Додаток А

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”
Інженерно-хімічний факультет
Кафедра хімічного, полімерного і 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: Двокамерний млин з модернізацією міжкамерної перегородки

Студент (-ка) *IV к,* ***групи*** *ЛП-11* *Репецький Іван Вадимович* _____
(шифр групи) (прізвище, ім’я, по батькові) (підпис)

Керівник проекту:

к.т.н., доцент 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.**	_____
ОХОРОНИ ПРАЦІ:	**ст. викл.**	**Ковтун А.І.**	_____

РЕЦЕНЗЕНТ_____

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент (-ка) _____

Київ 2025 рік

Додаток Б

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

«___»_____2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Репецькому Івану Вадимовичу

1. Тема проекту «Двокамерний млин з модернізацією міжкамерної перегородки», керівник проекту к.т.н., доцент Васильченко Геннадій Миколайович, затверджені наказом по університету від « 20 » травня 2025р. № 1643-С

2. Термін подання студентом проекту «13» червня 2025р.

3. Вихідні дані до проекту: Внутрішній діаметр барабана: 1500 мм, довжина барабана: 5400 мм, товщина барабана: 60 мм, число обертів млина: 24 об/хв, середея насипна вага тіл, що мелють: 45,6 кН/м^3, маса мелюючих тіл: 13,911 т, відстань між осями підшипників: 6310 мм.

4. Зміст пояснювальної записки: Вступ. Призначення та галузь застосування двокамерного млина. Технологічна схема. Технічна характеристика млина. Опис базової конструкції, її основних частин та принципу дії. Літературний та патентний огляд стану питання. Охорона праці. Прогнозуючі економічно-механічні показники та висновки.

5. Перелік графічного матеріалу: Технологічна схема виробництва. Загальний вид машини. Складальне креслення модернізованого вузла. Деталювання. Плакат виконання 3D-моделі для числового розрахунку. Плакат виконання числового розрахунку.

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
МОДЕРНІЗАЦІЇ	проф. Щербина В.Ю.		
ТЕХ. МАШИНОБУД.	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	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1.	Літературно-патентний пошук	18.05.2025	
2.	Виконання параметричних розрахунків	20.05.2025	
3.	Виконання креслень технологічної схеми	22.05.2025	
4.	Виконання креслень загального виду	24.05.2025	
5.	Виконання розрахунків на міцність	26.05.2025	
6.	Виконання креслень та побудови модернізації	28.05.2025	
7.	Виконання розділу ТМ	30.05.2025	
8.	Виконання розділу ОП	01.06.2025	
9.	Виконання розрахунків в програмі ANSYS	03.06.2025	
10.	Загальні висновки по ДП	05.06.2025	
11.	Виконання Плакату	07.06.2025	

Студент І.В. РЕПЕЦЬКИЙ

Керівник проекту Г.М. ВАСИЛЬЧЕНКО

Реферат

Бакалаврський дипломний проект за темою: «Двокамерний млин з модернізацією міжкамерної перегородки» / І.В. Репецький. КПІ ім. Ігоря Сікорського; н. керівник Г.М. Васильченко. Пояснювальна записка містить: 70 с., 24 рис., 1 табл., 10 дод., 12 посилань. Графічна частина включає: 5 креслень формату А3, 1 креслення формату А1 та 2 плакати формату А1.

Мета – підвищення ефективності роботи млина шляхом модернізації конструкції міжкамерної перегородки.

Для досягнення мети було виконано літературно-патентний огляд існуючих технічних рішень, серед яких для впровадження обрано патент CN111111856B, що передбачає використання комірчастої перегородки з напрямними елементами. Проведено параметричні, кінематичні та міцнісні розрахунки елементів млина. За допомогою числового моделювання в середовищі ANSYS підтверджено підвищення ресурсу конструкції та зниження рівня деформацій. Розроблено технологічну схему виробництва, креслення загального вигляду та вузлів, виконано розрахунок приводу, охарактеризовано систему гідропідпору підшипників.

Запропоновану конструкцію можна ефективно використовувати у цементній та будівельній промисловості для підвищення продуктивності та енергоефективності процесу помелу.

Ключові слова: КУЛЬОВИЙ МЛИН, ANSYS, МОДЕРНІЗАЦІЯ, ПРОДУКТИВНІСТЬ

The abstract

Bachelor's degree project on the topic: “Two-chamber mill with modernization of the interchamber partition” / I.V. Repetsky. Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute; supervisor H.M. Vasylchenko. Explanatory note contains: 70 p., 24 figs., 1 table, 10 appendix, 12 references. The graphic part includes: 5 A3 drawings, 1 A1 drawing and 2 A1 posters.

The aim is to increase the efficiency of the mill by modernizing the design of the interchamber partition.

To achieve this goal, a literature and patent review of existing technical solutions was performed, among which the patent CN111111856B was selected for implementation, which provides for the use of a cellular partition with guide elements. Parametric, kinematic, and strength calculations of the mill elements were performed. Using numerical modeling in the ANSYS environment, we confirmed the increase in structural life and reduction in deformation. A technological production scheme, general view and component drawings were developed, the drive was calculated, and the bearing hydraulic support system was characterized.

The proposed design can be effectively used in the cement and construction industries to improve the productivity and energy efficiency of the grinding process.

Keywords: BALL MILL, ANSYS, MODERNIZATION, PRODUCTIVITY

ЗМІСТ

ВСТУП……1
1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ ДВОКАМЕРНОГО МЛИНА……...2
2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА МЛИНА.....4
3 ОПИС БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ, ЇЇ ОСНОВНИХ ЧАСТИН ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ 5
4 ЛІТЕРАТУРНИЙ ТА ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ 7
4.1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ 7
4.2 ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ 15
5. РОЗРАХУНКИ.....17
5.1 ПАРАМЕТРИЧНІ ТА КІНЕМАТИЧНІ РОЗРАХУНКИ 17
5.2 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ.....27
5.3 ЧИСЛОВІ РОЗРАХУНКИ.....32
6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА 38
7 ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ.....45
7.1 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....45
7.2 ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ ПЕВНОЇ ОПЕРАЦІЇ 46

ВИСНОВКИ.....
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....
ДОДАТОК.....

					ЛП11.063113.01-70ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Репецький			Двокамерний млин з модернізацією міжкамерної перегородки	Літ.	Арк. 64 / Акрушів
Перевір.		Васильченко					
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського	
Н. Контр.							
Затверд.		Сокольський					

ВСТУП

Однією з важливих галузей промисловості є виготовлення будівельних матеріалів: цегли, цементу та інших. У виробництві цих матеріалів використовують ряд машин, призначених для подрібнення сировини: бігуни, дробарки, млини.

Кульові млини широко застосовуються у виробництві для помелу гірничохімічної сировини, різних хімічних продуктів, в цементній промисловості. Призначення процесу помелу, наприклад, в цементній промисловості – збільшення поверхні матеріалу з метою підвищення його реакційної здатності в процесах клінкероутворення, прискорення реакцій згорання вугілля, яке застосовується для відпалу клінкеру, досягнення необхідних фізико-технічних властивостей цементу, які характеризуються певною питомою поверхнею цементу. Розрізняють кульові млини для сухого і мокрого помелу.

В кульових млинах процеси подрібнення і змішування відбуваються з використанням куль різного розміру і щільності, матеріал яких може варіюватися від високоміцних сплавів і щільної кераміки до пластмас.

Значення подрібнення в економіці країни досить вагоме. Це стає зрозумілим, якщо врахувати, що подрібнюються сотні мільйонів тонн сировини (в основному в цементній та гірничорудній промисловості). Енергія, яка витрачається безпосередньо на помел, складає менше 1% використаної енергії, а інша втрачається у вигляді тепла, звуку і т.д.

Мета даного дипломного проекту - ознайомитись з обладнанням, яке застосовується у виробництві будівельних матеріалів, його будовою та принципами роботи, оволодіти методикою розрахунків двокамерного кульового млина.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ ДВОКАМЕРНОГО МЛИНА

Відповідно до технічних стандартів, підлогова керамічна плитка повинна характеризуватися високою щільністю, стійкістю до стирання та достатнім рівнем міцності на механічні навантаження [2]. Завдяки цим властивостям така плитка знаходить широке застосування в приміщеннях з підвищеною вологістю — як у побутових, так і у виробничих умовах, включаючи лабораторії та підприємства громадського харчування.

Завдяки можливості додавання пігментів, плитка набуває декоративної привабливості, що дозволяє використовувати її для оздоблення інтер'єру. Крім того, висока хімічна стійкість плитки робить її придатною для підлогового покриття в цехах хімічної промисловості. Її санітарно-гігієнічні властивості, а також зносостійкість і довговічність, роблять таку продукцію незамінною у багатьох сферах.

На рисунку 1.1 представлено технологічну схему виробництва плитки, в якій ключовим елементом є трубний млин.

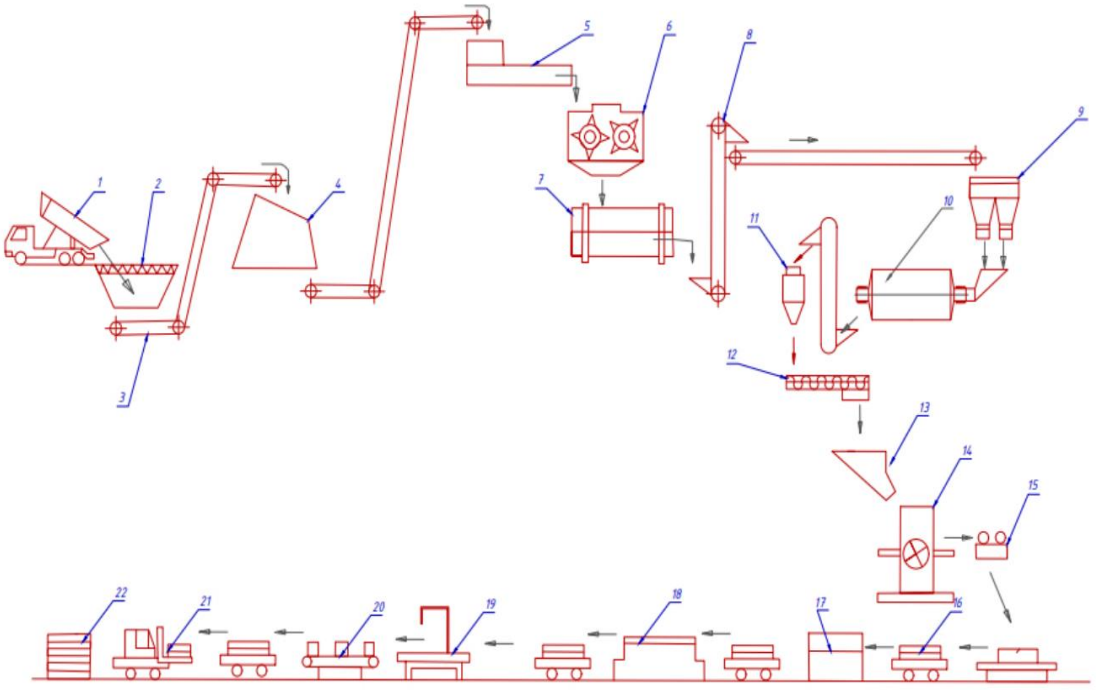
Виробничий процес починається з доставки сировини на підприємство — автотранспортом або залізницею. Матеріал завантажується в бункер (позиція 2), з якого стрічковим конвеєром подається на сировинний склад (позиція 4). Далі сировина транспортується до зубчастої двохвалкової дробарки (позиція 6) для попереднього подрібнення.

Після дроблення матеріал направляється до сушильного барабана (позиція 7), де видаляється надлишкова волога. За допомогою елеватора і стрічкового конвеєра підсушена маса надходить до тарілчастих живильників (позиція 8), які забезпечують рівномірну подачу в трубний млин. Саме в цьому млині відбувається остаточне подрібнення та змішування компонентів шихти.

Після млина матеріал надходить у сепаратор (позиція 11), де за допомогою гвинтового конвеєра видаляються небажані домішки. Далі очищена маса транспортується до витратного бункера (позиція 13), що

забезпечує безперебійну подачу на формувальний прес (позиція 14). Після пресування автоматична система (позиція 15) відбраковує дефектні плитки.

Готова продукція завантажується у візки (позиція 16) і проходить тунельну сушку (позиція 17), після чого направляється до печі для випалу (позиція 18). На виході з печі плитка сортується за допомогою маніпулятора (позиція 19), потім упаковується (позиція 20) і відправляється на склад готової продукції (позиція 22), куди її транспортує автонавантажувач.



1 – транспортування сировини; 2 – бункер; 3 – стрічкові конвеєри; 4 – склад сировини;

5 – ящиковий живильник; 6 – двох валкова зубчаста дробарка; 7 – сушильний барабан; 8 – елеватори; 9 – тарілчасті живильники; 10 – трубний млин; 11 – сепаратор 12 – гвинтовий конвеєр; 13 – бункер; 14 – прес; 15 – автомат очищення плиток; 16 – вогнетривкі плити; 17 – тунельна сушарка; 18 – тунельна піч; 19 – автомат для сортування плиток; 20 –стіл пакування; 21 – автонавантажувач; 22 – склад.

Рисунок 1.1 – Технологічна лінія виробництва керамічних плиток

2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДВОКАМЕРНОГО МЛИНА

Внутрішній діаметр барабана, м	D_0 = 1,5 м
Довжина барабана, м	L_o = 5,4 м
Товщина обичайки барабана, м	δ = 0,06
Число обертів млина, об/хв	n = 24 об/хв
Ступінь завантаження мелючими тілами	φ = 0.34
Середня насипна вага тіл, що мелють, кН/м^3	γ = 45,6
Відстань між осями підшипників, м	$L_{ос\ підш}$ = 6,31 м
Маса мелючих тіл, т	$m_{мел\ тіл}$ = 13,911 т
Маса корпуса з футеровкою, завантажувальною та розвантажувальною частинами і діафрагмою, т	$m_к$ = 81,5 т

3 ОПИС БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ, ЇЇ ОСНОВНИХ ЧАСТИН ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ

У виробництві цементу, кераміки і скла для грубого і тонкого помелу матеріалів велике поширення одержали кульові млини, принцип дії яких заснований на здрібнюванні матеріалу ударом і частково стиранням вільно падаючих помольних тіл в обертовому барабані[1].

Кульові подрібнювачі, які використовуються для грубого та тонкого помелу матеріалів, мають аналогічні конструкції. Кульовий двокамерний млин (рисунок 3.1) – подрібнювач сухого помелу – складається з порожнистого зварного барабану 2, закритого з обох боків сталевими литими кришками 4 і 5 з порожнистими цапфами. Внутрішня частина барабана розділена міжкамерною діафрагмою зі щілеподібними отворами, яка виконує функцію сортування частинок та контролює перехід матеріалу з першої камери у другу. Перша камера зазвичай заповнюється сталевими кулями більшого діаметра, призначеними для попереднього дроблення, тоді як у другій камері використовуються менші кулі, які забезпечують тонкий помел. Такий розподіл дозволяє ефективно адаптувати помольні тіла під фракційний склад сировини.

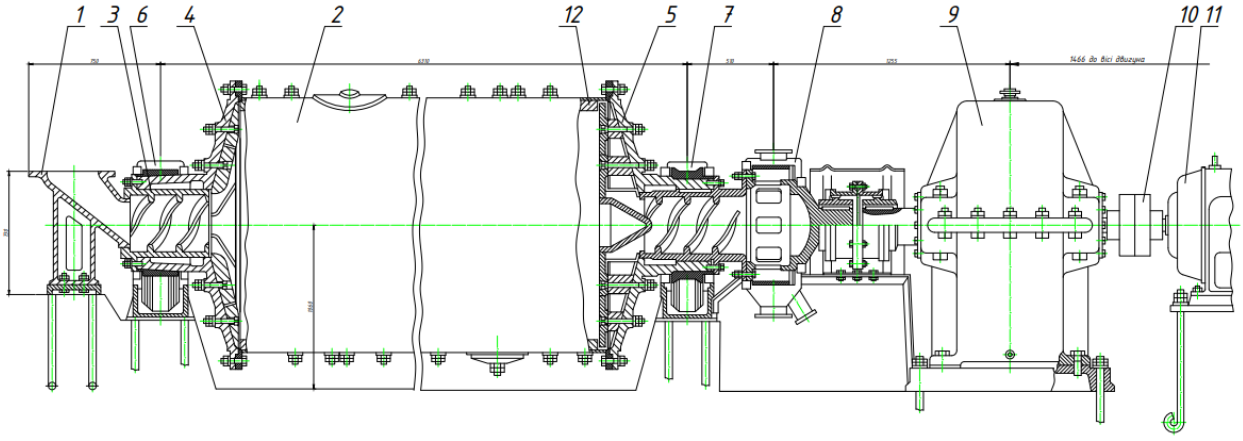


Рисунок 3.1 - Кульовий двохкамерний млин

Обертання барабана здійснюється за допомогою центрального приводу, що складається з електродвигуна, редуктора 9 і зубчастої муфти 10.

Підшипники 6 і 7 — ковзання, сферичні, самоустановлювальні, мають систему водяного охолодження та централізовану масляну подачу, що забезпечує стабільну й довговічну роботу вузла. Внутрішня поверхня барабана футерована плитами 12, виготовленими з зносостійких матеріалів. Залежно від розмірів млина і призначення футеровки застосовують чавунні, марганцеві, хромові або гумові плити. Наприклад, зі сталі 110Г13Л виготовляють футерівку для великих машин, а гумові плити доцільні за умов використання кульок діаметром до 80 мм — це дозволяє зменшити шум і знос, продовжити строк служби та знизити вагу конструкції.

Матеріал завантажується в барабан через горловину 1 і потрапляє в порожнисту завантажувальну цапфу, яка обладнана шнековою насадкою 3. Вивантаження матеріалу відбувається через порожнисту цапфу. Розвантажувальний патрубок 8 має вікна, через які матеріал потрапляє на сито, яке слугує для затримання роздрібнених мелючих тіл. Патрубок в кожусі призначений для аспірації повітря. Через патрубок відводяться зруйновані мелючі тіла і нестандартний продукт.

