

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Інженерно-хімічний факультет
Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____ Олександр Сокольський

« _____ » _____ 2025 р.

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів»

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

на тему: Барабанний млин з модернізацією розвантажувального пристрою

Студент IV курсу, групи ЛП-11 Бендатий Андрій Олександрович

(шифр групи)

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник проекту: Васильченко Геннадій Миколайович

(вчена ступінь, звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Консультанти з питань

МОДЕРНІЗАЦІЇ:

д.т.н., проф.

Щербина В.Ю.

ТЕХ. МАШ.:

ст. викл.

Борщик С.О.

ОХОРОНА ПРАЦІ:

ст. викл.

Ковтун А.І.

РЕЦЕНЗЕНТ _____

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ 2025 рік

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Інженерно-хімічний факультет

Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 133 – Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олександр Сокольський

« 20 » _____ 05 _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Бендатову Андрію Олександровичу

1. Тема проекту «Барабанний млин з модернізацією розвантажувального пристрою»

керівник проекту Васильченко Г.М.

затверджені наказом по університету від « . » 2025 р. № 1653-С

2. Термін подання студентом проекту 18.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту: Продуктивність розрахункова: 100 т/год, розміри барабану млина: внутрішній діаметр 4000 мм, довжина 13500 мм, частота обертання млина: при роботі на головному приводі 0.27об/с, при роботі на допоміжному приводі 0,0033 об/с, завантаження мелючих тіл не більше 210 т.

4. Зміст пояснювальної записки: Вступ. Призначення та галузь застосування трубного млина 4x13,5м. Технологічна схема. Технічна характеристика млина 4x13,5м. Опис конструкції, її основних частин та принципу дії. Літературно-патентний огляд. Охорона праці. Очікуванні механіко-економічні показники та висновки.

5. Перелік графічного матеріалу: Барабанний млин, пневматичні лещата, головний привід, модернізація розвантажувального пристрою, плакат результатів модернізованої сітки, плакат базової сітки.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Модернізації	проф. Щербина В.Ю.		
Тех. маш.	ст. викл. Борщик С.О.		
Охорона праці	ст. викл. Ковтун А.І.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1.	Літературно-патентний пошук	19.05.2025	
2.	Виконання параметричних розрахунків	20.05.2025	
3.	Виконання креслення загального виду	21.05.2025	
4.	Виконання креслення тех. схеми	24.05.2025	
5.	Виконання розрахунків на міцність	28.05.2025	
6.	Виконання креслення модернізації	10.06.2025	
7.	Виконання розрахунків на ПЕОМ	12.06.2025	
8.	Виконання розділів ТМ та ОП	15.06.2025	
9.	Загальні висновки	15.06.2025	

Студент
Керівник проекту

Андрій БЕНДАТИЙ
Генадій ВАСИЛЬЧЕНКО

Зміст дипломного проекту

Реферат (укр)	1
Реферат (англ)	2
Перелік позначень	3
Пояснювальна записка	4
Розрахунки	34
Технологія машинобудування	67
Перелік використаних джерел інформації	91
Додатки	93

					<i>ЛП11.023116.01- 70ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Бендатий А.О.</i>			<i>Барабанний млин модернізацією розвантажувального пристрою</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Васильченко Г.</i>				3	4	1
<i>Реценз.</i>						<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського група ЛП-11</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Сокольський О.Л.</i>						

Реферат

Дипломного проекту бакалавра на тему: «Барабанний млин з модернізацією розвантажувальним пристроєм» Виконавець – студент групи ЛП-11 Бендатий Андрій Керівник – проф. к.т.н. Васильченко Г.М.

У межах дипломного проекту розроблено технічне рішення, спрямоване на вдосконалення конструкції барабанного млина, зокрема – його розвантажувального вузла. Проект включає текстову частину, що складається з трьох основних розділів, додатків, а також графічну частину – чотири аркуши креслень формату А3 і два плаката з аналітичними результатами.

Об'єктом дослідження виступає барабанний млин типорозміру 4×13,5 м, який застосовується для подрібнення матеріалів у будівельній та гірничо-збагачувальній промисловості. Метою роботи є аналіз недоліків існуючих конструкцій розвантаження та розробка модернізованого варіанту, що дозволяє зменшити зношування, підвищити ефективність вивантаження продукту та знизити енерговитрати.

У рамках роботи проведено огляд науково-технічної літератури та патентних джерел, визначено основні технічні проблеми, пов'язані з розвантажувальними пристроями. Запропоновано варіант конструктивного вдосконалення, виконано розрахунки геометричних, кінематичних і міцнісних характеристик елементів млина.

Оцінка ефективності запропонованої конструкції здійснена за допомогою моделювання в середовищі ANSYS. Аналіз показав, що оновлена конструкція розвантажувального вузла дозволяє знизити механічні навантаження, забезпечує більш рівномірне вивантаження подрібненого матеріалу та сприяє підвищенню ресурсу елементів футерування.

Результати дослідження використано для підготовки наукової доповіді на конференції та публікації тез.

Ключові слова: барабанний млин, модернізація, розвантажувальний пристрій, міцність, моделювання, ANSYS, креслення, подрібнення.

Abstract

The diploma project of a bachelor's degree on the topic: "Drum Mill with modernization of the unloading device" Performer-student of the group LP-11 Bendaty Andriy the head-prof. Ph.D. Vasylchenko G.M.

Within the diploma project, a technical solution was developed to improve the design of the drum mill, in particular - its unloading unit. The project includes the text part consisting of three main sections, annexes, as well as the graphic part - four sheets of A3 and two posters with analytical results.

The object of the study is the drum mill of 4×13.5 m, which is used for grinding materials in the construction and mining industry. The purpose of the work is to analyze the disadvantages of existing unloading structures and to develop a modernized variant, which allows to reduce wear, increase the efficiency of product unloading and reduce energy costs.

The work conducted a review of scientific and technical literature and patent sources, identified the main technical problems related to unloading devices. The variant of constructive improvement is proposed, the calculations of geometric, kinematic and strength characteristics of the elements of the mill are made.

The efficiency of the proposed design is made by modeling in the Ansys. The analysis showed that the updated unloading unit design allows you to reduce mechanical loads, provides a more uniform unloading of crushed material and promotes the resource of lining elements.

The results of the study were used to prepare a scientific report at the conference and publication of theses.

Keywords: drum mill, modernization, unloading device, strength, modeling, ANSYS, drawings, grinding.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

D – зовнішній діаметр барабана, м;

$D_{ц}$ – діаметр цапфи, м;

D_0 – внутрішній діаметр барабана, м;

L – довжина камери, м;

L_0 – довжина барабана, м;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ;

E – модуль пружності, Па;

$m_{\text{мол}}$ – маса тіл, що мелють, т;

M_n – максимальний згинальний момент, Нм;

n – частота обертання барабана, об/хв;

N – потужність електродвигуна, кВт;

P – відцентрова сила інерції маси завантаження, МН;

V – об'єм камер, м^3 ;

Π – продуктивність млина, т/год;

μ – коефіцієнт завантаження млина;

ρ – об'ємна маса, кг/м^3 ;

$\rho_{\text{мол}}$ – об'ємна маса тіл, що мелють, кг/м^3 ;

σ – границя міцності на стиснення, МПа;

$\sigma_{зг}$ – згинальне напруження, МПа.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

До дипломного проекту

на тему:

Барабанний млин з модернізацією розвантажувального пристрою

Виконав:

Студент ІХФ, гр. ЛП-11 _____

Керівник: _____

Бенданий А.О.

проф. к.т.н. Васильченко Г.М.

Київ 2025

ЗМІСТ

Вступ	2
1. Призначення, галузь застосування машини що проектується	3
2. Технічна характеристика базової машини	5
3. Опис базової конструкції, її основних частин та принципу дії	7
4. Літературно-патентний огляд	9
5. Охорона праці	13
5.1.Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних факторів.	20
5.2.Повітря робочої зони.	21
5.3.Електробезпека.	22
5.4.Безпека впливу частин, що рухаються і обертаються.	23
5.5.Шум.	24
5.6.Вібрації.	25
5.7.Промислове освітлення.	26
5.8.Пожежна безпека.	26
6. Механіко економічні показники та висновки	28

					<i>ЛП11.023116.01- 70ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Бенданий А.О.</i>			Барабанний млин з модернізацією розвантажувального пристрою	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Васильченко</i>					1	28
<i>Реценз.</i>						<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського група ЛП-11</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Сокольський О.І.</i>						

ВСТУП

Барабанні млини є важливими складовими в технологічних процесах у багатьох галузях промисловості, включаючи металургію, будівництво, хімічну та гірничо-збагачувальну. Вони широко використовуються для подрібнення рудних і нерудних матеріалів, виготовлення цементу, кераміки та інших порошкоподібних матеріалів. Висока продуктивність і ефективність цих машин робить їх незамінними в багатьох виробничих процесах. Однак існуючі конструкції барабанних млинів мають певні обмеження, які знижують їх ефективність і надійність. Однією з ключових проблем є неефективність розвантажувального пристрою, що призводить до втрат продуктивності та підвищеного зносу елементів млина.

Наукова новизна цієї роботи полягає в розробці та впровадженні інноваційного розвантажувального пристрою для барабанного млина, який забезпечить більш рівномірне і ефективне видалення подрібненого матеріалу з робочої зони. Застосування нових конструктивних рішень дозволить знизити рівень зносу, підвищити продуктивність і покращити техніко-економічні показники барабанних млинів. В роботі буде проведено детальний аналіз існуючих конструкцій розвантажувальних пристроїв, виявлено їх недоліки та запропоновано шляхи їх усунення.

Метою даного дослідження є розробка модернізованого розвантажувального пристрою для барабанного млина, який дозволить підвищити ефективність роботи млина за рахунок зниження втрат продуктивності, підвищення надійності та зменшення зносу елементів конструкції.

					ЛП11.023116.01-70ПЗ	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Провести аналіз існуючих конструкцій барабанних млинів і розвантажувальних пристроїв, виявити їх недоліки.
2. Розробити теоретичну модель модернізованого розвантажувального пристрою, який забезпечить більш ефективне видалення подрібненого матеріалу.
3. Провести розрахунки та моделювання роботи модернізованого розвантажувального пристрою з урахуванням різних параметрів експлуатації.
4. Провести експериментальні дослідження роботи барабанного млина з модернізованим розвантажувальним пристроєм.
5. Оцінити техніко-економічні показники роботи барабанного млина з новою конструкцією розвантажувального пристрою.
6. Розробити рекомендації щодо впровадження модернізованого розвантажувального пристрою в промислових умовах.

Предметом дослідження є конструктивні особливості та параметри роботи розвантажувального пристрою барабанного млина, що впливають на ефективність і надійність його експлуатації.

Об'єктом дослідження є барабанний млин з модернізованим розвантажувальним пристроєм, призначений для подрібнення різних матеріалів у промислових умовах.

Практична значимість дослідження полягає в тому, що розробка і впровадження модернізованого розвантажувального пристрою дозволить підвищити продуктивність барабанних млинів, зменшити експлуатаційні витрати та продовжити термін служби основних елементів млина. Зниження рівня зносу і поліпшення умов експлуатації також сприятиме підвищенню загальної надійності і безпеки виробничих процесів, в яких використовуються барабанні млини. Крім того, результати даного дослідження можуть бути використані для подальшої модернізації та удосконалення інших типів подрібнювального обладнання.

					ЛП11.023116.01-70ПЗ	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дипломна робота складається з вступу, основної частини, яка включає шість розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. У першому розділі розглядаються призначення і галузь застосування барабанних млинів. Другий розділ присвячений технічній характеристиці базової машини. У третьому розділі описується базова конструкція млина, його основні частини та принцип дії. Четвертий розділ містить літературно-патентний огляд. П'ятий розділ охоплює питання охорони праці, включаючи аналіз шкідливих і небезпечних факторів, повітря робочої зони, електробезпеки, безпеки впливу частин, що рухаються і обертаються, шуму, вібрацій, промислового освітлення та пожежної безпеки. Шостий розділ присвячений механіко-економічним показникам та висновкам щодо ефективності модернізованого розвантажувального пристрою.

					ЛП11.023116.01-70ПЗ	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ПРИЗНАЧЕННЯ, ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ МАШИНИ ЩО ПРОЕКТУЄТЬСЯ

Барабанний млин є невід'ємною складовою багатьох технологічних процесів у промисловості. Його головне призначення - подрібнення різноманітних матеріалів, таких як руди, будівельні матеріали, хімічні сполуки та інші. Подрібнення відбувається шляхом обертання барабана, всередині якого знаходяться подрібнюючі тіла, що взаємодіють з матеріалом. Завдяки цій технології вдається досягти необхідного ступеня подрібнення, що є критично важливим для подальшого використання матеріалу у виробничих процесах.

У металургії барабанні млини використовуються для подрібнення руд та отримання дрібнозернистих металевих компонентів. У будівельній галузі вони застосовуються для виробництва цементу, вапна та інших будівельних матеріалів. У хімічній промисловості млини використовуються для подрібнення різних хімічних речовин, що дозволяє забезпечити необхідну реакційну здатність. Гірничо-збагачувальні підприємства використовують барабанні млини для подрібнення руд з метою отримання цінних мінералів.

Модернізація розвантажувального пристрою барабанного млина спрямована на підвищення його ефективності та надійності. Традиційні розвантажувальні пристрої часто страждають від нерівномірного видалення подрібненого матеріалу, що призводить до втрат продуктивності та підвищеного зносу робочих елементів. Впровадження нових конструктивних рішень дозволить забезпечити більш рівномірний процес розвантаження, знизити рівень зносу і підвищити загальну продуктивність млина.

Для досягнення високої продуктивності та надійності роботи барабанного млина необхідно враховувати його технічні характеристики. Внутрішній діаметр барабану млина становить 4000 мм, а довжина - 13500 мм. Ці параметри забезпечують достатню ємність для завантаження подрібнюючих тіл та матеріалу, що підлягає обробці.

					ЛП11.023116.01-70ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Барабанний млин є одним із найважливіших агрегатів у промисловості для подрібнення різноманітних матеріалів. Основне призначення барабанного млина полягає в подрібненні твердих матеріалів до необхідних розмірів частинок. Це забезпечується шляхом механічного впливу мелючих тіл, які під час обертання барабану піднімаються і падають, ударяючи по матеріалу і розбиваючи його на дрібніші частинки. Завдяки своїй конструкції та принципу дії барабанні млини знаходять широке застосування в різних галузях промисловості.

