

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

Альошкін Валерій Валерійович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему

Механічне обладнання РЗФ №1 ГД ПАТ «АМКР». Розробка вібраційного приводу млина кулькового МШБ-3200/5700.

(повна назва теми)

за матеріалами

Рудозбагачувальної фабрики №1 гірничого департаменту ПАТ «Арселор-Міттал Кривий Ріг»

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник

асистент

(наук. ступінь, вчене звання)

(підпис)

Засельська Т. О.

(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

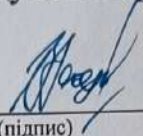
Рівень вищої освіти _____ Другий (магістерський) _____

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

Альошкін Валерій Валерійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра

Механічне обладнання РЗФ №1 ГД ПАТ «АМКР». Розробка вібраційного приводу млина кульового МШБ-3200/5700.

керівник кваліфікаційної роботи магістра *Засельська Т. О., асистент.*

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

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

2. Строк подання здобувачем кваліфікаційної роботи до кафедри *15.01.2026*

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи магістра

Умови виробництва рудозбагачувальної фабрики №1 гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Конструкція та технічна характеристика вібраційного млина кульового МШБ-3200/5700, 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)

3 аркуші формату А1 складальних креслеників: кульовий млин ШБР 320/570; приводний механізм; блок пружинний; 2 аркуші А1 деталей: кришка торцева, болт футеровочний, дебаланс, кришка підшипника, кришка підшипника, втулка дистанційна, болт чистий, пружина.

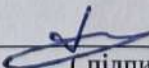
6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітична частина	Засельська Т. О., ас.	 20.10.25	 20.10.25
Основна частина	Засельська Т. О., ас.	 20.10.25	 20.10.25
Організація безпечного виробництва	Засельська Т. О., ас.	 20.10.25	 20.10.25

7. Дата видачі завдання 21 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	вик.

Здобувач (ка)  (підпис)

Альошкін В.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи  (підпис)

Засельська Т. О.
(прізвище та ініціали)

Перв. примен.		№ строки	Формат	Обозначение	Наименование	Кол. листов	№ экз.	Примечание
		1						
		2			Документація загальна			
		3						
		4			Знову розроблена			
		5						
		6	A1	KPM.133.26.01.00.00.000СК	Складальне креслення	1	-	
		7	A4	KPM.133.26.01ПЗ	Пояснювальна записка	68	-	
		8						
		9						
		10			Документація по			
		11			складальним одиницям			
		12						
		13			Знову розроблена			
		14						
		15	A1	KPM.133.26.01.02.00.000СК	Приводний механізм			
		16			Складальне креслення	1	-	
		17	A1	KPM.133.26.01.03.00.000СК	Блок пружинний			
		18			Складальне креслення	1	-	
		19						
		20						
		21						
		22						
		23						
		24						
Подп. и дата								
Взам. инв. №								
Инв. № дубл.								
Подп. и дата								
Инв. № подл.								
Изм. Лист								
Разраб.								
Пров.								
Н.контр.								
Утв.								
		133.26.01.KPM Вібраційний кульовий млин. Відомість кваліфікаційної роботи магістра						
		Лит. М Лист 4 Листов 2 ТННІ ДУЕТ кафедра ІГМ гр. ГМ-24м						

Копировал

Формат А4

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра: 68 стор., 10 рис., 6 табл., 3 додатка, 17 джерел.

Об'єкт розробки: вібраційний кульковий млин.

Мета розробки – підвищення надійності роботи машини, поліпшення експлуатаційних характеристик, зменшення витрат на ремонт та обслуговування, зменшення енергетичних витрат.

Метод досліджень – аналітичний – аналіз виявлених технічних рішень з метою можливості їх застосування для удосконалення конструкції кулькового млина.

Запропонована конструкція кулькового млина. Визначена необхідна потужність двигуна для роботи дробарки.

Запропонована модернізація машини дозволить поліпшити експлуатаційні характеристики машини, зменшити вагу приводу, збільшити міжремонтний період.

Результати роботи можуть бути використані при модернізації кулькового млина. Очікуваний економічний ефект від вібраційного кулькового млина за рахунок зменшення потужності приводу складає 4864828 грн. в цінах 2025 р.

Ключеві слова: кульовий млин, вібропривод, кільця, барабан, пружина, броня.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Характеристика рудозбагачувальної фабрики ПАТ „АМКР”	8
1.2 Призначення і область застосування кулькового млина	10
1.3 Технічна характеристика кулькового млина	11
1.4 Опис конструкції машини-прототипу	12
1.5 Аналіз недоліків	14
1.6 Формування мети та задач	15
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	16
2.1 Аналіз стану існуючих інноваційних рішень	16
2.2 Пропозиції по досягненню поставленої мети	24
2.3 Аналітичні розрахунки	27
2.4 Монтаж, ремонт, змащення	42
2.4.1 Прив’язка машини до технологічного тракту	42
2.4.2 Технологічна карта монтажу кульового млина	44
2.4.3 Зношення відповідальних деталей та методи їх відновлення	46
2.4.4 Розробка графіка планово-попереджувальних ремонтів	47
2.4.5 Змащення	48
2.5 Економічна доцільність запропонованих рішень	51
3 ОРГАНІЗАЦІЯ БЕЗПЕЧНОГО ВИРОБНИЦТВА	58
3.1 Аналіз основних шкідливостей і небезпечностей рудозбагачувальної фабрики	58
3.2 Заходи щодо зниження шкідливостей і небезпечностей на рудозбагачувальній фабриці	60
3.2.1 Засоби індивідуального захисту	62
3.2.2 Санітарно-побутові приміщення і пристрої	63
3.3 Пожежна профілактика	64
ВИСНОВКИ	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67
ДОДАТКИ	69

ВСТУП

Кульовий млин відноситься до обладнання для подрібнення, яке протягом більш ніж 150 років використання не зазнало суттєвих конструктивних змін. Це підтверджує як його ефективність і важливість у промисловості, так і наявність певних обмежень та недоліків. Питання організації процесу подрібнення історично вирішувалося не комплексно, а через впровадження окремих рішень — шляхом вибору кількості стадій подрібнення у технологічній схемі, визначення оптимальної форми та матеріалу футерівки, розмірів куль, а також ступеня заповнення барабана ними тощо.

Млини даного типу є одним із ключових агрегатів у процесах збагачення руд чорних та кольорових металів, у виробництві цементу, а також під час розмелу вугілля на теплових електростанціях. Подрібнення у цих галузях вважається найбільш енергоємною і затратною операцією. На збагачувальних фабриках і цементних комбінатах витрати на цю стадію можуть перевищувати 60% загальної собівартості переробки сировини. Саме тому проблема зменшення вартості процесів дроблення і подрібнення є надзвичайно актуальною.

Одним із шляхів підвищення ефективності є модернізація існуючих конструкцій та розробка нових моделей млинів. Таке обладнання має не лише забезпечувати необхідні технологічні параметри, але й легко інтегруватися у виробничі схеми підприємства без значних фінансових і трудових витрат. Особливу увагу приділяють зменшенню енергоспоживання при подрібненні. Серед сучасних перспективних рішень виділяють удосконалені кульові млини, що поєднують традиційну надійність з новими підходами до організації процесу.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика рудозбагачувальної фабрики ПАТ „АМКР”

Для підвищення вмісту заліза у видобутій руді її направляють на рудозбагачувальні фабрики, де сировину переробляють у концентрат із вмістом заліза понад 60%. Такі фабрики є окремими підприємствами в організаційному та технічному плані й зазвичай не входять безпосередньо до складу металургійних заводів. Проте для цілісного розуміння процесу виробництва чорних металів необхідно коротко розглянути їх обладнання та основні операції збагачення.

Для стабільної роботи доменної печі потрібна сировина з однорідною гранулометриєю, адже це забезпечує вільний доступ відновних газів до кожного шматка руди. Підготовлену руду поділяють на класи за розмірами частинок і завантажують у доменну піч окремими потоками, що покращує газопроникність шихти. Використання занадто дрібних або пилюватих рудних фракцій небажане, адже вони заповнюють проміжки між більшими шматками, ускладнюючи проходження газів і погіршуючи хід доменного процесу. До того ж підвищується винос пилу з колошниковими газами. Тому дрібні класи та рудний пил попередньо згрудковують в окатиші або піддають агломерації. Для отримання концентрату з бідних руд їх додатково обробляють на збагачувальних фабриках.

Попередня підготовка руди та флюсів охоплює дроблення, грохочення, сортування, збагачення та агломерацію. Подрібнення залізної руди проводять у дві-чотири стадії залежно від початкових характеристик сировини. Якісна підготовка матеріалу забезпечує стабільність доменного процесу, зменшує витрати коксу, знижує вартість транспортування за рахунок вилучення пустої породи, продовжує строк служби доменних печей і суттєво підвищує їх

продуктивність. Отриманий економічний ефект компенсує витрати на будівництво рудозбагачувальних підприємств.

Основним завданням збагачення є вилучення пустої породи з вихідної руди. Фабрики складаються з ряду відділень, які формують технологічний цикл: дробильні, дробильно-сортувальні, рудосортувальні, промивні, флотаційні та гравітаційні. Сировина з шахти чи кар'єру надходить у корпус крупного дроблення, де завантажується в бункери й подається пластинчастими живильниками на шоківі або конусні дробарки. Після першого етапу дроблення матеріал просіюють на грохотах, а крупніші фракції спрямовують на подальше подрібнення в середньому та дрібному дробленні.

Подрібнена руда надходить у відділення сухої сепарації, де за допомогою електромагнітів виділяють хвости (відходи з домішками пустої породи) і корисний концентрат. Концентрат спрямовується на подальше подрібнення в кульових млинах і потім — на мокру магнітну сепарацію. Для зневоднення матеріалів використовують класифікатори та вакуум-фільтри, після чого концентрат сушать у барабанних установках. Передача матеріалів між агрегатами здійснюється конвеєрами, воронками та тічками.

Крупне дроблення зазвичай виконують на шоківих і конусних дробарках, середнє — на валкових або грибоподібних конусних дробарках, дрібне — на короткоконусних, молоткових або дезінтеграторах, тоді як тонке подрібнення проводиться у стрижневих та кульових млинах. Для класифікації за розміром частинок застосовують грохоти з різними робочими органами: сітками, решітками або листами. Вони можуть бути барабанними, роликowymi, інерційними чи електровібраційними. З одного сита отримують два продукти — надрешітний та підрешітний.

Якщо руда містить достатню кількість заліза, то після дроблення її можна подавати безпосередньо в доменний цех. Дрібні фракції (менше 6 мм) відправляють на агломераційні фабрики для згрудкування. У промисловості

використовують п'ять основних методів збагачення руд: ручну рудовідбірку, промивання, гравітаційний метод, флотацію та магнітну сепарацію.

Рудовідбірка базується на візуальному відокремленні корисних шматків від пустої породи за кольором чи блиском, проте через низьку ефективність у сучасному виробництві практично не застосовується. Промивання використовують для сидеритів, бурих залізняків, марганцевих руд, коли пусті породи розмиваються швидше, ніж корисні мінерали. Однак цей метод поступово витісняють більш прогресивні способи. Гравітаційне збагачення ґрунтується на різниці густини мінералів у водному середовищі й застосовується для руд із міцною пустою породою. Флотація дозволяє відокремити мінерали з різними фізико-хімічними властивостями поверхні, наприклад у кварцитах.

Найпоширенішим способом збагачення залізних руд є магнітна сепарація, на яку припадає понад 90% виробництва концентрату. Метод заснований на різній магнітній сприйнятливості залізних мінералів та пустої породи: у магнітних сепараторах залізовмісні частинки притягуються магнітом, тоді як порожня порода відділяється.

Таким чином, цикл переробки руди на збагачувальних фабриках включає кілька етапів: підготовку сировини, її безпосереднє збагачення, обробку концентратів і хвостів. Для виконання цих операцій використовується основне та допоміжне обладнання, призначене для прийому, транспортування, зберігання й обробки матеріалів, а також для збереження кінцевих продуктів.

1.2 Призначення і область застосування кулькового млина

Трубчасті кульові та стрижневі млини застосовують для процесів сухого та вологого помелу різноманітної сировини: цементного клінкеру, металевих і неметалевих руд, а також інших корисних копалин. Такі установки забезпечують високий ступінь подрібнення і можуть працювати як

у відкритому, так і в замкненому циклах. Використання млинів охоплює багато сфер промисловості — виробництво будівельних матеріалів, металургію, гірничодобувну та гірничо-хімічну галузі, а також обробку вогнетривких матеріалів.

Млин функціонує безперервно і може бути включений у різні технологічні лінії. Завантаження і розвантаження продукту здійснюється через центральні або бокові вузли. Подрібнення досягається завдяки дії подрібнюючи тіл, що дозволяє отримати кінцевий матеріал із заданою рівномірною крупністю.

Основними перевагами кульових млинів є простота конструкції, висока надійність у роботі, значна продуктивність і безпечність експлуатації. Вони не виходять з ладу навіть при потраплянні у барабан неподрібнюючих частинок. Продуктивність млина визначається рядом факторів: властивостями оброблюваної сировини, початковою крупністю шматків, рівнем вологості, необхідною тонкістю помелу та рівномірним завантаженням подрібнюючи тіл.

1.3 Технічна характеристика кульового млина

У таблиці 1.1. наведені основні технічні дані кульового млина.

Таблиця. 1.1.

Технічні дані кульового млина

Найменування	Од. вим.	Значення
Конструктивний різновид млина	-	ШБМ-320/570
Пропускна здатність	т/год	25
Поперечний розмір барабана	м	3,2
Робоча довжина барабана	м	5,7
Швидкість обертання барабана	об/хв	17,9
Вага подрібнюючих тіл у барабані	т	54

Електрична потужність двигуна	кВт	800
Загальна маса агрегату	т	99

Розроблено з використанням [1]

1.4 Опис конструкції машини-прототипу

Збагачення залізних руд є ефективним лише за умови повного вивільнення корисних мінералів від пустої породи. Для досягнення високого ступеня вилучення тонко- та дрібновкраплених руд застосовують процес подрібнення в кульових млинах. Окрім цього, такі млини широко використовують для дроблення вапняку.

Подрібнення може здійснюватися у двох режимах — сухому та мокрому. Використання води під час процесу дозволяє підвищити питому продуктивність обладнання, зменшити явище переподрібнення та усунути проблему утворення пилу. Обсяг подачі води визначається таким чином, щоб співвідношення маси твердого матеріалу до рідкого було максимально можливим при збереженні рухливості пульпи всередині барабана. Чим вища густина пульпи, тим інтенсивніше протікає процес подрібнення. У практиці експлуатації кульових млинів співвідношення «тверде:рідке» зазвичай становить від 3:1 до 1,5:1.

Основний елемент млина (рис. 1.1) — це порожнистий циліндричний барабан, що обертається зі швидкістю близько 15–18 об/хв. Внутрішня поверхня барабана футерується броньовими плитами, стійкими до зношування. У робочий простір завантажуються мелючі тіла — сталеві кулі діаметром від 25 до 150 мм або стержні товщиною 40–100 мм.

Барабан обладнаний двома порожнистими цапфами: через одну подається вихідний матеріал (руда чи вапняк), а через протилежну — з лійкою — відбувається вивантаження подрібненого продукту. Завантаження млина здійснюється безперервно за допомогою живильника, який працює синхронно з обертанням барабана.

