

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”
Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології
Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування**

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____ **Олександр Сокольський**

« _____ » _____ 2026 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

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

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: Лінія сортування посилок та вантажів з модернізацією пластинчатого конвеєра

Студент IV к, групи ЛУ-21 Курлович Олександр Артемович
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник проекту:

доцент Швачко Д.Г.
(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 _____

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

Студент _____

Київ 2026 рік

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”
Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології
Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Спеціальність – 131 Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Олександр Сокольський**

« _____ » _____ 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Курлович Олександр Артемович**

1. Тема проекту «Лінія сортування посилок та вантажів з модернізацією пластинчатого конвеєра», керівник проекту Швачко Д.Г. доцент, затверджені наказом по університету від «19».05 2026 р. №1817-С
2. Термін подання студентом проекту 12.06.2026 р.
3. Вихідні дані до проекту: Технологічна лінія сортування посилок та вантажів, тип вантажу – штучні вантажі: картонні коробки, пакети, мішки та дрібногабаритні вантажні місця, ширина пластин $B = 0,8$ м; довжина транспортуючої ділянки $L = 5$ м; висота бортів $h = 0,075$ м; швидкість руху полотна $v = 0,25$ м/с; кут нахилу конвеєра $\beta = 0^\circ$; зовнішній діаметр пальців ланцюга $d = 0,03$ м; діаметр підтримувального ролика $D = 0,13$ м; кількість сортувальних виходів – 3; модернізований вузол – натяжний пристрій пластинчатого конвеєра.
4. Зміст пояснювальної записки: вступ; призначення та галузь застосування; технічна характеристика базової машини; опис базової конструкції та принципу дії; літературний і патентний огляд; обґрунтування модернізації; розрахунки; охорона праці та навколишнього середовища; технологія машинобудування; загальні висновки; перелік посилань; додатки.
5. Перелік графічного матеріалу:
Технологічна схема лінії сортування посилок та вантажів – формат А1,
загальний вигляд пластинчастого конвеєра – формат А1, натяжна станція пластинчастого конвеєра – формат А2, привідна станція пластинчастого

конвеєра – формат А1, вал натяжної станції – формат А3, пластина пластинчастого конвеєра – формат А3, плакат вузол модернізованого натяжного пристрою – формат А1, плакат результатів числового розрахунку в ANSYS – формат А1.

6. Консультанти розділів проекту

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

7. Дата видачі завдання

Календарний план

№	Назва етапу виконання дипломного проекту	Термін	Примітка
1	Літературно-патентний огляд	17.05.26-19.05.26	
2	Параметричні та кінематичні розрахунки	21.05.26-26.05.26	
3	Розрахунки на міцність	21.05.26-26.05.26	
4	Креслення загального вигляду живильника	26.05.26-01.06.26	
5	Креслення модернізованого натяжного пристрою	26.05.26-01.06.26	
6	Деталювання	01.06.26-03.06.26	
7	3D-моделювання та числовий розрахунок	03.06.26-06.06.26	
8	Розділ технології машинобудування	06.06.26-10.06.26	
9	Розділ охорони праці	06.06.26-10.06.26	
10	Висновки, перелік посилань, додатки	11.06.26-14.06.26	

Студент

ОЛЕКСАНДР КУРЛОВИЧ

Керівник проекту

ДЕНИС ШВАЧКО

РЕФЕРАТ

Розроблено бакалаврський дипломний проект на тему «Лінія сортування посилок та вантажів з модернізацією пластинчатого конвеєра». Метою проекту є підвищення надійності та стабільності роботи транспортуючої частини лінії сортування шляхом модернізації вузла пластинчатого конвеєра та перевірки працездатності основних навантажених елементів.

Дипломний проект включає пояснювальну записку, розрахункову частину, технологію машинобудування, розділ охорони праці та графічну частину. У роботі розглянуто призначення й галузі застосування ліній сортування посилок та вантажів, описано базову конструкцію пластинчатого конвеєра, виконано параметричні, кінематичні та міцнісні розрахунки, а також числове моделювання в ANSYS. Кількість сторінок, рисунків, таблиць, джерел і креслень потрібно уточнити після остаточного оформлення.

Ключові слова: ЛІНІЯ СОРТУВАННЯ, ПОСИЛКИ ТА ВАНТАЖІ, ПЛАСТИНЧАТИЙ КОНВЕЄР, НАТЯЖНИЙ ПРИСТРІЙ, МОДЕРНІЗАЦІЯ, ТЯГОВИЙ ЛАНЦЮГ, РОЗРАХУНОК, ANSYS.

ABSTRACT

A bachelor diploma project entitled “Parcel and Cargo Sorting Line with Modernization of a Plate Conveyor” has been prepared. The aim of the project is to improve the reliability and operational stability of the conveying part of the sorting line by modernizing the plate conveyor unit and checking the operability of the main loaded elements.

The project includes an explanatory note, calculation part, manufacturing technology section, occupational safety section, and graphical materials. The work describes the purpose and application fields of parcel and cargo sorting lines, the base design and operating principle of a plate conveyor, parametric, kinematic and strength calculations, as well as numerical simulation in ANSYS. The final number of pages, figures, tables, references and drawings must be updated after completion.

**Keywords: SORTING LINE, PARCELS AND CARGO, PLATE CONVEYOR,
TENSIONING DEVICE, MODERNIZATION, TRACTION CHAIN,
CALCULATION, ANSYS.**

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ

B – ширина пластин, м;

D – діаметр підтримувального ролика, м;

d – діаметр пальців ланцюга, м;

h – висота бортів, м;

L – довжина живильника, м;

M – крутний момент, Н·м;

N, P – потужність, Вт або кВт;

Q, P_v – продуктивність живильника, м³/год або т/год;

v – швидкість руху полотна, м/с;

β – кут нахилу живильника, град;

η – коефіцієнт корисної дії;

ρ – об'ємна маса матеріалу, кг/м³;

σ – нормальне напруження, МПа;

τ – дотичне напруження, МПа.

ЗМІСТ

Вступ.....	9
1. Призначення та галузь застосування пластинчастого живильника.....	10
2. Технічна характеристика лінії сортування посилок та вантажів.....	13
3. Опис базової конструкції, її основних частин та принципу дії.....	14
4. Літературний та патентний огляд стану питання.....	15
5. РОЗРАХУНКИ.....	23
5.1 Параметричні розрахунки.....	23
5.2 Міцнісні розрахунки пластичного живильника.....	25
5.3 Вибір електродвигуна пластинчастого живильника.....	28
5.4 Кінематичні розрахунки редуктора пластичного живильника.....	29
5.5 Проектування приводного вузла пластинчастого конвеєра.....	31
5.6 Розрахунки модернізованого вузла.....	37
5.7 Автоматизація розрахунків параметрів конвеєра за допомогою програми.....	43
6. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	47
7. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	57
7.1 Опис і призначення деталі.....	57
7.2 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі.....	59
7.3 Призначення пристосування для обробки деталі.....	67

					ЛУ21.057242.01-90ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Курлович О.А.				Лінія сортування посилок та вантажів з модернізацією пластинчастого конвеєра		
Перевірив							
					Літ.	Арк.	Акрушів
					КПІ ім. Ігоря Сікорського		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....69

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАН.....71

ДОДАТКИ.....73

					ЛУ21.057242.01-90ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лінія сортування посилок та вантажів з модернізацією пластинчастого конвеєра	Літ.	Арк.	Акрушів
Розробив		Курлович О.А.						
Перевірив								
						КПІ ім. Ігоря Сікорського		

ВСТУП

Сучасний розвиток промислового виробництва, будівельної, гірничодобувної та переробної галузей тісно пов'язаний із застосуванням транспортного обладнання безперервної дії. До такого обладнання належать пластинчасті конвеєри, які використовуються для переміщення важких, крупнокускових, абразивних та насипних матеріалів. Надійна робота таких машин значною мірою залежить від справності їхніх основних вузлів, зокрема приводного вузла, який забезпечує передавання руху тяговому органу конвеєра.