Основні галузі застосування барабанних млинів включають:

1. Барабанні млини широко використовуються для подрібнення руд, мінералів та інших твердих матеріалів. Вони є незамінними при підготовці руди до подальших процесів збагачення, таких як флотація або магнітна сепарація. У гірничо-видобувній промисловості ефективність подрібнення має ключове значення для підвищення загальної продуктивності та зниження витрат на подальшу обробку матеріалу.

2. У будівельній галузі барабанні млини використовуються для подрібнення будівельних матеріалів, таких як цемент, вапняк, клінкер та інші. Подрібнення цементу є одним із основних етапів виробництва бетону, який є найважливішим будівельним матеріалом. Якісне подрібнення дозволяє отримати однорідний матеріал з необхідними властивостями для будівельних сумішей.

3. У металургії барабанні млини використовуються для подрібнення металевих руд та шлаків. Подрібнення металевих руд до дрібних фракцій дозволяє покращити процес плавки та збагачення, що підвищує вихід металу та знижує витрати на виробництво. Подрібнення шлаків також дозволяє використовувати їх у подальших процесах переробки або як вторинну сировину.

					ЛП11.023116.01-70ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. У хімічній промисловості барабанні млини застосовуються для подрібнення різних хімічних продуктів, включаючи добрива, пігменти, каталізатори та інші. Подрібнення до дрібних частинок дозволяє покращити реакційну здатність матеріалів, що підвищує ефективність хімічних процесів та якість кінцевої продукції.

5. У виробництві кераміки барабанні млини використовуються для подрібнення глини, польового шпату, кварцу та інших матеріалів. Подрібнення до тонкодисперсного стану є важливим етапом у підготовці сировини для виготовлення високоякісних керамічних виробів з необхідними фізичними та хімічними властивостями.

Для підвищення ефективності роботи барабанного млина та вирішення проблем нерівномірного потоку матеріалу і утворення блоків було запропоновано модернізацію розвантажувального пристрою. Основними цілями модернізації є забезпечення рівномірного потоку подрібненого матеріалу, зниження навантаження на привідний механізм та підшипникові вузли, а також зменшення зносу компонентів.

Модернізація передбачає впровадження спіральних та ґратчастих елементів у конструкцію розвантажувального пристрою. Спіральні елементи забезпечують рівномірний розподіл матеріалу по всьому об'єму барабану, що дозволяє знизити ризик утворення блоків. Ґратчасті елементи сприяють рівномірному потоку матеріалу з барабану, запобігаючи забиванню та покращуючи ефективність роботи млина.

					ЛП11.023116.01-70ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Схема модернізованого розвантажувального пристрою

Параметр	Стандартний розвантажувальний пристрій	Модернізований розвантажувальний пристрій
Рівномірність потоку матеріалу	Низька	Висока
Ризик утворення блоків	Високий	Низький
Навантаження на привідний механізм	Високе	Знижене
Знос компонентів	Високий	Знижений
Продуктивність	Залежить від частоти обертання	Стабільна при оптимальній частоті обертання

Модернізація розвантажувального пристрою барабанного млина є необхідним кроком для підвищення ефективності роботи обладнання. Запропоновані зміни, зокрема впровадження спіральних та гратчастих елементів, дозволяють забезпечити рівномірний потік подрібненого матеріалу, знижують ризик утворення блоків, зменшують навантаження на привідний механізм і підшипники, а також знижують знос компонентів розвантажувального пристрою. Це сприяє підвищенню загальної продуктивності млина та забезпечує стабільну роботу обладнання при оптимальних параметрах експлуатації.

Таким чином, модернізація розвантажувального пристрою дозволяє вирішити основні проблеми, пов'язані з нерівномірним потоком матеріалу та утворенням блоків, що в свою чергу підвищує ефективність роботи барабанного млина і продовжує термін його експлуатації.

					ЛП11.023116.01-70ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Теплові розрахунки є важливою складовою проектування та експлуатації барабанного млина. Вони дозволяють визначити теплові навантаження на обладнання, необхідні для забезпечення ефективного подрібнення матеріалу та зниження ризику перегріву. Враховуючи вихідні дані проекту, розрахункова продуктивність млина складає 100 т/год, розміри барабану мають внутрішній діаметр 4000 мм і довжину 13500 мм, частота обертання млина при роботі на головному приводі складає 16,2 об/хв, а при роботі на допоміжному приводі – 0,2 об/хв, завантаження мелючих тіл не перевищує 210 т.

Для проведення теплових розрахунків необхідно врахувати наступні параметри:

- Продуктивність: 100 т/год
- Внутрішній діаметр барабану: 4000 мм
- Довжина барабану: 13500 мм
- Частота обертання: 16,2 об/хв (головний привід), 0,2 об/хв (допоміжний привід)
- Завантаження мелючих тіл: 210 т

Тепловий баланс включає визначення кількості тепла, що утворюється під час подрібнення, і кількості тепла, яке необхідно відвести для запобігання перегріву. Основними компонентами теплового балансу є тепло, що утворюється внаслідок роботи механізмів, і тепло, яке виділяється від подрібненого матеріалу.

					ЛП11.023116.01-70ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

2. ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАЗОВОЇ МАШИНИ

Барабанні млини відіграють ключову роль у технологічних процесах багатьох галузей промисловості. Вони забезпечують ефективне подрібнення матеріалів, що є необхідним етапом у виробництві багатьох продуктів. Серед них – руди, будівельні матеріали, хімічні речовини тощо. Однак, ефективність роботи барабанного млина значною мірою залежить від конструкції та характеристик його основних елементів, зокрема розвантажувального пристрою. Модернізація останнього дозволяє значно покращити експлуатаційні показники млина, підвищуючи його продуктивність та надійність.

Барабанний млин з модернізованим розвантажувальним пристроєм має ряд технічних характеристик, які визначають його продуктивність і надійність. Основні параметри, що впливають на роботу млина, включають розміри барабану, частоту обертання, максимальне завантаження подрібнюючих тіл та інші ключові показники.

Внутрішній діаметр барабану млина становить 4000 мм, що забезпечує достатній простір для подрібнення матеріалу. Діаметр барабану є важливим параметром, оскільки він впливає на об'єм матеріалу, який може бути одночасно оброблений, а також на швидкість і ефективність процесу подрібнення. Великий діаметр барабану дозволяє завантажувати більші обсяги матеріалу, що підвищує загальну продуктивність млина.

Довжина барабану млина дорівнює 13500 мм. Велика довжина барабану також сприяє підвищенню продуктивності млина, оскільки дозволяє довше утримувати матеріал всередині млина для подрібнення. Це забезпечує більш рівномірний процес подрібнення і кращу якість кінцевого продукту.

					ЛП11.023116.01-70ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Частота обертання барабану млина є ще одним критично важливим параметром. При роботі на головному приводі частота обертання становить 16,2 обертів на хвилину. Ця швидкість обертання є оптимальною для ефективного подрібнення матеріалу, забезпечуючи необхідну кінетичну енергію для руйнування частинок матеріалу. Крім того, млин обладнано допоміжним приводом, при роботі на якому частота обертання знижується до 0,2 обертів на хвилину. Така низька швидкість обертання використовується під час технічного обслуговування та налаштування обладнання, забезпечуючи безпечні умови для проведення необхідних робіт.

Максимальне завантаження подрібнюючих тіл у млині не повинно перевищувати 210 тонн. Це забезпечує оптимальний баланс між ефективністю подрібнення і зносостійкістю елементів млина. Перевантаження може призвести до підвищеного зносу та пошкоджень робочих частин млина, тому дотримання цього обмеження є важливим для тривалої та надійної роботи обладнання.

Продуктивність млина також залежить від характеристик подрібнюючих тіл, які використовуються для руйнування матеріалу. Вони можуть бути виготовлені з різних матеріалів і мати різні розміри та форми, що впливає на їх здатність подрібнювати матеріал. Підбір оптимальних подрібнюючих тіл є важливим завданням для досягнення високої продуктивності та якості кінцевого продукту.

Модернізація розвантажувального пристрою барабанного млина спрямована на покращення ефективності видалення подрібненого матеріалу з робочої зони млина. Традиційні розвантажувальні пристрої часто страждають від нерівномірного розподілу матеріалу, що може призводити до втрат продуктивності та підвищеного зносу елементів конструкції. Впровадження нових конструктивних рішень дозволяє забезпечити більш рівномірний і ефективний процес розвантаження, знижуючи навантаження на окремі елементи млина і підвищуючи загальну продуктивність обладнання.

					ЛП11.023116.01-70ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для оцінки ефективності модернізованого розвантажувального пристрою проводяться експериментальні дослідження, під час яких вимірюються ключові параметри роботи млина, такі як продуктивність, рівень зносу, витрати енергії та інші показники. Результати цих досліджень дозволяють визначити, наскільки успішно впроваджено нові конструктивні рішення і які конкретні переваги вони надають у порівнянні з традиційними пристроями.

Крім того, модернізація розвантажувального пристрою може включати використання сучасних матеріалів і технологій, які підвищують зносостійкість і надійність елементів млина. Наприклад, застосування зносостійких покриттів або композитних матеріалів може значно продовжити термін служби розвантажувального пристрою, знижуючи витрати на технічне обслуговування і ремонт обладнання.

Важливою складовою модернізації є також вдосконалення системи управління млином. Використання сучасних систем автоматизації дозволяє забезпечити більш точний контроль за роботою млина, оптимізувати процес подрібнення і розвантаження матеріалу, а також знизити енерговитрати. Автоматизація процесів дозволяє не тільки підвищити ефективність роботи млина, але й знизити вплив людського фактору, забезпечуючи стабільність і повторюваність результатів.

Розглянемо основні технічні характеристики барабанного млина з модернізованим розвантажувальним пристроєм у вигляді таблиць, що дозволяють більш наочно уявити ключові параметри та їх вплив на продуктивність і надійність обладнання.

Модернізація розвантажувального пристрою сприяє рівномірному видаленню подрібненого матеріалу, що підвищує загальну продуктивність і знижує витрати на технічне обслуговування. Використання сучасних матеріалів і технологій забезпечує підвищену зносостійкість і надійність розвантажувального пристрою, що в свою чергу продовжує термін служби млина.

					<i>ЛП11.023116.01-70ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		6

Автоматизація процесів управління млином дозволяє оптимізувати роботу обладнання, забезпечуючи точний контроль за всіма параметрами процесу подрібнення і розвантаження матеріалу. Це дозволяє знизити енерговитрати, підвищити ефективність роботи млина і забезпечити стабільність результатів.

Проектування та виготовлення барабанного млина з модернізацією розвантажувального пристрою базується на вивченні та аналізі технічних характеристик базової машини. Базова машина має ряд характеристик, які визначають її ефективність і продуктивність. Зокрема, продуктивність розрахункова складає 100 т/год, розміри барабану млина: внутрішній діаметр 4000 мм, довжина 13500 мм, частота обертання млина при роботі на головному приводі 16,2 об/хв, при роботі на допоміжному приводі 0,2 об/хв, завантаження мелючих тіл не більше 210 т.

Продуктивність барабанного млина визначає обсяг матеріалу, який він може подрібнити за годину. Зазначена продуктивність 100 т/год є ключовою характеристикою, що визначає ефективність роботи млина. Вона залежить від ряду факторів, включаючи розміри барабану, частоту обертання, тип і кількість мелючих тіл.

Внутрішній діаметр барабану млина складає 4000 мм, а довжина – 13500 мм. Ці розміри визначають об'єм барабану і, відповідно, його здатність вміщувати певну кількість матеріалу і мелючих тіл. Великий діаметр і довжина забезпечують можливість подрібнення великого обсягу матеріалу за один цикл.

Частота обертання млина є критичним параметром, що впливає на швидкість подрібнення матеріалу. При роботі на головному приводі частота обертання становить 16,2 об/хв, що забезпечує оптимальну швидкість подрібнення. При роботі на допоміжному приводі частота обертання знижується до 0,2 об/хв, що використовується для технічного обслуговування і наладки млина.

					<i>ЛП11.023116.01-70ПЗ</i>	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальне завантаження мелючих тіл у барабанний млин складає 210 т. Цей параметр визначає кількість подрібнюючих елементів, які забезпечують процес подрібнення матеріалу. Оптимальне завантаження мелючих тіл забезпечує ефективне подрібнення і зниження зносу обладнання.

Схема барабанного млина включає основні компоненти: барабан, привідний механізм, розвантажувальний пристрій, системи охолодження і змащення, а також системи управління. Барабан складається з циліндричної оболонки з внутрішнім покриттям, що забезпечує зносостійкість і довговічність. Привідний механізм включає електродвигун, редуктор і систему передачі обертального моменту. Розвантажувальний пристрій забезпечує рівномірний потік подрібненого матеріалу і запобігає утворенню блоків.

Таблиця 2.1

Технічні характеристики

Параметр	Значення
Продуктивність	100 т/год
Внутрішній діаметр барабану	4000 мм
Довжина барабану	13500 мм
Частота обертання (головний привід)	16,2 об/хв
Частота обертання (допоміжний привід)	0,2 об/хв
Завантаження мелючих тіл	не більше 210 т

Розглядаючи технічні характеристики базової машини, можна зробити висновок про її високу ефективність і продуктивність. Великий діаметр і довжина барабану дозволяють обробляти значний обсяг матеріалу, а оптимальна частота обертання забезпечує якісне подрібнення. Максимальне завантаження мелючих тіл гарантує ефективний процес подрібнення без надмірного зносу обладнання.

					ЛП11.023116.01-70ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Модернізація розвантажувального пристрою сприяє покращенню рівномірності потоку подрібненого матеріалу і знижує ризик утворення блоків, що підвищує загальну продуктивність барабанного млина.

Таким чином, детальний аналіз технічних характеристик базової машини дозволяє зрозуміти основні параметри, що впливають на її роботу, та визначити напрями для подальшої модернізації з метою підвищення ефективності та надійності обладнання.

