до рівня підлоги цеху або верхньої частини залізничної рейки, відображаються на будівельних кресленнях. У технологічних планах розміщення обладнання позначка підлоги цеху, незважаючи на її абсолютне значення, приймається за нульову точку. Контрольні реperi встановлюються на спеціалізованих залізобетонних опорах з перетином щонайменше 500×500 мм, які піднімаються над рівнем чистої підлоги на 200 мм та встановлюються поза межами фундаментів для обладнання. Позначки контрольних реперів співвідносять із позначками найближчих реперів опорної сітки заводу. Якщо репер має зазначену абсолютну позначку, необхідно відняти значення абсолютної позначки підлоги цеху, щоб визначити значення щодо його рівня.

На кожному фундаменті здійснюється розмітка двох основних робочих осей – повздовжньої та поперечної – а також одного основного репера в районі базової машини. Від них виконують подальшу розмітку та нівелювання допоміжних робочих осей і реперів для конкретного фундаменту. Кількість додаткових осей та реперів визначається характеристиками обладнання.

Робочі осі закріплюються на фундаментах за допомогою двох металевих плашок, які розташовуються в місцях, не перекритих основою машин, і забезпечують можливість встановлення вісьтримачів [22].

Плашка являє собою сегмент швелера або балки з мінімальними розмірами в плані 80×80 мм. Її вбудовують у бетон, закріплюючи зварюванням до арматури фундаменту або до спеціально закладеної пластини за її відсутності, та заповнюють бетоном високої марки. На поверхні плашки кернером виконують заглиблення діаметром не більше 2 мм, яке відповідає положенню осі. Довкола заглиблення виконують помітний трикутник із насічок, який додатково фарбують білою фарбою для видимості.

Положення осьового керна відносно контрольної або основної робочої осі визначають за допомогою схилю, опущеного зі струни-орієнтиру. Лінійні розміри перевіряють за допомогою сталеві рулетки, а точність кернування – за допомогою теодоліта. Допустиме відхилення основної робочої осі від контрольної, а також допоміжних осей від основної становить ± 1 мм. Контрольна вісь і всі робочі осі фіксуються струнами із сталевого дроту діаметром 0,3–0,5 мм. Струни натягуються за допомогою блоків і вантажів масою 10–15 кг, розташованих на висоті близько 2 м над рівнем фундаментної площини, щоб не заважати монтажу обладнання. Від цих струн спускаються схили, гострі кінці яких суміщуються з лунками, нанесеними на плашки. Ці струни зберігаються до завершення монтажу агрегату. Додатково використовуються нейлонові нитки. Як контрольний репер виступає оброблений під сферу торець залізничної рейки, яка закріплена в бетонному стовпі на глибину до 4 м і виступає на 50 мм над поверхнею бетону.

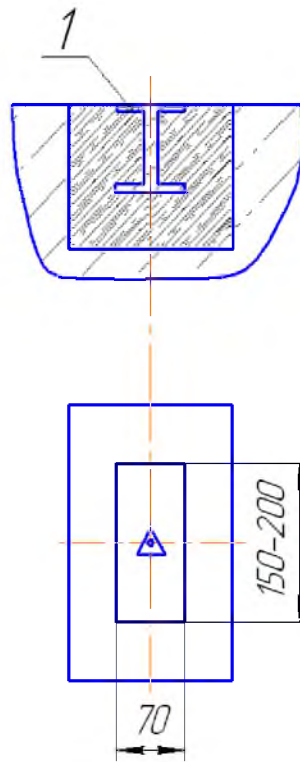


Рис. 2.11 Плашка: 1–швеллер

Джерело: розроблено із використанням [22]

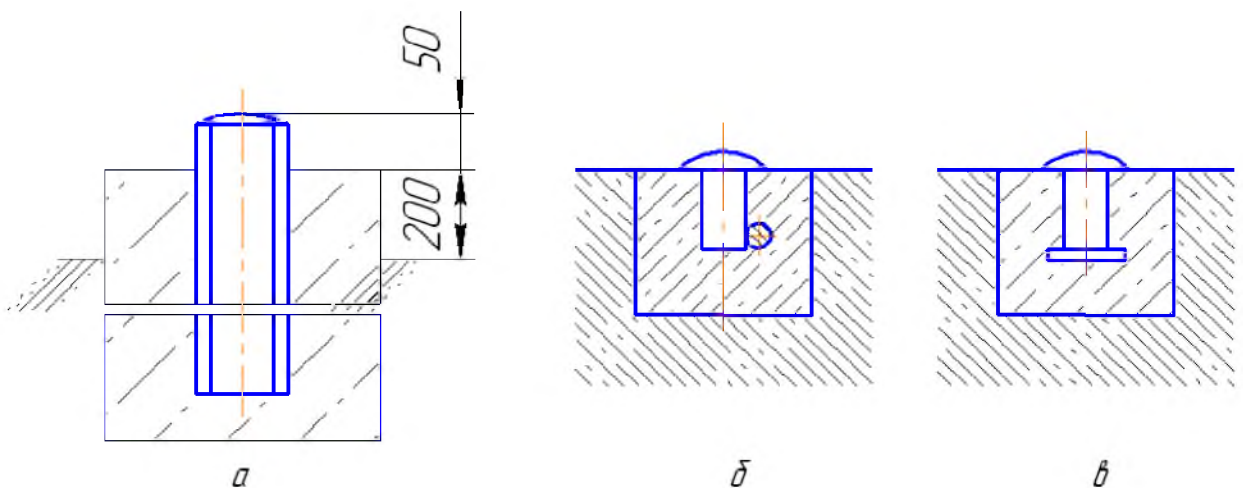


Рис. 2.12 Схема установки висотних реперів

А – контрольний репер; Б – основний і допоміжний репер за наявності арматури; В – основний і допоміжний репер з привареною пластинкою

Джерело: розроблено із використанням [22]

Основні й допоміжні висотні репери виконуються у вигляді заклепки діаметром 25–30 мм, привареної головкою догори до відкритої арматури фундаменту та забетонованої цементним розчином високої марки. Якщо арматура відсутня, до циліндричного кінця заклепки приварюється сталеві пластина площею не менше 1 дм², яка одночасно з репером заливається розчином для закріплення.

Висотні позначки основних реперів у порівнянні з контрольними, а допоміжних – щодо основних перевіряють за допомогою прецизійного нівеліра, забезпечуючи точність до $\pm 0,5$ мм. Для фундаментів великої протяжності репери встановлюються приблизно через кожні 10 м. Різниця між рівнями базової поверхні та репера не повинна перевищувати 1,5 м. Під час монтажу автономних машин, не пов'язаних із потоковими чи автоматичними лініями, допустимі відхилення у плані та висоті можуть досягати 20–30 мм.

Геодезичне обґрунтування монтажу вібротрибуна наведено в кресленнях відповідно до позначень.

