

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

«_____» _____ 2024 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: Кульовий млин з модернізацією барабану

Студент IV к, групи ЛП-02 Криворучко Артем Артемович _____

(шифр групи)

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник проекту:

_____ к.т.н. доцент Сідоров Д.Е.

(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 2024 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

«_____» 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Криворучко Артем Артемович

1. Тема проекту «Кульовий млин з модернізацією барабану», керівник проекту Сідоров Д.Е., к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «_____» 2024 р. № _____

2. Термін подання студентом проекту ____ .06.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту

Млин 13,5х4м, продуктивність 100т/год, довжина барабана 13500мм, діаметр барабана 4000мм, температура всередині барабана 200*С, потужність двигуна 3200кВт, частота обертання 500об/хв

4. Зміст пояснювальної записки

Вступ, Призначення, галузь застосування кульового млину, Технічна характеристика базової машини, Опис базової конструкції, її основних частин та принципу дії, Літературно-патентний огляд варіантів модернізації кульового млина, Розрахунковий розділ, Охорона праці, Технологія машинобудування, Загальні висновки, Перелік посилань, Додатки

5. Перелік графічного матеріалу

Креслення загального виду машини, креслення немодернізованого вузла, креслення модернізованого вузла, креслення немодернізованої деталі,

креслення модернізованої деталі, плакат технологічного процесу з використанням кульового млина, плакат розрахунків у ANSYS

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
МОДЕРНІЗАЦІЇ	доцент Сідоров Д.Е.		
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

Студент

Артем Криворучко

Керівник проекту

Дмитро Сідоров

ЗМІСТ

Вступ

1 Призначення, галузь застосування кульового млину

1.1 Опис технологічного процесу в трубному млині

2 Технічна характеристика базової машини

3 Опис базової конструкції, її основних частин та принципу дії

4 Літературно-патентний огляд варіантів модернізації кульового млина

4.1 Обґрунтування напрямку модернізації

5 Розрахунковий розділ

5.1 Параметричний розрахунок

5.1.1 Розрахунок числа обертів млина

5.1.2 Розрахунок критичної й оптимальної кутової швидкості

барабана

5.1.3 Визначення оптимального завантаження барабана

5.1.4 Розрахунок потужності двигуна

5.1.5 Розрахунок продуктивності

					ЛП02.100926.01- 70ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Криворучко А.А.					
Перевір.							
Керівник		Сідоров Д.Е.					
Н. Контр.							
Затв.							
					Кульовий млин з модернізацією барабана		
					Літ.	Аркцш	Аркцшів
						4	53
					ІХФ, НТУУ «КПІ»		

5.2 Розрахунок на міцність

5.2.1 Розрахунок основних деталей барабанних млинів

5.2.2 Розрахунок корінних підшипників

5.2.3 Розрахунок на міцність цапфи млина

5.2.4 Розрахунки, які підтверджують працездатність машини

5.3 Розрахунки модернізації

6 Охорона праці

7 Технологія машинобудування

8 Загальні висновки

Перелік посилань

Додатки

ВСТУП

Основною тенденцією розвитку сучасного виробництва є підвищення його ефективності як шляхом удосконалення систем управління, так і завдяки покращенню виробничих процесів на основі дослідно-конструкторських розробок.

Одним із найпростіших способів підвищення ефективності виробництва є збільшення його обсягів. Однак, в умовах війни в нашій країні, не тільки нарощування може мати ряд проблем, а й збереження вже існуючих обсягів у зв'язку з регулярними обстрілами. Основна маса цементних заводів працює за мокрим методом виробництва цементу. Ситуація ускладнюється тим, що на заводах використовується велика кількість обладнання з низьким рівнем ефективності. До такого обладнання належать трубні кульові млини, що використовуються для помелу та усереднення шламу на стадії підготовки сировини та на кінцевій стадії – помелу цементного клінкера.

Трубні кульові млини прості у конструкції та експлуатації, добре зарекомендували себе як надійне та продуктивне обладнання. Проте процес помелу має бути достатньо ефективним, щоб енергетичні витрати окупилися. Таким чином, завдання підвищення ефективності кульових млинів є надзвичайно актуальним.

Дослідження, проведені в останні роки в цій галузі, пропонують низку рішень проблеми невисокої продуктивності.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ, ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ КУЛЬОВОГО МЛИНУ

Одним із видів подрібнення матеріалу є помел, коли вихідний розмір часток матеріалу може дорівнювати десятим міліметру.

Однією з найбільш розповсюджених в сучасному виробництві машин для помелу цементу, скла, гіпсу і вапна є трубні млини різної конструкції та принципу дії.

Конструкція, та принцип дії трубних кульових млинів визначається галуззю застосування, фізико-хімічними властивостями матеріалу що подрібнюється, періодичністю роботи.

1.1 Опис технологічного процесу в трубному млині.

Трубні млини широко використовуються для грубого та тонкого помолу матеріалів у виробництві цементу, кераміки та скла. Принцип їх роботи полягає в подрібненні матеріалу ударами і частково стиранням мелючих тіл у обертовому барабані. Ці млини призначені для тонкого подрібнення різних матеріалів і застосовуються в будівельній промисловості при виготовленні цементу, вапнякового борошна, а також у енергетичній промисловості для помолу вугілля, у гірничорудній і хімічній промисловостях.

Млини такого типу працюють на принципі повільного подрібнення матеріалу в барабані, який вистелений спеціальною футеровкою і наповнений мелючими тілами - кульками або стрижнями. При обертанні барабана з певною швидкістю мелючі тіла піднімаються разом з ним, а потім падають, завдаючи удари по матеріалу. Це забезпечує подрібнення матеріалу як ударами, так і стиранням.

Підвищення часу перебування матеріалу у млині дозволяє досягти високого ступеня подрібнення, але при цьому значно зростають енергетичні витрати. Наприклад, для помолу апатитової і фосфоритної руди витрати енергії

складають близько 15 кВт*год/т, а для міцніших матеріалів ці витрати можуть бути в 5-10 разів більшими.

Млин складається з циліндричного барабана, що встановлений на підшипниках і приводиться в рух двигуном через редуктор. Завантаження матеріалу здійснюється через завантажувальну воронку, а вивантаження - через розвантажувальну. Матеріал подається в завантажувальну цапфу, звідти через живильник і шнек надходить у першу камеру барабана. Після подрібнення матеріал просіюється через отвори у міжкамерній перегородці та надходить у збірник, звідки подається в сепаратори.

Сепаратори виділяють крупні частки, які повертаються у другу секцію млина. Подрібнений матеріал з другої секції через отвори в торцевій решітці подається у розвантажувальний патрубок. В процесі просіювання крізь сито відділяються роздроблені частки мелючих тіл. Готовий продукт проходить крізь сито і спрямовується транспортером на склад.

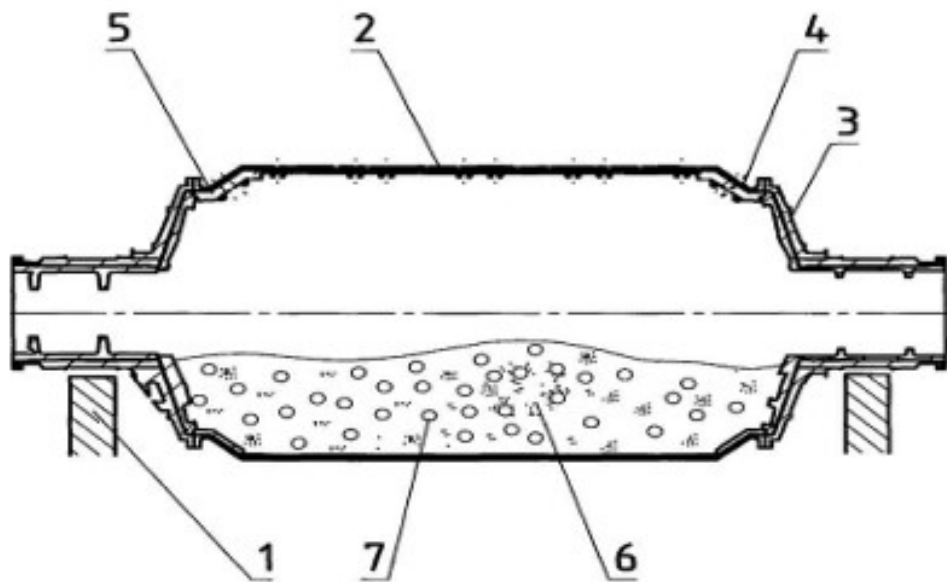


Рис 1.1 – Технологічна лінія з використанням кульового млину (1 – підшипникові опори; 2 – футерований корпус; 3 – торцеві кришки; 4 – конічні ділянки; 5 – плити футерівки; 6 – подрібнюваний матеріал; 7 – мелючі тіла)

2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАЗОВОЇ МАШИНИ

Продуктивність млина	100 т/год
Діаметр барабана	4 м
Довжина барабана	13,5 м
Частота обертання млина:	
від головного двигуна	16,2 об/хв
від допоміжного	0,2 об/хв
Момент, що крутить на осі млина (розрахунковий):	
від головного двигуна	1842 кН·м
від допоміжного	2030 кН·м
Електродвигун:	
тип	СДН-20-49-48
потужність	3200 кВт
частота обертання	500 об/хв
момент що крутить	61425 Нм
Електродвигун допоміжний:	
потужність	55 кВт
частота обертання	500 об/хв
момент що крутить	534 Нм
Передатне відношення:	
головного редуктора	30,856
допоміжного редуктора	159,42
Сумарне передатне відношення:	
головного редуктора	33,474
допоміжного редуктора	5336,48
Коефіцієнт корисної дії:	
головного редуктора	0,95
допоміжного редуктора	0,91
Сумарний момент, що крутить, на осі млина ел. дв.:	
головного привода	1953,3 кНм
допоміжного привода	2588,9 кНм

3 ОПИС БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ, ЇЇ ОСНОВНИХ ЧАСТИН ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ

В барабанних млинах матеріал подрібнюється усередині порожнього обертового барабана, у який поміщуються мелючі тіла (куль, стрижні). При обертанні барабана мелючі тіла і матеріал (надалі «завантаження») спочатку рухаються по круговій траєкторії (лівий нижній квадрант на рис. 3.1), а потім, відриваючись від стінки, падають по параболі. Помел матеріалу здійснюється в результаті стирання при відносному переміщенні куль і часток матеріалу, а також в результаті удару куль по матеріалу при падінні з висоти.

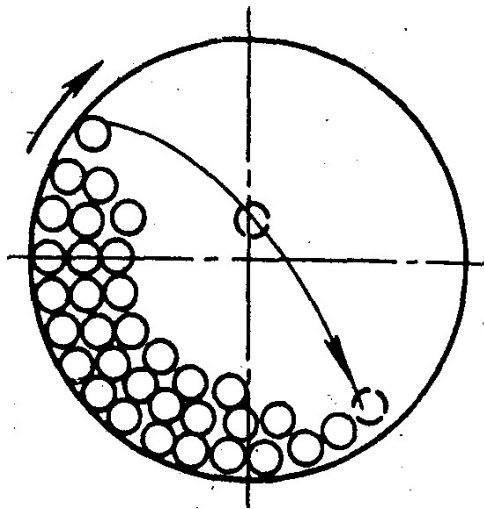


Рис. 3.1 – Схема подрібнення матеріалу в барабанних млинах

Барабанні млини класифікують:

- по режиму роботи - періодичного (рис. 3.2, а) і безперервного (рис. 3.2, б-д) дії;
- по способу помелу - сухого й мокрого помелу;
- по способу завантаження й розвантаження матеріалів – із завантаженням і розвантаженням через люк (рис. 3.2, а), із завантаженням і розвантаженням через пустотілі цапфи (рис. 3.2, б, д), із завантаженням через цапфу й розвантаженням крізь стінки барабана (рис. 3.2, в).

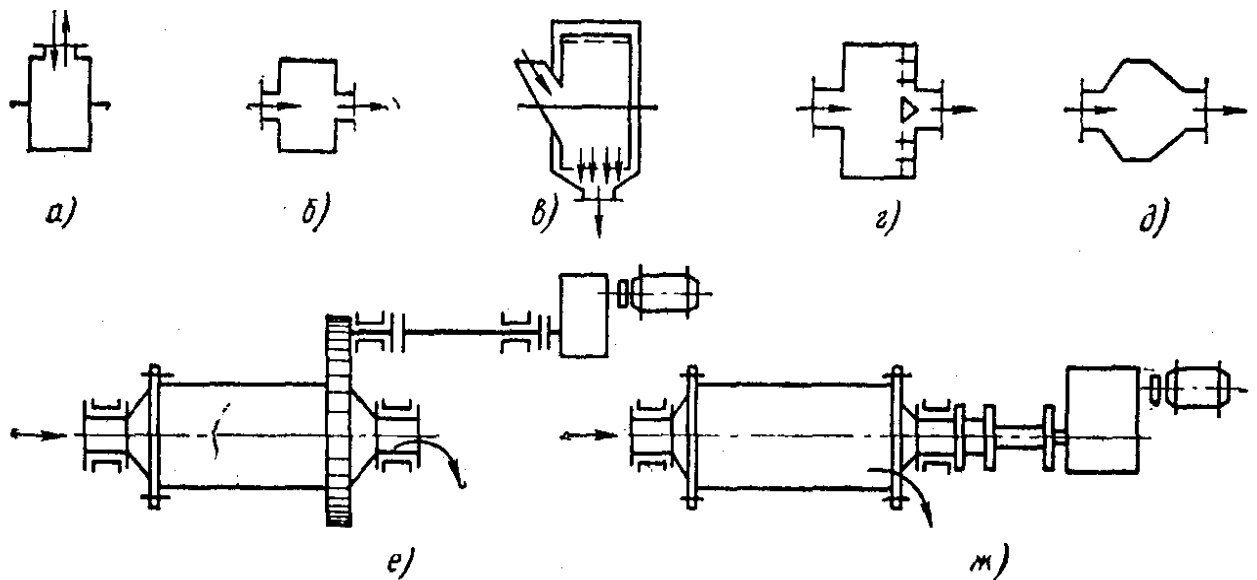


Рис. 3.2 - Основні схеми барабанних млинів

Барабан млина приводиться в обертання через зубчастий вінець (рис. 3.2, е) або через центральну цапфу (рис. 3.2, ж).

Барабанні млини можуть працювати у відкритому або замкнутому циклі. В останньому випадку виведений із млина матеріал, піддається сортуванню (сепарації) і великі частки (негабарит) вертаються в млин на домелення. При такій схемі роботи матеріал, здрібнений до необхідного розміру часток, безупинно видаляється з млина, що підвищує ефективність її роботи.

Млини періодичної дії застосовують для помолу матеріалів, що важко подрібнюється (у керамічній, інструментальній і іншій промисловості).

Продуктивність млинів визначається їхнім обсягом і тривалістю помолу, що залежать від виду матеріалу й тонкості помолу. Питоме завантаження млинів становить 0,35–0,45 об'єму барабана.