Приводний вузол пластинчастого конвеєра є одним із найбільш навантажених елементів машини, оскільки він сприймає значні крутні моменти, динамічні навантаження та зусилля від тягового ланцюга. До його складу входять приводний вал, тягові зірочки, храповий механізм, опорні підшипникові вузли та інші елементи, від правильності проєктування яких залежить працездатність і довговічність усього конвеєра. У завданні передбачено побудову 3D-моделі приводного вузла в середовищі SolidWorks 2025, перевірку спряжень деталей і відсутності взаємних перетинів, а також підготовку геометрії для подальшого розрахунку.

Актуальність теми роботи полягає в необхідності підвищення надійності приводних вузлів пластинчастих конвеєрів, які працюють у складних умовах експлуатації. Недостатня міцність або неправильне компонування елементів привода може призвести до передчасного зношування деталей, порушення роботи тягового органу, простоїв обладнання та збільшення витрат на ремонт.

Метою дипломного проєкту є проєктування приводного вузла пластинчастого конвеєра з розробленням його тривимірної моделі та проведенням числового аналізу напружено-деформованого стану основного навантаженого елемента — торсіонного вала.

Об'єктом дослідження є приводний вузол пластинчастого конвеєра, який забезпечує передавання крутного моменту від привода до тягового ланцюга.

Предметом дослідження є конструктивні особливості приводного вузла, його основні деталі, умови навантаження, міцність і працездатність торсіонного вала.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ ЛІНІЇ СОРТУВАННЯ ПОСИЛОК ТА ВАНТАЖІВ

1.1 Призначення лінії сортування посилок та вантажів

Лінія сортування посилок та вантажів призначена для приймання, транспортування, орієнтації, розподілу та подальшого направлення штучних вантажів до відповідних зон накопичення, пакування або відвантаження. До таких вантажів належать картонні коробки, пакети, мішки, поштові відправлення та інші дрібногабаритні вантажні місця, що переміщуються між зонами приймання, контролю, сортування і видачі.

Основним транспортуючим вузлом лінії є пластинчастий конвеєр. Він забезпечує рівномірне переміщення вантажів уздовж технологічної траси та може працювати в умовах змінного навантаження. На відміну від стрічкового конвеєра, пластинчасте полотно має підвищену жорсткість, краще витримує локальні навантаження від коробок і вантажів різної маси, менше деформується та забезпечує стабільне положення посилок під час транспортування.

Головне призначення лінії сортування полягає у вирішенні таких завдань: приймання вантажів з вхідного транспортера; безперервне переміщення вантажів по робочій трасі; розпізнавання напрямку сортування за заданими ознаками; подавання посилок до відповідних виходів; підвищення продуктивності логістичного процесу та зменшення частки ручної праці.

1.2 Технологічна схема лінії сортування

Технологічна схема лінії сортування посилок та вантажів наведена на рисунку 1.1. Вона включає вхідний транспортер, конвеєр міжопераційного транспортування, конвеєр-сканування, дозуючий клапан, конвеєр-дозатор,

приймальний стіл, поворотні розподільні елементи та три сортувальні виходи. Окремо у складі лінії передбачено пластинчастий ланцюг та транспортно-розподільну систему на базі пластинчастого конвеєра.

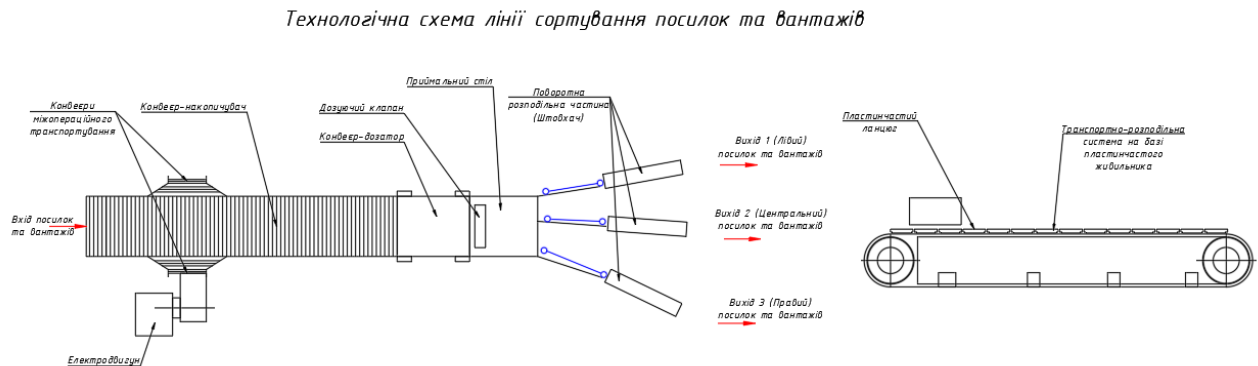


Рисунок 1.1 - Технологічна схема лінії сортування посилок та вантажів

Принцип роботи лінії полягає в тому, що посилки та вантажі надходять з вхідної ділянки на конвеєр міжопераційного транспортування, проходять зону сканування та дозування, після чого спрямовуються до приймального стола. Далі за допомогою поворотних розподільних елементів потік вантажів розподіляється на вихід 1, вихід 2 або вихід 3 відповідно до заданого маршруту.

1.3 Галузь застосування

Лінії сортування посилок та вантажів застосовуються у поштово-логістичних центрах, сортувальних терміналах, складських комплексах, службах доставки, інтернет-магазинах та на виробничих підприємствах, де необхідно швидко переміщувати і розподіляти одиничні вантажі. Такі системи є важливою частиною автоматизованих процесів приймання, комплектування, пакування та відвантаження продукції.

У поштових і логістичних центрах лінії сортування використовуються для розподілу посилок за напрямками доставки. На складських підприємствах вони забезпечують переміщення коробок між зонами зберігання, комплектування і відвантаження. На виробничих підприємствах подібні системи можуть

використовуватися для транспортування тари, готової продукції або допоміжних вантажів між окремими технологічними ділянками.

1.4 Переваги та обмеження

До основних переваг лінії сортування посилок та вантажів з пластинчастим конвеєром належать: стабільне положення вантажу на робочому полотні; можливість транспортування коробок і пакетів різної маси та форми; висока надійність роботи при змінному навантаженні; можливість підключення датчиків, сканерів і сортувальних виходів; підвищення продуктивності сортувальної ділянки.

До обмежень можна віднести більшу масу конструкції порівняно зі стрічковими конвеєрами, вищу вартість виготовлення пластинчастого полотна, необхідність регулярного контролю стану тягових ланцюгів, роликів і натяжного пристрою, а також потребу в правильному регулюванні натягу для запобігання перекосам і прискореному зношуванню полотна.

Таким чином, лінія сортування посилок та вантажів з пластинчастим конвеєром є ефективною транспортно-сортувальною системою, яка забезпечує безперервне переміщення одиничних вантажів, їх подавання до сортувальних виходів і підвищення продуктивності складських та поштово-логістичних процесів.

2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЛІНІЇ СОРТУВАННЯ ПОСИЛОК ТА ВАНТАЖІВ

Технічну характеристику базової лінії сортування посилок та вантажів зведено до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Технічна характеристика лінії сортування посилок та вантажів

Найменування параметра	Позначення	Одиниця вимірювання	Значення
Тип вантажу	-	-	штучні вантажі (коробки, пакети, мішки)
Продуктивність лінії	Q	м³/год	10
Довжина транспортуючої ділянки	L	м	5
Ширина пластин	B	м	0,8
Висота бортів	h	м	0,075
Швидкість руху полотна	v	м/с	0,25
Кут нахилу конвеєра	β	град	12
Кількість сортувальних виходів	z	шт.	3

3 ОПИС БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ, ЇЇ ОСНОВНИХ ЧАСТИН ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ

3.1 Принцип дії

Під час роботи електродвигун через редуктор передає обертання на приводний вал із зірочками. Зірочки входять у зачеплення з тяговими ланцюгами, внаслідок чого пластинчасте полотно переміщується вздовж рами конвеєра. Посилки, що надходять із завантажувальної ділянки, встановлюються на робочу гілку полотна та транспортуються до зони сортування.