Підшипники ковзання сферичні самоустановлювальні, складаються з корпуса, кришки і нижнього вкладиша, який охолоджується водою. Система подачі масла в підшипник централізована.

Футерувальні плити барабану, як правило, виготовляють з відбіленого чавуна, марганцевої та хромової сталей. Із сталі 110Г13Л виготовляють футерувальні плити барабанних подрібнювачів великого діаметра[2].

Товщина броньованих плит від 50 до 150 мм у великих подрібнювачах. Інколи застосовується гумова футеровка кульових подрібнювачів. Вона раціональна у випадках, коли використовуються кульки діаметром менше 80 мм. Помітно знижуються рівень шуму при роботі і експлуатаційні витрати; при масі футеровки, яка складає 15 – 20% маси сталевих плит, строк служби зростає в 2 – 3 рази. Найбільш поширені мелючі тіла – кульки і стержні. Кульки діаметром від 30 до 125 мм, як правило, виготовляють прокатом, куванням чи штампуванням зі сталей; вони піддаються гартуванню до твердості НВ 400 для

кульок діаметром до 80 мм і не менше НВ 300 для кульок діаметром 125 мм. Стержні виготовляють з нев’язких вуглецевих сталей. Зношення помольних тіл залежить від властивостей сировини, режиму роботи млина, форми камер та типу футеровки. Середнє зношення сталевих куль становить близько 0,09 кг на кожен кіловат-годину, витрачену на подрібнення [3].

4 ЛІТЕРАТУРНИЙ ТА ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ

4.1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

Далі розглядаються патенти [9] - [12]

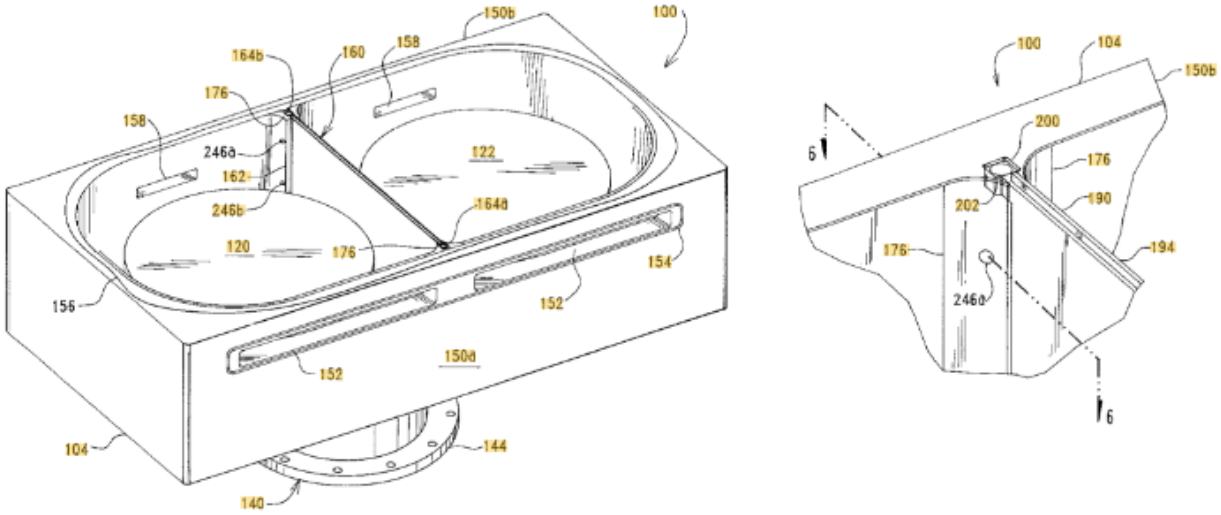


Рисунок 4.1.1 - Результат побудови модернізованої перегородки барабана

Патент [9] описує конструкцію обробної камери з двома обробними станціями, розділеними перегородкою. Перегородка може бути знята та знову встановлена для вибіркового поділу станцій. Вона оснащена заслінкою, яка регулює потік повітря між станціями, що покращує рівномірність обробки.

Особливості.

Знімна перегородка з можливістю повторного встановлення. Заслінка для розподілу потоку повітря. Покращення рівномірності обробки завдяки регулюванню обміну між станціями.

Патент може бути корисним для модернізації міжкамерної перегородки двокамерного млина, оскільки він пропонує рішення для регулювання потоку повітря між камерами, що може покращити ефективність та рівномірність обробки.

Патент [10] описує конструкцію трубного млина з перегородкою, що має численні отвори для проходу повітря та матеріалу. Це дозволяє ефективно переміщати матеріал між камерами та покращує процес подрібнення. Основні характеристики: Перегородка з численними отворами: Забезпечує ефективний потік повітря та матеріалу між камерами млина; Покращення ефективності подрібнення: Оптимальний розподіл потоку сприяє рівномірному переміщенню матеріалу, що покращує процес подрібнення;

Цей патент може бути корисним для модернізації міжкамерної перегородки двокамерного млина, оскільки він пропонує рішення для ефективного переміщення матеріалу між камерами, що може покращити ефективність та рівномірність обробки.

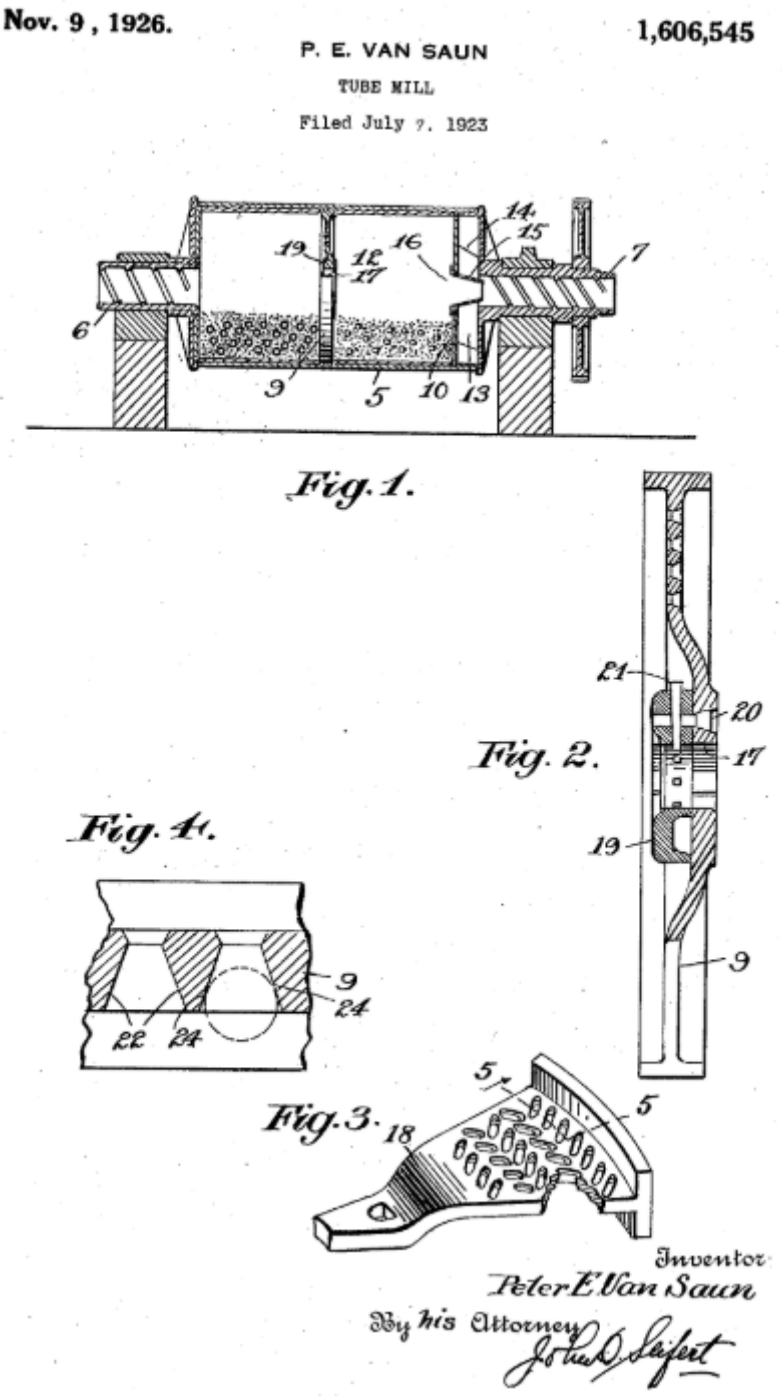


Рисунок 4.1.2 - Результат побудови модернізованої перегородки барабана

Цей винахід [11] стосується вертикального млина, у якому для подрібнення матеріалу використовуються металеві кулі, вільно розташовані в камері помелу. Головна ідея полягає в тому, що кулі мають велику свободу руху, на відміну від млинів, де кульки крутяться по строго заданій траєкторії (наприклад, у канавках або по колу).

Основні цілі винаходу.

Підвищення ефективності подрібнення: за рахунок тертя та удару куль одна об одну, а також об нерухомі та обертові частини млина; забезпечується подрібнення як шляхом удару, так і шляхом стирання (абразивна дія).

Зменшення зносу футерівки (облицювання): завдяки уповільненому руху куль, які знаходяться безпосередньо біля облицювання; основне тертя відбувається у вищих шарах кулей, що знижує навантаження на дно млина;

Оптимальний розподіл повітря**:** через спеціальну систему подачі повітря всередину млина — через лопаті імпелера (крила крильчатки), що також сприяє ефективному транспортуванню подрібненого матеріалу.

Конструкція млина складається з кількох основних вузлів, які забезпечують ефективне подрібнення матеріалу. Основу становить циліндричний металевий корпус, внутрішня частина якого облицьована знімною товстостінною футерівкою. Вона покриває як дно, так і бокові стінки млина, забезпечуючи захист від зношування та зменшуючи втрати енергії під час роботи. У нижній частині корпусу розташована камера подрібнення, де знаходяться вільно розміщені сталеві кулі різного діаметра. Саме вони слугують основними елементами подрібнення, взаємодіючи між собою та з матеріалом, що обробляється.

Через всю висоту млина проходить вертикальний обертовий вал, який утримується в підшипниках і приводиться в дію за допомогою конічної передачі від горизонтального вала. У нижній частині цього вала розташований імпелер — спеціальний елемент з кількома порожнистими лопатями, зануреними у шар сталевих куль. Під час обертання імпелер не лише створює механічний рух, а й забезпечує подачу повітря та матеріалу в робочу зону через свої лопаті.

Під імпелером розташований так званий слінгер або розкидач, обладнаний ребрами, які виконують подвійну функцію: вони розкидають матеріал по периметру робочої зони та спрямовують повітряний потік угору.

Це запобігає потраплянню пилу у підшипники та сприяє підтриманню чистоти в механізмі.

У верхній частині конструкції встановлено класифікатор, що складається з кількох пластин, які забезпечують поділ частинок за розміром. Дрібно подрібнені частинки виводяться через тангенціальний вихід, а більші повертаються назад у зону помелу для повторної обробки. Така конструкція забезпечує безперервний процес подрібнення з високим ступенем ефективності, при цьому знижуючи втрати матеріалу та енергії.

Цей патент пропонує оригінальне рішення вертикального кульового млина з вільно рухомими кулями. Незважаючи на те, що сам млин однокамерний і вертикальний, його принципи можна адаптувати для модернізації міжкамерної перегородки в горизонтальному двокамерному млині — зокрема, для покращення поділу по фракціях, зниження зношування, підвищення рівномірності подрібнення та полегшення обслуговування.

May 19, 1936. M. FRISCH 2,041,287

BALL MILL PULVERIZER

Filed Oct. 20, 1931 2 Sheets-Sheet 1

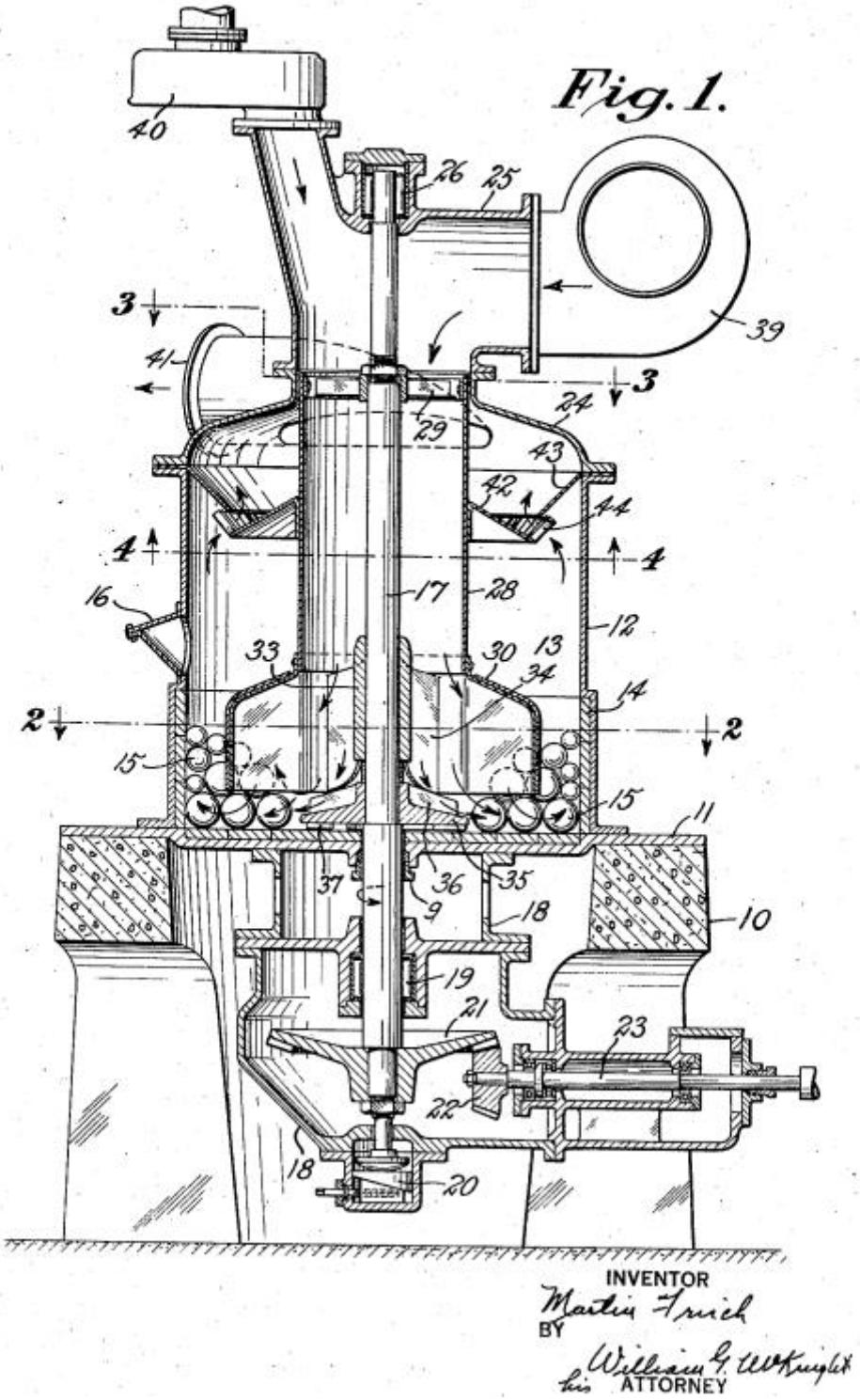


Рисунок 4.1.3 – Загальний вид млина з модерназацією.

Патент [12] описує конструкцію вдосконаленої міжкамерної перегородки для двокамерного кульового млина, призначену для підвищення ефективності подрібнення матеріалів шляхом більш точного регулювання руху частинок між першою та другою камерами млина. Особливістю цього технічного рішення є те, що перегородка виконує не лише функцію фізичного розділення робочих камер, але й виконує роль сортувального та напрямного елемента в загальному процесі помелу.

Конструкція перегородки складається з основної несучої рами, у якій закріплені сітчасті або решітчасті елементи з отворами певного діаметра. Через ці отвори можуть проходити лише частинки, що досягли необхідного ступеня подрібнення. Це дозволяє уникнути передчасного переходу надто великих частинок у другу камеру, де здійснюється фінішний помел. Такий підхід дозволяє не тільки зменшити повторне рециркулювання матеріалу, а й зменшити навантаження на другу камеру, забезпечивши її стабільну роботу при більш тонкому подрібненні.

Ще однією важливою особливістю патенту є наявність напрямних елементів, які спрямовують матеріал у потрібному напрямку — зокрема, у бік отворів перегородки або ж углиб млина. Це сприяє більш упорядкованому потоку частинок, зменшуючи хаотичний рух, який може спричиняти зношування перегородки та втрату енергії. Також така конструкція дозволяє зменшити ймовірність забивання перегородки надлишковою масою частинок, що позитивно позначається на надійності та довговічності вузла.

Патент також передбачає можливість виготовлення перегородки з декількох змінних секцій. Це забезпечує зручність обслуговування, зменшує час на заміну зношених елементів і дає змогу адаптувати конструкцію до різних типів матеріалів або до особливостей помелу в конкретних умовах експлуатації.

Загалом, патент представляє собою сучасне, інженерно виважене рішення, яке дозволяє значно підвищити ефективність роботи двокамерного кульового млина. Він поєднує в собі функції поділу, сортування та направлення матеріалу, знижуючи при цьому енерговитрати, зношування та простої, пов’язані з обслуговуванням обладнання. Його реалізація дозволяє досягти якісно нового рівня продуктивності та стабільності подрібнення у промислових умовах.