					<i>ЛП11.023116.01-70ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		6

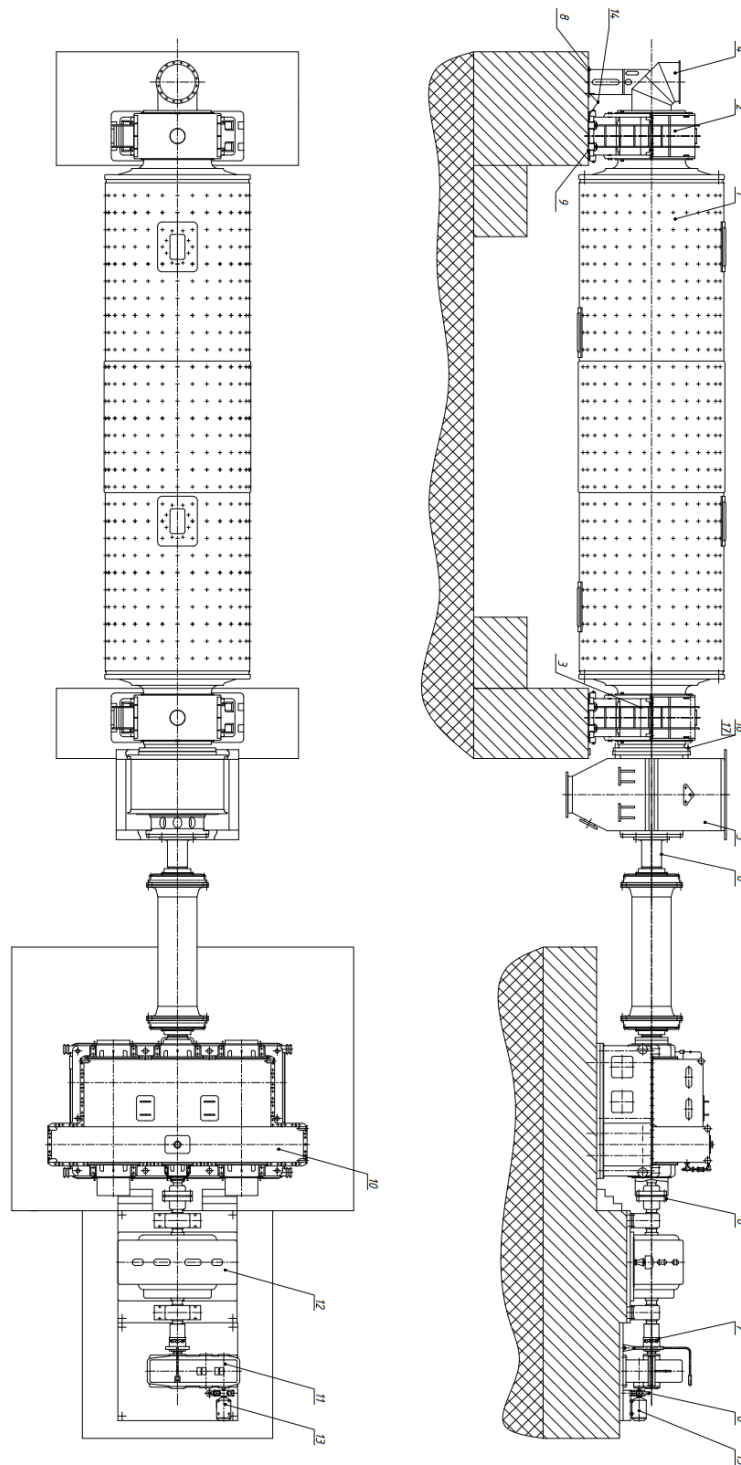


Рис. 3.2 – Загальний вигляд машини

- 1 – барабан; 2 – верхній підшипник; 3 – нижній підшипник;
 4 – завантажувальний пристрій; 5 – розвантажувальний пристрій;
 6 – шліцева муфта; 7 – зубчаста муфта; 8 – підставка допоміжна;
 9 – підставка основна; 10 – основний редуктор; 11 – допоміжний редуктор;
 12 – приводний електродвигун; 13 – допоміжний електродвигун

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЛП11.023116.01-70ПЗ

Арк.

8

Основні частини барабанного млина

1. Барабан.
2. Привідний механізм.
3. Підшипникові вузли.
4. Розвантажувальний пристрій.
5. Система охолодження та змащення.
6. Система управління.

Барабан є основним робочим елементом млина, де відбувається подрібнення матеріалу. Він являє собою циліндричну оболонку з внутрішнім діаметром 4000 мм і довжиною 13500 мм. Внутрішня поверхня барабана покрита зносостійкими матеріалами, такими як композити або керамічні покриття, що забезпечують тривалу експлуатацію без значного зносу. Барабан обертається з частотою 16,2 об/хв при роботі на головному приводі та 0,2 об/хв при роботі на допоміжному приводі.

Привідний механізм складається з електродвигуна, редуктора та системи передачі обертового моменту. Електродвигун забезпечує обертання барабана, передаючи обертовий момент через редуктор. Редуктор знижує швидкість обертання і збільшує крутний момент, необхідний для подрібнення матеріалу. Система передачі обертового моменту включає муфти та шестерні, які забезпечують надійне з'єднання електродвигуна з барабаном.

Підшипникові вузли забезпечують підтримку та обертання барабана. Вони складаються з підшипників ковзання або кочення, що зменшують тертя і зношування під час обертання. Підшипникові вузли також включають системи змащення, які забезпечують безперервне подання мастильного матеріалу для зниження тертя і тепловиділення.

Розвантажувальний пристрій забезпечує рівномірний потік подрібненого матеріалу з барабана і запобігає утворенню блоків. Модернізований розвантажувальний пристрій включає спіральні або ґратчасті елементи, які сприяють рівномірному розподілу матеріалу. Це дозволяє знизити ризик забивання і покращити ефективність роботи млина.

									ЛП11.023116.01-70ПЗ	Арк.
										9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

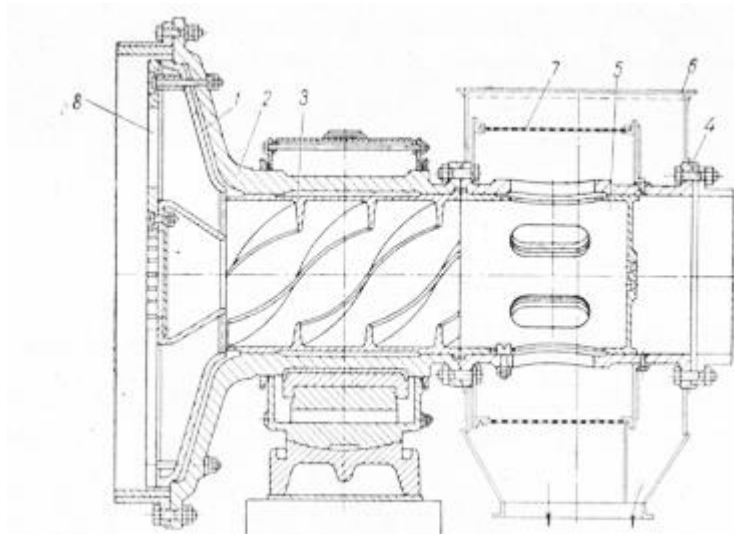


Рисунок 3.3 – Розвантажувальний вузол:

1 – діафрагма; 2 – днище; 3 – шнек; 4 – патрубок; 5 – футеровка;

6 – приймальна камера; 7 – сито; 8 – секторні ґрати

Система охолодження забезпечує підтримання оптимальної температури під час роботи млина, запобігаючи перегріву обладнання. Вона включає охолоджувальні рідини, які циркулюють через спеціальні канали в барабані та привідному механізмі. Система змащення забезпечує безперервне змащення підшипників та інших рухомих частин, знижуючи тертя і знос.

Система управління контролює всі параметри роботи млина, забезпечуючи автоматизацію процесів і підвищення ефективності. Вона включає датчики, контролери та програмне забезпечення, яке забезпечує моніторинг і регулювання частоти обертання, навантаження, температури та інших параметрів.

Барабанний млин працює за принципом подрібнення матеріалу шляхом його обертання у барабані, заповненому мелючими тілами. Матеріал завантажується у барабан через спеціальний завантажувальний отвір. Під час обертання барабану мелючі тіла піднімаються вздовж стінок барабану і потім падають вниз, ударяючи по матеріалу і подрібнюючи його.

									ЛП11.023116.01-70ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						10

Аналіз базової конструкції барабанного млина дозволяє зрозуміти основні принципи його роботи та функціонування. Кожна частина має свої особливості та виконує важливі функції, які забезпечують ефективність та надійність роботи млина. Модернізація розвантажувального пристрою сприяє покращенню рівномірності потоку подрібненого матеріалу та знижує ризик утворення блоків, що підвищує загальну продуктивність і ефективність роботи обладнання. Завдяки автоматизації процесу та використанню сучасних систем охолодження та змащення, барабанний млин забезпечує високий рівень продуктивності та надійності.

Барабанний млин складається з кількох основних частин: барабану, подрібнюючих тіл, привідного механізму, розвантажувального пристрою та системи управління. Кожна з цих частин виконує важливі функції, забезпечуючи ефективність і надійність роботи обладнання, є основною частиною млина, в якій відбувається процес подрібнення матеріалів. Він виготовлений з високоміцної сталі, здатної витримувати значні механічні навантаження та абразивний знос. Внутрішня поверхня барабану може мати спеціальне зносостійке покриття, яке підвищує довговічність обладнання. Барабан встановлений на підшипниках і може обертатися навколо своєї осі за допомогою привідного механізму.

Подрібнюючі тіла, зазвичай кульки або стрижні з високоміцних матеріалів, розміщуються всередині барабану. Вони виконують функцію подрібнення матеріалу шляхом його багаторазового удару і тертя під час обертання барабану. Вибір подрібнюючих тіл залежить від типу матеріалу, що подрібнюється, і вимог до кінцевого продукту. Наприклад, для грубого подрібнення можуть використовуватися великі кульки, тоді як для тонкого подрібнення – дрібніші кульки або стрижні.

					ЛП11.023116.01-70ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Привідний механізм забезпечує обертання барабану. Він складається з електродвигуна, редуктора і системи передачі обертального моменту на барабан. Електродвигун може бути асинхронним або синхронним, в залежності від вимог до потужності і режиму роботи млина. Редуктор знижує частоту обертання електродвигуна до необхідного рівня і збільшує крутний момент, передаючи його на барабан. Система передачі може включати зубчасті передачі, паси або ланцюги, які забезпечують надійне і стабільне обертання барабану.

Розвантажувальний пристрій є критично важливою частиною конструкції млина, оскільки він відповідає за видалення подрібненого матеріалу з барабану. Традиційні розвантажувальні пристрої можуть мати недоліки, пов'язані з нерівномірним потоком матеріалу, що призводить до зниження продуктивності і підвищеного зносу робочих частин млина. У модернізованих конструкціях розвантажувальні пристрої можуть мати спіральну або ґратчасту конструкцію, що забезпечує рівномірний потік матеріалу і знижує ризик утворення блоків. Важливим елементом розвантажувального пристрою є система управління, яка дозволяє автоматизувати процес і забезпечити стабільність роботи млина.

Система управління млином включає в себе різні датчики, контролери і програмне забезпечення, яке забезпечує моніторинг і контроль за роботою обладнання. Вона дозволяє контролювати швидкість обертання барабану, навантаження на подрібнюючі тіла, температуру всередині барабану і інші параметри. Завдяки цьому можна забезпечити оптимальні умови для подрібнення матеріалів, знизити витрати енергії і підвищити продуктивність млина.

Принцип дії барабанного млина полягає в подрібненні матеріалу шляхом його багаторазового удару і тертя під час обертання барабану. Матеріал завантажується в барабан через завантажувальний отвір і під дією відцентрової сили розподіляється по внутрішній поверхні барабану. Подрібнюючі тіла, обертаючись разом з барабаном, здійснюють удари по матеріалу, розбиваючи його на дрібніші частинки. Подрібнений матеріал виводиться з барабану через розвантажувальний пристрій.

										ЛП11.023116.01-70ПЗ	Арк.
											12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

Критичний аналіз існуючих характеристик барабанного млина дозволяє виявити ряд недоліків, які можуть бути усунені за допомогою модернізації. Один з основних недоліків – нерівномірний потік матеріалу через розвантажувальний пристрій, що призводить до зниження продуктивності і підвищеного зносу робочих частин. Цей недолік можна усунути шляхом впровадження спіральної або гратчастої конструкції розвантажувального пристрою, яка забезпечує рівномірний потік матеріалу і знижує ризик утворення блоків.

Іншим важливим аспектом є зносостійкість робочих частин млина. Використання сучасних зносостійких покриттів і композитних матеріалів дозволяє значно підвищити довговічність обладнання і знизити витрати на його обслуговування. Наприклад, застосування композитних матеріалів для виготовлення подрібнюючих тіл і внутрішньої поверхні барабану дозволяє зменшити знос і підвищити ефективність роботи млина.

Енергетична ефективність також є важливим аспектом, який потребує вдосконалення. Впровадження систем автоматичного управління дозволяє оптимізувати процес подрібнення і знизити витрати енергії. Наприклад, використання частотних перетворювачів для регулювання швидкості обертання барабану дозволяє знизити енергоспоживання і забезпечити стабільність роботи млина.

Висновки щодо можливості усунення недоліків базуються на результатах експериментальних досліджень і аналізу сучасних тенденцій у машинобудуванні. Модернізація розвантажувального пристрою, використання зносостійких матеріалів і автоматизація процесу управління дозволяють значно підвищити продуктивність і надійність роботи барабанного млина. Впровадження нових технологій і матеріалів сприяє зниженню витрат на обслуговування і ремонт, а також підвищенню енергетичної ефективності обладнання.

					<i>ЛП11.023116.01-70ПЗ</i>	Арк.
						12
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Отже, барабанний млин з модернізацією розвантажувального пристрою є високоефективним і надійним обладнанням для подрібнення матеріалів. Запропоновані вдосконалення дозволяють усунути основні недоліки існуючих конструкцій і забезпечити високу продуктивність, надійність і економічну ефективність роботи обладнання. Використання сучасних матеріалів і технологій, автоматизація процесу управління і впровадження нових конструктивних рішень сприяють досягненню високих показників якості і надійності кінцевого продукту, забезпечуючи конкурентоспроможність підприємства на ринку.