У зоні сортування вантажі спрямовуються до відповідних виходів за заданим маршрутом. Сортування може виконуватися оператором або автоматизовано за допомогою сканера штрих-кодів, фотоелектричних датчиків і виконавчих механізмів. Після проходження робочої гілки порожні пластини огинають приводні зірочки і повертаються нижньою гілкою до завантажувальної частини.

.

4 ЛІТЕРАТУРНИЙ ТА ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ

Для стабільної роботи лінії важливо підтримувати правильний натяг тягового органу. Недостатній натяг може спричинити провисання полотна, ривки під час пуску, неточне позиціонування посилок і підвищене зношування ланцюгів. Надмірний натяг збільшує навантаження на підшипники, приводний вал і редуктор. Тому модернізація натяжного пристрою є доцільною для підвищення надійності лінії сортування.

Запропонована модернізація натяжного пристрою дозволяє стабілізувати положення полотна, зменшити динамічні навантаження під час пуску та зупинки, підвищити ресурс тягових ланцюгів і забезпечити рівномірне переміщення посилок по всій довжині лінії

Пластинчаті конвеєри та живильники є одним із найбільш затребуваних видів транспортуючого обладнання, що широко застосовуються в гірничо-металургійній, будівельній, хімічній та інших галузях промисловості для рівномірної подачі важких, кускових та абразивних матеріалів. Якість та експлуатаційні характеристики живильників значною мірою залежать від конструкції та надійності їхніх основних вузлів, зокрема натяжного пристрою транспортерної стрічки (полотна). Ефективна робота цього вузла забезпечує оптимальний натяг ходової частини, запобігає перекосам, передчасному зносу пластин і тягових ланцюгів, а також мінімізує динамічні навантаження під час пуску та роботи під завалом. В сучасних умовах виробництва особливу увагу приділяють стабільності процесу транспортування, підвищенню міжремонтного періоду обладнання та точності регулювання натягу в автоматичному або напівавтоматичному режимах.

Метою проведення даного літературно-патентного огляду є аналіз існуючих технічних рішень у галузі конструювання та модернізації пластинчастих живильників, виявлення їхніх недоліків та обґрунтування вибору найбільш ефективного прототипу для подальшого вдосконалення вузла натягу. У

результаті проведеного пошуку було відібрано та проаналізовано 7 найбільш релевантних патентів.

4.1 Огляд існуючих рішень та аналіз патентної документації

1. Патент [4] «Натяжний пристрій стрічки конвеєра». Конструкція містить барабан, кожен кінець осі якого розміщений у напрямних пазах повзуна і взаємозв'язаний з натяжним гвинтом. Повзун і корпус натяжного гвинта встановлені на рамі за допомогою болтових з'єднань. Особливість корисної моделі полягає в тому, що пристрій додатково обладнано парою силових циліндрів, кожен з яких встановлений паралельно і зовні відносно відповідного натяжного гвинта з можливістю взаємодії штока з кінцем осі барабана. При цьому на штоку змонтовано поворотний знімний упор, а отвори під болтове кріплення повзуна та корпусу натяжного гвинта виконані на рамі з однаковим кроком. Така модернізація дозволяє переміщати важконавантажений барабан зусиллям гідро- або пневмоциліндрів, що значно знижує трудомісткість обслуговування, захищає гвинти від поломок під час пуску обладнання під завалом та забезпечує високу надійність і компактність конструкції. Однак, використання гвинтових елементів фіксації та необхідність періодичного ручного переставлення болтових з'єднань і поворотних упорів під час великого ходу натяжки ускладнює повну автоматизацію процесу керування натягом полотна без безпосередньої участі оператора.

2. Патент [5] «Натяжний пристрій стрічкового конвеєра». Конструкція містить раму, закріплені на ній напрямні з повзунами для осі натяжного барабана стрічки, а також зв'язаний з ними натяжний гвинт. Напрямні та повзуни окремо з'єднані між собою жорсткими пластинами. Натяжний гвинт жорстко закріплений в середній частині пластини, що з'єднує повзуни, і проходить через отвір у пластині, яка з'єднує напрямні. Особливість даної модернізації полягає в тому, що

регулююча гайка на вільному кінці гвинта виконана у вигляді диска з кільцевою канавкою та намотаним на нього гнучким тросом, з'єднаним з підвісним вантажем. Завдяки виключенню нерухомого зв'язку гайки з гвинтом, під дією вантажу гайка автоматично прокручується і накручується на гвинт у міру витягування стрічки, що забезпечує її постійне автоматичне підтягування під час роботи. Це дозволяє компенсувати деформацію робочого органу і виключає виникнення повздовжніх коливань барабана при змінних навантаженнях. Незважаючи на переваги, суттєвим недоліком даного рішення є, використання тросо-вантажної системи з дисковою гайкою в умовах пластинчастих живильників, які працюють із важкими, кусковими та абразивними матеріалами, створює високий ризик забруднення й заклинювання канавок диска пилом або просипом транспортувального матеріалу, що може заблокувати автоматичний режим роботи пристрою.

3. Патент [6] «Натяжний пристрій стрічкового конвеєра». Конструкція містить раму, натяжний барабан стрічки та кулькові підшипники. Особливість даної модернізації полягає в тому, що на рамі розміщені обойми кулькових підшипників, у яких обертається пучковий торсіонний вал, до кінців якого жорстко приєднані храпові механізми та важелі, на протилежному кінці яких у кулькових підшипниках обертається вал натяжного барабана. Натягування здійснюється шляхом прикладання крутного моменту до торсіонного валу, зсув ділянок якого приводить у рух важелі. Після досягнення необхідного зусилля положення фіксується храповими механізмами. Таке конструктивне рішення дозволяє повністю виключити трибоконтактні повзуни та нарізну пару «гвинт-гайка», забезпечуючи демпфірування динамічних навантажень під час пуску та експлуатації. Проте, використання торсіонно-важільного механізму з храповою фіксацією в умовах важких пластинчастих живильників суттєво обмежує величину максимального ходу натяжки полотна (яка лімітується кутом повороту важелів), а відкриті зуби храповиків та собачок піддаються підвищеному ризику забивання дрібним просипом матеріалу, що може призвести до їхнього самовільного розчеплення під високим статичним навантаженням.

4. Патент [7] «Пристрій натяжний». Конструкція призначена для вирівнювання натягу тягового органу в ланцюгових хвильових приводах. Особливість даної модернізації полягає в тому, що пристрій містить два взаємопов'язані гідроциліндри. Шток першого гідроциліндра взаємодіє з еліптичним роликом, встановленим на валу хвильового приводу, і при його повороті здійснює поступальний рух, стискаючи пружину. Це забезпечує перетікання робочої рідини в порожнину другого гідроциліндра, шток якого з роликом переміщується в напрямку ланцюга та динамічно вирівнює його натяг. Розміри та форма еліптичного ролика підібрані так, щоб чітко відповідати положенню ведучих роликів приводу. Таке рішення дозволяє автоматично компенсувати нерівномірність ходу та коливання тягового органу безпосередньо під час роботи. З іншого боку, застосування такої схеми, використання специфічного еліптичного ролика та системи з двох сполучених гідроциліндрів спроектовано спеціально під кінематику хвильового приводу. Застосування такої схеми для натяжних пристроїв стрічки (полотна) класичних пластинчастих живильників є недоцільним через обмежений хід натяжки та високу складність синхронізації геометрії ролика з лінійним видовженням довгого транспортерного полотна.