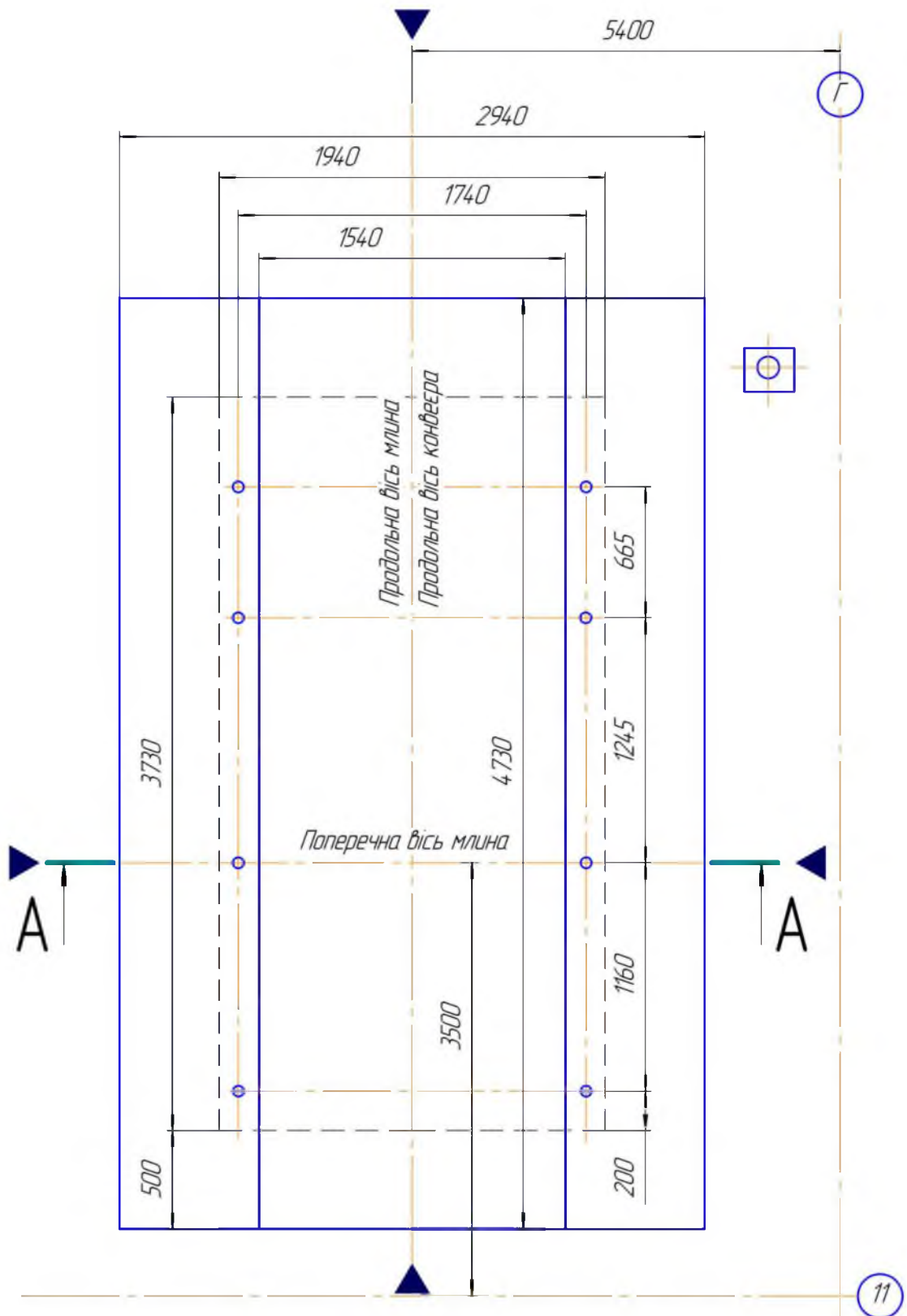


Рис. 2.13 Геодезичне обґрунтування монтажу машини в плані

▲ – контрольна плашка; □ ⊕ – контрольний репер

Джерело: розроблено автором

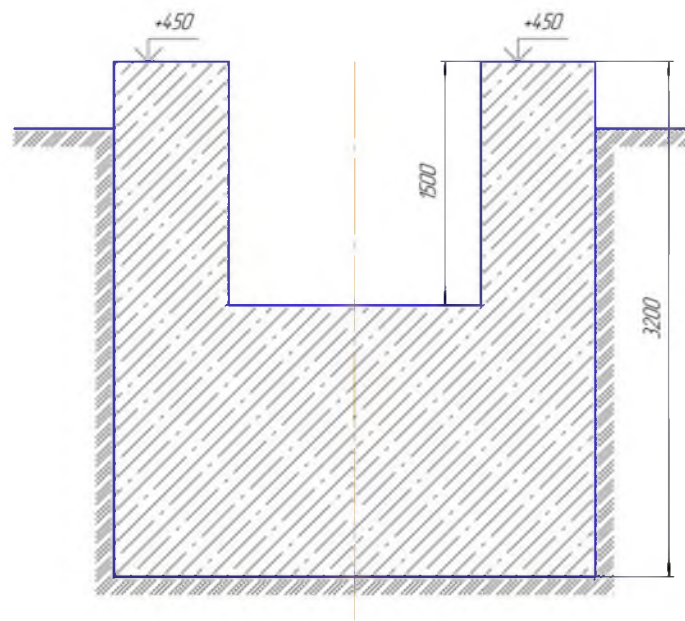


Рис. 2.14 Геодезичне обґрунтування монтажу машини,
розріз А – А по рис.2.13

√ - знак висотних відміток

Джерело: розроблено автором

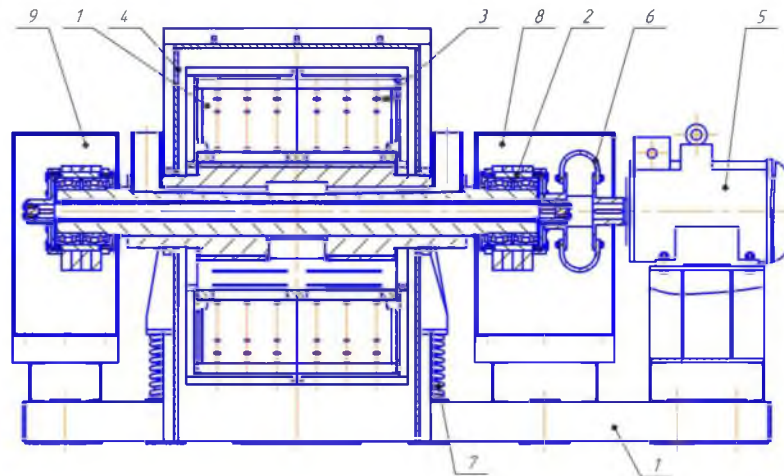
Згідно з планом розміщення обладнання у відділенні виробництва вогнетривів, створюється розбивочне креслення, яке містить точні координати основних осей устаткування, лінійні розміри та висотні позначки. Для цього застосовуються геодезичні елементи, такі як репери й плашки. Робочі репери перевіряються за допомогою контрольного репера цеху, який встановлено на спеціальному фундаменті. На кожному майданчику обслуговування обладнання в базовій точці машини розташовують основний репер, налаштований відносно контрольного з точністю до $\pm 0,5$ мм. Після монтажу і зборки обладнання виконують його детальну перевірку відповідно до нормативів точності. Серед найточніших способів перевірки вирізняються оптико-геодезичний та лазерний методи.