Конструкція млина складається з наступних основних вузлів (рис. 3.3):

- сталевий зварений барабан (рис. 3.3,поз.1)., що зсередини футерований бронеплитами;
- привід млина (рис. 3.3,поз.2);
- корінні підшипники ковзання (рис. 3.3,поз.3);
- розвантажувальна частина (рис. 3.3,поз.4);
- розвантажувального бункера (рис. 3.3,поз.5);

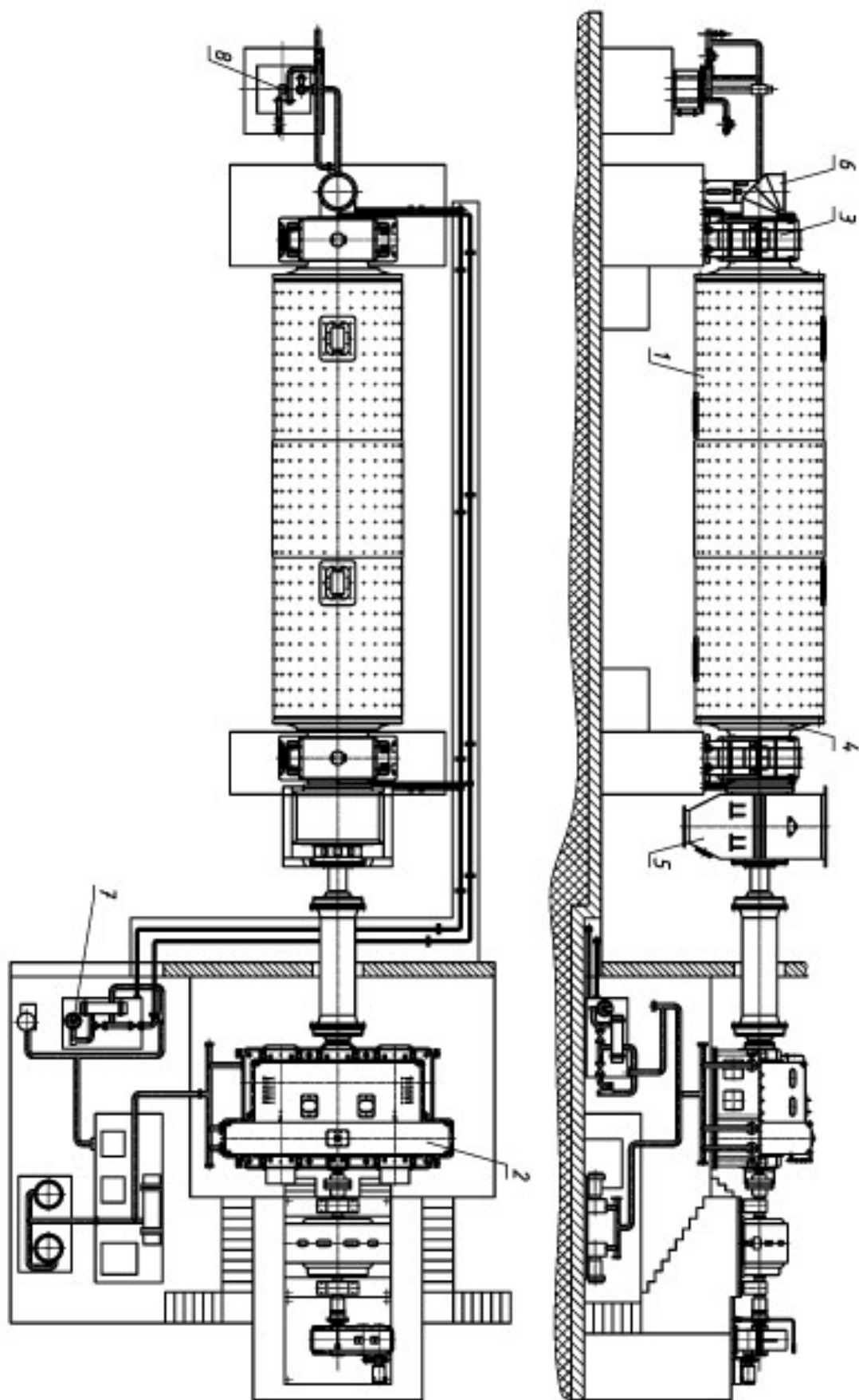


Рис. 3.3 – Трубный млин.

- завантажувальна частина (рис. 3.3, поз. 6);
- система змащування та охолодження (рис. 3.3, поз. 7);
- система подачі ПАМ (рис. 3.3, поз. 7);
- система автоматичного керування.

В процесі роботи матеріал елеваторами подається в приймач завантажувального пристрою млина. Далі за допомогою шнека через завантажувальну цапфу матеріал транспортується в барабан. На шляху до барабана в матеріал може додаватися вода, ПАМ та інші добавки. В барабані матеріал за допомогою мелючих тіл подрібнюється і частки допустимого розміру виходять через діафрагму в розвантажувальну цапфу, де шнеком доставляються в розвантажувальний бункер, в якому знаходяться сортовочні сита. Відсортований матеріал елеваторами транспортується в зону збереження.

Розглянемо основні частини млина.

Барабан

Барабан є основним вузлом і найважливішою частиною млина. Він складається зі сталевого зварного корпусу, який після збірки стає нероз'ємною конструкцією. На корпусі є люки, що закриваються кришками.

Внутрішня поверхня барабана облицьована футеровкою з броньових плит. Ці плити мають спеціальні впадини для сполучення зі змінними ліфтерами (рис. 3.4). Залежно від умов експлуатації та типу млинів використовуються різні профілі броньових плит: ступінчасті (рис. 3.4, а), хвилясті з болтовим (рис. 3.4, б) і безболтовим кріпленням (рис. 3.4, в), каблучкові (рис. 3.4, г). Останні вирізняються не лише підвищеною зносостійкістю, але й кращим зчепленням з матеріалом.

Конструкція плит забезпечує легку заміну броньових плит. Для зниження шуму між корпусом і плитами встановлюють гумові прокладки.

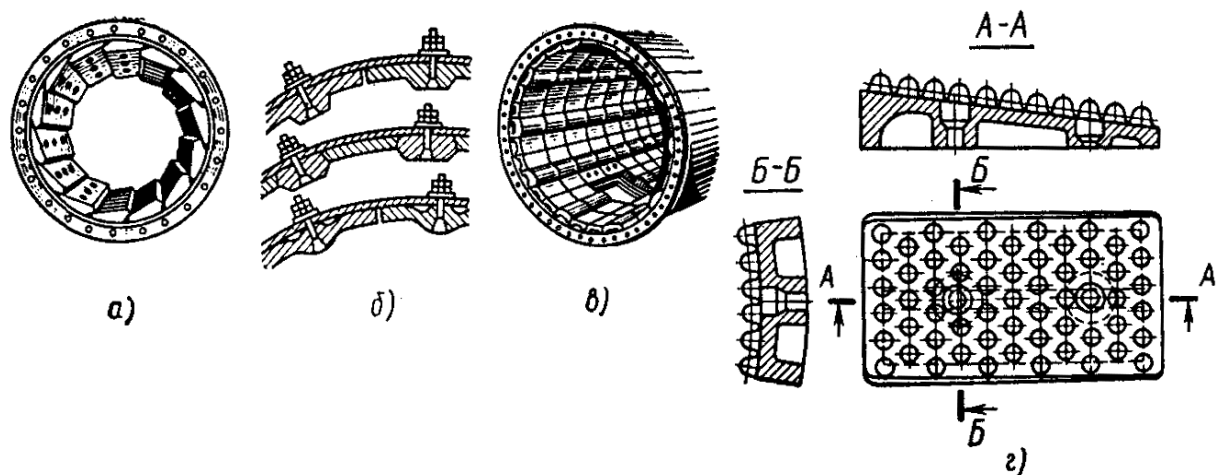


Рис. 3.4 - Броньові плити.

Кріплення броньових плит здійснюється болтами з потайними голівками. Для ущільнення болтових з'єднань використовуються кільця з технічної гуми та спеціальні шайби.

До корпусу барабана прикріплені опорні цапфи, за допомогою яких барабан встановлюється в корінні підшипники.

Завантажувальна частина

Завантажувальна частина млина складається з завантажувального пристрою, порожнистої цапфи та трубошнека. Сировина подається в млин через завантажувальний пристрій, який має зварену конструкцію з патрубків. Внутрішня поверхня патрубка облицьована бронеплитами для захисту від зносу, а в нижній частині встановлені поперечні ребра. Нижній край патрубка захищений порошком у вигляді смуги, яку легко замінити у разі зносу. Фіксація пристрою у потрібному положенні забезпечується двома рейками.

З'єднання завантажувального пристрою з цапфою виконано з зазором 10 мм. Завантажувальна цапфа облицьована бронею для запобігання зносу, а встановлений у ній шнек прискорює подачу матеріалу в млин.

Розвантажувальна частина

Розвантажувальна частина включає в себе секторні грати, їх футеровку, порожнисту цапфу, шнек та двоступінчасту бутару. Щілини в ґратах мають клиноподібну форму. Розвантажувальна цапфа футерована бронею для запобігання зносу, а встановлений у ній шнек сприяє швидкому видаленню матеріалу з млина.

Розвантаження матеріалу відбувається через двоступінчасту бутару, перша ступінь якої розміщена всередині втулки розвантажувальної цапфи, а друга виступає назовні. Кожна ступінь має отвори різного діаметру.

Корінні підшипники

Барабан підтримується двома корінними підшипниками. Підшипник розвантажувальної частини витримує як радіальні, так і осьові навантаження через наявність ударних бортів на цапфі, а інший підшипник витримує лише радіальні зусилля. Обидва підшипники кріпляться до стопорних і фундаментних плит.

Нижня опорна частина підшипників має сферичну поверхню, що дозволяє компенсувати неточності монтажу та рівномірно розподіляти навантаження по робочій поверхні. Внутрішні порожнини, на які спираються цапфи, мають бабітову заливку. Для зменшення ваги та охолодження підшипників у їх корпусах є канали. Змащення підшипників здійснюється рідинним циркуляційним методом, контроль якого ведеться приладами. Для контролю температури встановлено термосигналізатори. Ущільнення підшипників виконане з повсті, а для скидання мастила цапфи мають маслоснімаючі гребінці.

Привід

Центральний привід призначений для роботи млина в робочому режимі. Він включає проміжне з'єднання, головний редуктор, пружну муфту та головний електродвигун. Вал електродвигуна має два виходи: один з'єднаний з

валом головного редуктора через пружну муфту, а інший – з валом редуктора допоміжного привода через кулачкову муфту.

Допоміжний привід

Допоміжний привід використовується для обертання барабана млина під час ремонтних робіт і здатний обертати млин з завантаженням. Швидкість обертання барабана від допоміжного привода становить 0,2 об/хв. Цей привід складається з кулачкової муфти, триступінчастого редуктора та електродвигуна. Допоміжний привід має пристрій, що блокує включення головного привода при приєднаному допоміжному.

Пристосування для підйому барабана

Це пристосування використовується для підйому завантаженого барабана млина під час ремонтних робіт. Воно складається з рами звареної конструкції, чотирьох гідродомкратів та насосної установки. Під час підйому одночасно працюють лише два домкрати. Після підйому барабана на 5-7 мм поршні домкратів фіксуються стопорними гайками. Максимальна висота підйому барабана становить 30 мм. Спочатку піднімають домкрати з боку розвантаження, а потім – із боку завантаження.

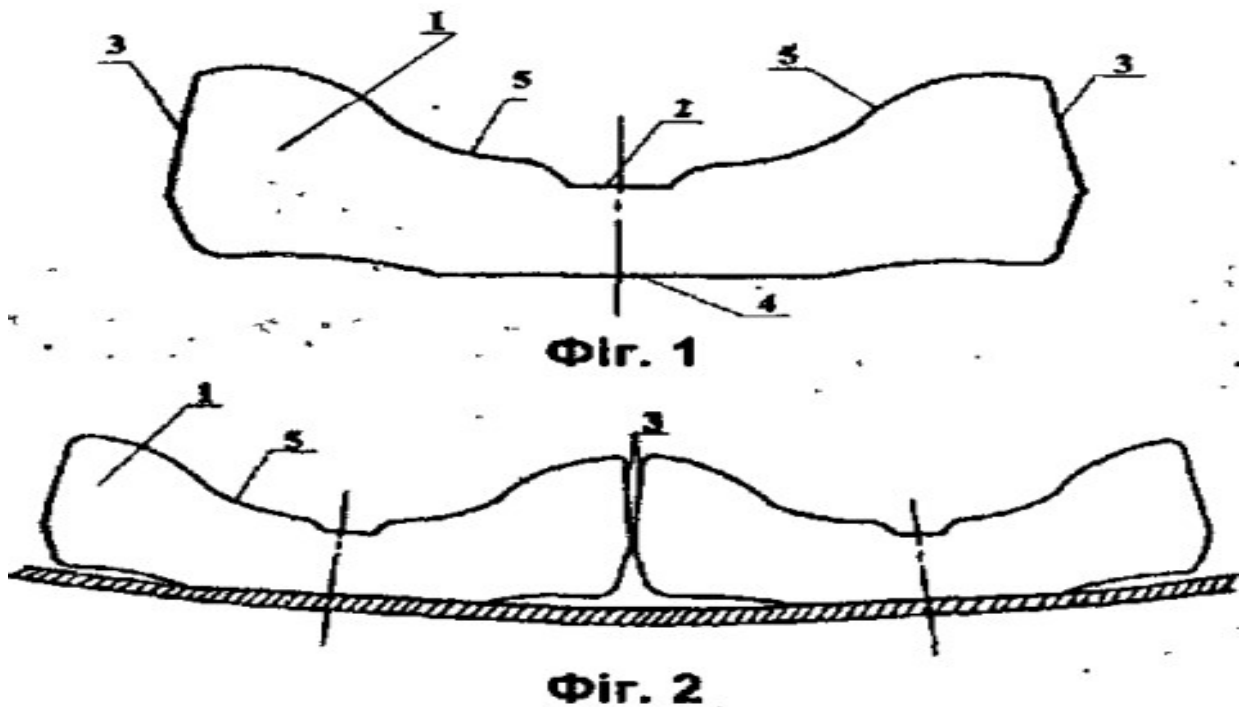
4 Патентні дослідження

В даній роботі проводиться модернізація трубного кульового млина, що є надважливою машиною у ряді галузей промисловості: від гірничої і будівельної до фармацевтичної і хімічної.

А) В основу корисної моделі за [5] поставлено задачу удосконалити бронефутерівку барабанного млина шляхом зміни профілю бронеплити для забезпечення оптимальної конфігурації робочої поверхні бронефутерівки. Це дозволить забезпечити оптимальну траєкторію пересування мелючих тіл в каскадно-водоспадному режимі, що призведе до підвищення продуктивності млина при збереженні надійності та довговічності.

На фіг. 1 представлено бронеплиту в поперечному перерізі.

На фіг. 2 - ділянка бронефутерівки барабанного млина, складена з 2-х бронеплит в поперечному перерізі.



Бронефутерівка складається з хитних бронеплит 1, які мають заглиблення 2 для кріплення болтами до барабана млина. Плити мають нахилені бокові грані 3, основу 4 та робочу поверхню 5, яка складається з симетрично розташованих напівхвиль. Напівхвилі плавно переходять з одного боку у заглиблення 2 під болти, а з іншого — у торці бокових граней 3.