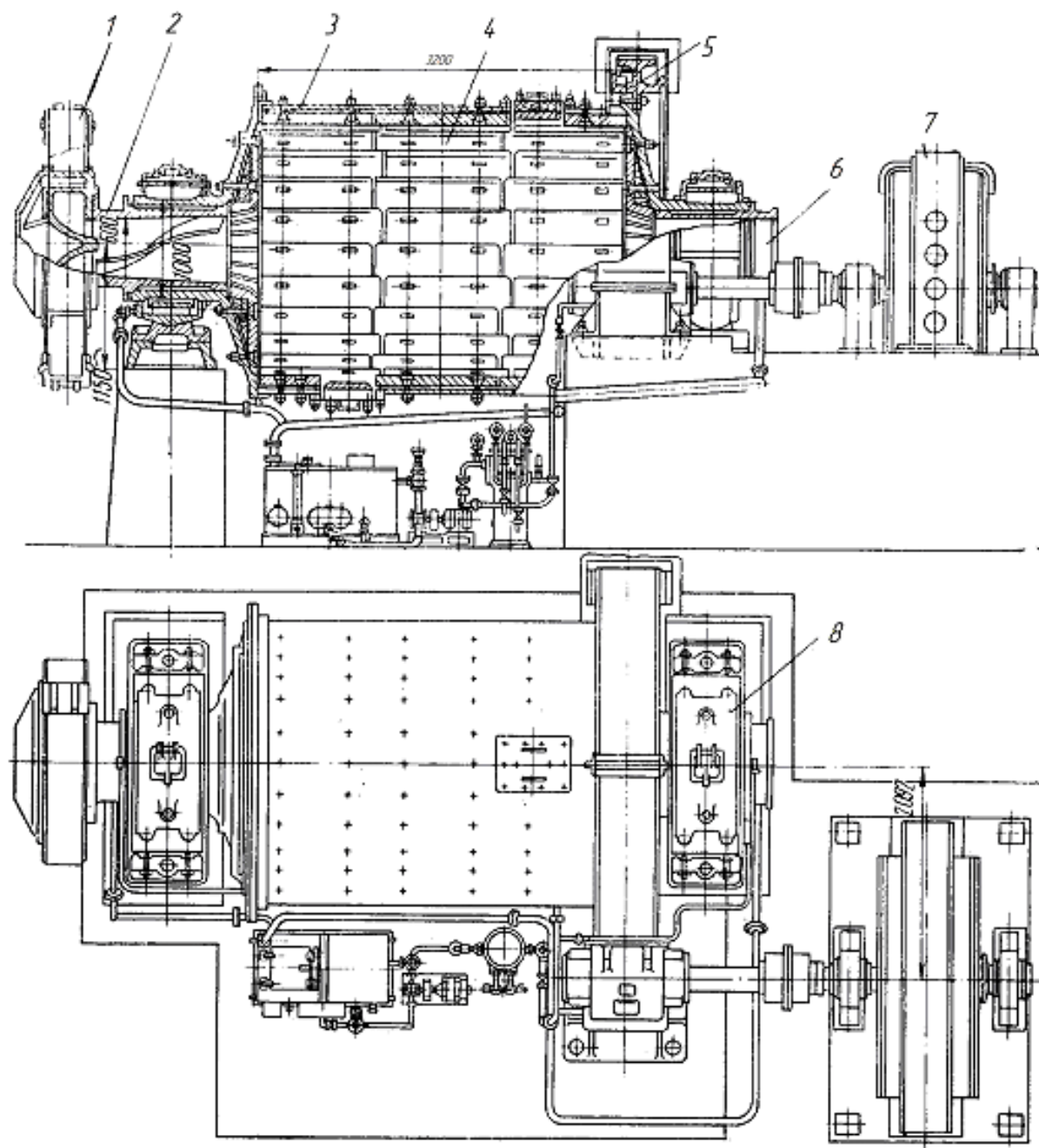


Рис. 1.1. Конструкція кулькового млина:

- 1 – механізм подачі матеріалу; 2 - вхідна цапфа; 3 – робочий барабан;
 4 – внутрішнє бронювання; 5 - передача зубчатого типу;
 6 – вихідна цапфа; 7 - електромотор; 8 – підшипниковий блок
 (розроблено автором)

Привод млина складається з електродвигуна, що передає обертання на барабан через зубчасту передачу. Конструкція спирається на підшипники, що забезпечують стабільну роботу обладнання. Принцип дії кульових і стержневих млинів базується на взаємодії мелючих тіл і матеріалу під час обертання барабана. Кульові млини застосовуються переважно для досягнення тонкого подрібнення. У багатьох технологічних схемах перед завантаженням у кульові млини руда проходить попереднє подрібнення у стержневих млинах.

Для забезпечення необхідної продуктивності та резервування на випадок ремонту у збагачувальних відділеннях встановлюють декілька млинів. Маса одного такого агрегата (без завантажених куль чи стержнів) може перевищувати 150 тонн.

Перед запуском млина необхідно перевірити заповнення кожуха вінцевої шестерні мастилом, при цьому висота мастильного шару повинна бути не менш ніж удвічі більшою за висоту зуба. Електродвигун млина обов'язково з'єднаний з мотором маслонасоса, що гарантує подачу мастила у підшипники при пуску. Перед включенням обладнання здійснюють прокачування мастила по системі. Робочий тиск мастила має бути не нижче $0,5 \text{ МПа/см}^2$.

1.5 Аналіз недоліків

Попри значні переваги кульових млинів, їх експлуатація має низку недоліків, зумовлених як конструктивними особливостями, так і умовами роботи обладнання. Серед основних недоліків варто відзначити:

- потребу у використанні потужних електродвигунів;
- порівняно низький коефіцієнт корисної дії приводу;
- суттєві вібраційні навантаження, що передаються на фундамент;
- виникнення явища надмірного подрібнення матеріалу.

Згідно з аналізом даних агрегатного журналу встановлено, що перелічені недоліки пов'язані, перш за все, із:

- високою металоємністю конструкції млина;
- значними витратами електроенергії під час роботи;
- обмеженими показниками продуктивності та ефективності процесу подрібнення.

1.6 Формування мети і задачі

Основним завданням цієї роботи є підвищення надійності експлуатації кулькового млина та зменшення витрат, пов'язаних із його ремонтом і технічним обслуговуванням. Для досягнення поставленої мети здійснюється детальний аналіз конструктивних особливостей млина, опрацювання літературних та патентних джерел, а також проведення розрахунків основних робочих параметрів агрегату. На основі отриманих результатів і виконаного огляду формується складальне креслення, що відображає запропоновані заходи з модернізації конструкції.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз стану існуючих інноваційних рішень

Конструкція кульового млина, що описана в авторському свідоцтві SU 1366215 (рис. 2.1), складається з робочої помольної камери 1, заповненої мелючими кулями 2. Камера встановлена на цапфах 3, які розташовані в опорах 4 корпусу 5. При цьому цапфи мають ексцентричне положення, що забезпечує особливий характер руху камери. На корпусі розміщений віброзбудник 6, який створює необхідні коливання під час роботи обладнання.

Для передавання обертального руху на камеру використовується система шківів 7, що з'єднані зі шківками 8 віброзбудника. Сам віброзбудник отримує рух від вала, який через муфту 9 з'єднаний з електродвигуном 10. Електродвигун закріплений на несучій рамі 11, яка також підтримує помольну камеру. Кріплення камери здійснено через пружні елементи 12, що знижують динамічні навантаження та вібрації.

Принцип роботи млина полягає в тому, що подрібнення матеріалу у камері 1 відбувається завдяки ударам і тертю мелючих тіл 2, рух яких зумовлений складною траєкторією самої камери. Камера здійснює обкатування своїми цапфами 3 по опорах 4. Система передачі 7 і 8 забезпечує стійкість і точність планетарного руху, що виникає внаслідок коливань, створюваних віброзбудником 6. Це стає можливим завдяки узгодженню передаточних чисел між шківками 7,8 та парою 3,4. Важливо, щоб передаточне відношення підтримувалося стабільним, що досягається шляхом усунення ковзання в передачі при збереженні еластичності з'єднання.

Наявність такої передачі з відповідним передаточним числом дозволяє підвищити довговічність та надійність млина. Це пояснюється зменшенням зносу фрикційно-планетарної пари та зниженням ризику відмов під час

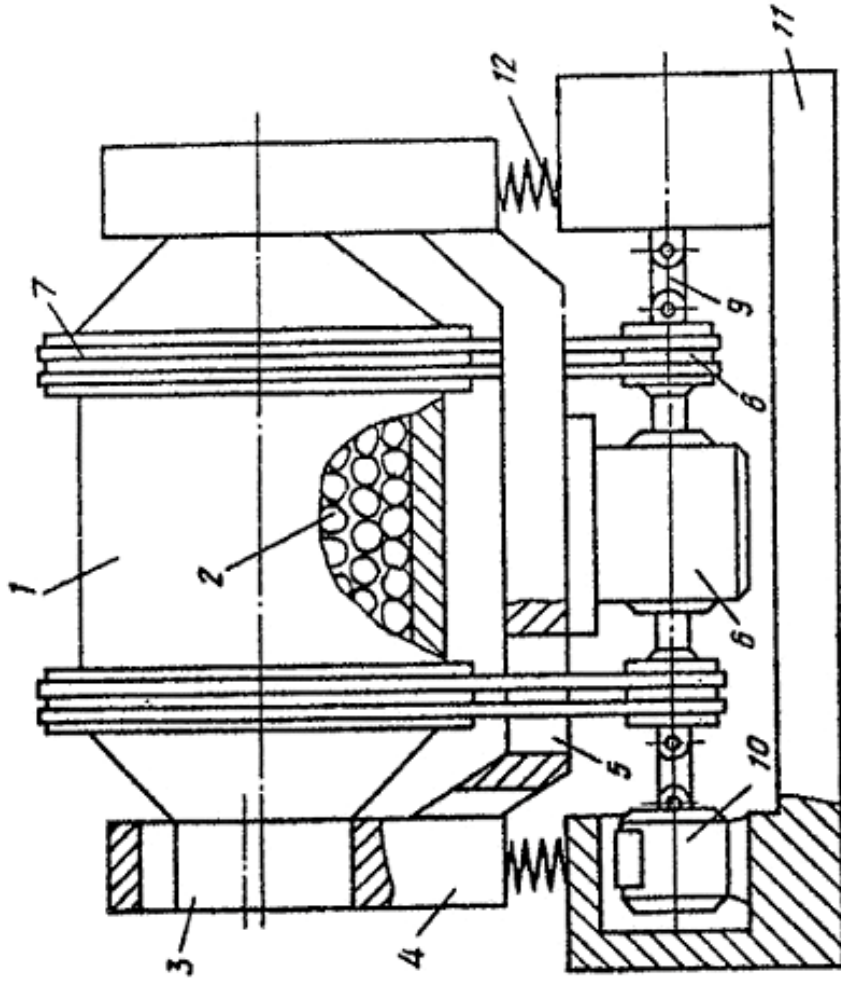


Рис. 2.1. Конструкція кулькового млина по авторському свідоцтву SU 1366215:

1 – робоча камера для помолу; 2 – подрібнювальні колі; 3 – опорна цапфа; 4 – підшипникова опора;
5 – несучий корпус; 6 – віброзбудник; 7 – шків що приводиться у дію; 8 – шків що передає обертання;
9 – з’єднувальна муфта; 10 – електродвигун; 11 – опорна рама; 12 – пружний елемент.

розроблено із використанням [6]

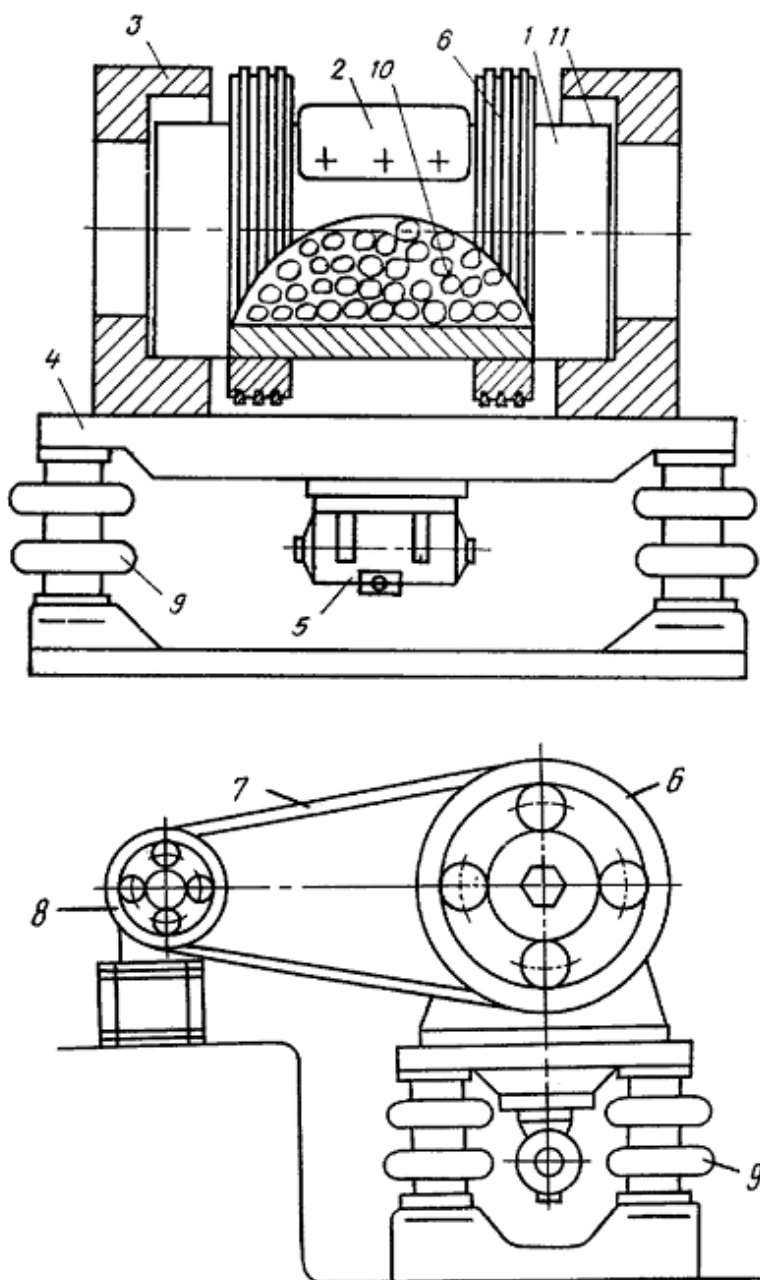
запуску агрегату. Таким чином, дана конструктивна схема забезпечує більш ефективну роботу обладнання в умовах інтенсивної експлуатації.

Конструкція кульового млина, наведена в авторському свідоцтві SU 1165464 (див. рис. 2.2), являє собою помольну камеру 1, яка обладнана завантажувальною кришкою 2 і через цапфи встановлена з технологічними зазорами в циліндричних опорах 3, що закріплені на корпусі 4. Сам корпус додатково оснащений віброприводом 5, який забезпечує створення необхідних коливальних рухів під час роботи обладнання. На торцях цапф барабана розташовані шківів 6, що входять у склад клинопасової передачі 7. Передача з'єднує шківів 6 з приводними шківів 8, завдяки чому формується автономна система обертання помольної камери. Таким чином, млин має подвійний привід – вібраційний та незалежний привод обертання, що підвищує гнучкість і надійність його функціонування.