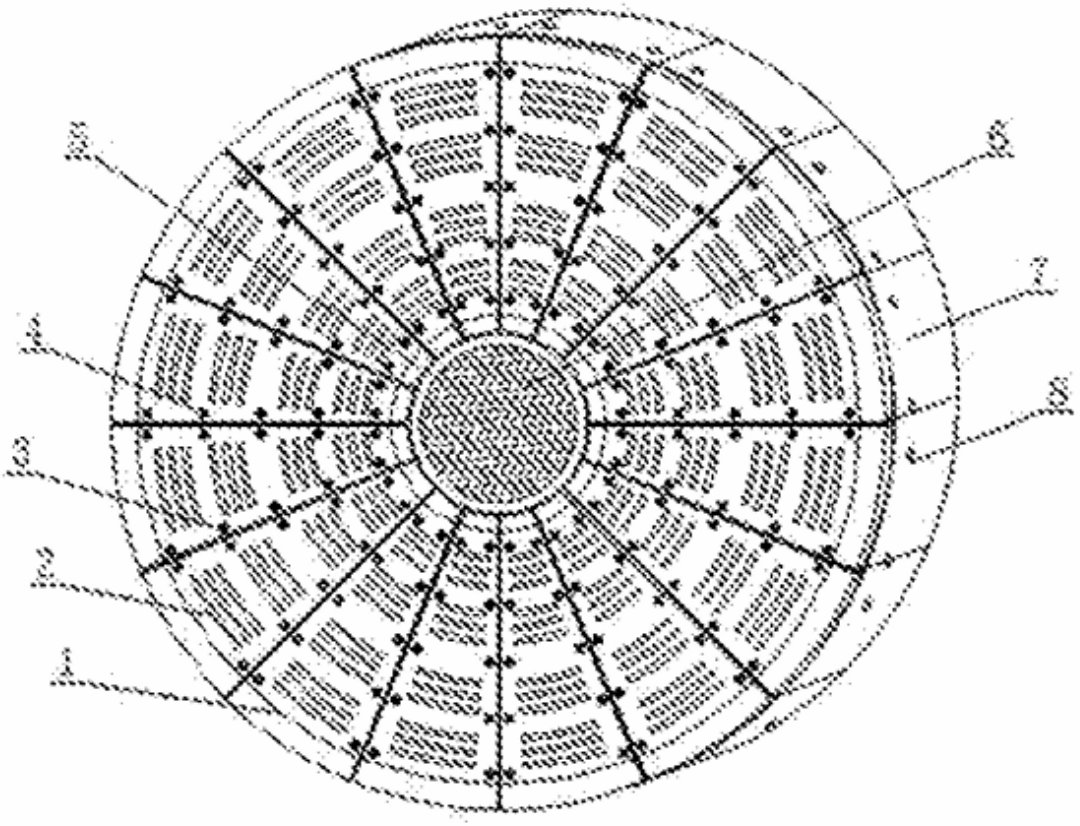


Рисунок 4.1.4 – Модернізація міжкамерної перегородки

4.2 ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ

Патент [12] був обраний для аналізу та використання в дипломному проєкті не випадково. На відміну від інших патентів, він є більш сучасним, технічно досконалим і безпосередньо пов’язаний із темою дослідження — модернізацією міжкамерної перегородки двокамерного кульового млина.

Однією з основних причин вибору саме цього патенту є його актуальність. Патент було зареєстровано у 2021 році, тому він враховує сучасні вимоги до енергоефективності, ремонтопридатності та технологічної гнучкості обладнання. Це значно відрізняє його від більш ранніх рішень, які вже не відповідають сучасному рівню розвитку технологій.

Ще одним вагомим аргументом є те, що даний патент безпосередньо описує конструкцію міжкамерної перегородки, тоді як більшість інших розглянутих патентів лише опосередковано торкаються цієї теми або ж описують загальну конструкцію млина без деталізації вузла, що є предметом дослідження. У патенті [12] подається рішення, яке включає комірчасту або ґратчасту перегородку, що дозволяє ефективно регулювати перехід матеріалу з першої камери млина до другої. Особливу увагу приділено наявності направляючих елементів і сит, які не лише забезпечують прохід частинок певного розміру, а й попереджають повернення надто дрібних фракцій до зони грубого подрібнення. Це дозволяє досягти більшої ефективності помелу, оскільки кожна камера працює відповідно до свого призначення: перша — для попереднього подрібнення, друга — для завершального.

Крім цього, технічні рішення, викладені в патенті, можуть бути адаптовані до існуючих конструкцій млинів без необхідності суттєвої перебудови всього обладнання. Така можливість модернізації без повної заміни робочого блоку є великою перевагою, оскільки дозволяє впровадити нове рішення з меншими витратами часу та коштів.

Важливо також відзначити, що перегородка, описана у [12], має модульну структуру, що полегшує її обслуговування і ремонт. Така конструкція підвищує надійність обладнання, дозволяє швидко замінювати окремі елементи та регулювати характеристики подрібнення залежно від типу матеріалу.

Таким чином, вибір патенту [12] для розгляду у дипломній роботі є цілком обґрунтованим. Він не лише відображає сучасний рівень технічних рішень у сфері подрібнювального обладнання, але й безпосередньо відповідає практичним завданням, які ставляться перед модернізацією міжкамерної перегородки у двокамерному кульовому млині.

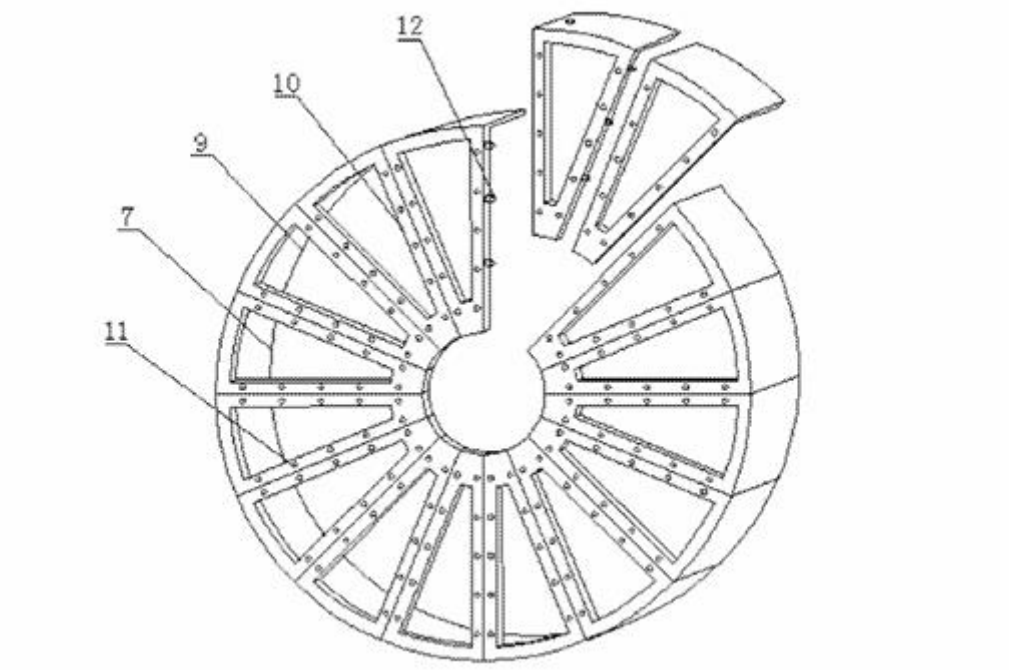


Рисунок 4.2.1 - Конструкція міжкамерної перегородки двокамерного кульового млина

5. РОЗРАХУНКИ

5.1 ПАРАМЕТРИЧНІ ТА КІНЕМАТИЧНІ РОЗРАХУНКИ

В курсовому проекті, згідно з ТЗ, необхідно розрахувати параметри двокамерного кульового млина для подрібнення матеріалів з наступними технічними умовами: модуль пружності $E = 2{,}4 \cdot 10^4$ МН/м^2; межа міцності на стиск $\sigma = 63$ МН/м^2; густина $\rho = 2{,}0$ т/м^3; діаметр барабана $D_0 = 1{,}5$ м; робоча довжина барабана $L_o = 5{,}4$ м; кількість камер - 2; спосіб помелу - сухий;

задана тонкість розмелу характеризується залишком на ситі № 008 не вище y = 10 %

Параметричні розрахунки

Розрахунок геометричних параметрів

Частота обертання барабана

$$\text{n} = \frac{2(5\varphi + 2)}{15\sqrt{D_0}},$$

де $\varphi = 0{,}34$ - коефіцієнт заповнення млина кулями для співвідношення діаметра цапфи і діаметра барабана у світлі $D_ц / D_o = 0{,}25$.

$$n = \frac{2 \cdot (5 \cdot 0{,}34 + 2)}{15 \cdot \sqrt{1{,}5}} = 0{,}4 \text{ об/с} = 24 \text{ об/хв.}$$

Зовнішній діаметр барабана

$$D = 1{,}05 \cdot D_o = 1{,}05 \cdot 1{,}5 = 1{,}575 \text{ м.}$$

Довжина камери

$$L = 1{,}09 \cdot L_o = 1{,}09 \cdot 5{,}4 = 5{,}886 \text{ м.}$$

Діаметр цапфи

$$D_ц = 0{,}35 \cdot D_o = 0{,}35 \cdot 1{,}5 = 0{,}525 \text{ м.}$$

Розрахунок двохступінчатого циліндричного редуктора

Загальне передатне число двоступінчастого редуктора:

$$\text{u}_\text{p} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{750}{24} = 31{,}25,$$

де n_1– частота обертання швидкохідного вала редуктора;

n_2 – частота обертання вихідного вала редуктора.

Передатне число швидкохідного ступеня редуктора:

$$u_2 = 1{,}15\sqrt{u_p} = 1{,}15\cdot\sqrt{31{,}25} = 6{,}43.$$

Передатне число тихохідного ступеня редуктора:

$$u_3 = \frac{u_p}{u_2} = \frac{31{,}25}{6{,}43} = 4{,}86.$$

Силовий розрахунок

Обертовий момент на тихохідному валу двохступінчастого циліндричного редуктора:

$$T_{тих} = 9550\frac{P_2}{n_2} = 9550\frac{159{,}09}{24} = 63304{,}56 \text{ Н·м}.$$

На проміжному валу редуктора:

$$T_{пр} = \frac{T_{тих}}{u_3\eta_3} = \frac{63304{,}56}{4{,}86\cdot 0{,}97} = 13428{,}48 \text{ Н·м}.$$

На швидкохідному валу редуктора:

$$T_{шв} = \frac{T_{пр}}{u_2\eta_2} = \frac{13428{,}48}{6{,}43\cdot 0{,}97} = 2153 \text{ Н·м}.$$

Проектний розрахунок

Міжосьова відстань за формулою рекомендованою міждержавним стандартом ГОСТ 21354-87, мм:

$$a_{w1} = K(u_1+1)\sqrt[3]{\frac{T_{тих}K_{H\beta}}{([\sigma]_H u)^2\psi_{ba}}} = 495\cdot(4{,}86+1)\sqrt[3]{\frac{13428{,}48\cdot 1{,}07}{(469\cdot 4{,}86)^2\cdot 0{,}4}} = 552 \text{ мм};$$

$$a_{w2} = K(u_2+1)\sqrt[3]{\frac{T_{шв}K_{H\beta}}{([\sigma]_H u_2)^2\psi_{ba}}} = 495\cdot(6{,}43+1)\sqrt[3]{\frac{2153\cdot 1{,}07}{(469\cdot 6{,}43)^2\cdot 0{,}4}} = 315{,}8 \text{ мм}.$$

Приймаємо a_{w1} = 555 мм; a_{w2} = 315 мм.

Модуль зубчастої передачі:

$$m_1 = (0{,}01...0{,}02)\cdot a_{w1} = (0{,}01...0{,}02)\cdot 555 = (5{,}55...11{,}1) \text{ мм};$$

$$m_2 = (0{,}01...0{,}02)\cdot a_{w2} = (0{,}01...0{,}02)\cdot 315 = (3{,}15...6{,}3) \text{ мм}.$$

За відсутності абразивного спрацьовування зубців і значних перенавантажень беремо менше значення модуля. Згідно з ГОСТ9563-60 приймаємо $m_1 = 6$ мм; $m_2 = 4$ мм.

Ширина зубчастих вінців колес:

$$b_{к1} = \psi_{ba} a_{w1} = 0{,}4 \cdot 555 = 222 \text{ мм};$$

$$b_{к2} = \psi_{ba} a_{w2} = 0{,}4 \cdot 315 = 126 \text{ мм}.$$

Згідно з ГОСТ 6636-68 приймаємо $b_{к1} = 200$ мм; $b_{к2} = 125$ мм.

Ширина шестерен:

$$b_{ш1} = b_{к1} + (2...4) = 200 + (2...4) = (202...204) \text{ мм}.$$

Згідно з ГОСТ 6636-69 приймаємо $b_{ш1} = 210$мм.

$$b_{ш2} = b_{к2} + (2...4) = 125 + (2...4) = (122...129) \text{ мм}.$$

Згідно з ГОСТ 6636-69 приймаємо $b_{ш2} = 130$мм.

Сумарне число зубців шестерні і колеса:

$$Z_{\sum 1} = \frac{2a_{w1}}{m_1} = \frac{2 \cdot 555}{6} = 185.$$

Приймаємо $Z_{\sum 1} = 185$.

$$Z_{\sum 2} = \frac{2a_{w2}}{m_2} = \frac{2 \cdot 315}{4} = 158.$$

Приймаємо $Z_{\sum 2} = 158$.

Число зубців шестерні:

$$Z_{ш1} = \frac{Z_{\Sigma 1}}{u_1 + 1} = \frac{185}{4{,}86 + 1} = 32;$$

$$Z_{ш2} = \frac{Z_{\Sigma 2}}{u_2 + 1} = \frac{158}{6{,}43 + 1} = 21.$$

Число зубців колеса:

$$Z_{к1} = Z_{\sum 1} - Z_{ш1} = 185 - 32 = 153;$$

$$Z_{к2} = Z_{\sum 2} - Z_{ш2} = 158 - 21 = 137.$$

Уточнене передатне число:

$$u_1 = \frac{Z_{К1}}{Z_{Ш1}} = \frac{153}{32} = 4{,}78;$$

$$u_2 = \frac{Z_{к2}}{Z_{ш2}} = \frac{137}{21} = 6{,}52.$$

Міжосьова відстань (для контролю):

$$a_{w1} = \frac{m_1 Z_{\Sigma 1}}{2} = \frac{6 \cdot 185}{2} = 555 \text{ мм};$$

$$a_{w2} = \frac{m_2 Z_{\Sigma 2}}{2} = \frac{4 \cdot 158}{2} = 315 \text{ мм}.$$

Одержані значення збігаються з раніше вибраними.

Діаметри ділильних кіл шестерні і колеса:

$$d_{e1\ ш} = m_1 Z_{ш1} = 6 \cdot 32 = 192 \text{ мм};$$

$$d_{e2\ ш} = m_2 Z_{ш2} = 4 \cdot 21 = 84 \text{ мм};$$

$$d_{e1\ к} = m_1 Z_{к1} = 6 \cdot 153 = 918 \text{ мм};$$

$$d_{e2\ к} = m_2 Z_{к2} = 4 \cdot 137 = 548 \text{ мм}.$$

Діаметр поверхні вершин зубців шестерні і колеса:

$$d_{a1\ ш} = m_1(Z_{ш1} + 2) = 6 \cdot (32 + 2) = 204 \text{ мм};$$

$$d_{a2\ ш} = m_2(Z_{ш2} + 2) = 4 \cdot (21 + 2) = 92 \text{ мм};$$

$$d_{a1\ к} = m_1(Z_{к1} + 2) = 6 \cdot (153 + 2) = 930 \text{ мм};$$

$$d_{a2\ к} = m_2(Z_{к2} + 2) = 4 \cdot (137 + 2) = 556 \text{ мм}.$$

Діаметр поверхні западин:

$$d_{a1\ ш} = m_1(Z_{ш1} - 2{,}5) = 6 \cdot (32 - 2{,}5) = 177 \text{ мм};$$

$$d_{a2\ ш} = m_2(Z_{ш2} - 2{,}5) = 4 \cdot (21 - 2{,}5) = 74 \text{ мм};$$

$$d_{a1\ к} = m_1(Z_{к1} - 2{,}5) = 6 \cdot (153 - 2{,}5) = 903 \text{ мм};$$

$$d_{a2\ к} = m_2(Z_{к2} - 2{,}5) = 4 \cdot (137 - 2{,}5) = 538 \text{ мм}.$$

Розрахунок системи гідропідпору підшипника.

Система гідропідпору служить для створення умов рідинного тертя в період пуску й зупинки млина, що знижує потужність приводу (при пуску) і зменшує знос вкладиша (підшипника) млина[8]. Насос високого тиску подає мастило в карман вкладиша підшипника.

Піднімальна сила, що діє на цапфу з боку вкладиша, дорівнює сумі сил, що діють над площею карманів та над опорними площадками. Позначимо розрахунковий тиск у системі гідропідпору як P_1. Тоді, так як тиск над площадками змінюється від P_1 по контуру карманів до нуля, то середній тиск можна прийняти рівним 0,5 P_1.

Приймаємо, що мастило з підшипників буде витікати по шляху найменшого опору, тобто вздовж осі в обидва боки. З умови рівноваги цапфи:

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

де $Q = R_{max} = 988$ кН – максимальна реакція опори;

$b = 0{,}25$ м, $b_1 = 0{,}04$ м, $l_1 = 0{,}3$ м – довжини ділянок.

Звідси

$$P_1 = \frac{Q}{l_1(b_1 + 0{,}5(b - b_1))} = \frac{2Q}{l_1(b - b_1)} = \frac{2 \cdot 988 \cdot 10^3}{0{,}3(0{,}25 - 0{,}04)} = 31{,}4 \text{ МПа}.$$

Для вибору гідроапаратури обчислене значення P_1 збільшується в 1,5 рази. Приблизно на цей тиск випробовують систему гідропідпору.

Тоді

$$P_1 = 1{,}5 \cdot P_1 = 1{,}5 \cdot 31.4 = 41{,}7 \text{ МПа}.$$

Приймаємо $P_1 = 42$ МПа.