Завдання вирішується завдяки конструкції бронефутерівки, яка складається з набору хитних бронеплит з індивідуальним кріпленням до барабана. Кожна плита в поперечному перерізі увігнута по радіусу і має симетрично розташовані напівхвилі, що утворюють робочу поверхню. Напівхвилі плавно переходять із заглиблення під болти в торці бокових граней. Радіуси гребенів напівхвиль і радіуси спряження з заглибленням під болти співвідносяться як 5,3:4,3:1. Нахил бокових граней бронеплити відносно осі становить $5^{\circ}50'-6^{\circ}30'$.

Принцип роботи такий:

Бронеплити 1 закріплюються в барабані млина за допомогою кріпильних елементів, розташованих в заглибленнях 2, утворюючи замкнуте кільце бронефутерівки. У барабан завантажуються мелючі тіла та сировина для подрібнення. Під час обертання млина, завдяки спеціальній конфігурації робочої поверхні 5 бронефутерівки, мелючі тіла і сировина рухаються в каскадно-водоспадному режимі, що забезпечує високу якість подрібнення та продуктивність. Мінімальні конусні зазори між боковими гранями 4 бронеплит швидко заповнюються подрібненим матеріалом, що дозволяє зберегти конфігурацію робочої поверхні та забезпечує тривалу надійність роботи млина.

Запропонована бронефутерівка забезпечує:

- Високу якість подрібнення сировини
- Збільшення продуктивності млина на 9-12%
- Надійність і довговічність футерівки

Це дозволяє досягти оптимальної ефективності роботи млина та забезпечити його тривалу експлуатацію.

Б) У [6] футерівка складається з набору однотипних бронеплит, що містять робочу поверхню 1, з полицками 2, бічні грані 3, поглиблення 4 під болти, основа 5. Поперечний переріз робочої поверхні бронеплити виконано увігнутим по радіусу та з симетрично розташованими від осі бронеплити ділянками, плавно пов'язаними з одного боку з поглибленням 4 під болти, виконаним по центру вздовж бронеплити, а з іншого боку - з бічними гранями 3 за допомогою полицок 2. При цьому основа і полицки паралельні корпусу млина.

Конструкція футерування, що складається з набору катаних бронеплит одного типу, що індивідуально кріпляться до барабану млина, що дозволяє вдвічі скоротити номенклатуру бронеплит, що призводить до відповідного зниження собівартості виготовлення за рахунок підвищення серійності виробництва, а також зниження трудомісткості та підвищення безпеки монтажних робіт.

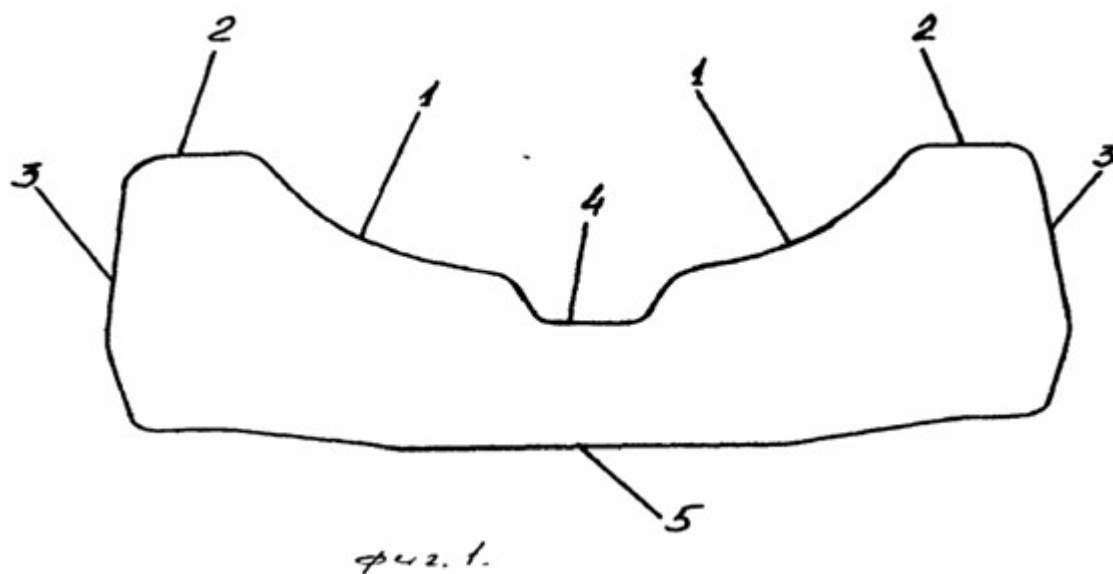
Поліпшення якості подрібнення досягається тим, що на опуклих частинах робочої поверхні бронеплити є полицки 2, паралельні корпусу млина. При обертанні млина наявність таких полицок призводить до збільшення віяла падіння куль і довжини вільного пробігу кулі вздовж плити, а це сприяє більш тонкому помелу подрібнюваного матеріалу. Збільшення довговічності обумовлено тим, що для кріплення болта передбачено поглиблення 4, яке, забиваючись у процесі експлуатації дрібними кулями та подрібнюваним матеріалом, надійно захищає головку болта від зношування.

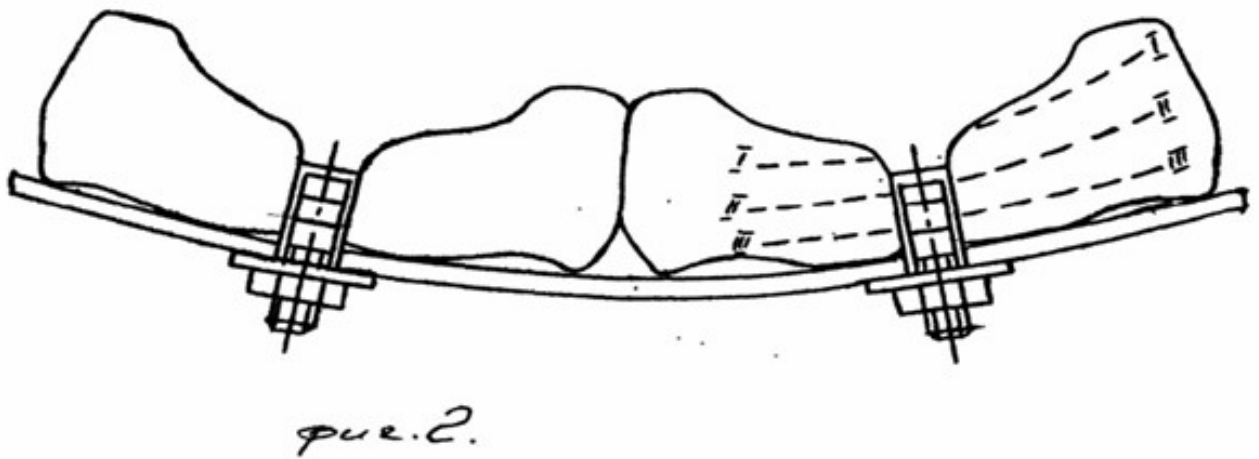
Основні геометричні розміри бронеплит визначалися експериментальним шляхом. Максимальна товщина бронеплити H обрана виходячи із збереження оптимального робочого обсягу млина та технічних можливостей виготовлення бронеплит шляхом прокатки. Розмір поперечного перерізу бронеплити мінімальної товщини h прийнятий виходячи із забезпечення механічної

міцності. Розмір ширини d полицок 2 вибиралася з урахуванням таких міркувань. Профіль бронеплити повинен задовольняти двом основним вимогам: забезпечити максимальну зносостійкість і сформувати траєкторію руху тіл, що мелють, що забезпечує інтенсивний процес подрібнення матеріалу. Перша вимога виконується за надійного захоплення куль і мінімальний шлях їх ковзання по бронеплитах, тобто. на тих профілях, де наявність гладких поверхонь зведено до мінімуму. Друга вимога виконується при падінні куль широким віялом, їх довгому пробігу по плиті і коли не відбувається закидання куль на протилежну стінку барабана, що досягається використанням бронеплит з гладкими поверхнями з незначними виступами. Перераховані вище вимоги виконуються при наступному співвідношенні: ширина d полицки 2, товщина h Бронеплити під поглибленням 4 і товщина максимально опуклої ділянки H відносяться як 1:1:2.

На фіг. 1 показано поперечний переріз бронеплити.

На фіг. 2 показані лінії зносу бронеплит футерування





В) За патентом [7]:

Вдосконалення бронефутерівки

Основна задача полягає в збільшенні терміну служби броньових плит. Це досягається шляхом збільшення терміну служби болтів, які кріплять бронеплити, що в свою чергу підвищує межу зношування бронеплит.

Технічне рішення

У бронефутерівці барабана млина, що включає броньові плити з хвилювою робочою поверхнею для підйому подрібнюваного матеріалу та робочих тіл, а також отворами під болти кріплення бронеплит, отвори виконані зі зміщенням від вершини гребеня хвилі в напрямі, протилежному до напрямку обертання барабана. Величина зміщення отворів визначається за формулою:

$$S = k \left(\frac{2R}{m} \right)$$

де:

S — величина зміщення в міліметрах,

R — радіус барабана по вершині хвилі профілю бронефутерівки в міліметрах,

m — кількість хвиль по поперечному периметру барабана,

k — коефіцієнт, який враховує кут підйому хвилі профілю бронефутерівки, що залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу, який подрібнюється.

Це вдосконалення забезпечує кілька ключових переваг:

- Збільшення терміну служби болтів: Зменшення навантаження на болти під час роботи млина збільшує їх термін служби.
- Підвищення межі зношування бронеплит: За рахунок зменшення зносу кріплень, бронеплити зберігають свою функціональність протягом більш тривалого часу.
- Оптимізація робочого процесу: Хвильова робоча поверхня бронеплит сприяє ефективному підйому та переміщенню подрібнюваного матеріалу, що покращує загальну продуктивність млина.

Ці переваги дозволяють збільшити продуктивність млина та забезпечити більш надійну та довготривалу експлуатацію бронеплит і кріпильних елементів.

Г) В основу корисної моделі за [8] поставлена задача удосконалити бронефутеровку барабанного млина шляхом зміни профілю прокатної плити, забезпечити оптимальну інтенсивність динаміки зустрічних циркуляційних і ударних процесів здрібнювання матеріалу і за рахунок цього підвищити її експлуатаційні властивості і продуктивність барабанного млина.

Виконання увігнутих циліндричних поверхонь на робочій поверхні прокатної плити в співвідношенні $(1+0,81)$ і розміщення прокатної плити в бронефутеровці барабанного млина по напрямку обертання барабана в послідовності від увігнутої циліндричної поверхні з великим радіусом до увігнутої циліндричної поверхні з меншим радіусом дозволило створити хвильову поверхню з виступами різної висоти, що обумовило оптимальну інтенсивність динаміки зустрічних циркуляційних і ударних процесів здрібнювання матеріалу, при яких значно зменшується знос робочої поверхні плит і підвищується продуктивність барабанних млинів.

у такий спосіб. Прокатні плити 2 закріплюють на внутрішній поверхні барабана 1 за допомогою розміщених у подовжньому поглибленні 7 елементів кріплення (на кресленні не показано) і, таким чином, утворюють замкнуте

кільце бронефутеровки. При цьому прокатні плити 2 у бронефутеровці барабанного млина встановлені по напрямку обертання барабана в послідовності від увігнутої циліндричної поверхні з великим радіусом 9 до увігнутої циліндричної поверхні з меншим радіусом 8. Після чого барабан 1 млина завантажують матеріалом, що підлягає здрібнюванню. В процесі обертання барабана млина матеріал, що подрібнюється, в циркуляційному русі піддається ударнодинамічному впливу в момент його зіткнення з виступаючими частинами бронефутеровки, що утворені циліндричними поверхнями з меншим радіусом 8. При цьому циркуляційне сковзання матеріалу, що подрібнюється, по робочій поверхні бронефутеровки зводиться до мінімуму. При циркуляційному русі матеріалу, що подрібнюється, на ділянках бронефутеровки з плоскими поверхнями 10, 11 здрібнений до пилоподібної фракції матеріал проникає в зазори між плитами, де самоущільнюється і створює між ними шар, який сприяє зменшенню деформаційних навантажень у суміжних плитах 2. На цих поверхнях 10, 11 утворюється також шар з високим ступенем ущільнення, що виконує функцію природної футеровки, яка сприяє зменшенню зносу плит 2 на даних ділянках.

Сутність корисної моделі пояснюється кресленнями, де на:

Фіг.1 - представлена ділянка бронефутеровки барабанного млина складеної з двох прокатних плит (у перетині по А-А);

Фіг.2 - ділянка бронефутеровки барабанного млина, складеної з двох прокатних плит (вид зверху);

Фіг.3 - профіль прокатної плити.