Опорна частина корпусу встановлена на пневмопружних елементах 9, які виконують функцію амортизаторів, зменшуючи вплив вібраційних і ударних навантажень на несучу конструкцію та фундамент. Усередині завантажувальної камери розташовані мелючі тіла 10, які безпосередньо беруть участь у процесі подрібнення. Варто зазначити, що шківів 6 можуть закріплюватися не лише на кінцях барабана, а й у його центральній частині, що розширює можливості компоновки приводу. Крім того, на зовнішній поверхні камери передбачені спеціальні пояси обкатки 11, які стабілізують планетарний рух та забезпечують рівномірність роботи.

У процесі експлуатації помольна камера 1 здійснює планетарний рух у межах циліндричних опор 3. Це дозволяє реалізувати складний режим роботи, що поєднує циркуляційні та вібраційні переміщення завантаження. Такий режим значно підвищує інтенсивність взаємодії матеріалу з мелючими тілами і, відповідно, ефективність помолу.

Важливою перевагою є комбінування віброприводу з автономним приводом обертання. Завдяки цьому конструктивному рішенню забезпечується більш стабільна робота млина, особливо під час його пуску,



**Рис. 2.2. Конструкція кульового млина
по авторському свідоцтву SU 1165464:**

- 1 – камера для подрібнення матеріалу; 2 – кришка для завантажування сировини; 3 – опори циліндричної форми; 4 – основний корпус млина;
5 – привод вібраційного типу; 6 – шків що приводиться у рух;
7 – передача клинопасового з'єднання ; 8 – шків що здійснює привід;
9 – пневматично-пружний амортизуючий вузол;
10 – кулі або інші мелючі тіла; 11 – кільцевий пояс.

розроблено із використанням [7]

коли зменшується необхідне зусилля, що прикладається до віброприводу. Це дозволяє знизити навантаження на привідний механізм, продовжити термін його служби та підвищити надійність функціонування обладнання в цілому.

Конструкція кульового млина, розроблена згідно з авторським свідоцтвом SU 1457996 (див. рис. 2.3), являє собою удосконалений агрегат, призначений для ефективного подрібнення матеріалів за рахунок поєднання вібраційного та планетарного руху робочої камери. Основним елементом установки є помольна камера 3, яка через пружини 2 спирається на фундамент 1, що забезпечує амортизацію динамічних навантажень під час роботи та знижує рівень вібрацій, які передаються на опорну поверхню. Усередині камери знаходиться робоче середовище 4, яке складається з тіл, що мелють, і забезпечує безпосередній процес подрібнення.

Млин обладнаний мотор-вібраторами 5, які створюють коливальні рухи камери, необхідні для інтенсифікації процесу помелу. Завантаження вихідного матеріалу здійснюється через патрубок 6, тоді як видалення готового продукту проводиться через вивантажувальний патрубок 7. Для розділення потоку матеріалу за крупністю всередині робочої зони розташована перфорована поперечна перегородка 8 та поздовжня решітка 9, які відіграють ключову роль у процесі сортування і руху частинок.

Поздовжня решітка 9 жорстко закріплена в корпусі помольної камери 3 під певним нахилом від переднього (на схемі – правого) торця до задньої частини камери. Така компоновка забезпечує природний рух матеріалу під дією вібрації та сили тяжіння. Конструктивною особливістю решітки є поступове збільшення розмірів її отворів у напрямку до нижнього кінця — це дозволяє великим частинкам залишатися в робочій зоні довше, а дрібним швидше переходити до етапу вивантаження. Обидва патрубки 6 і 7 розташовані поблизу переднього торця камери, що забезпечує компактність схеми і зручність технічного обслуговування.

Отвори решітки зображені умовно, однак зазвичай вони мають форму віялоподібних колосникових пластин, що розходяться донизу, завдяки чому

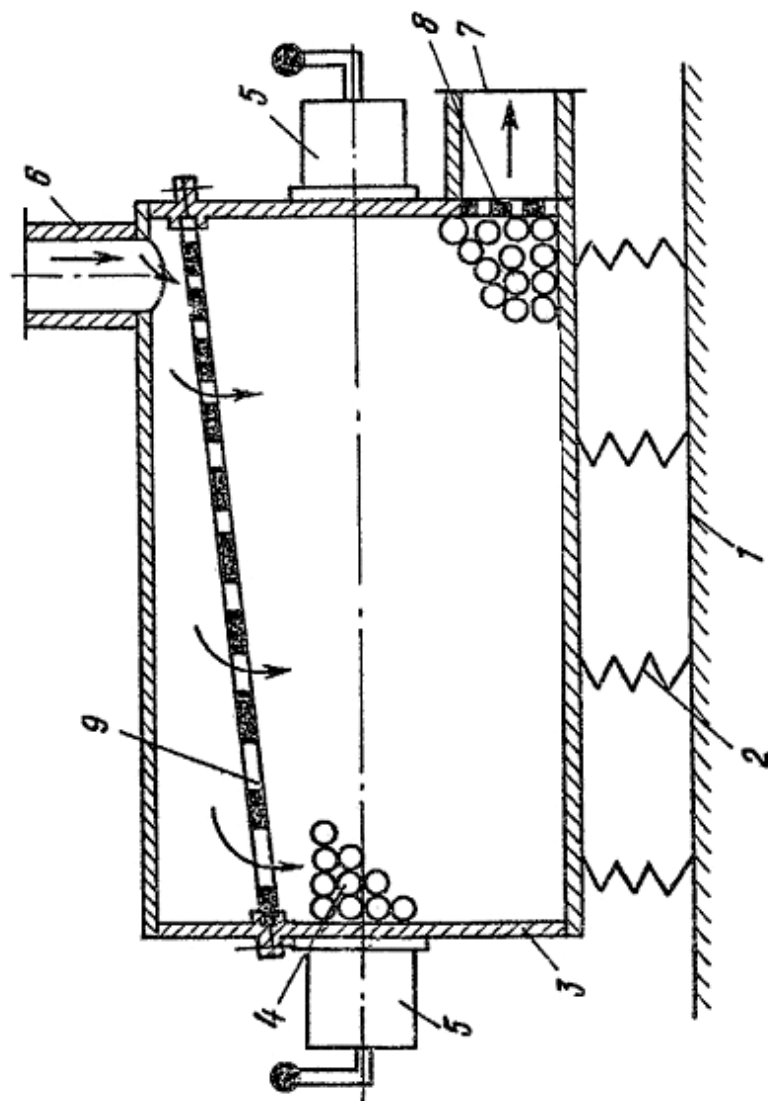


Рис 2.3. Конструкція кулькового млина по авторському свідоцтву SU 1457996:

1 - основа; 2 – пружний елемент амортизації; 3 – камера для подрібнення матеріалу;

4 – робоча суміш подрібнення; 5 – електромотор з віброприводом;

6 – патрубок для завантаження сировини; 7 – патрубок для вивантаження подрібненого продукту;

8 – поперечна перегородка всередині камери ; 9 - повздовжня решітка для сортування

розроблено із використанням [8]

знижується ризик їхнього забивання і поліпшується рівномірність подрібнення. Камера сконструйована таким чином, що має роз'єм у площині розташування решітки 9, що значно спрощує її очищення, заміну або проведення ремонтних робіт без необхідності демонтажу всієї установки.

Під час роботи млина матеріал, який надходить через завантажувальний патрубок 6, під впливом вібраційних коливань та нахилу решітки починає переміщуватися в напрямку до заднього торця камери. У процесі цього руху відбувається одночасне сортування частинок за розмірами: дрібні фракції проходять через отвори решітки раніше й потрапляють у робочу порожнину ближче до патрубка 7, тоді як більші частинки, що мають вищу масу, поступово переміщуються до нижньої частини решітки, де перебувають довше та піддаються додатковому подрібненню.

Такий спосіб організації робочого процесу дозволяє узгодити тривалість подрібнення з початковою крупністю матеріалу, що значно підвищує ефективність роботи обладнання. Завдяки більш рівномірному навантаженню на робоче середовище досягається стабільна продуктивність млина, зменшуються енерговитрати та забезпечується отримання готового продукту з необхідною гранулометричною характеристикою.

Отже, застосування похилої решітки з отворами, що поступово збільшуються, та використання пружної системи підвіски помольної камери створюють оптимальні умови для інтенсивного та контрольованого подрібнення. Така конструкція відрізняється підвищеною надійністю, зручністю обслуговування й дозволяє досягати високої ефективності переробки сировини при збереженні простоти технічної реалізації.

Висновки по літературно-патентному огляду.

Проведений аналіз науково-технічної та патентної літератури показав, що більшість існуючих технічних рішень у сфері проектування кульових млинів спрямовані на вдосконалення їх конструкції з метою підвищення продуктивності, зниження енергоємності процесу подрібнення та

покращення якості готового продукту. Виявлені конструктивні пропозиції охоплюють удосконалення систем завантаження та вивантаження матеріалу, оптимізацію руху робочого середовища, покращення динамічних характеристик корпусу та раціоналізацію процесів сепарації частинок за крупністю.

Серед розглянутих технічних рішень найбільш раціональним і ефективним визнано конструкцію, запатентовану за авторським свідоцтвом SU 1457996, яка відзначається підвищеним коефіцієнтом корисної дії та зменшеними енергетичними витратами під час експлуатації. Її перевагою є поєднання функцій подрібнення і сортування матеріалу безпосередньо в робочій камері, що дає змогу інтенсифікувати процес помелу.

Разом з тим, аналіз технічного рішення виявив і низку конструктивних обмежень, що звужують можливості практичного застосування даної схеми. Зокрема:

- відсутність механізму для зміни кута нахилу решітки унеможливорює ефективний розсів вологих або липких матеріалів, схильних до злипання; відсутність можливості регулювання часу перебування частинок на решітці не дозволяє адаптувати роботу млина до різних фізико-механічних властивостей сировини, що надходить на подрібнення, а отже, знижує ефективність процесу розділення за довжиною камери;
- конструкція повздовжньої решітки не передбачає наявності бортів, що призводить до часткового просипання матеріалу і втрати частини продукту.

Таким чином, хоча розглянуте технічне рішення забезпечує помітне підвищення ефективності подрібнення, воно потребує подальшої модернізації для усунення зазначених недоліків. Це створює передумови для розроблення оновленої конструкції кульового млина, у якій буде реалізовано можливість регулювання кута нахилу решітки, тривалості перебування матеріалу в робочій зоні та усунення втрат при транспортуванні частинок у процесі помелу.

2.2 Пропозиції по досягненню поставленої мети

У процесі опрацювання технічної документації, креслень і аналізу літературних джерел було розроблено пропозицію щодо вдосконалення конструкції кульового млина. Суть запропонованої модернізації полягає у встановленні на нижньому кінці плоского розсіювального елемента (решітки) шарнірно закріпленого щонайменше одного вертикального гвинтового стержня. Цей стержень взаємодіє з різьбовою втулкою, жорстко зафіксованою на корпусі млина, що дозволяє змінювати положення решітки під необхідним кутом. Крім того, з обох боків розсіювальний елемент обладнано бортами, які запобігають втратам матеріалу в процесі його руху. Така конструкція дає змогу регулювати кут нахилу поздовжньої решітки, забезпечуючи оптимальні умови для розсіювання матеріалу, а наявність бортів унеможливорює його просипання.

Модернізований вібраційний кульовий млин (рис. 2.4) включає горизонтально розташований корпус 2, змонтований на віброізоляторах 1. Усередині корпусу розміщені мелючі тіла 3, над якими під певним кутом встановлено плоский розсіювальний пристрій 4 (сито, решітка або колосник). Конструкція передбачає наявність завантажувального 5 та розвантажувального 6 патрубків, розташованих біля верхнього торця 7 розсіювального пристрою 4. На його нижньому кінці 8 за допомогою шарніра 9 встановлено вертикальний нарізний стержень 10, який взаємодіє з нарізною втулкою 11, жорстко закріпленою на корпусі 2. З обох боків плоский розсіювальний елемент обладнаний бортами 12, що спрямовують потік матеріалу та запобігають його висипанню за межі робочої поверхні.

Принцип роботи

Під час експлуатації млина регулювання кута нахилу розсіювального пристрою 4 здійснюється шляхом обертання гвинтового стержня 10. Це дозволяє встановлювати оптимальне положення поверхні відповідно до характеристик сировини, яка подається на подрібнення. Кут нахилу визначає

тривалість перебування матеріалу на решітці, яка залежить від вологості, товщини шару, гранулометричного складу та форми частинок.

У практичному виконанні доцільно використовувати два нарізних стержні 10, розташовані з обох боків нижньої частини 8 розсіювального пристрою 4. Це забезпечує необхідну жорсткість елемента при роботі в умовах інтенсивних вібрацій. Бічні борти 12 сприяють рівномірному розподілу матеріалу по розсіювальній площині, запобігаючи його передчасному потраплянню в зону подрібнення.

Під час процесу помелу дрібні фракції матеріалу, проходячи через решітку, осідають ближче до розвантажувального патрубку 6, де тривалість їх подрібнення є мінімальною. Завдяки цьому виключається надмірне подрібнення продукту та зменшується загальна енергоємність процесу. Частинки більшого розміру затримуються на решітці довше, поступово переміщуючись донизу, що забезпечує їх повноцінне подрібнення та отримання готового продукту з рівномірною крупністю незалежно від фракційного складу вихідної сировини.

Запропоноване технічне рішення має низку переваг у порівнянні з відомими аналогами:

- зменшення енергоспоживання під час подрібнення матеріалу;
- підвищення продуктивності та загальної ефективності роботи млина;
- уникнення надмірного подрібнення частинок і покращення якості готового продукту;

зниження рівня вібраційних навантажень, що передаються на фундамент та опорні елементи;

підвищення коефіцієнта корисної дії приводу.

Таким чином, удосконалена конструкція кульового млина забезпечує більш стабільну роботу обладнання, підвищує надійність та довговічність його експлуатації, а також створює умови для покращення технологічних показників процесу подрібнення.