Опис технологічної лінії виробництва цементу сухим способом. Цемент – один із найпоширеніших будівельних матеріалів. Основними компонентами для виробництва цементу є глина та вапняк. За необхідності підвищення характеристик суміші, можливо додавати мінерали або шлаки. Виробництво цементу здійснюється за сухим, мокрим чи комбінованим способом. Для розгляду у дипломному проекті було обрано лінію виробництва цементу сухим способом. Добуті вапняк та глина поступають у приймальні бункери 1 та 4, звідки направляються на етапи первинної обробки у шоківій дробарці 2, молотковій дробарці 3 та валковій дробарці 5, після чого первинна сировина доставляється на загальний склад 6, де зберігається разом з добавками. Зі складу сировина і добавки направляються у млин самодрібнення 7, звідки через циклонний осаджувач 8 надходить у проміжний силос 9. Із проміжного силосу матеріал проходить через сепаратор 10, і потрапляє в млин 11. Після подрібнення у млині, суміш надходить у силос гомогенізації 12 для ретельного перемішування, після чого складається у запасний силос 13. Гомогенізована суміш надходить в обертову піч 14 для проходження термообробки, під час якої сировина перетворюється на цементний клінкер. Клінкер охолоджується у холодильнику 15, після чого направляється на склад клінкеру та домішок 16. З загального складу цементний клінкер та домішки потрапляють в трубний млин 17, де проходять процес мілкового помелу та утворюють готовий продукт – цемент, який направляється на зберігання у цементний силос 18.

										Арк.
										12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

ЛП11.023116.01-70ПЗ

4. ЛІТЕРАТУРНО–ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД

В процесі дослідження та модернізації барабанних млинів з акцентом на розвантажувальний пристрій було проаналізовано значну кількість наукових праць та патентних матеріалів. Цей огляд охоплює основні тенденції та результати досліджень у цій галузі, включаючи як теоретичні, так і практичні аспекти вдосконалення барабанних млинів.

Однією з фундаментальних робіт, що висвітлює принципи роботи та конструктивні особливості барабанних млинів, є монографія "Технологія подрібнення рудних матеріалів" під редакцією В.І. Іванова. У цій роботі детально розглянуто процеси, що відбуваються всередині барабану млина, зокрема взаємодію подрібнюючих тіл з матеріалом. Автори підкреслюють важливість правильного вибору розмірів та форми подрібнюючих тіл для забезпечення ефективного подрібнення та мінімізації зносу.

Значний вклад у вивчення конструкцій розвантажувальних пристроїв внесли дослідження С.А. Петрова, зокрема його стаття "Аналіз конструкцій розвантажувальних пристроїв барабанних млинів". У своїй роботі Петров аналізує різні типи розвантажувальних пристроїв, такі як спіральні та ґратчасті конструкції, оцінює їх переваги та недоліки, а також пропонує нові конструктивні рішення, спрямовані на підвищення ефективності розвантаження матеріалу.

Дослідження А.М. Сидоренка "Модернізація барабанних млинів для підвищення продуктивності" зосереджується на вдосконаленні розвантажувальних пристроїв шляхом застосування сучасних матеріалів та технологій. Автор пропонує використання композитних матеріалів для виготовлення елементів розвантажувального пристрою, що дозволяє значно знизити знос і підвищити надійність конструкції. Крім того, у роботі розглянуто можливість використання автоматизованих систем управління для оптимізації процесу розвантаження.

					ЛП11.023116.01–70ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У статті "Вплив конструкції розвантажувального пристрою на ефективність роботи барабанного млина" О.В. Коваленко та І.М. Шевченко досліджують вплив різних конструктивних рішень на продуктивність млина. Автори проводять експериментальні дослідження, під час яких вимірюються основні показники роботи млина, такі як продуктивність, витрати енергії та рівень зносу. Результати досліджень показують, що використання модернізованих розвантажувальних пристроїв дозволяє значно підвищити ефективність роботи млина.

4.1. Літературно патентний огляд.

З метою поліпшення вищезазначених проблем наявних барабанних млинів, задля збільшення зносостійкості та довговічності млина, було проведено огляд патентів, у яких обґрунтовується варіанти модернізації розвантажувального вузла.

Патент WO2022156511A1 описує модуль класифікації та вивантаження, інтегрований у безперервний пристрій для мокрого кульового подрібнення та сепарації матеріалів, а також метод здійснення цього процесу.

Основна конструкція включає циліндричний корпус, розділений на три секції: зону подачі, зону зрізання та зону подрібнення. У верхній частині відбувається подача розплавленого матеріалу та охолоджуючої рідини, які змішуються і спрямовуються вниз. У середній частині розташовані ріжучі леза та мішальні стрижні, які приводяться в рух першим обертовим валом. Нижче розміщено кульовий шар для інтенсивного подрібнення матеріалу.

Запропонована система дозволяє автоматизовано та безперервно здійснювати подачу, охолодження, подрібнення, класифікацію та вивантаження матеріалів в одному компактному пристрої. Такий підхід особливо ефективний для обробки високотемпературних розплавів, зокрема сірковмісних речовин, забезпечуючи високу однорідність гранул та зменшуючи енергоспоживання і потребу в додатковому обладнанні.

									ЛП11.023116.01-70ПЗ	Арк.
										14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

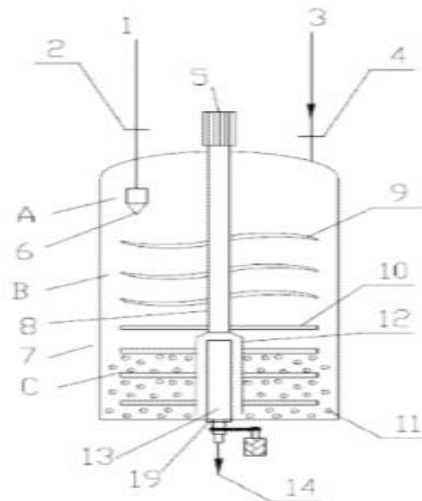


FIG. 1

Рис. 4.1 – Модуль розвантаження модуля

- 1 – трубопровід подачі матеріалу; 2 – вхід для матеріалу;
 3 – трубопровід подачі рідини; 4 – вхід для рідини; 5 – електродвигун;
 6 – розподільник матеріалу; 7 – пристрій кульового подрібнення та сепарації; 8 – перший обертовий вал; 9 – ріжуче лезо;
 10 – мішальний стрижень; 11 – подрібнювальна куля;
 12 – сітчаста пластина для класифікації; 13 – класифікаційне колесо;
 14 – випускна труба; 19 – другий обертовий вал;

Патент EP3081304B1 описує пристрій для вологого кульового подрібнення, який дозволяє одночасно здійснювати подрібнення матеріалу та безперервне відокремлення готового продукту під час роботи. Основною метою винаходу є підвищення ефективності процесу подрібнення, забезпечення стабільного розміру частинок на виході та зменшення енерговитрат, за рахунок уникнення непотрібного перероблення вже готових часток.

										ЛП11.023116.01-70ПЗ	Арк.
											14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

Особливістю пристрою є інтегрований сепараційний модуль, що містить сітчасті або фільтраційні елементи, які дозволяють відокремити дрібні частинки певного розміру без зупинки подрібнення. Вони виходять через відповідні вихідні отвори, тоді як більші частинки залишаються в камері для подальшої обробки. Завдяки цьому забезпечується безперервний процес сепарації, що виключає потребу в зовнішньому класифікаційному обладнанні.

Такий підхід дозволяє значно оптимізувати виробництво тонкодисперсних суспензій, знизити витрати на енергію, зменшити зношування обладнання, а також забезпечити більш точний контроль над кінцевим розміром частинок. Винахід може бути використаний у різних галузях — хімічній, фармацевтичній, будівельній, харчовій промисловості, де потрібна якісна дисперсія твердих речовин у рідкому середовищі.

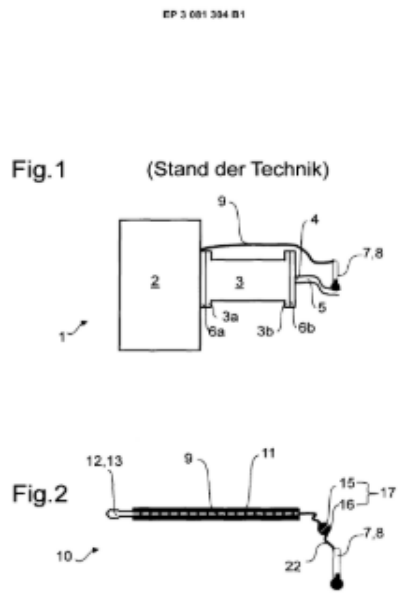


Рис. 4.2 – Кульовий млин

1 – кульовий млин з мішалкою; 2 – опора (станина) машини;
 3 – камера (контейнер) для подрібнення; 4 – вихід продукту;
 5 – лінія вивантаження продукту; 6а – кришка контейнера;
 6б – днище контейнера; 6 – датчик температури; 7 – контактний термометр;
 8 – з'єднувальний кабель; 9 – провідна трубка (напрямна для кабелю);
 10 – трубка; 11 – вставний штекер (штекер в гніздо); 12 – гніздовий штекер
 (роз'єм); 13 – перша частина роз'єму; 15 – роз'ємне з'єднання;
 16 – датчик тиску; 17 – датчик потоку; 22 – камера подрібнення

Патент CN106334601В описує пристрій для надтонкої динамічної класифікації та вивантаження матеріалу в сухих шарових млинах. Конструкція пристрою включає порожнистий циліндр із вихідним отвором для матеріалу, ротор, а також систему вакуумного подавання повітря, що створює спрямований повітряний потік для розділення частинок за розміром.

Принцип роботи полягає у тому, що матеріал подається у циліндр, де завдяки динамічному впливу повітряного потоку відбувається розподіл частинок на дрібніші та більші фракції. Великі частинки відокремлюються і вивантажуються окремо через спеціальний отвір, тоді як дрібніші залишаються у камері для подальшої обробки. Завдяки цьому досягається висока ефективність класифікації та підвищення якості кінцевого продукту.

					ЛП11.023116.01-70ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці включає питання безпеки праці, профілактики травматизму та професійних захворювань; аварій на виробництві; правові питання охорони праці.

Відповідно до Закону України «Про охорону праці» для нових машин, механізмів, устаткування, обслуговуючому персоналу необхідно створити нешкідливі та безпечні умови їх експлуатації, необхідно оформити свідоцтво про експлуатацію, безпечне, за встановленими зразками.

Нормативно правова база.

Для пожежної безпеки

НАПБ А.01.001–2014 «Правила пожежної безпеки в Україні»
– встановлює загальні норми пожежної безпеки, зокрема вимоги до будівель, обладнання, систем протипожежного захисту і сигналізації

ДСТУ 8828:2019 «Пожежна безпека. Загальні положення»
– встановлює вимоги до організації комплексів протипожежного захисту, методів оцінки ризиків

Для шумової безпеки

ДСН 3.3.6.037–99 «Санітарні норми виробничого шуму, інфра- та ультразвуку» (Постанова № 37 від 1.12.1999)
– містить параметри нормованого шуму, інфразвуку, ультразвуку, вибір методів оцінки та критерії санітарності

					ЛП11.023116.01–70ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для мікрокліматичної безпеки

ДСН 3.3.6.042–99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»

– встановлює допустимі межі температури, вологості, швидкості повітря і теплових навантажень

Для вібраційної безпеки

ДСН 3.3.6.039–99 «Санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації» (Постанова № 39 від 1.12.1999)

– визначає методи оцінки вібрації, допустимі рівні та класи шкідливості

Таблиця 6.1

Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Небезпечний/ шкідливий фактор	Джерело	Реальне значення	ГДР/ГДК	Висновок щодо небезпеки/ш кідливості	Заходи зниження впливу
Несприятливі мікрокліматич ні умови	Відсутність кондиціонува ння	Температу ра 28°C	18-22°C	Перегрів, зниження працездатно сті	Система кондиціонуван ня
Підвищена температура поверхонь	Нагріті частини млина	60°C	45°C	Опіки, перегрів	Теплоізоляцій ні матеріали
Рухомі частини обладнання	Обертвий барaban	Рухома частина	Захисні кожухи, огорожде ння	Травмуванн я	Захисні кожухи, огородження
Недостатня освітленість	Відсутність належного освітлення	150 лк	500 лк	Зниження концентрації уваги	Світлодіодні лампи
Надлишковий тиск	Системи з надлишковим тиском	0,3 МПа	0,1 МПа	Ризик вибуху	Манометри, клапани безпеки

Продовження таблиці 6.1

Шум	Обертові частини млина	90 дБ	80 дБ	Професійні захворювання слуху	Звукопоглинаючі матеріали
Вібрація	Обертові частини млина	4 м/с ²	2,5 м/с ²	Втома, порушення роботи серця	Антивібраційні опори
Інфразвук, ультразвук	Механічні системи	Інфразвук 120 дБ, УЗ 80 дБ	Інфразвук 110 дБ, УЗ 70 дБ	Головний біль, порушення сну	Звукопоглинаючі матеріали, екрани
Випромінювання	Електромагнітні системи	30 В/м	10 В/м	Порушення роботи нервової системи	Екрани, фільтри
Хімічні речовини (пил, газ)	Викиди пилу та газів	Пил 15 мг/м ³ , Газ 8 мг/м ³	Пил 10 мг/м ³ , Газ 5 мг/м ³	Отруєння, подразнення	Газоаналізатори, вентиляція
Електричний струм	Електричні системи	380 В	24 В	Ураження електричним струмом	Заземлення, захисне відключення
Пожежна небезпека	Електричні іскри, нагрів	Відсутні дані	Відсутність іскри та нагріву	Ризик пожежі	Пожежогасіння, спринклерні системи

Заходи щодо виробничої санітарії включають запобігання виділенню шкідливих речовин у повітря робочої зони, забезпечення нормальних мікрокліматичних умов, раціональне освітлення робочого місця, захист від шуму, вібрації, ультразвуку, електромагнітних випромінювань, застосування засобів індивідуального захисту.