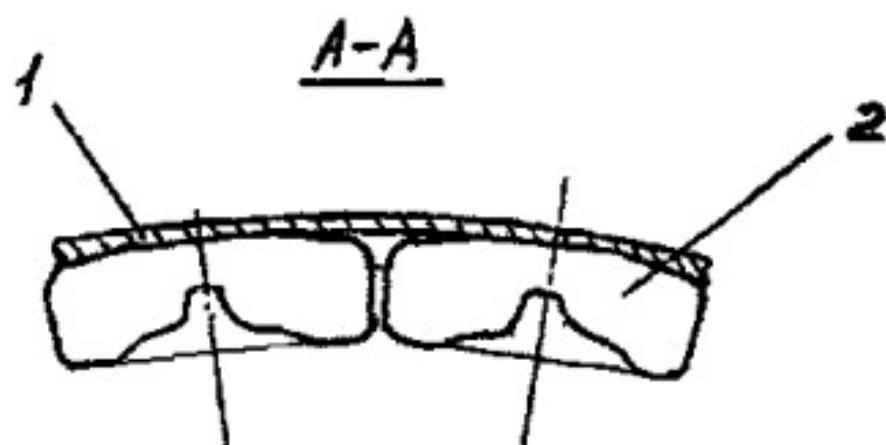


Fig. 1

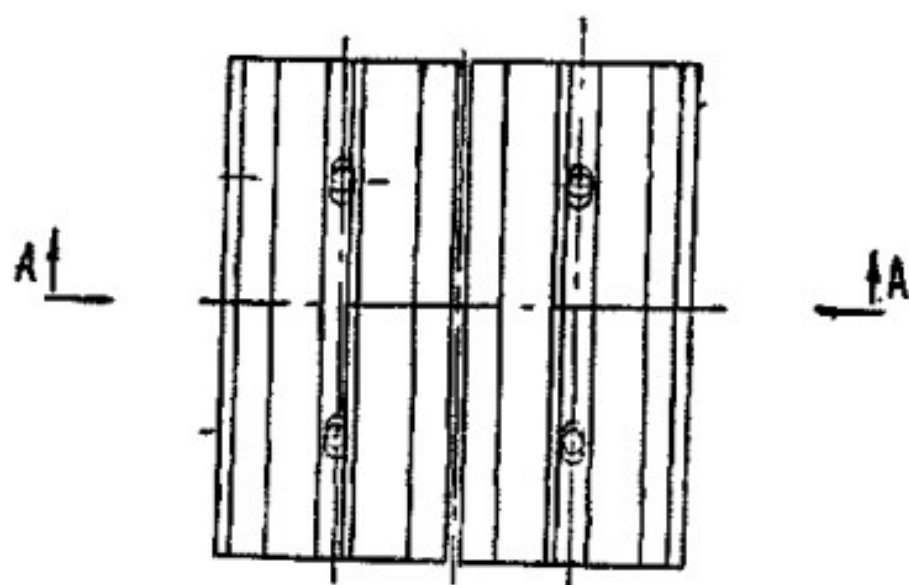
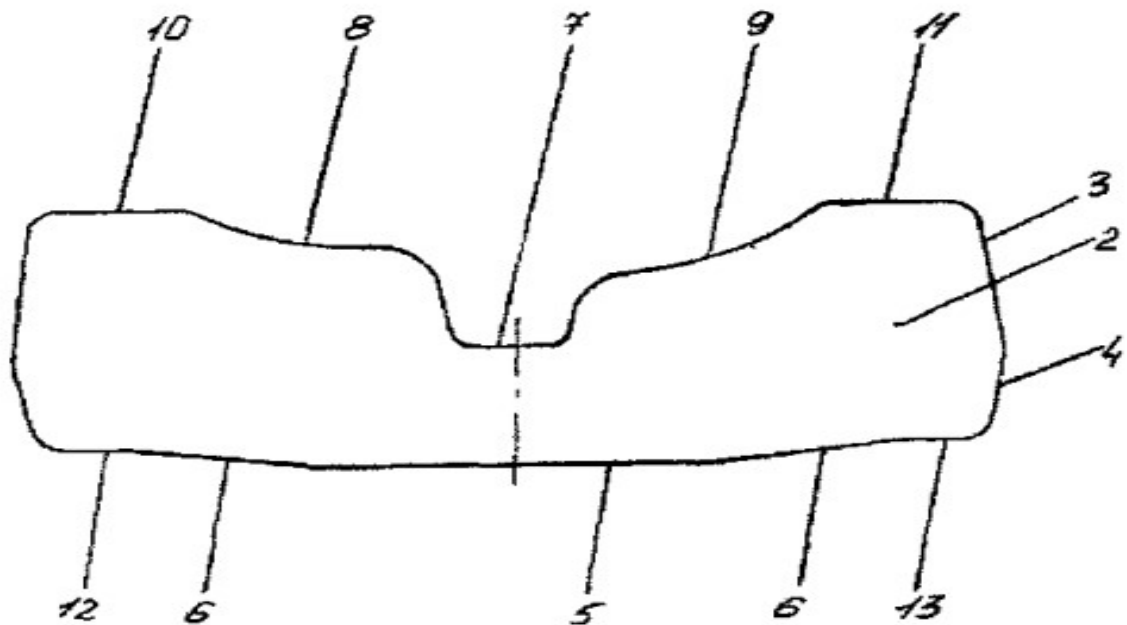


Fig. 2



Фиг. 3

4.1 Обґрунтування напрямку модернізації

Модернізація буде проводитись за [8]. Ця модернізація поліпшить якість подрібнення сировини, тим самим збільшуючи продуктивність млина та його час експлуатації. Малі конусообразні зазори будуть закупорюватись подрібненою сировиною, за рахунок чого секції бронефутерівки будуть закріплюватися, що подовжить час роботи млина без необхідності закріплення та вирівнювання футерівки. Відсутність руху футерівки через закупорення зменшить знос як самого млина, так і секцій футерівки. Також заглиблення для болта захищає його від критичного зносу і частішої заміни.

Оптимально підібране співвідношення радіусів напівхвиль з обох сторін збільшує можливий діапазон швидкостей, на яких може працювати млин, та покращує якість подрібнення сировини.

5 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

5.1 ПАРАМЕТРИЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Розрахунки проведені за допомогою [9]
[<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/2061>]

5.1.1 Розрахунок числа обертів млина

Число обертів млина визначається по формулі, об/хв:

$$n = K \frac{42,2}{\sqrt{D}}$$

де K – коефіцієнт, що враховує яку частину критичного числа обертів становить дійсне число обертів млина (для млинів з діаметром барабана більше 3 м становить 0,7...0,75);

D – діаметр млина.

$$n = 0,7 \frac{42,2}{\sqrt{4}} = 14,77 \text{ об / хв} .$$

Дійсне число обертів млина від головного привода, становить:

$$n = \frac{n_{\text{эл.дв}}}{i_{\text{ред}}} = \frac{500}{30} = 16,7 \text{ хв}^{-1}$$

5.1.2 Розрахунок критичної й оптимальної кутової швидкості барабана

При невеликій кутовій швидкості барабана циркуляція «завантаження» не буде інтенсивною, тому що кулі, піднімаючись на деяку висоту, скочуються по поверхні контуру завантаження без удару.

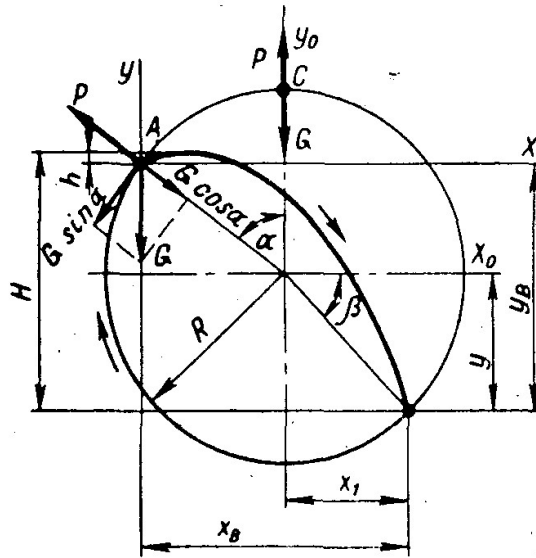


Рис. 5.1.1 - Схема до розрахунку кутової швидкості барабана млина.

При занадто великій кутовій швидкості кулі, перебуваючи під дією значних відцентрових сил, не будуть відриватися від стінок навіть у верхній точці С (рис. 5.1.1), тому що сила інерції P перевищує силу тяжіння G , звідси критична кутова швидкість, рад/с:

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{g}{R}}$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с²;

R - радіус обертання кулі, м.

Оптимальною кутовою швидкістю варто вважати таку, при якій куля має максимальну висоту падіння H , обумовлену координатами точки відриву кулі від стінок (точка А) і точки зустрічі кулі після падіння (точка В) з окружністю барабана.

Відрив кулі від стінок у точці А буде, коли

$$G \cos \alpha \geq P,$$

або

$$mg \cos \alpha \geq m\omega^2 R.$$

При цьому кутова швидкість, рад/с:

$$\omega = \sqrt{\frac{g \cos \alpha}{R}}$$

Траекторія руху кулі у вільному падінні являє собою параболу (при встановленні початку координат у точці А) і описується системою рівнянь:

$$\begin{cases} x = vt \cos \alpha \\ y = vt \sin \alpha - \frac{gt^2}{2} \end{cases}$$

Вирішуючи спільно цю систему, знайдемо ординату точки В:

$$y_B = x_B \operatorname{tg} \alpha - \frac{gx^2}{2v^2 \cos^2 \alpha};$$

$$v = \omega R = \sqrt{\frac{g \cos \alpha}{R}} R.$$

Отримаємо:

$$y_B = x_B \operatorname{tg} \alpha - \frac{x^2}{2R \cos^3 \alpha}.$$

Траєкторія руху куль у системі координат $x_0 y_0$ (з початком у центрі окружності):

$$x_1^2 + y_1^2 = R^2.$$

Як треба зі схеми (рис. 5.1.1):

$$x_1 = x_B - R \sin \alpha;$$

$$y_1 = y_B - R \cos \alpha.$$

Підставивши ці значення в попередній вираз, одержимо:

$$x_B + y_B - 2R x_B \sin \alpha - 2R y_B \cos \alpha = 0.$$

Після перетворень отримаємо:

$$\frac{x_B^3}{4R \cos^4 \alpha} \left(\frac{x_B}{4R \cos^2 \alpha} - \sin \alpha \right) = 0.$$

Корені $x_1 = x_2 = x_3$, що відповідають перетинанню параболи з окружністю в точці А (тобто на початку координат), дорівнюють нулю, тоді залишається вирішити рівняння:

$$\frac{x_B}{4R \cos^2 \alpha} - \sin \alpha = 0$$

звідки

$$x_B = 4R \cos^2 \alpha \sin \alpha.$$

Тоді

$$y_B = -4R \sin^2 \alpha \cos \alpha.$$

Найбільша енергія удару кулі буде при максимальній координаті y_B . Щоб визначити максимальну координату y_B , візьмемо першу похідну її функції

$$y' = 8R \sin \alpha \cos^2 \alpha - 4R \sin^3 \alpha = 4R \sin \alpha (2 \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) = 0.$$

Очевидно, що α і R не дорівнюють нулю, тоді $2 \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = 0$
або

$$2 - \operatorname{tg}^2 \alpha = 0;$$

$$\operatorname{tg}^2 \alpha = 2.$$

Звідки одержимо, що найвигідніший кут відриву кулі $\alpha = 54^\circ 40'$.

Підставивши значення оптимального кута відриву і внутрішній радіус барабана розроблювального млина (з урахуванням товщини бронеплити футерівки) у формулу, знайдемо оптимальну кутову швидкість барабана, рад/с:

При $R = 1,925$ м,

$$\omega_{opt} = 1,716 \text{ рад/с}.$$

5.1.3 Визначення оптимального завантаження барабана

Координати точок відриву й падіння куль будуть різними для кожного шару куль, оскільки вони визначаються співвідношенням

$$\omega^2 R = g \cos \alpha$$

або

$$\frac{R}{\cos \alpha} = \frac{g}{\omega^2}.$$

Позначивши $\frac{g}{\omega^2} = 2\rho$, одержимо вираз

$$R = 2\rho \cos \alpha,$$

який є рівнянням окружності в полярних координатах. Отже, крива AA_1 є дугою окружності радіусом ρ , описаної з центра O_1 розташованого на вертикальному діаметрі перетину барабана, на відстані ρ від його центра. Геометричне місце точок падіння куль (точка В) визначається відповідним радіусом і кутом β . З рис. 1.3 видно, що

$$\sin \beta = \frac{y_1}{R} = \frac{4R \sin^2 \alpha \cos \alpha - R \cos \alpha}{R}.$$

Перетворивши вираз, одержимо

$$\sin \beta = -(4 \cos^3 \alpha - 3 \cos \alpha).$$

Відомо, що $4 \cos^3 \alpha - 3 \cos \alpha = \cos 3\alpha$, тоді

$$\sin \beta = -\cos 3\alpha = \cos(180^\circ - 3\alpha).$$

Замінивши $\sin \beta$ через $\cos(-(90^\circ - \beta))$, одержимо
$$\cos(90^\circ - \beta) = \cos(180^\circ - 3\alpha),$$

звідки

$$\beta = 3\alpha - 90^\circ.$$

Величина кута α для кожного шару куль визначається з рівняння

$$\cos \alpha_i = \frac{R_i \omega^2}{g}.$$

Так можна побудувати контур руху завантаження й визначити траєкторії руху куль. З аналізу схеми видно, що переповнювати млин кулями настільки ж нерационально, як і не доповнювати. Практично кулі повинні займати 0,3-0,35 об'єму барабана.

Вибираємо для нашого млина об'єм мелючих куль рівним 0,3 об'єму барабана.

5.1.4 Розрахунок потужності двигуна

При роботі барабаних млинів енергія витрачається на підйом куль і надання їм кінетичної енергії, тому що після падіння куль їхня окружна швидкість дорівнює нулю і кулі доводиться втягувати в рух на кожному циклі.

Маса куль визначається по формулі, кг:

$$m_{\text{ш}} = \varphi \mu \pi R^2 L,$$

де φ - коефіцієнт заповнення завантаженням барабана ($\varphi = 0,3$);

μ - коефіцієнт пористості завантаження ($\mu \approx 0,57$);

γ – щільність тіл, що мелють (для сталевих куль $\gamma = 7800 \text{ кг/м}^3$);

L - довжина млина, м.

Для розрахункового млина:

$$m_{\text{ш}} = 210954,906 \text{ кг.}$$

Масу матеріалу, що подрібнює, приймаємо рівної 0,14 від маси тіл, що мелють:

$$m_{\text{и.мат}} = 29533,687 \text{ кг.}$$

Тоді маса завантаження складе:

$$m_{\text{заг}} = m_{\text{ш}} + m_{\text{и.мат}} = 240488,593 \text{ кг.}$$

Робота, затрачувана на підйом завантаження, Дж:

$$A_1 = m_{\text{заг}} g u_B,$$

де $m_{\text{заг}}$ – маса завантаження, кг ;

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

u_B – висота підйому куль, м.

Всі шари завантаження, що рухаються на своїх радіусах, заміняємо одним фіктивним шаром, що рухається на відстані радіуса інерції R_0 від центра млина:

$$R_0 = \sqrt{\frac{R^2 + R_1^2}{2}},$$

де R і R_1 – внутрішній радіус барабана й відстань від центра барабана до внутрішнього шару завантаження, відповідно. При ступені заповнення завантаженням барабана 0,3 можна прийняти $R_0 \approx 0.86R$.

$$R_0 = 1,655 \text{ м.}$$

Тоді оптимальний кут підйому фіктивного шару, визначається з співвідношення

$$\cos \alpha_0 = \frac{R_0 \omega^2}{g}$$

з врахуванням, що $\omega_{\text{опт}} = \frac{2.38}{\sqrt{R}}$ складе

$$\cos \alpha_0 = \frac{2.38^2 \cdot 0.86}{g}$$

Звідси

$$\alpha_0 = 60^\circ 38'.$$

Висота підйому куль

$$y_B = 4R_0 \sin^2 \alpha_0 \cos \alpha_0 = 2,547 \text{ м.}$$

Робота, затрачувана на підйом завантаження,

$$A_1 = 6003882,45 \text{ Дж.}$$

Кінетична енергія, повідомлювана завантаженню

$$A_2 = \frac{mv^2}{2} = \frac{m\omega_0^2 R_0^2}{2} = \frac{m}{2} \left(\sqrt{\frac{g \cos \alpha_0}{R_0}} \right)^2 R_0^2 = \frac{mg \cos \alpha_0 R_0}{2} = 1125727,448 \text{ Дж.}$$

Сумарна робота, затрачувана на один цикл руху завантаження

$$A = A_1 + A_2 = 7129610,407 \text{ Дж.}$$

За один оберт барабана, завантаження робить кілька циркуляцій.

Тривалість однієї циркуляції складається з часу t_1 , затрачуваного на рух куль по круговій частині траєкторії, і часу t_2 , необхідного для руху по параболі:

$$t = t_1 + t_2.$$

Кут Θ_0 , що відповідає проходженню кулі по параболі, при розгляді руху на фіктивному радіусі R_0 буде дорівнювати

$$\Theta_0 = \alpha_0 + 90^\circ + \beta_0.$$

З огляду на те, що $\beta_0 = 3\alpha_0 - 90^\circ$, одержимо

$$\Theta_0 = 4\alpha_0 = 240^\circ 55'.$$

Кут Θ_2 , що відповідає дузі, по якій кулі рухаються по окружності, складе $\Theta_2 = 360^\circ - 4\alpha_0 = 119^\circ 05'$.

