

**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 проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг пакувань та пакувального обладнання»

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: Лінія для виготовлення цементу з модернізацією стрічкового транспортера

Студент групи IV к, ЛУ-11
(шифр групи)

Лук'яненко Андрій Тарасович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник проєкту:

Старший викладач Борщик С.О.
(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 проєкті
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ 2025 рік

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – *131 Прикладна механіка*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Олександр СОКОЛЬСЬКИЙ**

«_____» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Лук'яненко Андрія Тарасовича

1. Тема проєкту «Лінія для виготовлення цементу з модернізацією стрічкового транспортера», керівник проєкту Борщик Сергій Олександрович, старший викладач, затверджені наказом по університету від 20.05.2025 р. № 1653-с

2. Термін подання студентом проєкту 17.06.2025р.

3. Вихідні дані до проєкту: максимальний розмір частинок – ≤ 80 мм; розрахункова продуктивність – 75 т/год; час роботи транспортера на добу – 9 годин; робоча швидкість стрічки – 1,2 м/с; загальна довжина транспортера – 8 м; висота підйому матеріалу – 1 м; насипна щільність вантажу – $0,8 \text{ т/м}^3$; коефіцієнт внутрішнього тертя матеріалу – 0,8.

4. Зміст пояснювальної записки: Вступ, Призначення та сфера застосування стрічкового транспортера у цементному виробництві, Технічна характеристика транспортера, Опис конструкції, принципу дії та основних вузлів, Літературно-патентний аналіз сучасних рішень щодо роликоопор, Обґрунтування обраного варіанту модернізації роликоопори, Питання охорони праці, Висновки за результатами досліджень та проєктування.

5. Перелік графічного матеріалу: 1. Компоновочна схема лінії для виготовлення цементу. 2. Загальний вигляд стрічкового транспортера з модернізованими опорами. 3. Креслення вузла стандартної (немодернізованої) роликоопори. 4. Креслення вузла модернізованої роликоопори. 5. Плакат 3D-моделі базової та модернізованої конструкції. 6. Плакат із результатами числового аналізу базового та оновленого вузлів.

6. Консультанти розділів проєкту:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
МОДЕРНІЗАЦІЯ	проф., Щербина В. Ю.		
ТЕХ. МАШИНОБУД.	ст., викл., Борщик С. О.		
ОХОРОНА ПРАЦІ	ст., викл., Ковтун А. І.		

7. Дата видачі завдання 27.05. 2024 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Вступ. Обґрунтування призначення та сфери використання стрічкового транспортера в цементному виробництві	27.05.25-28.05.25	
2	Аналіз технічних параметрів стрічкового транспортера та умов його експлуатації	29.05.25-30.05.25	
3	Вивчення конструкції, опис функціональних вузлів і принципу дії транспортного обладнання	31.05.25-01.06.25	
4	Огляд джерел і патентів з метою вибору варіанту модернізації роликотпор	02.06.25-03.06.25	
5	Розрахунки стрічкового транспортера, які підтверджують його працездатність	04.06.25-05.06.25	
6	Охорона праці	06.06.25-07.06.25	
7	Технологія машинобудування	08.06.25-11.06.25	
8	Підготовка фінальної версії пояснювальної записки, графічної частини	12.06.25-15.06.25	

Студент

Андрій ЛУК'ЯНЕНКО

Керівник проєкту

Сергій БОРЩИК

РЕФЕРАТ

У дипломному проєкті розглянуто питання розробки та вдосконалення технологічної лінії для виробництва цементу, зокрема її транспортної частини — стрічкового транспортера. У виробничих умовах підприємств будівельної галузі транспортування матеріалів є критично важливим етапом, що впливає на загальну ефективність і стабільність технологічного процесу.

Стрічкові транспортери займають одне з провідних місць серед обладнання для переміщення сипучих матеріалів на промислових підприємствах. Вони забезпечують безперервне, рівномірне та контрольоване переміщення сировини, що є особливо важливим у виробництві цементу, де необхідно дотримуватись точних параметрів подачі та змішування компонентів.

З огляду на сучасні тенденції в механізації та автоматизації виробництва, виникає потреба у модернізації існуючих стрічкових транспортерів. У рамках даного проєкту було запропоновано оновлену конструкцію транспортера з удосконаленням його опорних елементів, що дозволяє підвищити надійність, зменшити зношування та втрати енергії при роботі обладнання.

У роботі виконано техніко-економічне обґрунтування необхідності модернізації, розроблено оновлену конструкцію стрічкового транспортера, визначено основні технічні параметри та проведено розрахунки на міцність. Результати дослідження підтверджують доцільність запропонованих технічних рішень та їх позитивний вплив на ефективність виробничого процесу.

Ключові слова: цемент, виробнича лінія, стрічковий транспортер, модернізація, транспортування, удосконалення конструкції, технічні розрахунки.

ABSTRACT

This diploma project focuses on the development and improvement of a production line for cement manufacturing, particularly its conveying component — the belt conveyor. In industrial settings, especially in the construction materials sector, the transportation of materials plays a vital role in ensuring the efficiency and continuity of the production process.

Belt conveyors are among the most widely used equipment for handling bulk materials in industrial operations. They provide continuous, uniform, and controlled movement of raw materials, which is crucial in cement production where precise dosing and mixing parameters must be maintained.

Considering current trends in industrial automation and technological advancement, the need for modernizing existing belt conveyors has become increasingly relevant. This project proposes a redesigned conveyor structure with enhanced support components, aimed at improving reliability, reducing wear and tear, and minimizing energy losses during operation.

The work includes a technical and economic justification for the modernization, the development of an improved conveyor design, the definition of key technical parameters, and structural strength calculations. The findings confirm the feasibility and effectiveness of the proposed solutions and their positive impact on production efficiency.

Keywords: cement, production line, belt conveyor, modernization, material handling, structural improvement, technical calculations.

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ

a' – максимальний розмір частинок транспортувального вантажу

B – номінальна ширина стрічки транспортера.

$D_{\delta 0}$ – діаметр відхиляючого барабана.

D_{δ} – діаметр головного (привідного) барабана.

$D_{\delta n}$ – діаметр натяжного барабана.

F_o – тягове (окружне) зусилля на приводному барабані транспортера.

F_0 – тягове зусилля на приводному барабані.

f_1 – коефіцієнт зовнішнього тертя.

f – коефіцієнт тертя між поверхнею стрічки та барабаном.

g – прискорення вільного падіння.

H – висота, на яку підіймається матеріал.

h_{δ} – висота вантажу у лотку.

I_p – інерційний момент ротора.

i_n – необхідне передатне число між валом двигуна та валом приводного барабана.

i – кількість прокладок каркасу.

i_p – стандартне передатне число редуктора.

I_p – момент інерції ротора.

K_{Π} – коефіцієнт поперечного перерізу вантажу на стрічці .

K_{β} – коефіцієнт, що враховує зменшення перерізу вантажу на похилій ділянці внаслідок часткового скочування вантажу у бік, протилежний руху.

k' – коефіцієнт, що залежить від міцності стрічки.

k'' – коефіцієнт призначення барабана.

k_{Π} – коефіцієнт збільшення натягу тягового органу від опору на поворотному пункті (барабан).

L^r – довжина робочої ділянки транспортера.

L_z – горизонтальна проекція довжини транспортної траси.

L_h – загальний хід натяжного пристрою.

L_{Γ}^x – довжина горизонтальної проекції холостої ділянки. W_{zy} – опір при повідомленні вантажу, що надходить по вирві, прискорення стрічки.

l_{λ} – довжина лотка.

L^x – довжина холостої ділянки.

L_{h1} – монтажний хід, компенсує зміну довжини стрічки при її ремонті та перестиковці.

L_{h2} – робочий хід натяжного пристрою, що компенсує витяжку і подовження стрічки при її встановленому русі і пуску транспортера.

L – довжина ходу транспортера.

m_p^p – маса обертових компонентів роликів.

$M_{\text{расч}}$ – розрахунковий момент на валу.

$M_{\text{кр}}$ – розрахунковий момент, що крутить, на валу приводного барабана.

$M_{\text{табл}}$ – табличне значення переданого муфтою моменту.

m_p^x – маса обертових частин роликів.

M_p – номінальне значення моменту на повільнохідному валу редуктора.

H – висота підйому вантажу .

$N_{\text{пред}}$ – попереднє (наближене) значення потужності приводу транспортера.

n_p^p – кількість роликів опор на робочій ділянці.

n_p^x – кількість роликів опор на неодруженій ділянці.

n_{δ} – коефіцієнт бічного тиску.

$[n]$ – запас міцності елемента.

N – потужність на приводному валу транспортера.

n – частота обертання.

N_p – допустиме навантаження на редуктор.

n_p – максимально допустима швидкість на швидкохідному валі.

$[p_{cp}]$ – допустимий середній тиск стрічки на барабан.

p_{cp} – середній тиск, що діє на стрічку в точці контакту з барабаном.

$P_{дв}$ – номінальна потужність електродвигуна.

q_p^p – погонна маса обертових частин роликкоопор на робочій гілці.

Q – розрахункова продуктивність.

q_l – маса одного погонного метра стрічки.

q_p^x – погонна маса обертових частин роликкоопор на холостий гілці.

q_l – погонна маса стрічки.

$q_{г}$ – погонна маса вантажу на стрічці

Q – задана продуктивність транспортера.

$S_{нб}$ – зусилля в галузі, що набігає.

$S_{сб}$ – натяг у гілці стрічки, що біжить з приводного барабана.

S – натяг тягового органу в точці.

S_{max} – максимально допустиме значення натягу.

$S_{НБ}$ – початковий натяг на вхідній ділянці.

v – швидкість переміщення вантажу по стрічці.

V – швидкість переміщення вантажу.

$w_{оч}$ – коефіцієнт опору очисного пристрою, для скребків та плужків.

$W_{зб}$ – опір від тертя вантажу про нерухомі борти направляючого лотка.

$W_{зп}$ – опір від тертя ущільнювальних смуг направляючого лотка про стрічку транспортера.

ω – коефіцієнт опору руху.

ω_0 – узагальнений коефіцієнт опору руху, що включає вплив всіх опорів по довжині траси транспортера.

W – повний опір переміщенню тягового елемента.

X – коефіцієнт, що залежить від якісної характеристики вантажу.

α – кут нахилу транспортера.

δ_{np} – товщина однієї прокладки тягового каркасу.

δ_{ϵ} – товщина верхньої обклашки.

δ_n – товщина нижньої обклашки.

$e^{f\alpha}$ – тяговий коефіцієнт.

$\eta_{\text{мех}}$ – механічний КПД приводу.

ρ_{II} –насипна щільність вантажу.

ρ – середня щільність стрічкового матеріалу.

$\sigma_{\text{л}}$ – максимально допустиме робоче навантаження однієї тягової прокладки каркаса стрічки.

σ_p – фактична міцність прокладки на розрив.

σ_p – номінальна міцність при розриві тягової прокладки каркасу стрічки обраного типу.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	13
1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ СТРІЧКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА	15
2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА СТРІЧКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА.....	16
3 КОНСТРУКЦІЯ ТРАНСПОРТЕРА, ОСНОВНІ ВУЗЛИ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ	18
4 ЛІТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД ДЛЯ ВИБОРУ ВАРІАНТУ МОДЕРНІЗАЦІЇ РОЛИКООПОР СТРІЧКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА	20
4.1 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ВАРІАНТУ МОДЕРНІЗАЦІЇ РОЛИКООПОРИ.....	21
5 РОЗРАХУНКИ.....	24
5.1 ПАРАМЕТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ ВИБОРУ ТЯГОВОГО ОРГАНУ	25
5.2 РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ НАТЯЖНОГО ПРИСТРОЮ.....	30
5.3 ТЯГОВИЙ РОЗРАХУНОК ТРАНСПОРТЕРА.....	37
5.4 КІНЕМАТИЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРИВОДУ ТРАНСПОРТЕРА.	43
5.5 ПОРІВНЯЛЬНІ РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ МОДЕРНІЗОВАНИХ І НЕМОДЕРНІЗОВАНИХ РОЛИКООПОР ЗА ДОПОМОГОЮ САЕ-СИСТЕМИ	46

					ЛУ11.05368.01-90ПЗ						
Змн.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата	Лінія для виготовлення цементу з модернізацією стрічкового транспортера				Лит.	Лист	Листів
Розроб.	Лук'яненко А.Т										
Перевір.											
Керівник	Борщик								КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ		
Н. контр.											
Затвердив	Сокольський										

5.6	ПАРАМЕТРИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ВИБОРУ ТЯГОВОГО ОРГАНУ ЗАДОПОМОГОЮ МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ C++.....	53
6	ОХОРОНА ПРАЦІ	55
7	ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ.....	59
7.1	ОПИС ТА ПРИЗНАЧЕННЯ ДЕТАЛІ.....	59
7.2	РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННІ ДЕТАЛІ.....	60
7.3	ВИБІР ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ.....	70
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	71
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	73
	ДОДАТКИ.....	74
	ДОДАТОК А ТАБЛИЦЯ РОЗГЛЯНУТИХ ПАТЕНТІВ.....	74
	ДОДАТОК Б СПЕЦИФІКАЦІЯ ДО ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ.....	77

					ЛУ11.05368.01-90ПЗ				
Змн.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Лук'яненко А.Т.			Лінія для виготовлення цементу з модернізацією стрічкового транспортера	Лит.	Лист	Листів	
Перевір.									
Керівник		Борщик				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ			
Н. контр.									
Затвердив		Сокольський							

ВСТУП

Стрічкові транспортери є невід'ємною частиною сучасних виробничих процесів у різних галузях промисловості, зокрема в цементній, гірничодобувній, будівельній та металургійній. Їх основне призначення — забезпечення безперервного транспортування сипучих і кускових вантажів на визначені відстані. Надійність, висока продуктивність та гнучкість експлуатації таких механізмів дозволяють значно підвищити ефективність виробництва.

Особливу цінність стрічкові транспортери мають у цементній промисловості, де транспортування сировини, напівфабрикатів та готового продукту здійснюється переважно за допомогою конвеєрних систем. Стрічкові механізми здатні працювати як у критих приміщеннях, так і на відкритих майданчиках, що розширює їх функціональні можливості.

Основні переваги таких транспортерів включають відносну простоту конструкції, мінімальні енергозатрати, можливість до автоматизації процесів та низьку вартість обслуговування. Проте, серед недоліків варто зазначити ризик перекосу стрічки, підвищене зношування опорних вузлів, необхідність частого регулювання натягу та чутливість до перевантажень. Зокрема, при запуску обладнання під завалом або у випадку надмірної інерції приводного вузла можуть виникати аварійні ситуації.

Метою даного дипломного проєкту є розробка та технічне удосконалення стрічкового транспортера в межах виробничої лінії з виготовлення цементу. Особлива увага приділяється підвищенню надійності й довговічності конструкції, а також удосконаленню її експлуатаційних характеристик у складних виробничих умовах.

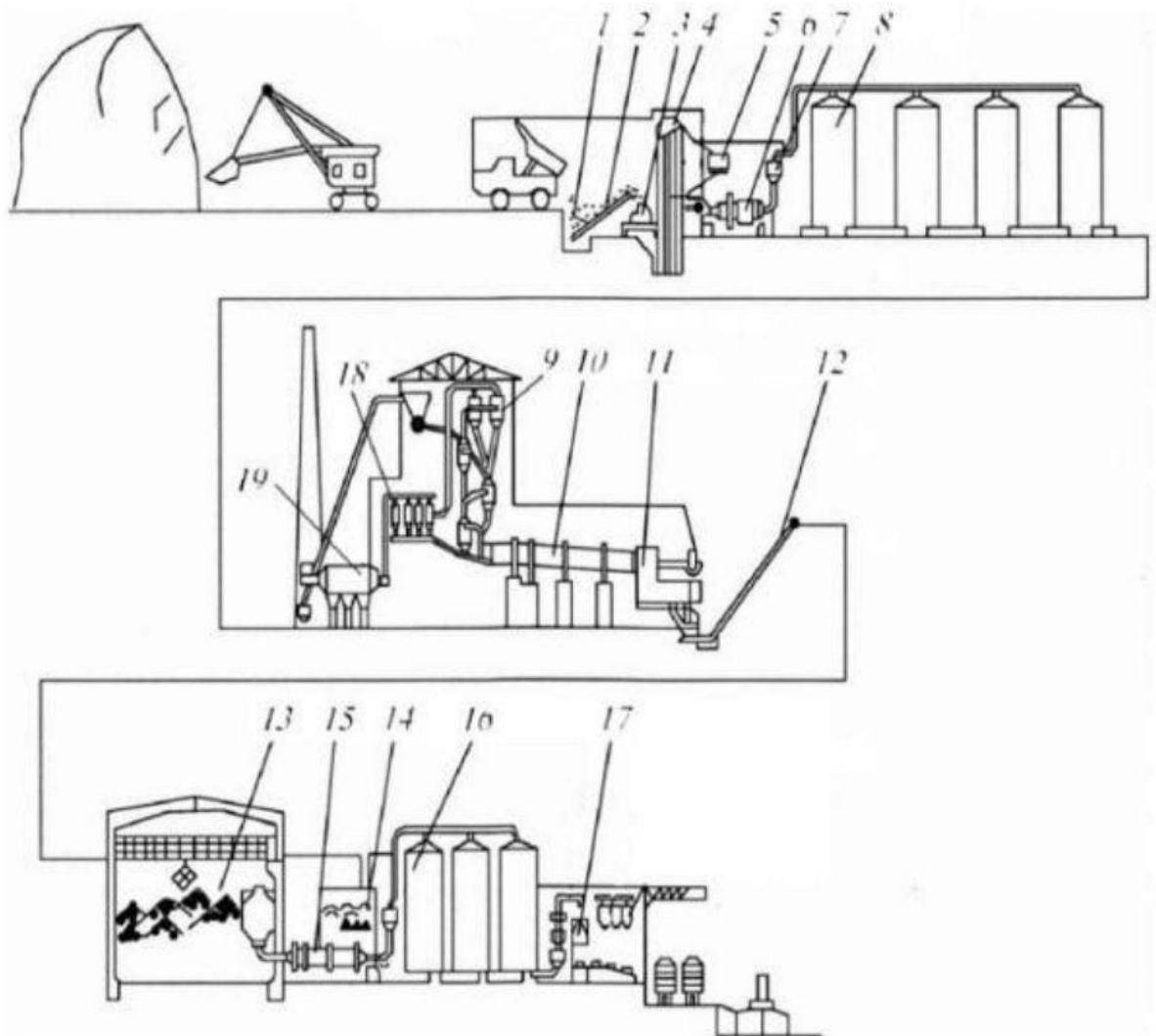


Рисунок 1.1-Технологічна лінія по виробництву цементу сухим способом:

1 - прийомні бункера; 2 - транспортер 3 - дробарка; 4 - конвеєр; 5 - витратні бункера; 6 – трубний млин; 7 - сепаратор; 8 - силоси; 9 - циклонні теплообмінники; 10 - обертова піч; 11 - холодильник; 12 - конвеєр; 13 - склад клінкеру; 14 - склад добавок; 15 - трубний млин; 16 - силосний склад; 17 - пакувальний пристрій; 18, 19 - пилоосаджувальні пристрої

Рисунок 1.1 – Технологічна лінія по виробництву цементу сухим способом.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ СТРІЧКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА

Стрічкові транспортери широко використовуються для переміщення сипких матеріалів, таких як вугілля, руда, щебінь, цементна сировина та готовий цемент. Завдяки своїй універсальності, вони застосовуються в різних галузях: від гірничої промисловості до виробництва будівельних матеріалів. У контексті цементного виробництва вони виконують ключову функцію — забезпечують безперервне транспортування матеріалу між технологічними етапами, починаючи від подачі сировини і завершуючи пакуванням готової продукції.