										ЛП11.023116.01-70ПЗ	Арк.
											28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

Таблиця 6.2

Заходи з охорони праці

Напрямок	Заходи
Виробнича санітарія	Кондиціонування повітря, вентиляція, освітлення
Техніка безпеки	Захисні кожухи, огороження, заземлення, сигналізація
Пожежна безпека	Системи пожежогасіння, негорючі матеріали
Ергономіка та технічна естетика	Зручне розташування обладнання, ергономічні робочі місця

Заходи з техніки безпеки охоплюють особливості технологічного обладнання з точки зору безпеки, захист від травмування рухомими частинами обладнання, захисні огороження, блокування і сигналізацію, заходи з електробезпеки, захист від статичної електрики, безпечну організацію робочого місця та інше.

Таблиця 6.3

Виробнича санітарія

Показник	Реальне значення	ГДР/ГДК	Заходи зниження впливу
Температура повітря	28°C	18-22°C	Система кондиціонування
Вологість повітря	70%	40-60%	Вентиляція, осушувачі повітря
Швидкість руху повітря	0,5 м/с	0,2 м/с	Регулювання вентиляції
Освітленість	150 лк	500 лк	Світлодіодні лампи
Рівень шуму	90 дБ	80 дБ	Звукопоглинаючі матеріали
Рівень вібрації	4 м/с ²	2,5 м/с ²	Антивібраційні опори
Концентрація пилу	15 мг/м ³	10 мг/м ³	Газоаналізатори, вентиляція
Концентрація шкідливих газів	8 мг/м ³	5 мг/м ³	Газоаналізатори, вентиляція

										Арк.
										26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЛП11.023116.01-70ПЗ					

Техніка безпеки

Потенційна небезпека	Заходи зниження ризику
Рухомі частини обладнання	Захисні кожухи, огороження, блокувальні пристрої
Електричний струм	Заземлення, захисне відключення, ізоляційні матеріали
Надлишковий тиск	Манометри, клапани безпеки
Пожежна небезпека	Пожежогасіння, спринклерні системи
Інфразвук, ультразвук	Звукопоглинаючі матеріали, екрани
Випромінювання	Екрани, фільтри

Пожежна безпека забезпечується використанням конструктивних елементів з негорючих матеріалів, охолодженням окремих елементів, вибором стандартної апаратури електрозахисту, засобами пожежогасіння і сигналізації.

Пожежна безпека

Показник	Реальне значення	ГДР/ГДК	Заходи зниження впливу
Виникнення іскор	Відсутність даних	Відсутність іскр	Застосування обладнання, що не іскрить
Нагрів деталей	60°C	45°C	Теплоізоляційні матеріали, охолодження
Пожежонебезпечні речовини	Присутні	Відсутність пожежонебезпечних речовин	Використання негорючих матеріалів
Системи пожежогасіння	Відсутні	Обов'язкова наявність	Встановлення систем пожежогасіння

Ергономіка та технічна естетика враховують зручність роботи, зовнішній вигляд обладнання, інтер'єр приміщення, кольорову гармонійність, компоновку виробничого потоку, розміщення органів управління, зручність огляду та ремонту обладнання.

Таблиця 6.6

Ергономіка та технічна естетика

Показник	Опис заходів
Зручність розташування обладнання	Оптимальне розміщення, доступність для технічного обслуговування
Ергономічність робочих місць	Зручні органи керування, доступність індикаторів
Освітлення	Достатнє освітлення, використання природного і штучного світла
Дизайн приміщення	Гармонійність кольорової схеми, технічна естетика

Висновок:

Експлуатація барабанного млина з модернізованим розвантажувальним пристроєм потребує всебічного підходу до питань охорони праці. Аналіз умов роботи виявив широкий спектр небезпечних та шкідливих факторів — від мікрокліматичних умов і механічних ризиків до електричних, хімічних, шумових і психофізіологічних навантажень.

Для забезпечення безпеки працівників необхідне дотримання технічних та санітарних вимог:

- температурний режим 18–22 °С, вологість 40–60%, освітленість не менше 500 лк;
- обмеження рівнів шуму (до 80 дБ), вібрації (до 2,5 м/с²), інфразвуку й ультразвуку;
- контроль хімічних речовин у повітрі (пил ≤10 мг/м³, гази ≤5 мг/м³);
- обмеження робочої напруги до 24 В у зонах контакту.

						ЛП11.023116.01–70ПЗ	Арк.
							26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Комплекс заходів — включаючи системи вентиляції, заземлення, блокувальні пристрої, теплоізоляцію, захист від випромінювання та пожежогасіння — дозволяє знизити рівень ризику до допустимих значень.

Застосування запропонованих технічних, організаційних і профілактичних рішень гарантує безпечні умови праці, підвищення ефективності виробничого процесу та збереження здоров'я персоналу.

					ЛП11.023116.01-70ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

РОЗРАХУНКИ

До дипломного проекту

на тему:

«Барабанний млин з модернізацією розвантажувального пристрою»

Виконав:

Студент ІХФ, гр. ЛП-11 _____

Бенданий А.О.

Керівник: _____

Васильченко Г.М.

Київ 2025

ЗМІСТ

1.	Розрахунок параметрів млина	2
1.1.	Параметричні та кінематичні розрахунки	2
1.2.	Розрахунок на міцність	2
1.3.	Теплові розрахунки	5
2.	Аналіз напружено деформованого стану решітки в системі ANSYS	11
2.1.	Аналіз базової конструкції решітки	12
2.2.	Аналіз модернізованої конструкції решітки	15
Висновки		32

					<i>ЛП11.023116.02-70PP</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Бенданий А.О.</i>			<i>Барабанний млин модернізацією розвантажувального пристрою</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Васильченко</i>					1	32
<i>Реценз.</i>						<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського група ЛП-11</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Сокольський О.І.</i>						

1. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ МЛИНА

1.1. Параметричні та кінематичні розрахунки

Барабанний млин з модернізацією розвантажувального пристрою є важливим елементом у технологічних процесах різних галузей промисловості. Розрахунок механіко-економічних показників дозволяє оцінити ефективність роботи обладнання та обґрунтувати доцільність його модернізації. Основні параметри барабанного млина включають продуктивність, розміри барабана, частоту обертання, завантаження подрібнюючих тіл та енергетичні витрати.

Основні характеристики барабанного млина: продуктивність – 100 т/год, внутрішній діаметр барабана – 4000 мм, довжина барабана – 13500 мм, частота обертання млина при роботі на головному приводі – 16,2 об/хв, при роботі на допоміжному приводі – 0,2 об/хв, завантаження подрібнюючих тіл – не більше 210 т.

Об'єм барабана, який обчислюється як об'єм циліндра, визначається за формулою $V = \pi * (d/2)^2 * h$, де d – діаметр барабана, h – його довжина. Переведення розмірів з міліметрів у метри для зручності розрахунків показало, що внутрішній діаметр барабана складає 4 метри, а довжина – 13,5 метри. Таким чином, об'єм барабана дорівнює приблизно 169,65 м³.

Маса матеріалу, що знаходиться у барабані, обчислюється на основі щільності матеріалу, яка становить 2,7 т/м³ (щільність руди). Множачи об'єм барабана на щільність матеріалу, отримуємо масу матеріалу, яка становить приблизно 458,04 тонн.

Кінетична енергія обертання барабана є важливим показником, який дозволяє оцінити енергетичні витрати на його роботу. Частота обертання барабана на головному приводі становить 16,2 об/хв, що еквівалентно приблизно 0,27 об/с, а на допоміжному приводі – 0,2 об/хв, або приблизно 0,0033 об/с. Кінетична енергія на головному приводі розраховується за формулою $E = 0,5 * m * (2\pi * n)^2$, де m – маса матеріалу, n – частота обертання в обертах за секунду.

										ЛП11.023116.02-70PP	Арк.
											2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

Споживана потужність млина на головному приводі:

Потужність обчислюється як

$$P = E \cdot n \approx 659,12 \cdot 0,27 \approx 177,96 \text{Вт} \approx 0,18 \text{кВт}$$

Витрати електроенергії за годину роботи:

$$E_{\text{год}} = P \cdot t \approx 0,18 \text{кВт} \cdot 1 \approx 0,18 \text{кВт}$$

Витрати електроенергії обчислюються як

Об'єм барабана:

Переведемо розміри барабана з мм у метри для зручності розрахунків:

- Внутрішній діаметр барабана: $D=4000 \text{ мм}=4 \text{ м}$
- Довжина барабана: $L=13500 \text{ мм}=13,5 \text{ м}$

Об'єм циліндра обчислюється за формулою:

$$V = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 L$$

$$V = \pi \left(\frac{4}{2}\right)^2 \cdot 13,5 = 169,65 \text{ м}^3$$

Маса матеріалу:

Припустимо, що щільність матеріалу (руда) становить $2,7 \text{ т/м}^3$

$$m = V \cdot \rho$$

$$m = 169,65 \text{ м}^3 \cdot 2,7 \left(\frac{\text{т}}{\text{м}^3}\right) = 458,04 \text{ т}$$

Кінетична енергія обертання:

Переведемо частоту обертання в оберти за секунду:

Головний привід:

$$n_1 = \frac{16,2}{60} = 0,27 \text{ об/с}$$

Допоміжний привід:

$$n_2 = \frac{0,2}{60} = 0,0033 \text{ об/с}$$

					ЛП11.023116.02-70PP	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

Кінетична енергія обертання:

$$E = \frac{1}{2} m(2\pi n)^2$$

Для головного приводу:

$$E_1 = \frac{1}{2} \cdot 458,04 \cdot (2\pi \cdot 0,27)^2 = 659,12 \text{ Дж}$$

Для допоміжного приводу:

$$E_1 = \frac{1}{2} \cdot 458,04 \cdot (2\pi \cdot 0,0033)^2 = 0,10 \text{ Дж}$$

Споживана потужність:

Потужність обчислюється як:

$$P = E \cdot n$$

Для головного приводу:

$$P = 659,12 \cdot 0,27 = 177,96 \text{ Вт} = 0,18 \text{ кВт}$$

Таблиця 5.1 — Вихідні дані

Параметр	Значення
Об'єм барабана, м ³	169,5
Маса матеріалу, т	458,04
Кінетична енергія (головний привід), Дж	659,12
Кінетична енергія (допоміжний привід), Дж	0,10
Споживана потужність, кВт	0,18
Витрати електроенергії за годину, кВт·год	0,18

Ці показники дозволяють детально оцінити ефективність роботи барабанного млина після модернізації розвантажувального пристрою. Розрахунки свідчать про те, що барабанний млин має високі показники об'єму та маси матеріалу, що обробляється, а також оптимальні енергетичні витрати на його експлуатацію. Завдяки впровадженню сучасних технологій та матеріалів для модернізації розвантажувального пристрою, вдається значно покращити ефективність та надійність роботи обладнання.

5.2 Розрахунки на міцність

Розрахунок на міцність виконують для основних елементів млина, до яких належать барабан (корпус) млина, болти, що з'єднують корпус із днищами, а також деталі приводу.

Такі елементи, як барабан, цапфи та інші, зазнають впливу як статичних, так і динамічних навантажень, зумовлених масою тіл та відцентровими силами. Крім того, на них діє абразивний вплив подрібнюваного матеріалу. Усе це необхідно враховувати при виборі коефіцієнтів запасу міцності та властивостей матеріалу.

Для розрахунку на міцність барабанного млина, враховуючи вихідні дані проекту, потрібно визначити максимальні навантаження, які впливають на барабан, та перевірити, чи здатна конструкція витримувати ці навантаження без перевищення межі міцності матеріалу.

Вихідні дані

- Матеріал: сталь з межею міцності $\sigma_t=250$ МПа
- Діаметр барабана: $D = 4000$ мм=4 м
- Товщина стінки: $t = 30$ мм=0,03 м
- Частота обертання на головному приводі: $n = 16,2$ об/хв
- Завантаження мелючих тіл: $m = 210t = 210000$ кг

										ЛП11.023116.02-70PP	Арк.
											5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

Визначення внутрішнього тиску.

Внутрішній тиск у барабані викликається відцентровою силою подрібнюючих тіл під час обертання. Відцентрова сила діє на стінки барабану, створюючи тиск.

Спочатку визначимо кутову швидкість ω :

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \cdot 16,2}{60} \approx 1,697 \text{ рад/с}$$

Відцентрова сила F_c , що діє на мелючі тіла:

$$F_c = m \cdot \omega^2 \cdot R$$

$$R = \frac{D}{2} = \frac{4}{2} = 2 \text{ м}$$

$$F_c = 210000 \text{ кг} \cdot (1,697 \text{ рад/с})^2 \cdot 2 \text{ м} \approx 1,209 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Внутрішній тиск P , створений відцентровою силою:

$$P = \frac{F_c}{A}$$

де площа A внутрішньої поверхні барабану:

$$A = 2\pi R \cdot L = 2\pi \cdot 2 \text{ м} \cdot 13,5 \text{ м} \approx 169,646 \text{ м}^2$$

$$P = \frac{1,209 \cdot 10^6 \text{ Н}}{169,646 \text{ м}^2} \approx 7,13 \text{ кПа}$$

Напруження в стінці барабана.

Для циліндричної оболонки, що піддається внутрішньому тиску, напруження можна визначити за формулою:

$$\sigma = \frac{P \cdot D}{2t}$$

де:

$$P = 7,13 \text{ кПа} = 7,13 \cdot 10^3 \text{ Па};$$

$$D = 4 \text{ м};$$

$$t = 0,03 \text{ м};$$

$$\sigma = \frac{7,13 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot 4 \text{ м}}{2 \cdot 0,03 \text{ м}} \approx 475,33 \cdot 10^3 \text{ Па} = 0,475 \text{ МПа}$$

					ЛП11.023116.02-70PP	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Порівняння з межею міцності.

Межа міцності матеріалу $\sigma_t=250$ МПа . Порівняємо отримане напруження з межею міцності:

$$\Sigma = 0,475\text{МПа} \ll 250\text{МПа}$$

Отримане напруження значно менше межі міцності матеріалу, що свідчить про достатню міцність стінки барабана для витримування внутрішнього тиску, створеного відцентровою силою мелючих тіл. Це підтверджує надійність конструкції барабанного млина при заданих параметрах роботи.