Вони забезпечують точне визначення відносного положення контрольних точок у горизонтальній і вертикальній площинах [23].

2.4.2 Технологічна карта монтажу

Містять наступні документи:

1. Монтажне креслення із специфікацією (рис. 2.15).
2. Технологічна карта монтажу, яка включає графік виробництва робіт їх об'єм, вартість і потреба в робочих по кваліфікаціях і розрядах (табл. 2.3).
3. Перелік монтажного устаткування інвентарю, пристосувань і матеріалів (табл. 2.4 –2.5)



№ поз.	Найменування	К-ть	Од.	Зог.
			Маса, кг	
1	Рама	1	420	420
2	Вібратор	1	1730	1730
3	Вібракорпус	1	500	1000
4	Корпус млина	1	640	640
5	Електродвигун	1	1000	1000
6	Муфта	1	50	50
7	Пружина	8	36	288
8	Кожух дебаланса	1	70	70
9	Кожух електродвигуна	1	80	80

Рис. 2.15 Монтажна схема вібромлина

Джерело: розроблено автором

Таблиця 2.3

Технологічна карта монтажу машини

№ п/п	Опис робіт по монтажу в технологічній послідовності	Калькуляція						Склад ланки	Триба-лість операції, год									
		Од виміру	Об'єм робіт	На одиницю		На весь об'єм				6	12	18	24	30	36	42	48	
				Норма часу, год	Рас-цінки	Норма часу, год	Сума зарпл, грн											
1	Встановити і закріпити на фундаменті раму 1	Шт.	1	12	320	12	3840	6/5/5/5	12									
2	Встановити у раму 1 пружини 7	Шт.	8	0,25	320	2	640	6/5/5/5	14									
3	Встановити на пружини 7 нижню частину корпусу млина 4	Шт.	1	2	320	2	640	6/5/5/5	16									
4	Встановити на нижню частину корпусу млина 4 вібратор 2	Шт.	1	8	320	8	2560	6/5/5/5	24									
5	Встановити на вібратор 2 віброкорпус 3	Шт.	1	8	320	8	2560	6/5/5/5	32									
6	Встановити верхню частину корпусу млина 4 і закріпити	Шт.	1	8	320	8	2560	6/5/5/5	40									
7	Встановити на раму 1 електродвигун 5	Шт.	1	4	320	4	1280	6/5/5/5	44									
8	З'єднати палумфти муфти 6	Шт.	1	2	320	2	640	6/5/5/5	46									
9	Встановити кожух 8	Шт.	1	1	320	1	320	6/5/5/5	47									
10	Встановити кожух 9	Шт.	1	1	320	1	320	6/5/5/5	48									

Джерело: розроблено автором

Таблиця 2.4

Ліміт матеріалів і напівфабрикатів

Найменування	Одиниці вимірювання	Кількість	
		за проектом	фактично
Кисень	м ³	5,0	
Карбід кальцію	кг	5,0	
Гас	кг	5,0	
Масло машинне	кг	4,0	
Солідол	кг	0,5	
Кінці обтиральні	кг	1,2	
Серветки обтиральні	м ²	1,0	
Папір прокладний	м ²	1,0	

Джерело: розроблено автором

Таблиця 2.5

Перелік устаткування, інвентарю і пристосувань

Найменування і характеристика	Одиниці вимірювання	Кількість	
		за проектом	фактично
Кран мостової Q =20/5 т	шт.	1	
Апарат електрозварювання СТЕ – 34	шт.	1	
Ацетиленовий генератор Пг -1	шт.	1	
Контрольна лінійка l= 3 м	шт.	1	
Індикатор цифрової	шт.	2	
Схил 0,4 кг	шт.	4	
Рівень з ціною ділення 0,006 м на 1м	шт.	1	

Джерело: розроблено автором

Перелік монтажного устаткування інвентарю і пристосувань:

1. Ключі: S=17; 22; 32; 36; 41; 46; 50; 60; 75; 85
2. Кувалда
3. Молоток
4. Свердлувальна машина
5. Шліфувальна машина
6. Мітчики: М-16
7. Троса парні, Ø 28,5
8. Троса парні, Ø 17,5
9. Рулетка
10. Рівні
11. Індикатори

2.4.3 Зношення відповідальних деталей та методи їх відновлення

Простої млина залежать від надійності роботи вібратора, міцності, зносостійкості металоконструкції та пружин.

Інтенсивність відмов вібратора сягає 32,5%. Під час його роботи у значно запиленому середовищі абразивний пилю проникає через лабіринтові ущільнення до підшипників кочення. Це спричиняє значний знос їх деталей. Частинки пилю, потрапляючи всередину підшипників, утворюють вм'ятини на робочих поверхнях, що призводить до активного стирання всіх компонентів підшипника. Зношування тіл та доріжок кочення кілець стає причиною збільшення радіальних зазорів та прискореного руйнування підшипників під впливом вібраційних навантажень.

Розрахунковий термін служби підшипників становить 1,44 роки. Підвищення радіального зазору в підшипниках зумовлює посилене зношування сепараторів і сприяє нерівномірному розподілу навантажень між тілами кочення. Це своєю чергою знижує жорсткість підшипникового вузла та скорочує його довговічність через дію вібраційних навантажень. Абразивне зношення деталей підшипників є однією з головних причин їх відмов, що проявляється у втраті жорсткості, надмірному нагріванні та шумності роботи.

При виконанні демонтажу підшипникових вузлів перевіряється стан підшипників кочення, а за потреби здійснюється їх заміна.

У разі зносу валів можуть з'являтися такі дефекти:

- зміна діаметра та форми шийок і цапф;
- утворення подряпин, рисок та задирів на шийках і цапфах;
- вигин або скручування валу;
- зношеність, деформація або знебарвлення робочих поверхонь канавок шпонок і шліців;
- знос чи пошкодження різьби.

Зменшення діаметра шийок трансмісійних валів допускається в межах 10% від номінального діаметра у разі статичного навантаження та 5% – при динамічному. Вали визнаються непридатними до експлуатації у випадку наявності тріщин або скручування на кут понад 10° . Після визначення рівня зносу шийок приймається рішення щодо доцільності та вибору способу ремонту валу. Якщо вал обертається в підшипниках кочення і конструкція деталі не дозволяє зменшення розміру шийки, діаметр валу відновлюється до номінального за допомогою металізації або наплавлення [24].