Основною перевагою стрічкового транспортера є здатність транспортувати вантажі на великі відстані — до 10–12 км — при цьому забезпечуючи рівномірну подачу матеріалу та знижуючи навантаження на інше технологічне обладнання. Завдяки високій швидкості руху стрічки (до 4 м/с) забезпечується значна продуктивність системи.

Транспортери можуть функціонувати як на відкритих майданчиках, так і в закритих приміщеннях, з урахуванням кліматичних та технічних умов об'єкта. У промислових умовах вони комплектуються жолобчастими стрічками, що запобігає просипанню матеріалу, та роликоопорами, які підтримують і направляють стрічку по всій довжині.

Залежно від призначення, стрічкові транспортери поділяються на такі типи:

- За вантажем — для сипучих, кускових або штучних матеріалів;
- За призначенням — універсальні, спеціальні, підземні, наземні;
- За конфігурацією стрічки — з плоскою або жолобчастою формою;
- За геометрією траси — прямолінійні, похилі, криволінійні в плані або профілі.

У цементній галузі транспортери, окрім подачі сировини (вапняк, глина), також використовуються для транспортування клінкеру, домішок та готового порошку. У деяких випадках передбачається герметизація корпусу конвеєра для зменшення запилення виробничих приміщень.

2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА СТРІЧКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА

Стрічкові транспортери є ключовим компонентом технологічних ліній на цементних підприємствах. Їх основне призначення полягає в забезпеченні безперервного та дозованого транспортування сипких матеріалів (вапняк, глина, клінкер, гіпс, цемент) між технологічними вузлами. Висока надійність, адаптивність до умов навколишнього середовища та мінімальні витрати на обслуговування роблять їх незамінними в умовах промислового виробництва.

Основні експлуатаційні характеристики стрічкового транспортера наведено в таблицях 2.1 та 2.2. Конструкція передбачає роботу на відкритому повітрі при високих рівнях пилу, змінній вологості та температурі, що характерно для цементних заводів.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані.

Характер вантажу	Рядовий, сипучий
Максимальний розмір фракцій, мм	80
Розрахункова продуктивність, т/год	75
Рухливість матеріалу	низька
Абразивність	В – помірно абразивний
Умови експлуатації	Відкритий майданчик
Температурний режим, °C	від -20 до +30
Вологість повітря, %	65-90
Пилове навантаження, мг/м³	100-150
Тривалість роботи, год/добу	9
Швидкість стрічки, м/с	1,2
Робоча довжина транспортера, м	8
Висота пійдому, м	1

Таблиця 2.2 – Додаткові дані.

Насипна щільність, т/м ³	0,8
Кут природного укосу (спокій), град	40
Кут природного укосу (рух), град	12
Коефіцієнт зовнішнього тертя по гумі	0,7
Коефіцієнт зовнішнього тертя по сталі	0,6
Коефіцієнт внутрішнього тертя	0,8

Ці параметри лягли в основу конструктивного розрахунку транспортера, його привідної частини, стрічки, опор та системи натягу.

3 КОНСТРУКЦІЯ ТРАНСПОРТЕРА, ОСНОВНІ ВУЗЛИ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ

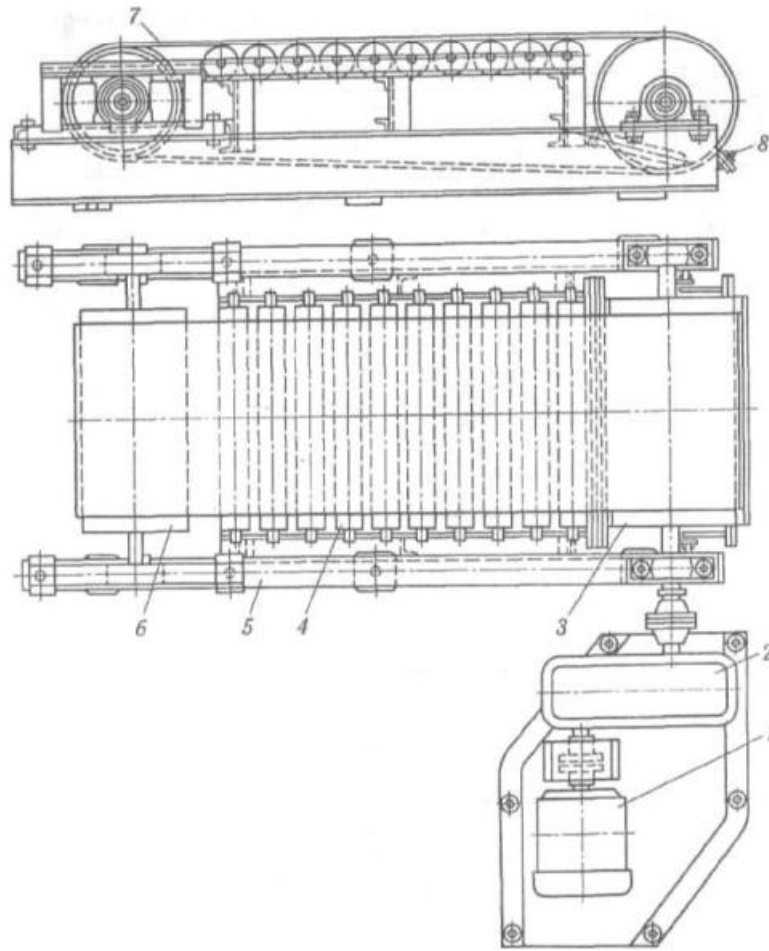
Стрічковий транспортер є ключовим елементом у складі технологічних ліній, призначених для переміщення сипучих матеріалів, зокрема у цементній, гірничодобувній та будівельній галузях. Його основне завдання — забезпечення стабільного, рівномірного та безперервного транспортування матеріалів між окремими ділянками виробництва (рис. 3). Центральною частиною цього обладнання виступає стрічка — еластичний тяговий орган, що може виготовлятися із синтетичних, гумових або металевих матеріалів залежно від умов експлуатації.

У конкретній моделі, що розглядається в проєкті, застосовано транспортувальну стрічку шириною 800 мм, довжина транспортера складає 8 метрів, а швидкість руху становить 1,2 м/с, що дозволяє досягати необхідної продуктивності при роботі з цементною сировиною. Кут підйому транспортера дорівнює $7,13^\circ$, що відповідає заданим умовам вертикального переміщення.

Привідна частина транспортера реалізована за допомогою електродвигуна потужністю 0,55 кВт, який забезпечує частоту обертання валу 700 об/хв. Цей вузол відповідає за передачу зусилля до стрічки та підтримання необхідної швидкості руху вантажу. Завантаження матеріалу відбувається у вхідній зоні транспортера, після чого стрічка переміщує його до кінцевого пункту розвантаження. Завдяки постійному ходу стрічки досягається рівномірність подачі цементної сировини, що особливо важливо в умовах безперервного виробництва.

Завдяки високій пропускній здатності — до 75 т/год — стрічкові транспортери займають провідне місце в системах автоматизованої подачі матеріалів. Їх легко інтегрувати у цифрові системи керування, що дозволяє не лише регулювати швидкість транспортування, а й вчасно реагувати на зміну навантажень чи виникнення несправностей. Надійність та ефективність роботи

стрічкового транспортера є критично важливими факторами для забезпечення безперервної роботи цементної лінії.



1 – електропривід 2 – редуктор 3 – ведучий барабан 4 – опорні ролики 5 – корпус рами 6 – натяжний барабан 7 – робоча стрічка 8 – скребок.

Рисунок 3. 1 – Стрічковий транспортер.

4 ЛІТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД ДЛЯ ВИБОРУ ВАРІАНТУ МОДЕРНІЗАЦІЇ РОЛИКООПОР СТРІЧКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА

З метою вибору оптимального варіанту модернізації роликоопор стрічкового транспортера, що використовується у лінії виготовлення цементу, було проведено аналіз технічної літератури та патентних джерел, що описують сучасні рішення в галузі стрічкових конвеєрів. У дослідженні розглянуто три патенти США, які пропонують різні конструктивні підходи до вдосконалення опорних систем стрічкових механізмів.

Патент US6564932B2

Цей патент описує конструкцію роликоопори з підвищеною зносостійкістю, яка передбачає використання герметизованих підшипникових вузлів та антифрикційного покриття на поверхнях контакту зі стрічкою. Ролики мають спеціальну геометрію, що сприяє автоматичному центрованню стрічки та знижує ймовірність її перекосу під час роботи. Конструкція також передбачає захисні кришки для запобігання потраплянню цементного пилу, що особливо актуально для умов цементного виробництва.

Переваги цього рішення:

- підвищена довговічність роликів;
- зменшення навантаження на стрічку;
- зниження обсягу технічного обслуговування;
- ефективна робота у запиленому середовищі.

Враховуючи умови експлуатації на цементному підприємстві, саме ця конструкція обрана як базова для впровадження в модернізованому стрічковому транспортері.

Патент US7424948B2

У цьому рішенні представлена універсальна конструкція роликів із системою динамічного гасіння коливань, що базується на застосуванні амортизаційних елементів зі змінними характеристиками жорсткості. Таке рішення дозволяє зменшити ударні навантаження в зоні завантаження конвеєра, що є критичним

при подачі сипучих матеріалів з висоти.

Оцінка: Конструкція перспективна, однак складніша у реалізації та потребує частого регулювання пружних вузлів, що не є доцільним у пилових умовах цементного виробництва.

Патент US8163214B2

Цей патент описує модульну конструкцію опорної системи, яка складається з незалежних сегментів роликоопор, що легко монтуються на стандартні несучі балки. Кожна секція обладнана інтегрованими сенсорами для моніторингу зносу та навантаження, що дозволяє реалізувати елементи передиктивного техобслуговування.

Оцінка: Ідея має високу інженерну цінність для автоматизованих ліній, однак реалізація вимагає наявності відповідної інфраструктури для збору та обробки даних, що наразі не передбачено в межах модернізації.

4.1 ОБГРУНТУВАННЯ ОБРАНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ

У результаті аналізу патентної документації було обрано технічне рішення, запатентоване під номером US6564932B2, як найбільш доцільне для реалізації модернізації роликоопор стрічкового транспортера у виробництві цементу.

Основна ідея патенту полягає у застосуванні покращеної роликоопорної системи з підвищеною надійністю, зменшеним рівнем тертя та вдосконаленим захистом від пилу. Ролики мають спеціальну геометрію обертання, що дозволяє автоматично вирівнювати положення стрічки під час транспортування. Це значно знижує ймовірність зсувів або перекосів стрічки — одного з основних факторів передчасного зносу транспортної системи.

Конструкція передбачає наявність герметизованих підшипникових вузлів, що виключає потрапляння цементного пилу до внутрішніх механізмів. Завдяки цьому значно підвищується термін служби роликів, а потреба в технічному обслуговуванні зменшується. Поверхня роликів покрита антифрикційним шаром, який забезпечує плавний рух навіть при високих навантаженнях.

Окрему увагу приділено адаптації опор до роботи у важких умовах — як-от постійне запилення, вологість, перепади температур та абразивне середовище. У цьому рішенні роликоопори мають металевий захисний кожух, що додатково

оберігає підшипники від пошкоджень. Конструкція також дозволяє швидку заміну окремих вузлів, що спрощує технічне обслуговування лінії.

Механічна стабільність транспортної стрічки досягається не тільки завдяки формі роликів, але й за рахунок їх еластичного розташування під кутом, що компенсує локальні деформації стрічки при нерівномірному навантаженні. В результаті, модернізована система забезпечує рівномірну підтримку стрічки по всій ширині, зменшуючи втрати матеріалу і підвищуючи загальну ефективність подачі сировини.

FIG. 1

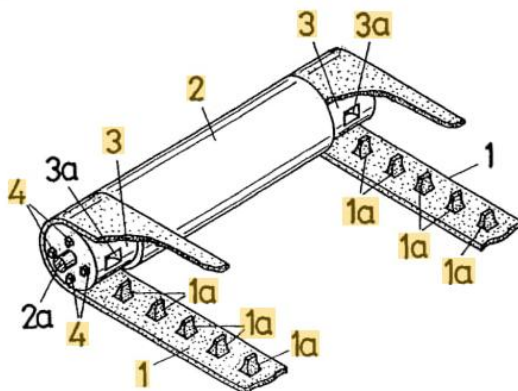


FIG. 2

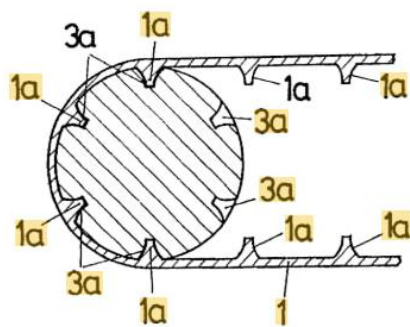


Рис 4.1 Поперечний переріз шківа та конвеєрної стрічки з механізмом зачеплення

На (Рис 4.1) показано збільшений поздовжній поперечний переріз шківа та конвеєрної стрічки. Цей малюнок детально ілюструє ключові елементи модернізації:

На ньому можна побачити та ідентифікувати такі підписані елементи:

Конвеєрна стрічка (1): Це основна рухома частина транспортера.

Виступи (1a): Розташовані на тильній (задній) поверхні конвеєрної стрічки (1). Ці виступи мають характерну форму: їхні передня та задня сторони вигнуті всередину, звужуючись до вершини або кінчика. Вони нагадують зуби ланцюгового колеса (зірочки).

Шків (3): Це елемент приводу, навколо якого рухається стрічка.

Отвори (3a): Сформовані по периферії шківа (3). Кожен з цих отворів має форму, точно пристосовану для щільного розміщення та прийому відповідних виступів (1a) стрічки (1).

Таким чином, малюнок 2 чітко демонструє, як виступи стрічки (1a) зачіпляються з отворами шківа (3a), забезпечуючи надійний рух конвеєрної стрічки, запобігаючи її відхиленню та підтримуючи постійний натяг.

5 РОЗРАХУНКИ

Стрічковий транспортер є невід’ємною складовою цементної виробничої лінії, забезпечуючи безперервне переміщення мінеральної сировини. Його надійність та ефективність у значній мірі визначаються правильністю інженерних розрахунків ключових вузлів — зокрема тягової частини, натяжного пристрою та опорної системи (ролікоопор).

У цьому розділі розглянуто основні інженерні та аналітичні підходи до проєктування стрічкового транспортера, що використовується у виробництві цементу. Зокрема, здійснено: параметричний розрахунок тягового елемента (стрічки), перевірку міцності натяжного вузла, оцінку тягових зусиль у системі, кінематичне моделювання приводу, комп’ютерне моделювання (CAE) для порівняння міцності модернізованих та стандартних опор, автоматизований розрахунок тягових параметрів за допомогою програмного коду на мові C++.

Параметри тягового органу впливають безпосередньо на продуктивність і стабільність системи транспортування. При розрахунку враховуються довжина транспортера, щільність вантажу, його фракційність і експлуатаційні умови. Надійна робота системи забезпечується відповідним натягом стрічки, що запобігає її ковзанню на барабанах і гарантує чітке зчеплення з приводом.

Тяговий розрахунок дозволяє визначити повний опір руху системи з урахуванням усіх втрат — тертя, підйому вантажу, впливу роликів та геометрії траси. Кінематичні обчислення допомагають задати оптимальні режими обертання приводу, які забезпечують необхідну швидкість переміщення матеріалу та знижують навантаження на вузли. Моделювання ролікоопор у CAD-середовищі дало змогу виконати конструктивне порівняння стандартної та модернізованої опори. Аналіз у CAE-програмному забезпеченні дозволив кількісно оцінити міцність нової конструкції та її ефективність у реальних умовах навантаження. Застосування мови програмування C++ для параметричних розрахунків зробило можливим автоматизацію підбору стрічки залежно від вхідних умов, що суттєво

Усі виконані інженерні розрахунки спрямовані на підвищення надійності та технологічної ефективності стрічкового транспортера в умовах цементного виробництва, забезпечуючи стабільну роботу лінії з мінімальними експлуатаційними втратами.

5.1 ПАРАМЕТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ ВИБОРУ ТЯГОВОГО ОРГАНУ

У даному випадку для транспортера доцільно застосовувати гумотканинну стрічку, оскільки обладнання має обмежену довжину, функціонує в ускладнених умовах, переміщує хімічно нейтральний вантаж, а температура експлуатації знаходиться в помірному діапазоні.

Вибір типу стрічки здійснюється на основі властивостей вантажу та експлуатаційних умов. Умови вважаються складними, вантаж характеризується як середньо-грубий та слабоабразивний. З урахуванням цього було прийнято рішення використовувати стрічку другого типу, а саме підтип 2.2, який передбачає транспортування рядового вугілля або подібного за властивостями матеріалу.

Матеріал, що переміщується, має фракцію до 80 мм, не належить до самозаймистих речовин, експлуатація здійснюється в умовах зовнішнього середовища при температурах від -20 до +30 °С, що дозволяє використання стрічки загального призначення.

Для каркасу стрічки обрано матеріал типу БКНЛ-55, що виготовляється з комбінованої тканини та має міцність однієї прокладки на розрив $\sigma_p = 55$ Н/мм.

Визначається кут нахилу живильника:

$$\alpha = \arctg \frac{H}{L}$$

При $H = 1$ м и $L = 8$ м кут нахилу буде рівний:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{1}{8}\right) = 7,13^\circ$$

Визначається ширина стрічки за продуктивністю:

$$B = 1,1 \cdot \left(\sqrt{\frac{Q}{K_{\Pi} \cdot K_{\beta} \cdot v \cdot \rho_H}} + 0,05 \right)$$

де K_{β} - коефіцієнт, що враховує зменшення перерізу вантажу на похилій ділянці внаслідок часткового скочування вантажу у бік, протилежний руху; (оскільки кут нахилу транспортера $7,13^{\circ}$ і низька рухливість вантажу, то приймається, $K_{\beta} = 0,97$);

K_{Π} - коефіцієнт поперечного перерізу вантажу на стрічці враховує тип роликів опор та рухливість вантажу; (оскільки ступінь рухливості вантажу середня, то кут нахилу роликів жолобчастих опор $\alpha = 20^{\circ}$, відповідно $K_{\Pi} = 550$; v - швидкість руху стрічки; ρ_H - насипна щільність вантажу, т/м^3).

$$B = 1,1 \cdot \left(\sqrt{\frac{75}{550 \cdot 0,97 \cdot 1,2 \cdot 0,8}} + 0,05 \right) = 0,476$$

Перевіряється значення ширини стрічки за розмірами шматків вантажу

$$B_{\min} \geq x \cdot a' + 200 \text{ мм},$$

де x – коефіцієнт, що залежить від якісної характеристики вантажу (для рядового вантажу – $x = 2$); a' – розмір найбільших шматків.

$$B_{\min} \geq 2 \cdot 80 + 200 = 360 \text{ мм}$$

Отримана за продуктивністю та розмірами шматків вантажу ширина стрічки округляється до найближчого більшого розміру, передбаченого ГОСТ. Виходячи з цього, приймається ширина стрічки $B = 400 \text{ мм}$.

Визначення розмірних та вагових параметрів стрічки.

Визначення попереднього (наближеного) значення потужності приводу транспортера:

$$N_{\text{пред}} = \frac{Q \cdot (\omega_0 \cdot L_z \pm H)}{367},$$

де Q – розрахункова продуктивність, т/год; ω_0 – узагальнений коефіцієнт опору руху, що включає вплив всіх опорів по довжині траси транспортера; L_z – довжина горизонтальної проекції траси транспортера; H – висота підйому вантажу; 367 – переказний коефіцієнт.