5. Патент [8] — «Пристрій натяжний». Конструкція призначена для одночасного автоматичного натягування двоступінчастої ремінної передачі та вирівнювання зусилля в обох її ступенях. Пристрій містить рухливі напрямні, повзуни, опори, гвинт та пружину, яка закріплюється гайками. На валу, що розміщений на повзунах, встановлено два шківи. На початку роботи гвинт за допомогою пружини тягне вал зі шківами донизу. У разі нерівномірного розтягнення ременів натяжний пристрій завдяки опорам та рухливим напрямним нахиляється, автоматично вирівнюючи робоче зусилля. Водночас, кінематична схема цього пристрою з нахилом рухливих напрямних розрахована виключно на специфіку двоступінчастої ремінної передачі для компенсації різниці в розтягненні двох паралельних гнучких елементів. Впровадження такої системи в механізм натягу важкого одиночного полотна пластинчастого живильника є

неконструктивним, оскільки це призведе до небезпечних перекосів осі натяжного вала, нерівномірного розподілу навантаження на тягові ланцюги та їхнього прискореного зносу.

6. Патент [9] «Пристрій натяжний». Конструкція розроблена для автоматичного вирівнювання натягу тягового органу в ланцюгових хвильових приводах. Особливість даної модернізації полягає в тому, що пристрій містить еліптичний ролик, який взаємодіє з системою шарнірно з'єднаних між собою важелів, що спираються на напрямні з пружиною та регулювальними гайками. Під час обертання ведучих роликів приводу еліптичний ролик здійснює поворот, передаючи коливальний рух на перший важіль, який через шарнір тисне на другий важіль, переміщуючи його в напрямних і стискаючи пружину. Така важільно-пружинна система дозволяє динамічно компенсувати коливання геометричної довжини ланцюга та стабілізувати його робочий натяг безпосередньо у процесі експлуатації. Разом з тим, наявність складної кінематичної системи із послідовно з'єднаних важелів і відкритих напрямних суттєво знижує надійність пристрою в умовах роботи пластинчастих живильників. Оскільки це обладнання призначене для транспортування важких і сильно запилених матеріалів, існує висока ймовірність швидкого абразивного зносу шарнірних з'єднань, а також заклинювання важелів у напрямних, що робить недоцільним використання такої схеми для натягування важкого полотна живильника.

7. Патент [10] «Натяжний пристрій стрічкового конвеєра». Конструкція містить хвостовий барабан, гідросистему та транспортерну стрічку. Особливість цієї модернізації полягає в тому, що на зовнішній циліндричній поверхні привідного і хвостового барабанів за всією їх довжиною нерухомо закріплені циліндричні герметичні пустотілі еластичні елементи, внутрішні порожнини яких з'єднані патрубками із зовнішньою гідро- або пневмосистемою. Натягування робочого органу здійснюється за рахунок подачі робочого середовища (рідини або повітря) під тиском в еластичні елементи, що призводить до збільшення

їхнього об'єму та безпосередньої зміни робочого діаметра самих барабанів. Для запобігання сходженню стрічки до торців барабанів додатково закріплені циліндричні реборди. Таке рішення дозволяє значно спростити загальну схему натягу, а також суттєво зменшити габарити та масу пристрою. З іншого боку, застосування такої схеми в конструкціях важких пластинчастих живильників є критично обмеженим. Еластичні пустотілі елементи, закріплені на барабанах, піддаватимуться безпосередньому інтенсивному тиску та ударам з боку жорстких сталевих пластин (полотна) під час роботи під завалом матеріалу. Це неминуче призведе до прискореного механічного зносу, продавлювання або розриву герметичних оболонок, а також до втрати робочого тиску в системі натягу.

4.2 Опис та обґрунтування вибраного патенту UA 153150 U

Суть запропонованого модернізаційного рішення полягає в радикальній зміні кінематичної схеми вузла натягу з метою підвищення його надійності в інваріантних умовах експлуатації. На відміну від традиційних гвинтових чи вантажних систем, даний натяжний пристрій повністю позбавлений елементів тертя ковзання.(рис. 4.1)

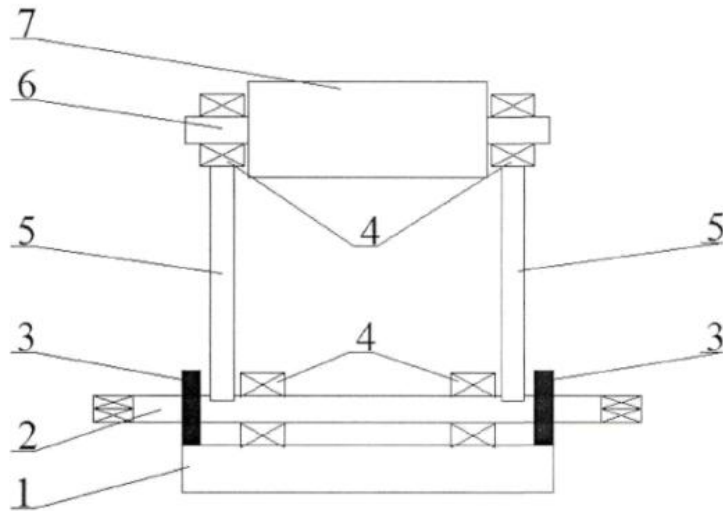


Рисунок 4.1 – Конструкція натяжного пристрою за патентом UA 153150 U:
1 – рама ; 2 – пучковий торсіонний вал; 3 – храповий механізм; 4 – кульковий підшипник; 5 – важіль; 6 – вал натяжного барабана; 7 – натяжний барабан.

Конструкція модернізованого вузла містить такі основні елементи:

Рама живильника (конвеєра) 1, яка виступає нерухомою опорною основою.

Пучковий торсіонний вал 2, встановлений в обоймах кулькових підшипників 4, що закріплені безпосередньо на рамі 1.

Храпові механізми 3 та важелі 5, які жорстко приєднані до обох кінців пучкового торсіонного вала 2.

Вал 6 натяжного барабана 7 (або натяжних зірочок полотна живильника), який обертається у кулькових підшипниках 4, змонтованих на протилежних (вільних) кінцях рухомих важелів 5.

Принцип роботи пристрою

Експлуатація натяжного пристрою передбачає два основні режими роботи:

Статичний режим (період консервації обладнання, проведення монтажних робіт або підготовки до первинного завантаження бункера). У цьому стані храпові механізми 3 повністю розімкнуті. Пучковий торсіонний вал 2 перебуває у

вихідному ненапруженому стані, а в робочому транспортерному полотні (стрічці) штучний натяг відсутній.

Динамічний режим (безпосередній пуск та вантажно-транспортні операції живильника). Для створення робочого натягу до кінців пучкового торсіонного вала 2 за допомогою зовнішнього механічного приладу прикладається розрахунковий крутний момент. Внаслідок цього виникає кутовий зсув ділянок вала 2, що призводить до кутового переміщення важелів 5 у просторі та лінійного зсуву натяжного барабана (вала) 7, який починає тиснути на робочий орган. Після досягнення оптимального технологічного зусилля натягу полотна, кінці торсіонного вала 2 жорстко й надійно фіксуються храповими механізмами 3. Протягом усього тривалого робочого циклу живильника попередньо напружений торсіонний вал 2 акумулює енергію і безперервно підтримує стабільний натяг стрічки. За необхідності (наприклад, у разі природного лінійного видовження ходової частини під навантаженням) до торсіонного вала 2 можна оперативно додати або зменшити величину крутного моменту.