Ремонт шийок валів з їх обробкою до ремонтного розміру включає такі етапи:

- перевірка стану центрових отворів та, за необхідності, їх виправлення на центрувальному чи токарному верстаті;
- обробка зношених шийок до наступного ремонтного розміру на токарному чи круглошліфувальному верстаті.

Для відновлення шийок валів до номінального розміру виконуються такі операції:

- нарощування шийок валу до діаметра, більшого за номінальний із врахуванням припуску на обробку, методом металізації чи автоматичного вібродугового наплавлення;
- перевірка осі валу та, за потреби, виправлення її вигину. Невеликі вигини коригуються на токарному верстаті за допомогою ручного гвинтового пресу, способом чеканки або локальним нагріванням. Значні вигини виправляються на пресах в холодному стані.

Допустимий прогин валу – $0,2 \div 0,3$ мм на кожен метр його довжини;

- перевірка та корекція центрових отворів;
- обробка нарощеного шару до номінального діаметра.

Канавки шпонок на валах відновлюються шляхом обробки до ремонтного розміру, наплавленням із подальшою механічною обробкою або формуванням нової канавки під кутом 90° , 135° чи 180° до старого положення. Відновлення здійснюється за допомогою долбежних верстатів

або фрезеруванням канавок на новому місці. Під час встановлення призматичних шпонок між їх неробочою гранню та дном паза в напівмуфтах повинен залишатися зазор $0,2 \div 0,5$ мм.

Зношені шпонки замінюють на нові.

Сполучні муфти зазвичай зношуються в місцях їх з'єднання із суміжними деталями, зокрема в отворах для болтів і пальців, а також у місцях контакту кулачків, зубів чи в пазах для шпонок.

У зубчастих муфтах допустимий знос зубів по товщині становить до 30% від початкового розміру. Перекіс осей валів не повинен перевищувати $1,5^\circ$, за умови відсутності радіального зміщення осей. У разі радіального зміщення перекіс не допускається. Після цих перевірок зуби обробляють за шаблоном напилком або здійснюють остаточну обробку на верстаті.

Основні базові деталі металургійних машин здебільшого представлені як важкі литі, зварні чи комбіновані зварно-литі конструкції, такі як станини, корпуси, плити, рами тощо. Найпоширенішими є деталі зі сталі, хоча останнім часом усе частіше застосовуються легші та економічно вигідні залізобетонні зварні конструкції. Основними видами зношення литих базових деталей є [23]:

- локальні руйнування і тріщини, що виникають через навантаження, особливо на ділянках із внутрішніми дефектами чи ливарною напругою;
- зношення поверхонь тертя, де відбувається переміщення або встановлення вузлів машини;
- зношення гладких та різьбових отворів у тілі базової деталі внаслідок багаторазового складання та розбирання. виправлення базових деталей здійснюється за допомогою механічної обробки, зварювання або заливки.

Попередній підігрів деталей перед зварюванням запобігає виникненню тріщин через усадку під час охолодження великих об'ємів металу та сприяє

легшій обробці шва. Для цього деталі нагрівають у печах до приблизно 300°C і підтримують цю температуру у процесі зварювання.

Відпуск і відпал деталей виконують для зняття внутрішніх напружень і підвищення їх ударної в'язкості.

Газове зварювання чавуну здійснюють у гарячому стані (700–800°C), застосовуючи чавунні електроди.

2.4.4 Розробка графіка планово-попереджувальних ремонтів

Система планово-попереджувального ремонту (ППР) передбачає регулярне проведення ремонтних робіт та ревізію обладнання, за результатами яких визначається обсяг необхідних робіт. Характер і обсяг робіт встановлюються на основі дефектної відомості [22].

Графік планово-попереджувальних ремонтів наведено в таблиці 2.6. Згідно з досвідом експлуатації обладнання в цеху підготовки складів, поточні ремонти виконуються не рідше одного разу на 30 діб, а їх тривалість складає 24 години. На комбінаті практикують два види ремонту: поточний та капітальний. Поточний ремонт включає часткове розбирання механізмів, очищення, ревізію деталей, а також заміну компонентів і вузлів, які швидко зношуються.

Таблиця 2.6

Графік планово-попереджувальних ремонтів

місяці	січень			лютий			березень			квітень			травень			червень			липень			серпень			вересень			жовтень			листопад			грудень		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
ремонт	-	П	-	П	-	-	-	П	-	П	-	-	3	-	П	-	-	П	-	-	П	-	-	П	-	-	П	-	-	П	-	-	П	-	-	П

Джерело: розроблено автором

Капітальний ремонт передбачає повне розбирання машини, очищення і промивку усіх її частин, заміну основних та базових деталей за потреби, а також повне оновлення зношених елементів. Час проведення поточного або капітального ремонту визначається відповідно до річного графіка.

Процес ремонту будується на основі обсягу, складності й трудомісткості робіт. Для визначення кількості залучених працівників враховуються маса й розміри деталей та вузлів, а також зручність виконання необхідних операцій.

Ремонтний цикл механізму передбачає щоденні профілактичні огляди, поточні ремонти двічі на місяць (у першій і другій декадах), а також проведення капітального ремонту один раз на чотири роки.

2.4.5 Змащення

У млині здійснюється змащування роликотілопідшипників вібратора та підшипників двигунів. Для підшипників кочення використовують консистентне мастило. Його призначення полягає у зменшенні тертя ковзання між тілами кочення та сепаратором, рівномірному розподілі або відведенні тепла, яке утворюється, запобіганні корозії поверхонь кочення, а також зниженні шуму під час роботи підшипників. Підшипники електродвигунів змащуються способом набивання, тоді як підшипники вібраторів забезпечуються змазкою централізовано [25].

Для змащування підшипників електродвигунів використовують мастило марок УССА або 1-13.