Узагальнений коефіцієнт опору руху ω_0 для попередніх розрахунків приймається $\omega_0 = 0,16$, так як дальність транспортування вантажу лежить у межах від 2 до 10 метрів (8 метрів), а продуктивність дорівнює 75 т/год.

$$N_{пред} = \frac{75 \cdot (0,16 \cdot 8 \cdot \cos 7.13 + 1)}{367} = 0.464 \text{ кВт}$$

Визначення тягового (окружного) зусилля на приводному барабані транспортера:

$$F_o = \frac{1000 \cdot N_{пред}}{v},$$

$$F_o = \frac{1000 \cdot 0.464}{1.2} = 387$$

Натяг у гілки стрічки, що набігає на приводний барабан.

$$S_{нб} = S_{max} = F_o \cdot e^{f\alpha} / (e^{f\alpha} - 1),$$

де $e^{f\alpha}$ - тяговий фактор, приймається $e^{f\alpha} = 2,57$; f – коефіцієнт тертя між стрічкою та барабаном, приймається $f=0,30$ (Сталевий, гладкий, сухий або вологий, футерований гумою барабан); α - Кут обхвату стрічкою приводного барабана, для попередніх розрахунків приймається $\alpha = 180^\circ$;

Складання системи рівнянь і вираз зусилля в галузі, що набігає,

$$S_{нб} = 387 \frac{2,57}{(2,57 - 1)} = 633.5$$

Натяг у гілки стрічки, що біжить з приводного барабана.

$$S_{сб} = S_{нб} / e^{fa},$$

$$S_{сб} = 633.5 / 2,57 = 247.$$

Визначимо необхідну за міцністю кількість прокладок каркасу

$$i \geq \frac{S_{max}}{\sigma_{л} \cdot B},$$

де S_{max} – максимальний розрахунковий натяг стрічки, Н; $\sigma_{л}$ - максимально допустиме робоче навантаження однієї тягової прокладки каркаса стрічки, Н/мм. В – ширина стрічки, мм.

$$\sigma_{л} = \frac{\sigma_p}{[n]},$$

де σ_p - номінальна міцність при розриві тягової прокладки каркасу стрічки обраного типу, Н/мм; $[n]$ – коефіцієнт запасу міцності, для похилого транспортера приймаємо $[n] = 10$.

$$\sigma_{л} = \frac{55}{10} = 5,5 \text{ Н/мм.}$$

$$i \geq \frac{633.5}{5,5 \cdot 400} \geq 0.29.$$

Приймаємо число тягових прокладок стрічки $i = 2$, що відповідає мінімальній кількості прокладок для стрічок даного типу.

Визначення товщини стрічки:

$$\delta_{л} = \delta_{в} + \delta_{np} \cdot i + \delta_{н}$$

де $\delta_{в}$ - товщина верхньої обкладки, мм ($\delta_{в} = 6\text{мм}$); δ_{np} - товщина однієї прокладки тягового каркасу ($\delta_{np} = 1,15\text{мм}$); i - число прокладок каркасу ($i=2$); $\delta_{н}$ - товщина нижньої обкладки, мм ($\delta_{н} = 2\text{мм}$).

$$\delta_{\text{л}} = 6 + 1,15 \cdot 2 + 2 = 10,3 \text{ мм}$$

Визначення маси одного погонного метра стрічки:

Середня щільність стрічки $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$

$$q_{\text{л}} = 0,001 \cdot \delta_{\text{л}} \cdot B$$

$$q_{\text{л}} = 0,001 \cdot 10,3 \cdot 400 = 4,2 \text{ кг / м}$$

Складання повного умовного позначення вибраної стрічки:

Відповідно до ГОСТ 20-85*, обрана стрічка має таке умовне позначення: Стрічка 2.2 – 400 – 2 – БКНЛ – 55 – 6 – 2 – РБ ГОСТ 20-85 Резинотканева стрічка 2го типу, підтипу 2.2, шириною 400мм, з 2 прокладками тягового каркаса, з комбінованих тканин типу БКНЛ-55 з межею міцності 55 Н/мм, тяговий каркас захищений зверху гумовою обкладкою товщиною 6м з гумовими бортами ГОСТ 20-85.

Схема поперечного перерізу стрічки наведена на рис 5.1.



$\delta_{\text{л}}$ – товщина стрічки; $\delta_{\text{в}}$ – товщина верхньої обкладки; $\delta_{\text{н}}$ – товщина нижньої обкладки; $\delta_{\text{тяг.к}}$ – товщина тягового каркасу; B – ширина стрічки; 1 – тяговий каркас із тканинних прокладок.

Рисунок 5.1 –Схема поперечного перерізу стрічки.

5.2 РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ НАТЯЖНОГО ПРИСТРОЮ

Для вибору приводного барабана необхідно розрахувати його діаметр, а потім підібрати типорозмір, що підходить для обраного типу стрічки. Діаметр барабана розраховується за такою формулою

$$D_{\phi} = k' \cdot k'' \cdot i,$$

де k' - коефіцієнт, що залежить від міцності стрічки, при $\sigma_p = 55 \text{ Н/мм}$, приймаємо $k' = 125$; k'' - коефіцієнт призначення барабана, для приводного барабана приймаємо $k'' = 1$; i - число прокладок в стрічці.

$$D_{\phi} = 125 \cdot 1 \cdot 2 = 250$$

Приймаємо стандартний діаметр барабана $D_{\phi} = 250 \text{ мм}$.

Прийнятий діаметр приводного барабана перевіряється за середнім тиском стрічки на барабан:

$$p_{cp} = \frac{360 \cdot F_0}{D_{\phi} \cdot B \cdot \alpha \cdot \pi} \leq [p_{cp}],$$

де $F_0 = S_{нб} - S_{сб}$ - тягове зусилля на приводному барабані, Н; α – кут обхвату стрічкою барабана, град; $[p_{cp}]$ - допустимий середній тиск стрічки на барабан, приймаємо $[p_{cp}] = 20000 \text{ Па}$.

$$\begin{aligned} F_0 &= S_{нб} - S_{сб}, \\ F_0 &= 633.5 - 247 = 386.5 \text{ Н}, \\ p &= \frac{360 \cdot 386.5}{0.25 \cdot 0.4 \cdot 180 \cdot 3.14} = 2462 \text{ Па} < [p] = 20000 \text{ Па}. \end{aligned}$$

Умова міцності барабана виконується.

Довжина барабана для стрічки шириною менше 800 мм

$$\begin{aligned} L &= B + 50, \\ L &= 400 + 50 = 450 \text{ мм}. \end{aligned}$$

На рисунку 5.2 представлений ескіз приводного барабана.

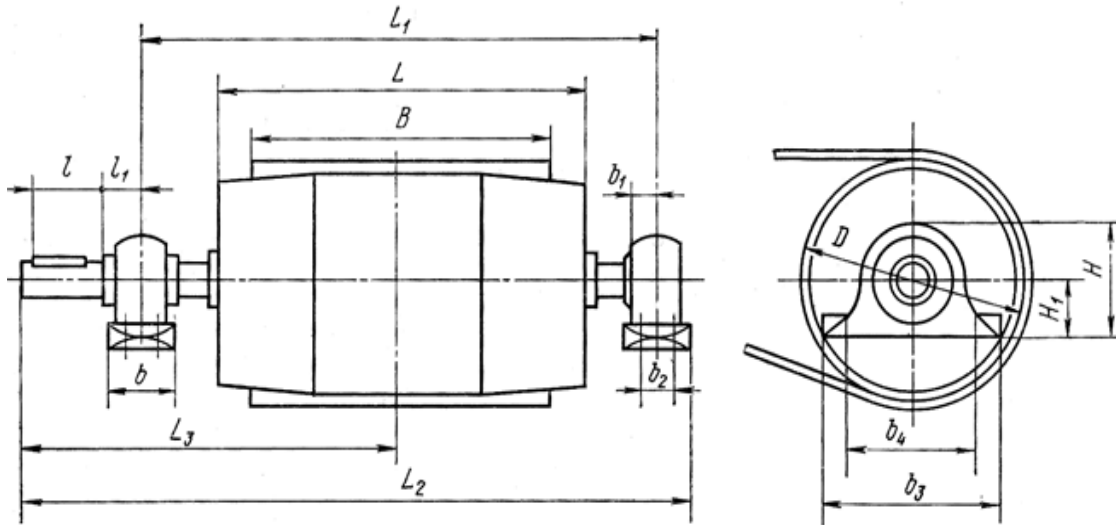


Рисунок 5.2– Параметри та розміри приводного барабана.

У таблиці 5.2 наведені параметри та розміри приводного барабана

Таблиця 5.2 – Параметри та розміри приводного барабана.

Ширина стрічки, мм	D	L	L ₁	L ₂	L ₃	H	H ₁	b	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	d ₆	l ₁	l	Підшипник	Маса обертових частин барабана, кг
						1											
400	250	500	730	917	500	120	60	60	45	-	225	170	16	68	67	1308	38

Визначимо діаметр барабана, що відхиляє.

$$D_{\phi o} = k' \cdot k'' \cdot i,$$

де k'' - коефіцієнт призначення барабана, для барабанів, що відхиляють приймаємо $k'' = 0,56$; $D_{\phi o} = 125 \cdot 0,56 \cdot 2 = 150 \text{ мм}$.

Приймаємо стандартний діаметр барабана $D_{\phi o} = 160 \text{ мм}$.

На рисунку 5.3 представлений ескіз барабана, що відхиляє.

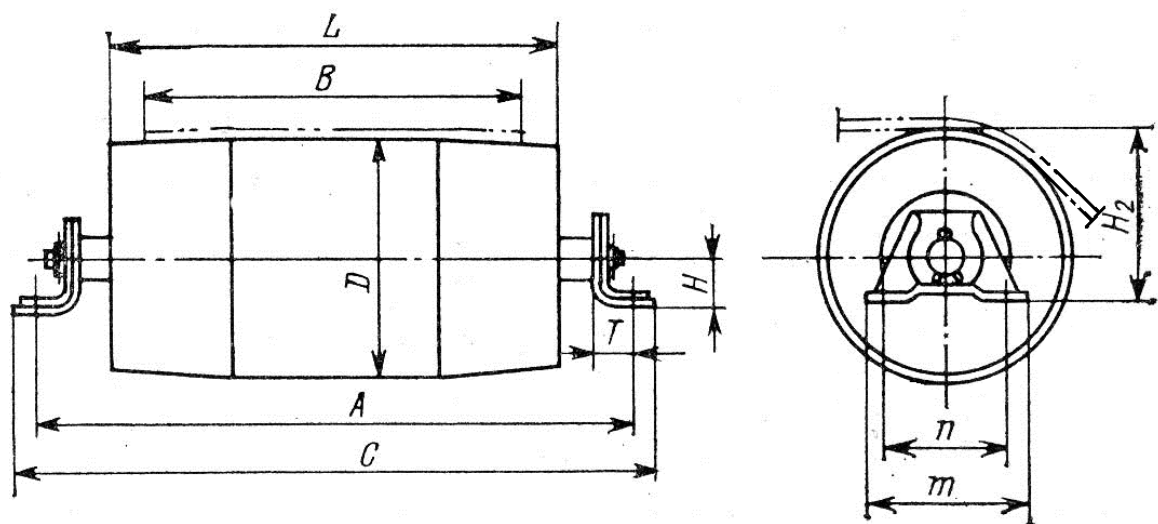


Рисунок 5.3– Параметри та розміри барабана, що відхиляє.

Рядові роликоопори для робочої гілки вибираються відповідно до ширини стрічки і раніше призначеним кутом нахилу бічних роликів.

На рисунку 5.4 представлена схема параметрів та розмірів верхніх рядових жолобчастих роликоопор.

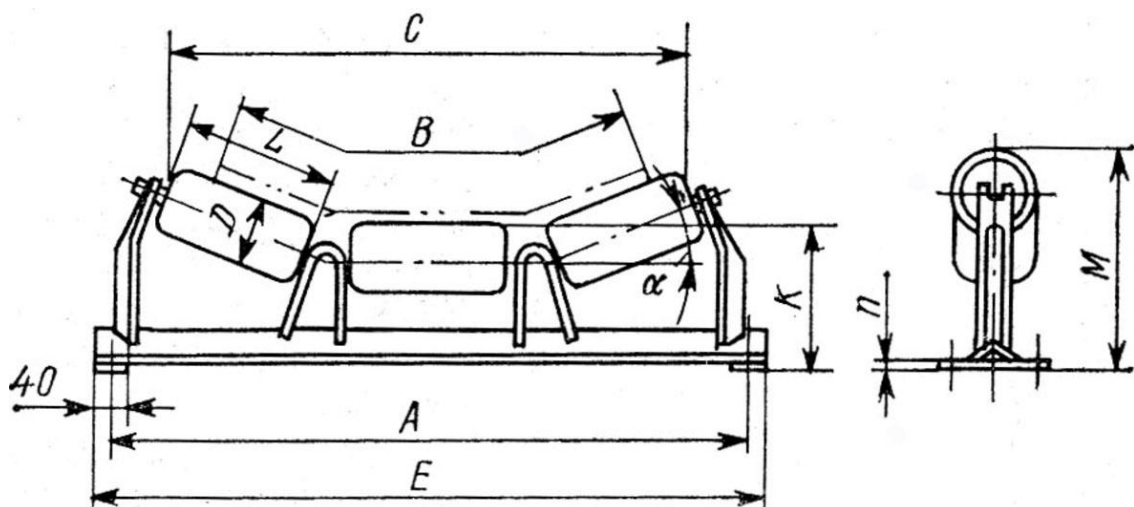


Рисунок 5.4 – Схема параметрів та розмірів верхніх рядових жолобчастих роликоопор.

У таблиці 5.3 наведені параметри та розміри верхніх жолобчастих роликоопор.

Таблиця 5.3 – Параметри та розміри верхніх рядових жолобчастих роликоопор.

Ширина стрічки, мм	Розміри, мм								Кут нахилу α , град.	Маса обертових частин, кг
	D	K	L	A	E	C	M	n		
400	102	190	160	620	660	465	235	6	20	10,0

Рядові, плоскі роликоопори для холостої гілки вибираються з урахуванням ширини стрічки, що зображені на рисунку 5.5.

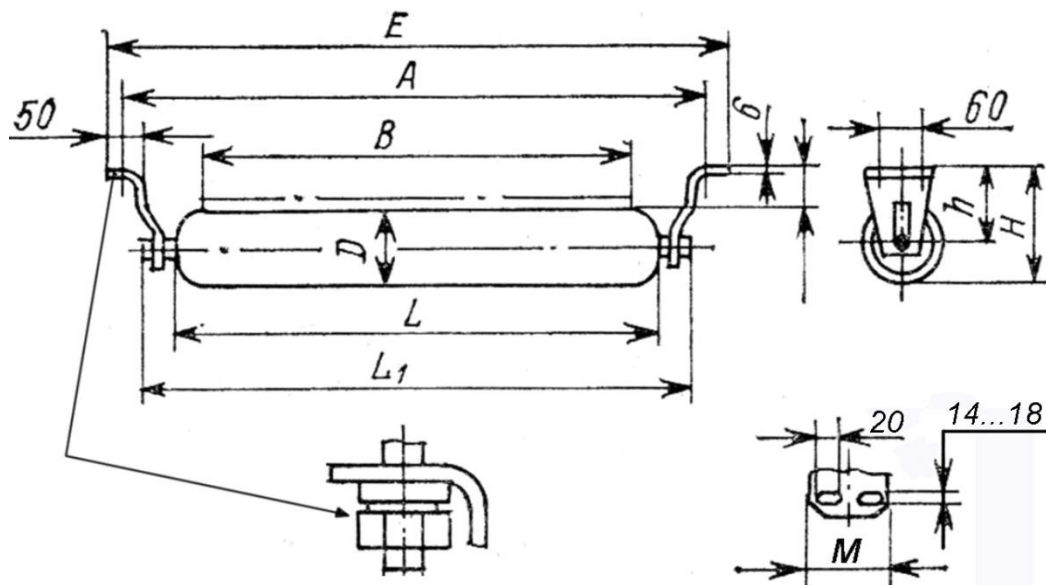


Рисунок 5.5 – Схема параметрів та розмірів нижніх, прямих роликоопор.

Основні параметри нижніх, прямих роликоопор зведено таблицю 5.4.

Таблиця 5.4 – Параметри та розміри нижніх, прямих роликоопор.

Ширина стрічки, мм	Розміри, мм										Маса обертових частин, кг
	$a D$	$e L_1$	$p L$	$a A$	$a E$	$a H$	$p h$	$b M$	d_6	$n n$	
400	102	524	500	620	660	157	106	100	12	6	6,0

Завантажувальний вузол стрічкового транспортера виконує функцію рівномірного розподілу матеріалу по довжині та по центральній осі ширини стрічки. Процес подачі вантажу здійснюється через завантажувальний барабан, розташований у задній частині установки.

Для такого типу обладнання доцільно використовувати гравітаційні завантажувальні пристрої. Їх вибір обумовлений здатністю забезпечувати центровану подачу та однорідний розподіл матеріалу по стрічці, швидкість подачі досягає 2 м/с, при цьому передбачена можливість регулювання обсягу подачі. Гравітаційні системи відрізняються простотою конструкції, компактністю, зручністю технічного обслуговування та високою надійністю завдяки відсутності привідних вузлів. Матеріал в таких системах подається виключно під дією сили тяжіння.

Гравітаційні завантажувачі можуть мати у своєму складі бункери (з відкидними або стаціонарними заслінками) та направляючі лотки, які бувають прямолінійними або вигнутими залежно від конкретного конструктивного рішення.

Габарити напрямних лотків підбираються відповідно до ширини стрічки та швидкості руху матеріалу. Зокрема: висота лотка не менше 0,2 м, довжина — щонайменше 1,0 м.

Уздовж траси транспортера роликоопори встановлюються з різним кроком — залежно від навантаження, ширини стрічки та сипучості матеріалу. Відстань між роликоопорами на робочій гілці обирається з урахуванням насипної густини вантажу та габаритів стрічки.

Оскільки насипна щільність вантажу $\rho = 0,8 \text{ т/м}^3$ а ширина стрічки $B=400\text{мм}$, крок установки рядових роликоопор на завантаженій гілці стрічки приймається $l_p=300 \text{ мм}$. На рисунку 5.6 зображена схема розстановки пристроїв.

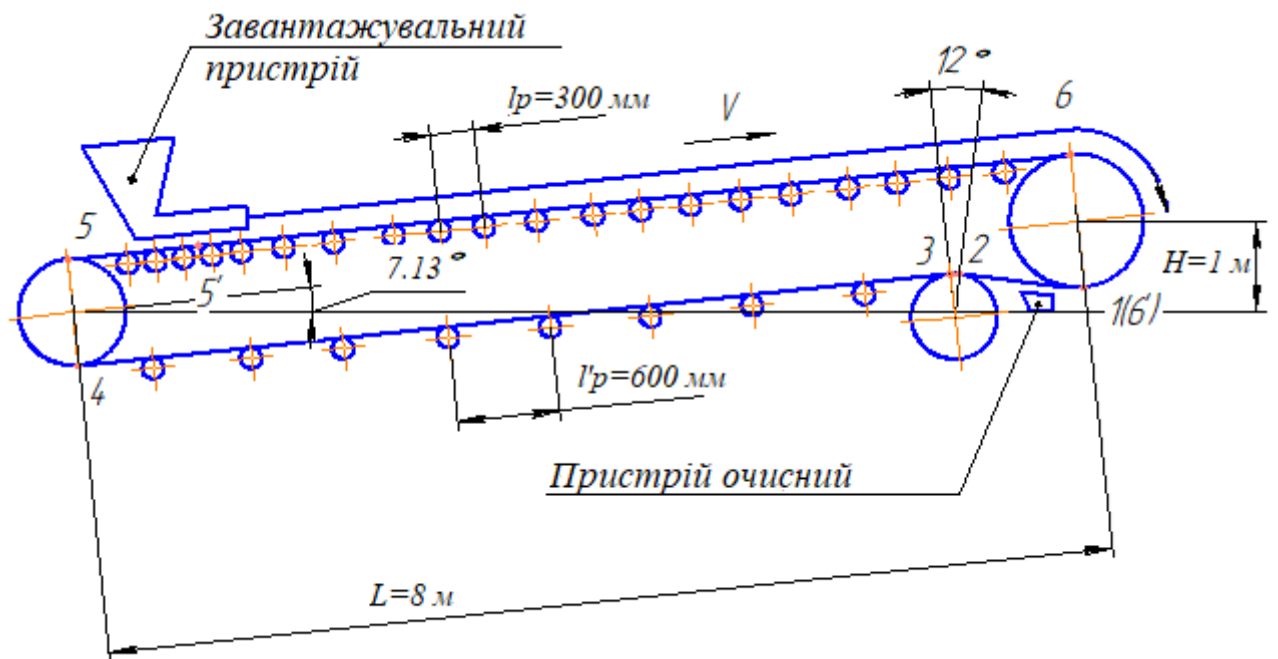


Рисунок 5.6 – Схема розстановки пристроїв.