При частоті обертання n об/хв і $\alpha_0 = 60^\circ 38'$ час

$$t_1 = \frac{1}{n} \cdot \frac{360^\circ - 4\alpha_0}{360^\circ} = 0,02 \text{ мін.}$$

Час руху по параболі t_2 (с)

$$t_2 = \frac{x_B}{v \cos \alpha_2} = \frac{4R_0 \sin \alpha_0 \cos^2 \alpha_0}{2\pi R_0 n \cos \alpha_0} = 0,016 \text{ мін.}$$

Сумарний час однієї циркуляції

$$t = t_1 + t_2 = 0,036 \text{ мін}$$

$$z = \frac{1}{n \cdot t} = 1.652.$$

Потужність двигуна привода барабанного млина

$$N = \frac{A\omega_{\text{опт}}z}{2\pi 1000\eta} = 3782,934 \text{ кВт.}$$

де $\omega_{\text{опт}}$ – оптимальна кутова швидкість, рад/с;

η - к. п. д. привода $\eta = 0,85$;

A - сумарна робота, затрачувана на один цикл руху завантаження, Дж;

5.1.5 Розрахунок продуктивності

Продуктивність барабанних млинів, і зокрема трубних, залежить від багатьох факторів: конструкції млина, складу й вигляду тіл, що мелють, властивостей подрібненого матеріалу, виду подрібнення, тонкості здрібнювання й т.д.

Врахувати з достатньою точністю ці фактори не представляється можливим. Тому після знаходження основних параметрів млина продуктивність (т/год) рекомендується визначати по емпіричних формулах, наприклад, по формулі ВНІЩеммаша

$$\Pi = 6,45V\sqrt{D}\left(\frac{m_{\text{ш}}}{V}\right)^{0,8} qk$$

де D - діаметр млина «у світлі», м;

$m_{\text{ш}}$ - маса мелючих тіл, т;

V – робочий об'єм млина, м^3 ;

q - питома продуктивність млина в т на 1 квт/год корисній потужності; для клінкера $q = 0,035 - 0,04$; для вапняку $q = 0,045$;

k - поправочний коефіцієнт на тонкість подрібнення, значення якого наведені нижче:

Залишок в % на ситі № 008	2	3	4	5	6	7	10	12	15	20
k	0,59	0,65	0,71	0,77	0,82	0,86	1,0	1,09	1,21	1,42

Для розроблювального млина $\Pi = 97,512$ т/год.

5.2 РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ

На міцність розраховуються основні деталі млина, до яких відносяться барабан (корпус) млина, болти, що з'єднують корпус з днищами, деталі приводного пристрою.

Такі деталі млинів, як барабан, цапфи й ін., випробовують на вплив як статичних так і динамічних навантажень, викликаних маюю тіл, відцентровими силами. Усе це на ряді з абразивною дією матеріалу, що подрібнюється, вимагає обліку при виборі запасів міцності і якості матеріалу.

Вхідні дані:

Внутрішній діаметр барабана, м

$D_0 = 4$

Довжина барабана, м

$L_0 = 13,5$

Товщина обичайки барабана, м

$\delta = 0,05$

Число обертів млина, об/хв

$N = 14,8$

Ступінь розвантаження тілами, що мелють

$\varphi = 0,3$

Середня насипна вага тіл, що мелють, кН/м^3

$\gamma = 45,6$

L = 14,7

$$m_{\text{III}}=210$$
m_k=202437

5.2.1 Розрахунок барабана млина

Розглянемо метод розрахунку на міцність корпусу млина й болтів, що з'єднують фланці (днища) з корпусом. Барабан млина розглядається як балка кільцевого перетину, навантажена згинаючим і крутним моментами. Згинаючі навантаження на корпус млина створюються статичними й інерційними силами.

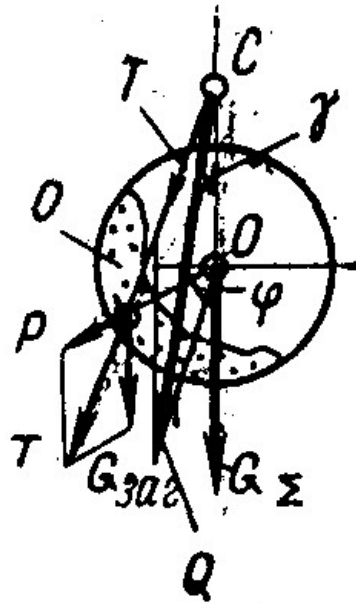


Рис. 5.2.1.1 - Схема сил, що діють на корпус млина.

Схема сил, що діють на корпус млина, показана на рис. 5.2.1
Статичні навантаження в Н створюються силами ваги обертових частин млина G_{Σ} і завантаження $G_{\text{заг.}}$ контактуючої в цей момент з корпусом

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

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

Для розглянутої конструкції

$$G_{\Sigma} = m_k \cdot 9,81 = 1985911,2 \text{ H.}$$

Сила тяжіння маси завантаження, Н

$$G_{\text{заг}} = (G_{\text{III}} + G_{\text{M}}) K_{\text{ч}} = K_{\text{ч}} \cdot g \cdot m_{\text{заг}},$$

де $G_{ш}$ – сила тяжіння куль, Н;

G_M – сила тяжіння матеріалу, що подрібнюється, Н;

$K_{\text{ч}}$ – 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:

$$K_{\text{ч}} = 0,547$$

Тоді $G_{\text{заг}} = 1288220,275 \text{ Н}$.

Центробіжна сила інерції маси завантаження, що рухається по круговій траєкторії, Н

$$P = K_{\text{ч}} \cdot m_{\text{заг}} \cdot \omega^2 \cdot R = 433709,877$$

Точка прикладення сил $G_{\text{заг}}$ і P визначається радіусом інерції завантаження $R_0 \approx 0,866R$ (де R – внутрішній радіус барабана) і кутом

$$\varphi = \frac{180^\circ - \alpha}{2} = 62^\circ 38'.$$

Рівнодіючих сил $G_{\text{заг}}$ і P (див. рис. 2) в Н

$$T = \sqrt{P^2 + G_{\text{заг}}^2 - 2PG_{\text{заг}} \cos(180 - \varphi)} = 1536651,619$$

Кут між силами знаходимо по теоремі синусів

$$\gamma = \arccos\left(\frac{G_{\text{заг}} + P \cos \varphi}{T}\right) = 14^\circ 31'.$$

Рівнодіючих сил T и G_{Σ} , прикладена, у точці С,

$$Q = \sqrt{T^2 + G_{\Sigma}^2 - 2TG_{\Sigma} \cos(180 - \gamma)} = 3494632,386 \text{ Н}$$

Інтенсивність розподіленого навантаження, що діє на корпус млина в площині рівнодіючої Q , Н/м

$$q = \frac{Q}{l} = 213608,337$$

Максимальний згинальний момент, Н·м

$$M_{\text{н}} = \frac{ql^2}{8} = \frac{Ql}{8} = 7146523,23$$

де l - відстань між підшипниками, м.

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

$$M_{0\text{кр}} = \frac{1000N}{\omega} = 2115265,002$$

де N - потужність, що підводиться до вала млина, кВт;

ω - кутова швидкість, рад/с.

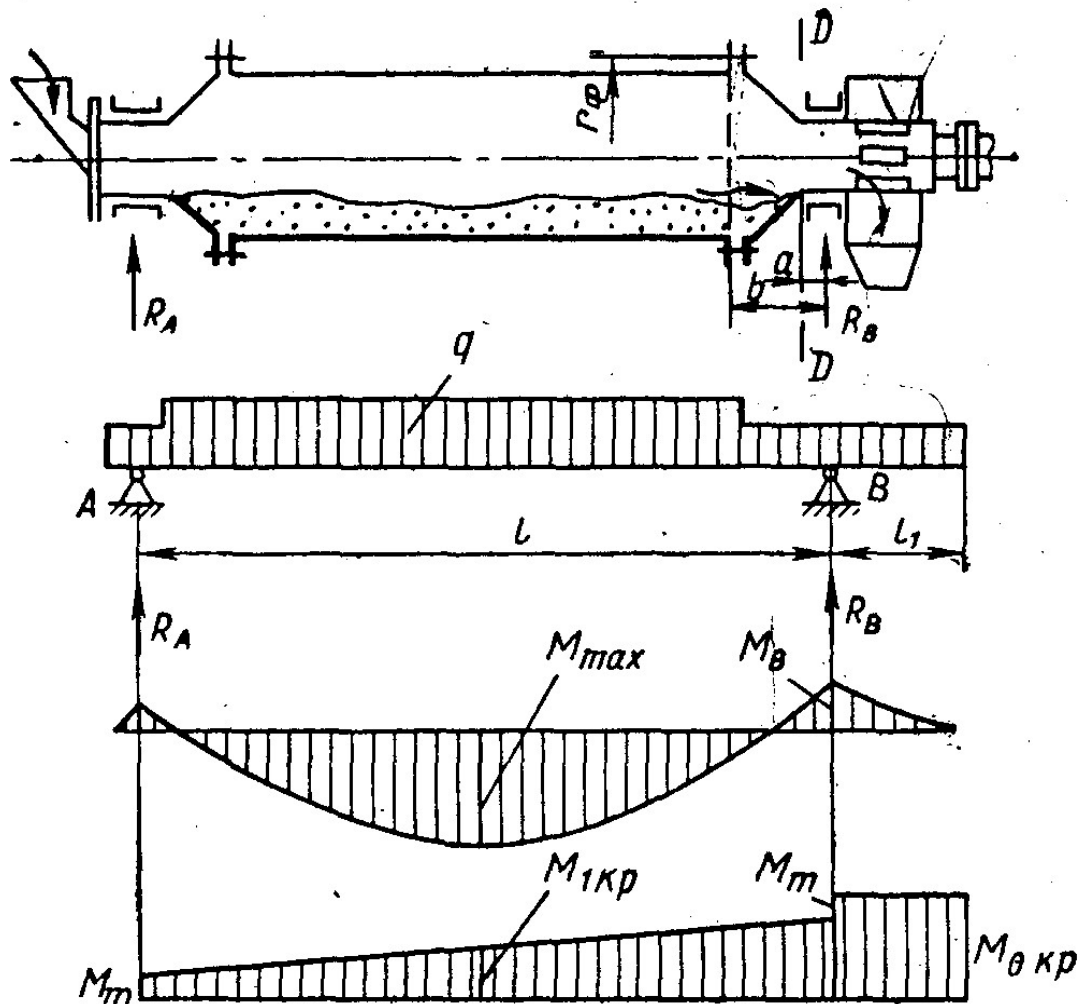


Рис. 5.2.1.2 - Схема до розрахунку барабанного млина на міцність

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

$$M_T = R_B \mu r_{\text{ц}},$$

де R_B – навантаження на підшипник, Н;

μ – коефіцієнт тертя в підшипнику;

$r_{\text{ц}}$ – радіус цапфи, м.

По довжині корпусу млина крутний момент змінюється по похилій прямій до величини M_T у лівому підшипнику.

Найнебезпечніший перетин буде посередині прольоту, де наведений момент, Н·м

$$M_{\text{пр}} = \sqrt{M_{\text{н}}^2 + M_{0\text{кр}}^2} = 7452995,391$$

Напруги в цьому перетині, Н/м²

$$\sigma = \frac{M_{\text{пр}}}{kW}$$

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

W – момент опору корпусу, м³, визначається по формулі

$$W = \frac{R_H^4 - R_B^4}{R_H} = 1,898$$

де R_H і R_B – зовнішній і внутрішній діаметри корпусу.
Тоді

$$\sigma = 4907695.383 \approx 4,9 \text{ МПа.}$$

5.2.2 Розрахунок корінних підшипників

Розрахунок підшипника по характеристиці PV
Максимальна опорна реакція:

$$R_{\max} = R_B = 1387 \text{ кН}$$

Діаметр цапфи: $d_{\text{ц}} = 1,8 \text{ м.}$

Робоча довжина підшипника $l = 0,8 \text{ м.}$

Кут контакту $2\beta = 120^\circ$.

Матеріал підшипника бабіт Б6.

Питомий тиск визначаємо по формулі:

$$P = \frac{R_{\max}}{l \cdot d_{\text{ц}} \cdot \sin \beta} = \frac{1387 \cdot 10^{-3}}{0,8 \cdot 1,8 \cdot 0,866} = 1,12 \text{ МПа.}$$

Окружна швидкість цапфи:

$$v = \frac{\pi \cdot d_{\text{ц}} \cdot n}{60} = \frac{3,14 \cdot 1,8 \cdot 15,9}{60} = 1,5 \text{ м/с}$$

Добуток “ PV ”

$$PV = 1,48 \cdot 1,5 = 2,22 \text{ МПа} \cdot \text{м/с}$$

Для бабіту Б6 граничне значення

$$[P] = 5 \text{ МПа}$$

$$[v] = 6 \text{ м/с}$$

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

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. 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 і над площадками, кожна з яких дорівнює:

$$\frac{b - b_1}{2} \cdot l_1,$$

де $b = 0,75 \text{ м}$, $b_1 = 0,06 \text{ м}$, $l_1 = 0,8 \text{ м}$ - довжини ділянок

P_1 – розрахунковий тиск у системі гідропідпору

По епюрі тиску видно, що тиск в цих площадках змінюється від P_1 по контуру карманів від нуля, тобто можна прийняти середній тиск $0,5 P_1$.

Приймаємо, що мастило з підшипників буде витікати по шляху найменшого опору, тобто вздовж осі в обидва боки.

З умови рівноваги цапфи:

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

де $Q = R_{\max} = 1387 \text{ кН}$ -максимальна реакція опори.

Звідси

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

$$P_1 = \frac{2 \cdot 1387 \cdot 10^{-3}}{(0,75 - 0,06) \cdot 0,8} = 2,51 \text{ МПа}$$

Для вибору гідроапаратури обчислене значення P_1 збільшується в 1,5 рази.

Приблизно на цей тиск випробовують систему гідропідпору.

Тоді $P_1 = 1,5 P_1 = 1,5 \cdot 2,51 = 3,765 \text{ МПа}$

Приймаємо $P_1 = 4 \text{ МПа}$

Питомий тиск на підшипник:

$$P = \frac{R_{\max}}{F} = \frac{1387 \cdot 10^{-3}}{1,156} = 1,19 \text{ МПа}$$

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

Визначимо найменшу товщину масляного шару в підшипнику.

Визначимо допоміжну величину “ K_0 ”.

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

де $\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{3,14 \cdot 15,9}{30} = 1,73 \text{ с}^{-1}$ -кутова швидкість цапфи.

D – діаметральний зазор у підшипнику.

Приймається мастило ИРП-75 (ТУ 38101286-75), для якого середнє значення

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

Для діаметра $d = 1800 \text{ мм}$ при посадці $\frac{H_8}{h_8}$ мінімальний діаметральний

зазор $\Delta = 0,26 \text{ мм}$

Тоді по формулі

$$K_0 \frac{1,19}{4 \cdot 10^{-8} \cdot 1,73} \left(\frac{0,26}{1800} \right)^2 = 0,25$$

При $\frac{b}{d} = \frac{750}{1800} = 0,38$ і $K_0 = 0,25$

Коефіцієнт K_h приймаємо $K_h = 0,25$.