5. РОЗРАХУНКИ

5.1 Параметричні розрахунки

Дані для розрахунку:

Вантаж – гравій крупнозернистий

Продуктивність живильника – $\Pi_v = 10 \text{ м}^3/\text{год}$

Довжина живильника – $L = 5 \text{ м}$

Зовнішній діаметр пальців – $d = 0,035 \text{ м}$

Діаметр підтримувального ролика – $D = 0,075 \text{ м}$

Кут нахилу живильника – $\beta = 12^\circ$

Об’ємна маса матеріалу – $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$

Коефіцієнт опору руху реборди роликів – $K_p = 1,5$

Коефіцієнт тертя в цапфі роликів – $\mu = 0,01 \text{ м}$

Плече тертя кочення роликів – $f = 0,001 \text{ м}$

Швидкість руху стрічки – $v = 0,1 \text{ м/с}$

Коефіцієнт, що враховує втрати на перегин ланцюга - $K_{вт} = 1,15$

Коефіцієнт корисної дії урухомника – $\eta_y = 0,8$

Коефіцієнт заповнення живильника – $\varphi = 0,7$

Продуктивність пластичного живильника, $\text{м}^3/\text{год}$:

$$\Pi_v = 3600 * B * h_6 * v * \varphi$$

де B – ширина пластин;

h_6 – висота бортів;

v – швидкість руху стрічки, для живильника нормального типу становить 0,1 м/с

ϕ – коефіцієнт заповнення пластичного живильника 0,7

Об'ємна продуктивність живильника:

$$\Pi = 3600 * B * h * v$$

де h – висота відкриття останнього за ходом руху шибера над стрічкою

Ширина пластини:

$$B = \frac{\Pi}{3600 h v \phi} = \sqrt{\frac{\Pi}{270 v * \phi}} = \sqrt{\frac{10}{270 * 0,1 * 0,7}} = 0,73 \text{ м}$$

З ряду стандартних розмірів пластин приймаємо ширину $B = 0,8$ м

Висота бортів живильника: $h = 0,75 * B = 0,075 * 0,8 = 0,6$ м

Максимальний розмір шматка гравію:

$$D_{\text{сер}} = \frac{B}{2} = \frac{0,8}{2} = 0,4 \text{ м}$$

Коефіцієнт опору руху:

$$K_w = K_p * \frac{\mu * d + 2 * f}{D}$$

де K_p – коефіцієнт, що враховує опір руху роликів, $K_p = 1,5$

μ – коефіцієнт тертя в цапфі роликів, $\mu = 0,01$ м

f – плече тертя кочення роликів, $f = 0,001$ м

$$K_w = 1,5 * \frac{0,01 * 0,035 + 2 * 0,001}{0,075} = 0,047$$

Сила тиску на 1 м погонної довжини стрічки:

$$q_1 = 2,72 * \Pi_v * \frac{p}{v} = 2,72 * 10 * \frac{1,8}{0,1} = 490 \text{ Н/м}$$

Сила тяжіння 1 м погонної довжини стрічки q_2 залежно від ширини робочої частини відсіків становить $q_2 = 700 \text{ Н/м}$

Тягове зусилля в ланцюзі:

$$W_0 = K_{\text{вт}}(q_1 + 2q_2)L(\cos \beta \pm \sin \beta)K_w$$

де L – довжина живильника

β – кут нахилу живильника

$$W_0 = 1,15 * (490 + 2 * 700) * 5 * (\cos 12^\circ + \sin 12^\circ) * 0,047 = 573,1 \text{ Н}$$

Потужність двигуна урухомника:

$$N = \frac{W_0 v}{1000 \eta_y} = \frac{573,1 * 0,1}{1000 * 0,8} = 0,0716 \text{ кВт}$$

5.2 Міцнісні розрахунки пластичного живильника

Зусилля натягу в ланцюгах і сил опору на ділянках пластичного живильника визначають методом обходу по точках:

Зусилля натягу в початковій точці 1 (рис. 5.1)

$$S_1 = S_{\text{сб}} = 2000/3000 \text{ Н}$$

Зусилля натягу в точці 2 з урахування сили опору на ділянці 1 – 2 (рис. 5.1)

$$S_2 = S_1 + W_{1-2}$$

$$W_{1-2} = W_x = 10 * q_0 * \cos \beta * L * w = 10 * 118 * \cos 12 * 5 * 0,1 = 7468 \text{ Н}$$

w – коефіцієнт опору руху $w = 0,1$

q_0 – погона маса настилу живильника

$$q_0 = 60 * B + k_n = 118 \text{ кг/м}$$

k_n – коефіцієнт який залежить від типу настилу, для середнього при $B = 0,8$:

$$k_n = 70$$

$$S_2 = S_1 + W_{1-2} = 2500 + 7468 = 9968 \text{ Н}$$

Зусилля натягу в точці 3 (рис. 5.1) з урахуванням сили опору натяжних зірочок

$$S_3 = S_2 + W_{нз} = 9968 + 0,1 * 9968 = 10965 \text{ Н}$$

Сила пору на натяжних зірочках

$$W_{нз} = 0,1 S_2$$

Зусилля натягу в набігаючої гілки в точці 4 (рис. 5.1) з урахуванням сили опору від сил тертя нормальної зіставляючої сили ваги вантажу і сили тяжіння настилу, а також похилої зіставляючої сили від ваги вантажу

$$S_4 = S_3 + W_{3-4} = 10965 + 1005 = 11970 \text{ Н}$$

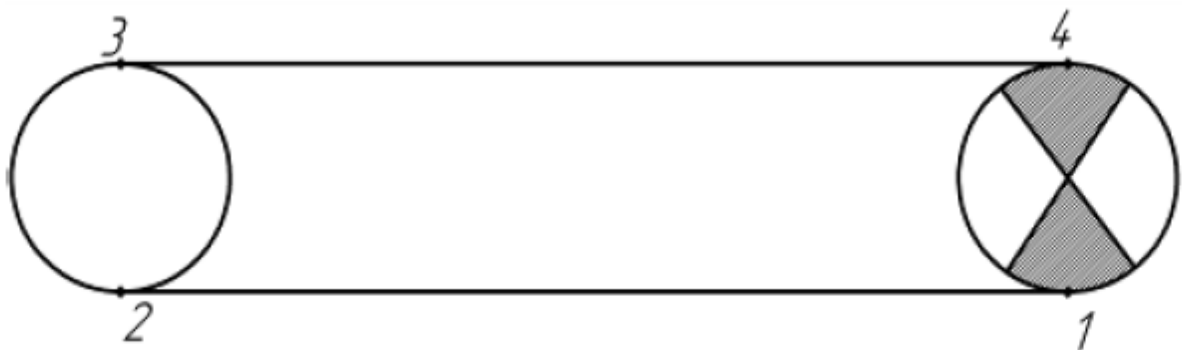


Рисунок 5.1 – Схема траси живильника зі важливими для точками

Сила опору навантаженої гілки на ділянці 3-4

$$\begin{aligned} W_{3-4} &= 10 * ((q + q_0) \\ &\quad * \cos \beta * L * w + q \\ &\quad * \sin \beta * L) \\ &= 10((28 + 118) * \cos 12 * 5 * 0,1 + 28 * \sin 12 * 5) = 1005 \text{ Н} \end{aligned}$$

Маса вантажу

$$q = \frac{P_v}{3,6 * v} = \frac{10}{3,6 * 0,1} = 28 \text{ Н/м}$$

Тягове зусилля на приводних зірочках

$$P = S_4 - S_1 + W_{пз} = 11970 - 2500 + 723,5 = 10193,5 \text{ Н}$$

$W_{пз}$ – сила опору на приводних зірочках

$$W_{пз} = 0,05(S_4 + S_1) = 0,05(11970 + 2500) = 723,5 \text{ Н}$$

Діаметр приводної зірочки

$$D_{зв} = \frac{t_{ц}}{\sin \frac{180}{z}} = \frac{300}{\sin \frac{180}{5}} = 510 \text{ мм}$$

$t_{ц}$ – крок ланцюга

z – кількість зубців

Частота обертів приводної зірочки

$$n_{зв} = \frac{60 * v}{z t} = \frac{60 * 0,1}{5 * 0,3} = 4 \text{ об/хв}$$

5.3 Вибір електродвигуна пластинчастого живильника

Частота обертів вихідного вала редуктора $n = 60$

Потужність на вихідному валу

$$P_{\text{вих}} = P * v = 10193,5 * 0,1 = 1019,35 \text{ Вт} = 1,02 \text{ кВт}$$

P – тягове зусилля на приводних зірочках

v – швидкість руху стрічки

Визначаємо загальний ККД приводу живильника

$$\eta_{\text{приводу}} = \eta_{\text{зуб}} * \eta_{\text{муфти}} * \eta_{\text{підш}} = 0,97 * 0,98 * 0,99 = 0,867$$