Вибір натяжного пристрою проводитиметься залежно від його загального ходу. Загальний хід натяжного пристрою складається з двох частин і визначається за формулою

$$L_H = L_{H1} + L_{H2} ,$$

де L_{H1} – монтажний хід, компенсує зміну довжини стрічки при її ремонті та перестиківці, м; L_{H2} – робочий хід натяжного пристрою, що компенсує витяжку і подовження стрічки при її встановленому русі і пуску транспортера, м.

$$\begin{aligned} L_{H1} &= (1,5 - 1) \cdot , \\ L_{H1} &= 0,5 \cdot 0,4 = 0,2 , \\ L_{H2} &= 0,01 \cdot L , \end{aligned}$$

де L – довжина ходу транспортера, $L = 8$ м.

$$\begin{aligned} L_{H2} &= 0,01 \cdot 8 = 0,08 , \\ L_H &= 0,2 + 0,08 = 0,28 . \end{aligned}$$

За отриманою величиною проводиться вибір натяжного пристрою. Так як $L_H = 0,28 м$, слід встановлювати гвинтовий натяжний пристрій.

Далі підбирається відповідний типорозмір, орієнтуючись на розрахунковий діаметр та ширину стрічки. Розрахунковий діаметр барабана натяжного пристрою визначається за формулою

Визначимо діаметр натяжного барабана:

$$D_{\text{бн}} = k' \cdot k'' \cdot i,$$

де k'' - коефіцієнт призначення барабана, для натяжних барабанів приймаємо $k'' = 0,8$; $D_{\text{бн}} = 125 \cdot 0,8 \cdot 2 = 200 мм$.

Приймаємо стандартний діаметр барабана $D_{\text{бн}} = 200 мм$.

На рисунку 5.7 представлений ескіз натяжного пристрою

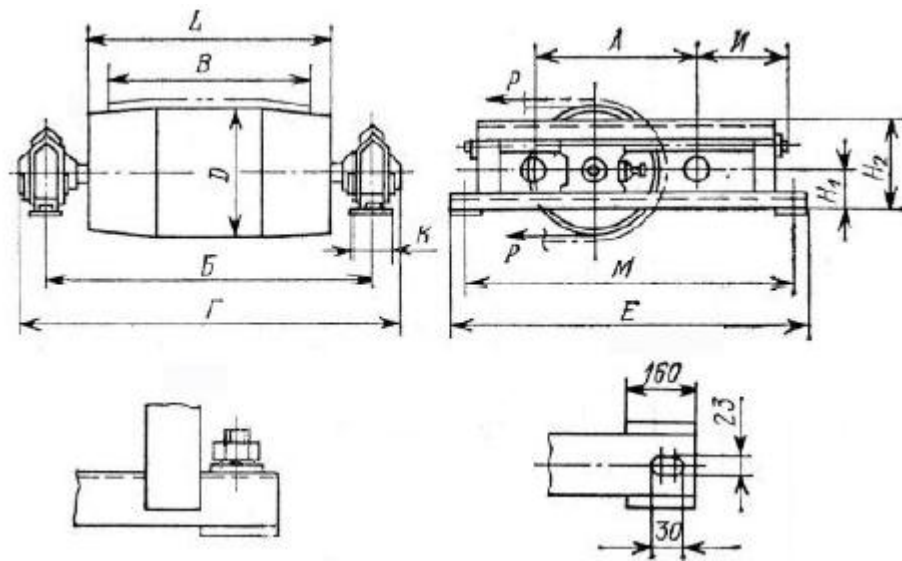


Рисунок 5.7 – Схема параметрів та розмірів гвинтового натяжного пристрою.

Основні параметри натяжного пристрою зведені до таблиці 5.6.

Таблиця 5.5 – Параметри та розміри гвинтового натяжного пристрою.

Розміри, мм											Маса частин, що обертаються, кг
В	D	L	A	Б	Г	М	Е	Н ₁	Н ₂	И	

400	200	500	320	690	794	770	850	86	175	230	96	20
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	-----	-----	----	----

5.3 ТЯГОВИЙ РОЗРАХУНОК ТРАНСПОРТЕРА

Хід транспортера розбивається на прямолінійні та криволінійні ділянки. Ділянки транспортера, а також їх пари нумеруються по ходу руху стрічки, починаючи з точки збігання стрічки з приводного барабана. На рисунку наведена схема транспортера для тягового розрахунку.

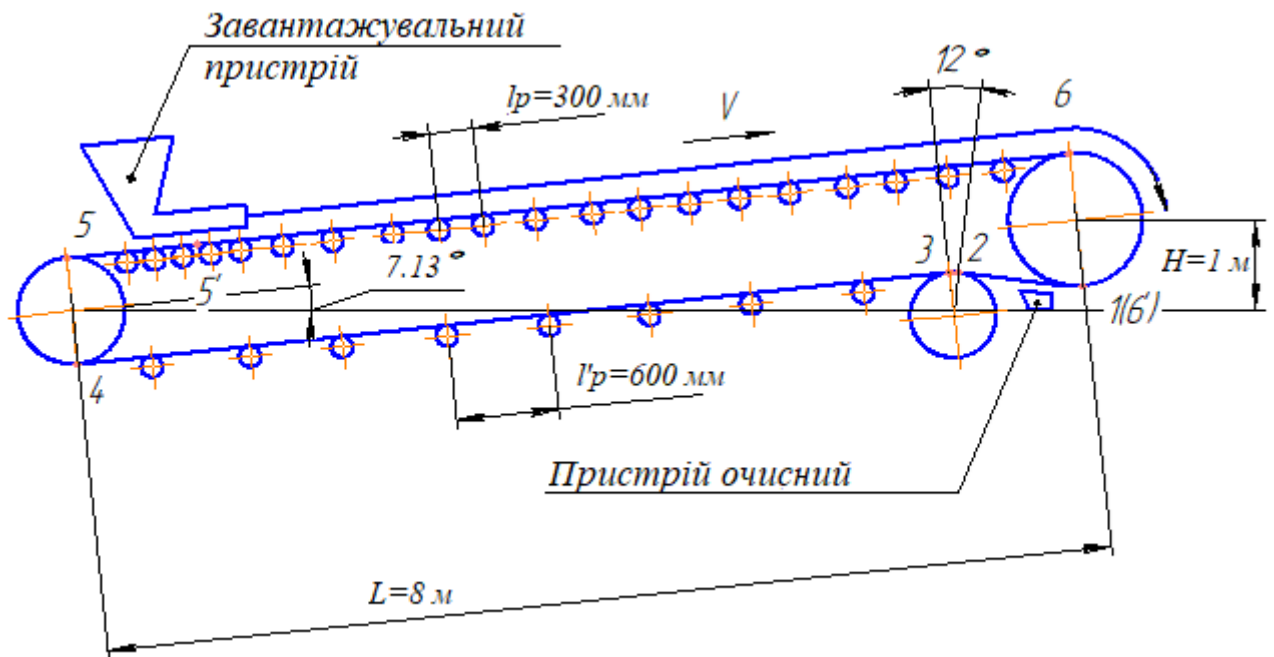


Рисунок 5.8 – Схема транспортера для тягового розрахунку.

Визначення натягу у стрічці, шляхом послідовного обходу траси по контуру:

Метод контурного переходу ґрунтується на послідовному визначенні напруги в кожній точці вздовж траєкторії стрічки. Напруга в кожній наступній точці вздовж траєкторії руху стрічки дорівнює сумі напруги в попередній точці і опору на ділянці між цими точками.

$$S_{i+1} = S_i + W_{i \rightarrow (i+1)}$$

де S — натяг тягового органу в точці, Н; W — Опір руху тягового органу (стрічки), Н.

Визначення опорів руху стрічки на ділянках.

На ділянці 1-2 розташовано очисний пристрій скребкового типу, опір очисних пристроїв транспортера

$$W_{Oч} = w_{Oч} \cdot B ,$$

де $w_{Oч}$ – коефіцієнт опору очисного пристрою, для скребків та плужків приймаємо $w_{Oч} = 400 \text{ Н / м}$.

$$W_{Oч} = 400 \cdot 0,4 = 160 \quad /$$

Натяг в точці 2

$$S_2 = S_1 + W_{Oч} ,$$

$$S_2 = S_1 + 160 .$$

Визначимо опір на барабані, що відхиляє.

$$W_{2-3} = S_{НБ} (k_{П} - 1) ,$$

де $S_{НБ}$ – натяг стрічки на початку ділянки, Н; $k_{П}$ – коефіцієнт збільшення натягу тягового органу від опору на поворотному пункті (барабан). При куті обхвату стрічкою барабана до 90° , приймаємо $k_{П} = 1,03$.

$$W_{2-3} = S_2 (k_{П} - 1) = S_2 (1,03 - 1) = (S_1 + 160) \cdot 0,03 = 0,03 S_1 + 5 .$$

Натяг в точці 3

$$S_3 = S_2 + W_{2-3} = S_1 + 160 + 0,03 S_1 + 5 = 1,03 S_1 + 165 .$$

Визначимо опір на прямолінійній ділянці 3-4 холостий гілки

$$W_x = \omega \cdot g \cdot (q_p^x \cdot L^x + q_n \cdot L_r^x) \pm q_n \cdot g \cdot H$$

де q_p^x – погонна маса обертових частин роликкоопор на холостий гілки

$$q_p^x = \frac{m_p^x \cdot n_p^x \cdot \cos \beta}{L^x},$$

Де m_p^x – маса обертових частин роликів, $m_p^x = 6,0 \text{ кг}$; n_p^x – кількість роликкових опор на неодруженій ділянці;

$$n_p^x = L^x / 2 \cdot l_p + 1,$$

$$n_p^x = 8 / 2 \cdot 0,6 + 1 = 8.$$

L^x – довжина холостої ділянки, $L^x = 8 \text{ м}$;

$$q_p^x = \frac{6,0 \cdot 7 \cdot \cos 7,13}{8} = 5,21 \quad /$$

$q_{\text{л}}$ – погонна маса стрічки, $q_{\text{л}} = 4,2 \text{ кг}$; H – висота підйому транспортера, $H = 6 \text{ м}$; ω – коефіцієнт опору руху, $\omega = 0,03$; g – прискорення вільного падіння, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$; L_r^x – довжина горизонтальної проекції холостої ділянки, м.

$$L_r^x = L^x \cdot \cos \beta,$$

$$L_r^x = 8 \cdot \cos 7,13 = 7,94$$

$$W_x = 0,03 \cdot 9,8 \cdot (5,21 \cdot 8 + 4,2 \cdot 7,94) - 4,2 \cdot 9,8 \cdot 1 = -19,1$$

Натяг у точці 4

$$S_4 = S_3 + W_{x(3-4)} = 1,03S_1 + 165 - 147 = 1,03S_1 + 18$$

Натяг точці 5 без урахування опорів місці завантаження, при куті обхвату барабана 180°

$$S'_5 = k_{\Pi} \cdot S_4,$$

де k_{Π} – коефіцієнт збільшення натягу тягового органу від опору на поворотному пункті (барабан). При куті обхвату стрічкою барабана до 180° , приймаємо $k_{\Pi} = 1,05$.

$$S'_5 = 1,05 \cdot S_4 = 1,05 \cdot (1,03S_1 + 18) = 1,08S_1 + 19$$

Оскільки ділянка завантаження по протяжності мала в порівнянні з довжиною транспортера, приймаємо його по довжині зведеним в точку 5', що збігається з точкою 5, так як ділянка завантаження розташована поблизу натяжного барабана.

Визначимо опір у місці завантаження:

$$W_3 = W_{zy} + W_{зб} + W_{zn},$$

де W_{zy} - опір при повідомленні вантажу, що надходить по вирві, прискорення стрічки, Н; $W_{зб}$ - опір від тертя вантажу про нерухомі борти направляючого лотка, Н; W_{zn} - опір від тертя ущільнювальних смуг направляючого лотка про стрічку транспортера, Н.

$$W_{zy} = \frac{Q \cdot g \cdot V}{3,6},$$

де Q – задана продуктивність транспортера, т/год; V – швидкість переміщення вантажу, м/с;

$$W_{zy} = \frac{75 \cdot 9,8 \cdot 1,2}{3,6} = 245$$

$$W_{зб} = f_1 \cdot h_6^2 \cdot \rho \cdot g \cdot l_{л} \cdot n_6,$$

де f_1 – коефіцієнт зовнішнього тертя, $f_1 = 0,7$; h_6 – висота вантажу у лотку, $h_6 = 0,3 \cdot h = 0,3 \cdot 0,2 = 0,06 \text{ м}$; ρ – насипна щільність вантажу, $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$; $l_{л}$ – довжина лотка, $l_{л} = 1,0 \text{ м}$; n_6 – коефіцієнт бічного тиску, $n_6 = 0,6$.

$$W_{зб} = 0,7 \cdot 0,06^2 \cdot 800 \cdot 9,8 \cdot 1,0 \cdot 0,6 = 12$$

$$W_{zn} = 50 \cdot 1 = 50$$

$$W_3 = 245 + 12 + 50 = 307$$

Остаточно натяг точці 5 з урахуванням опорів у місці завантаження

$$S_5 = S'_5 + W_3,$$

$$S_5 = 1,08S_1 + 19 + 307 = 1,08S_1 + 326.$$

Визначимо опір на прямолінійній ділянці 5-6 робочої гілки

$$W_{\Gamma(5-6)} = w \cdot g \cdot [(q_{\Gamma} + q_{\Delta}) \cdot L_z + q_p^p \cdot L^{\Gamma}] + (q_{\Gamma} + q_{\Delta}) \cdot g \cdot H,$$

де q_{Γ} - погонна маса вантажу на стрічці, кг/м.

$$q_z = \frac{Q}{3,6 \cdot V},$$

$$q_z = \frac{75}{3,6 \cdot 1,2} = 17,4 \quad /$$

q_{Δ} — погонна маса стрічки, $q_{\Delta} = 4,2 \text{ кг}$; H — висота підйому транспортера, $H = 1 \text{ м}$; w — коефіцієнт опору руху, $w = 0,03$;
 g — прискорення вільного падіння, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$; q_p^p - погонна маса обертових частин роlikоопор на робочій гілки, кг/м.

$$q_p^p = \frac{m_p^p \cdot n_p^p \cdot \cos \beta}{L^{\Gamma}},$$

Де m_p^p - маса обертових частин роликів, $m_p^p = 10 \text{ кг}$; n_p^p кількість роликів опор на робочій ділянці;

$$n_p^p = L_p / l_p + 1,$$

$$n_p^x = 8 / 0,6 + 1 = 14,33.$$

L^{Γ} - довжина робочої ділянки, $L^{\Gamma} = 8 \text{ м}$;

$$q_p^p = \frac{10 \cdot 15 \cdot \cos 7,13}{8} = 18,6 \quad /$$

5.4 КІНЕМАТИЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРИВОДУ ТРАНСПОРТЕРА

1. Вибір електродвигуна.

Потужність на приводному валу транспортера:

$$N = \frac{F_0 \cdot V}{1000 \cdot \eta_{\text{мех}}},$$

де F_0 – тяговая сила, Н; $\eta_{\text{мех}} = 0,85$ – КПД механізму привода.

$$N = \frac{386,5 \cdot 1,2}{1000 \cdot 0,85} = 0,55$$

З таблиці вибираємо електродвигун типу 4A112MB8Y3 номінальною потужністю $P_{\text{дв}} = 3,0$ кВт; при частоті обертання $n = 700 \text{ хв}^{-1}$; діаметр хвостовика $d_1 = 32 \text{ мм}$; габарит по ширині 260 мм . Момент інерції ротора $I_p = 0,025 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Кратність максимального моменту $\psi_{\text{max}} = 1,8$.

2. Вибір редуктора.

Частота обертання валу приводного барабана:

$$n_{\text{б}} = \frac{60 \cdot V}{\pi \cdot D_{\text{б}}},$$

де $D_{\text{б}}$ – діаметр приводного барабана, м.

$$n_{\text{б}} = \frac{60 \cdot 1,2}{3,14 \cdot 0,25} = 92 \text{ }^{-1}.$$

Необхідне передатне число між валом двигуна та валом приводного барабана

$$i_n = \frac{n_{\text{дв}}}{n_{\text{б}}},$$

$$i_n = \frac{700}{92} = 7,6.$$

Визначимо розрахунковий момент, що крутить, на валу приводного барабана.

$$M_{\text{кр}} = k_3 \cdot F_0 \cdot D_{\text{б}} / 2,$$

де k_3 – коефіцієнт запасу, приймаємо $k_3 = 1,15$.

$$M_{\text{кр}} = 1,15 \cdot 386,5 \cdot 0,25 / 2 = 56 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Вибираємо редуктор типу КЦ за такими умовами:

$$i_p \approx i_n,$$

$$n_p \geq n_{\text{дв}},$$

$$N_p \geq N_{\text{дв}} \quad (M_p \geq M_{\text{кр}}),$$

де i_p – табличне значення передавального числа редуктора; n_p – допустима для редуктора частота обертання швидкохідного валу, об/хв; N_p – допустима для редуктора потужність, кВт; M_p – номінальне значення крутного моменту на тихохідному валу редуктора, Н·м.

З таблиці вибираємо двоступеневий циліндричний редуктор типорозміру з передавальним числом $u_p = 7,6$, що має при частоті обертання швидкохідного валу $n_{\text{ред}} = 700 \text{ хв}^{-1}$ потужність $N_{\text{ред}} = 3 \text{ кВт}$; діаметр вхідного вала $d_1 = 40 \text{ мм}$; діаметр вихідного вала $d_2 = 45 \text{ мм}$.

3. Вибір сполучної муфти валів електродвигуна та редуктора.

Для вибору сполучної муфти між двигуном і редуктором визначаємо номінальний крутний момент двигуна

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{9550 \cdot N_{\text{дв}}}{n_{\text{дв}}},$$

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{9550 \cdot 3,0}{700} = 40,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Вибираємо муфту типу МУВП за такою умовою

$$M_{\text{табл}} \geq M_{\text{расч}},$$

де $M_{\text{расч}}$ - розрахунковий момент на валу, Н·м; $M_{\text{табл}}$ - табличне значення переданого муфтою моменту, Н·м;

Визначимо розрахунковий момент:

$$M_{\text{расч}} = k_1 \cdot M_{\text{НОМ}},$$

де k_1 – коефіцієнт, що враховує ступінь відповідальності механізму, приймаємо $k_1 = 1,1$.

$$M_{\text{расч}} = 1,1 \cdot 40,9 = 45,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

З таблиці вибираємо муфту з найбільшим моментом, що передається, діаметри розточок муфти $d = 32\text{мм}$, $d_1 = 40\text{мм}$, що відповідає діаметрам хвостовиків електродвигуна і вхідного валу редуктора. На рисунку зображено МУВП по ГОСТ 21424-93.