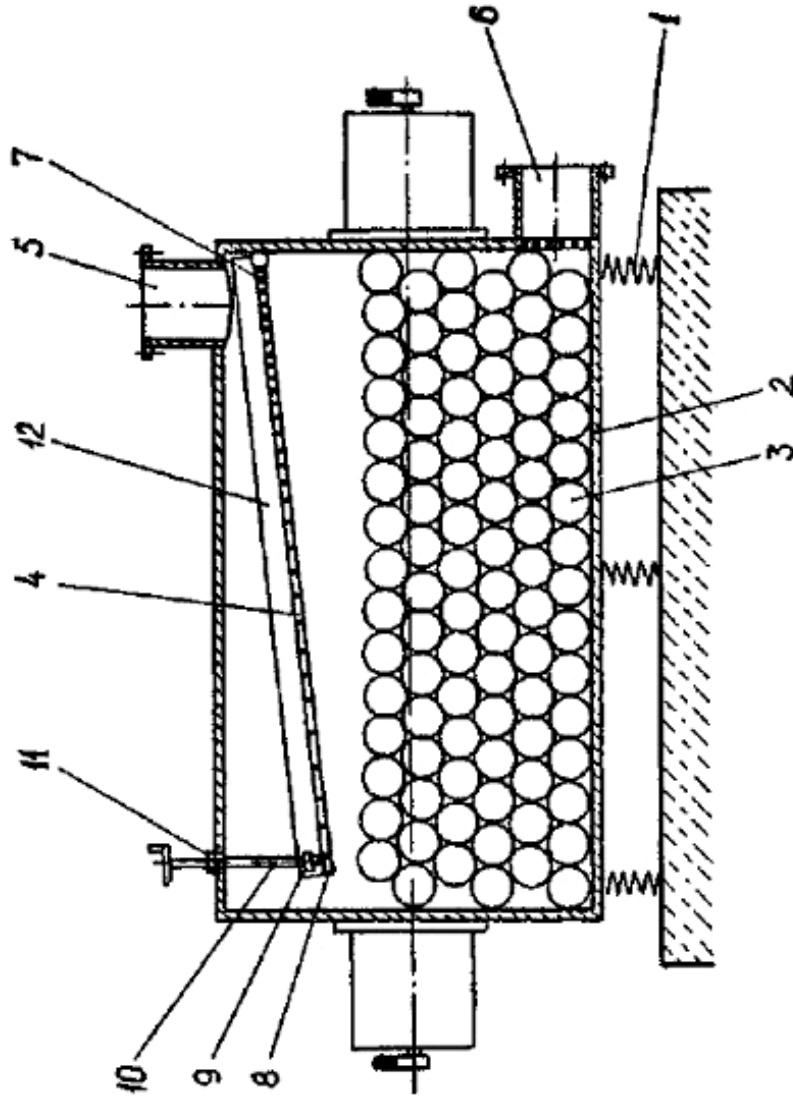


Рис 2.4. Конструкція пропонуваного кулькового млина

- 1 – елемент віброзахисту; 2 – барабан млина; 3 – тіла, що здійснюють подрібнення;
 4 – плоский розсіювальний пристрій; 5 – патрубок для подачі вихідного матеріалу у робочу зону;
 6 – патрубок для виведення готового продукту після подрібнення; 7 – верхня частина розсію чогу пристрою;
 8 – нижня ділянка розсіювального пристрою; 9 – шарнірне з’єднання для кріплення;
 10 – вертикальний гвинтовий стержень; 11 – різьбова втулка; 12 – бокові борти.

розроблено із використанням [9]

2.3 Аналітичні розрахунки

Вихідні дані для розрахунку

Розмір діаметра барабана D_6 , м	3,2
Загальна довжина барабана L_6 , м	5,7
Швидкість обертання дебалансового вала n , об/хв.	750
Густина насипання сталевих куль γ , т/м ³	4,7
Ступінь заповнення барабана мелючими тілами K_3	0,3
Вага вібраційного приводу m_B , кг	1500
Вага корпусу млина m_K , кг	25000
Сировина, яка підлягає подрібненню	вапняк
Технологічна схема помелу	відкритий цикл

Об'єм барабана кулькового млина визначають за формулою об'єму циліндра

$$V_6 = \frac{\pi \cdot D_6^2}{4} \cdot L_6 = \frac{3,14 \cdot 3,2^2}{4} \cdot 5,7 = 45,82 \text{ м}^3. \quad (2.1)$$

Масу кулькового навантаження в барабані визначають за формулою:

$$m_{\text{ш}} = K_3 \cdot \frac{\pi \cdot D_6^2}{4} \cdot L_6 \cdot \gamma = 0,3 \cdot \frac{3,14 \cdot 3,2^2}{4} \cdot 5,7 \cdot 4,7 = 64,6 \text{ т}. \quad (2.2)$$

Загальна маса завантаження кулькового млина включає

$$m_3 = 1,14 \cdot m_{\text{ш}} = 1,14 \cdot 64600 = 73600 \text{ кг}. \quad (2.3)$$

Сумарна маса коливної системи кульового млина включає:

$$m_{\text{сум}} = m_{\text{к}} + m_{\text{в}} + k_{\text{п}} \cdot m_{\text{з}} = 25000 + 1500 + 0,25 \cdot 73600 = 44900 \text{ кг.} \quad (2.4)$$

Для визначення необхідної ваги одного дебалансу використовується класична формула для вібраційних машин із горизонтальною коливною системою

$$m_{\text{д}} = \frac{m_{\text{в}}}{n_{\text{д}}} = \frac{1500}{8} = 187,5 \text{ кг.} \quad (2.5)$$

де $n_{\text{д}}$ - кількість дебалансів, закладених у приводі, вибирається заздалегідь, $n_{\text{д}} = 8$. Їх розташовують однаково на всій довжині дебалансного валу, щоб забезпечити рівномірне формування вібраційного зусилля.

Спочатку визначають величину зміщення центру мас дебаланса

$$r = \frac{R_1^3 - R_2^3}{R_1^2 - R_2^2} - R_2 = \frac{0,32^3 - 0,06^3}{0,32^2 - 0,06^2} - 0,06 = 0,27 \text{ м.} \quad (2.6)$$

Розраховуємо величину коливань кульового млина

$$A = \frac{m_{\text{в}} \cdot r}{m_{\text{сум}}} = \frac{1500 \cdot 0,27}{44900} = 0,009 \text{ м.} \quad (2.7)$$

Розраховуємо момент сили, створюваний дебалансом вібратора

$$M_{\text{в}} = m_{\text{в}} \cdot r \cdot g = 1500 \cdot 0,27 \cdot 9,81 = 3973 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.8)$$

де g - прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Розраховуємо кутову швидкість обертання дебалансного валу

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 750}{30} = 78,5 \text{ рад/с.} \quad (2.9)$$

Розраховуємо величину амплітуди швидкості вібраційного занурення

$$X_a = A \cdot \omega = 0,009 \cdot 78,5 = 0,706 \text{ м/с.} \quad (2.10)$$

Розраховуємо вихідну здатність кулькового млина

$$\begin{aligned} P &= 6,45 \cdot V_6 \cdot \sqrt{D_6} \cdot \left(\frac{m_{\text{ш}}}{V_6} \right)^{0,8} \cdot P_{\text{уд}} \cdot K_{\text{тп}} \cdot K_{\text{сп}} = \\ &= 6,45 \cdot 45,82 \cdot \sqrt{3,2} \cdot \left(\frac{64,6}{45,82} \right)^{0,8} \cdot 0,04 \cdot 1 \cdot 1 = 26,5 \text{ т/ч} \end{aligned} \quad (2.11)$$

де $P_{\text{уд}}$ - удільна продуктивність млина. Для подрібнення вапняку приймається $P_{\text{уд}} = 0,04 \text{ т/(кВт} \cdot \text{год)}$;

$K_{\text{тп}}$ - коригувальний коефіцієнт, що враховує ступінь дрібності помолу, $K_{\text{тп}} = 1$;

$K_{\text{сп}}$ - коефіцієнт що враховує обрану схему помолу, $K_{\text{сп}} = 1$.

Здійснюємо розрахунок необхідної вихідної потужності електродвигуна

$$N = \frac{0,347 \cdot m_{\text{сум}} \cdot X_a^3}{A} = \frac{0,347 \cdot 44900 \cdot 0,706^3}{0,009} = 609182,5 \text{ Вт.} \quad (2.12)$$

Обираємо потрібний електродвигун з каталогу: тип ДАЗ 14-79-4/8Т4, потужність $N = 650 \text{ кВт}$, номінальна частота обертання $n = 750 \text{ об/хв}$.

Розраховуємо відцентрові навантаження, спричинені незрівноваженою масою (дебалансом)

$$P_B = m_B \cdot \omega^2 \cdot r = 1500 \cdot 78,5 \cdot 0,27 = 31792,5 \text{ Н.} \quad (2.13)$$

Розраховуємо енергію, необхідну для одного повного циклу переміщення матеріалу (завантаження)

$$A_1 = 1,3 \cdot m_3 \cdot g \cdot r = 1,3 \cdot 73600 \cdot 9,81 \cdot 0,27 = 2534276,6 \text{ Дж.} \quad (2.14)$$

Обчислюємо кінетичну енергію, яку має матеріал під час завантаження

$$A_2 = 0,214 \cdot m_3 \cdot g \cdot r = 0,214 \cdot 73600 \cdot 9,81 \cdot 0,27 = 41718,1 \text{ Дж.} \quad (2.15)$$

Обчислюємо загальну витрачену роботу протягом одного циклу

$$A_3 = A_1 + A_2 = 2534276,6 + 41718,1 = 2575994,7 \text{ Дж.} \quad (2.16)$$

Проводимо розрахунок геометричних розмірів дебалансу вібраційного приводу дробарки. Фактичні конструктивні розміри дебалансу приймаємо згідно з даними, наведеними на рисунку 2.5.

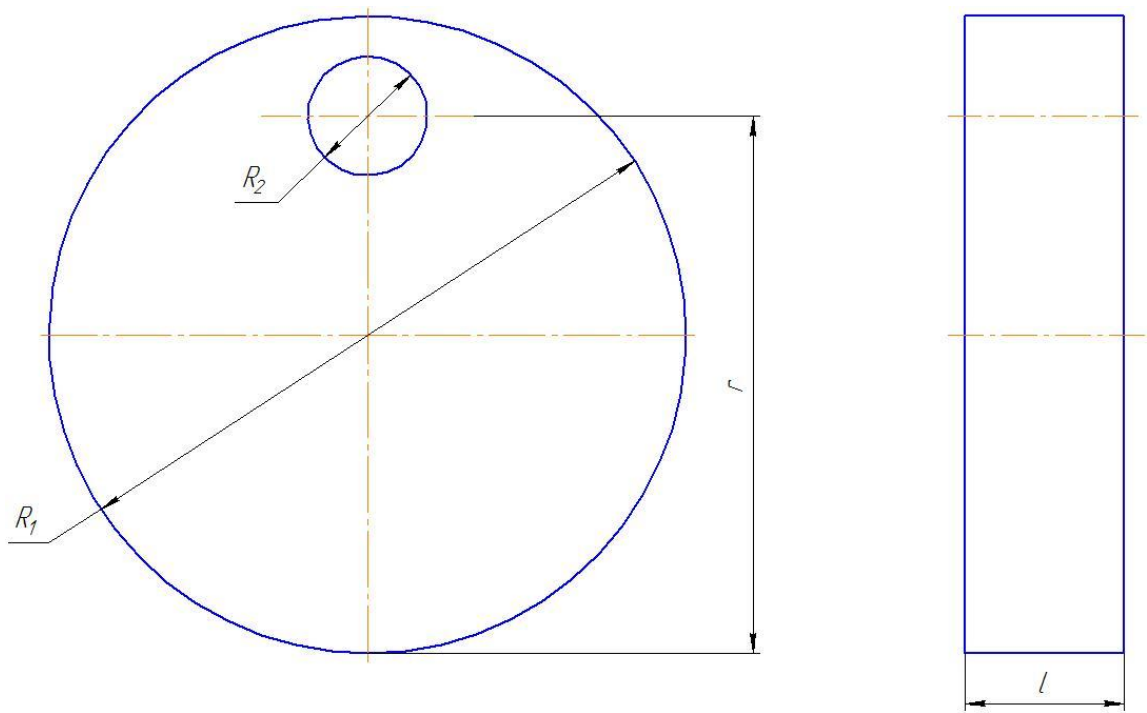


Рис. 2.5. Модель дебалансу для проведення обчислень
розроблено автором

Обчислюємо об'єм дебалансного вантажу, виходячи з його маси

$$V = \frac{m_D}{\rho} = \frac{187,5}{7800} = 0,02404 \text{ м}^3 \quad (2.17)$$

де ρ - встановлюємо щільність матеріалу дебалансу, виходячи з того, що це сталь $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$.

Знаходимо площу незрівноваженої маси

$$F = \frac{V}{l} = \frac{0,02404}{0,42} = 0,169 \text{ м}^2 \quad (2.18)$$

де l - протяжність дебалансного валу, $l = 142 \text{ мм}$.

Шляхом підбору встановлюємо необхідну площу дебалансного вантажу

$$F = \pi \cdot (R_1^2 - R_2^2) = 3,14 \cdot (0,24^2 - 0,06^2) = 0,17 \text{ м}^2 \quad (2.19)$$

де R_1 - радіус по зовнішньому краю дебалансного вантажу, $R_1 = 0,24$ м;

R_2 - радіус внутрішнього отвору дебалансного вантажу, $R_2 = 0,06$ м.

Фінально затверджуємо ключові габарити дебалансного вантажу:

$R_1 = 240$ мм; $R_2 = 60$ мм; $l = 142$ мм.

Розраховуємо масу дебалансного вантажу

$$Q_m = m_d \cdot g = 187,5 \cdot 9,81 = 1840 \text{ Н.} \quad (2.20)$$

Обчислюємо товщину валу дебалансу

Номінальний момент, що передається від електромотора

$$M_{кр} = \frac{30 \cdot N}{\pi \cdot n} = \frac{30 \cdot 650 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 750} = 8280 \text{ Н·м.} \quad (2.21)$$

Розраховуємо діаметр вала, що несе дебалансні вантажі

$$d_B = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{кр}}{\pi \cdot [\tau_{кр1}]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 8280}{3,14 \cdot 33 \cdot 10^6}} = 109 \text{ мм} \quad (2.22)$$

де $[\tau_{кр1}]$ - встановлюємо максимально допустиме навантаження (напругу)

для сталі 45, враховуючи запас міцності. $[\tau_{кр1}] = \frac{[\tau_{кр}]}{5} = \frac{165 \cdot 10^6}{5} = 33 \cdot 10^6 \text{ Па.}$

Задаємо конфігурацію вихідного кінця вала $d_v = 110 \text{ мм.}$

Задаємо конфігурацію вала під підшипники $d_{п} = 120 \text{ мм.}$

Підбираємо підшипники для вала, що обертає дебаланси.

Розраховуємо опорні реакції R_A та R_B балки. Для обчислень використовуємо розрахункову модель, показану на рисунку 2.6.