Найменша товщина масляного шару в підшипнику

$$h_{\min} = K_h \cdot \Delta = 0,25 \cdot 0,26 = 0,065 \text{ мм}$$

На випадок непередбаченого перевантаження однієї з опор (наприклад, при нерівномірному засипанні куль у млин) призначаємо висоту гідропідпору в 1,5 рази більше, тобто

$$h = 1,5 \cdot h_{\min} = 1,5 \cdot 0,065 = 0,1 \text{ мм}$$

Зазор в опорі можна розглядати як дросель тертя, для якого

$$G = \frac{P_r}{R},$$

де G – витрата масла, $\text{м}^3/\text{хв}$.

R – опір опори

При подачі мастила в кармани і витіканні його в обидва боки по осі підшипника

$$R \cong 0,51 \cdot 10^{-9} \frac{\mu(b - b_1)}{h^3 \cdot l_1}$$

$$\text{Тоді } R = 0,51 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{40 \cdot (70 - 6)}{(10 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 80} = 0,016$$

Витрата мастила на один підшипник:

$$G = \frac{80}{0,016} = 5000 \text{ м}^3/\text{хв} = 5 \text{ м}^3/\text{хв}$$

5.2.3 Розрахунок на міцність цапфи млина

Як показала практика експлуатації кульових млинів, небезпечним перетином днищ є місце переходу циліндричної частини (цапфи) у конічну (власне днище), де можуть бути сховані ливарні пороки.

Вигинаючий момент у перетині А-А дорівнює

$$M_{зг} = R_B \cdot x - \frac{q_3 \cdot l_5^2}{2} - q_3 \cdot l_5 \cdot x - \frac{q_3 \cdot x^2}{2} = 1387 \cdot 0,2 - \frac{131,8 \cdot 1^2}{2} - 131,8 \cdot 1 \cdot 0,2 - \frac{131,8 \cdot 0,2^2}{2} = 182,5 \text{ кН}$$

Приведений момент $M_{пр}$ визначається з рівняння

$$M_{пр} = \sqrt{M_{зг}^2 + M_{кр}^2} = \sqrt{182,5^2 + 1849,7^2} = 1856 \text{ кНм}$$

Напруга від вигину цапфи буде дорівнювати

$$\sigma_{зг} \frac{M_{пр}}{W} = \frac{1856000}{0,219} = 8474885,85 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 8,47 \text{ МПа}$$

де W -момент опору вигину;

$$W = 0,8 \frac{R_3^4 - R_B^4}{R_3} = 0,8 \frac{0,9^4 - 0,8^4}{0,9} = 0,219 \text{ м}^3$$

де

R_3 -зовнішній діаметр цапфи, м;

R_B -внутрішній діаметр цапфи, м.

При розрахунку цапфи напруга, що допускається, приймається не вище 20 МПа.

5.2.4 Розрахунки, які підтверджують працездатність машини

Як розрахунок, що підтверджує працездатність машини приведемо розрахунок довговічності підшипників редуктора додаткового привода.

У редукторі встановлені підшипники з короткими циліндричними роликами, тому формула визначення еквівалентного навантаження P буде мати такий вигляд:

$$F = V \cdot R \cdot K_6 \cdot K_T$$

де

V -коефіцієнт обертання кільця підшипника; $V=1$, тому що обертається внутрішнє кільце.

R -навантаження на підшипник, Н

K_6 -коефіцієнт безпеки; $K_6=1,5$

K_T -температурний коефіцієнт; $K_T=1$

Розрахункова довговічність L визначається по формулі:

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

де

C -динамічна вантажопідйомність, Н

p -степенний показник; $p=10/3$

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

Визначимо величину еквівалентного навантаження і розрахункову довговічність L_h для підшипників вхідного вала.

Підшипники вхідного вала

Тип-2328 середня серія діаметрів, $C=385000$ Н

Навантаження на підшипник $R_1=70000$ Н

Підставляючи дане значення в формулу отримаємо:

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

Визначимо величину довговічності підшипника L , по формулі:

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

Приймаємо $L=26000$ годин

5.3 Розрахунки модернізації

5.3.1 Розрахунок параметрів бронеплити

Для бронеплит немає чітких стандартів, зазвичай їх розробляють експериментальним шляхом, чи маючи досвід у їх розробці.

Проведемо розрахунки розмірів бронеплити для нашого млина.

N – кількість отворів по окружності барабану млина;

D – внутрішній діаметр млина;

C – довжина окружності барабану;

K – коефіцієнт для розрахунку товщини млина;

T – товщина плити;

A – розмір сторони плити;

Стандартно бронеплити мають квадратну форму, тому будемо шукати її сторону.

Розраховуємо сторону плити.

Для цього визначимо довжину окружності барабану:

$$C = \pi \times D = 3.14 \times 3970 = 12466 \text{ мм}.$$

Ділимо її на кількість отворів під болти для закріплення

$$A = \frac{C}{N} = \frac{12466 \text{ мм}}{30} = 415,53 \text{ мм}$$

Беремо 415 мм, оскільки за модернізацією утворені зазори закупорюються подрібненим матеріалом.

Розраховуємо товщину плити.

Зазвичай товщина плити 40-100 мм, але це залежить від режиму роботи та фізико-хімічних властивостей матеріалу. Млин мелить клінкер у каскадно-водоспадному режимі і при високій температурі в 200*С мелить крінкер, що є абразивним матеріалом.

Для розрахунку товщини плити використаємо формулу:

$$T = k \times \sqrt{D}$$

Для k візьмемо 0.03 – коефіцієнт для інтенсивної роботи з абразивним матеріалом. D – діаметр барабану млина у метрах (м).

$$T = 0.03 \times \sqrt{4} = 60_{\text{мм}}$$

Отже ми маємо бронеплиту зі стороною 415мм і товщиною 60мм. Оскільки у патенті відсутні конкретні дані – інші параметри плити будуть підбиратися довільно і будуть вказані у кресленнях.

5.3.2 Розрахунок модернізації у програмі ANSYS

А) Розрахунок для базової моделі модернізованого вузла

Для розрахунків вузла використаємо програмне забезпечення ANSYS 2020 R1 ACADEMIC, призначене для подібного типу задач. Програмні Модулі, що були використані – Steady-State Thermal та Static Structural. Створюємо схему проекту Steady-State Thermal та Static Structural



Рис. 5.3.2.1 – створення вузлів Steady-State Thermal та Static Structural

Модель була створена у програмному забезпеченні SOLIDWORKS 2023 та експортована у формат STEP.

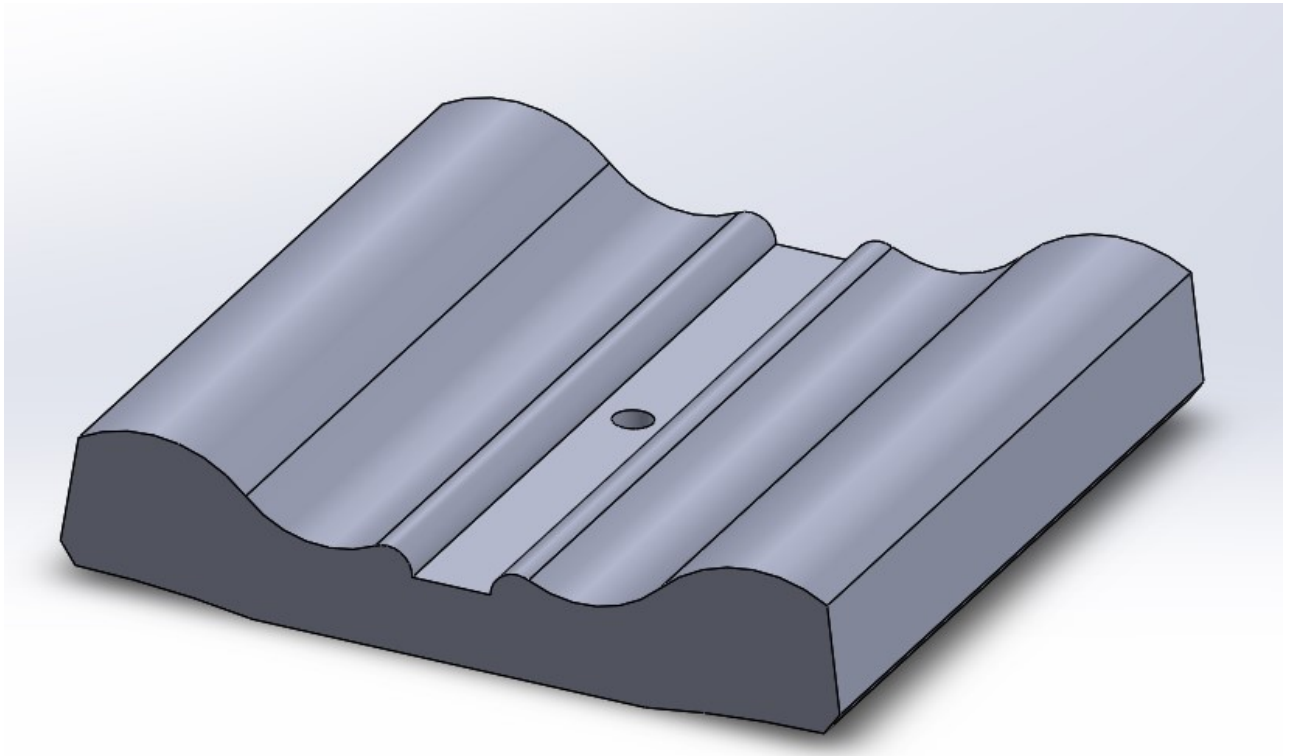


Рис. 5.3.2.2 – модель футерівки патенту [5] як базової моделі

Імпортуємо модель у Steady-State Thermal у вкладку Geometry. Далі налаштовуємо температуру і матеріал футерівці у вкладці Solution. Оскільки вона використовується у подрібненні клінкеру, виставляємо температуру 200*С та обираємо низьколеговану сталь, вона міцна, зносостійка і витримує необхідні температури.

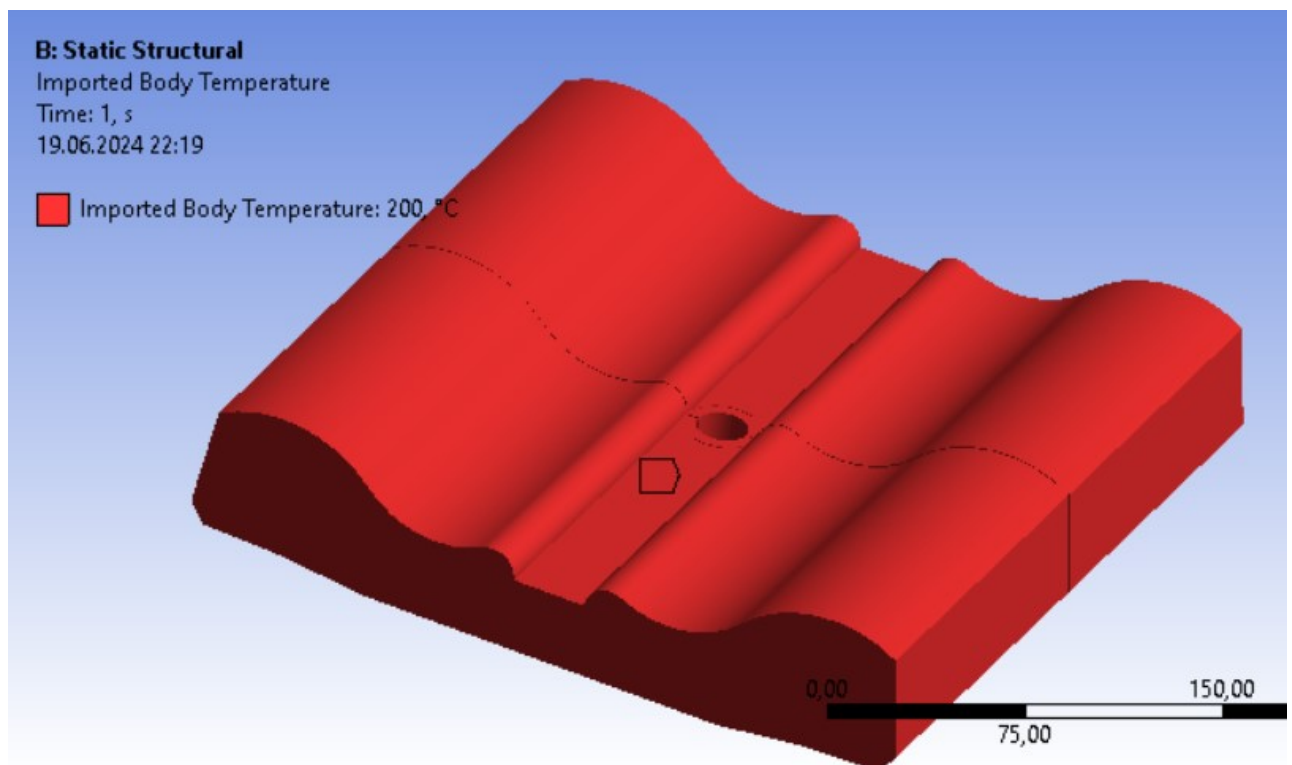


Рис. 5.3.2.3 – Задання температури плиті футерівки.

Поєднуємо вихідні дані зі Steady-State Thermal до Static Structural

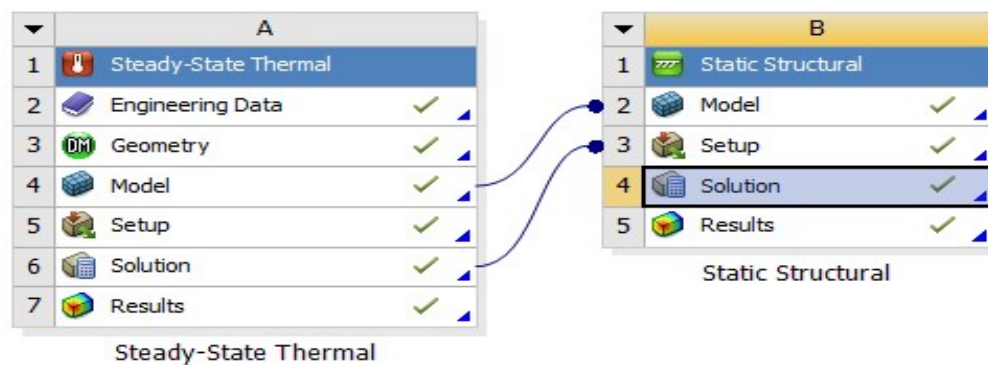


Рис. 5.3.2.4 – Встановлений зв'язок між Steady-State Thermal і Static Structural

У Static Structural у вкладці Model задаємо закріплення та прикладені сили.