де

$\eta_{\text{зуб}} = 0,97$ – ККД зубчастої передачі

$\eta_{\text{підш}} = 0,99$ – ККД підшипників

$\eta_{\text{муфти}} = 0,98$ – ККД муфти

Потужність двигуна

$$P_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{вих}}}{\eta_{\text{приводу}}} = \frac{1,02}{0,867} = 1,18 \text{ кВт}$$

Частота обертання валу електродвигуна:

$$n_{\text{вх}} = n_{\text{вих}} * u$$

$$u = u_{\text{швидк}} * u_{\text{тих}}$$

Передаточні числа на тихохідному і швидкохідному валах:

$$u_{\text{тих}} = 3,55 \quad u_{\text{швидк}} = 4$$

$$n_{\text{вх}} = n_{\text{вих}} * u = 60 * 3,55 * 4 = 852 \text{ об/хв.}$$

Виходячи з отриманого значення потужності, вибираємо електродвигуна типу АИР90L6, який має потужність 1,5 кВт та синхронну частоту 1000 об/хв.[11]

Дійсне фактичне передавальне число:

$$U_d = \frac{n_{дв}}{n_{вих}} = \frac{1000}{60} = 16,67$$

Для двоступеневого редуктора розбиваємо передавальне число по ступенях:

$$u_{швидк} = 4,08 \quad u_{тих} = 4,085$$

5.4 Кінематичні розрахунки редуктора пластичного живильника

Частота обертання на I валу:

$$n_1 = n_{дв} = 1000 \text{ об/хв.}$$

Кутова швидкість на I валу:

$$\omega_1 = \frac{\pi * n_1}{30} = \frac{\pi * 1000}{30} = 104,7 \text{ рад/с}$$

Потужність на I валу:

$$P_1 = P_{дв} = 1500 \text{ Вт}$$

Обертовий момент на I валу:

$$T_1 = \frac{P_1}{\omega_1} = \frac{1500}{104,7} = 14,32 \text{ Н * м}$$

Частота обертання на II валу:

$$n_2 = n_1 = n_{дв} = 1000 \text{ об/хв.}$$

Кутова швидкість на II валу:

$$\omega_2 = 104,7 \text{ рад/с}$$

Потужність на II валу:

$$P_2 = P_1 * n_{\text{муфти}} * n_{\text{підш}} = 1500 * 0,98 * 0,99 = 1455 \text{ Вт}$$

Обертний момент на II валу:

$$T_2 = T_1 * n_{\text{муфти}} * 1 = 14,32 * 0,98 = 14,03 \text{ Н * м}$$

Частота обертання на III валу:

$$n_3 = \frac{n_2}{u_{\text{швидк}}} = \frac{1000}{4,08} = 245,1 \text{ об/хв}$$

Кутова швидкість на III валу:

$$\omega_3 = \frac{\pi * n_3}{30} = \frac{\pi * 245,1}{30} = 25,65 \text{ рад/с}$$

Потужність на III валу:

$$P_3 = P_2 * n_{\text{зуб}} * n_{\text{підш}} = 1455 * 0,97 * 0,99 = 1397 \text{ Вт}$$

Обертний момент на III валу:

$$T_3 = T_2 * n_{\text{зуб}} * u_{\text{швидк}} = 14,03 * 0,97 * 4,08 = 55,52 \text{ Н * м}$$

Частота обертання на IV валу:

$$n_4 = \frac{n_3}{u_{\text{тих}}} = \frac{245,1}{4,085} = 60 \text{ об/хв}$$

Кутова швидкість на IV валу:

$$\omega_4 = \frac{\pi * n_4}{30} = \frac{\pi * 60}{30} = 6,28 \text{ рад/с}$$

Потужність на IV валу:

$$P_4 = P_3 * n_{зуб} * n_{підш} = 1397 * 0,97 * 0,99 = 1341 \text{ Вт}$$

Обертний момент на IV валу:

$$T_4 = T_3 * n_{зуб} * u_{тих} = 55,52 * 0,97 * 4,085 = 219,99 \text{ Н * м}$$

Таблиця 5.1 Характеристика валів редуктора

Номер валу	Частота обертання об/хв	Кутова швидкість рад/с	Потужн ість Вт	Момент Н*м
I	1000	104,7	1500	14,32
II	1000	104,7	1455	14,03
III	245,1	25,65	1397	55,52
IV	60	6,28	1341	219,99

5.5 Проектування приводного вузла пластинчастого конвеєра

Побудова моделі Починаємо проектувати тривимірну модель приводного вузла пластинчастого конвеєра в системі автоматизованого проектування «SolidWorks 2025». Основним завданням даного етапу є розробка точних параметричних 3D-моделей ключових компонентів приводної станції: приводного валу, корпусів підшипникових опор, а також модернізованих тягових зірочок під пластинчастий ланцюг.

На основі розроблених деталей виконується просторове геометричне моделювання всього вузла в зборі, що дозволяє забезпечити їхню повну взаємну сумісність, перевірити точність посадочних місць підшипників, проаналізувати

зачеплення ланцюга із зубами нових зірочок та підготувати коректну геометрію для подальшого кінцево-елементного аналізу напружено-деформованого стану конструкції.

Початок моделювання починаємо з створення деталі «Приводний вал». На площині «Front Plane» створюємо новий ескіз «Sketch» у вигляді кола та виконуємо операцію видавлювання першого ступеня через команду «Extruded boss/base» (рис. 5.2). Після цього на торцевих гранях послідовно створюємо нові ескізи та нарощуємо інші ступені валу різного діаметра за допомогою аналогічних операцій витягування.

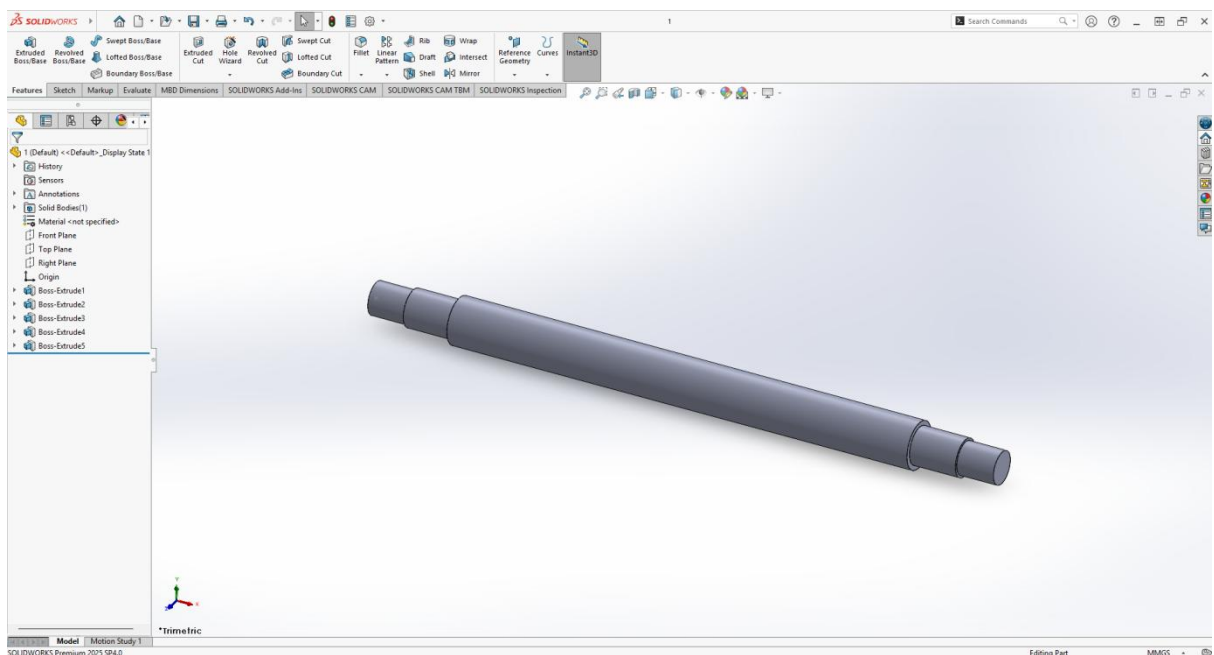


Рисунок 5.2 – Операція «Extruded boss/base»

На площині «Front Plane» створюємо контур важеля та витягуємо його в об'єм. Після цього на отриманій поверхні вирізаємо отвори під шарнірні пальці (рис. 5.3).