Таблиця 5.2

Схема барабанного млина

Параметр	Значення	Одиниці виміру
Матеріал	Сталь	
Межа міцності σ_t	250	МПа
Діаметр барабана D	4000	мм
Товщина стінки ttt	30	мм
Частота обертання nnn	16,2	об/хв
Кутова швидкість $\omega\backslash\omega\text{mega}\omega$	1,697	рад/с
Завантаження мелючих тіл mmm	210	т
Відцентрова сила Fc	$1,209 \times 10^6$	Н
Внутрішній тиск P	7,13	кПа
Напруження в стінці σ	0,475	МПа

					ЛП11.023116.02-70PP	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Розрахунки на міцність показують, що при заданих параметрах експлуатації барабанного млина з модернізацією розвантажувального пристрою напруження у стінці барабана не перевищує межу міцності матеріалу. Це забезпечує надійну і безпечну роботу млина, запобігаючи ризикам механічних пошкоджень і зносу конструкції. Модернізація розвантажувального пристрою також сприяє рівномірному розподілу навантаження, що додатково підвищує довговічність і ефективність роботи обладнання.

Розрахунок корінних підшипників.

Проведемо розрахунок працездатності підшипника(за фактором PV)

Максимальна опорна реакція:

$$R_{max} = 1678 \text{ кН}$$

Діаметр цапфи:

$$d_{ц} = 1,8\text{м.}$$

Робоча довжина підшипника:

$$l = 0,8\text{м.}$$

Кут взаємодії:

$$\beta = 120^\circ.$$

Визначаємо питоме навантаження за формулою:

$$P = \frac{R_{max}}{l \cdot d_{ц} \cdot \sin \beta} = \frac{1678 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 1,8 \cdot \sin 120^\circ} = 1,34 \text{ МПа}$$

Окружна швидкість цапфи:

$$V = \frac{\pi \cdot d_{ц} \cdot n}{60} = \frac{3,14 \cdot 1,8 \cdot 16,2}{60} = 1,52 \text{ м/с}$$

Добуток "PV"

$$PV = 1,34 \cdot 1,52 = 2,03 \text{ МПа} \cdot \text{м/с}$$

					ЛП11.023116.02-70PP	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Граничні значення для бабіту

$$[P] = 5 \text{ МПа}$$

$$[v] = 6 \text{ м/с}$$

$$[PV] = 5 \text{ МПа} \cdot \text{м/с}$$

Розрахунок системи змащення підшипника.

Система змащення запобігає передчасному зносу підшипників під час роботи млина. Змазувальний матеріал подається в підшипник під тиском. Оскільки тиск змінюється в діапазоні від 0 до P , для розрахунків приймають середнє значення тиску — $0,5P$.

Згідно до умови рівноваги цапфи:

$$Q = P_1 \cdot l_1 \cdot b_1 + 2 \left(0,5P_1 \cdot \frac{b - b_1}{2} \cdot l_1 \right)$$

де $Q = R_{max} = 1678 \text{ кН}$ – максимальна реакція опори;

$b = 0,75 \text{ м}$, $b_1 = 0,06 \text{ м}$, $l_1 = 0,8 \text{ м}$ – довжини ланок.

Звідси маємо

$$P_1 = \frac{2Q}{(b - b_1) \cdot l_1} = \frac{2 \cdot 1678 \cdot 10^3}{(0,75 - 0,06) \cdot 0,8} = 6,07 \text{ МПа}$$

Вибір систем змащення відбувається з урахуванням коефіцієнту запасу, тобто $P = P_1 \cdot k = 6,07 \cdot 1,5 = 9,1$.

Приймаємо $P = 10 \text{ МПа}$

Розраховуємо питомий тиск, що діє на підшипник:

$$P = \frac{R_{max}}{F} = \frac{1687 \cdot 10^3}{1,156} = 1,46 \text{ МПа}$$

де F – площа підшипника; $F = b \cdot l - b_1 \cdot l_1 = 0,7 \cdot 1,72 - 0,06 \cdot 0,8 = 1,156 \text{ м}^2$

Знайдемо найменше значення товщини масляного шару в підшипнику.

Розрахуємо допоміжний коефіцієнт

$$K_0 = \frac{P}{\mu \cdot \omega} \cdot \left(\frac{d_0}{d} \right)^2,$$

										ЛП11.023116.02-70PP	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							12

де ω – кутова швидкість цапфи

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{3,14 \cdot 16,2}{30} = 1,69 \text{ c}^{-1}$$

μ – в'язкість мастила

$$\mu = 0,04 \text{ Па} \cdot \text{с} = 4 \cdot 10^{-8} \text{ МПа} \cdot \text{с}$$

d_0 – допуск для посадки $\frac{H_8}{I_8}$ підшипника з діаметром $d = 1800$ мм;

$$d_0 = 0,26 \text{ мм}$$

Підставивши всі значення у формулу отримаємо

$$K_0 = \frac{1,46}{4 \cdot 10^{-8} \cdot 1,69} \cdot \left(\frac{0,26}{1800}\right)^2 = 0,45$$

Найменша товщина масляного шару в підшипнику

$$h_{\min} = K_0 \cdot d_0 = 0,45 \cdot 0,26 = 0,117 \text{ мм}$$

Розрахунок підшипників редуктора.

Тип підшипників, що встановлені у редукторі: роликові радіальні, з короткими циліндричними роликами. Отже для розрахунку еквівалентного навантаження слід використовувати наступну формулу:

$$F = V \cdot R \cdot K_b \cdot K_T$$

де

V – коефіцієнт обертання кільця підшипника; $V=1$, так як обертається внутрішнє кільце.

R – навантаження на підшипник, Н

K_b – коефіцієнт безпеки; $K_b=1,5$

K_T – температурний коефіцієнт; $K_T=1$

					ЛП11.023116.02-70PP	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Визначимо розрахункову довговічність L за формулою:

$$L = \frac{10^6 \cdot (C/F)^p}{60 \cdot n},$$

де

C – динамічна вантажопідйомність, Н

P – степений показник; $p=10/3$

n – частота обертання, об/хв; $n=500$ об/хв

Розраховуємо еквівалентне навантаження та довговічність L_v для підшипників вхідного валу.

Підшипник №2328:

$C=385000$ Н

Навантаження на підшипник $R_1=70000$ Н

Еквівалентне навантаження:

$$F_1 = 1 \cdot 70000 \cdot 1,5 \cdot 1 = 105000 \text{ Н}$$

Довговічність підшипника:

$$L = \frac{10^6 \cdot (385000/105000)^{10/3}}{60 \cdot 500} = 25800 \text{ год}$$

Приймаємо $L=26000$ годин

Отже, працездатність машини підтверджена.

5.3 Теплові розрахунки

Для проведення теплових розрахунків необхідно врахувати наступні параметри:

- Продуктивність: 100 т/год
- Внутрішній діаметр барабану: 4000 мм
- Довжина барабану: 13500 мм
- Частота обертання: 16,2 об/хв (головний привід), 0,2 об/хв (допоміжний привід)
- Завантаження мелючих тіл: 210 т

					ЛП11.023116.02-70PP	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тепловий баланс включає визначення кількості тепла, що утворюється під час подрібнення, і кількості тепла, яке необхідно відвести для запобігання перегріву. Основними компонентами теплового балансу є тепло, що утворюється внаслідок роботи механізмів, і тепло, яке виділяється від подрібненого матеріалу.

1. Тепло, що утворюється внаслідок роботи механізмів (Q_M): $Q_M = P \times t \times \eta$ де:

- P – потужність електродвигуна (Вт)
- t – час роботи (год)
- η – коефіцієнт ефективності передачі енергії

2. Тепло, яке виділяється від подрібненого матеріалу (Q_P): $Q_P = m \times c \times \Delta T$

- m – маса подрібненого матеріалу (кг)
- c – питома теплоємність матеріалу (Дж/кг $^{\circ}$ С)
- ΔT – зміна температури матеріалу ($^{\circ}$ С)

3. Загальна кількість тепла (Q_Z): $Q_Z = Q_M + Q_P$

Визначимо основні параметри для проведення розрахунків. Потужність електродвигуна (P) може бути обрана на основі стандартних значень для млинів подібної продуктивності. Припустимо, що потужність електродвигуна складає 500 кВт.

					<i>ЛП11.023116.02-70PP</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		11

Розрахункові дані

Параметр	Значення	Одиниці виміру
Продуктивність	100	т/год
Внутрішній діаметр барабану	4000	мм
Довжина барабану	13500	мм
Частота обертання (головний привід)	16,2	об/хв
Частота обертання (допоміжний привід)	0,2	об/хв
Завантаження мелючих тіл	210	т
Потужність електродвигуна	500	кВт
Питома теплоємність матеріалу	800	Дж/кг°С
Зміна температури матеріалу	10	°С

Розрахуємо кількість тепла, що утворюється внаслідок роботи механізмів, використовуючи формулу:

$$Q_m = 500 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot 0,9 = 450000 \text{ Дж}$$

Розрахуємо кількість тепла, яке виділяється від подрібненого матеріалу, використовуючи формулу:

$$Q_n = 100000 \cdot 800 \cdot 10 = 800000000 \text{ Дж}$$

Загальна кількість тепла, що утворюється в млині:

$$Q_z = 450000 + 800000000 = 800450000 \text{ Дж}$$

Теплові розрахунки показують, що барабанний млин з модернізацією розвантажувального пристрою утворює значну кількість тепла під час роботи. Загальна кількість тепла, яка утворюється, складає 800450000 Дж. Це тепло необхідно ефективно відводити, щоб запобігти перегріву обладнання та забезпечити стабільну роботу млина.

					ЛП11.023116.02-70PP	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для ефективного відведення тепла пропонується використовувати систему охолодження, яка включає охолоджувальні рідини і спеціальні канали для циркуляції. Це дозволить підтримувати оптимальну температуру під час роботи млина і забезпечить надійну експлуатацію обладнання. Важливо також враховувати питому теплоємність матеріалу і забезпечувати достатнє охолодження для уникнення перегріву.

Таким чином, модернізація розвантажувального пристрою та вдосконалення системи охолодження дозволять підвищити ефективність роботи барабанного млина, забезпечити його надійність і довговічність.

					<i>ЛП11.023116.02-70PP</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		16

2. АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ РЕШІТКИ В СИСТЕМІ ANSYS

Для оцінки та підтвердження ефективності модернізованої конструкції було виконано аналіз напружено-деформованого стану за допомогою програмного комплексу Ansys. Було здійснено порівняння результатів деформацій для стандартної конструкції та конструкції після модернізації.

2.1. Аналіз базової конструкції:

Базова конструкція барабана складається з сталевго корпусу, чавунної футеровки та сталевих ліфтерів.

Geometry
6/18/2025 12:57:10 AM

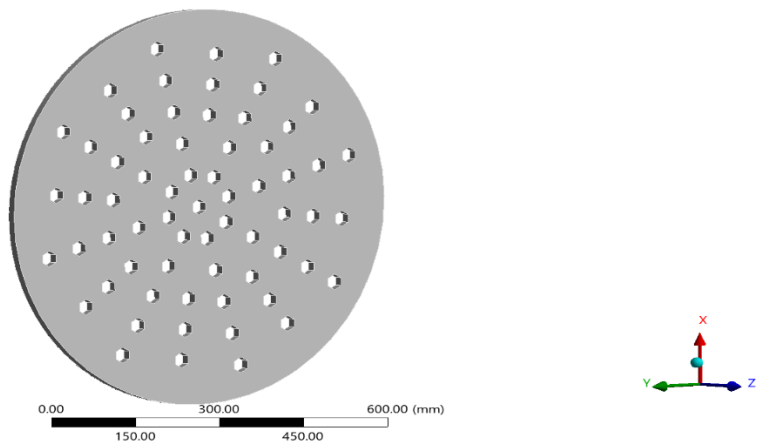


Рис. 2.1 – 3Д модель базової решітки
Розрахункова сітка базової моделі

					ЛП11.023116.02-70PP	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На розвантажувальну решітку впливають такі основні навантаження: сила власної ваги, відцентрова сила, а також внутрішні навантаження, спричинені завантаженням млина матеріалом.

На рисунку 3, зображено позначення сил та закріплення базової конструкції

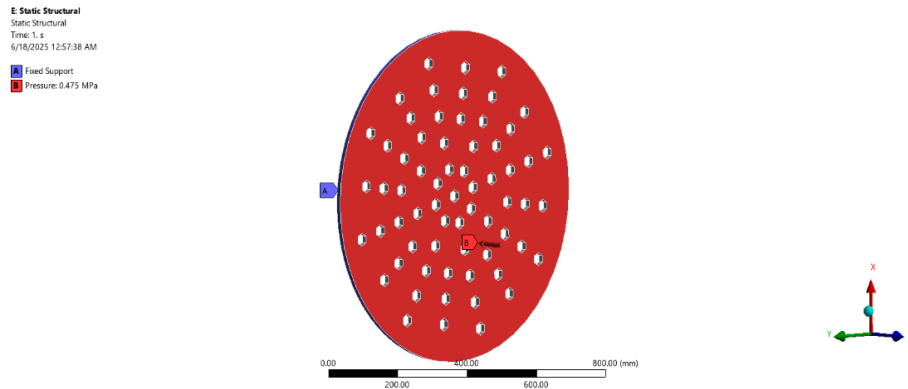


Рис. 2.2 – Схема позначень сил та закріплень

Після задання необхідних навантажень та їх значень виконується розрахунок, у результаті якого отримано такі дані:

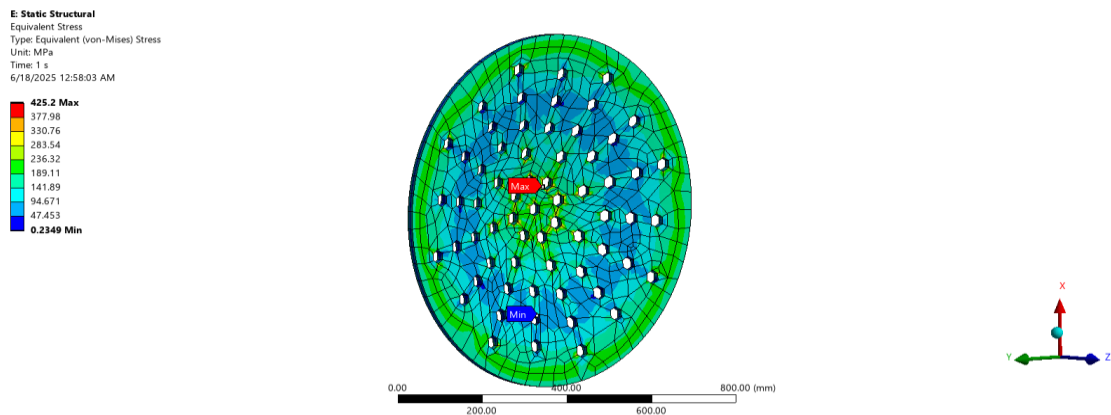


Рис. 2.3 – Еквівалентні пружені деформації

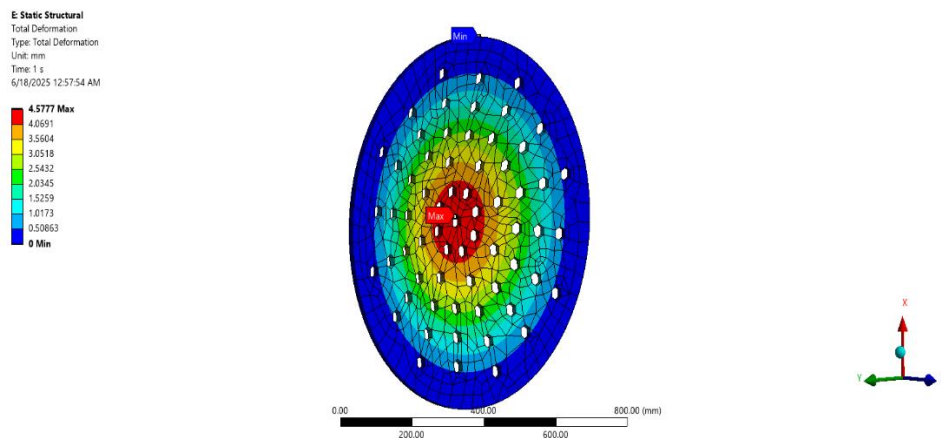


Рис. 2.4 – Загальні деформації

										Арк.
										26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЛП11.023116.02-70PP					

E: Static Structural
Safety Factor
Type: Safety Factor
Time: 1
6/18/2025 12:58:14 AM

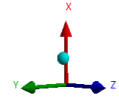
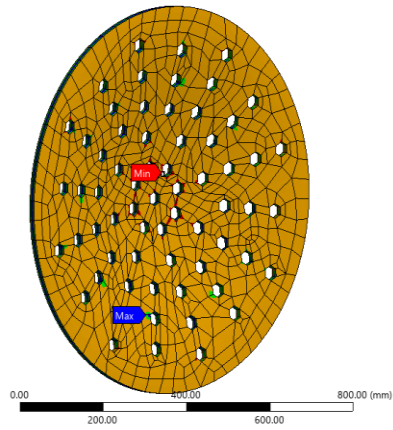
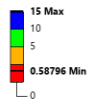


Рис. 2.5 – Значення запасу міцності

Отже, за результатами розрахунків аналізу які було проведено в системі АНСІС і виявлено, що модель при нарузі 0,425МПа, не відповідає вимогам коефіцієнтам міцності.

					ЛП11.023116.02-70PP	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2. Аналіз модернізованої конструкції

Проводимо аналогічний розрахунок для модернізованої конструкції розвантажувальної решітки

Geometry
6/17/2025 11:45:03 PM

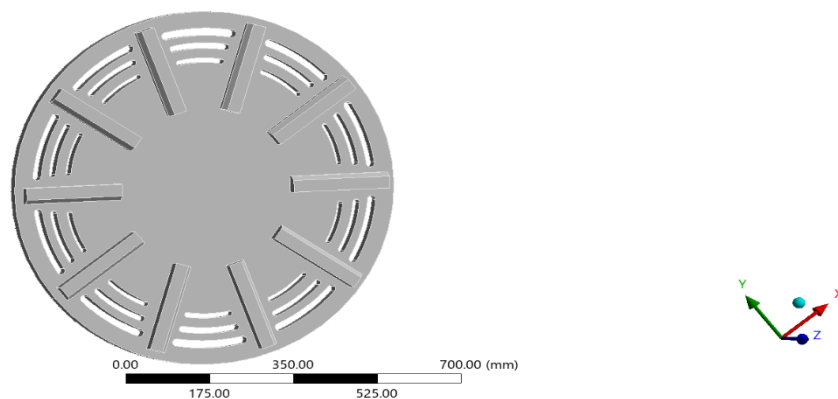


Рис. 2.6 – 3Д модель модернізованої конструкції

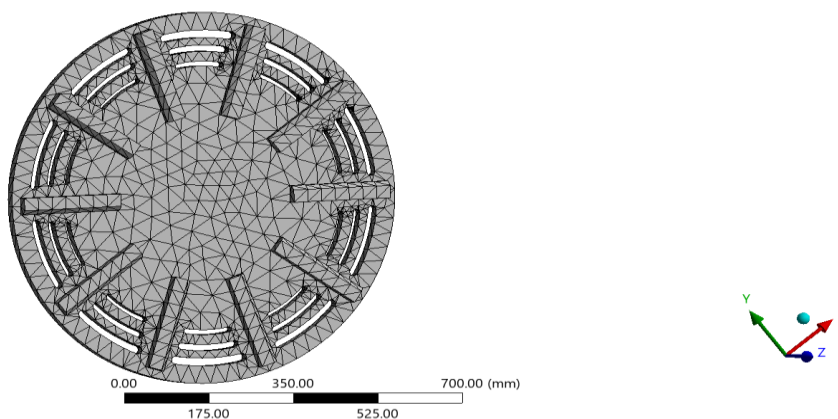


Рис. 2.7 – Розрахункова сітка модернізованої конструкції

D: Static Structural
Static Structural
Time: 1. s
6/17/2025 11:44:48 PM
A Cylindrical Support: 0. mm
B Pressure: 0.475 MPa

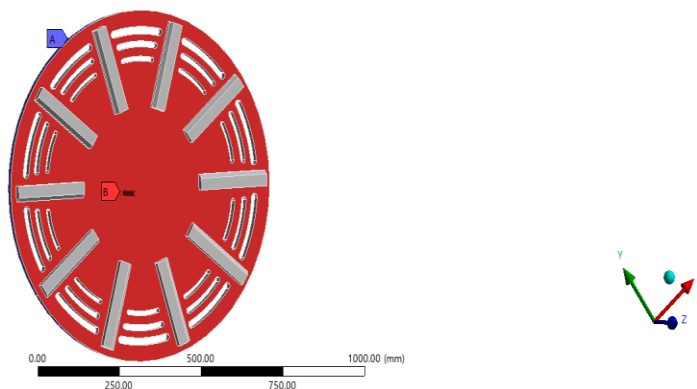


Рис. 2.8 – Позначення сил та закріплення модернізованої конструкції

									ЛП11.023116.02-70PP	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						29

D: Static Structural
Safety Factor
Type: Safety Factor
Time: 1
6/17/2025 11:44:35 PM

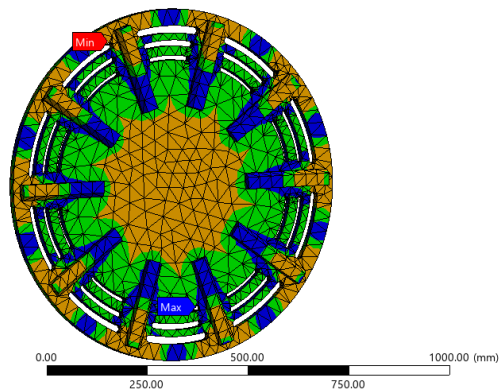


Рис. 2.12 – Значення запасу міцності

Отже, за результатами розрахунків аналізу які було проведено в системі ANSYS і було підтверджено працездатність модернізованої моделі при нарузці 0,425МПа. Коефіцієнт запасу міцності > 1 , що може свідчити про явну перевагу вибраної модернізації до базової конструкції

					ЛП11.023116.02-70PP	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У результаті виконання розділу дипломного проекту на тему «Барабанний млин з модернізацією розвантажувального пристрою» було досягнуто наступного:

- Проведено параметричний розрахунок, за результатами якого визначено основні характеристики млина: частоту обертання, оптимальну швидкість, рівень завантаження, потужність приводу та продуктивність агрегату;
- Виконано міцнісний розрахунок основних елементів конструкції, встановлено значення діючих сил, таких як сила тяжіння, розподілені навантаження, максимальний згинальний момент і напруження. Додатково проведено розрахунок підшипників та визначено їх довговічність;
- Проведено аналіз напружено-деформованого стану в програмному середовищі ANSYS для оцінки ефективності модернізації. Отримані результати переміщень, еквівалентних напружень і засвідчили доцільність і працездатність вдосконаленого розвантажувального пристрою.

Таким чином, виконані розрахунки та моделювання підтверджують технічну обґрунтованість модернізації розвантажувального вузла барабанного млина.

					ЛП11.023116.02-70PP	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

До дипломного проекту

на тему:

«Барабанний млин з модернізацією розвантажувального пристрою»

Виконав:

Студент ІХФ, гр. ЛП-11 _____

Бенданий А.О.

Керівник: _____

Васильченко Г.М.

Київ 2025

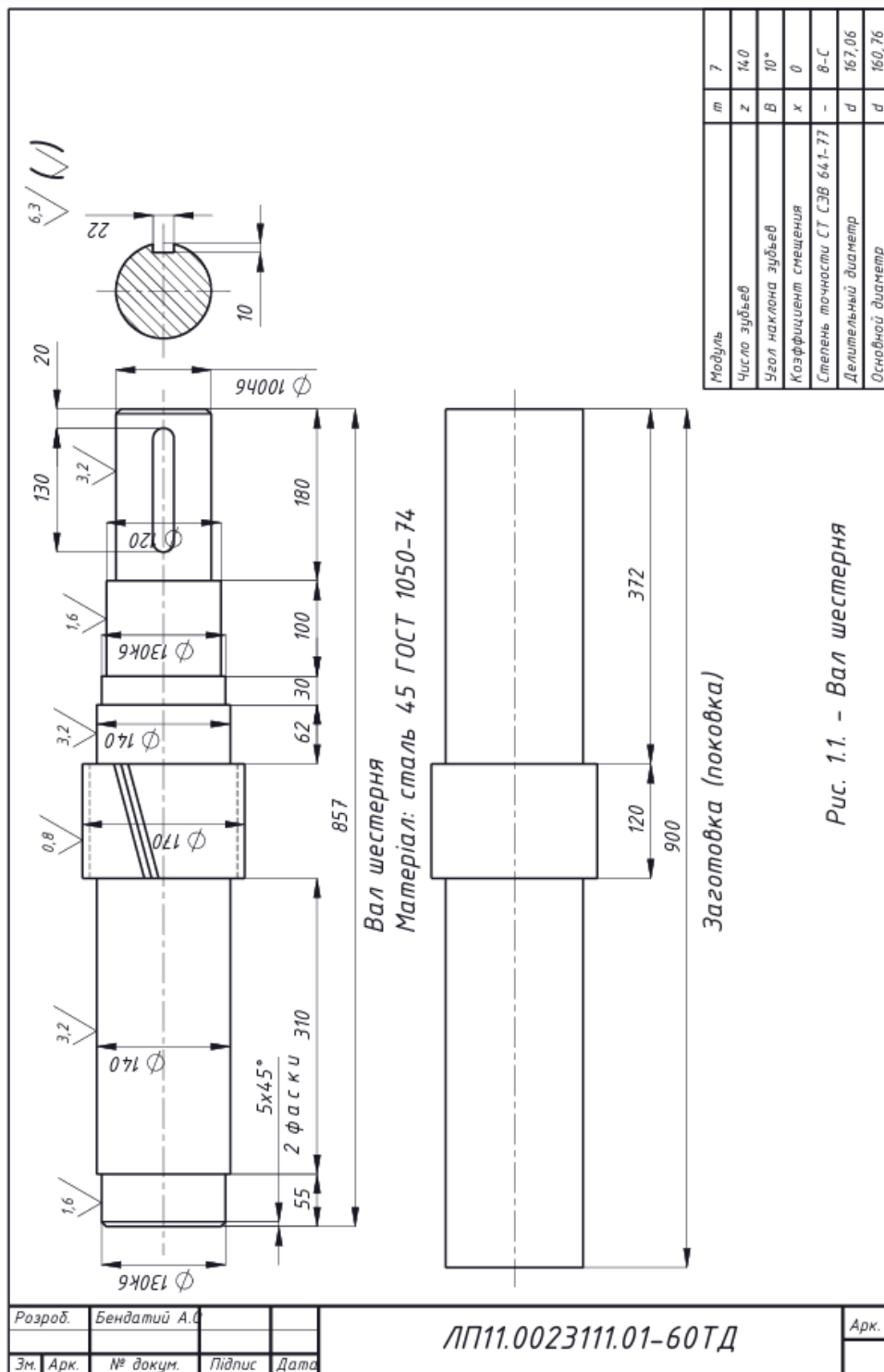
ЗМІСТ

1.	Технологія механічної обробки деталі	2
1.1.	Креслення вала	2
1.2.	Маршрутна карта	5
1.3.	Карта ескізів	7
1.4.	Операційні карти механічної обробки	14
2.	Пристрій для нарізання зубів на вал шестерні	21
2.1.	Креслення складальної одиниці	21
2.2.	Опис конструкції та принципу роботи	21
	Висновки	23

					<i>ЛП11.023116.03-70TE</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Бенданий А.О.</i>			<i>Барабанний млин модернізацією розвантажувального пристрою</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Васильченко</i>				74	32	
<i>Реценз.</i>						<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського група ЛП-11</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Сокольський О.І.</i>						

1. ТЕХНОЛОГІЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ

1.1 Креслення вала



Эм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

ЛП11.023116.03-70TE

Арк.