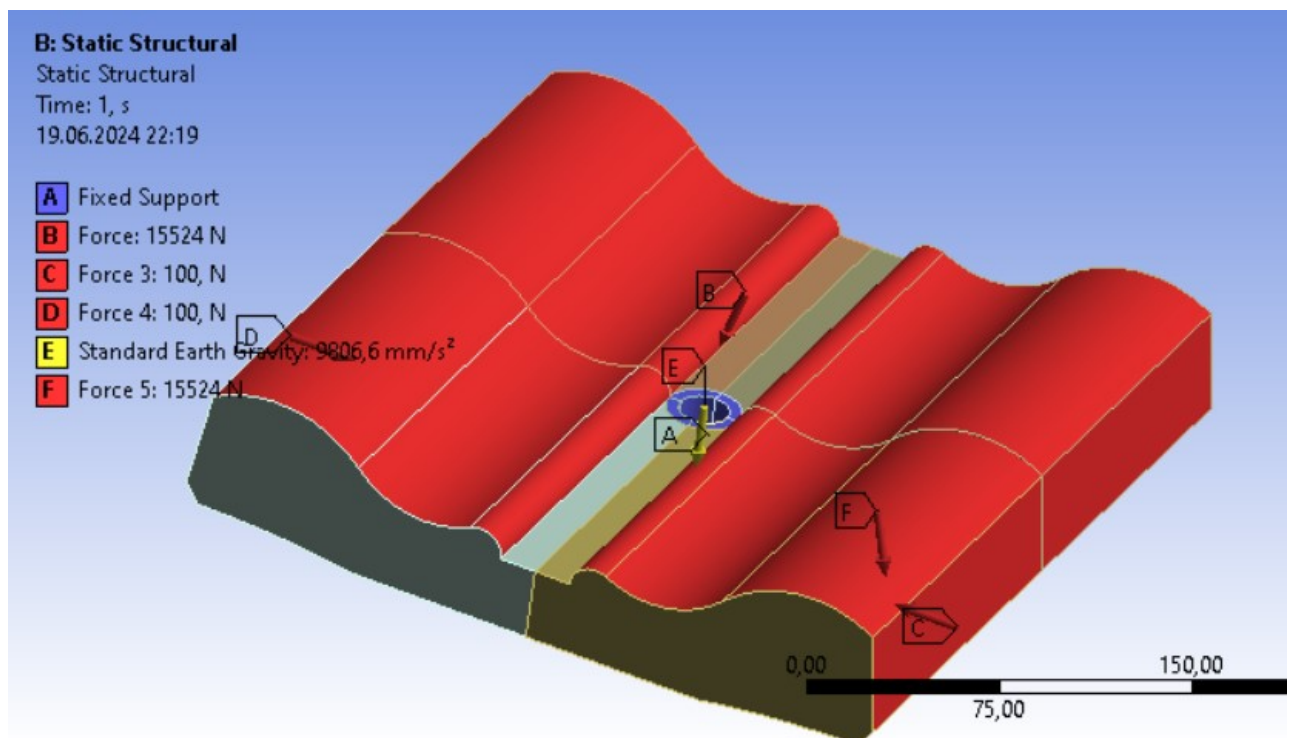


Рис. 5.3.2.5 – Наглядний показ заданих закріплень та сил

Далі переходимо у вкладку Solution. Тут додаємо показники, які б ми хотіли бачити: Total Deformation, Equivalent Elastic Strain, Equivalent Stress та Safety Factor. Після цього командою Solve розраховуємо тіло.

З отриманих результатів основними для оцінки бронеплити є загальні деформації (Total Deformation) та запас міцності (Safety Factor).

Спочатку потрібно оцінити бронепластину на механічні характеристики. Запас міцності (Safety Factor) корисний для визначення того, чи зруйнується деталь і де конкретно. Для того, щоб це визначити потрібно, щоб коефіцієнт на цьому розрахунку був більше ніж 0,3 ($k > 0,3$).

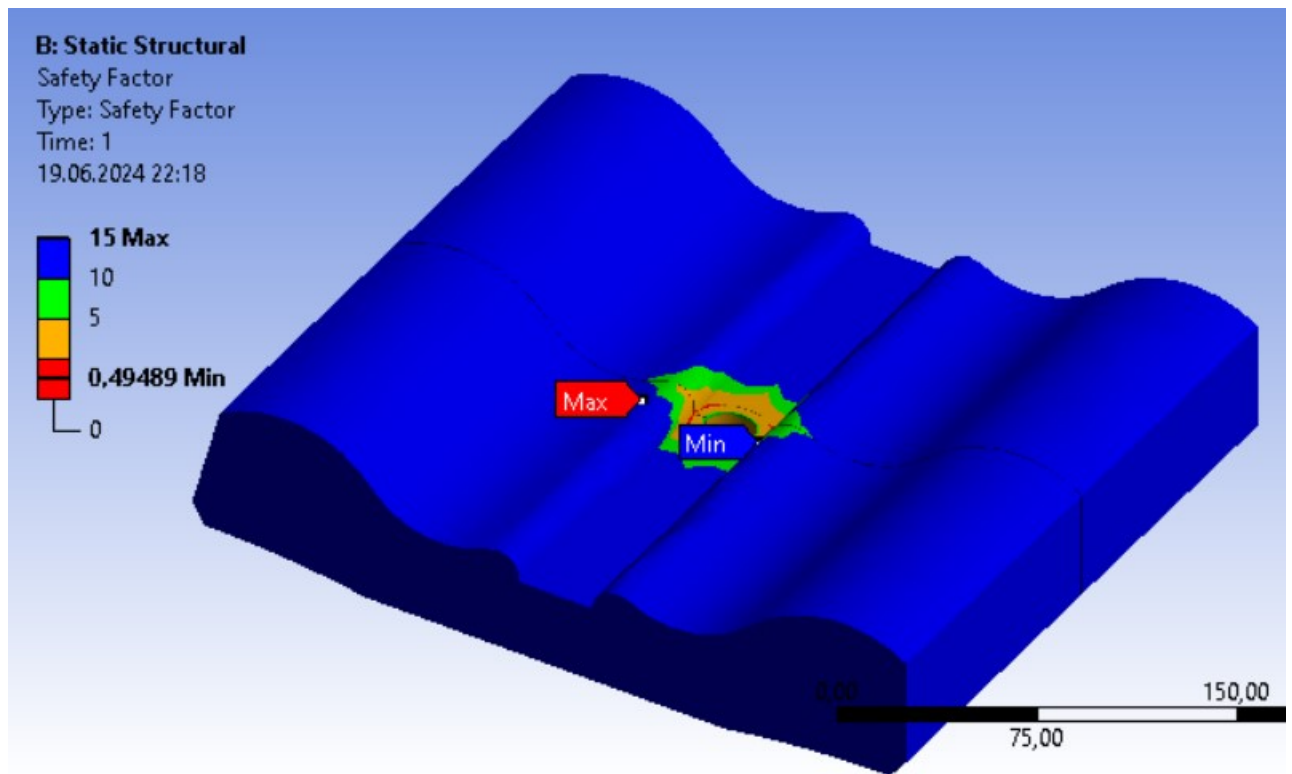


Рис. 5.3.2.6 – результат розрахунку запасу міцності

Завдяки розрахунку видно, що коефіцієнт запасу міцності задовільний, тобто більший ніж 0,4. Це говорить про те, що деталь не зламається при експлуатації. Далі потрібно поглянути на результат загальних деформацій (Total Deformation), який покаже де знаходяться найбільш навантажені зони та їх розмір.

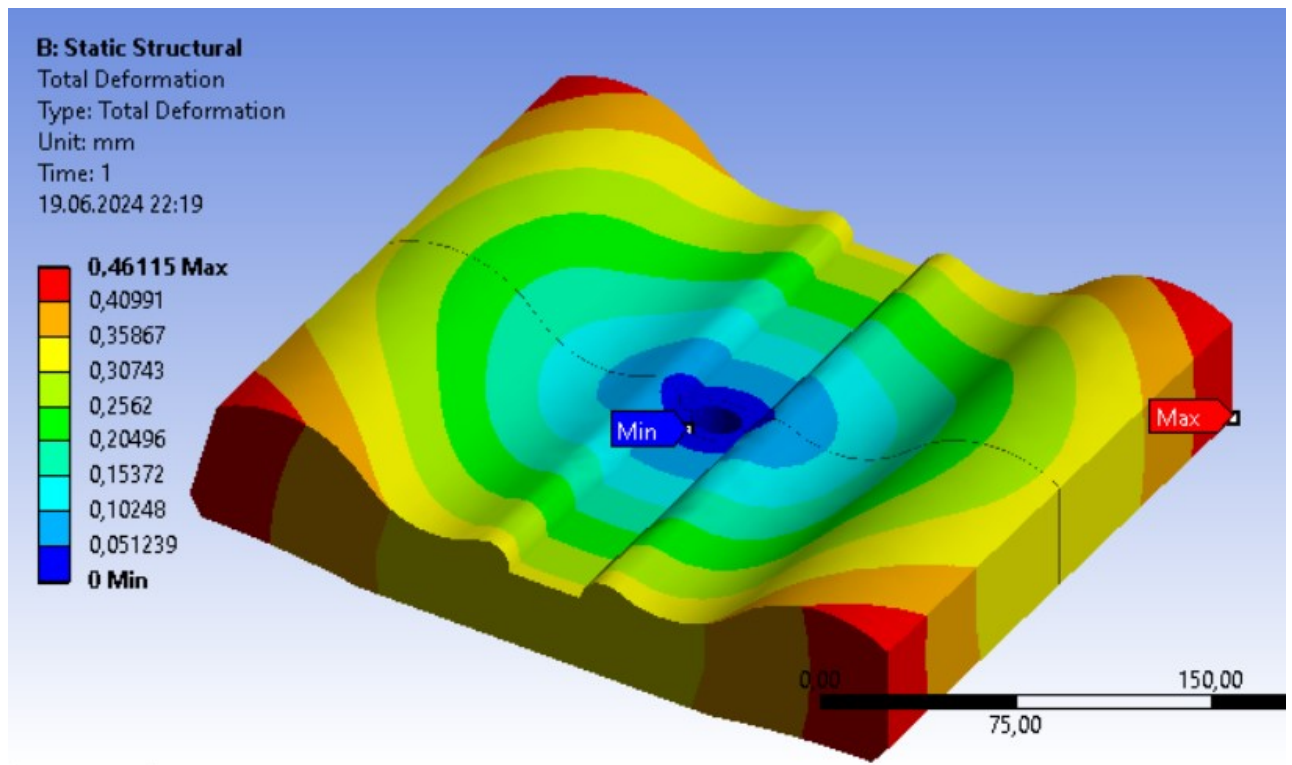


Рис. 5.3.2.7 – результат розрахунку загальних деформацій

З результату видно, що найбільш навантажені краї плити, що завжди труться об сусідні плити. Також при високих температурах може збільшуватись об'єм, що викличе ще більші навантаження.

Б) Розрахунок модернізованої деталі

Повторюємо дії, що були виконані у минулому підпункті для модернізованої деталі.

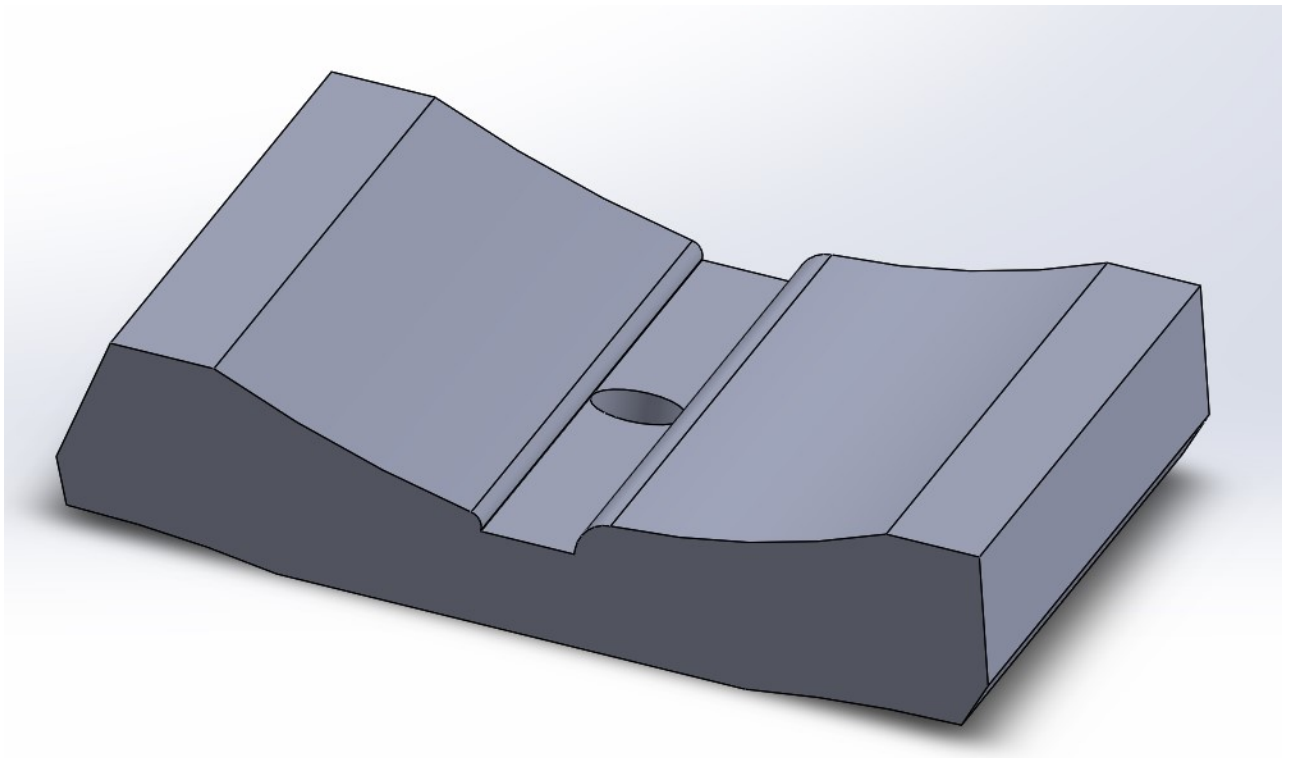


Рис. 5.3.2.8 – модель футерівки модернізованої,

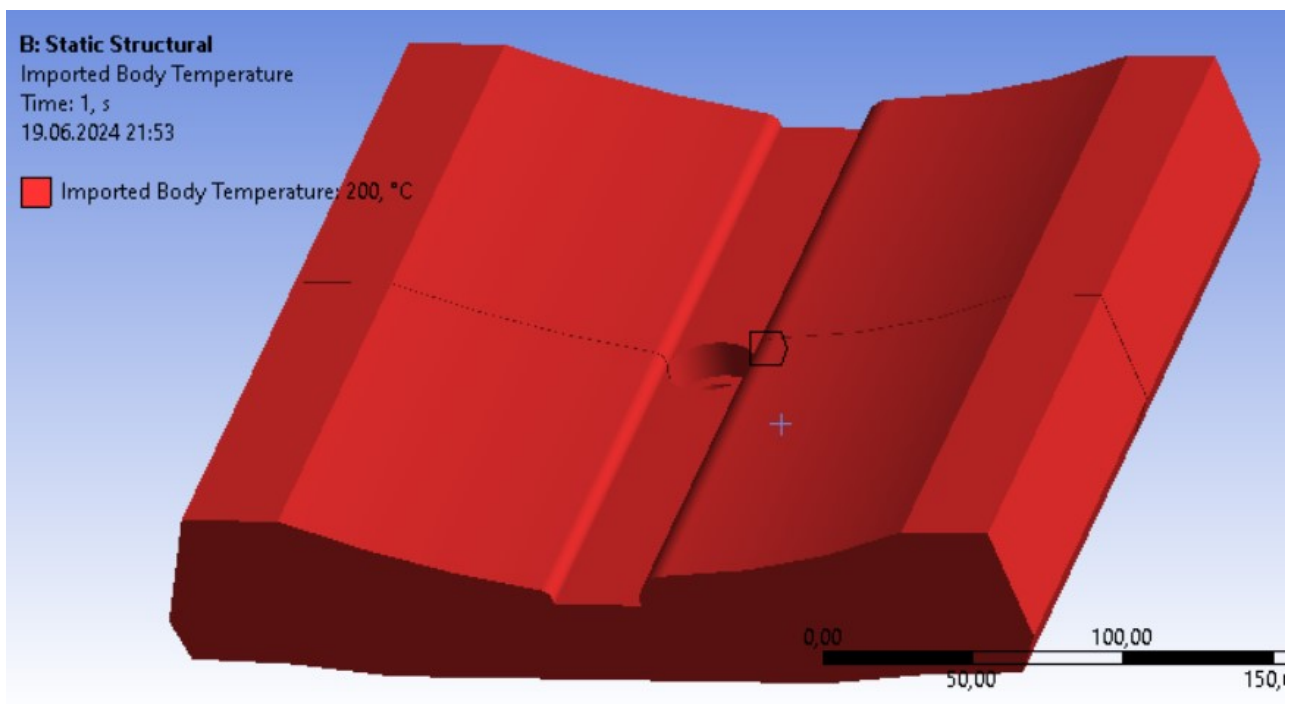


Рис. 5.3.2.9 – Задання температури плиті футерівки.