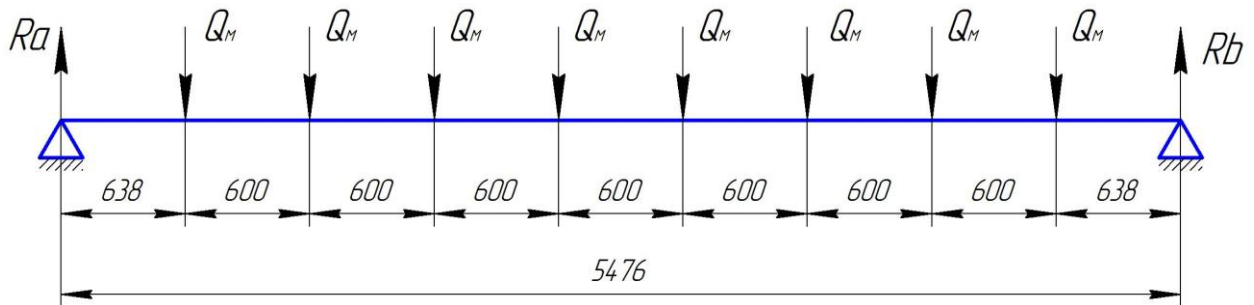


Рис. 2.6. Схема навантажень для обчислення підшипників
розроблено автором

$$\begin{aligned} \overline{\sum M_A} &= 0; \\ -Q_M \cdot (0,638 + 1,238 + 1,838 + 2,438 + \\ &+ 3,038 + 3,638 + 4,238 + 4,838) + R_b \cdot 5,476 = 0. \end{aligned} \quad (2.23)$$

$$R_b = \frac{-1,84 \cdot (0,638 + 1,238 + 1,838 + 2,438 + 3,038 + 3,638 + 4,238 + 4,838)}{5,476} = 7,36 \text{ кН.}$$

Так як $R_a = R_b = 7,36 \text{ кН.}$

В якості попереднього вибору використовуємо радіальний сферичний роликовий підшипник (марка 53524), що має такі параметри

посадковий діаметр підшипника. $d = 120$ мм;

посадковий діаметр корпусу підшипника $D = 180$ мм;

габаритна ширина підшипникового вузла $B = 46$ мм;

допустима вага без обертання $C_0 = 223000$ Н;

допустима вага при обертанні $C = 260000$ Н;

фактична маса підшипникового вузла $m = 4,5$ кг.

Розраховуємо зведене динамічне навантаження

$$\begin{aligned} P &= (X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a) \cdot K_\phi \cdot K_T = \\ &= (1 \cdot 1 \cdot 7360 + 0 \cdot 0) \cdot 2,5 \cdot 1 = 18400 \text{ Н} \end{aligned} \quad (2.24)$$

де X ; Y - коефіцієнти, що враховують радіальне та осьове навантаження, в контексті наших робочих умов. $X = 1$; $Y = 0$;

V - коефіцієнт обертання (або використання) внутрішнього кільця.
 $V = 1$;

F_r ; F_a - найвище значення радіальної та осьової сили., $F_r = 7360$ Н;
 $F_a = 0$ Н;

K_ϕ - коефіцієнт, який коригує запас міцності залежно від типу навантаження., $K_\phi = 2,5$;

K_T - температурний коефіцієнт, коли температура не перевищує 100°C ,
 $K_T = 1$.

Обчислюємо теоретичний ресурс роботи підшипника

$$L_{sah} = a_1 \cdot a_{23} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_1} \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^p = \quad (2.25)$$

$$= 1 \cdot 0,5 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 750} \cdot \left(\frac{260000}{18400} \right)^{3,3} = 69390 \text{ годин}$$

де a_1 - коефіцієнт, що гарантує безперебійну роботу, $a_1 = 1$;

a_{23} - коефіцієнт, що враховує матеріал і якість змащування, $a_{23} = 0,5$;

p - показник ступеня довговічності для роликових підшипників, $p = 3,3$.

Оскільки розрахунковий ресурс $L_{sah} > L'_{sah}$, 69390 годин > 50000 годин, то обраний підшипник цілком підходить.

Встановлюємо ключові параметри для підбору пружини

Сумарна вертикальна жорсткість сталевих пружин

$$C_{общ} = m_{сум} \cdot \omega_{ск}^2 = 44900 \cdot 15^2 = 10102500 \text{ Н/м} \quad (2.26)$$

де $\omega_{ск}$ - частота вільних коливань млина у вертикальному напрямку, спричинена пружністю опор, $\omega_{ск} = 15 \text{ рад/с}$.

Знаходимо вертикальну пружність пружини

$$C_y = \frac{C_{общ}}{Z} = \frac{10102500}{16} = 631406 \text{ Н/м} \quad (2.27)$$

де Z - загальна кількість пружин, що використовуються в системі,
 $Z = 16$ шт.

Знаходимо статичне зусилля, що припадає на пружини

$$P_{ст} = \frac{m_{сум} \cdot g}{Z} = \frac{44900 \cdot 9,81}{16} = 27530 \text{ Н.} \quad (2.28)$$

Обчислюємо амплітуду коливального навантаження, яке сприймають пружини

$$P_{дин} = \frac{m_{сум} \cdot \omega_{ск}^2 \cdot A_p}{Z} = \frac{44900 \cdot 15^2 \cdot 0,09}{16} = 56827 \text{ Н} \quad (2.29)$$

де A_p - максимальна амплітуда коливань при резонансі, $A_p = 0,09$ м.

Розраховуємо повне навантаження, що діє на пружину

$$P = P_{ст} + P_{дин} = 27530 + 56827 = 84357 \text{ Н.} \quad (2.30)$$

Згідно з ГОСТ 18793-80, для витримування навантаження $P = 84357$ Н обираємо пружину типу 8250 з такими основними характеристиками:

Фактичне число витків, що працюють	$i = 5;$
Діаметр перерізу дроту	$d_{II} = 50 \text{ мм};$
Номинальний діаметр дроту	$D_{II} = 400 \text{ мм};$
Зусилля пружини в умовах максимального навантаження	$P_{табл} = 90477 \text{ Н};$
Крок намотки пружини	$t = 113,4 \text{ мм};$
Висота пружинного елемента без прикладеної	

сили

$$H_0 = 617 \text{ мм};$$

Середній радіальний розмір витка

$$D_0 = 350 \text{ мм}.$$

Обчислюємо коефіцієнт жорсткості обраного пружного елемента у вертикальному напрямку

$$C'_y = \frac{G \cdot d_{\Pi}^4}{8 \cdot D_0^3 \cdot i} = \frac{7,85 \cdot 10^{10} \cdot (50 \cdot 10^{-3})^4}{8 \cdot (350 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 5} = 286079 \text{ Н/м}. \quad (2.31)$$

де G - характеристика жорсткості матеріалу пружини на кручення,
 $G = 7,85 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$.

Зіставляємо одержані в розрахунках значення з тими, що подані в таблицях

$$\begin{aligned} C_y &> C'_y; \\ \hline 631406 \text{ Н/м} &> 286079 \text{ Н/м}. \end{aligned}$$

Розраховуємо tg кута нахилу витків пружини

$$tg\alpha_B = \frac{t}{\pi \cdot D_0} = \frac{113,4 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 350 \cdot 10^{-3}} = 0,103. \quad (2.32)$$

Розраховуємо бічну жорсткість пружини

$$C'_x = C'_y \cdot (1 + tg\alpha_B) = 286079 \cdot (1 + 0,103) = 315583 \text{ Н/м}. \quad (2.33)$$

Розраховуємо початкове стиснення пружини

$$\Delta H = \frac{P_{cm}}{C_y} = \frac{27530}{286079} = 0,096 \text{ м.} \quad (2.34)$$

Розраховуємо параметри пружини в стані повного стиснення

$$H_{сж} = H_0 - \frac{P_{табл}}{C_y} = 0,617 - \frac{90477}{286079} = 0,301 \text{ м.} \quad (2.35)$$

Здійснюємо перевірку пружини на відсутність удару витків у гранично навантаженому стані

$$H_0 - H_{сж} = 0,617 - 0,301 = 0,316 \text{ м;} \quad (2.36)$$

$$A_p + \Delta H = 0,09 + 0,096 = 0,186 \text{ м.} \quad (2.37)$$

$$H_0 - H_{сж} > A_p + \Delta H ;$$

$$0,316 \text{ м} > 0,186 \text{ м.}$$

Результати розрахунку підтверджують, що змикання (співудар) витків пружини не відбудеться.

Проводимо перевірку, чи не відірветься млин від пружинних опор під час роботи

$$\Delta H > A_p ; \quad (2.38)$$

$$0,096 \text{ м} > 0,09 \text{ м.}$$

Умова невідривності забезпечена.

Проводимо перевірку на міцність вала, на якому встановлені дебаланси.

Для спрощення обчислень замість зосередженої сили ваги дебалансу застосовуємо еквівалентну розподілену (розосереджену) силу, схема якої показана на рисунку 2.7.

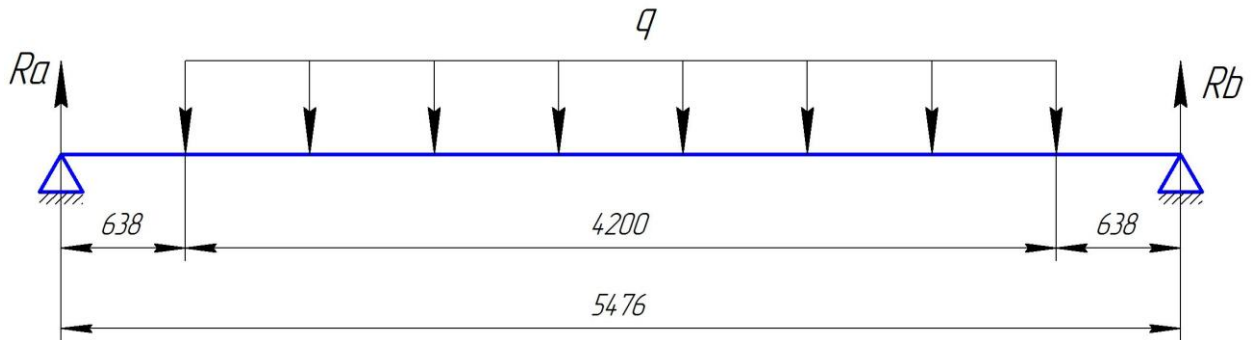


Рис. 2.7. Розрахункова схема до розрахунку міцності валу
розроблено автором

$$q = \frac{8 \cdot Q_M}{4,2} = \frac{8 \cdot 1,84}{4,2} = 3,505 \text{ кН/м.} \quad (2.39)$$

Обчислюємо сили Q , спрямовані перпендикулярно до осі вала

$$Q(x_1) = -R_A; \quad (2.40)$$

$$\overline{Q(x_1 = 0) = -R_A = -7,36 \text{ кН.}}$$

$$Q(x_1 = 0,638) = -R_A = -7,36 \text{ кН.}$$

$$\overline{Q(x_2) = -R_A + q \cdot (x_2 - 0,638);} \quad (2.41)$$

$$\begin{aligned} Q(x_2 = 0,638) &= -R_A + q \cdot (0,638 - 0,638) = \\ &= -7,36 + 3,505 \cdot (0,638 - 0,638) = -7,36 \text{ кН.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q(x_2 = 4,838) &= -R_A + q \cdot (4,838 - 0,638) = \\ &= -7,36 + 3,505 \cdot (4,838 - 0,638) = 7,36 \text{ кН.} \end{aligned}$$

Розраховуємо величину згинального моменту M , який діє на вал

$$M(x_1) = R_A \cdot x_1; \quad (2.42)$$

$$M(x_1 = 0) = R_A \cdot 0 = 0 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

$$M(x_1 = 0,638) = R_A \cdot 0,638 = 7,36 \cdot 0,638 = 4,696 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

$$M(x_2) = R_A \cdot x_2 - \frac{q \cdot (x_2 - 0,638)^2}{2}; \quad (2.43)$$

$$\begin{aligned} M(x_2 = 0,638) &= R_A \cdot x_2 - \frac{q \cdot (0,638 - 0,638)^2}{2} = \\ &= 7,36 \cdot 0,638 = 4,696 \text{ кН}\cdot\text{м.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M(x_2 = 2,738) &= R_A \cdot 2,738 - \frac{q \cdot (2,738 - 0,638)^2}{2} = \\ &= 7,36 \cdot 2,738 - \frac{3,505 \cdot (2,738 - 0,638)^2}{2} = 12,42 \text{ кН}\cdot\text{м.} \end{aligned}$$

На основі отриманих даних креслимо (або будуємо) епюри $Q(x)$ та $M(x)$

Епюра згинального моменту показує, що найбільший момент згину становить $M_{\max} = 12,42 \text{ кН}\cdot\text{м.}$

Проводимо розрахунок вала на міцність при згинанні

$$\sigma_{\text{розр}} = \frac{M_{\max}}{0,1 \cdot d^3} = \frac{12,42 \cdot 10^3}{0,1 \cdot 0,12^3} = 71,87 \text{ МПа} \quad (2.44)$$

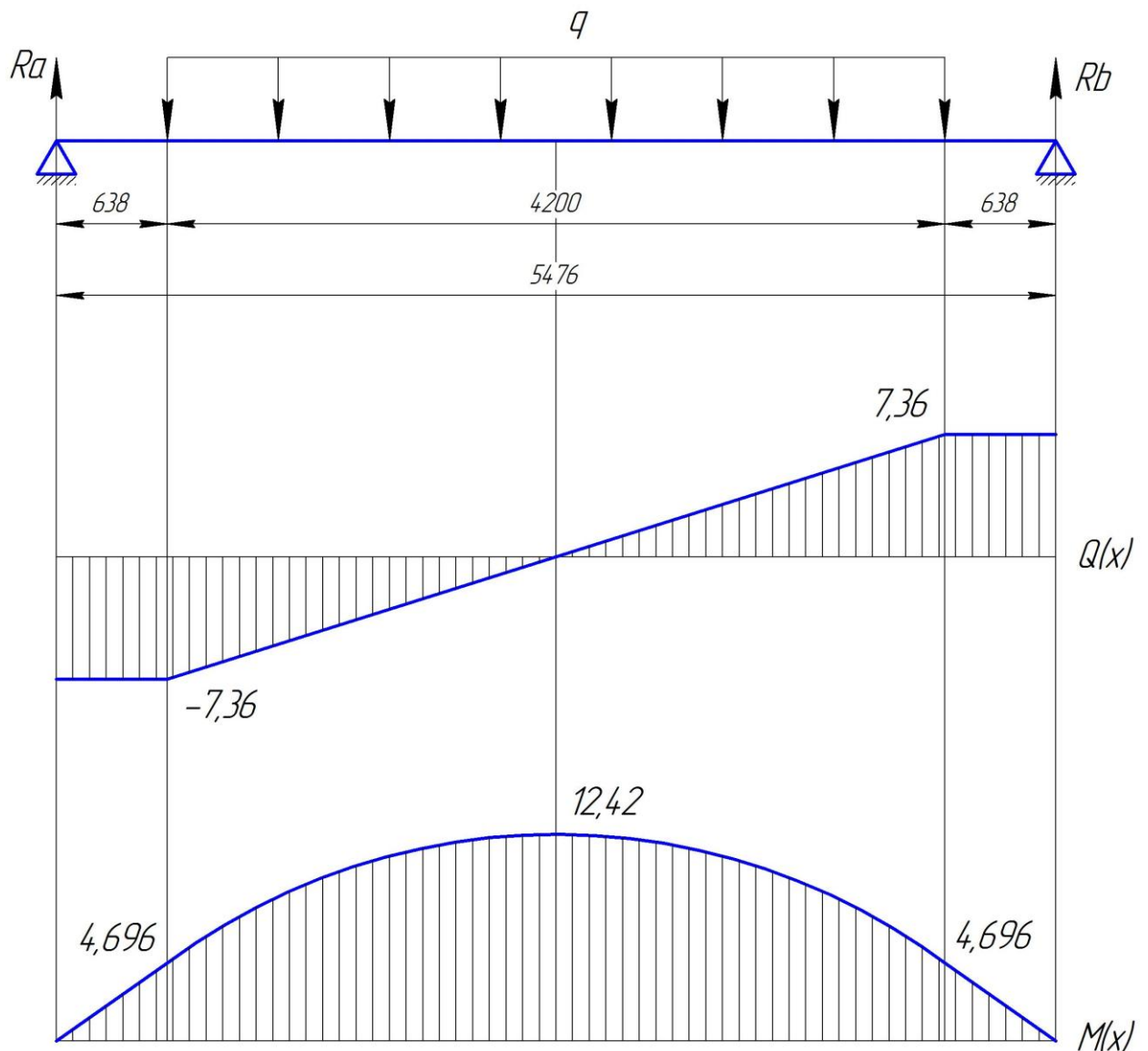


Рис. 2.8. Епюри $Q(x)$ та $M(x)$

розроблено автором

Оскільки фактичні напруження (71,87МПа) значно менші за допустиму межу (230МПа), тому умова міцності вважається виконаною.