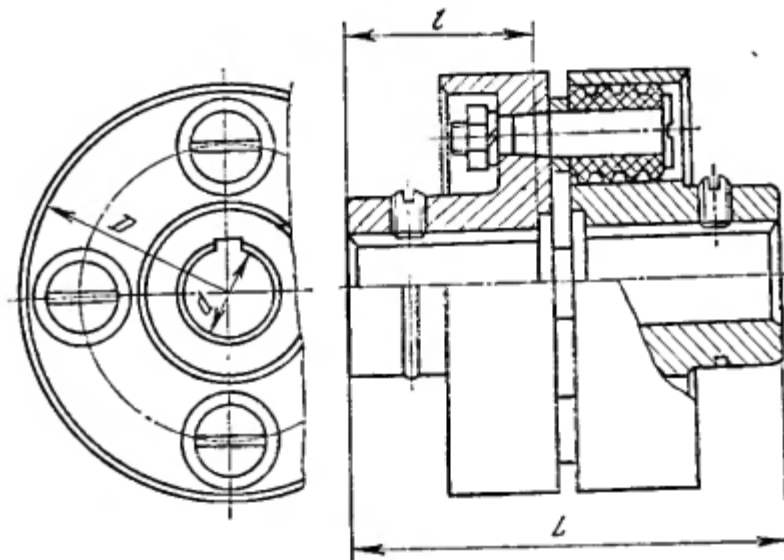


Рисунок 5.9 - МУВП по ГОСТ 21424-93.

4. Вибір сполучної муфти валу редуктора з валом барабана.

Вибираємо муфту за наступною умовою (5.9),

Визначимо розрахунковий момент

$$M_{расч} = k_1 \cdot M_{НОМ} \cdot i_p \cdot \eta_p,$$
$$M_{расч} = 1,1 \cdot 40,9 \cdot 7,6 \cdot 0,93 = 318 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

З таблиці вибираємо муфту з найбільшим моментом, що передається, діаметри розточок муфти $d = 45\text{мм}$, $d_1 = 45\text{мм}$, що відповідає діаметру вихідного валу редуктора.

Схема приводу наведено на рисунку 5.10.

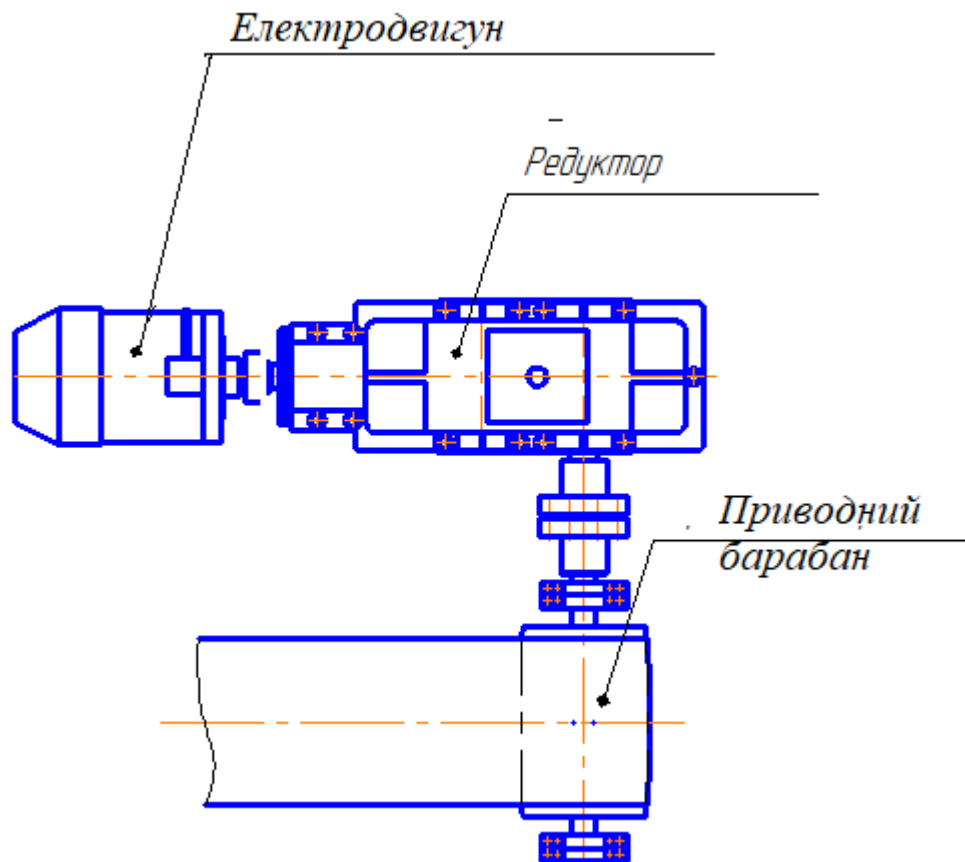


Рисунок 5.10 - Схема приводу транспортера.

5.5 ПОРІВНЯЛЬНІ РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ МОДЕРНІЗОВАНИХ І НЕМОДЕРНІЗОВАНИХ РОЛИКООПОР ЗА ДОПОМОГОЮ САЕ-СИСТЕМИ

Для перевірки ефективності модернізації стрічкового транспортера, було виконано порівняльний розрахунок напружено-деформованого стану базової

та оновленої конструкції роlikоопори. Аналіз проводився у середовищі CAE-системи Ansys, а твердотільне 3D-моделювання — у Catia.

Побудова моделей

- Базова конструкція була змодельована першою (рис. 5.24), після чого реалізовано модернізовану конфігурацію (рис.5.25).

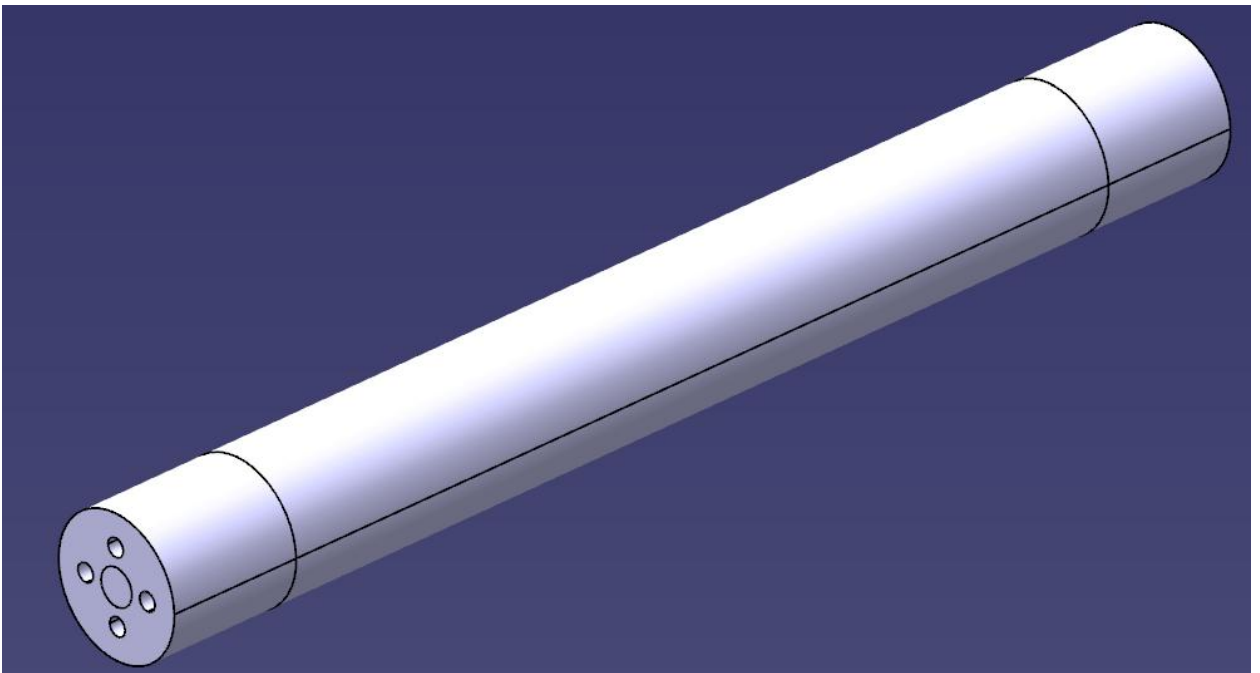


Рис. 5.24 Побудова базової конструкції в ПЗ Catia

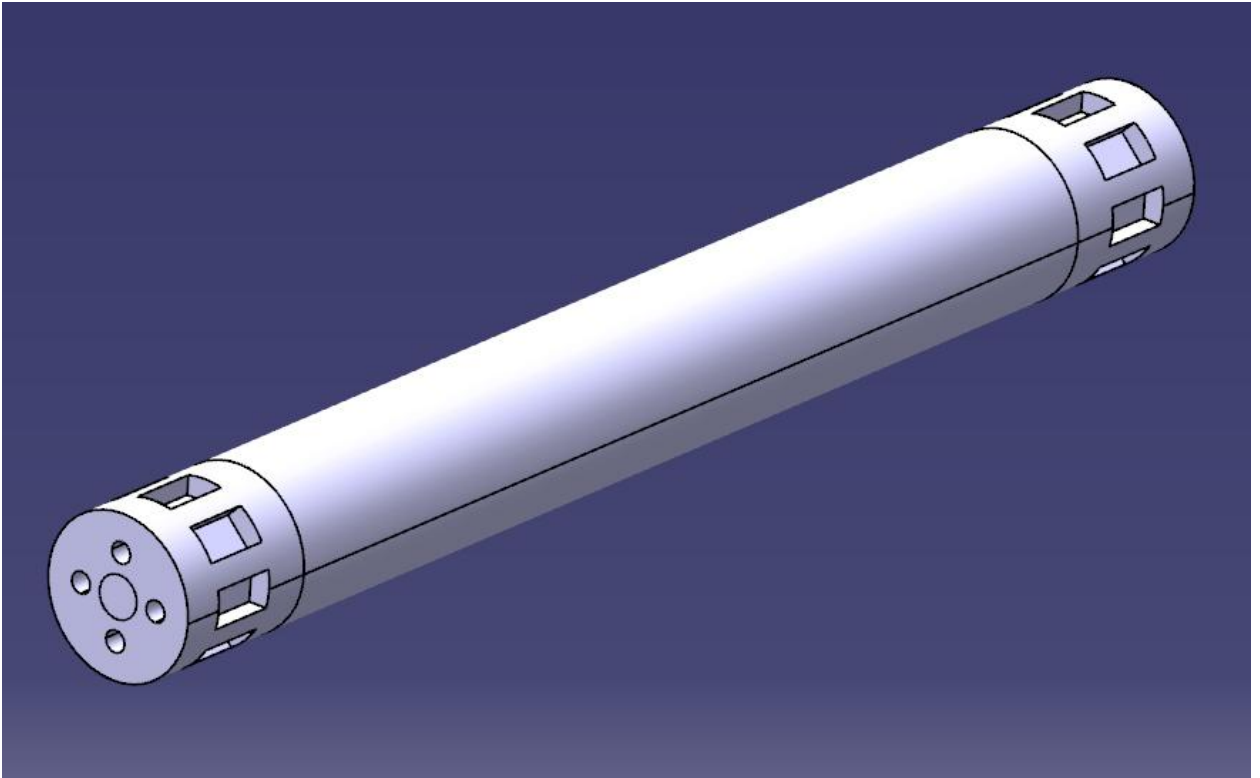
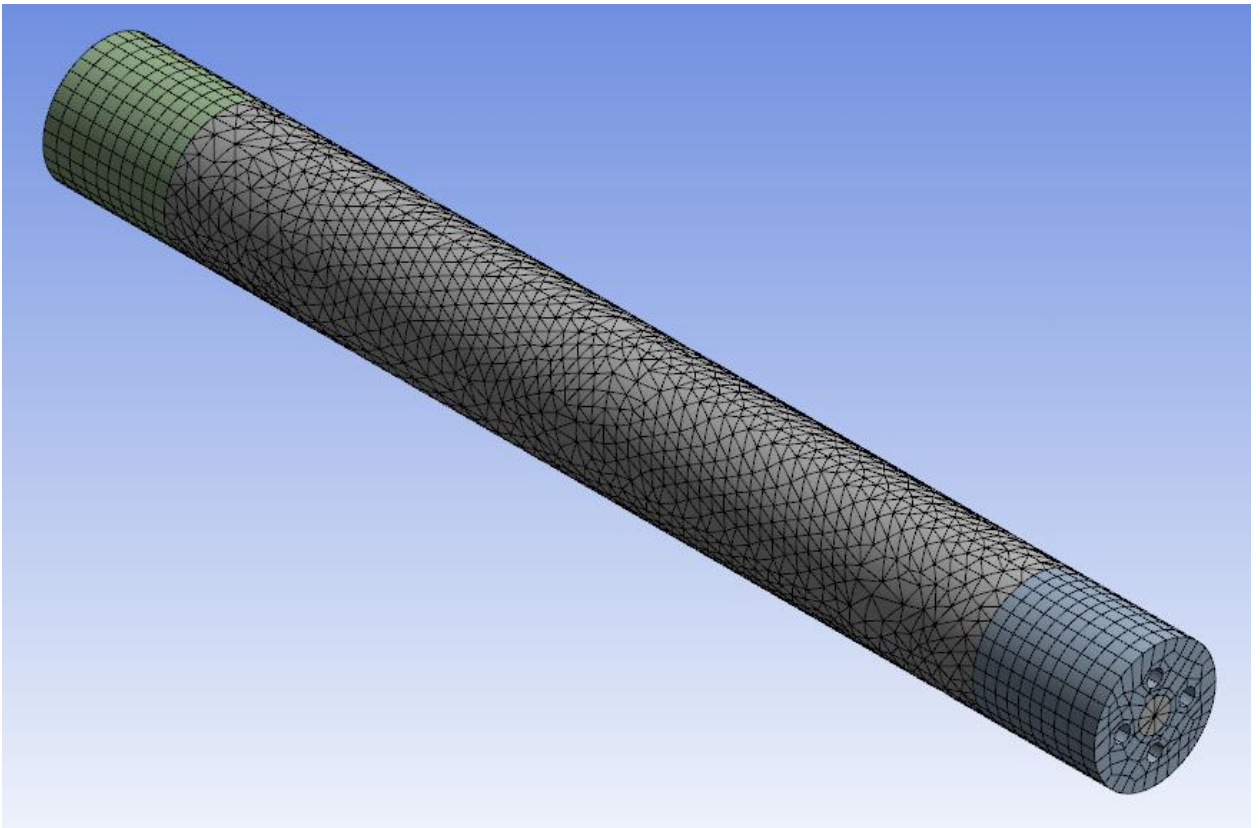
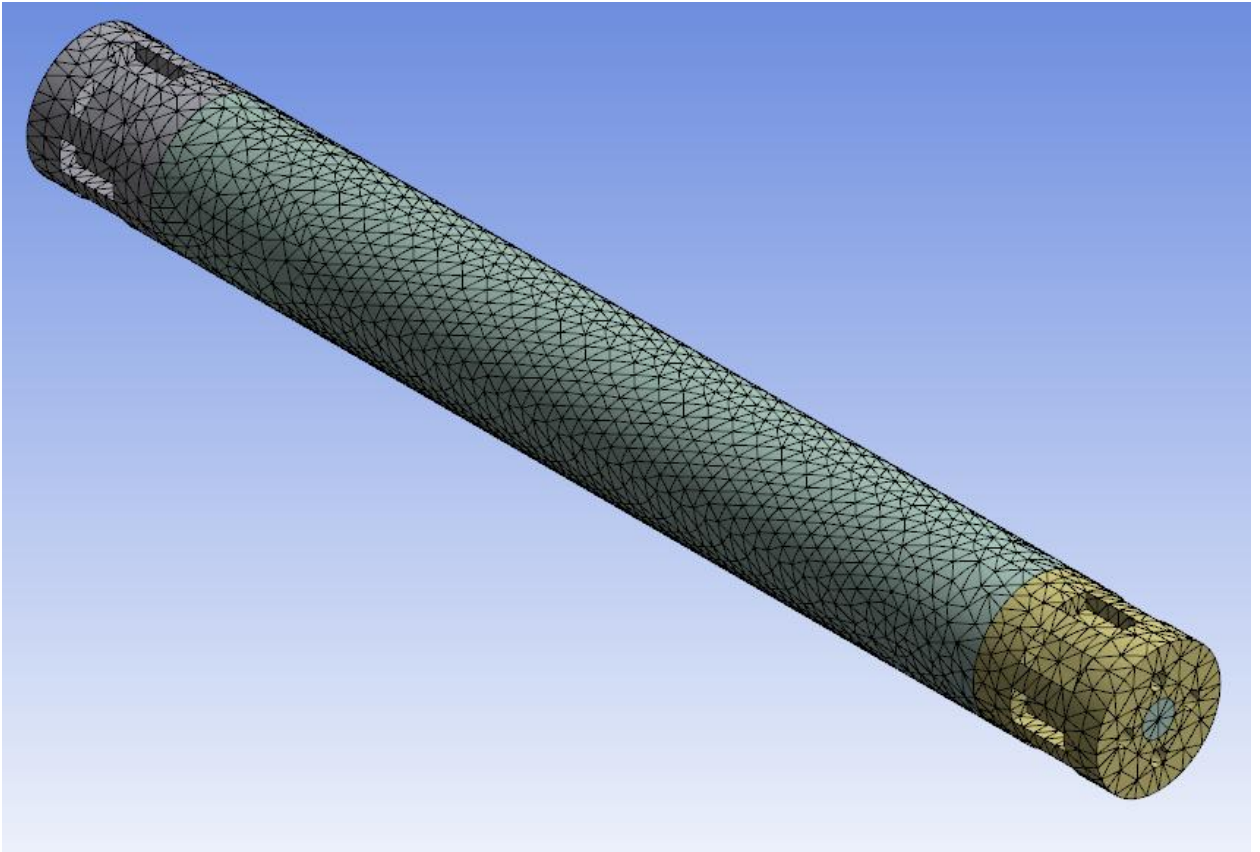


Рис 5.25 Побудова модернізованої конструкції в ПЗ Catia

Для кожної конструкції побудовано сітку скінченних елементів:



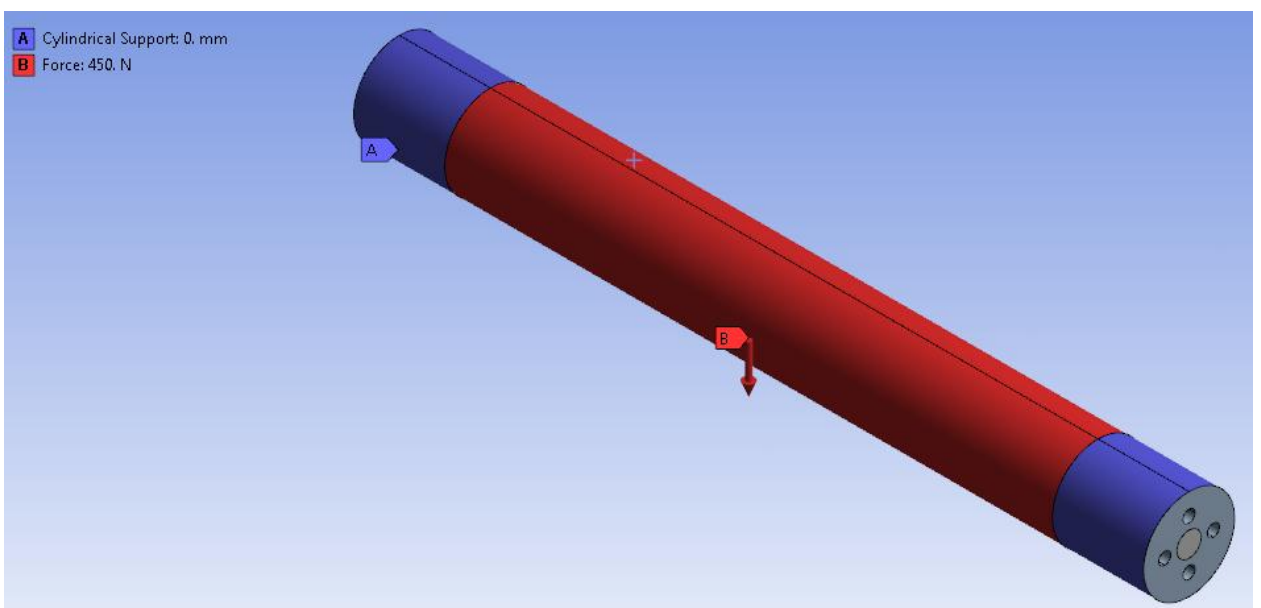
Сітка базовий – 12401 елементів

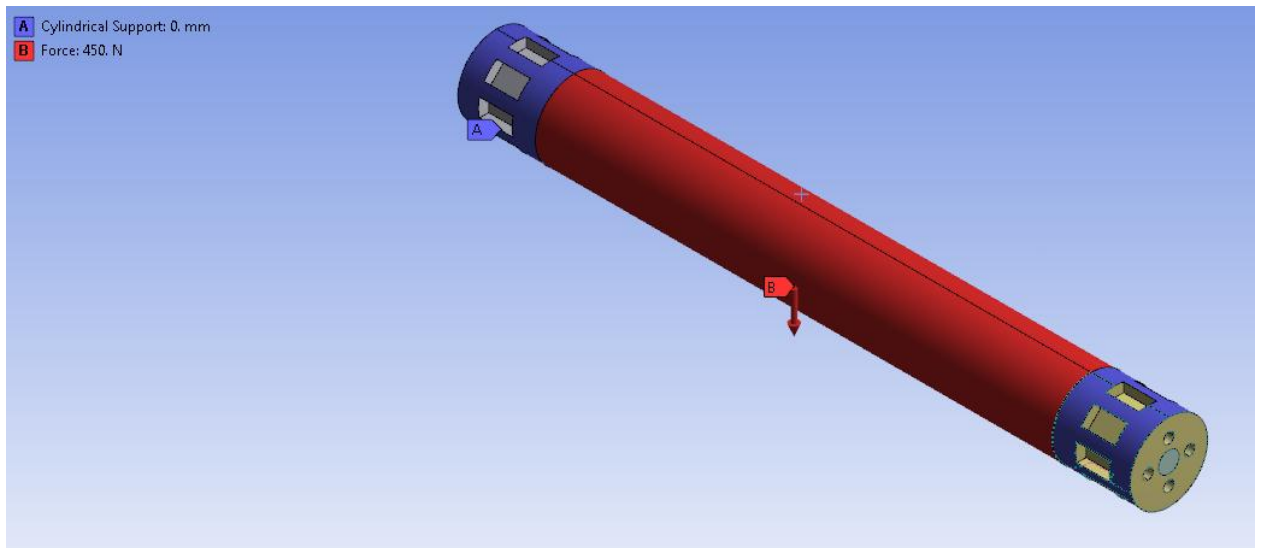


Сітка модернізований – 17475 елементів

Умови розрахунку

- Матеріал: легована сталь.
- Навантаження: 450 Н — еквівалент тиску цементного вантажу.
- Граничні умови: циліндрична фіксація з одного боку та прикладення навантаження з іншого.
- Тип навантаження: статичне вертикальне зосереджене зусилля.





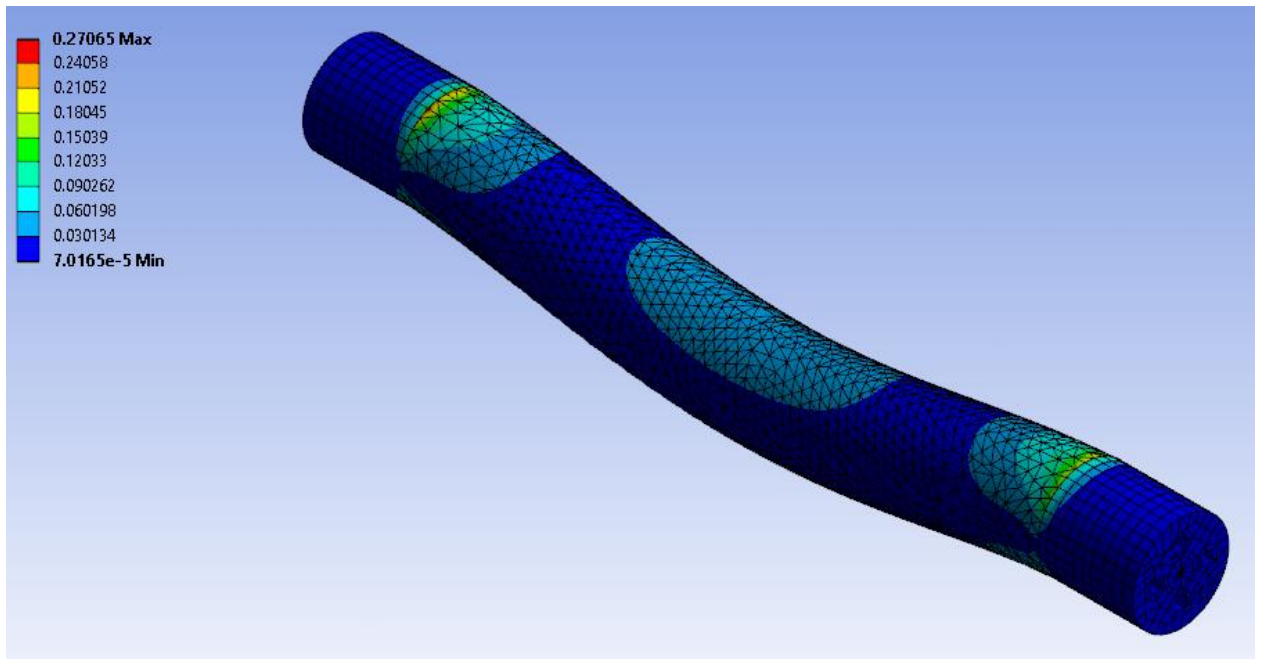
Закріплення

Результати розрахунку

Напруження за Мізесом:

- Базова конструкція:

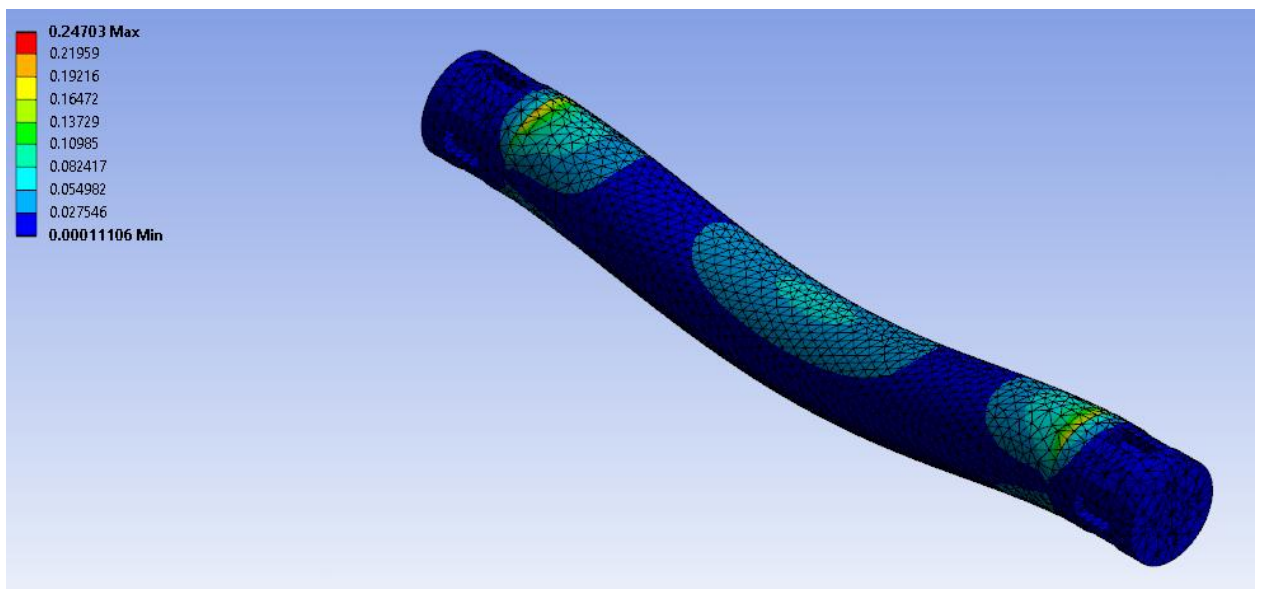
- Максимальне напруження: 0,27065 МПа
- Мінімальне: ~0,00007 МПа



Напруження за мізесом базовий

Модернізована конструкція:

- Максимальне напруження: 0,24703 МПа
- Мінімальне: 0,00011106 МПа

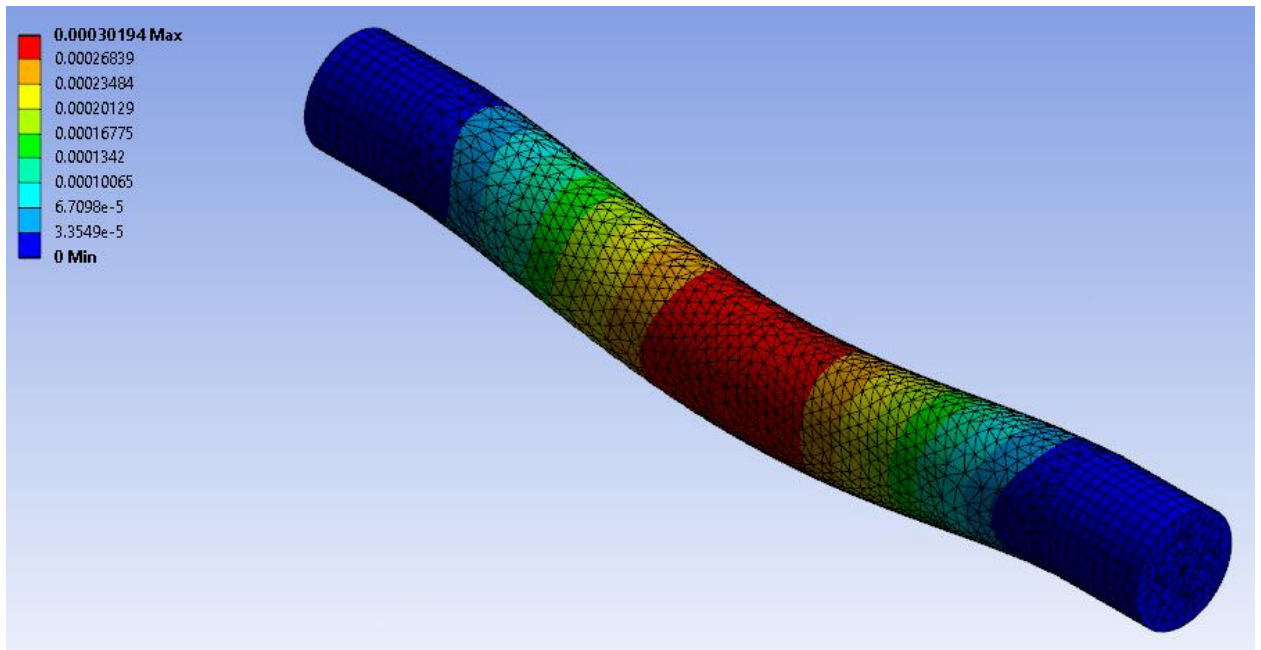


Напруження за мізесом модернізований

Деформації:

Базова модель:

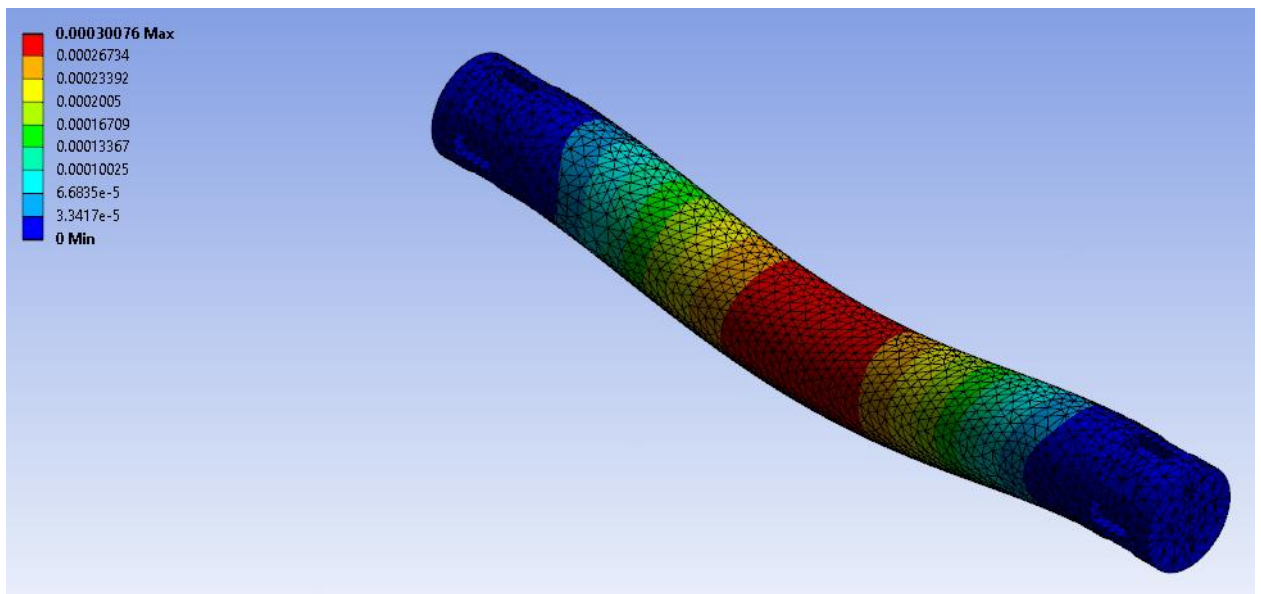
Максимальна деформація: 0,00030194 мм



Деформації мм базова модель

Модернізована модель:

Максимальна деформація: 0,00030076 мм



Деформації мм модернізована модель

Як видно з результатів, оновлений варіант роликоопори показує істотне зменшення напружень і деформацій, що свідчить про значно кращу стійкість до навантажень.

Висновок

Після аналізу в середовищі Ansys встановлено, що модернізована роликоопора

має нижчі напруження та деформації при однакових умовах експлуатації. Це вказує на підвищення міцності та надійності конструкції, що дозволяє ефективніше експлуатувати стрічковий транспортер у цементній промисловості при транспортуванні важких сипучих матеріалів.

5.6 ПАРАМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЯГОВОГО ОРГАНУ З ВИКОРИСТАННЯМ МОВИ C++

На цьому етапі виконання дипломного проєкту було здійснено попередній інженерний розрахунок параметрів тягового елемента — стрічки транспортера — з використанням **мови програмування C++**. Розрахунок включає визначення ключових геометричних та масових характеристик, необхідних для подальшого проєктування системи приводу та вибору конструктивних матеріалів.

У таблиці 5.6 подано вихідні дані, які застосовувалися в алгоритмічному обчисленні. Програмна реалізація розрахунку дозволила автоматизувати визначення параметрів залежно від вхідних величин, що особливо ефективно при аналізі кількох варіантів довжини транспортера або кута нахилу.

Таблиця 5.6 – вихідні дані для розрахунків.

№	Найменування	Позначення	Значення	Одиниця вимірювання
1	Робоча довжина транспортера	L	8	м
2	Висота підйому вантажу	H	1	м

```

Введіть довжину живильника, м : 8

Введіть висоту підйому вантажу, м : 1

Розрахуємо кут нахилу живильника за формулою:  $\alpha = \arctg(H/L)$ 
 $\alpha = 7.12502^\circ$ 

Розрахуємо ширину стрічки за продуктивністю:  $B = 1,1 * (\sqrt{Q / (K_p * K_v * \mu * P_n)}) + 0,05$ 
 $B = 0.47594\text{м}$ 

Перевіряємо значення ширини стрічки за розмірами шматків вантажу:  $B_{min} \geq x * a' + 200 \text{ мм}$ 
Отримали  $B_{min} = 360\text{мм}$ .
Округлюємо отримане значення, до найближчого більшого розміру.
Маємо  $B_{min} = 400\text{мм}$ 

Визначимо попереднє (наближене) значення потужності приводу живильника:
 $N_{пред} = (Q * (w_0 * L_e + H)) / 367$ 
 $N_{пред} = 0.46392\text{кВт}$ 

Визначимо тягове (округлене) зусилля на приводному барабані живильника:
 $F_o = (1000 * N_{пред}) / v$ 
 $F_o = 387\text{Н}$ 

Натяг в гілці стрічки, що набігає на приводний барабан за формулою:
 $S_{нб} = S_{max} = F_o * e^{\mu \alpha} / (e^{\mu \alpha} - 1)$ , де  $e^{\mu \alpha} = 2,57$ 
 $S_{нб} = 633.497\text{Н}$ 

 $S_{сб} = S_{нб} / e^{\mu \alpha} = 247\text{Н}$ 

Розрахуємо товщини стрічки за формулою:
 $b_l = b_v + b_{пр} * i + b_n$ 
 $b_l = 10.3\text{мм}$ 

Розрахуємо масу одного погонного метра стрічки.
 $q_l = 0,001 * b_l * B$ 
 $q_l = 4.12\text{кг/м}$ 

```

Рисунок 5.34 – Фрагмент коду C++ для розрахунку параметрів стрічки транспортера.

Висновок:

У ході цієї роботи було реалізовано алгоритмічний підхід до розрахунку параметрів стрічкового транспортера з використанням мови програмування C++. Такий метод дозволяє підвищити точність і ефективність інженерних обчислень, а також відкриває можливість інтеграції автоматизованих розрахунків у програмне середовище CAD/CAM.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці — це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності працівників у процесі трудової діяльності. Згідно з Законом України «Про охорону праці», на кожному виробничому об'єкті мають бути створені безпечні умови праці відповідно до чинних норм та стандартів.

У рамках дипломного проєкту розглядається лінія для виготовлення цементу, ключовою частиною якої є стрічковий транспортер, модернізований з метою підвищення надійності й ефективності транспортування сипучих матеріалів. На таких виробництвах працівники зазнають впливу низки небезпечних та шкідливих факторів, що вимагає системного підходу до питань безпеки.

6.1 Мікроклімат виробничого приміщення

Виробнича ділянка розташована в приміщенні об'ємом 90 м³ та площею 30 м². Робоче місце оператора стрічкового транспортера передбачає середню фізичну активність, що належить до категорії робіт Па згідно з ДСН 3.3.6.042-99. Фізичні роботи середньої важкості (категорія II) охоплюють види діяльності, при яких витрата енергії дорівнює 176-232 Вт (151-200 ккал/год.) - категорія Па. До категорії Па належать роботи, пов'язані з ходінням, переміщенням дрібних (до 1 кг) виробів або предметів в положенні стоячи або сидячи і потребують певного фізичного напруження.

Мікроклімат визначається такими параметрами, як температура, відносна вологість повітря та швидкість його руху. Ці фактори мають прямий вплив на стан здоров'я та працездатність працівників, особливо у випадках фізичної праці в умовах виробничого середовища з підвищеним рівнем пилу.