Підшипники вібраторів змащуються мастилами типу ЦИАТИМ-201 або ВНІІП232. Параметри вказаних змащувальних матеріалів наведені у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7

Властивості мастильних матеріалів

Найменування змащувального матеріалу	Температурні межі °С	В'язкість при $t=50^{\circ}\text{C}$, сСтокс	Замінник
ЦИАТИМ-201	$-60^{\circ}\text{C} \div +80^{\circ}\text{C}$	24÷28	ВНІІП232
Усса	$-77^{\circ}\text{C} \div +25^{\circ}\text{C}$	25÷35	Мастило 1-13

Джерело: розроблено автором

Далі розрахуємо витрати густого мастила, необхідного для змащування підшипників вібраторів. В обчисленнях застосовуємо методику Інституту металургійного машинобудування (ВНІІметмаш), яка базується на результатах статистичного аналізу реальних вузлів тертя. Рекомендована формула для визначення норми витрат густого мастила буде використана для подальших розрахунків.

$$q = 11k_1k_2k_3k_4k_5 = 11 \cdot 1,12 \cdot 1,9 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,1 = 30,9 \text{ см}^3/\text{м}^2\text{год}$$

де 11 – мінімальна норма витрати мастила для підшипників діаметром

$$d \leq 100 \text{ мм при } n \leq 100 \text{ об/хв};$$

k_1 – коефіцієнт, що враховує залежність норми витрати мастила від

діаметру підшипника, при $d = 220 \text{ мм}$

$$k_1 = 1,0 + (d - 100)10^{-3} = 1,0 + (220 - 100)10^{-3} = 1,12;$$

k_2 – коефіцієнт, що характеризує залежність норми витрати мастила від частоти обертання, при $n = 1000$ об/хв

$$k_2 = 1,0 + (n - 100)10^{-3} = 1,0 + (1000 - 100)10^{-3} = 1,9;$$

k_3 – коефіцієнт, що враховує вплив якості поверхонь, що труться на норму витрати мастила. При хорошій якості (сумарна площа дефектів не перевищує 5% контактної поверхні) $k_3 = 1,0$, а при задовільному $k_3 = 1,3$. Приймаємо $k_3 = 1,0$;

k_4 – коефіцієнт, залежний від робочої температури підшипника T_p .

Якщо $T_p < 75^\circ\text{C}$, то $k_4 = 1,0$, а якщо $T_p = 75 \div 150^\circ\text{C}$, то

$$k_4 = 1,2. \text{ Приймаємо } k_4 = 1,2.$$

k_5 – коефіцієнт, що враховує вплив величини навантаження; $k_5 = 1,1$

і $k_5 = 1,0$, коли робоче навантаження відповідно перевищує і не перевищує проектне значення. Приймаємо $k_5 = 1,1$.

Об'єм густого мастила, що періодично подається в підшипник

$$Q = qFT = 30,9 \cdot 0,082 \cdot 1 = 2,53 \text{ см}^3$$

де F – площа контактної поверхні підшипника

$$F = \pi db = 3,14 \cdot 0,22 \cdot 0,118 = 0,082 \text{ м}^2$$

b – ширина підшипника, $b = 80$ мм;

T – тривалість циклу змазування (період між двома послідовними подачами мастила), $T = 1$ год.

Карта змащування приведена в таблиці 2.8. Схема точок змащування приведені на рис. 2.16.

Таблиця 2.8

Карта змащування

№ п/п	Найменування точки змащування	К-ть точок, шт	Застосоване мастило	К-ть на 1 точку, дм ³	Терміни заміни в добі	Додаткові вказівки
1.	Підшипники електродвигунів	2	Усса	0,4	1 раз у 6 міс.	Набивання
2	Підшипники вибраторів	4	ЦИАТИМ-201	$2,53 \cdot 10^{-3}$	1 раз у 2 год.	Централізована

Джерело: розроблено автором

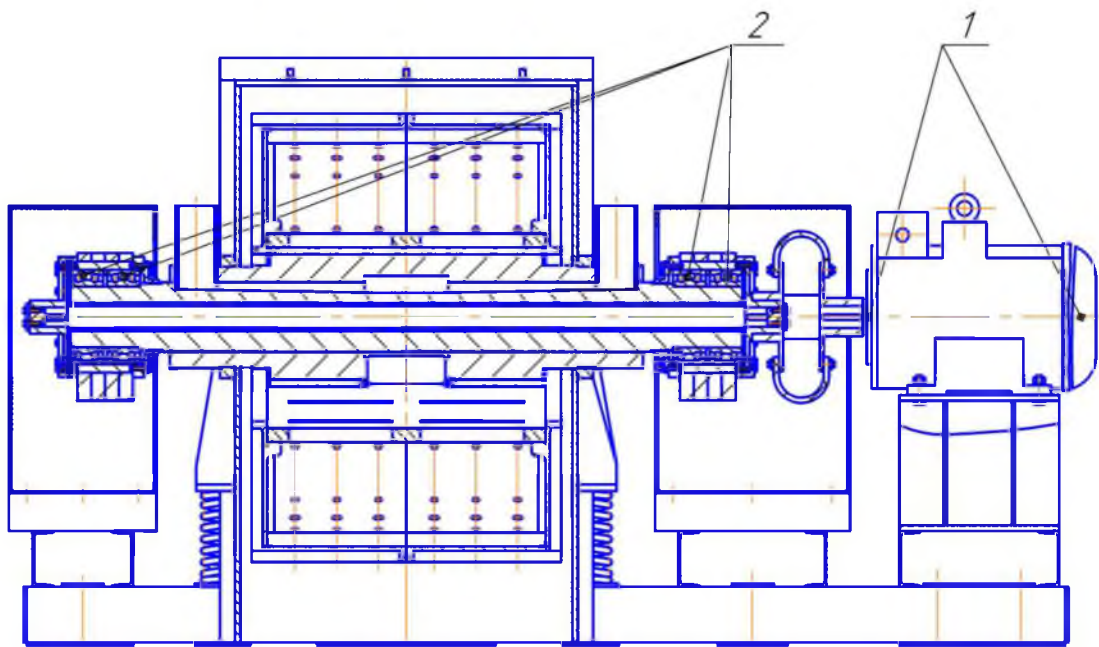


Рис. 2.16 Схема точок змащування машини

1 – підшипники електродвигуну; 2 – підшипники вибраторів

Джерело: розроблено автором

3 ОРГАНІЗАЦІЯ БЕЗПЕЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

3.1 Аналіз основних шкідливостей і небезпечностей

Вогнетривко-вапняний цех включає в себе наступні виробничі ділянки:

- виробництво вапна;
- виготовлення торкретмас;
- випуск вогнетривів.

У цьому цеху під час виробничих процесів, ремонту, обслуговування та експлуатації обладнання можуть виникати такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- запиленість повітря в робочій зоні;
- теплове випромінювання;
- шум;
- ураження електричним струмом;
- опіки;
- рухомі та обертові частини обладнання;
- отруєння газоподібними речовинами.

Вібромлин розташований у корпусі для виробництва вогнетривів на відмітці +4500 мм.

У цеху окрім млинів, які використовуються для помелу вогнетривів, також функціонує таке обладнання [26]:

- вагоноперекидач;
- шокові дробарки;
- грохоти;
- нагрівачі та охолоджувачі;
- обертові печі;
- гідравлічні преси;
- стрічкові конвеєри тощо.

Під час обробки та транспортування матеріалів утворюється значна кількість пилу. Надмірна запиленість є причиною захворювань дихальної системи, а тривалий вплив пилу сприяє виникненню запалення очей (кон'юнктивіт).