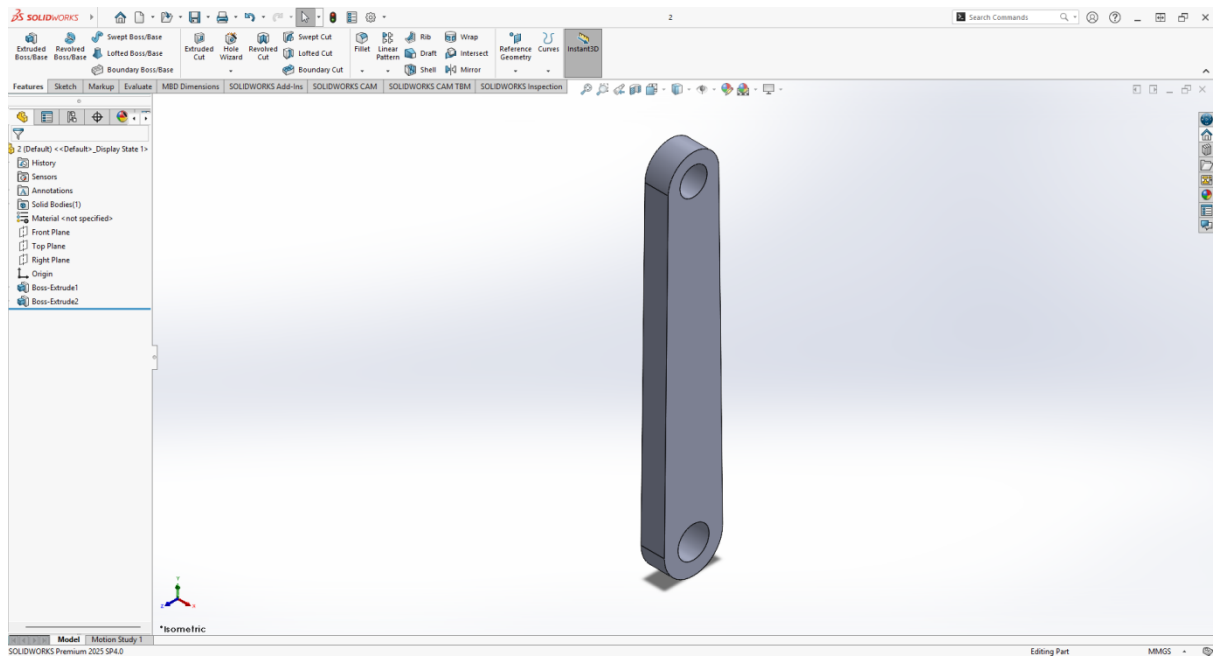


Рисунок 5.3 – Створення важеля пластинчастого конвеєра

Початок моделювання торсіонного валу починаємо з послідовного витягування циліндричних ступенів. Після цього на його кінцях формуємо шліци для передачі крутного моменту та фіксації (рис. 5.4).

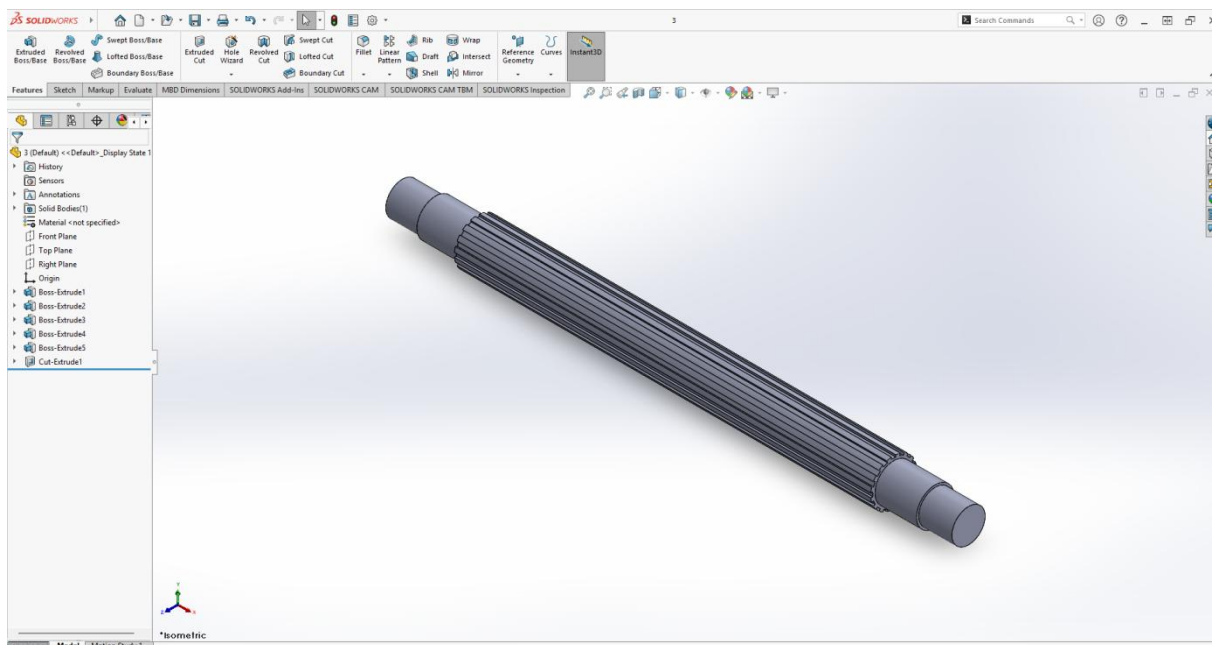


Рисунок 5.4 – Створення торсіонного валу

Для створення елемента фіксації привода будуємо тривимірну модель храпового колеса. На основі циліндричної заготовки за допомогою операції

вирізання формуємо специфічний косий профіль зубців, призначений для упору стопорної зачіпки, що запобігає зворотному ходу полотна (рис. 5.5).

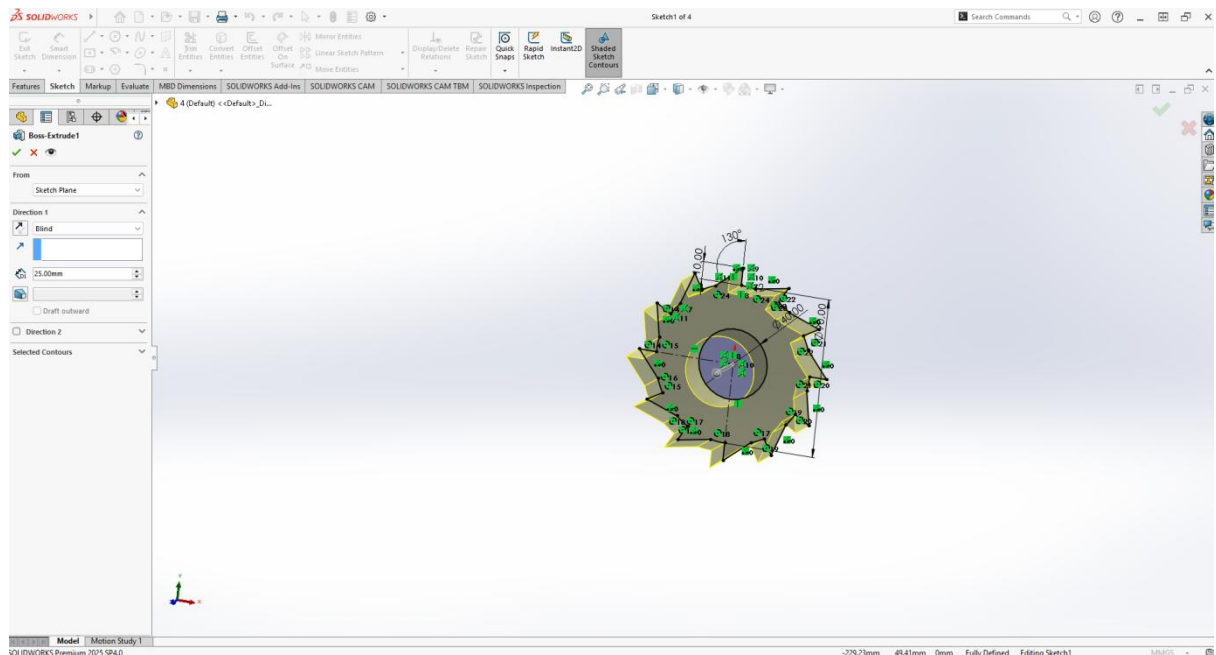


Рисунок 5.5 – Моделювання храпового колеса

У середовищі «SolidWorks 2025» була виконана загальна збірка приводного вузла, що включає вал, зірочки, храповий механізм та опорні підшипникові вузли. Перевірено правильність спряжень та відсутність взаємних перетинів деталей (рис. 5.6).