Питомий тиск на підшипник:

$$P = \frac{R_{max}}{F} = \frac{988 \cdot 10^3}{0{,}068} = 14{,}53 \text{ МПа},$$

де $F = bl - b_1 l_1 = 0{,}2 \cdot 0{,}4 - 0{,}04 \cdot 0{,}3 = 0{,}068$ м^2.

Розрахунок продуктивності

Продуктивність млинів залежить від багатьох факторів – розмірів барабана і молольних тіл, частоти обертання барабана, властивостей матеріалу, що подрібнюється, і рівномірності його завантаження, футерівки внутрішньої поверхні барабана, аспірації млина, необхідної тонини помелу та

ін[5]. Врахувати аналітично перераховані та інші фактори практично неможливо. Тому в кожному окремому випадку продуктивність визначають дослідним шляхом. Так, продуктивність млина періодичної дії, завантаженого певною кількістю вихідного матеріалу, визначають за тривалістю подрібнення до досягнення необхідної тонини помелу методом відбирання проб через певні проміжки часу та їх ситовим аналізом.

Продуктивність млинів неперервної дії також залежить насамперед від необхідної тонини помелу. Якщо ситовим аналізом кінцевого продукту виявляється недостатня тонина помелу, кількість вихідного матеріалу, що завантажують через порожнисту цапфу, зменшують. Продуктивність млина при цьому також зменшується.

Після знаходження основних параметрів млина продуктивність (т/год) рекомендується визначати згідно емпіричних формул, наприклад, у відповідності з нормами технологічного проектування цементних заводів продуктивність кульових млинів визначається згідно рівняння:

Продуктивність млина:

$$\Pi_{\rho} = 6.45 \cdot V \cdot \sqrt{D_0} \cdot \left(\frac{m_{\text{мел}}}{V} \right)^{0.8} \cdot q \cdot K \text{ т/год},$$

де V – об'єм камери, м^3.

Об’єм камери обчислюємо за формулою:

$$V = \pi \cdot D_o^2 \cdot L_o / 4 \ ;$$

$$V = 3{,}14 \cdot 1{,}5^2 \cdot 5{,}4 / 4 = 9{,}54 \text{ м}^3.$$

Маса тіл, що мелють

$$m_{ш} = \varphi \cdot \mu \cdot \rho_{мет} \cdot V \ ,$$

де $\mu = 0{,}5...0{,}6$ - коефіцієнт пустотності завантаження;

$\rho_{мет} = 7{,}8$ т/м^3 – густина матеріалу помельних тіл.

$$m_ш = 0{,}34 \cdot 0{,}55 \cdot 7{,}8 \cdot 9{,}54 = 13{,}9 \text{ т.}$$

$$П_\rho = 6{,}45 \cdot 9{,}54 \cdot \sqrt{1{,}5} \cdot \left(\frac{13{,}9}{9{,}54}\right)^{0.8} \cdot 0{,}035 \cdot 1{,}0 = 3{,}57 \text{ т/год ,}$$

де q – питома продуктивність млина на 1 кВт корисної потужності, q = 0,03...0,06 т/кВт·год, яка збільшується зі зменшенням міцності матеріалу, що подрібнюється; приймаємо q = 0,035 т/кВт·год;

К – коефіцієнт, який враховує тонину помелу і залежить від залишку на ситі 008; згідно з таблицею К = 1 для у = 10%.

Потужність двигуна привода барабанного млина з урахуванням маси матеріалу, що подрібнюється, яка приймається звичайно $m_м = 0.14 \cdot m_ш$, кВт:

$$N = 0.45 \cdot \pi \cdot g \cdot D_o \cdot m_ш \cdot n/\eta_n ,$$

де η_n - ККД привода; η_n = 0,92.

Потужність двигуна привода

$$N = 0{,}45 \cdot 3{,}14 \cdot 9{,}8 \cdot 1{,}5 \cdot 13{,}9 \cdot 0{,}4/0{,}92 = 159{,}09 \text{ кВт.}$$

Після успішної реалізації коду отримаємо результати розрахунку (рис. 5.1)

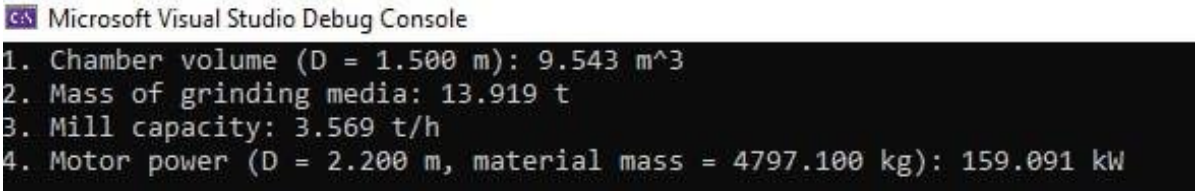


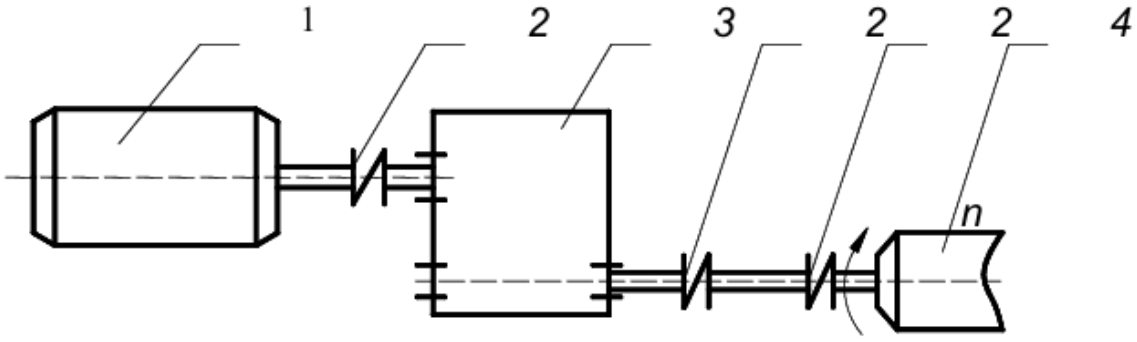
Рисунок 5.1 – Результати обчислень

Відповідно до наведених вище розрахунків потужності двигуна, приводу вибираємо електродвигун. Електродвигун типу АИР355М8 з номінальною потужністю N = 160 кВт, синхронною частотою обертання n = 750 об/хв.

Кінематичні розрахунки

Вибір електродвигуна

Обертання трубного кульового млина забезпечується за допомогою електродвигуна (позиція 1), який з'єднаний через муфту (позиція 2) з циліндричним редуктором (позиція 3). Далі, через з'єднувальні муфти, обертовий момент передається на головний вал млина. Структурна схема приводу наведена на рисунку 5.2.



1 – електродвигун, 2 – муфта, 3 – редуктор, 4 – барабан.

Рисунок 5.1 – Конструктивна схема передачі руху млина

Загальний ККД приводу

$$\eta_з = \eta_р \cdot \eta_м^3$$

де $\eta_р$ – ККД редуктора;

$\eta_м$ – ККД муфти; $\eta_М = 0{,}97$.

Розраховуємо ККД редуктора за формулою

$$\eta_р = \eta^2_{з.п.} \cdot \eta^6_{под}$$

$$\eta_р = 0{,}97^2 \cdot 0{,}99^6 = 0{,}886$$

Тоді загальний ККД буде становить

$$\eta_з = 0{,}88 \cdot 0{,}97^3 = 0.808$$

Потрібна потужність двигуна

$$P_{дв} = \frac{N}{\eta_o}$$

Де N – розрахована потужність.

$$P_{дв.} = \frac{3160,45}{0,808} = 3909.13 \text{ кВт}$$

З урахуванням довідкових даних обираємо електродвигун типу СДНЗ 17-59-8 УХЛ4, номінальна потужність якого становить 4000 кВт, а частота обертання – 750 об/хв. Після цього проводиться уточнення передаточного числа привідної системи.

$$i = \frac{n_{дв}}{n_{раб}} = \frac{750}{17} = 44,11$$

На основі даних з довідника обирається редуктор марки 1ЦЗУ–250–45–12 ЦЦ У1, який має передаточне число 45.

Визначаємо потужність на кожному валу привода:

$$P_1 = P_{дв} = 4000 \text{ кВт}$$

$$P_2 = P_{дв} \cdot \eta_{муф} = 4000 \cdot 0,97 = 3880 \text{ кВт}$$

$$P_3 = P_2 \cdot \eta_{муф} \cdot \eta_{ред} = 4000 \cdot 0,97 \cdot 0,88 = 3312 \text{ кВт}$$

$$P_4 = P_3 \cdot \eta_{муф} = 4000 \cdot 0,97 = 3212.6 \text{ кВт}$$

Визначаємо частоту обертання на кожному валу привода:

$$n_1 = n_{дв} = 750$$

$$n_2 = n_1 = 750$$

$$n_3 = \frac{n_2}{i_{ред}} = \frac{750}{45} = 16.6$$

$$n_4 = n_3 = 16.6$$

Визначаємо крутний момент на кожному валу:

$$T_1 = 9550\frac{P_1}{n_1} = 9550\frac{4000}{750} = 50933 \text{ Н м},$$

$$T_2 = 9550\frac{P_2}{n_2} = 9550\frac{3880}{750} = 49405 \text{ Н м},$$

$$T_3 = 9550\frac{P_3}{n_3} = 9550\frac{3311,9}{16,66} = 1897757 \text{ Н м},$$

$$T_4 = 9550\frac{P_4}{n_4} = 9550\frac{3212,6}{16,6} = 1840824,9 \text{ Н м}.$$

(1.4

Розрахунок муфти приводу

Муфти вибираємо за значенням номінального крутного моменту

$$T_м = KT_н$$

де $T_м$ - номінальний момент, переданий муфтою, Н*м;

Тн - номінальний тривало діючий момент на валу, Н*м;

К - коефіцієнт режиму роботи. Для млинів К = 2 ... 3,0 [3, с. 195]. Номінальні моменти, що передаються муфтами дорівнюють:

$$T_1 = 2 \cdot 50933.333 = 101866.6 \text{Н·м},$$

$$T_2 = 2 \cdot 49405.333 = 98810.6 \text{ Н·м},$$

$$T_3 = 2 \cdot 1897757.664 = 3795515.3 \text{ Н·м}.$$

Підбір муфт здійснюється згідно з нормативною довідковою літературою. Обрана зубчаста муфта загального призначення типу МЗ відповідно до ГОСТ 5006-55, компенсуюча зубчаста муфта — за ГОСТ 21424-75, а також обгінна муфта згідно з тим самим стандартом.

5.2 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ

На міцність розраховуються основні деталі млина, до яких відносяться барабан (корпус) млина, болти, що з'єднують корпус з днищами, деталі приводного пристрою[6]. Такі деталі млинів, як барабан, цапфи й інші, випробовують на вплив як статичних, так і динамічних навантажень, викликаних масою тіл, відцентровими силами. Усе це разом з абразивною дією матеріалу, що подрібнюється, враховується при виборі запасів міцності і якості матеріалу.

Вихідні дані:

Внутрішній діаметр барабана, м	$D_0 = 1,5$ м
Довжина барабана, м	$L_o = 5,4$ м
Товщина обичайки барабана, м	$\delta = 0,06$ м
Число обертів млина, об/хв	$n = 24$ об/хв
Ступінь завантаження мелючими тілами	$\varphi = 0,34$
Середня насипна вага тіл, що мелють, кН/м3	$\gamma = 45,6$
Відстань між осями підшипників, м	$L_{ос\ підш} = 6,31$ м
Маса мелючих тіл, т	$m_{мел\ тіл} = 13,911$ т
Маса корпуса з футеровкою, завантажувальною та розвантажувальною частинами і діафрагмою, т	$m_к = 81,5$ т

Розрахунок барабана млина

Барабан млина розглядається як порожниста балка кільцевого перерізу, яка вільно лежить на двох опорах і на яку діють згинаючий і крутний моменти[7]. Згинаючі навантаження на корпус млина створюються статичними й інерційними силами.

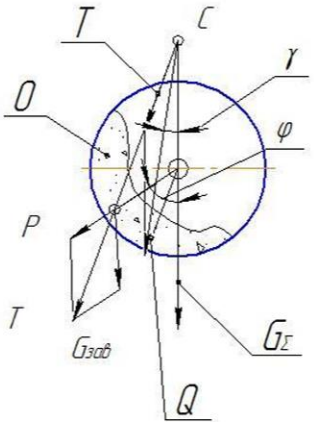


Рисунок 5.2.1 – Схема сил, що діють на корпус млина

Статичні навантаження в Н створюються силами ваги обертових частин млина $G_{\sum}$ і завантаження $G_{зав}$, контактуючої в цей момент з корпусом:

$$G_{\sum} = G_1 + G_2 + G_3,$$

де G_1, G_2, і G_3 – сили тяжіння корпуса з футеровкою, фланців і діафрагм, відповідно.

Для розглянутої конструкції:

$$G_{\sum} = m_к \cdot g = 81500 \cdot 9{,}81 = 799515 \text{ Н}.$$

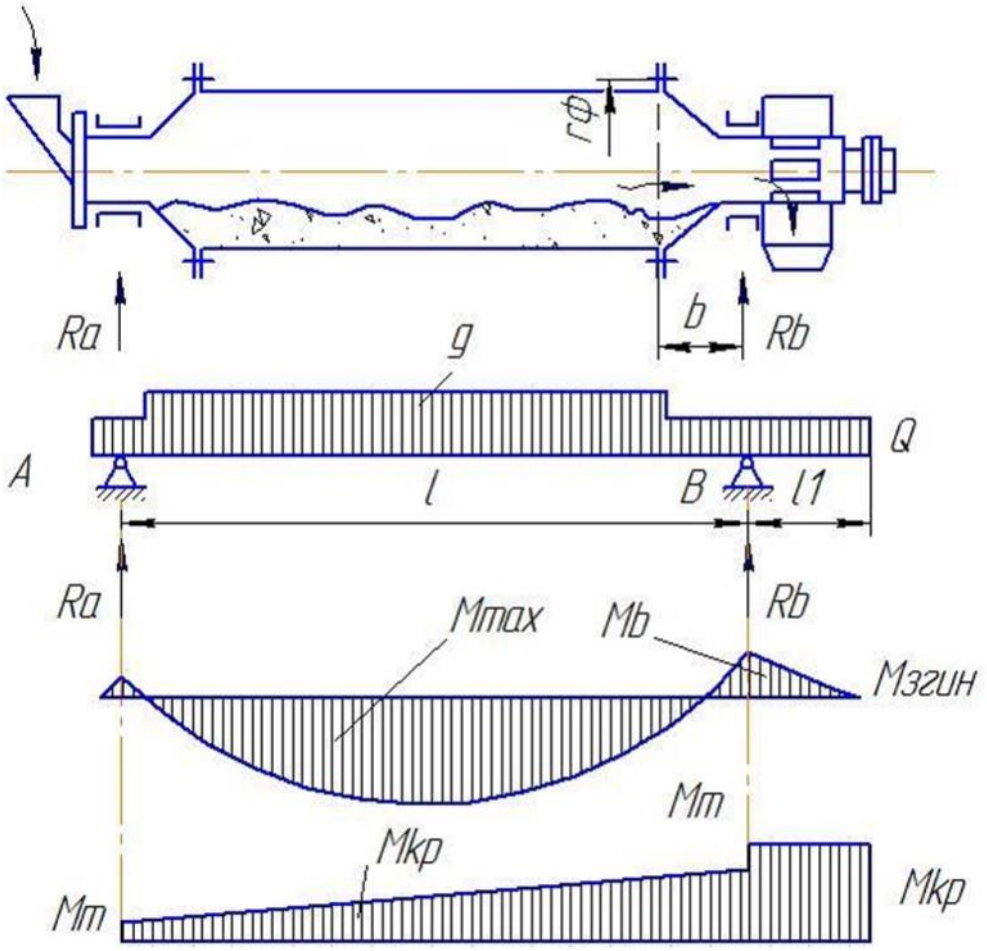


Рисунок 5.2.2 - Схема до розрахунку барабанного млина на міцність

Сила тяжіння маси завантаження, Н

$$G_{зав} = (G_{куль} + G_м)К_ч = (136466,91 + 19105,37)\cdot 0,55 = 85564,75 \text{ Н},$$

де $G_{куль}$ = 136466,91 Н– сила тяжіння куль; $G_м$ = 19105,37 Н - матеріалу, що подрібнюється;

$К_ч$ – коефіцієнт, що враховує, яка частина завантаження в цей момент рухається по круговій траєкторії; величина цього коефіцієнта дорівнює відношенню часу руху куль по круговій траєкторії до часу циклу:

$$К_ч = \frac{t_2}{t_1} = 0,55.$$

Відцентрова сила інерції маси завантаження, що рухається по круговій траєкторії, (Н):

$$P = 0,627 m_ш \omega^2 R.$$

З огляду на те, що

$$\omega_{опт} = \frac{2{,}38}{\sqrt{R}}, \text{ одержимо:}$$

$$P = 3{,}56m_{ш} = 3{,}56 \cdot 13911 = 49523{,}16 \text{ Н}.$$

Точка перетину сил $G_{заг}$ і P визначається радіусом інерції завантаження

$$R_o = 0{,}866R,$$

де R — внутрішній радіус барабана;

і кутом

$$\varphi = \frac{180^0 - \alpha}{2} \approx 60^0.$$

Рівнодійна сил $G_{зав}$ і P (див. рис. 2.1):

$$T = \sqrt{P^2 + G_{заг} - 2PG_{заг}\cos 120^0} = \sqrt{P^2 + G_{заг} + PG_{заг}} =$$
$$= \sqrt{49523{,}16 + 85564{,}75 + 49523{,}16 \cdot 85564{,}75} = 81792{,}8H$$

Рівнодійна сил T і G_{Σ}, прикладена у точці C:

$$Q = \sqrt{T^2 + G_{\Sigma}^2 - 2TG_{\Sigma}\cos 160^0} = \sqrt{T^2 + G_{\Sigma}^2 + 0{,}684TG_{\Sigma}} =$$
$$= \sqrt{81792{,}8 + 85564{,}72 + 0{,}684 \cdot 81792{,}8 \cdot 85564{,}72} = 137107H.$$

Інтенсивність розподіленого навантаження, що діє на корпус млина в площині рівнодійної Q:

$$q = \frac{Q}{l} = \frac{137107{,}3}{6{,}31} = 21728{,}57 \text{ Н/м}.$$

Максимальний згинальний момент:

$$M_{згин} = \frac{Q \cdot l}{8} = \frac{137107{,}3 \cdot 6{,}31}{8} = 108143{,}38 \text{ Н·м},$$

де l – відстань між центрами опор, м.