Робота обладнання супроводжується не лише утворенням пилу, але й значним шумовим впливом. Постійна дія шуму на центральну нервову систему призводить до загального стомлення, порушень у роботі серцево-судинної та дихальної систем, а також уповільнення психологічних реакцій. Через це у виробничих умовах підвищується ризик травматизму, професійних захворювань та можливих помилок у виконанні робіт [26].

Санітарно-гігієнічна характеристика умов праці слюсаря-ремонтника у приміщенні для виробництва вогнетривів наведена у таблиці 3.1.

Аналіз умов праці, наведених у таблиці 3.1, показує, що рівень шуму становить 86 дБА, що перевищує гранично допустимий рівень (ГДР) у 80 дБА на 6 дБА. Мікроклімат у приміщенні, зокрема температура та відносна вологість повітря, частково не відповідають встановленим санітарним нормам. Крім того, рівень запиленості перевищує гранично допустиму концентрацію (ГДК) у два рази. Ці показники підкреслюють необхідність вжиття заходів для їх зменшення.

Вібромлин обладнаний різноманітними електричними та механічними пристроями, взаємодія з рухомими частинами яких може призвести до отримання травм. Небезпека посилюється на елементах, що обертаються, особливо якщо на них є виступаючі болти чи шпонки. Особливу увагу слід приділяти зонам, де частини механізмів рухаються назустріч одна одній, утворюючи захоплюючо-втягувальну ділянку. У таблиці 3.1 представлена санітарно-гігієнічна характеристика умов праці на робітників.

Таблиця 3.1

Карта змащування

Ділянка, професія	Фіз-фактор		Метеофактори								Шкідливі речовини, мг/м ³	
	Шум, дБа		Швидкість руху повітря, м/с		Відносна вологість повітря, %		Температура				Запиленість	
							Холодний період, t°C		Теплий період, t°C			
ГДР	Факт	ГДР	Факт	ГДР	Факт	ГДР	Факт	ГДР	Факт	ГДК	Факт	
Вогнетривно - вапняний цех, виробництво вогнетривів, слюсарь-ремонтник	80	86	0,3	0,4	65	63	15–21	7	20–27	31	6	18,5

Джерело: розроблено автором

У цеху використовується електричне устаткування з робочою напругою 380 В, а освітлювальні прилади працюють на 220 В. Це створює ймовірність отримання електротравм.

Існує ризик ураження електричним струмом або травмування в таких випадках:

- при дотику до оголених провідників або тролей кранів;
- при контакті з обладнанням, яке знаходиться під напругою;
- при дотику до корпусів машин або щитів управління, на які напруга потрапила випадково;
- під час відключення роз'єднувача під навантаженням або контактора без дугогасильної камери.

Ураження електричним струмом поділяються на два типи: електричні травми та електричний удар.

Електричні травми зазвичай локально пошкоджують тканини та органи та проявляються у вигляді опіків або електрометалізації шкіри.

Електричний удар виникає при дії невеликих струмів (до кількох сотих міліампер), які, не викликаючи опіків, впливають на нервову систему та м'язи. Це може призвести до паралічу дихальних м'язів або м'язів серця.

3.2 Заходи щодо зниження шкідливостей і небезпечностей

Для зменшення концентрації пилу в повітрі рекомендовано впровадження таких заходів: сухе очищення повітря в пилоосаджувальних камерах, циклонах, мультициклонах, інерційних та матеріальних фільтрах; мокре очищення за допомогою різноманітних скрубєрів; електричне очищення за допомогою сухих і мокрих електрофільтрів. Також можливе часткове або повне герметизування виробничого устаткування. Для конвеєрної подачі шихтових матеріалів між окремими агрегатами та бункерами ефективним заходом є герметизація джерел виділення пилу та аспірація запиленого повітря [26].

Щоб зменшити рівень шуму, рекомендовані такі дії:

- встановлення спеціальних фундаментів, не пов'язаних із конструкцією будівель, із великою масою й акустичними швами, а також використання ізолюючих прокладок і амортизаторів;
- застосування звукоізолюючих кожухів для відокремлення особливо шумного обладнання від виробничих приміщень;
- використання матеріалів для звукоізоляції та звукопоглинання;
- впровадження колективних і індивідуальних засобів захисту від шуму й вібрацій.

Для запобігання ураженню електричним струмом все електроустаткування в цехах заземлене. Розетки розраховані для підключення переносних ламп із напругою 12 Вольт. На електричних шафах та розподільчих щитках передбачені відповідні попереджувальні написи. До

колективних засобів захисту від ураження струмом належать захисні, запобіжні та гальмівні пристрої, пристрої сигналізації, дистанційне керування та встановлені знаки безпеки.

Системи керування електродвигунами виключають можливість їх самовільного запуску при відновленні напруги після її неочікуваного зникнення.

Освітлювальна мережа підключається до ввідного автомата, тому при його відключенні напруга в освітлювальній мережі не знімається. Кабіни панелей та шафи з ящиками резисторів мають бути завжди замкнені на замок. Для запобігання випадкового вмикання грохота слід використовувати ключі-жетони.

Обладнання з обертовими частинами необхідно захищати, а змазування має виконуватися автоматично та централізовано. Недостатнє освітлення є причиною виробничих травм, негативно впливає на зір працівників і знижує ефективність праці, тож важливо забезпечити відповідну освітленість робочих місць як удень, так і вночі.

Розрахункова частина

Виконаємо розрахунок освітлення у корпусі для виробництва вогнетривів. Приміщення має розміри 48×24 м, а нормативна освітленість згідно зі СНиП II-4-79 становить 150 лк. Освітлення забезпечується світильниками прямого світла. Напруга в мережі освітлення дорівнює 220 В, а потужність ламп – 1000 Вт.

Розрахуємо необхідну потужність освітлювальної системи та кількість ламп для рівномірного освітлення приміщення. Обчислення виконаємо за методом ват. Потужність освітлювальної установки визначається за такою формулою:

$$W_1 = \frac{ESK}{1000E_{\text{нв}}} = \frac{150 \cdot 1152 \cdot 1,5}{1000 \cdot 4,7} = 54,9$$

де E – нормована освітленість, $E = 150$

S – площа освітленої ділянки, $S = 48 \cdot 24 = 1152$

K – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в результаті забруднення ламп и освітлювальної арматури, при середніх виділеннях кіптяви, пилу и диму, $K = 1,5$;

E_{cp} – середня горизонтальна освітленість, визначаємо по таблиці при

$U = 220 \text{ В}$ і потужності лампи $W_2 = 1,0 \text{ кВт}$, $E_{cp} = 4,7 \text{ лк}$.

Необхідна кількість ламп

$$n = \frac{W_1}{W_2} = \frac{54,9}{1,0} = 54,9$$

Приймаємо кількість ламп $n = 55$, що забезпечує рівень освітлення згідно СН 2527 – 82.