2

1.3 Карта ескізів

Інв. № дубл.	Підпис і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата													
Карта ескізів																	
					Літера												
					Номер операції												
					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 10%;">1</td><td style="width: 10%;">2</td></tr> </table>	1	2										
1	2																
					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Розроб.</td> <td style="width: 15%;">Бенданий А.О.</td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;">Арк.</td> </tr> <tr> <td>Перев.</td> <td>Васильченко</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Прізвище І.Б.</td> <td>Підпис</td> <td>Дата</td> </tr> </table>	Розроб.	Бенданий А.О.		Арк.	Перев.	Васильченко				Прізвище І.Б.	Підпис	Дата
Розроб.	Бенданий А.О.		Арк.														
Перев.	Васильченко																
	Прізвище І.Б.	Підпис	Дата														

Інв. № дубл.	Підпис і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата													
Карта ескізів																	
					Літера												
					Номер операції												
					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 10%;">3</td><td style="width: 10%;">4</td><td style="width: 10%;">5</td></tr> </table>	3	4	5									
3	4	5															
					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Розроб.</td> <td style="width: 15%;">Бенданий А.О.</td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;">Арк.</td> </tr> <tr> <td>Перев.</td> <td>Васильченко</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Прізвище І.Б.</td> <td>Підпис</td> <td>Дата</td> </tr> </table>	Розроб.	Бенданий А.О.		Арк.	Перев.	Васильченко				Прізвище І.Б.	Підпис	Дата
Розроб.	Бенданий А.О.		Арк.														
Перев.	Васильченко																
	Прізвище І.Б.	Підпис	Дата														

Інв. № дубл.	Підпис і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата													
Операційна карта механічної обробки																	
Центрувально-токарна					Найменування ї марка матеріалу		Маса деталі		Заготівка								
									Профіль та розміри			Твердість		Маса			
					Приладдя(код і найменування)				Охолодження								
Номер пере ходу	Зміст переходу				Інструмент (код і найменування)				Розрах.Розм.:			Режим обробки			T _o	T _s	
					допоміжний	ріжучий	вимірювальний		діаметр, ширина	дод- жина	f	i	s	n			V
A	Встановити деталь на люнет, довгий кінець закріпити у патроні.																
1	Зпланувати пов.4 центрувати пов. 6				Підрізний ВК8				150/15 10/16 5 2/1			1/02 200					
B	Підперти деталь центром, люнет зняти																
2	Точити 5 до φ 170 L=900 з припуском під шліф				Прохідний				170 180 5 8/4			1/02 200 123			11/13	10/20	
					Розроб.		Бендатий А.О								Арк.		
					Перевірив		Борщик С.О										
					Керівник		Васильченко Г.М										
															Арк-іВ		
					Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Н. котр.		

Інв. № дубл.	Підпис і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата													
Операційна карта механічної обробки																	
Токарна					Найменування ї марка матеріалу		Маса деталі		Заготівка								
									Профіль та розміри			Твердість		Маса			
					Приладдя(код і найменування)				Охолодження								
Номер пере ходу	Зміст переходу				Інструмент (код і найменування)				Розрах.Розм.:			Режим обробки			T _o	T _s	
					допоміжний	ріжучий	вимірювальний		діаметр, ширина	дод- жина	f	i	s	n			V
A	Встановити деталь в патрон довгим кінцем. Інший підперти центром.																
1	Точити пов. 10, 11 до φ 142 цього начисто до φ 140 з припуском під шліфовку.				Прохідний ВК8				142 365 5 9			1 200 123			11/13	10/20	
2	Точити пов. 9,12 до φ 132 начорно. Після цього начисто доφ130 з припуском під шліфов.				Прохідний ВК8				132 85 5 9			1 200 123			18	12	
					Розроб.		Бендатий А.О								Арк.		
					Перевірив		Борщик С.О										
					Керівник		Васильченко Г.М										
															Арк-іВ		
					Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Н. котр.		

					ЛП11.023116.03-70TE										Арк.
															21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата											

		Номер операції											
Номер переходу	Зміст переходу	Інструмент (код і найменування)			Розрах. Розм.: діаметр, ширина		t	i	Режим обробки			T _o	T _в
		допоміжний	ріжучий	вимірювальний	s	n			V				
3	Точити пов. 13 до 122 φ 280 начорно. Після чого начисто до 120 з припуском під шліфов.		Прохідний		122	280	5	9	1	200	123	18	12
4	Точити пов. 14 до 102 L=180 начорно. Після чого начисто до φ 100 з припуском під шліфов. припуском під шліфовку.		Прохідний		102	180	5	9	1	200	133	18	12
5	Точити фаску 2,0×45 пов. 21,22 начисто. Після цього начисто до φ130 з припуском під шліфов.				126	2,0	0,5	3	0,5	200	123	9	8
6	Підрізати торець пов. 23 повторно центрувати пов. 6 до φ130 з припуском під шліфов.		Відрізний свердло центр.		96	180	5	2	1	200	128	12	20
7	Підрізати торець пов. 24		Відрізний торцевий		126	55	5	2	1	200	128	12	20
					Розроб.	Бенданий А.О						Арк.	
					Перевірив	Борщик С.О							
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Н. котр.			

Інв. № дубл.	Підпис і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата									
Операційна карта механічної обробки													
		Найменування й марка матеріалу		Маса деталі	Заготівка								
		Зубонарізна			Профіль та розміри		Твердість	Маса					
		Приладдя(код і найменування)			Охолодження								
Номер переходу	Зміст переходу	Інструмент (код і найменування)			Розрах. Розм.: діаметр, довжина		t	i	Режим обробки			T _o	T _в
		допоміжний	ріжучий	вимірювальний	s	n			V				
A	Закріпити деталь на столі зубофрезерного напівавтомата 53A20												
1	Нарізати зубці пов. 8 φ 170 L=120 мм начисто.		Чистова черв'ячна фреза		170	120	5	2/1	1,6	500	-	10	10
					Розроб.	Бенданий А.О						Арк.	
					Перевірив	Борщик С.О							
					Керівник	Васильченко Г.М							
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Н. котр.			Арк-ів

Інв. № дубл.	Підпис і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата														
Операційна карта механічної обробки																		
Шліфувальна					Найменування й марка матеріалу		Маса деталі		Заготівка									
									Профіль та розміри			Твердість		Маса				
					Приладдя(код і найменування)				Охолодження									
Номер пере ходу	Зміст переходу				Інструмент (код і найменування)				Розрах.Розм.:		Режим обробки			T _o	T _e			
					допоміжний	ріжучий	вимірювальний	діаметр, ширина	дов- жина	f	i	s	n			V		
A	Встановити деталь в патрон.				патрон													
	Закріпити.																	
1	Шліфув. пов. 25 до 100 φ 10 пов. 6 в=120				шліф. круг				Мікрометр	100	180	2	2	0,1	200	500	27	26
2	Шліфувати пов. 26 до φ 130 К6 на l=30				шліф. круг				Мікрометр	130	30	2	2	0,1	200	500	43	5
B	Переставити деталь закріпити																	
2	і зняти																	
3	Шліфувати пов. 27 до φ 130 К6 на l=55				шліф. круг				Мікрометр	130	55	2	2	0,1	200	500	40	10
					Розроб.		Бенданий А.О									Арк.		
					Перевірив		Борщик С.О											
					Керівник		Васильченко Г.М											
																Арк-ів		
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Н. котр.								

Інв. № дубл.	Підпис і дата	Зам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата													
Операційна карта механічної обробки																	
Шліфувальна					Найменування й марка матеріалу		Маса деталі		Заготівка								
									Профіль та розміри			Твердість		Маса			
					Приладдя(код і найменування)				Охолодження								
Номер пере ходу	Зміст переходу				Інструмент (код і найменування)				Розрах.Розм.:		Режим обробки			T _o	T _e		
					допоміжний	ріжучий	вимірювальний	діаметр, ширина	дов- жина	f	i	s	n			V	
A	Закріпити деталь на столі зубофрезерного напівавтомата 53A20																
1	Шліфувати зубці шестерні пов. 8 φ 170 L=120				Чистова черв'ячна фреза				170	120	5	2/1	1,6	500	-	5	5
					Розроб.		Бенданий А.О									Арк.	
					Перевірив		Борщик С.О										
					Керівник		Васильченко Г.М										
																Арк-ів	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Н. котр.							

2.2. Опис конструкції і принципу роботи.

Поворотні лещата, обладнані вбудованим двостороннім поршневым пневмоциліндром, дозволяють використовувати змінні пристрої для налаштування.

У центральну частину основи лещат (поз. 1) встановлюється циліндр (поз. 2), який з'єднується з розподільчим краном (поз. 8), що має зворотний клапан і штуцер (поз. 10).

На верхній частині корпусу (поз. 3) закріплена металева термічно оброблена плита (поз. 7) з Т-подібними пазами, призначеними для встановлення змінних пристроїв за допомогою болтів. На цій плиті закріплюється регульована нерухома губка (поз. 11), яку можна переміщувати залежно від розташування пазів. У разі використання великогабаритного оснащення губку 11 зазвичай демонтують.

Рухома губка (поз. 4), що також має Т-подібні пази, переміщується за допомогою штока (поз. 9) через важіль (поз. 6), встановлений на осі (поз. 5). Рукоятка призначена для попереднього притискання деталі із незначним зусиллям. Це попереднє фіксування часто є необхідною умовою для точної обробки, оскільки пневмопривід зазвичай спрацьовує з ударом. Такий імпульс може спричинити зсув деталі, особливо якщо вона має нестійкі базові поверхні. Попереднє притискання також є важливим при установці за розміткою, коли потрібне точне позиціонування та фіксація деталі до остаточного затиску.

					ЛП11.023116.03-70TE	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

ВИСНОВКИ

У цьому розділі дипломного проєкту розглянуто технологічний процес виготовлення деталі **вал-шестерня**. Наведено основні стадії обробки та загальні принципи її виготовлення, створено необхідні ескізи, ескізні карти, а також маршрутні та операційні документи.

Процес обробки заготовки проаналізовано покроково для досягнення кінцевої форми деталі. Окрему увагу приділено опису пристосувань, що застосовуються на різних технологічних етапах. Для вибраного пристосування розроблено відповідні креслення та складено специфікацію.

Проведено перевірочний розрахунок, результати якого підтверджують ефективність і доцільність використання розробленого пристосування у виробничому процесі.

					ЛП11.023116.03-70TE	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Іванов В.І., Дьяков В.М., Бондарчук М.С. (2015). Обладнання для переробки мінеральної сировини. Київ: НТУУ «КПІ».
2. Сидоренко А.М., Ковальчук Т.О. (2022). Модернізація конструкції барабанних млинів для підвищення їх енергоефективності. // Вісник НТУУ «КПІ». Серія: Машинобудування, №65, с. 44–50.
3. Климчук О.В., Жук В.М. (2021). Аналіз зношування футерівки барабанних млинів у цементному виробництві. // Збірник наукових праць Донбаської національної академії будівництва і архітектури, №4, с. 20–26.
4. Коваль П.С., Шульга А.М. (2020). Оптимізація конструкції розвантажувального пристрою барабанного млина з урахуванням динаміки руху матеріалу. // Вісник Тернопільського національного технічного університету, №3, с. 36–42.
5. Шевченко І.М., Корнієнко Л.П. (2019). Дослідження роботи модернізованих барабанних млинів із комбінованим завантаженням мелючих тіл. // Науково-технічний журнал «Промислове обладнання та інженерія», №5, с. 28–34.
6. Горбатенко В.С., Демчук А.О. (2023). Енергоощадні аспекти експлуатації трубних млинів на цементних заводах. // Збірник наукових праць Інституту енергозбереження та енергоменеджменту КПІ ім. Ігоря Сікорського, №2, с. 17–22.
7. Гончаренко Р.І. (2021). Моделювання процесу подрібнення в барабанних млинах із використанням програмного забезпечення ANSYS. // Вісник ХНУМГ ім. Бекетова. Серія: Технічні науки, №8, с. 55–61.
8. Міністерство освіти і науки України. (2022). ДСТУ 7230:2022. Машини подрібнювальні барабанні. Загальні технічні вимоги. Київ: УкрНДНЦ.

9. CN211636770U – *Ball mill roller structure and ball mill*, ZHENG QUAN; LIU XIAOHONG, 2020.
10. CN217615100U – *Rotary drum of ball mill*, KONG XIANGMIN et al., 2022.
11. WO2022156511A1 – *Integrated classification and discharge module for wet ball milling*.
12. EP3081304B1 – *Ball mill liner and method of forming same*, Metso Minerals, 2018.
13. US2024075480A1 – *System for improving discharge performance in ball mills*, 2024.
14. Основи технології машинобудування. Ред. В.С.Корсаков М., Машинобудування, 1977.
15. Shcherbina V. Yu., Shvachko D. G., Donghu Zeng, Bogatyrev V. V «Increase of energy efficiency of the rotary kiln based on the refractory lining with the thermal insulation» Modern science: innovations and prospects. Proceedings of the 14th International scientific and practical conference. SSPG Publish. Stockholm, Sweden. 2022. Pp. 91-98.
16. Загально машинобудівні нормативи режимів різання для технічного нормування робіт на металорізальних верстатах, ч.1 і ч.2, М., Машинобудування, 1974.
17. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
18. Щербина В.Ю. Розвиток теорії та удосконалення технологічних процесів при виробництві будівельних матеріалів у високотемпературних агрегатах: дис. ... доктора техн. наук: 05.17.08 / Щербина Валерій Юрійович; - Київ, 2017. - 393 с. URL: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/21630>
19. Мельник С.О., Бугайов Д.Р. (2020). *Дослідження ефективності роботи барабанного млина з новою конфігурацією розвантаження*. // Вісник машинобудування та транспорту, №1(13), с. 31–36.

20. Лисенко І.П., Андрющенко В.М. (2019). *Застосування полімерних матеріалів у футеруванні барабанних млинів для підвищення зносостійкості.* // Технічна механіка, №4, с. 22–27.
21. Дроботюк О.Л. (2021). *Удосконалення конструкції трубного млина для цементного виробництва.* // Вісник Сумського державного університету. Серія: Технічні науки, №2, с. 40–45.
22. Zeng, D., Shcherbina, V.Yu., Li, J. Thermal efficiency analysis of the rotary kiln based on the wear of the lining International Journal of Applied Mechanics and Engineering, 2023, 28(2), pp. 125–138 <https://doi.org/10.59441/ijame/168935>
27. Shcherbina V. Yu., Chemerys A. O., & Mosiichuk O. A. (2024). Computer-aided design of calender roll. Modern engineering and innovative technologies. (33-01), 66–71. <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2024-33-00-004>
28. Щербина В.Ю., Лелека С.В., Безверхий І.О. *Методологія проектування. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського.* Київ, 2024. 119 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/67997>