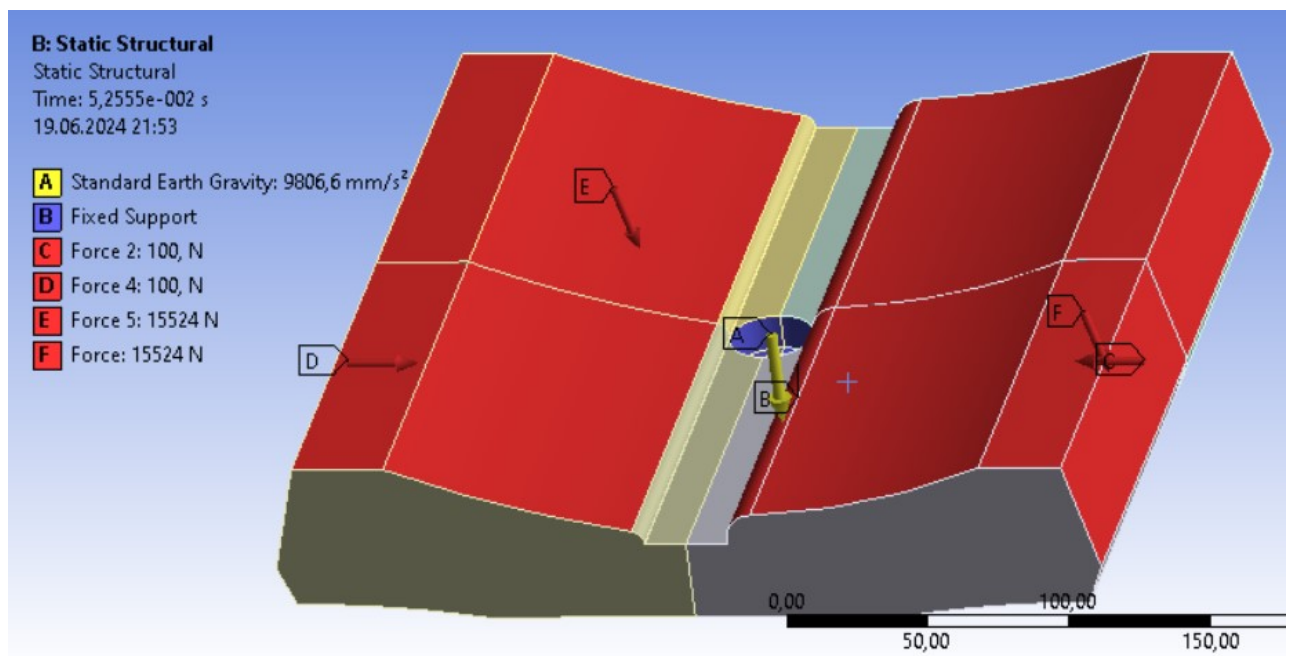


Рис. 5.3.2.10 – Наглядний показ заданих закріплень та сил

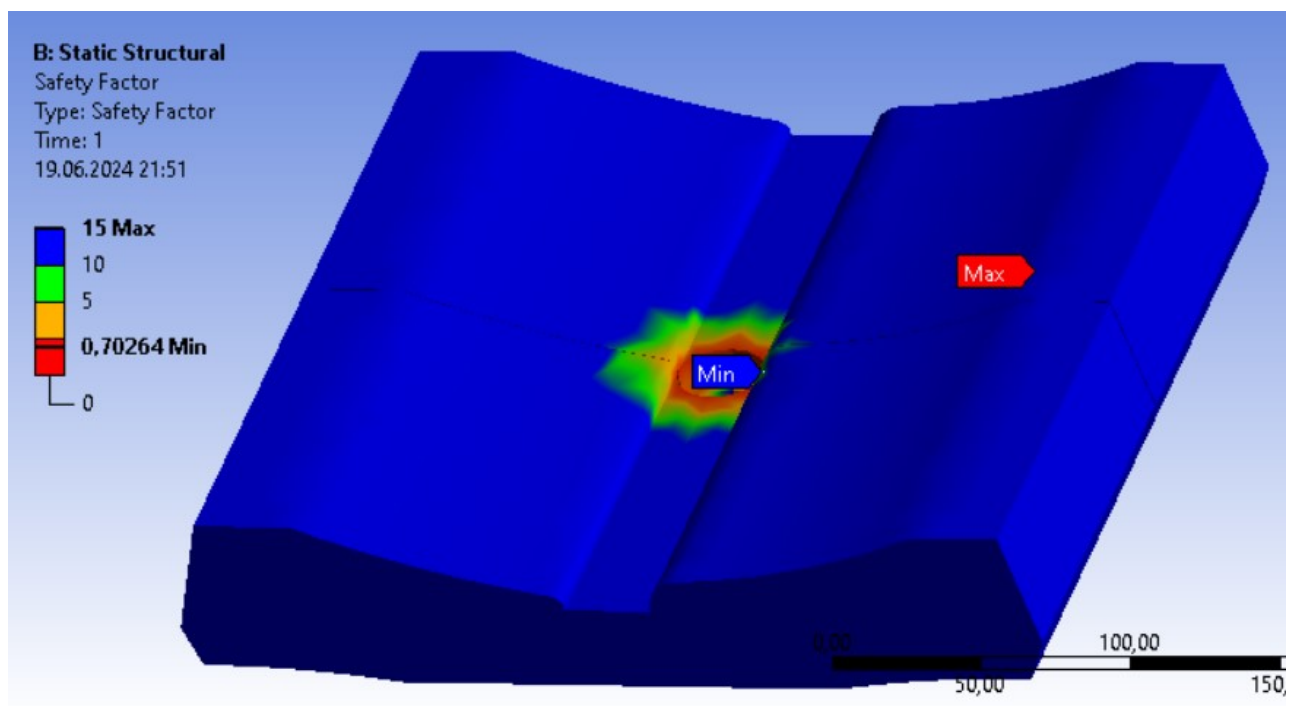


Рис. 5.3.2.11 – результат розрахунку запасу міцності

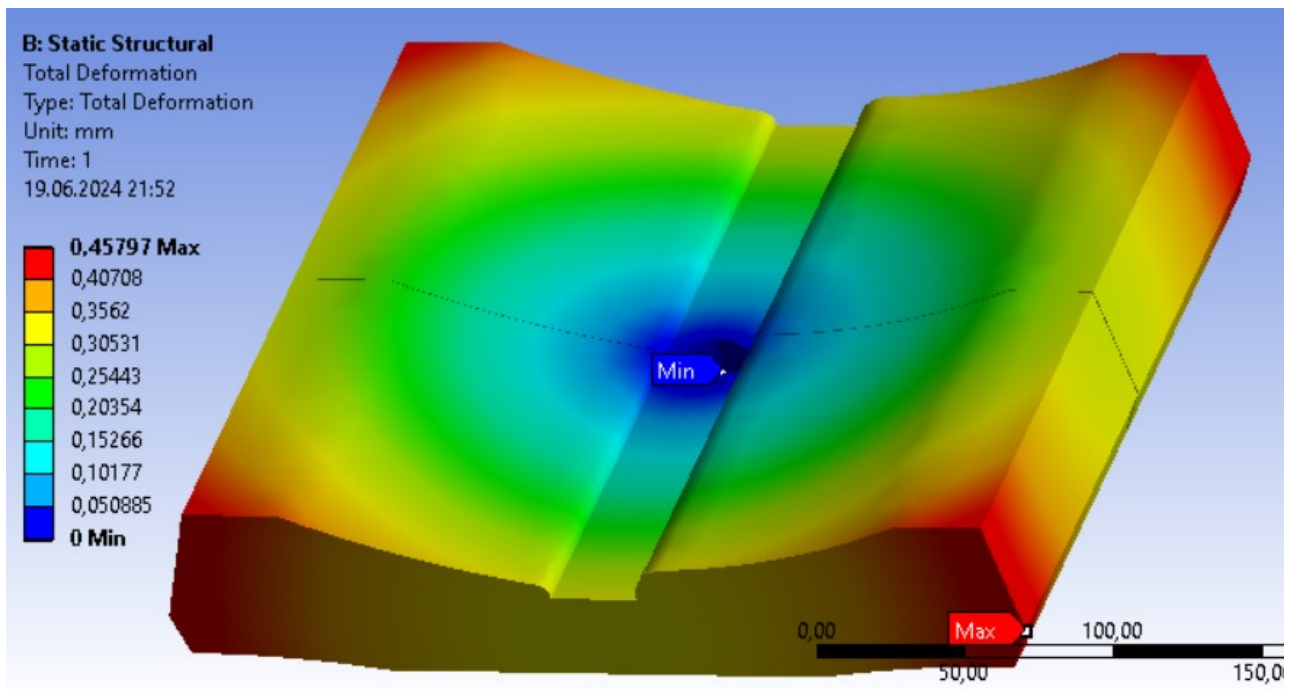


Рис. 5.3.2.12 – результат розрахунку загальних деформацій

З результатів запасу міцності ми бачимо, що модернізована бронефутерівка набагато міцніша і найбільший знос може відбутись тільки в області заглиблення шапки болта. (Рис. 5.3.2.11)

Також завдяки своїй формі футерівка краще прилягає до внутрішньої поверхні млина, збільшуючи площу робочої поверхні та зменшуючи частоту обслуговування млина, що збільшує час його роботи і тим самим збільшує продуктивність.

6 Охорона праці

7 Технологія Машинобудування

8 Загальні висновки

Метою даної роботи була модернізація барабану трубного млина. Для цього були проведені наступні етапи:

Спочатку було виконано детальне ознайомлення з базовою конструкцією, принципом її роботи. Інформація, що була отримана в ході розгляду, була використана при виборі патенту модернізації.

Проведено огляд літератури та патентів. Було розглянуто різноманітні способи вдосконалення барабану трубного млина. В результаті було обрано ефективну зміну у конструкцію та остаточно доведено напрямки модернізації.

Проведено ознайомлення з сучасними нормами та стандартами, що стосуються охорони праці та техніки безпеки.

На основі цього було складено техніку безпеки при використанні трубного млина.

Отже розроблена машина є повністю працездатною і більш вигідною для її експлуатації. Вдосконалена конструкція дозволяє зменшити знос внутрішньої поверхні барабана, рівномірно розподіляє ударні навантаження на бронеплити футеровки від падаючих куль і подрібнюваного матеріалу та сильно підвищує ефективність подрібнення матеріалу і термін служби бронефутеровки.

Перелік посилань

1. ГОСТ 8.417-81/СТВ 1052-781. Державна система забезпечення єдності вимірів. Одиниці фізичних величин.
2. ГОСТ 2.105-79 ЕСКД. Загальні вимоги до текстових документів.
3. ГОСТ 2.106-68 ЕСКД. Текстові документи.
4. Мікульонок І. О. Механічні та гідромеханічні процеси, апарати і машини хімічної технології: Практикум : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 174 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41037>
5. Щербина, В. Ю., Іваненко, О. І., Сокольський, О. Л., & Васильченко, Г. М. (2023). Використання технології регенерації тепла для підвищення теплової ефективності обертових печей. *Вісник НТУУ “КПІ імені Ігоря Сікорського”*. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження, (3), 41–51. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.3.2023.288247>
6. Пат. України №545 U, Бронефутерівка барабанного млина, Санакулов Куvandік, UZ, Гапонов Генадій Андреев, UZ, Калініченко Віктор Еріховіч, UZ, Степіна Ала Іллівна, Степін Костянтин Миколайович, Беляєва Лариса Іванівна;
7. Пат. України №1165 U, Футеровка барабанних млинів, Степіна Алла Іллівна (UA); Борисов Юрій Миколайович (UA); Берізка Дмитро Степанович (UA); Підберезний Микола Петрович (UA); Ступак Анатолій Петрович (UA); Бродський Сергій Сергійович (UA); Салацинський Едуард Стефанович (UA); Денисов Віталій Васильович (UA); Шаповал Григорій Якович (UA); Князіва Людмила Олексіївна (UA); Біляєва Лариса Іванівна (UA);
8. Пат. України №10392 U, Бронефутерівка барабанного млина, Петров Андрій Генадійович (UA); Токарев Олександр Олексійович (UA); Мартиненков Сергій Леонідович (UA);

9. Пат. України №11356 , Бронефутерівка барабанного млина, Шпирок Дмитро Макарович (UA); Богатиренко Віталій Іванович (UA); Рибалка Віталій Якович (UA); Аніщук Анатолій Федорович (UA);
- 10.Щербина В.Ю., Швачко Д.Г. "Вплив теплоізоляції футерівки на теплообмін обертових апаратів". *Вісник НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»*. Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2022. №2(21). с. 22-33. DOI: <https://doi.org/10.20535/2617-9741.2.2022.260342>
- 11.Мікульонок І.О. Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв: підручник. Київ: НТУУ «КПІ», 2010. 412 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/2061>
- 12.Методичні вказівки по розробці розділу «Охорона праці» дипломних проектів для машинобудівних спеціальностей / Склад.: І.А. Фоменко, І.Н. Ковтун, В.І. Полукарев, А.С. Матучевич. – К.: КПІ – 1990, - 50с.
- 13.Доброногов В.Г, Мікульонок І.О. Конструювання опорних вузлів хімічних апаратів і перевірка несучої спроможності обичайок на дію опорних навантажень: Навчальний посібник. Київ: НМК ВО, 1995. 184 с.
- 14.Доброногов В. Г., Мікульонок І. О. Застосування корозійностійких, жаростійких, жароміцних сталей і сплавів у хімічному машино- та апаратобудуванні: навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2011. 264 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37716>
- 15.Щербина В.Ю., Гондляр О.В., Сівецький В.І. Іжиніринг інноваційних технологій та обладнання. Механічне обладнання для виробництва в'язучих будівельних матеріалів [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2022. – 147 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45720>
- 16.Мікульонок І.О. Інтелектуальна власність та патентознавство : навч. посіб. 4-те вид., переробл. та доповн. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2023. 236 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/60663>

Додатки