На ділянці від муфти до першого (з боку муфти) підшипника діє повний крутний момент, що підводиться до барабана:

$$M_{кр} = \frac{N}{2\pi n} = \frac{160000}{2\pi \cdot 0{,}4} = \text{Н·м},$$

де N – потужність двигуна, Вт;

n – число обертів барабану, об/с.

Внаслідок тертя в підшипнику крутний момент (Н·м) зменшується на величину

$$M_т = \mu R_в r_ц,$$

де $R_в$ – навантаження на підшипник, Н;

μ – коефіцієнт тертя в підшипнику;

$r_ц$ – радіус цапфи, м.

По довжині корпуса млина крутний момент змінюється по похилій прямій до величини $M_т$ у лівому підшипнику. Зведений момент:

$$M_{зв} = \sqrt{M_{згин}^2 + M_{кр}^2} = \sqrt{108143{,}38^2 + 63694{,}3^2} = 125506{,}8 \text{ Н}.$$

Напруження, які виникають в барабані під дією $M_{кр}$:

$$\sigma = \frac{M_{кр}}{kW} = \frac{63694{,}3}{0{,}8 \cdot 0{,}516} = 154298{,}2 \text{ Н/м}^2,$$

де $k \approx 0{,}8$ – коефіцієнт, що враховує ослаблення перетину барабана вирізами й отворами для болтів;

W – момент опору корпуса, м^3, визначається по формулі

$$W = k\frac{R_н^4 - R_в^4}{R_н} = k\frac{1{,}57^4 - 1{,}5^4}{1{,}57} = 0.516 \text{ м}^3,$$

де $R_н$ і $R_в$ – зовнішній і внутрішній діаметри корпуса.

Розрахунок підшипників

Максимальна опорна реакція:

$$R_{max} = R_B = 988 \text{ кН}$$

Діаметр цапфи: $d_ц = 0{,}75$ м.

Робоча довжина підшипника: $l = 0{,}3$ м.

Кут контакту: $2\beta = 120^0$.

Матеріал підшипника бабіт Б6.

Питомий тиск:

$$P = \frac{R_{max}}{l d_ц \sin \beta} = \frac{988 \cdot 10^3}{0{,}3 \cdot 0{,}75 \cdot 0{,}866} = 5{,}07 \text{ МПа}.$$

Колова швидкість цапфи:

$$v = \frac{\pi d_ц n}{60} = \frac{\pi \cdot 0{,}75 \cdot 24}{60} = 0{,}942 \text{ м/с}.$$

Добуток “PV”:

$$PV = 5{,}07 \cdot 0{,}942 = 4{,}77 \text{ МПа·м/с}.$$

Для бабіту Б6 граничні значення:

$$[P] = 5 \text{ МПа};$$

$$[v] = 6 \text{ м/с};$$

$$[PV] = 4{,}77 \text{ МПа·м/с}.$$

5.3 ЧИСЛОВІ РОЗРАХУНКИ

5.3.1 Числове моделювання

Для виконання необхідних розрахунків нашої 3D-моделі базової деталі використовуємо програмне забезпечення ANSYS 2024 R2 STUDENT.

Для початку нам потрібно обрати необхідні модулі. В нашому випадку це буде Static Structural (рис. 5.3.1).

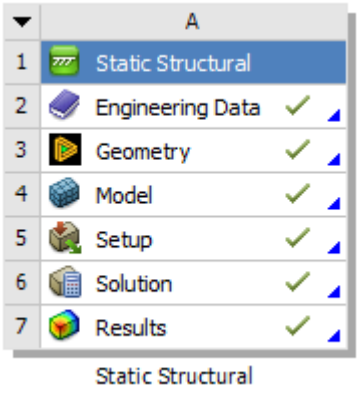


Рисунок 5.3.1 – Середовище виконання розрахунків

Також потрібно перед початком задати характеристики матеріалу конструкції (рис. 5.3.2), дана деталь виготовлена зі сталі 30 ДСТУ 7809:2015. Вписуємо значення межи текучості σ_t = 295 МПа в колонки Tensile Yield Strength та Compressive Yield Strength, які є собою як межи текучості при розтягу та стиску. Проводимо такі ж дії тільки з межою міцності $\sigma_в$ = 490 МПа в Tensile Ultimate Strength та Compressive Ultimate Strength.

Properties of Outline Row 3: Structural Steel

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7850	kg m^-3		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
12	Strain-Life Parameters				
20	S-N Curve	Tabular			
24	Tensile Yield Strength	295	MPa		
25	Compressive Yield Strength	295	MPa		
26	Tensile Ultimate Strength	490	MPa		
27	Compressive Ultimate Strength	490	MPa		

Рисунок 5.3.2 – Середовище задання характеристик матеріалу конструкції

Переходимо в пункт «Geometry», далі ми імпортуємо створену нами раніше 3D-модель (рис. 5.3.3).

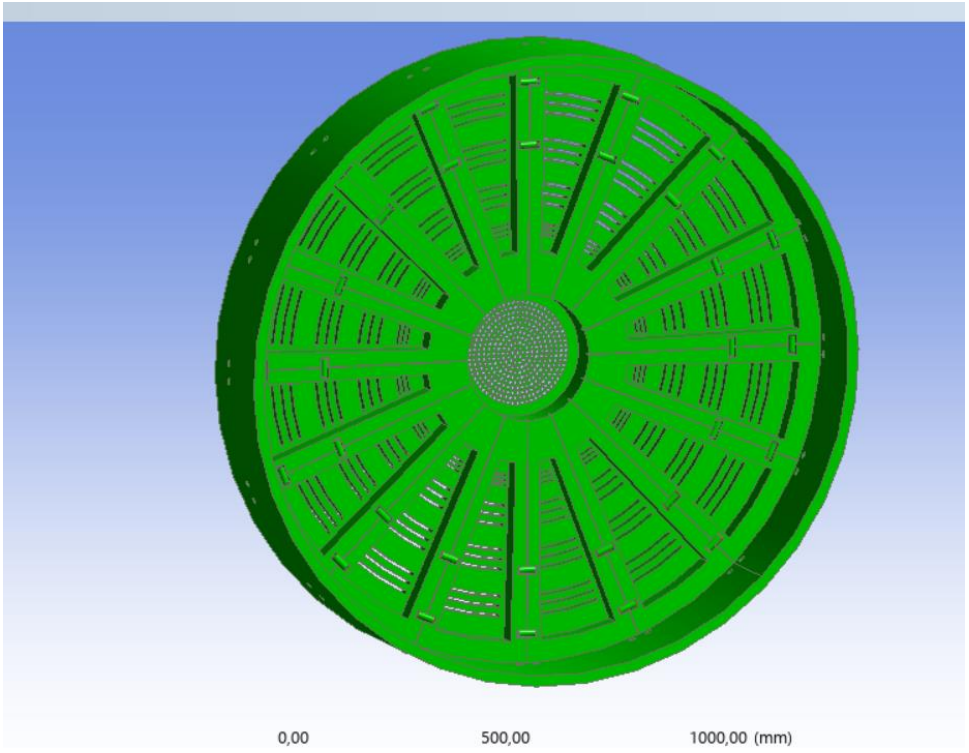


Рисунок 5.3.3 – Середовище створення геометрії

Тепер потрібно зробити розрізати деталь для створення можливості подальшого її розрахунку (рис. 5.3.4).

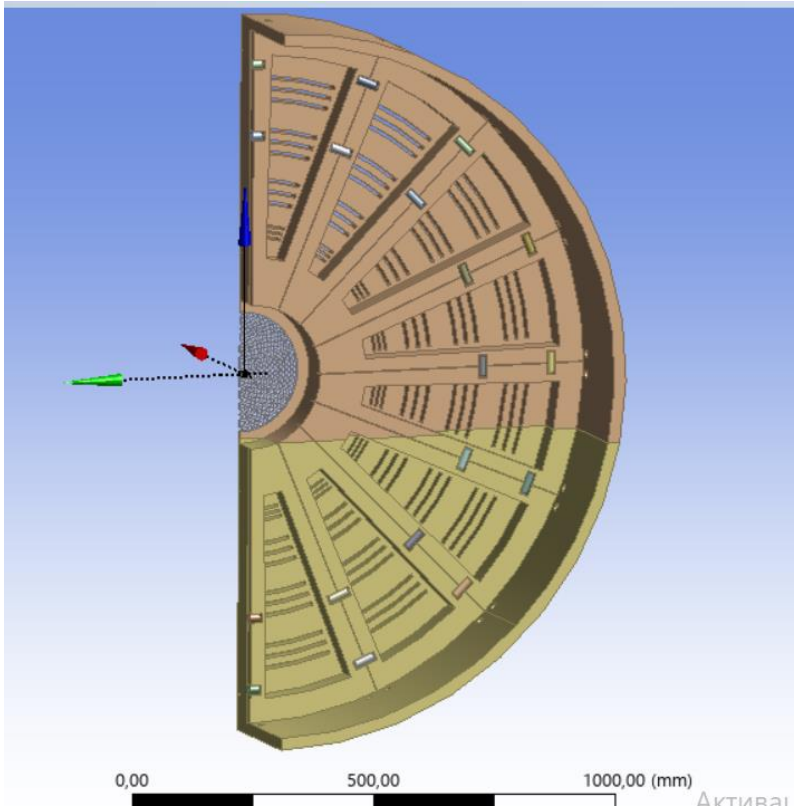


Рисунок 5.3.4 – Розріз деталі

Після цього йдемо в пункт «Model», далі в модуль «Mesh» (рис. 5.3.5) для встановлення сітки розміром 60 мм, яка є найоптимальнішою для даної моделі. Також виконуємо окрему побудову сітки в місці ситової частини розміром 10 мм.

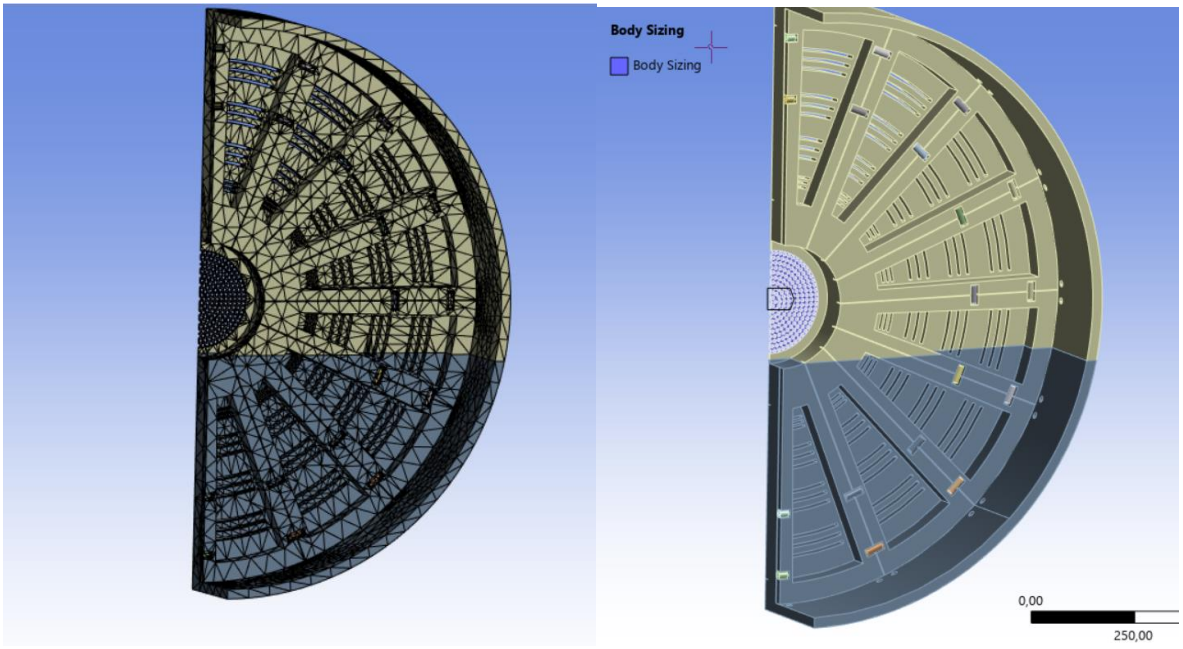


Рисунок 5.3.5 – Встановлення сітки

Переходимо до наступного модуля «Static Structural», задаємо закріплення та тиск (рис. 5.3.6).

Ділянка А – Прикладення тиску, значенням 0,951 МПа, виходячи з обрахунку:

Формула тиску P, що діє на ділянку

$$P = \frac{F_б F}{S} = \frac{0{,}3 \cdot 147000}{46340} = 0{,}951 \text{ МПа},$$

де – $F_б$, коефіцієнт бічного тиску для сипких матеріалів, $F_б$ = 0,3;

F – сила від власної ваги

$$F = m \cdot g = 15000 \cdot 9{,}8 = 147000 \text{ Н},$$

де – m, маса молотильних тіл та матеріалу, m = 15000 кг; g – прискорення вільного падіння, g = 9,8 м/с^2.

Ділянка В – жорстке закріплення.

Ділянка С – закріплення для «дзеркальності».

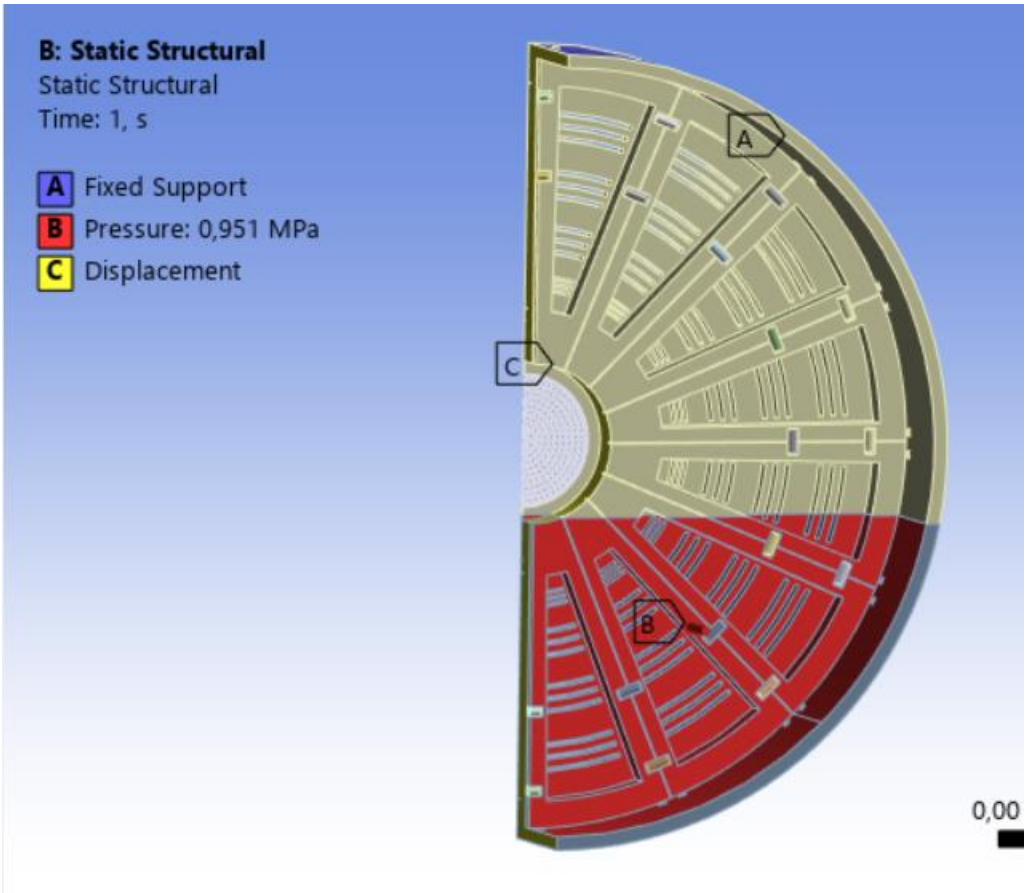


Рисунок 5.3.6 – Накладення закріплень та тиску

5.3.2 Результати числових розрахунків

Отримуємо загальні деформації (рис. 5.3.7)

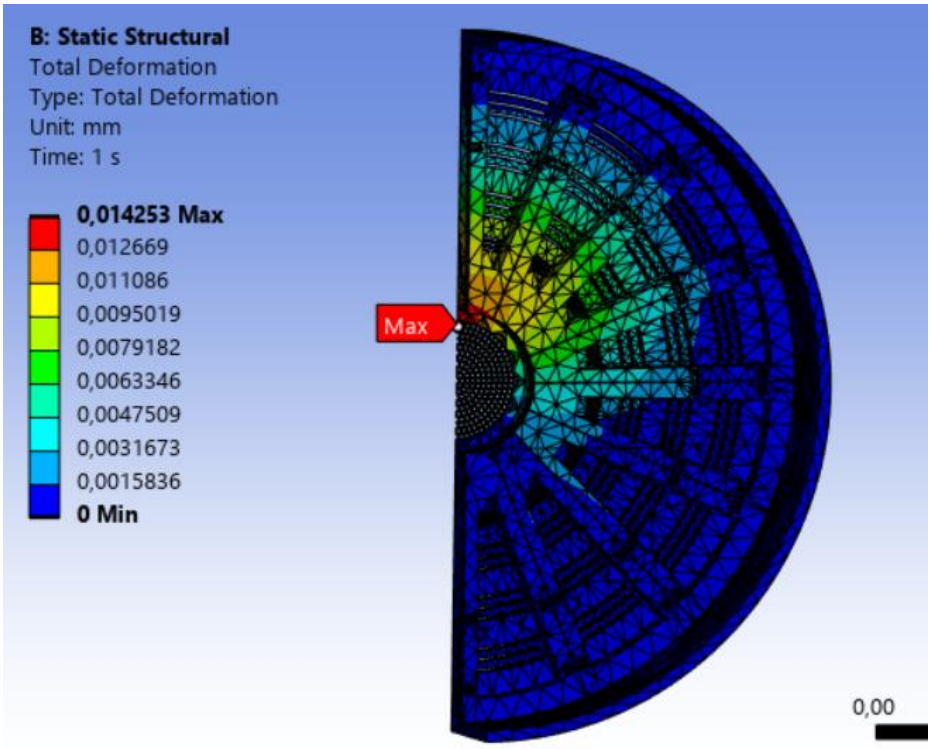


Рисунок 5.3.7 – Загальні деформації

Максимальні переміщеня отримані Δ_{max} = 0,014 мм, що говорить про те, що конструкція незначно деформується.