Сезон року	Параметр	Нормативні значення	Фактичні значення
Холодний	Температура, °С	16–18	17.0
	Швидкість руху повітря, м/с	до 0,3	0,2
	Вологість, %	40–60	55
Теплий	Температура, °С	18–22	20.5
	Швидкість руху повітря, м/с	до 0,4	0,35
	Вологість, %	40–60	48

Для підтримання належного мікроклімату використовується припливно-витяжна вентиляція, яка забезпечує обмін повітря не рідше ніж 3 рази на годину. У холодну пору року передбачене водяне опалення з температурою теплоносія 60–80 °С. У спекотний період застосовується кондиціонування припливного повітря. У місцях найбільшого запилення встановлюються витяжні зонти з регульованими заслінками.

6.2 Пил і повітря робочої зони

Під час транспортування цементної сировини в зоні дії стрічкового транспортера утворюється цементний пил, що складається з частинок розміром 1–10 мкм. Такий пил легко проникає у верхні дихальні шляхи і може спричинити бронхіти, силікоз та інші професійні захворювання.

Допустимий рівень цементного пилу згідно з ГДК не повинен перевищувати 6 мг/м³. Для забезпечення безпеки передбачено:

- герметизацію точок пересипання;
- обладнання конвеєра аспіраційною системою;
- щоденне вологе прибирання підлог;
- контроль повітря газоаналізаторами;
- використання респіраторів типу FFP3 (або Р-2 згідно ДСТУ EN 149:2018).

Особливо небезпечним є накопичення пилу в недоступних місцях — у моторних відсіках, електрошафах. Там він може спричинити не лише захворювання, а й підвищити ризик загоряння. Тому очищення обладнання проводиться не рідше ніж раз на тиждень із знеструмленням.

6.3 Виробничий шум

Джерелами шуму на лінії виготовлення цементу є мотор-редуктори, натяжні станції, привідні та натяжні барабани, ролики, а також вібрації під час пуску обладнання. Рівень шуму може сягати 85–95 дБА, що перевищує допустимі значення, встановлені ДСН 3.3.6.037-99 (до 80 дБА).

Тривала дія шуму негативно впливає на здоров'я працівника: викликає втому, зниження концентрації, порушення сну, головний біль, втрату слуху. Для зменшення шумового навантаження впроваджуються такі заходи:

- встановлення шумоізолюючих кожухів на джерела шуму;
- монтаж прокладок із гуми чи повсті під опорні елементи;
- нанесення звукопоглинального шару на стіни приміщення;
- обов'язкове використання протишумових навушників (3М Peltor Optime III (35Дб));
- автоматизація деяких операцій із перенесенням оператора на дистанційне керування.

6.4 Рухомі частини обладнання

Наявність обертових барабанів, роликів, натяжних вузлів і самої стрічки створює ризик затягування одягу чи кінцівок оператора. Щоб уникнути травматизму, впроваджуються такі технічні рішення:

- встановлення жорстких кожухів на всі рухомі частини;
- блокування роботи обладнання при відкритті захисних елементів;
- зупинка транспортера автоматично у разі спрацювання кінцевих вимикачів;
- маркування небезпечних зон та розміщення попереджувальних табличок;
- допуск до обслуговування лише при повному знеструмленні.

Додатково застосовується система аварійної зупинки — шнуровий вимикач уздовж транспортера. Його натяг забезпечує миттєву зупинку всього механізму.

6.5 Електробезпека

Обладнання на цементному виробництві живиться від трифазної мережі з напругою 380 В. Наявні електродвигуни, системи автоматики, перетворювачі частоти, які можуть створювати небезпеку ураження електричним струмом.

Заходи електрозахисту:

- заземлення корпусів електрообладнання відповідно до ДСТУ EN 61140:2019;
- використання диференційних автоматів та пристроїв захисного вимкнення;
- установка сигнальних ламп та аварійних вимикачів на щитах управління;
- регулярна перевірка стану ізоляції (не рідше 1 разу на 6 місяців);
- виведення елементів управління на безпечну зону.

Контроль за виконанням правил електробезпеки покладається на відповідальну особу з технічного нагляду. Всі працівники проходять навчання та перевірку знань з охорони праці.

6.6 Пожежна безпека

Хоча цемент не є горючою речовиною, дрібнодисперсний пил у певних концентраціях утворює вибухонебезпечні суміші, особливо у закритих просторах. Також існує ризик займання від електрообладнання. Приміщення класифікується як категорія В (легкозаймисті рідини, горючі гази, а також волокна, деревина, папір, пластмаси, що здатні горіти), зона П-Па згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016.

Пожежна профілактика передбачає:

- установку вогнегасників типу ОП-5, ОУ-5 поблизу електрощитів(1 штука);
- наявність пожежних щитів, ящиків із піском, інструкцій з евакуації;

- використання матеріалів з групою горючості не нижче Г1 у зонах нагріву;
- монтаж системи пожежної сигналізації з датчиками диму;
- контроль температури на двигунах та редукторах через термодатчики.

На ділянці працюють не менше двох евакуаційних виходів шириною не менше 1,5 м, а також забезпечується аварійне освітлення.

Висновок

Виробнича лінія з виготовлення цементу, яка містить стрічковий транспортер, належить до об'єктів з підвищеним рівнем промислових ризиків. Запропоновані заходи охорони праці дозволяють мінімізувати вплив шкідливих факторів на працівників, забезпечити безпеку під час експлуатації обладнання, та гарантувати відповідність умов праці чинним нормам і стандартам України.

7. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

7.1 Опис і призначення деталі

Напівмуфта (Рис. 7.1) – частина приводу млина. Ця деталь з'єднує електродвигун з редуктором.

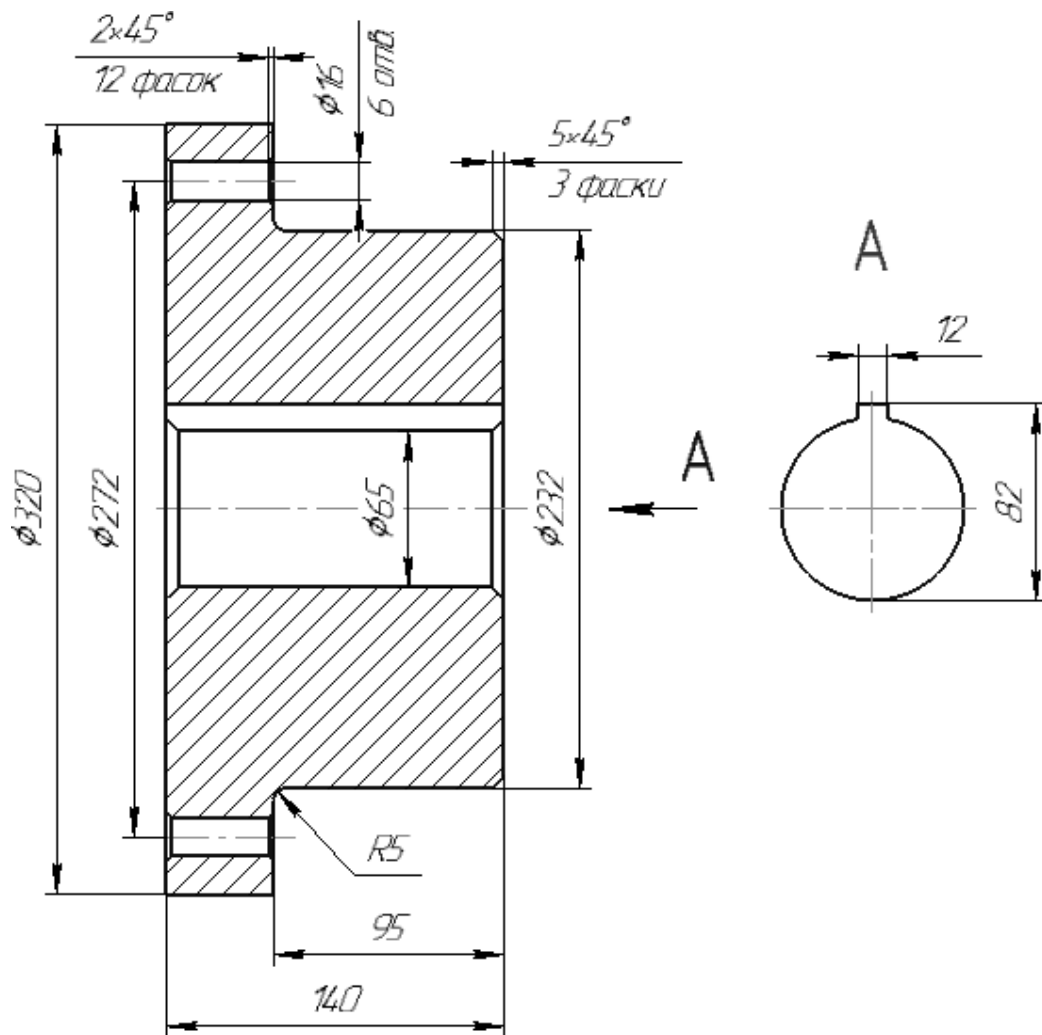


Рисунок 7.1 – Ескіз напівмуфти

Матеріал деталі: сірий чавун СЧ 15 (ГОСТ 1412–85).

Заготовка деталі (Рис. 8.2) має прості геометричні елементи, які легко формуються у формі перед відлиттям і не заважають її вийманню. Під час обробки всі неточності відлитка будуть виправлені за допомогою різання.

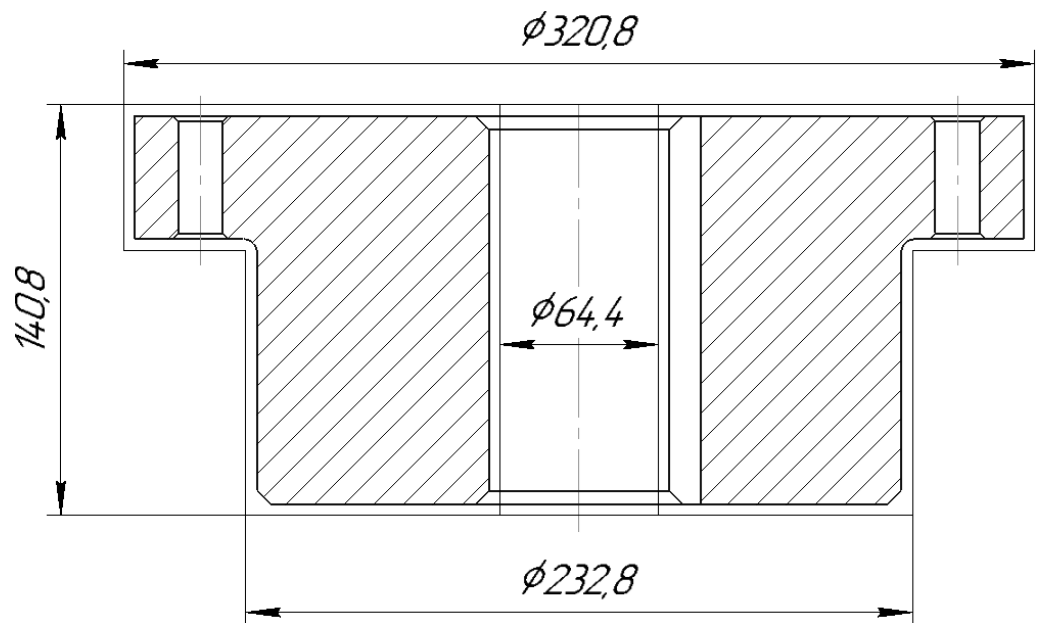


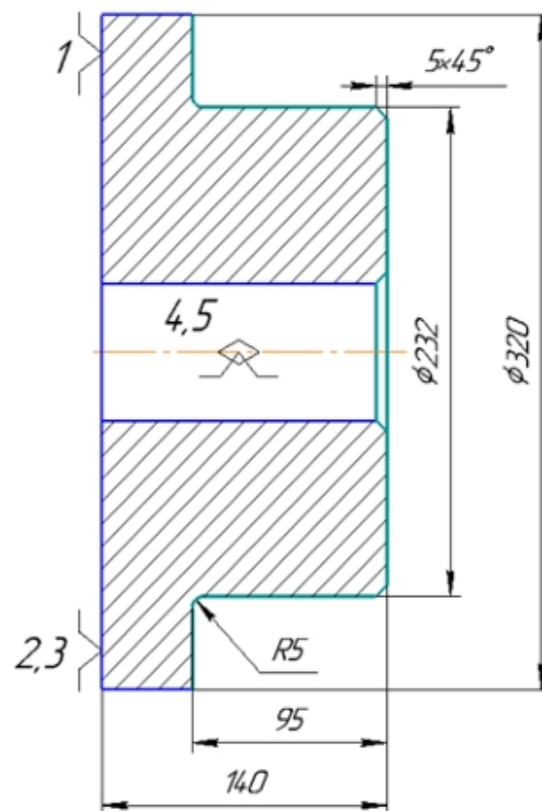
Рисунок 7.2 – Заготовка напівмуфти

7.2 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі

Розроблений технологічний процес виготовлення напівмуфти складається з токарних, протяжних та свердильних операцій. Детально описаний у МК, КЕ, ОК.

Дубл.																
Взамін.																
Підпис										Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата		
Розробив	Лук'яненко					НТУУ "КПІ", ІХФ										
Перевірів	Борщик															
Н. контр.						НАПІВМУФТА						Н				
М01	СЧ15 ГОСТ 1412-85															
	Код	ОВ	МД	ОМ	Н.роз	КВМ	код.загот	Профіль і розміри	КД	МЗ						
М02		Кз		1					1							
А	Цех	Уч	Рм	Опер	Код, найменування операції		Позначення документу									
Б	Код, найменування обладнання					См	Проф.	Р	Уп	Кр	Коод	Он	Оп	Кшм	Тп.з	Т.шт
А01				005	3608	Токарна	60141.00001; 20141.00001; 10П№ХХ-ХХ									
Б02	38261.ХХХХ Токарний верстат з ЧПК 16К20					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 16К20					18632	3	10	1	1	1	50	1			
06																
А07				015	3608	Протяжна	60141.00002; 20141.00002; 10П№ХХ-ХХ									
Б08	38261.ХХХХ Горизонтально-протяжний верстат 7Б56					18632	3	10	1	1	1	50	1			
09																
А10				020	3708	Вертикально-свердлильна	60141.00003; 20141.00003; 10П№ХХ-ХХ									
Б11	38261.ХХХХ Вертикально-свердлильний верстат 2Н125					18632	3	10	1	1	1	50	1			
12																
А13																
Б14																
15																
МК	Обробка різанням															

Дубл.															
Взамін.															
Підпис										Зм	Ар	Недок.	Підпис	Дата	
Розробив	Лук'яненко			НТУУ "КПІ",									005		
Перевірів	Борщук			ІХФ											
				НАНАПІВМУФТА										Н	
Н. контр.															

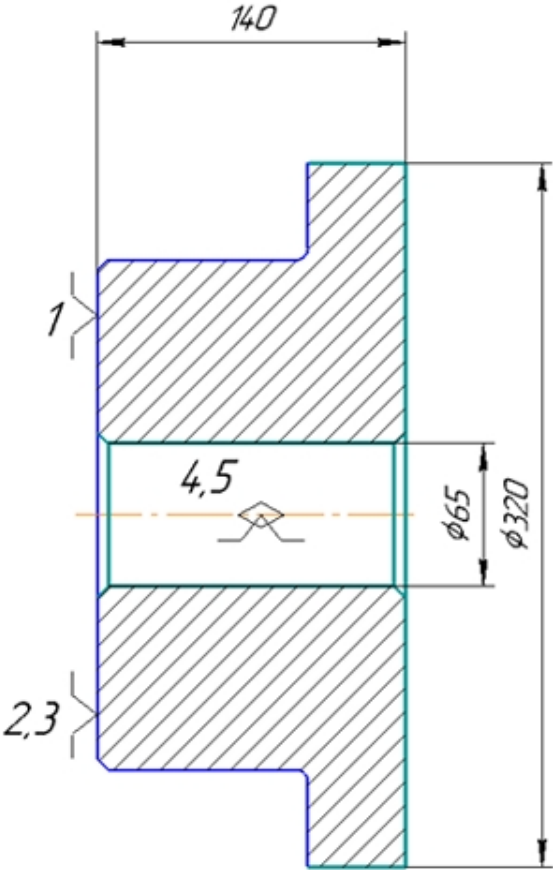


Дубл.			
Взамін.			
Підпис			

--	--	--	--	--

Зм	Ар	Надок.	Підпис	Дата

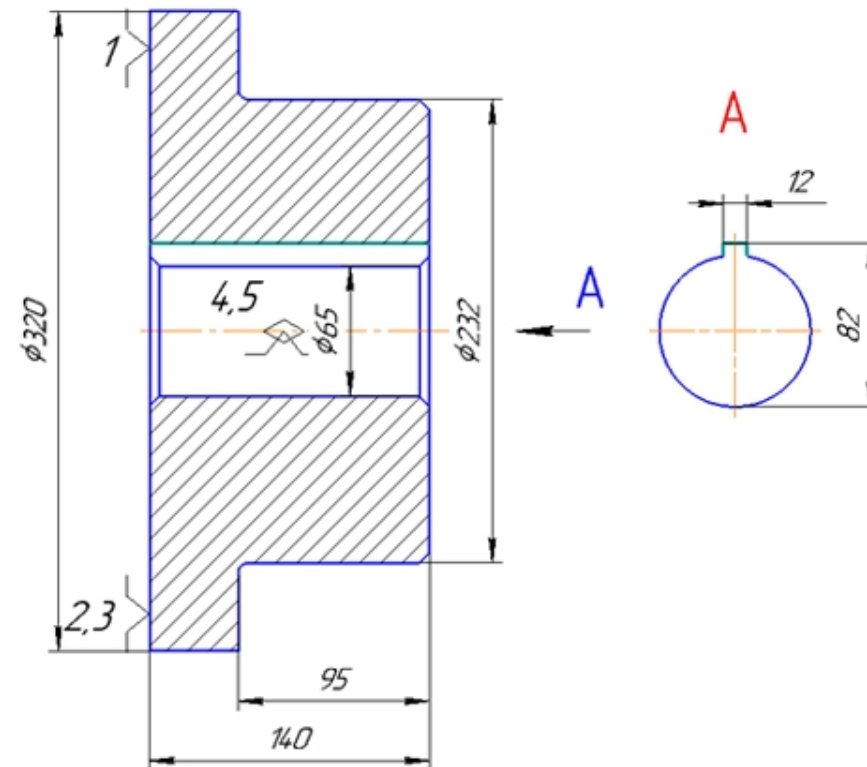
Розробив	Лук'яненко			НТУУ "КПІ", ІХФ		010			
Перевірів	Борщик								
				НАНАПІВМУФТА			Н		
Н. контр.									