Проводимо розрахунок міцності шпонкового з'єднання на валу двигуна

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2 \cdot M_{\text{дв}} \cdot 10^3}{d \cdot (0,95 \cdot h - t_1) \cdot l_p} \leq [\sigma_{\text{см}}] \quad (2.45)$$

де d - Діаметр вихідного кінця вала двигуна, $d = 110$ мм;
 h - Висота перерізу шпонки, $h = 18$ мм;
 t_1 - Глибина паза під шпонку, $t_1 = 11$ мм;
 l_p - Активна довжина шпонки, $l_p = 170$ мм.

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2 \cdot 8280 \cdot 10^3}{110 \cdot (0,95 \cdot 18 - 11) \cdot 170} = 145 \text{ МПа.}$$

Розрахункове напруження не перевищує допустимої межі $\sigma_{\text{см}} = 145 \text{ МПа} < [\sigma_{\text{см}}] = 150 \text{ МПа}$, отже, шпонка електродвигуна відповідає вимогам міцності.

2.4 Монтаж, ремонт, змащення

2.4.1 Прив'язка машини до технологічного тракту

Геодезичне забезпечення процесу монтажу вібраційного кульового млина зображено на рисунку 2.9.

Основою для встановлення млина слугує залізобетонна плита, висотна відмітка якої приймається за умовний нульовий рівень і фіксується контрольним репером. На кожному монтажному рівні, де здійснюється закріплення елементів обладнання, попередньо наносяться робочі реperi, що забезпечують точність позиціювання. Вісі розташування всіх вузлів та агрегатів млина на фундаменті визначаються та закріплюються спеціальними робочими плашками, які служать для контролю правильності встановлення обладнання під час монтажних робіт.

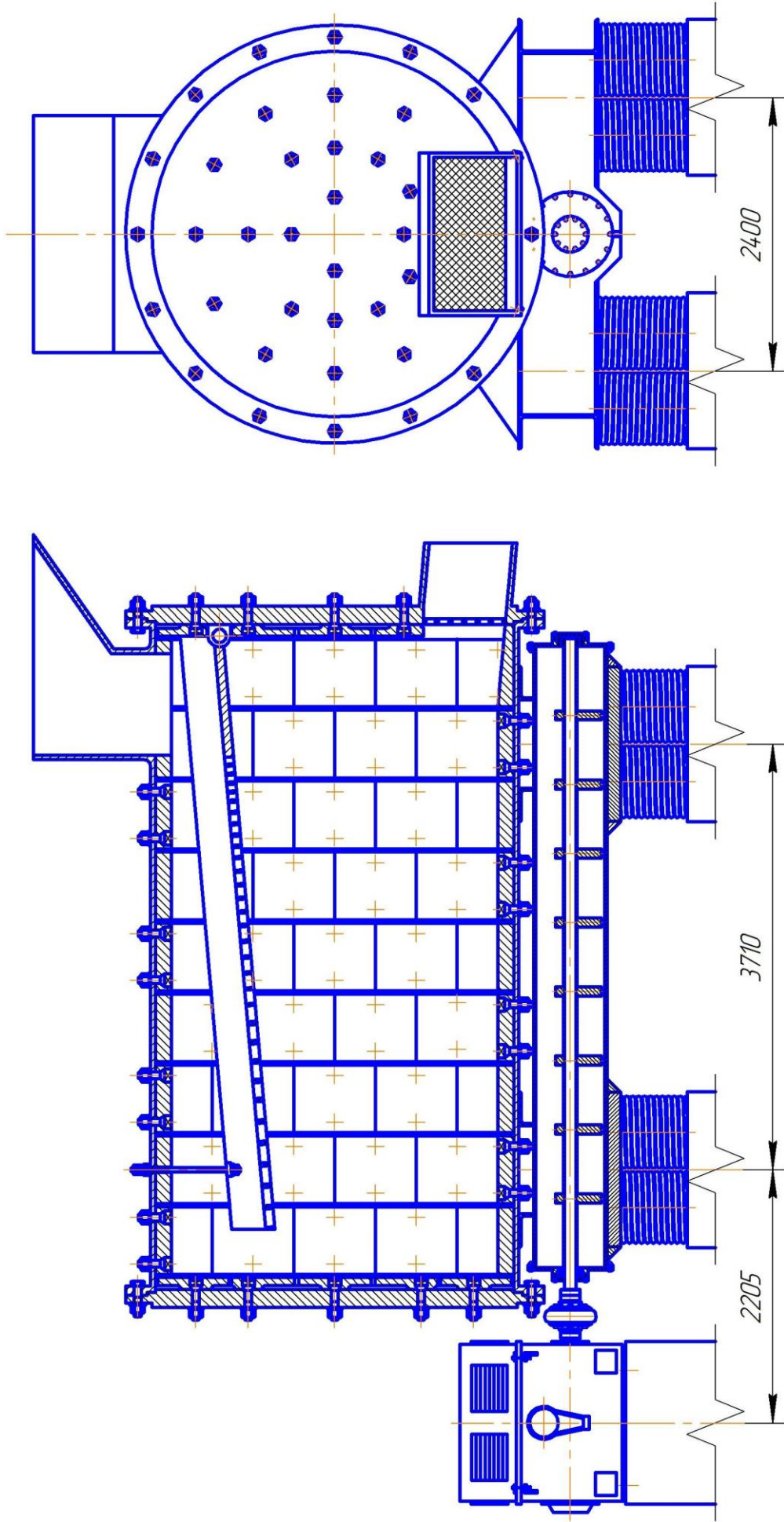


Рис. 2.9. Схема геодезичного обґрунтування монтажу вібраційного кулькового млина

розроблено автором

2.4.2 Технологічна карта монтажу кульового млина

Збирання барабана кульового млина здійснюється на спеціальному монтажному стенді. Внутрішню поверхню барабана футерують плитами з марганцевистої сталі, які закріплюються спеціальними болтами з потайними головками. На корпусі барабана монтують опорні площадки для встановлення пружинних опор зі стаканами, а також завантажувальні й розвантажувальні пристрої. Після цього барабан обертають і перевіряють якість ущільнення торцевих кришок — зазор по колу має бути рівномірним. У центральну частину корпусу встановлюють дебалансний вал і надійно його фіксують. Розміри окремих вузлів, їх масу, а також діаметр канатів і строп, що використовуються при складанні та монтажі млина, визначають відповідно до проєкту виконання робіт.

Перед монтажем обладнання проводять детальну перевірку фундаменту — як за кресленнями, так і безпосередньо на місці. Необхідно впевнитися, що відхилення у геометричних розмірах не перевищують допустимих норм. Після приймання фундаменту за актом переходять до встановлення млина.

Поверхні фундаменту, призначені для монтажу пружин, перевіряють рівнем і контрольними лінійками. Далі у встановлені стакани монтують пружинні опори. Зібраний на стенді корпус млина з завантажувальною частиною піднімають за допомогою мостового крана та встановлюють на пружини.

Після перевірки правильності положення млина по висоті приступають до монтажу електродвигуна. Кожухи живильників і напрямні жолоби монтують лише після того, як перевірено стійкість млина під час роботи.

Паралельно з основним монтажем виконується встановлення маслосистеми. Попередньо очищений, промитий і висушений маслбак встановлюють на передбачене місце, після чого під'єднують трубопроводи та апаратуру системи змащування. Перед пуском обладнання проводять перевірку працездатності електродвигуна та цілісності електричних з'єднань.

Перед випробуванням млина необхідно повторно перевірити затягування всіх болтових з'єднань, обгородити небезпечні зони та вивісити попереджувальні плакати, які забороняють перебування сторонніх осіб у зоні проведення випробувань.

Технологічна послідовність виконання робіт із монтажу вібраційного кульового млина наведена у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

Алгоритм збирання та налагодження вібраційного млина

№ п/п	Почерговість робіт	Калькуляція				Склад виконавців	Трива- лість операцій	Графік виконання робіт, год																
		Одиниці вимірю- вання	Об'єм робіт	Норма часу на одиницю	Норма часу на весь об'єм			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	2	3	4	5	6	7	8	9																
1	Застропувати та виконати монтаж пружини	шт.	16	0,5	8	6/5/4/4	2	—																
2	Застропувати та виконати монтаж барабана в зборі	шт.	1	8	8	6/5/4/4	2		—	—														
3	Застропувати на виконати монтаж електродвигуна	шт.	1	2	2	6/5/4/4	0,5					—												
4	Застропувати та виконати монтаж маслосистеми	шт.	1	4	4	6/5/4/4	1					—												
5	Застропувати та виконати монтаж живильника	шт.	1	2	2	6/5/4/4	0,5						—											
6	Застропувати та виконати монтаж тічки	шт.	1	2	2	6/5/4/4	0,5							—										
7	Перевірка правильності монтажу	шт.	1	4	4	6/5	2								—	—								

розроблено автором

2.4.3 Зношення відповідальних деталей та методи їх відновлення

До основних та найбільш відповідальних елементів вібраційного кульового млина належать броня, підшипники, вал, муфти та кульові тіла дроблення. Саме ці деталі безпосередньо сприймають основні робочі навантаження, тому їхній технічний стан визначає надійність і довговічність роботи всього агрегату.

Зношування броні.

Броня виконує роль захисного шару внутрішньої поверхні барабана, приймаючи на себе удари та тертя від тіл дроблення і матеріалу, що подрібнюється. У процесі експлуатації вона піддається інтенсивному механічному впливу, внаслідок чого з часом з'являються тріщини, вибоїни або часткові відшарування. За наявності тріщин, сколів чи зламів броньові плити підлягають негайній заміні.

Зношування підшипників.

При потраплянні пилу або абразивних частинок у підшипниковий вузол відбувається пошкодження тіл кочення та сепаратора. Ознаками зносу є поява шуму, підвищеної вібрації, слідів задирів або подряпин на доріжках кочення. У таких випадках підшипник необхідно замінити, щоб уникнути подальшого руйнування вузла.

Зношування вала.

Вал піддається зносу при проникненні абразивних частинок у місця встановлення підшипників або муфт. Це призводить до появи задирок, вибоїн, зминання шпоночних канавок, а також можливих деформацій — вигину чи скручування вала. У разі виявлення тріщин або зламів проводиться ремонт або заміна деталі.

Зношування муфти.

Муфта передає обертовий момент між валом і приводом, тому при надмірному навантаженні або потраплянні пилу та твердих частинок у з'єднання спостерігається знос її посадкових поверхонь. Граничний

допустимий рівень зношення муфти не повинен перевищувати 5% від початкового розміру — у разі перевищення цього значення муфту замінюють.

Зношування тіл дроблення.

Під час роботи кульки безперервно стикаються як між собою, так і з подрібнюваним матеріалом, що спричиняє їх поступове стирання. Для підтримання стабільної ефективності помолу необхідно періодично контролювати масу та розмір тіл дроблення й своєчасно поповнювати їх кількість до номінального рівня.

2.4.4 Розробка графіка планово-попереджувальних ремонтів

Планування ремонтних робіт обладнання передбачає визначення їх обсягу та тривалості. Цей процес здійснюється у формі спеціальних графіків, які розробляються на різні періоди — річні, квартальні та місячні. Особливу увагу приділяють агрегатам, що безпосередньо беруть участь у головному виробничому циклі, зокрема таким, як доменна піч.

Розроблення графіків ремонтів здійснюється службою головного механіка підприємства. Основою для цього слугують заявки, подані виробничими цехами. Заявки затверджуються начальником цеху та його заступником з обладнання і формуються на підставі таких даних:

- нормативів періодичності та тривалості поточних і капітальних ремонтів;
- результатів технічного обстеження вузлів і агрегатів, що потребують капітального ремонту;
- відомостей про виробничі показники за попередній період експлуатації;
- інформації про строк служби основних елементів обладнання, отриманої під час роботи;

- аналізу досвіду експлуатації аналогічних машин на інших підприємствах.

Для науково обґрунтованого планування ремонтів необхідно мати достовірні нормативні дані щодо періодичності, тривалості та трудомісткості ремонтів кожного об'єкта, а також результати оцінки технічного стану обладнання, накопичені за час його експлуатації.

Обсяги робіт, що виконуються під час капітальних ремонтів, визначаються на основі акту комісійного огляду стану обладнання.

У таблиці 2.2 наведено графік проведення планово-попереджувальних ремонтів вібраційного кулькового млина, розроблений відповідно до вимог технічного обслуговування та виробничого графіка підприємства.

2.4.5 Змащення

Основним завданням системи змащення є зменшення втрат енергії на подолання сил тертя, зниження інтенсивності зношування робочих поверхонь і збільшення міжремонтних інтервалів експлуатації обладнання.

Зважаючи на складні умови роботи металургійних агрегатів, підвищені вимоги до їхньої надійності, безперервності функціонування та значну витрату мастильних матеріалів, до мастил висуваються такі основні вимоги:

Високі антифрикційні та протизносні властивості;

Оптимальна в'язкість і хороша змочувальна здатність відносно тертьових поверхонь;

Стійкість до дії великих тисків;

Термічна стабільність і стійкість до окиснення та розкладання;

Хімічна інертність;

Економічна доцільність застосування.

На сучасних збагачувальних фабриках зазвичай використовується централізована система змащення, у якій подача мастила здійснюється до всіх точок тертя від маслостанцій, розміщених у межах дільниці. Подача

мастила в систему здійснюється основним насосом, а на випадок технічного обслуговування або аварійної зупинки передбачено резервну станцію.

Під час вибору системи змащення для вібраційного кульового млина враховується, що електродвигун та дебалансний вал працюють у стаціонарному режимі. Температура їх нагрівання коливається від $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ у літній період і не опускається нижче $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ взимку. Такі умови дозволяють застосувати централізовану систему густого змащення, у якій мастило подається через дозуючі живильники. Як робоче мастило доцільно використовувати густе мастило типу УНІАЛ-1, що характеризується термостійкістю, універсальністю застосування і придатністю для вузлів, які працюють при температурах до $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Підшипники кочення та ковзання змащуються мінеральними або консистентними мастилами. Мінеральні мастила використовуються для підшипників із надійною герметизацією і за будь-яких швидкісних режимів, тоді як консистентні мастила застосовують у вузлах, що працюють у важких умовах — при підвищеній запиленості, вологості чи вібраціях.

Заповнення підшипників мастилом не повинно перевищувати $1/3$ їхнього внутрішнього об'єму, оскільки надлишок мастила підвищує опір обертанню, що може призвести до перегрівання і розшарування мастильної речовини.