Отримуємо еквівалентні напруженя за Мізесом (рис. 5.3.8)

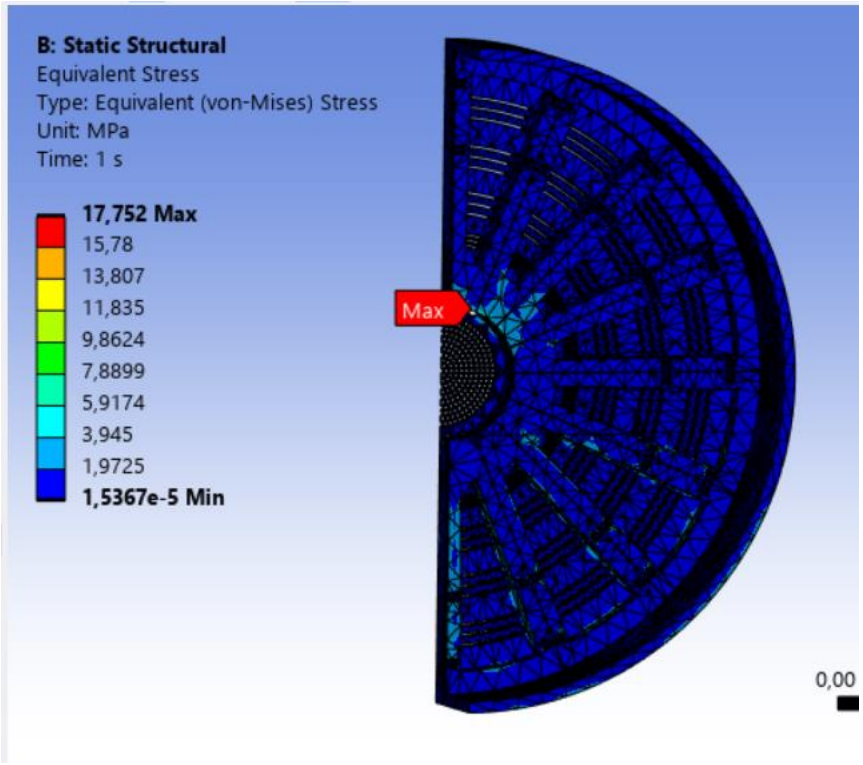


Рисунок 5.3.8 – Еквівалентні напруження конструкції

Максимальні еквівалентні напруження отримані $\sigma_{екв}$ = 17,75 МПа. Основним місцем де виникають концентратори напружень є ситова зона.

Отримуємо запас міцності конструкції (рис. 5.3.9)

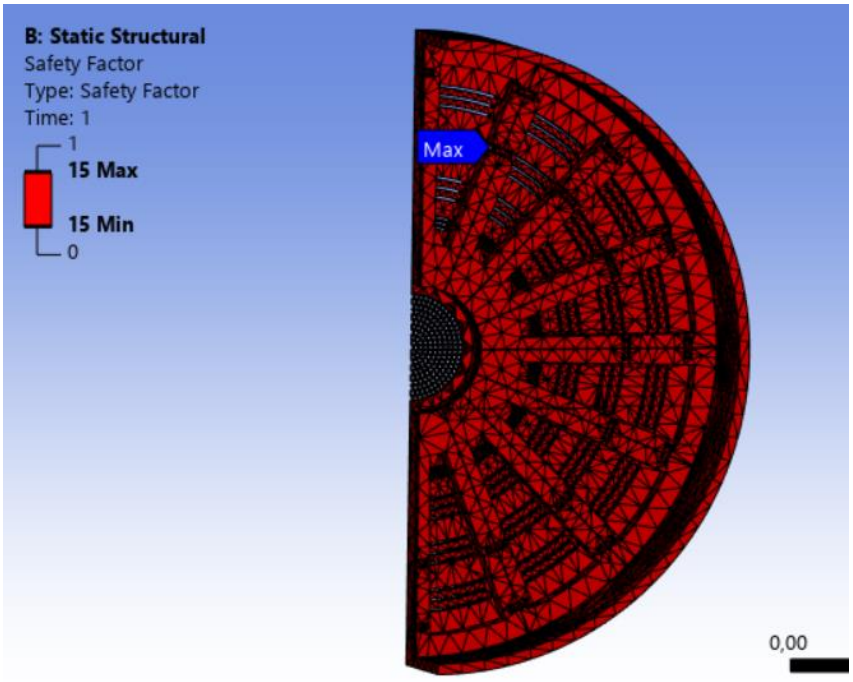


Рисунок 5.3.9 – Запас міцності конструкції

При цьому найбільші еквівалентні напруження за Мізесом $\sigma_{екв}$ = 17,75 МПа, а найбільші деформації Δ_{max} = 0,014 мм. Коефіцієнт запасу міцності конструкції

$$n = \frac{\sigma_t}{\sigma_{екв}} = \frac{295}{17,75} = 16,62,$$

виходить, що напруження конструкції значно менше допустимих і конструкція працездатна.

6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Аналіз шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища

При експлуатації двокамерного кульового млина у виробничому середовищі виникає низка небезпечних і шкідливих факторів, які можуть призвести до травмування персоналу або негативного впливу на здоров'я. До основних небезпечних факторів належать:

- рухомі частини обладнання, які можуть спричинити захоплення чи травмування при недотриманні техніки безпеки;
- електричний струм, який використовується для живлення приводу млина;
- високий рівень шуму, що перевищує допустимі норми, особливо поблизу барабанів;
- вібрація, яка впливає на операторів та може пошкоджувати конструкції;
- підвищене запилення повітря, зумовлене подрібненням матеріалів;
- ризик вибуху або займання пилоповітряної суміші, зокрема в умовах поганої вентиляції;
- термічні небезпеки, пов’язані з нагріванням елементів машини;
- психофізіологічні фактори, що пов’язані з монотонністю праці, шумовим стресом або вібраційним впливом.

Виявлення вищезазначених факторів дозволяє своєчасно застосувати відповідні інженерні й організаційні рішення з метою їх усунення або зменшення.

Стан повітряного середовища у зоні обслуговування обладнання

У робочій зоні млина основною проблемою є підвищений рівень запиленості, який утворюється при подачі, завантаженні та розвантаженні матеріалу, а також під час його подрібнення. Пил здатен проникати в дихальні шляхи працівників, викликаючи професійні захворювання (силікоз, бронхіт, алергії), а також накопичуватись на обладнанні, створюючи ризик короткого замикання або займання.

З метою нормалізації повітряного середовища застосовується:

- герметизація корпусу млина;

- місцеві витяжні вентиляційні системи;
- централізовані аспіраційні установки з фільтрами тонкого очищення;
- регулярне вологе прибирання приміщень;
- використання респіраторів персоналом, якщо концентрація пилу перевищує гранично допустимі норми (ГДК).

Рівень запиленості контролюється відповідно до вимог ДСТУ та санітарних норм, а у разі перевищення допустимих значень робота обладнання припиняється до усунення причин.

Захист персоналу від дії електричного струму

Двокамерний млин обладнаний електродвигуном потужністю до 160 кВт, що створює потенційно небезпечне електричне середовище. Основними загрозами є ураження струмом, коротке замикання, займання внаслідок перевантаження або порушення ізоляції.

Для забезпечення електробезпеки в проєкті передбачено:

- заземлення всіх металевих частин млина та корпусу електродвигуна;
- встановлення автоматичних вимикачів з тепловим і струмовим захистом;
- сигнальні лампи та блокування, які унеможливлюють запуск у разі відкритого люка або несправності системи;
- використання кабелів з подвійною ізоляцією, прокладених у металевих або полімерних лотках;
- періодичну перевірку опору ізоляції, цілісності заземлення та автоматичного вимкнення у разі аварії.

Електроустановки обслуговуються лише навченим персоналом з відповідною групою допуску з електробезпеки [13].

Безпечна експлуатація обладнання з рухомими елементами

У млині присутні рухомі та обертальні частини — барабани, вали, зчеплення, які під час роботи створюють високий ризик захоплення одягу, інструменту або частин тіла. Особливо небезпечними є моменти пуску, зупинки та обслуговування обладнання.

Для захисту працівників:

- встановлюються металеві кожухи та огородження над усіма небезпечними зонами;
- присутні блокувальні пристрої, що відключають обладнання при відкритті люків;
- обмежується доступ до небезпечних зон, особливо під час роботи млина;
- забороняється використання одягу з відкритими елементами, які можуть бути захоплені обертальними частинами;
- проводиться регулярний інструктаж з безпеки та навчання з імітацією аварійних ситуацій.

Виробничий шум

Відповідно до вимог [14], рівень шуму в робочих зонах не повинен перевищувати допустимі значення. Оскільки кульовий млин генерує шум 90–100 дБ, вжито заходів із шумоізоляції та персонального захисту для дотримання санітарно-гігієнічних норм.

Щоб знизити вплив шуму:

- застосовуються кожухи з шумопоглинальних матеріалів;
- млин розміщується у звукоізольованому приміщенні, із зачиненими дверима та ущільненими стінами;
- робочі зони оснащуються звукопоглинаючими панелями;

- персонал використовує індивідуальні засоби захисту слуху — протишумні навушники або вкладиші;
- організовується режим роботи з чергуванням у «тихій» зоні.

Вплив вібрацій та заходи його мінімізації

Робота барабанів створює механічні вібрації, які передаються на фундамент, навколишні конструкції, а також впливають на оператора (через пульт або сидіння). Тривалий вплив вібрацій спричиняє професійні захворювання — вібраційну хворобу, остеохондроз, розлади кровообігу. Згідно з вимогами [15] дія вібрацій має контролюватися як загальна, що передається через опорні поверхні, так і локальна, що впливає на кисті та руки оператора. Протягом тривалої експозиції вібрацій можливий розвиток професійної вібраційної хвороби, остеохондрозу та порушень кровообігу — тому в проєкті передбачені наступні заходи мінімізації

Щоб зменшити вібрацію:

- млин встановлюється на амортизуючих опорах або віброізольованому фундаменті;
- елементи зчеплення балансуються для зменшення дисбалансу;
- використовується дистанційне керування, щоб обмежити контакт персоналу з вібраційною зоною;
- проводиться періодичне вимірювання вібрацій та техобслуговування вузлів.

Освітлення у виробничих приміщеннях

Належне освітлення є важливим елементом безпечної праці, особливо під час обслуговування обладнання, візуального контролю роботи млина, змащування, очищення, монтажу тощо.

У приміщенні, де встановлений млин, передбачається:

- загальне рівномірне освітлення з освітленістю не менше 300 лк, відповідно до вимог [16];
- місцеве освітлення для технічного обслуговування млина, з вологозахищеними світильниками;
- використання світильників з захистом від пилу та вибухонебезпечного середовища, якщо є підвищене запилення;
- аварійне освітлення для евакуації персоналу у разі відключення електроенергії.

Запобігання пожежам у зоні експлуатації обладнання

У приміщенні, де розміщується кульовий млин, є джерела підвищеної пожежної небезпеки: пилові суміші, електрообладнання, мастильні матеріали. У разі займання наслідки можуть бути катастрофічними, тому особлива увага приділяється пожежній безпеці.

Заходи включають:

- установку автоматичної системи пожежної сигналізації;
- розміщення вогнегасників (вуглекислотних та порошкових) у доступних місцях;
- наявність плану евакуації та навчання персоналу правилам пожежогасіння;
- використання електрообладнання у вибухозахищеному виконанні, якщо концентрація пилу підвищена;
- щомісячна перевірка стану пожежного інвентарю, наявності проїздів, герметичності кабелів, герметизації мастильних систем.

Визначення категорії приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою є обов’язковою вимогою при проєктуванні, експлуатації та технічному обслуговуванні промислового обладнання. Від правильної класифікації залежить добір відповідних технічних і організаційних засобів

забезпечення пожежної безпеки: типи систем пожежогасіння, види вогнегасників, необхідність вибухозахищеного виконання електрообладнання, вентиляції, спеціальних будівельних конструкцій тощо.

Згідно з вимогами [17], усі виробничі приміщення, у яких здійснюється обробка матеріалів, використання енергії або зберігання речовин, що мають потенційну небезпеку займання чи вибуху, повинні бути класифіковані за відповідною категорією: А, Б, В, Г або Д — залежно від наявних джерел небезпеки.

У моєму випадку робоче приміщення, де встановлений кульовий двокамерний млин, класифікується як **приміщення категорії В (пожежонебезпечне)**. Така категорія присвоюється внаслідок наявності кількох чинників, які суттєво підвищують ризик виникнення пожежі. Зокрема, під час роботи млина в повітрі утворюються дрібнодисперсні пилові суміші, які здатні самозайматися при досягненні певної температури, або при контакті з розігрітими частинами обладнання. Крім того, у зоні експлуатації використовується мастильне господарство (оливи, консистентні змазки), а також потужні електродвигуни, які є джерелами іскроутворення та тепла. Це створює комбінацію горючих речовин, теплових джерел і кисню, що відповідає визначенню пожежонебезпечного середовища згідно з нормативами.

Вибір категорії В обумовлює необхідність реалізації комплексу протипожежних заходів. Зокрема, приміщення повинно бути обладнане автоматичною пожежною сигналізацією, а також вогнегасниками — вуглекислотними та порошковими — які ефективні проти загоряння електрообладнання та пилових сумішей. Електричні установки, що розташовані у зонах з можливим запиленням, мають бути виконані у вибухозахищеному варіанті. Також передбачається наявність плану евакуації, періодична перевірка стану протипожежного інвентарю, навчання персоналу

діям у разі займання та забезпечення герметичності систем, які можуть стати джерелами горючих випарів.

Таким чином, класифікація виробничого приміщення як об’єкта категорії В повністю відповідає реальним умовам експлуатації кульового млина і є необхідною для реалізації дієвих заходів пожежної безпеки відповідно до чинного законодавства.

7 ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

7.1 Технологія виробництва кришки підшипника

Призначення та опис

Кришка підшипника належить до класу деталей типу «диск» .Деталі цього класу –тіла обертання, що мають діаметр більший за ширину. Матеріал цієї кришки– СЧ20 (ГОСТ 1412-85)

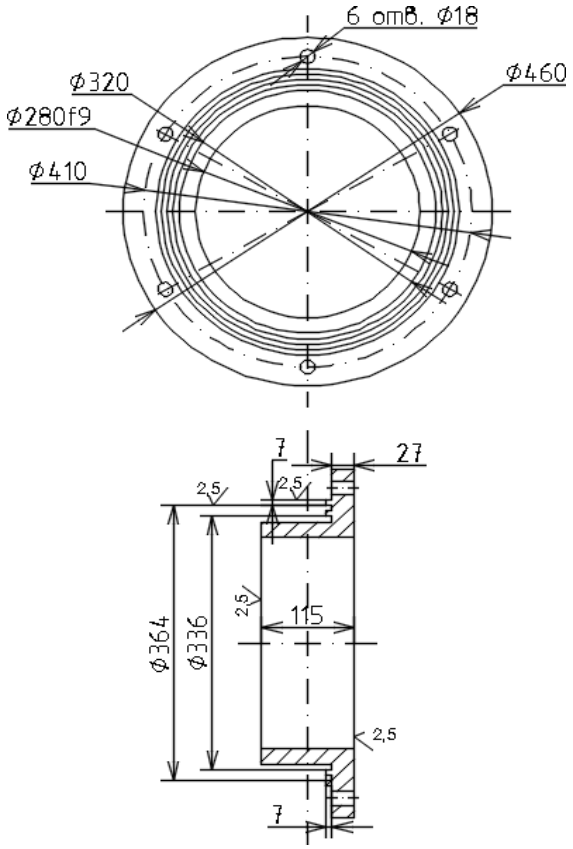


Рис. 7.1. Ескіз деталі «Кришка»

7.1.2. Вибір заготовки для виготовлення ковпачків підшипників

На основі вимог креслення та аналізу конструкції кришки встановлено, що найбільш раціональним способом отримання заготовки є лиття в піщані форми. Обрана технологія пояснюється простою геометрією деталі, що дає змогу легко витягувати модель із форми. Поглиблення під отвір Ø280f9 формують за допомогою штока.

Контури заготовки нанесено на ескізі тонкими лініями.