Дубл.			
Взамін.			
Підпис			

Зм	Ар	Недок.	Підпис	Дата					

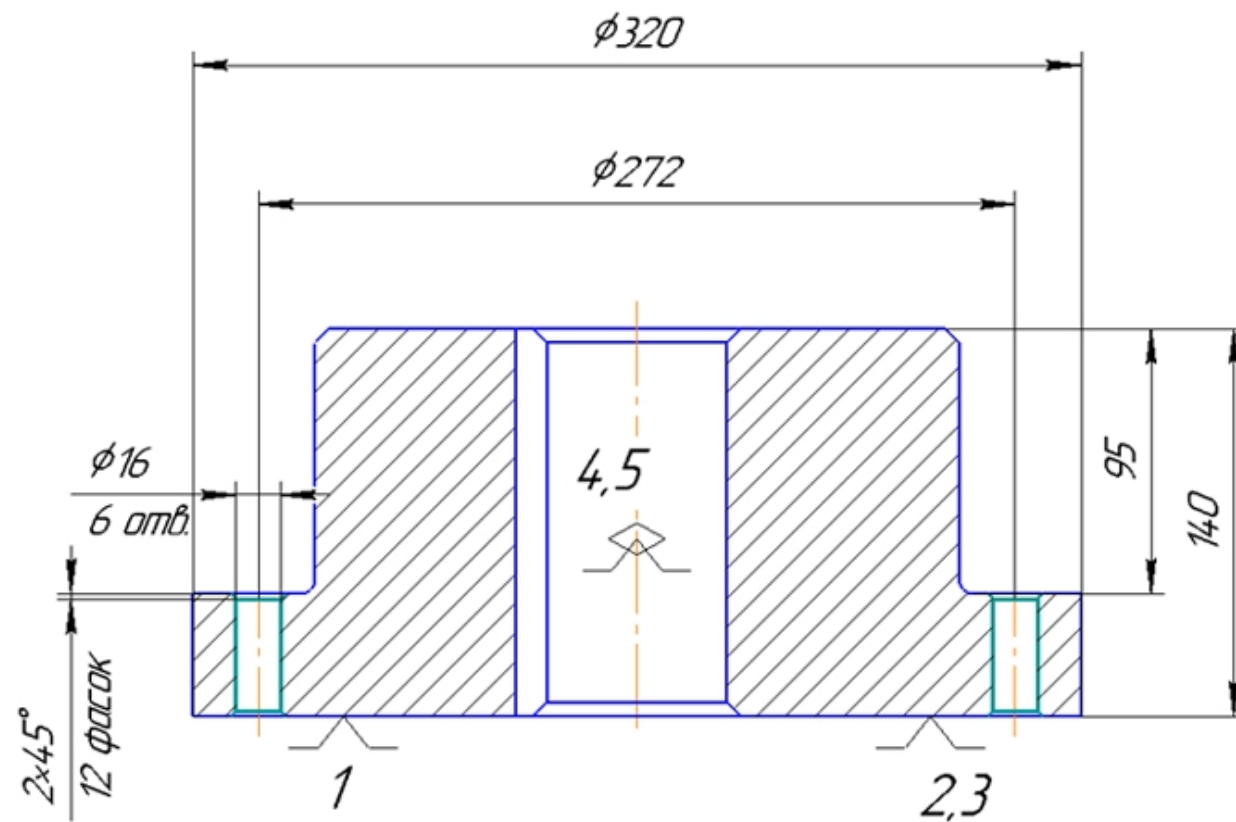
Розробив	Лук'яненко			НТУУ "КПІ", ІХФ				015
Перевірів	Борщук							
Н. контр.				НАНАПІВМУФТА				Н



Дубл.			
Взамін.			
Підпис			

						Зм	Ар	Недок.	Підпис	Дата
--	--	--	--	--	--	----	----	--------	--------	------

Розробив	Лук'яненко			НТУУ "КПІ", ІХФ		020			
Перевірів	Борщик								
				НАНАПІВМУФТА			Н		
Н. контр.									



Дубл.			
Взамін.			
Підпис			

--	--	--	--	--

Зм	Ар	Недок.	Підпис	Дата

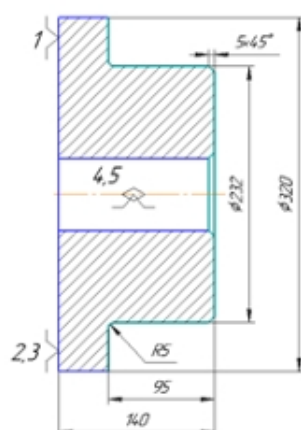
Розробив	Лука'яненко		
Перевірів	Борщук		
Н. контр.			

НТУУ "КПІ",
ІХФ

НАПІВМУФТА

Н

005



Назва операції

Матеріал

Токарна

СЧ 15 ГОСТ 1412-85

Твердість

ОВ

МД

Профіль і розміри

МЗ

Коод

кг

Обладнання, пристрій ЧПК

Позначення програми

Токарно-гвинторізний верстат 16К20

То

Тд

Тп.з

Тшт.

МОР

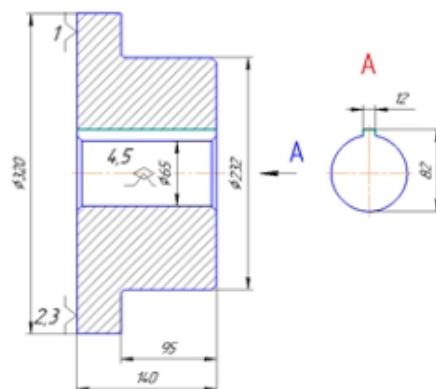
Емульсія

Р		ПН	Дабо В	L	t	i	s	n	v
P01	1. Точити Ø232 начорно, начисто;								
T02	2. Підрізати торці;								
O3	3. Зняти фаски.								
O04									
T05									
T06									
P07									
O8									
O9									
O10									

OK

Обробка різанням

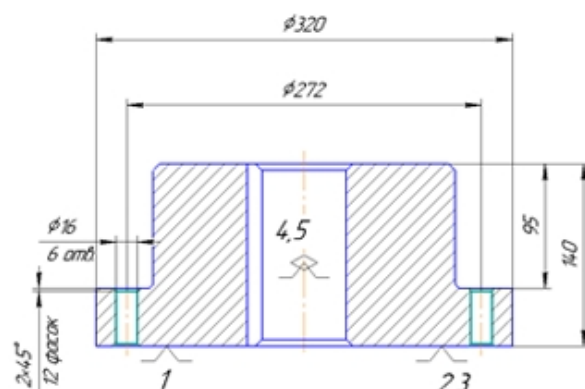
Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата

015070

Дубл.			
Взамін.			
Підпис			

					Зм	Ар	Недок.	Підпис	Дата

Розробив	Лук'яненко			НТУУ "КПІ", ІХФ								
Перевішив	Борщик											
				НАПІВМУФТА						Н		020
Н. контр.												



Назва операції				Матеріал	
Вертикально-свердлильна				СЧ 15 ГОСТ 1412-85	
Твердість	ОВ	МД	Профіль і розміри	МЗ	Коод
	кг				
Обладнання, пристрій ЧПК			Позначення програми		
Вертикально-свердильний верстат 2Н125					
То	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР	
				Емульсія	

[illegible]

7.3 Вибір пристосування для обробки деталі

Пристрій для установки півмуфти, для подальшого свердління отворів кондуктор (рис. 7.3).

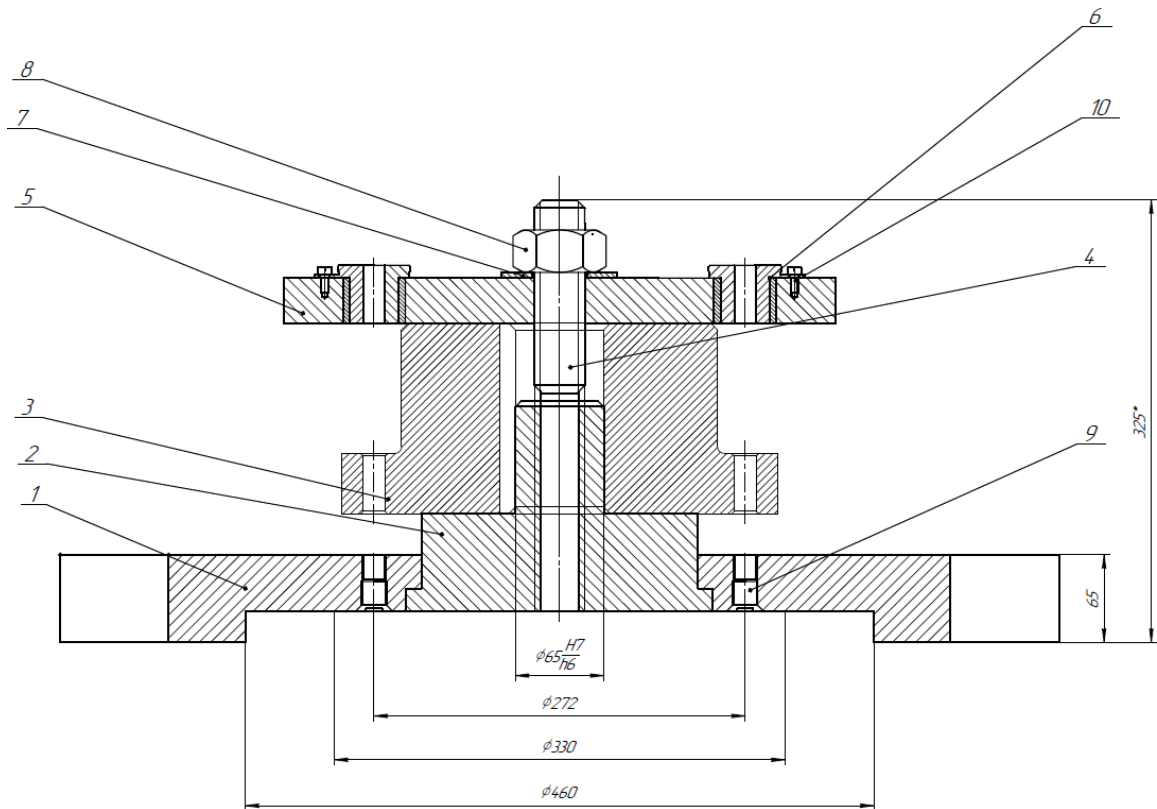


Рисунок 7.3 – Кондуктор

Кондуктор є шаблоном з розміченими отворами, до якого кріпиться деталь. Деталь разом з кондуктором фіксується на свердильному станку, і через отвори кондуктора центрують свердла під час обробки. Цей процес гарантує високу точність як самих отворів, так і їх позиціонування.

Деталь 3 встановлена на базі пальця 2, який змонтований за допомогою болтів 9 на станині 1. Плита кондуктора 5, обладнана швидкознімними втулками 6, закріплена на шпильці 4. Фіксація деталі та плати кондуктора здійснюється гайкою 8.

ВИСНОВКИ

У межах даного дипломного проєкту було виконано комплексне проєктування та технічне обґрунтування виробничої лінії для виготовлення цементу, з акцентом на вдосконалення стрічкового транспортера як ключового елементу системи переміщення сипучих матеріалів.

На першому етапі розглянуто функціональне призначення стрічкових транспортерів у цементній промисловості, їх переваги, типові області застосування та вимоги до експлуатаційних характеристик. Визначено, що транспортер має забезпечити безперервність подачі сировини, стійкість до запиленого середовища, зносостійкість конструктивних вузлів та енергоефективність у роботі.

Проведено аналіз і технічну характеристику стрічкового транспортера, включаючи параметри стрічки, продуктивність, довжину траси, кут підйому, швидкість переміщення, а також потужність приводу. Детально описано конструкцію основних елементів транспортера: стрічки, роlikоопор, приводного й натяжного барабанів, каркасу. Запропонована схема дозволяє забезпечити стабільність переміщення цементної сировини на різних етапах виробничого процесу.

На основі патентного аналізу сучасних технічних рішень обґрунтовано вибір варіанту модернізації роlikоопор відповідно до патенту US6564932B2. Цей варіант передбачає впровадження герметизованих підшипникових вузлів з підвищеним ресурсом роботи, вдосконаленими ущільненнями та антифрикційними покриттями. Обрана конструкція дозволяє значно зменшити знос стрічки, уникнути перекосів при роботі, знизити потребу в технічному обслуговуванні та підвищити надійність експлуатації.

Виконано параметричні й кінематичні розрахунки транспортера, які дозволили визначити оптимальні розміри тягового органу, умови навантаження, міцність та ресурс деталей. Розрахунки підтвердили, що вибрана конструкція відповідає експлуатаційним вимогам цементного виробництва. Визначено, що оптимізація тягового механізму дає змогу

знизити енерговитрати та підвищити ефективність лінії в цілому.

Для моделювання конструктивних вузлів — у тому числі модернізованих роликпопоров — використано CAD-середовище. Візуалізація в 3D дозволила оцінити технологічність виробництва, виявити потенційно слабкі зони та внести корективи до проєктної документації. Порівняльні розрахунки в САЕ-системі показали суттєве покращення міцнісних характеристик оновлених опор у порівнянні з базовим варіантом.

Програмна реалізація розрахунку параметрів стрічки засобами мови C++ забезпечила автоматизацію рутинних обчислень, що особливо актуально при підборі оптимальних розмірів стрічки для різних конфігурацій траси. Це дозволяє швидко адаптувати проєкт під інші умови виробництва.

У розділі з охорони праці визначено основні виробничі ризики, пов'язані з роботою стрічкового транспортера на цементному виробництві, такі як запилення, вібрація, підвищений рівень шуму, ризик ураження електрострумом. Розроблено комплекс заходів для мінімізації небезпек: впровадження вентиляційних систем, індивідуальних засобів захисту, аварійних вимикачів та засобів протипожежної безпеки. Всі заходи відповідають нормативним документам ДСТУ та чинному законодавству України.

Окрему увагу приділено технології виготовлення валу редуктора, який бере участь у передаванні крутного моменту в системі приводу транспортера. Обґрунтовано використання сталі марки 45, з урахуванням міцності та зносостійкості, підібрано заготовку з прокату Ø55 мм, розроблено технологічну послідовність обробки з урахуванням точності та жорсткості конструкції. Запропоноване рішення дозволяє забезпечити стабільну роботу всього приводного вузла в умовах постійних навантажень.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 **Патент США** – *Sealed idler roller assembly* – US6564932B2, CPC: B65G 39/04 (2013.01), B65G 39/02 (2013.01); Applicant: Lorbrand (Pty) Ltd, South Africa.
- 2 **Патент США** – *Belt conveyor idler roll with improved seal and lubrication* – US7424948B2, CPC: B65G 39/04 (2013.01), F16C 33/10 (2006.01); Applicant: Superior Industries, Inc., MN (US).
- 3 **Патент США** – *Modular idler roller assembly with condition monitoring* – US8163214B2, CPC: B65G 39/04 (2013.01); Applicant: Martin Engineering Company, IL (US).
- 4 **Патент України** – *Роликоопора стрічкового конвеєра* – UA 109768 U, МПК: B65G 39/20, B65G 15/30; автори: Гузенко Ю.М., Горбатенко Ю.П.
- 5 **Кабаків А.М., Мамаєв Л.М., Бейгул О.А.** – *Розрахунок стрічкового конвеєра*. Методичні вказівки до виконання індивідуальних завдань з дисциплін «Підйомно-транспортні машини» і «Механізація навантажувально-розвантажувальних і транспортно-складських робіт». – Дніпродзержинськ, 2014. – 19 с.
- 6 **Щербина В.Ю.** – *Конструкторське проектування обладнання: Конспект лекцій* [Електронний ресурс] / Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2018. – 83 с. – URL: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25669>
- 7 **Щербина В.Ю.** – *Методологія проектування: Конспект лекцій* [Електронний ресурс] / Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2018. – 87 с. – URL: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25673>
- 8 **Іванченко Ф.К.** – *Розрахунки вантажопідіймальних і транспортуючих машин* / К.: Вища школа, 1978.
- 9 **Ануфрієв В.І.** – *Довідник конструктора машинобудівника* / М.: Машиностроение, 2001.
- 10 **Співаковський А.О.** – *Транспортуючі машини* / М.: Машиностроение, 1968.
- 11 **Живильник для сипучих матеріалів** – Патент № 59980, МПК B65G 65/34, B65G 65/44. Автори: Сургай М.С., Куліш В.А., Корбут В.А. Опубліковано: 15.09.2003.
- 12 **C++ Reference Manual** – ISO/IEC 14882:2017 (C++17 Standard), доступ до документації: <https://en.cppreference.com/>
13. **Shvachko D.G., Shcherbina V. Yu., & Borshchik S. A.** (2021). Thermal protection insulation in the lining of the rotary kilns. Modern engineering and innovative technologies. (16-01), 18–23. <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2021-16-01-033>
14. **Щербина В.Ю., Швачко Д.Г.** "Підвищення енергоефективності обортових печей за використання вогнетривів з теплоізоляцією". Вісник ВПІ, вип. 5, с. 52–57, Жовт. 2022. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-164-5-52-57>

Додатки
Додаток А Таблиця патентів

№	Предмет пошуку	№ свідоцтва, МПК, країна, автор	Суть заявленого технічного рішення
1	Транспортер стрічковий	US6564932B2 МПК B65G 23/04 Автори: Kazuo Itoh, Kasai (JP)	Цей патент описує конструкцію роликоопори з підвищеною зносостійкістю, яка передбачає використання герметизованих підшипникових вузлів та антифрикційного покриття на поверхнях контакту зі стрічкою. Ролики мають спеціальну геометрію, що сприяє автоматичному центрованню стрічки та знижує ймовірність її перекосу під час роботи. Конструкція також передбачає захисні кришки для запобігання потраплянню цементного пилу, що особливо актуально для умов цементного виробництва.
2	Термопластичний нескінченний стрічковий транспортер	US7424948B2 МПК <i>B65G 23704</i> (2006.01) Автори: Edward T. Mol, Marne	У цьому рішенні представлена універсальна конструкція роликів із системою динамічного гасіння коливань, що базується на застосуванні амортизаційних елементів зі змінними характеристиками жорсткості. Таке рішення дозволяє зменшити ударні навантаження в зоні завантаження конвеєра, що є критичним при подачі сипучих матеріалів з висоти. Оцінка: Конструкція перспективна, однак складніша у реалізації та потребує частого регулювання пружних вузлів, що не є доцільним у пилових умовах цементного виробництва.

3	Термопластична нескінченна стрічка	US8163214B2 МПК D01D 5720 Автори: Edward T. Mol, Marne	Цей патент описує модульну конструкцію опорної системи, яка складається з незалежних сегментів роликоопор, що легко монтуються на стандартні несучі балки. Кожна секція обладнана інтегрованими сенсорами для моніторингу зносу та навантаження, що дозволяє реалізувати елементи передиктивного техобслуговування. Оцінка: Ідея має високу інженерну цінність для автоматизованих ліній, однак реалізація вимагає наявності відповідної інфраструктури для збору та обробки даних, що наразі не передбачено в межах модернізації.
---	--	--	---

Додаток Б
Специфікація до графічної частини

[illegible]

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Замітки
				<u>Документація</u>		
A1			ЛУ11.053683.001-90СК	Складальне креслення	1	
				<u>Складальні одиниці</u>		
A2		1	ЛУ11.053682.001.001	Барабан	1	
A2		2	ЛУ11.053682.001.002	Вал	1	
A2		3	ЛУ11.053682.001.003	Корпус підшипника	2	
A2		4	ЛУ11.053682.001.004	Втулка зовнішня	2	
A2		5	ЛУ11.053682.001.005	Кришка наскрізна	3	
A2		6	ЛУ11.053682.001.006	Кришка глуха	1	
A2		7	ЛУ11.053682.001.007	Втулка лабіринтна	3	
A2		8	ЛУ11.053682.001.008	Вкладыш	1	
A2		9	ЛУ11.053682.001.009	Кільце	2	
A2		10	ЛУ11.053682.001.010	Прокладка	4	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		11		Підшипник 3620	2	
		12		Кільце В100	1	
		13		Шпонка 25x14x140	2	
		14		Шпонка 32x28x100	2	
		15		Маслянка 1.2.Ц6	2	
		16		Гвинт М8-6gx16. 14Н	4	
		17		Гвинт М8-6gx25. 14Н	2	
		18		Болт М16-6gx55.58	24	
		19		Болт М16-6gx90.58	8	
				ЛУ11.053686.001-90СП		
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата	Барабан модернізований КПІ ім. Ігоря Сікорського	
Розроб.		Лук'яненко А.Т.				
Перев.						
Керів.		Борщук С.О.				
Н.конт						
Зате.		Сокольський				
					Літ	Аркуш
					1	2

[illegible]