3.2.1 Засоби індивідуального захисту

Відповідно до вимог, кожен працівник забезпечується спеціальним одягом і засобами індивідуального захисту (ЗІЗ). Робітники виробничих цехів отримують ЗІЗ згідно з чинними нормативами:

– засоби захисту органів дихання від шкідливих речовин, такі як респіратори та пилозахисні маски;

– спеціальний одяг (комбінезони, куртки, штани тощо), що захищає тіло від впливу хімічних, термічних і механічних факторів зовнішнього середовища;

– захисне взуття для запобігання механічним травмам ніг;

– засоби захисту рук від механічних ушкоджень (різні види рукавичок);

– засоби захисту голови, такі як каски з амортизаторами чи повстані шоломи для захисту від теплового випромінювання;

- засоби захисту обличчя від теплових випромінювань (захисні сітчасті маски або прозорі щитки для захисту від дрібних частинок);
- захисні пристрої для зварювальних робіт (щитки з фібри із спеціальними скельцями для захисту від іскор, пилу та бризок металу);
- засоби захисту органів слуху від надмірного шуму (захисні навушники, шоломи, вушні заглушки та вкладиші);
- окуляри для захисту очей від механічних, хімічних, енергетичних пошкоджень або яскравого світла під час роботи [26].

Перелік ЗІЗ, які видаються ремонтному персоналу, зайнятому на роботах у спікальному відділенні аглофабрики, а також річні норми та періодичність їх видачі зазначені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Річна потреба і періодичність видачі ЗІЗ

№ п/п	Професія або посада	Кількість людей по професії	Спецодяг спецвзуття і інші засоби індивідуального захисту	Терміни носки, міс.	Загальна кількість на рік, шт
1	Слюсар – ремонтник	9	Костюм бав.	12	9
			Ботинки	12	9
			Кирзові чоботи	12	9
			Валянки	36	3
			Рукавиці	1	108
			Окуляри	6	18
			Каска	36	3
			Підшоломник	12	9
			Куртка ватяна	36	3

Джерело: розроблено автором

3.2.2 Санітарно-побутові приміщення і пристрої

Виробничий процес у вогнетривно-вапняному цеху за санітарно-гігієнічними характеристиками згідно з нормами СніП 2.09.04-87 відноситься до групи 2б. Для цієї групи передбачений ряд необхідних побутових приміщень, серед яких: душові, умивальні, пункти харчування, санвузли, місця для питного водопостачання та здоровпункт. Приміщення для зберігання домашнього та спецодягу обладнано для кожного працівника окремою шафою, а їхня кількість розрахована з урахуванням чисельності працівників із 5% резервом [26].

Інші кімнати та об'єкти плануються на основі чисельності працівників у найбільш завантажену зміну.

Кількість душових сіток відповідає нормі: одна сітка на трьох осіб. Умивальні крани розраховані з показника один кран на двадцять працівників.

Самі душові та умивальні розташовуються поруч із санвузлами.

Для харчування працівників облаштовано їдальню із кількістю місць за нормою: одне місце на кожних чотирьох осіб.

Для забезпечення водного балансу і поповнення мінеральних речовин на виробництві встановлені питні фонтанчики та автомати з підсоленою газованою водою. У теплу пору року працівники забезпечуються білково-вітамінним напоєм. Джерела питного водопостачання розміщуються не далі ніж за 75 метрів від робочих місць, відповідно до норми один питний пристрій на 100 осіб.

Санвузли також мають бути розташовані не далі 75 метрів від робочих зон, а кількість санітарних приладів визначається з розрахунку один прилад на п'ятнадцять осіб.

Для працівників цеху, які працюють у цілодобовому режимі, передбачено обслуговування пунктом здоров'я II категорії.

3.3 Пожежна профілактика

Виробничий процес у вогнетривно-вапняному цеху щодо вибухонебезпеки, вибухопожежної та пожежної небезпеки відповідно до СНиП 2.09.02-85 належить до категорії "Г", оскільки у виробництві використовуються негорючі матеріали, такі як вапно та вогнетривкі матеріали, які обробляються в розжареному стані.

Будівля цеху побудована з негорючих матеріалів, включаючи металоконструкції, цеглу, залізобетон, скло тощо, і згідно з вимогами СНиП 2.01.02-85 має II ступінь вогнестійкості [26].

Електрокабельні приміщення класифіковані як категорія В та оснащені системою автоматичного пожежогасіння.

Можливі причини виникнення пожеж на виробничій ділянці включають:

- займання електроустаткування внаслідок перевантажень, перегрівів або коротких замикань (класифікація пожежі – Е);
- займання паливно-мастильних матеріалів через потрапляння на них іскор електричного чи механічного походження, впливу тепла від розжарених предметів або відкритого вогню (класифікація пожежі – В);
- самозаймання промасленого дроту (класифікація пожежі – А).

Для зменшення ризиків виникнення пожеж на ділянці впроваджено наступні заходи:

- оснащення електроустаткування автоматами максимального струмового захисту та плавкими запобіжниками;
- обмеження кількості паливно-мастильних матеріалів добовою потребою, із зберіганням запасів у спеціально обладнаному складі з протипожежними засобами; - винесення трансформаторних кіосків за межі виробничих приміщень;
- обладнання маслопідвалів системами витяжної вентиляції, які видаляють пари масла та знижують їх концентрацію у повітрі;

електроустаткування та освітлення в маслопідвалах виконані у вибухобезпечному виконанні;

– збирання промасленого дрантя в металеві ящики з герметичними кришками із наступним вивозом та спалюванням після завершення робочої зміни у призначених для цього місцях;

– відведення статичних зарядів через заземлювальну мережу.

Ймовірність ураження будівель блискавкою знижено завдяки застосуванню системи блискавкозахисту II категорії, виконаної відповідно до вимог СН 305–77. Для ліквідації можливих пожеж у цеху передбачено використання первинних засобів пожежогасіння, що відповідає «Правилам пожежної безпеки в Україні».

Як первинні засоби пожежогасіння передбачені ручні вогнегасники. Додатково на пожежних щитах розміщено лопи, багри, сокири, лопати та відра. Біля щитів встановлено ящики з піском. Щити розташовані у видимих і легкодоступних місцях поблизу виходів із будівлі. Вичерпний перелік вогнегасників наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Перелік вогнегасників

Категорія приміщення	Площа приміщення, м ²	Кол. пож.	Пінні вогнегасники ємн. 10 л	Порошкові вогнегасники ємн., л			Холоднові вогнегасники ємн. 2 л	Вуглекислотні вогнегасники ємн. 10 л	
				2	5	10		2(3)	5(8)
				Г	800	В		2	-
С	-	4	2			1	-	-	-
1800	А	2	4		2	1	-	-	-
	Д	-	-		2	1	-	-	-
	Е	-	2		2	1	2	4	2

Джерело: розроблено автором

Для гасіння пожеж за допомогою води передбачено пожежний водопровід, інтегрований у виробничу систему. Мережа оснащена пожежними кранами з брезентовими рукавами та відводами всередині приміщень. Уздовж периметра будівлі в підземних колодязях розташовані пожежні гідранти.