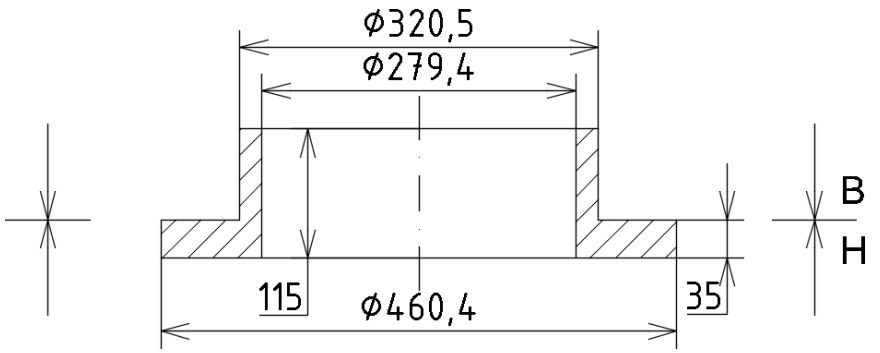


Рис. 7.2. Заготовка деталі «Кришка»

7.1.3 Маршрутні, операційні карти та карти ескізів

Для виконання операцій обробки заготовок (0 0 5, 0 10) застосовуємо токарний верстат з ЧПУ моделі 16К20 ФЗ. З метою забезпечення високої якості та продуктивності при виготовленні кришки на всіх етапах обробки використовуємо спеціальні пристрої зі швидким затиском заготовок.

Обробка здійснюється стандартним інструментом, при цьому ріжучі частини різців виготовлені з твердих сплавів Т15К6 і Т30К4.

Послідовність виготовлення кришки відображена у відповідних маршрутних, операційних картах та картах ескізів, які наведені нижче.

7.2 Вибір та розрахунок пристосування

7.2.1 Опис та принцип дії пристосування

Для надійного базування та закріплення деталей використовується спеціалізований трьохкулачковий клиновий патрон типу LP51-1.1113.001-60СК [6]. Основними елементами конструкції патрона є: корпус (1), кулачок (3), губка (4), фіксатор (2), муфта (5) та пружина (7).

У муфті 5 передбачено три пази, які розташовані під кутом 15° до осі патрона. В ці пази входять виступи кулачків 3, утворюючи клинову пару. Передаточне відношення клинового механізму становить 1:3,7, однак з урахуванням втрат на тертя реальний коефіцієнт передачі потужності наближається до 2. Кут нахилу клина вибрано рівним 15°, що забезпечує оптимальне затискне зусилля при ході 5 мм.

Збільшення цього кута зменшує коефіцієнт передачі, а зменшення — скорочує хід кулачка. Конструкція патрона передбачає зручну заміну кулачків завдяки наявності п’яти отворів для ключа. Після повороту муфти 5 під заданим кутом кулачок легко від’єднується. Від випадкового обертання муфта утримується пружинним фіксатором 2, розміщеним у корпусі 1.

Для підвищення зручності обслуговування також можлива швидка заміна або перестановка губок 4 відносно кулачків. Під час обробки на заготовку діє система сил: з одного боку — ріжучі зусилля, з іншого — сила затиску, що їх компенсує. На основі умов рівноваги моментів та з урахуванням коефіцієнта запасу було визначено необхідне початкове та робоче зусилля затиску.

7.2.2 Виконання розрахунку пристосування

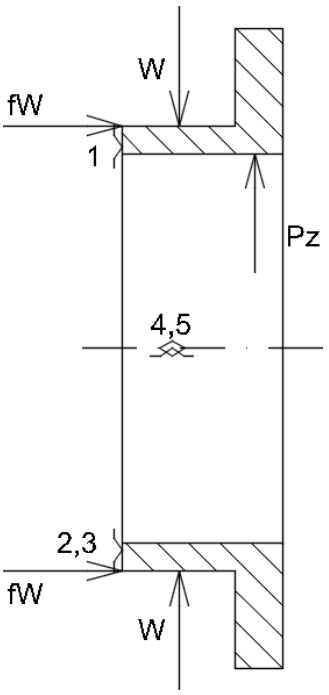


Рис.7.6 Схема сили дії при обробці

Під час механічної обробки на заготовку діють дві основні групи сил: одна — з боку ріжучого інструмента, інша — від притискного пристосування, яке утримує деталь. Щоб запобігти обертанню заготовки під впливом сили різання, необхідно забезпечити достатнє зусилля затиску. Це досягається за умови рівноваги моментів сили різання та сили притиску.

Крутний момент, який спричиняє поворот деталі у кулачках, обчислюється як:

$Mp = Pz \cdot r_1$ де:

- Pz — головна складова сили різання (в даному випадку 714 Н),
- r_1 — радіус оброблюваної частини заготовки.

Опір повороту створюється моментом сили затиску:

$Mз = W_{сум} \cdot f \cdot r$.

де:

- $W_{сум}$ — сумарна сила притиску з урахуванням кількості точок затиску (трикратна сила одного кулачка),
- f — коефіцієнт тертя між поверхнею деталі та кулачками (f = 0,4),
- r — радіус необробленої частини (r = 279,4 мм).

Із рівності моментів виводимо формулу для визначення необхідного зусилля затиску:

$$W_{сум} = \frac{K \cdot Pz \cdot r_1}{f \cdot r},$$

де K — коефіцієнт запасу, який враховує вплив низки факторів:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5,$$

Зокрема:

- $K_0 = 1,5$ — базовий запас міцності;
- $K_1 = 1,2$ — врахування шорсткості поверхні заготовки;
- $K_2 = 1$ — вплив затуплення інструмента;
- $K_3 = 1$ — корекція при переривчастому різанні;
- $K_4 = 1,3$ — сталість зусилля затиску;
- $K_5 = 1$ — наявність моментів, що спричиняють обертання деталі.

Остаточне значення коефіцієнта запасу визначено як:

$$K = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1, 4 \cdot 1 = 1,8.$$

Це значення враховує усі впливові фактори, включаючи стан поверхні деталі, характер різання, стабільність зусилля та інші.

Для подальших розрахунків приймаються такі значення:

- Радіус оброблюваної ділянки деталі: $r_1 = 280$ мм
- Радіус затиснутої (необробленої) частини: r = 279,4 мм
- Коефіцієнт тертя між поверхнею деталі та кулачками з рифленням: $f = 0,4$

З огляду на вищезазначені параметри, розраховане зусилля затиску гарантує, що заготовка буде надійно утримуватись під час обробки, без ризику зсуву або обертання.

7.3 Підбір і обґрунтування параметрів пристосування для виконання операції

7.3.1 Вибір технологічного пристосування, його конструктивні особливості та принцип функціонування

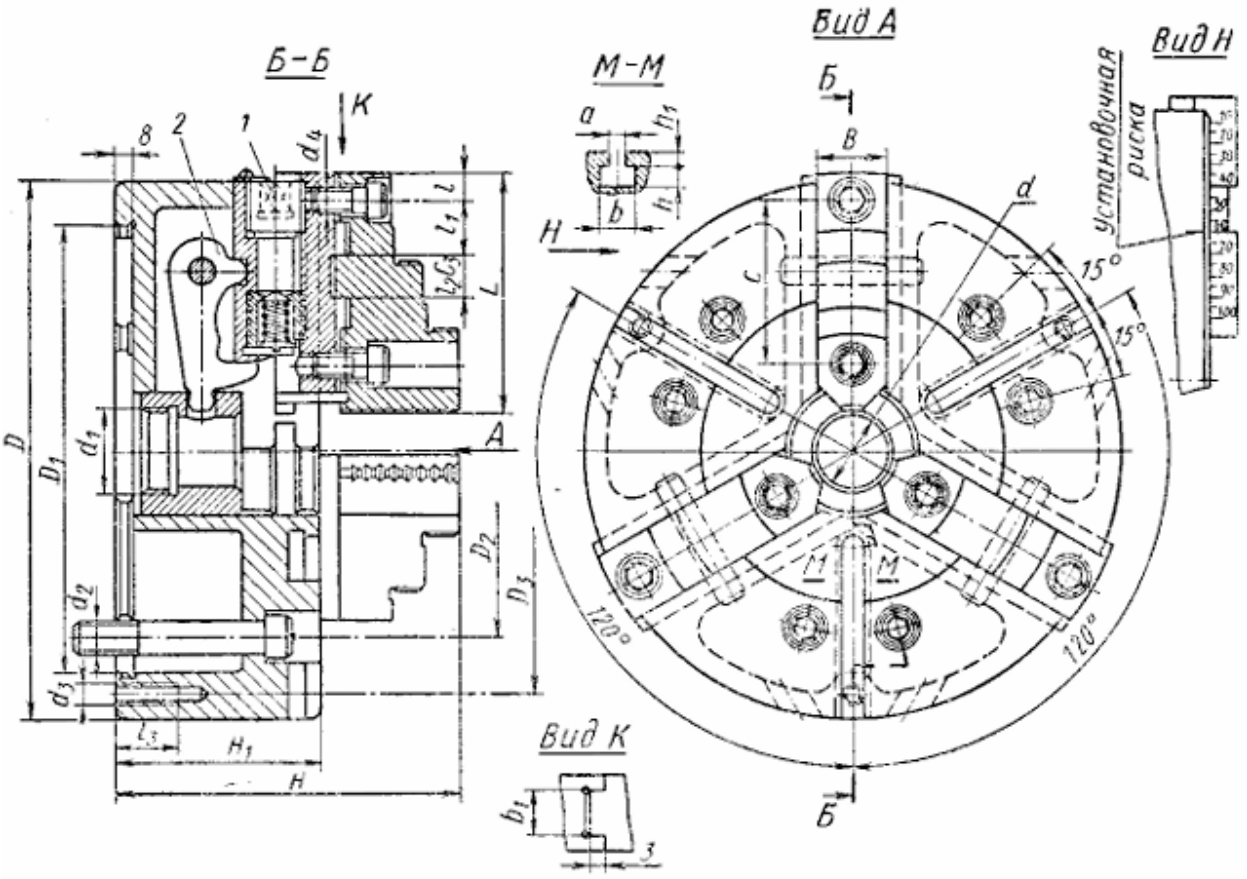


Рисунок 7.3.1 – Тристискувальний самоустановлювальний важільний патрон

Для базування і надійного закріплення деталей при механічній обробці на токарних верстатах обрано трьохкулачковий самоцентруючий важільний патрон. Такий тип патрона забезпечує надійне кріплення циліндричних заготовок з можливістю їх автоматичного центрування по осі обертання

шпинделя. Його конструкція дозволяє швидко встановлювати та знімати деталі без необхідності додаткового юстування чи вимірювання, що значно підвищує продуктивність у серійному та масовому виробництві.

Конструктивно патрон складається з корпусу, в якому рівномірно розміщені три радіальні напрямні для переміщення кулачків. Кожен кулачок з'єднаний з системою важелів, що у свою чергу взаємодіють з центральним приводним елементом — ексцентриковим або кулачковим механізмом. При обертанні приводу всі три кулачки одночасно переміщуються назустріч або в протилежному напрямку, залежно від напрямку обертання, забезпечуючи симетричне затискання деталі.

Самоцентруюча дія досягається за рахунок того, що усі три кулачки механічно зв’язані і пересуваються синхронно. Таким чином, незалежно від положення деталі, вона автоматично встановлюється по центру відносно осі шпинделя. Це особливо важливо для забезпечення співвісності при обробці, а також зменшує похибки під час переходів на різні технологічні операції.

Важільний привід патрона характеризується підвищеною жорсткістю та зносостійкістю, що є важливою перевагою в умовах тривалого використання або при обробці заготовок із складною геометрією. До того ж, він дозволяє створити більшу затискну силу при меншому зусиллі оператора або автоматичного механізму, що особливо ефективно при обробці важких або масивних деталей.

Застосування трьохкулачкового важільного патрона дозволяє виконувати широкий спектр токарних операцій: обробку зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь, торцювання, підрізання, нарізання різьби, розточування, а також свердління осьових отворів. За умови правильної установки і технічного обслуговування такий патрон гарантує високу точність, надійність і зручність в експлуатації.

Таким чином, вибір трьохкулачкового самоцентруючого важільного патрона для обраної технологічної операції є технічно обґрунтованим і сприяє підвищенню точності, зменшенню часу на встановлення деталі, а також покращенню загальної ефективності виробничого процесу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломного проєкту було досліджено конструкцію двокамерного кульового млина та розроблено пропозицію щодо модернізації міжкамерної перегородки з метою підвищення ефективності подрібнення матеріалу.

Проведено аналіз існуючих технічних рішень і виконано патентно-літературний огляд. На основі вивчених матеріалів для реалізації модернізації було обрано патент CN111111856B, який пропонує комірчасту конструкцію перегородки, що дозволяє більш ефективно розподіляти подрібнений матеріал між камерами. Така конструкція покращує процес сортування фракцій, знижує знос елементів і сприяє стабільній роботі обладнання.

Виконано параметричні, кінематичні та міцнісні розрахунки окремих елементів млина. Для перевірки працездатності модернізованої конструкції міжкамерної перегородки використано числове моделювання у програмному середовищі ANSYS. Отримані результати підтвердили доцільність запропонованих змін і показали зменшення напружень та підвищення надійності перегородки.

У технологічному розділі розглянуто процес виготовлення деталі перегородки, включаючи вибір обладнання, інструменту та необхідних пристосувань. Окрему увагу приділено питанням охорони праці та безпеки при експлуатації млина, а також заходам щодо зниження шкідливого впливу на довкілля.

Таким чином, у межах дипломного проєкту:

- проаналізовано існуючу конструкцію та виявлено її недоліки;
- обґрунтовано вибір сучасного технічного рішення для модернізації;

- проведено розрахунки, що підтвердили ефективність нової конструкції;
- розроблено технічну документацію на модернізований вузол;
- визначено шляхи підвищення продуктивності млина при збереженні надійності та довговічності роботи.

Запропоноване рішення може бути впроваджене в умовах діючих підприємств без повної заміни обладнання, що робить його доцільним як з технічної, так і з економічної точки зору.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 7809:2015. Сталь. Технічні умови. – [Чинний з 2015-01-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 22 с.

2. ГОСТ 5006–55. Муфты зубчатые общего назначения. – Введ. 1956-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1955. – 18 с.

3. ГОСТ 21354–87. Редукторы цилиндрические. Общие технические условия. – Введ. 1988-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 32 с.

4. ГОСТ 6636–69. Зубчатые колёса. Общие технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 1969. – 28 с.

5. Мельников Н.Ф. Технологическое оборудование предприятий строительных материалов. – М. : Высшая школа, 1983. – 376 с.

6. Ревин А.А. Механическое оборудование предприятий строительной индустрии. – М. : Стройиздат, 1987. – 302 с.

7. Васильченко Г.М. Конспект лекцій з дисципліни «Проєктування хімічного обладнання». – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 84 с.

8. Гайдай А.І., Шевчук С.П. Теорія механізмів і машин. – Київ : Либідь, 2004. – 420 с.

9. United States Patent US8066815B2. Processing chamber partition. – Publ. Date: Nov. 29, 2011. – URL: https://patents.google.com/patent/US8066815B2

10. United States Patent US2620987A. Partition structure for ball mill. – Publ. Date: Dec. 9, 1952. – URL: https://patents.google.com/patent/US2620987A

11. United States Patent US58991931A. Vertical ball mill with free balls. – Publ. Date: Mar. 2, 1999. – URL: https://patents.google.com/patent/US58991931A

12. China Patent CN111111856B. Improved intermediate partition in ball mill. – Publ. Date: Sept. 1, 2020. – URL: https://patents.google.com/patent/CN111111856B

13. НПАОП 40.1-1.32-01**.** Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів : наказ Міністерства праці та соціальної політики України від 09.01.1998 р. № 4. – Офіц. вид. – Київ : Міністерство праці та соціальної політики України, 2001. – 96 с.

14. ДСН 3.3.6.037-99**.** Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку : постанова Головного державного санітарного лікаря України № 37 від 01.12.1999. – Київ : МОЗ України, 1999. – 12 с.

15. ДСН 3.3.6.039-99**.** Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації : постанова Головного держ. санітарного лікаря України від 01.12.1999 № 39. – Київ : МОЗ України, 1999. – 15 с.

16. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення : будівельні норми й правила / затв. Наказом Мінрегіону України від 03.10.2018 № 264. – Київ : Мінрегіонбуд, 2018. – 56 с.

17. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою : національний стандарт України / затв. наказом Мінрегіону України від 15.06.2016 № 158. – Введено в дію з 01.01.2017. – Київ : Мінрегіонбуд, 2016. – 24 с.

18. Щербина В.Ю., Швачко Д.Г., Гур'єва Л.Н. Технологія виробництва матеріалів і виробів будівельного призначення [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2024. – 188с. URL: https://ela.kpi.ua/handle/123456789/66516

19. Щербина В.Ю., Гондлях О.В., Сівецький В.І. Іжиніринг інноваційних технологій та обладнання. Механічне обладнання для виробництва в'яжучих будівельних матеріалів [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2022. – 147 с. URL: https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45720

ДОДАТКИ

ГОСТ 3.1118-82 Форма 1

Дубл.															
Взамін.															
Підпис										Зм	Ар	№док.	Підпис	Дата	

Розробив	Репецький І.В.			КПІ імені Ігоря Сікорського		
Перевірив	Борщик С.О.					
				Кришка підшипника	Н	
Н. контр.						