Для даної конструкції млина прийнято централізовану систему змащення підшипників електродвигуна та сферичних підшипників дебалансного валу, що забезпечує стабільну роботу вузлів тертя та мінімізує ризик їх передчасного зношування.

Інформацію про змащення вібраційного кульового млина можна знайти в супровідних матеріалах: схема змащення подана на рисунку 2.10, а детальна карта змащення — в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3.

Схема обслуговування змащувальними матеріалами вібромлина

№	Найменування точки змащення	Кіл. точок	Норма змазки	Спосіб нанесення	Періодичність подачі
1	Підшипники електродвигуна (п.1)	2	1,6 л	Централізована	1 раз в місяць
2	Підшипники дебалансного валу (п.2)	2	2,0 л	Централізована	1 раз в 24 години

розроблено автором

2.5 Економічна доцільність запропонованих рішень

Впровадження нового вібраційного приводу замість традиційного механічного забезпечить нам економічний зиск насамперед за рахунок істотного зниження витрат на електроенергію

Таблиця 2.4.

**Чинники, що обумовлюють
економічну доцільність проектних рішень**

Найменування показників, що змінюються внаслідок проектних рішень на один млин	До	після	абсолютні змінні	відсоткові змінні %
Маса млина, т	99	92	-7	-7,07
Маса обладнання що модернізується, т	11	8	-3	-27,27
Установлена потужність електроприводу, кВт	800	630	-170	-21,25

розроблено автором

В таблиці 2.5. будуть представлені ключові параметри, що підтверджують ефективність наших проектних рішень.

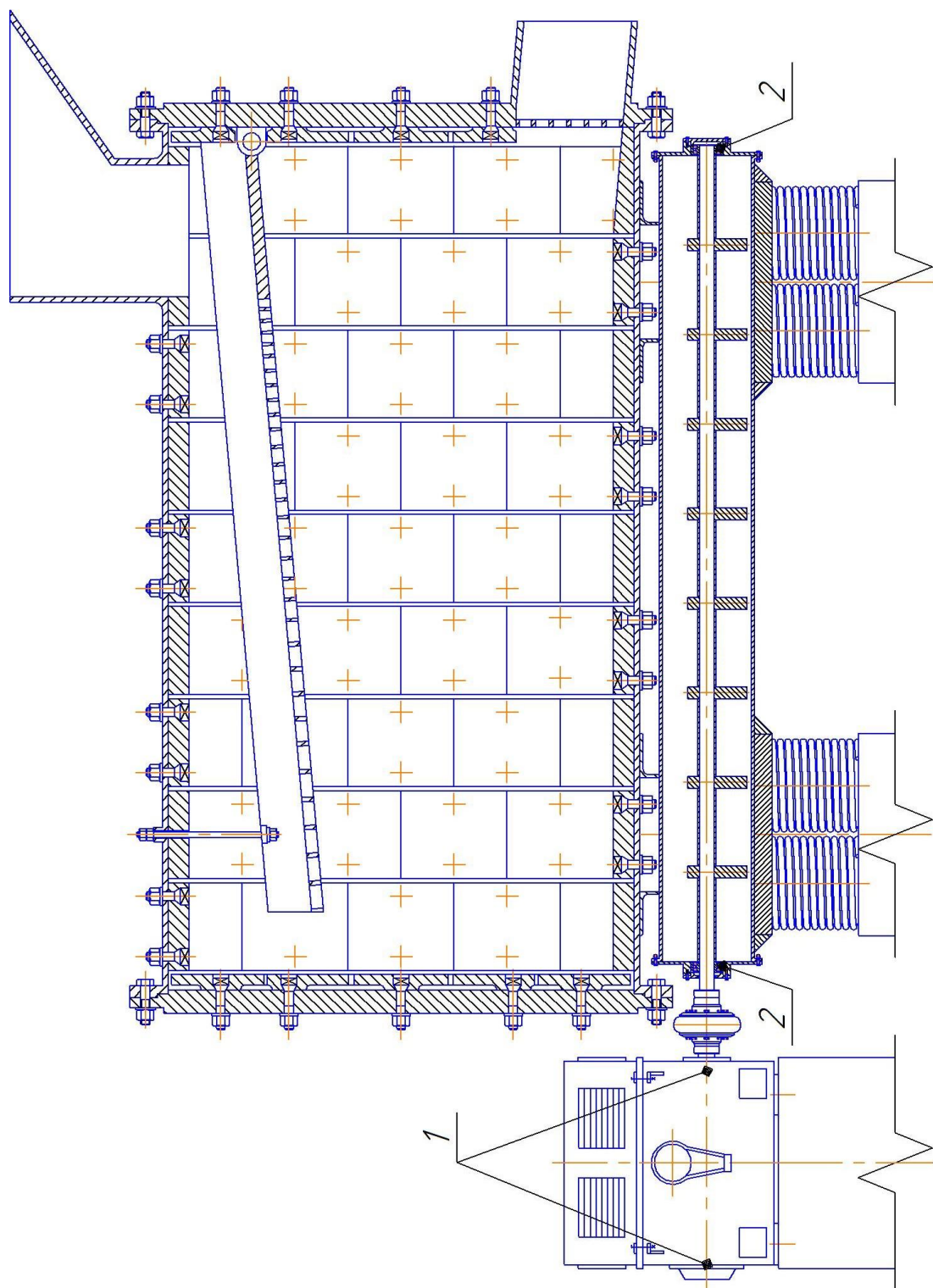


Рис. 2.10. Схема змащення вібраційного кулькового млина

розроблено автором

Таблиця 2.5.

Вихідні дані, що обумовлюють економічну ефективність проекту

Показники	Одиниці вимірювання	Значення	Джерело інформації
Вартість нового обладнання вібраційного приводу барабану для одного млина	грн.	264000	Відділ устаткування цеху
Вартість 1 тони	грн.	146,36	Економіст
Собівартість 1 тони	грн.	110,05	
Обсяг виробництва	тис. т.	3200	

розроблено автором

Ми проводимо розрахунок економічної ефективності запропонованих ініціатив на базі наявної інформації.

Визначаємо суму капітальних інвестицій, необхідних для реалізації проекту

$$K_o = Z \cdot K_1 = 16 \cdot 264000 = 4224000 \text{ грн.} \quad (2.46)$$

де Z - сумарне число млинів, задіяних на рудозбагачувальному підприємстві, $Z = 16$ шт.;

K_1 - ціна комплексу обладнання для вібраційного приводу барабана млина., $K_1 = 264000$ грн.

Витрати на розбирання старого обладнання вже закладені в існуючий бюджет, тому проект не передбачає ніяких додаткових витрат на демонтаж.

Витрати на монтаж нового обладнання

$$Z_{m1} = K_1 \cdot L_{m1} = 264000 \cdot 0,15 = 39600 \text{ грн.} \quad (2.47)$$

де $L_{м1}$ - коефіцієнт на монтажні роботи, $L_{м1} = 0,15$.

Витрати на закупівлю нового устаткування

$$K_n = K_o + Z_{м1} = 4224000 + 39600 = 4263600 \text{ грн.} \quad (2.48)$$

Величина річних амортизаційних відрахувань при використанні рівномірного методу нарахування зносу

$$A_{річ} = K_n / T = 4263600 / 5 = 852720 \text{ грн.} \quad (2.49)$$

де T – очікуваний термін експлуатації об'єкта. Згідно з Податковим кодексом України, нормативний строк служби цього обладнання становить 5 років.

Амортизаційні відрахування як частина змінних витрат

$$\Delta A = A_{річ} / V_{річ} = 852720 / 3200 \cdot 10^3 = 0,266 \text{ грн./т} \quad (2.50)$$

Кошти на обслуговування вже встановленого устаткування

$$C_{oc} = K_n \cdot L_y = 4263600 \cdot 0,07 = 298452 \text{ грн.} \quad (2.51)$$

де L_y - коефіцієнт відповідності, $L_y = 0,07$.

Змінна складова витрат на дрібний (поточний) ремонт

$$\Delta C_{oc} = C_{oc} / V_{p\dot{r}i\dot{c}} = 298452 / 3200 \cdot 10^3 = 0,0932 \text{ грн./т} \quad (2.52)$$

Енергоємність роботи наявного механізму обертання барабана млина моделі ШБМ-320/570.

Привід обертання барабана млина оснащений електродвигуном потужністю $N_{ef} = 800$ кВт.

Згідно з циклограмою, тривалість робочого циклу двигуна приводу обертання барабана становитиме

$$t_{\dot{y}}^{\Sigma M\Pi} = t_{np} = 3600 \text{ с} \quad (2.53)$$

де t_{np} - середня тривалість функціонування роторного приводу, 3600 с.

Тривалість роботи за годину

$$t_{\dot{y}} = t_{\dot{y}}^{\Sigma M\Pi} \cdot Z = 3600 \cdot 1 = 3600 \text{ с} = 1 \text{ год} \quad (2.54)$$

де Z – максимально допустима кількість запусків приводу, $Z = 1$.

Річне споживання електроенергії

$$\begin{aligned} N_p^{M\Pi} &= Z \cdot 24 \cdot 365 \cdot t_{\dot{y}} \cdot N_{ef}^{\Sigma M\Pi} = \\ &= 1 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 1 \cdot 800 = 7008000 \text{ кВт} \end{aligned} \quad (2.55)$$

де 24 - число годин за добу;

365 - сумарна кількість робочих змін за рік

Прогнозоване споживання електроенергії вібраційним приводом барабана кульового млина ШБМ-320/570.

У вібраційному приводі обертання барабана млина використовується електродвигун із потужністю $N_{ef}^{\Sigma\Pi} = 630$ кВт.

Згідно з циклограмою, тривалість робочого циклу двигуна, що обертає барабан, становитиме

$$t_{\text{ц}}^{\Sigma\Pi} = t_{\text{пр}} = 3600 \text{ с} \quad (2.56)$$

Фактична тривалість роботи за одну годину

$$t_{\text{ч}} = t_{\text{ц}}^{\Sigma\Pi} \cdot Z = 3600 \cdot 1 = 3600 \text{ с} = 1 \text{ год.} \quad (2.57)$$

Річне споживання електроенергії

$$\begin{aligned} N_p^{\Pi} &= Z \cdot 24 \cdot 365 \cdot t_{\text{ч}} \cdot N_{ef}^{\Sigma\Pi} = \\ &= 1 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 1 \cdot 630 = 5518800 \text{ кВт.} \end{aligned} \quad (2.58)$$

Оптимізація витрат електроенергії

$$E_e = N_p^{\text{МП}} - N_p^{\Pi} = 7008000 - 5518800 = 1489200 \text{ кВт} \quad (2.59)$$

Енергетичні витрати, які змінюються залежно від обсягу роботи

$$\Delta C_E = E_e \cdot C_e / V_{p\dot{u}ч} = 1489200 \cdot 5,06 / 3200 \cdot 10^3 = 1,88 \text{ грн./т} \quad (2.60)$$

де C_e - ціна одиниці спожитої електроенергії, $C_e = 5,06$ грн/кВтгод.

Підсумковий економічний результат становитиме

$$E_{\Sigma} = 4864828 \text{ грн}$$

Зміна чистого прибутку складе

$$\Delta\Pi = E_{\Sigma} \cdot 0,77 = 4864828 \cdot 0,77 = 3745917 \text{ грн.} \quad (2.61)$$

Період повернення інвестицій

$$T = \frac{K_n}{A_{p\dot{u}ч} + \Delta\Pi} = \frac{4263600}{852720 + 3745917} = 0,93 \text{ роки} \quad (2.62)$$

Впровадження наших заходів призведе до зниження собівартості тонни продукції на 1,52грн. При цьому капітальні інвестиції окупляться вже за 0,93 року, забезпечуючи річний економічний ефект у розмірі 4864828грн.

РОЗДІЛ 3

ОРГАНІЗАЦІЯ БЕЗПЕЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

3.1 Аналіз основних шкідливостей і небезпечностей рудозбагачувальної фабрики

Виробництво залізорудного концентрату включає широкий спектр технологічних операцій із підготовки вихідної сировини, серед яких основними є усереднення, дроблення та змішування. Під час виконання цих операцій можуть виникати виробничі чинники, що за певних умов становлять небезпеку для працівників, викликаючи травми або професійні захворювання. Такі чинники поділяються на небезпечні (що можуть спричинити травму миттєво) та шкідливі (які діють поступово), і відповідно до державних стандартів класифікуються за природою впливу на організм людини на чотири групи: фізичні, хімічні, біологічні, психофізіологічні.

Процес агломерації належить до методів термічної обробки матеріалів, для якого характерні інтенсивне теплове, інфрачервоне та світлове випромінювання, що виходить від розігрітого обладнання, горнів, газозапалювальних установок та агломераційного матеріалу при вивантаженні зі спікальних візків.

Одним із найшкідливіших чинників у роботі працівників є вібрація, яка може призвести до професійних захворювань опорно-рухового апарату та судинної системи. Допустимий рівень локальної вібрації в діапазоні частот 50–85 Гц (середньгеометрична частота 60 Гц) становить до 110 дБ.

До основних шкідливих і небезпечних факторів на збагачувальній фабриці належать пил, гази та шум. Джерелами підвищеного шуму є дробарки, редуктори, вентилятори, компресори, насоси, транспортні системи, ручний ударний інструмент, а також витоки стиснених рідин або газів із трубопроводів.

Пилове забруднення утворюється переважно під час транспортування шихти та готової продукції конвеєрними лініями. Матеріал, що переміщується конвеєром, має температуру 60–80 °С при вологості 6–7 %. Унаслідок різниці температур між нагрітою шихтою і повітрям робочої зони (до 24 °С) відбувається інтенсивне виділення паропилової суміші.

За розміром частинок пил поділяють на видимий (понад 10 мкм) та мікроскопічний (менше 10 мкм). Пил, що тривалий час перебуває у завислому стані в повітрі, називають аерозолем, а осілий — аерогелем. На виробництві найчастіше зустрічається пил фіброгенної дії, який містить 2–10 %. Його гранично допустима концентрація (ГДК) становить 4,0 мг/м³, тоді як фактична концентрація може досягати 20 мг/м³, що означає перевищення допустимого рівня при дії фактора до 87,5 % робочої зміни.

Під час вдихання запиленого повітря частина частинок виводиться з організму завдяки захисним рефлексам (чханню, кашлю). Проте дрібнодисперсний пил може проникати глибоко в легені, осідаючи в альвеолах і спричиняючи розростання сполучної тканини — розвиток пневмоконіозу. Саме ступінь дисперсності визначає глибину проникнення пилу в дихальні шляхи.

Іншим фізичним фактором є недостатнє освітлення робочої зони. При нормативному значенні 10 лк фактична освітленість складає близько 50 лк, що може впливати на зорову втому та знижувати увагу працівників.

Газонебезпечні ділянки в агломераційному цеху визначаються залежно від типу газу, який використовується або утворюється в процесі, та ймовірності його накопичення. Перелік таких місць формується на основі результатів регулярного відбору проб повітря та аналізу рівня загазованості. Отруєння шкідливими речовинами може мати гостру або хронічну форму. Гостре отруєння виникає при короткочасному впливі високих концентрацій, тоді як хронічне розвивається при тривалому надходженні малих доз токсичних речовин, що накопичуються в організмі. Вплив стає небезпечним, коли концентрація шкідливої речовини перевищує гранично допустиму.