Для потрапляння на дах будівлі використовують пожежні сходи, закріплені на зовнішній стіні.

Пожежні щити на території цеху встановлюються із розрахунку один щит на кожні 5000 м² площі. До складу комплекту щита входять:

- три ручні вогнегасники;
- один ящик із піском;
- одне незаймите покривало;
- два багри;
- два ломи;
- дві лопати;
- дві сокири.

Проектом не передбачено систему автоматичного гасіння пожежі. Зв'язок із пожежною охороною здійснюється через диспетчера цеху. Евакуація персоналу в разі пожежі проводиться пішохідними доріжками через основні та запасні виходи відповідно до плану евакуації.

ВИСНОВОК

Проведений аналіз експлуатаційних особливостей і ремонтів кульового млина СМ-1456 у вогнетривко-вапняному цеху дозволяє виявити наступні недоліки його конструкції:

- значна енерговитратність;
- велика маса обертових частин млина, тіл для помолу та самого матеріалу, що подрібнюється, яка створює високий момент інерції, підвищуючи пусковий момент приводу, рівень вібрації машини і динамічні навантаження на фундамент;
- недостатня надійність деталей приводу.

У представленій кваліфікаційній роботі магістра пропонується розробка вібраційного двокамерного млина з двома стадіями помолу. Такий підхід дає можливість скоротити габаритні розміри і масу обладнання, при цьому усунення редуктора та опорних катків підвищує загальну надійність конструкції.

Очікуваний результат полягає у значному збільшенні показників надійності конструкції.

Аналіз ключових показників модернізації демонструє, що запропоноване проектне рішення сприяє зниженню витрат на поточні ремонти обладнання вогнетривко-вапняного цеху Департаменту з виробництва чавуну та сталі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про ефективність використання струминного подрібнення при підготовці руд та концентратів до збагачення та гідрометалургійної обробки / О.В. Бортніков, М.О. Телегіна, В.В. Беліков // Збагачення руд. 1983 р. №5. С. 3-6.
2. Сисолятин С.О., Першуков О.А. Перспективи застосування виборчого подрібнення в газоструминному млині. 1980 р., №4. С. 53.
3. Про газоструминний спосіб підготовки та збагачення куммінгтоніто-магнетитових кварцитів / Л.Ж. Горобець, А.Ю. Красуля та інші // Про газоструминний спосіб підготовки та збагачення куммінгтоніто-магнетитових кварцитів. Київ: Техніка, 1982 р. Вип.8. С. 33-39.
4. Ефективність подрібнювальних апаратів для механічного активування твердих тіл / В.В. Болдирєв, Е.Г. Аввакумов, В.Т. Логвиненко та ін. // Збагачення корисних копалин / Ан. Ін-т Горного діла. 1977 р. С. 5-13.
5. Парасюк П.Ф. Підвищення довговічності великих деталей з абразивостійких сплавів для гірничо-збагачувального обладнання // №6. 1972.
6. Використання баштового млина для тонкого подрібнення. // Збагачення руд кольорових металів. Зарубіжний досвід. вип. 2, 1985 р.
7. Лесін А.Д., Локшина Р.В. Сучасні вібраційні млини та їх застосування у кольоровій металургії за кордоном // Ін-т цніццветмет економіки та інформації. 1987. Вип. 2. 40 с.
8. Виноградов Б.З., Борисов В.С. Підвищення довговічності зубів відкритих пар рудорозмільних млинів // Горний журнал. №3. 1974 р.
9. А.с. 837403. В02С 17/10. Барабаний млин.
10. А.с. 1279666. В02С 17/10. Барабаний млин.
11. Ягупов А.В. Про руйнування шматків міді у млині "МАЯ" // Збагачення з корисними копалинами: Респ. міжвідомств, наук.-техн. / М-во вищ. освіти. Київ: Техніка, 1984. вип.34. С. 42-46.
12. Ягупов А.В. Результати випробувань дослідно-промислової моделі млина динамічного самоподрібнення МАЯ-РБ // Горний журнал. 1980. №6. С. 59-60.

13. Гейзенблазен Б.Е., Зорін В.Ф., Василенко В.І. Радіоізотопний метод автоматичного контролю заповнення млинів подрібнення. 1977 р., №5.
14. Лесін А.Д., Локшина Р.В. Дослідження щодо застосування відцентрових млинів при подрібненні руд //Кольорові метали. 1985. №12. С. 78-82.
15. А.с. № 867420, В 02 С 19/46, В 02 С 17/14. Вибраційний млин/ М.Г. Ванштейн, Л. П. Зарогатський, О.Д. Рудин і В.Я. Туркін. -№ 2807610/29 – 33. Заявл. 16.07.79; Опубл 30.09.81, Бюл. №36. 4 с.
16. Елементи теорії і методика розрахунку основних параметрів вібротлина // Наукове видання. 1957. 118 с.
17. Поляков В.С., Барбаш И.Д. Муфти. Конструкція та розрахунок. Вид. 4. перероб. та дод. Машинобудування, 1973. 224с.
18. Анурьев В.І. Довідник конструктора-машинобудівника: У 3 т. Т. 1. - 5-те вид., перераб. та дод. Машинобудування, 1979 р. 728 с.
19. Чернавський С.А., Іцкович Г.М., Кисилев В.А. та ін. Проектування механічних передач. Уч. посібник. Машинобудування, 1978. 608 с.
20. Решетов Д.П. Деталі машин. Машинобудування, 1974. 656 с.
21. Бейзельман Р.Д., Ципкін Б.В., Перель Л. Я. Підшипники кочення. Вид. 6-е, перероб. та дод. Машинобудування, 1975. 572с.
22. Касаткіна Н.Л. Ремонт та монтаж металургійного обладнання: 2-ге вид., Металургія, 1970. 312 с.
23. Плахтін В.Д. Надійність, ремонт та монтаж металургійних машин. Металургія, 1983. 415 с.
24. Седуш В.Я. Надійність, ремонт та монтаж металургійних машин. К.: Вища школа, 1976. 228 с.
25. Автоматизовані мастильні системи та пристрої / В.Я. Семенов, П.М. Курганський, В.І. Кузьмін та ін. Машинобудування, 1982. 176 с.
26. 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: ПП "Ліра ЛТД", 2005. 850 с.

ДОДАТКИ

ЗГОДА

здобувача(чки) вищої освіти

Державного університету економіки і технологій
про перевірку кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії Університету

Я, *Шамрієнко Богдан Володимирович*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна магістерська робота *«Механічне обладнання Вогнетривко-вапняного цеху Департаменту з виробництва чавуну та сталі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Розробка вібраційного двокамерного млина»* 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).

15.01.2026

Шамрієнко Б.В
(ініціали, прізвище, власноруч)