М01	СЧ 20 ГОСТ 1412-85											
	Код	ОВ	МД	ОМ	Н.роз	КВМ	код.загот	Профіль і розміри	КД	МЗ		
М02		Кг	50	1					1			

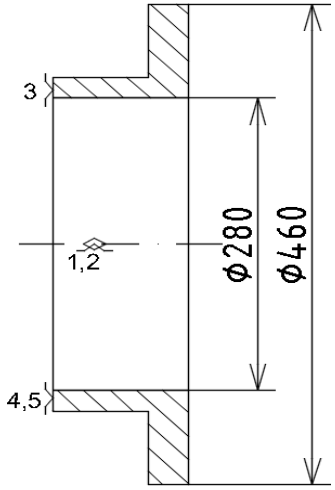
А	Цех	Уч	Рм	Опер	Код, найменування операції	Позначення документу											
Б	Код, найменування обладнання					См	Проф.	Р	Уп	Кр	Коод	Он	Оп	Кшт	Тп.з	Т.шт	
А01				005	3608 Токарна	60141.00001; 20141.00001; 10П№ХХ–ХХ											
Б02	38261.ХХХХ Токарний верстат з ЧПК 16К20Ф3						18632	3	10	1	1	1	50	1			
03																	
А04				010	3608 Токарна	60141.00002; 20141.00002; 10П№ХХ–ХХ											
Б05	38261.ХХХХ Токарний верстат з ЧПК 16К20Ф3						18632	3	10	1	1	1	50	1			
06																	
А07				015	4233 Свердлильна	60141.00003; 20141.00003; 10П№ХХ–ХХ											
Б08	38261.ХХХХ Вертикально-свердлильний верстат 2Н125						18632	3	10	1	1	1	50	1			
09																	
А10																	
Б11																	
12																	
А13																	
Б14																	
МК	Обробка різанням																

ГОСТ 3.1404-86 Форма 2

							Зм	Ар	№док.	Підпис	Дата

Дубл.			
Взамін.			
Підпис			

Розробив	Репецький І.В.			КПІ імені Ігоря Сікорського		
Перевірив	Борщик С.О.					
				КРИШКА ПІДШИПНИКА	Н	005
Н. контр.						



Назва операції				Матеріал	
Токарна				СЧ 20 ГОСТ 1412-85	
Твердість	ОВ	МД	Профіль і розміри	МЗ	Коод
	кг	50			

Обладнання, пристрій ЧПК				Позначення програми
Токарний верстат з ЧПУ 16К20ФЗ				
То	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР
				Емульсія

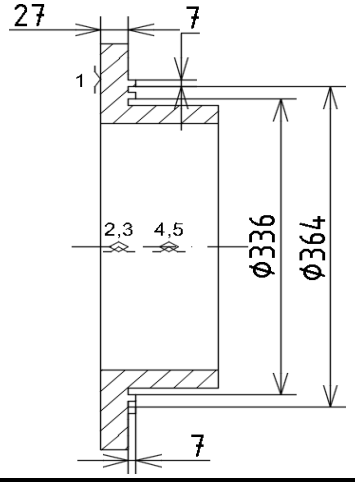
Р		ПН	Dабо В	L	t	i	s	n	v
Р01	1. Точити Ø 460 начорно, начисто;								
Т02	2. Точити Ø 280 начорно, начисто;								
03	3. Підрізати торець								
О04									
Т05									
ОК	Обробка різанням								

ГОСТ 3.1404-86 Форма 2

					Зм	Ар	№док.	Підпис	Дата	

Дубл.						
Взамін.						
Підпис						

Розробив	Репецький І.В.			КПІ імені Ігоря Сікорського		
Перевірив	Борщик С.О.					
				КРИШКА ПІДШИПНИКА	Н	010
Н. контр.						



Назва операції	Матеріал					
Токарна	СЧ 20 ГОСТ 1412-85					
Твердість	ОВ	МД	Профіль і розміри		МЗ	Коод
	кг	50				
Обладнання, пристрій ЧПК	Позначення програми					
Токарний верстат з ЧПУ 16К20ФЗ						
То	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР		
				Емульсія		

Р		ПН	Dабо В	L	t	i	s	n	v
Р01	1. Точити Ø 336 начорно, начисто;								
Т02	2. Підрізати торець;								
03	3. Точити пази шириною 7мм начорно, начисто.								
О04									
Т05									
Т06									
Р07									
08									
ОК	Обробка різанням								

ГОСТ 3.1404-86 Форма 2

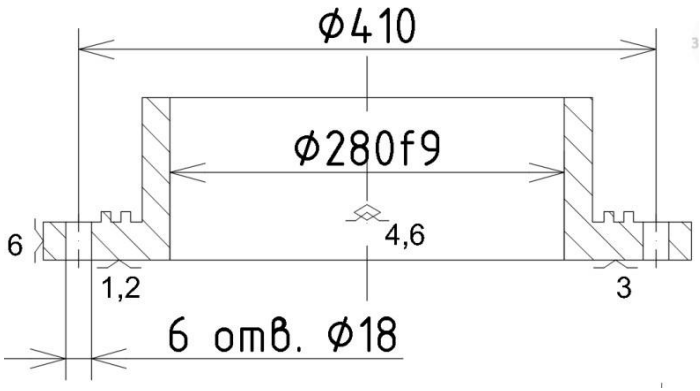
Дубл.			
Взамін.			
Підпис			

						Зм	Ар	№док.	Підпис	Дата

Розробив	Репецький І.В.		
Перевірив	Борщик С.О.		
Н. контр.			

КПІ імені Ігоря Сікорського

КРИШКА ПІДШИПНИКА | Н | | 010



Назва операції	Матеріал
Свердлильна	СЧ 20 ГОСТ 1412-85

Твердість	ОВ	МД	Профіль і розміри	МЗ	Коод
	кг	50			

Обладнання, пристрій ЧПК	Позначення програми
Вертикально-свердлильний верстат 2Н125	

То	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР
				Емульсія

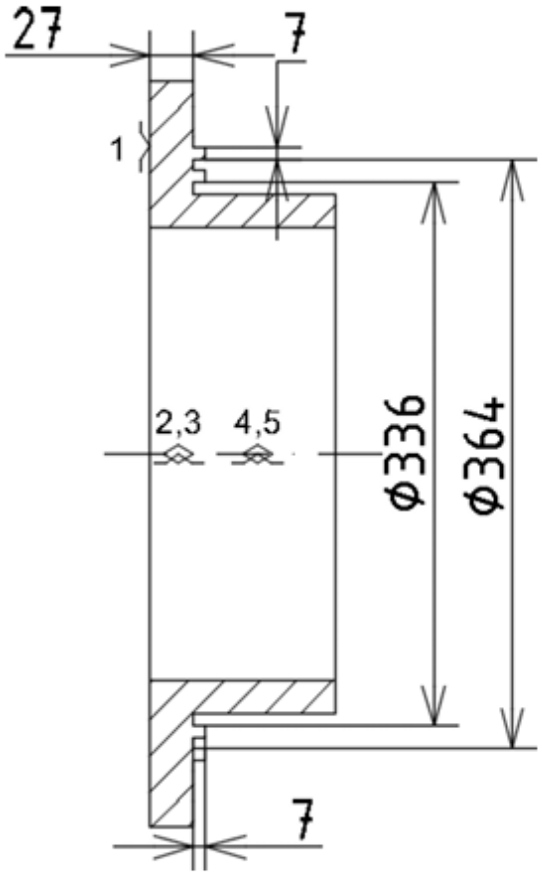
Р		ПН	Dабо В	L	t	i	s	n	v
Р01	1. Свердлити 6 отв. Ø18								
Т02									
03									
О04									
Т05									
Т06									
Р07									
08									

ОК	Обробка різанням

ГОСТ 3.1105-84 Форма 7

Дубл.										
Взамін.										
Підпис										
					Зм	Ар	№док.	Підпис	Дата	

Розробив	Репецький І.В.			КПІ імені Ігоря Сікорського		010
Перевірив	Борщик С.О.					
				КРИШКА ПІДШИПНИКА	Н	
Н. контр.						



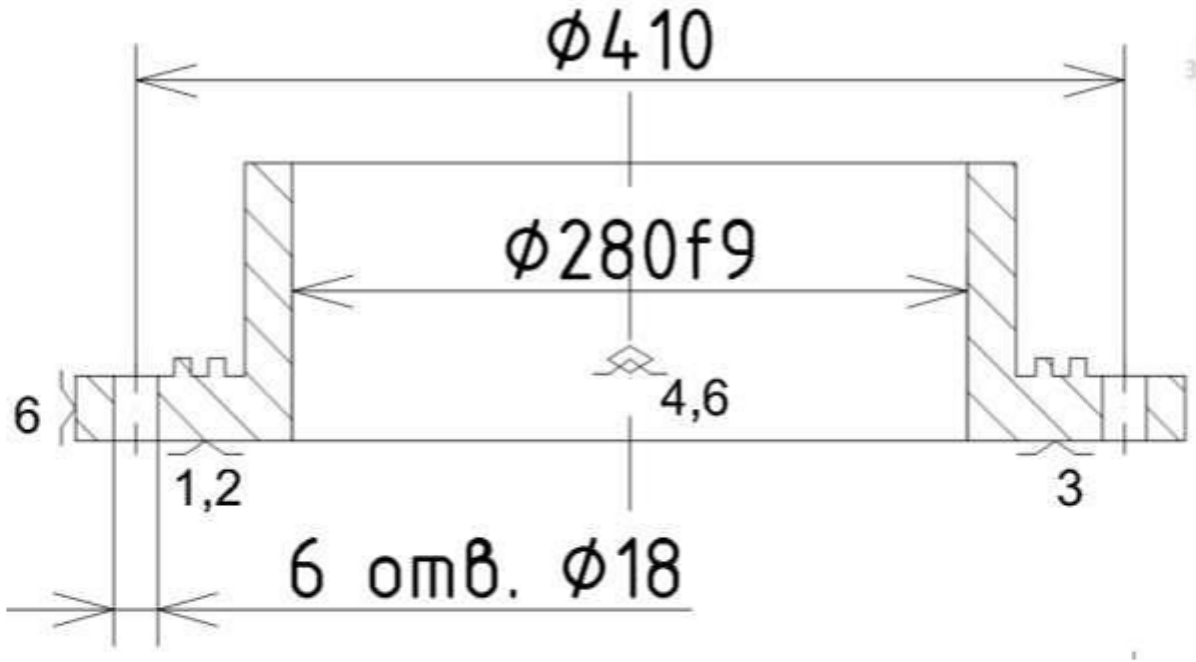
КЕ	Обробка різанням

ГОСТ 3.1105-84 Форма 7

					Зм	Ар	№док.	Підпис	Дата

Дубл.							
Взамін.							
Підпис							

Розробив	Репецький І.В.			КПІ імені Ігоря Сікорського		015	
Перевірив	Борщик С.О.						
				КРИШКА ПІДШИПНИКА		Н	
Н. контр.							

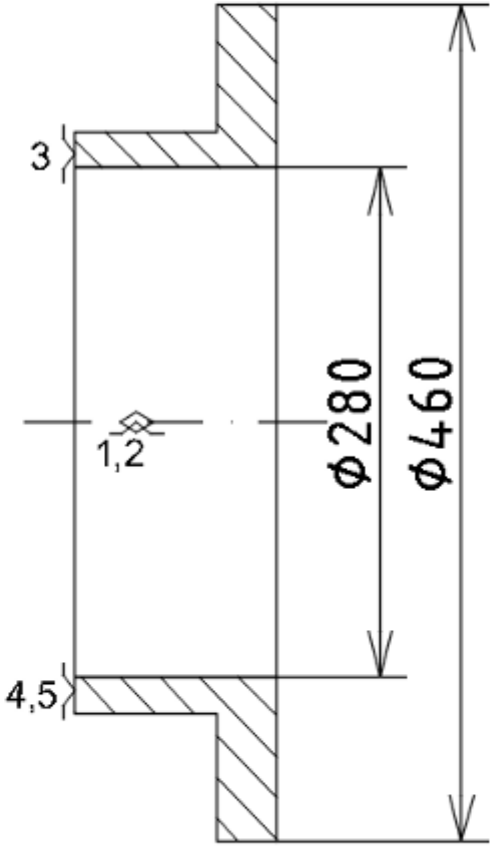


КЕ	Обробка різанням

ГОСТ 3.1105-84 Форма 7

Дубл.									
Взамін.									
Підпис									
				Зм	Ар	№док.	Підпис	Дата	

Розробив	Р о й к о Р . В .			НТУУ "КПІ", ІХФ		005
Перевірив	Борщик С.О.					
				КРИШКА ПІДШИПНИКА	Н	
Н. контр.						



КЕ	Обробка різанням

Додаток Б
Лістинг програм розрахунку на ЕОМ

```
#include <iostream>
#include <cmath>
#include <iomanip>
#define M_PI 3.14159265358979323846 //

using namespace std;

int main() {
    // Initial parameters
    const double drumDiameterInitial = 1.5;
    const double drumLength = 5.4;
    const double materialFlowRate = 0.035;
    const double grindingCoefficient = 1.0;
    const double fillFactor = 0.34;
    const double bulkDensityCoefficient = 0.55;
    const double steelDensity = 7.8;     // g/cm³ or t/m³
    const double gravity = 9.81;         // m/s²
    const double efficiency = 0.92;

    // Calculations
    double chamberVolume = M_PI * pow(drumDiameterInitial, 2) * drumLength / 4.0;
    double grindingMediaMass = fillFactor * bulkDensityCoefficient * steelDensity * chamberVolume;
    double millCapacity = 6.45 * chamberVolume * sqrt(drumDiameterInitial) *
pow(grindingMediaMass / chamberVolume, 0.8) * materialFlowRate * grindingCoefficient;

    const double drumDiameter = 2.2;
    const double materialMass = 4797.1; // kg
    double motorPower = (0.45 * M_PI * gravity * drumDiameter * materialMass) / (efficiency *
1000); // kW

    // Output
    cout << fixed << setprecision(3);
    cout << "1. Chamber volume (D = " << drumDiameterInitial << " m): " << chamberVolume << "
m^3" << endl;
    cout << "2. Mass of grinding media: " << grindingMediaMass << " t" << endl;
    cout << "3. Mill capacity: " << millCapacity << " t/h" << endl;
    cout << "4. Motor power (D = " << drumDiameter << " m, material mass = " << materialMass << "
kg): " << motorPower << " kW" << endl;

    return 0;
}
```

Додаток В
Таблиця розглянутих патентів

№ з/п	Предмет пошуку (назва патенту)	Країна видачі, вид і номер документу (патенту)	Сутність заявленого технологічного рішення
1	Конструкція обробної камери з двома обробними станціями	США, US8066815B2	Перегородка між камерами з можливістю знімання і встановлення, оснащена заслінкою для регулювання потоку повітря. Покращує рівномірність процесу обробки матеріалу.
2	Конструкція трубного млина з перегородкою	США, US2620987A	Перегородка з численними отворами для проходу матеріалу і повітря. Забезпечує ефективне переміщення матеріалу між камерами для покращення процесу подрібнення.
3	Вертикальний млин з вільно рухомими кулями	США, US58991931A	Використання вільно рухомих металевих куль для подрібнення з мінімізацією зносу футерівки, покращення циркуляції матеріалу і зниження енергоспоживання.
4	Вдосконалена міжкамерна перегородка двокамерного кульового млина	Китай, CN111111856B	Сітчаста перегородка для точного регулювання проходження матеріалу між камерами. Направляючі елементи забезпечують правильний рух матеріалу, зменшують зношування та покращують продуктивність.

Додаток Г
Особисті досягнення

XXI Всеукраїнська конференція «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки»

Обґрунтування використання модернізації вузла

Васильченко Г.М., к.т.н., доц., Репецький І. В., студ., Ходжаян С.К., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоноване дослідження було зосереджено на визначенні критичних характеристик установки, які необхідно зберегти: енергоспоживання, масогабаритні показники, термін служби та функціональна універсальність. Це дало змогу уникнути ситуації, коли зміни в одному вузлі негативно вплинуть на загальну роботу системи.

Ключові слова: *барабанний млин , модернізація, надійність.*

Вступ. Барабанний млин є широко використовуваним типом обладнання [1], тому контроль надійності для такого обладнання є важливою складовою проектування та модернізації.

Контроль надійності технологічних об'єктів є важливою складовою проектування та модернізації сучасного обладнання. Під надійністю зазвичай розуміють працездатність – здатність об'єкта виконувати задані функції протягом визначеного часу, зберігаючи параметри в межах, установлених нормативно-технічною документацією. Цей критерій набуває особливої ваги у випадках, коли йдеться про модернізацію окремих вузлів промислових установок, зокрема таких, як барабанні млини.

Барабанний млин є широко використовуваним типом обладнання [1], який застосовується для подрібнення матеріалів у різних галузях – від цементної та керамічної до харчової промисловості. Діаметр млина може коливатися в значних межах – від одного до п'яти метрів, що зумовлює різні підходи до оцінки його технічного стану. За умов високих механічних навантажень та абразивної дії подрібнюваного матеріалу питання зносу окремих вузлів стає центральним при ухваленні рішень щодо їх удосконалення.

У практиці аналізу технічного стану механізмів прийнято виділяти два типи зносу: природний, який накопичується поступово внаслідок дії сил тертя, температури та інших експлуатаційних факторів за умов дотримання регламентів обслуговування; та аварійний – знос, що виникає раптово внаслідок дефектів виготовлення або порушень умов експлуатації. Розмежування цих двох типів зносу дозволяє точніше оцінити причини погіршення роботи обладнання та запропонувати обґрунтовані шляхи удосконалення.

У сучасних підходах до діагностики стану обладнання дедалі частіше застосовуються імовірнісні методи оцінки зносу, а отже і надійності [2]. Методи цього класу передбачають використання математичних моделей, які. дозволяють прогнозувати ймовірність безвідмовної роботи об'єкта в заданому часовому інтервалі, визначати середній ресурс, інтенсивність відмов та інші ключові показники. Такий підхід дає змогу не лише фіксувати наявні проблеми, а й передбачати їх появу в майбутньому, що особливо важливо при оцінці доцільності модернізації.

Загальний принцип, якого слід дотримуватися під час модернізації будь-якого вузла установки, полягає в тому, що жодне нововведення не повинно погіршувати критично важливі експлуатаційні показники – енергоспоживання, масу, термін служби, універсальність застосування. Лише за такої умови модернізація буде не лише технічно ефективною, а й обґрунтованою з точки зору виробничої доцільності.

Висновки. Модернізація буде технічно ефективною якщо дотримуватись узгодження нововведень з існуючими стандартами та умовами експлуатації.

Перелік посилань

1. Мала гірнича енциклопедія: у 3т. / За ред. В. С. Білецького – Д. Донбас, 2007 – т.2. Л – Р – 670 с. – ISBN 57740 – 0828 – 2.
2. Надійність технологічних систем. Посібник-практикум / Н.І. Болтянська. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. 162 с.