До найнебезпечніших газів належать оксид вуглецю, сірководень та оксиди азоту — вони є високотоксичними. Водночас гази, такі як азот, водень, гелій, метан, при наявності достатньої кількості кисню не мають значного шкідливого впливу на організм людини.

Під час виконання технологічних процесів виготовлення офлюсованого агломерату, а також при ремонті, технічному обслуговуванні та експлуатації обладнання, працівники можуть зазнавати дії таких небезпечних виробничих факторів:

- обертів та рухомі частини обладнання;
- діючі електроустановки та струмопровідні елементи;
- роботи із застосуванням вантажопідіймальних механізмів і транспортних засобів.

3.2 Заходи щодо зниження шкідливостей і небезпечностей на рудозбагачувальній фабриці

Для усунення джерел пилу під час роботи вібраційного кульового млина доцільно застосовувати системи гідроочищення робочих елементів від налиплого матеріалу. Це дозволяє зменшити запиленість робочої зони та підвищити ефективність роботи обладнання.

При подрібненні сировини, зокрема вапняку чи палива, використовуються дробарки різних типів (молоткові, чотирьохвалкові), які працюють у комплексі з грохотами. Для запобігання розповсюдженню пилу робочі вузли обладнуються захисними кожухами або корпусами з металевими чи гумовими стінками, які з'єднані з аспіраційною системою. Основним методом боротьби з пиловиділенням є місцева витяжна вентиляція, що передбачає використання укриттів, з'єднаних із пиловловлюючими вентиляторами. Загальнообмінна вентиляція забезпечує подачу свіжого повітря, видалення вологи, надлишкового тепла та пилу з приміщень.

Пил, який не видаляється аспіраційною системою, осідає на підлозі, конструкціях і поверхнях обладнання. Через вібрації та повітряні потоки дрібнодисперсний пил знову піднімається в повітря, забруднюючи робочу зону. Для підтримання чистоти застосовують гідрозмивання або очищення струменем повітря. На одного працівника припадає орієнтовно 450 м² площі для прибирання.

Особливу увагу приділяють безпечній експлуатації газового обладнання, оскільки неправильне використання може призвести до вибуху. Для запобігання аваріям необхідно не допускати утворення вибухонебезпечної газоповітряної суміші, а також забезпечити автоматичне перекриття подачі газу й повітря під час зупинки агрегату. На газопроводах встановлюють відсічні клапани, які реагують на падіння тиску до 1 кПа. При тривалих зупинках агрегату подача газу припиняється за допомогою засувки і відкриттям свічок для вентиляції системи.

Під час роботи обладнання виділяється значна кількість тепла, тому необхідно забезпечити інтенсивний повітрообмін, особливо в теплу пору року. Це реалізується за допомогою аераційної системи: у верхній частині будівлі передбачають отвори для припливу і витяжки повітря. Влітку відкривають обидва ряди отворів для збільшення вентиляції, а взимку – лише верхні, щоб зберегти тепло в приміщенні. За потреби підсиленого повітрообміну застосовуються витяжні шахти або труби.

Для запобігання опікам працівників екстаустери, газоходи та запірні арматура систем очищення газу покриваються термоізоляційними матеріалами, які обмежують температуру зовнішньої поверхні до 45 °С.

У процесі експлуатації млина на працівників діють шкідливі фактори: підвищена запиленість, шум, наявність газів і теплове випромінювання, що можуть перевищувати допустимі норми. Основними заходами з охорони праці є:

- підтримання робочого місця в чистоті;
- належне освітлення робочої зони;

- використання справного інструменту та механізмів;
- дотримання вимог безпеки під час експлуатації обладнання;
- застосування засобів індивідуального захисту (ЗІЗ);
- виконання вимог особистої гігієни та інструкцій з безпечного ведення робіт.

Дотримання зазначених заходів дозволяє мінімізувати вплив шкідливих виробничих факторів, забезпечити безпечні умови праці та підвищити надійність роботи обладнання.

3.2.1 Засоби індивідуального захисту

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) призначені для запобігання шкідливому впливу виробничих факторів на органи дихання, зору, слуху, а також для захисту голови, рук, ніг і тіла працівників. Вони є важливою складовою системи безпеки праці на підприємствах з підвищеною запиленістю та рівнем шуму.

Працівники рудозбагачувальної фабрики забезпечуються спеціальним робочим одягом, виготовленим із міцних бавовняних тканин, що забезпечують комфорт та вентиляцію під час роботи в умовах підвищеної температури.

Для захисту органів дихання від пилу застосовуються фільтрувальні респіратори типу «Лепесток», які ефективно затримують дрібнодисперсні частинки. У випадках, коли в повітрі фіксується підвищена концентрація шкідливих газів (визначена газорятувальною службою), використовуються промислові протигази моделей «Урал-1» та «Урал-1М», здатні забезпечити повний захист дихальних шляхів.

Для зменшення впливу шуму на слуховий апарат працівників застосовують протишуми (антифони) або беруші. Навушники протишумів закривають вушні раковини, знижуючи інтенсивність шуму до безпечного рівня.

Захист голови здійснюється за допомогою фібрових касок, які запобігають травмам при падінні дрібних предметів або уламків.

Для захисту очей і обличчя під час роботи з розжареними або розплавленими матеріалами застосовуються спеціальні захисні щитки з термостійкого скла, що перешкоджають потраплянню іскор і бризок.

3.2.2 Санітарно-побутові приміщення і пристрої

Виробничі процеси, що виконуються на рудозбагачувальній фабриці, відповідно до санітарно-гігієнічної класифікації умов праці, належать до категорії «Б». Це передбачає облаштування робочих і допоміжних приміщень згідно з вимогами нормативних документів, які регламентують побутове обслуговування персоналу на промислових підприємствах.

До складу таких приміщень входять: гардеробні для зберігання одягу, умивальні, душові кімнати, вбиральні, приміщення для приймання їжі (їдальні, буфети), зони питного водопостачання та медичний пункт (здоровпункт).

Гардеробні призначені для окремого зберігання домашнього та спеціального одягу працівників. Їх кількість визначається відповідно до загальної чисельності персоналу з урахуванням додаткового резерву 5%. Розрахунок інших побутових приміщень виконується, виходячи з чисельності найбільшої робочої зміни.

Душові обладнуються згідно з нормою – одна душова сітка на трьох осіб, а кількість умивальних кранів визначається з розрахунку один кран на 20 працівників. Душові, умивальні та вбиральні, як правило, розташовуються поруч для зручності та скорочення часу користування.

Для організації прийому їжі на території підприємства передбачено їдальню або буфет, місткість яких становить одне посадкове місце на чотирьох працівників.

На виробничих дільницях облаштовуються питні пункти — фонтанчики або автомати з підсоленою газованою водою, які сприяють підтриманню водно-сольового балансу організму. У літній період робітники додатково забезпечуються білково-вітамінними напоями. Відстань від робочого місця до пункту водопостачання не повинна перевищувати 75 метрів, при цьому кількість пристроїв розраховується за нормою один на 45 осіб.

Туалети (санітарні вузли) розміщуються не далі ніж 75 метрів від робочої зони. Вони облаштовуються із розрахунку один санітарний прилад на кожних 15 працівників.

Для надання першої медичної допомоги на території цеху функціонує здоровпункт, який працює цілодобово. Його пропускна спроможність становить до 1200 осіб, що забезпечує своєчасне обслуговування всіх працівників підприємства.

3.3 Пожежна профілактика

Виробничий процес на ділянці подрібнення дробильної фабрики за рівнем вибухо- та пожежонебезпеки відноситься до категорії “Б”.

Цех зведений із негорючих матеріалів — металоконструкцій, цегли, залізобетону та скла, що забезпечує III ступінь вогнестійкості будівлі.

Можливі причини виникнення пожежі на даній дільниці:

- перегрів або коротке замикання електрообладнання, що може призвести до займання (клас пожежі “Е”);
- випадкове займання паливно-мастильних матеріалів через іскри механічного або електричного походження, контакт із гарячими поверхнями чи відкритим полум’ям (клас “В”);
- самозаймання промаслених ганчірок та дрантя (клас “А”).

З метою зниження ризику займання у проєкті передбачено низку профілактичних заходів:

- обладнання електросистем плавкими запобіжниками та автоматичним струмовим захистом;
- зберігання паливно-мастильних матеріалів лише в кількості добової потреби, решта — на спеціальному протипожежному складі;
- вентиляційні системи електроприводів мають замкнуту схему з очищенням повітря від пилу;
- трансформаторні шафи винесені за межі цеху;
- маслопідвали обладнані припливно-витяжною вентиляцією, що забезпечує видалення парів масла та підтримання безпечної концентрації;
- освітлення та електроприлади в підвалах виконані в іскробезпечному варіанті;
- промаслені ганчірки збираються у металеві контейнери з герметичними кришками та після закінчення зміни утилізуються поза межами цеху;
- статичний електричний заряд відводиться через систему заземлення.

Для захисту будівель від блискавок передбачена система блискавкозахисту II категорії.

Цех оснащено первинними засобами пожежогасіння згідно з вимогами «Правил пожежної безпеки в Україні»:

- передбачено автоматичну пожежну сигналізацію, теплові датчики для активації системи гасіння;
- панель управління сигналізацією розташована на центральному пульті керування;
- у небезпечних зонах розміщено попереджувальні плакати;
- встановлені пожежні гідранти, вогнегасники, ящики з піском;
- для доступу на дах — стаціонарні пожежні драбини, закріплені на стінах.

Такий комплекс заходів забезпечує мінімізацію ризиків виникнення та поширення пожежі, а також безпечні умови праці персоналу.

ВИСНОВКИ

Літературний і патентний огляд конструкцій кульових млинів показує, що на сьогодні не існує універсальної конструкції, яка б повністю відповідала всім технологічним, експлуатаційним та ремонтним вимогам.

Більшість існуючих моделей кульових млинів мають ряд недоліків: вони характеризуються високим енергоспоживанням, підвищеною металоємністю, а також створюють значні динамічні навантаження на фундамент і будівельні конструкції цеху.

На практиці найпоширенішими залишаються млини з обертальним принципом роботи, однак така схема не забезпечує оптимального процесу подрібнення та не дозволяє досягти максимальної ефективності.

У зв'язку з цим пропонується модернізувати конструкцію шляхом використання вібраційного приводу. Такий підхід дає змогу зменшити енергозатрати, знизити масу обладнання та його габарити, а також подовжити міжремонтний інтервал експлуатації.

Отже, тема даної магістерської роботи є актуальною, оскільки спрямована на підвищення ефективності та надійності роботи кульового млина.

Реалізація запропонованих технічних рішень дозволяє знизити собівартість переробки однієї тонни матеріалу на 1,52 грн, при цьому капітальні вкладення окупаються за 0,93 року.

Очікуваний річний економічний ефект від впровадження модернізованої конструкції становить 4864,8 тис. грн, що підтверджує доцільність і ефективність запропонованих заходів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Каталог «Криворіжсталь» - 70 років - 70 кроків у майбутнє; 2004 рік - 15с.
2. Сировинні матеріали та їх підготовка до металургійних процесів: підручник / С.А. Воденніков, С.О. Гаврилко, В.М. Очинський та ін., за редакцією професора Червоного І.Ф.; Запорізька державна інженерна академія. Запоріжжя: ЗДІА, 2013. – 408 с.
3. Технічне обслуговування металургійного обладнання / Жук А.Я., Малишев Г.П., Желябіна Н.К., Таратута К.В. — Київ: Видавничий дім «Кондор», 2017. — 288 с.
4. Історія гірництва: Підручник / Гайко Г. І., Білецький В. С. — Київ-Алчевськ: Видавничий дім «Києво-Могилянська академія», видавництво «ЛАДО» ДонДТУ, 2013.— 542 с.
5. Технологічні машини: підручник для студентів спеціальностей механічної інженерії закладів вищої освіти./ Гнітько С.М., Бучинський М.Я., Попов С.В., Чернявський Ю.А. - Харків: НТМТ, 2020. 258 с.
6. А.с. 1366215/Шаровая вибрационная мельница/ Варсанофьев В.Д. (RU) и др./МПК В02С 19/16. № 4045998/31-33; заявл. 28.03.1986; опубл. 15.01.1988, Бюл. № 2, 2 с. <https://patents.su/2-1366215-sharovaya-vibracionnaya-melnica.html?ysclid=ml2loqip5y346950319>
7. А.с. 1165464/Вибрационная мельница/ Варсанофьев В.Д. (RU)/МПК В02С 19/16. № 3695889/29-33; заявл. 30.01.1984; опубл. 07.07.1985, Бюл. № 25, 3 с.<https://patents.su/3-1165464-vibracionnaya-melnica.html?ysclid=ml2lwa8o5f161069590>
8. А.с. 1457996/Вибрационная мельница/ Мизонов В.Е. (RU) и др./МПК В02С 19/16. № 4226531/29-33; заявл. 09.04.1987; опубл. 15.02.1989, Бюл. № 6, 2 с. <https://patents.su/2-1457996-vibracionnaya-melnica.html>
9. В.П. Танай, М.І. Гармаш та ін.. Довідник практичного механіка, - Кривий Ріг, 2001, - 328с.
- 10.Зінченко В.І., Мамаєв Л.М., Постольник Ю.С., Основи інженерної механіки: Навч. посібник. –Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2004. – 444с.

- 11.Монтаж металургійного обладнання: Навчальний посіб. / Жук А.Я., Малишев Г.П., Желябіна Н.К., Таратута К.В. — К.: Видавничий дім «Кондор», 2018. - 330 с.
- 12.Ремонт металургійного обладнання. Навчальний посібник./Желябіна Н.К., Жук А.Я., Малишев Г.П.Київ. Кондор. 2018.—234с.
- 13.Теорія і практика змащування металургійних машин. Навчальний посібник для студентів спеціальності 7.090218 – Механічне обладнання /Максименко О.П., Перемітько В.В., Самохвал В.М. – Дніпропетровськ: «Системні технології», 2006р. – 172 с.
- 14.Єсмаханов Ж.А., Мельнік С.С., Сьомін М.М., Настанова з охорони праці та промислової безпеки ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»/ Кривий Ріг, 2021. -58с. <https://ukraine.arcelormittal.com/corporate-responsibility/health-and-safety>
- 15.В.О. Шеремет, О.И. Каракаш, В.Ф. Марунчак та ін. Охорона праці на гірничо - металургійному підприємстві,: Навчальний посібник. - Ч.V: Ремонтно-механічний комплекс. - Дніпропетровськ: ПП «Ліра», 2004. - 332с.
- 16.І.В. Засельський, М.І. Шепеленко/ Методичний посібник про організацію та зміст кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти першого та другого рівнів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»/ ДУЕТ, Кривий Ріг, 2021, 30с.
- 17.Вимоги з оформлення письмових робіт/НМР ДУЕТ, Кривий Ріг, 2020, 53с. <https://www.duet.edu.ua/uploads/normbase/263/vimog.pdf>

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

Я, *Альошкін Валерій Валерійович*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна робота магістра *«Механічне обладнання РЗФ №1 ГД ПАТ «АМКР». Розробка вібраційного приводу млина кулькового МШБ-3200/5700»* 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



Альошкін В.В.
(ініціали, прізвище, власноруч)