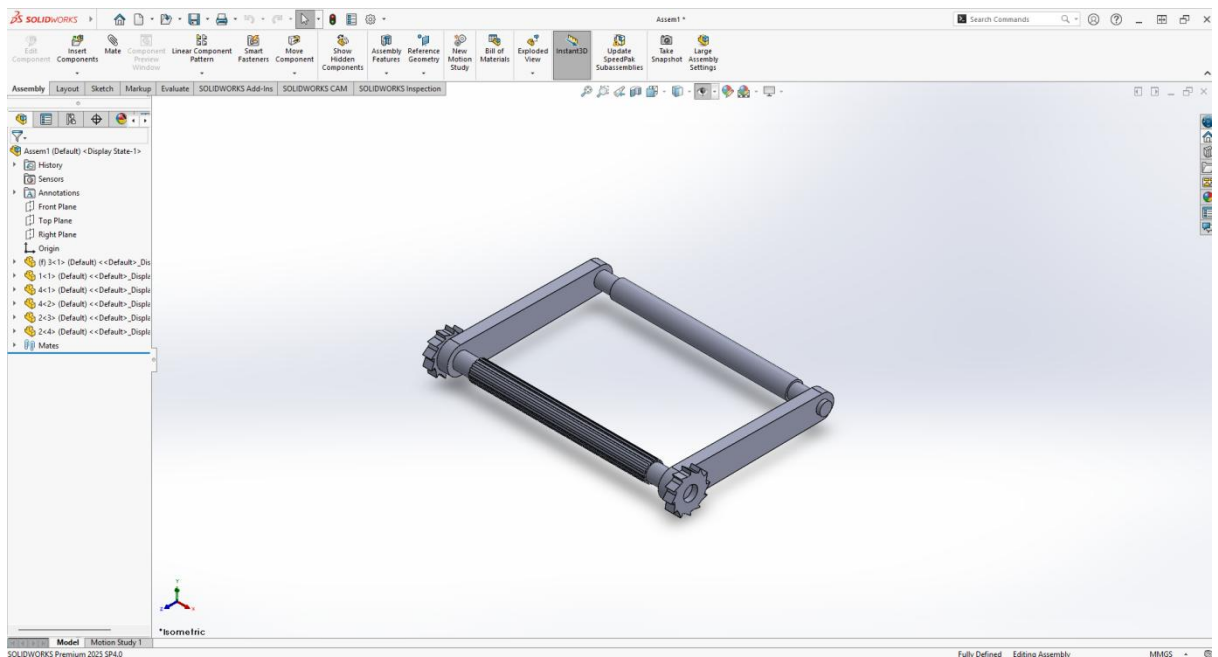


Рисунок 5.6 – Загальний вигляд збірки приводного вузла

Для забезпечення коректного взаємного розташування елементів у середовищі «SolidWorks 2025» виконано накладання спряжень (Mates). За допомогою команд «Concentric» та «Coincident» встановлено співвісність та щільне прилягання торцевих поверхонь вала, зірочок і храпових механізмів. На основі виконаних спряжень усі ступені свободи компонентів були обмежені, внаслідок чого модель набула стану повної фіксації (рис. 5.7).

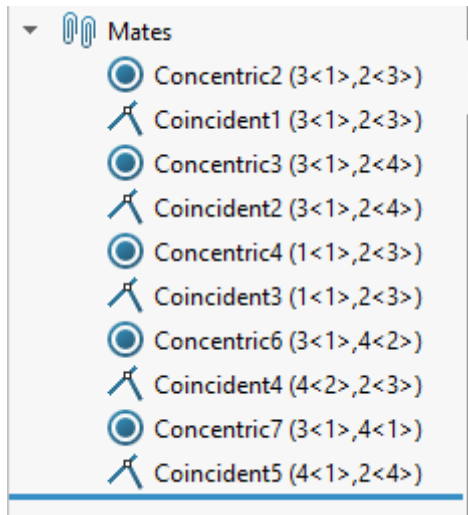


Рисунок 5.7 – Перелік спряжень (Mates) та стан фіксації компонентів у збірці

Перед фінальним завершенням збірки було проведено аналіз на наявність перетинів деталей за допомогою інструмента «Interference Detection». Ця операція дозволяє виявити зони некоректного накладання геометрії, де деталі фізично «проникають» одна в одну. В результаті перевірки було підтверджено відсутність небажаних перетинів, що гарантує працездатність механізму при реальній експлуатації та відсутність помилок у геометричних розмірах компонентів (рис. 5.8).

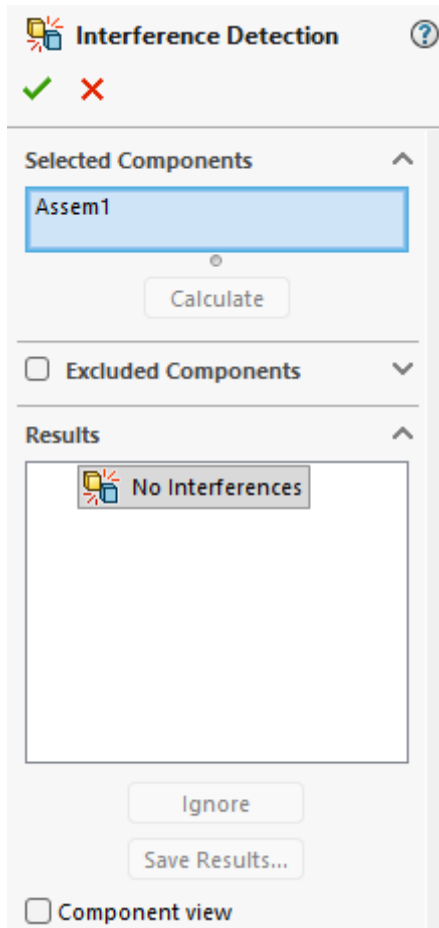


Рисунок 5.8 – Аналіз вузла на наявність колізій (Interference Detection)

За результатами перевірки Interference Detection у збірці приводного вузла не виявлено взаємних перетинів між деталями, що підтверджує правильність виконаних спряжень та відповідність геометрії елементів. Отже, розроблена 3D-модель може бути використана для подальшого оформлення креслень, аналізу роботи вузла та виконання розрахунків на міцність.

5.6 Розрахунки модернізованого вузла

Для виконання інженерних розрахунків напружено-деформованого стану розробленої 3D-моделі застосовано програмний комплекс ANSYS 2024 . На етапі побудови розрахункової схеми у середовищі Workbench створено проект типу «Static Structural», до якого послідовно підключено етапи підготовки геометрії, побудови скінченно-елементної сітки, задання граничних умов, виконання розрахунку та аналізу отриманих результатів.

У середовищі ANSYS Workbench розрахункова схема формується у вигляді послідовності взаємопов'язаних етапів: імпорт геометрії, призначення матеріалу, підготовка моделі, побудова сітки, задання умов закріплення та навантаження, виконання розрахунку і перегляд результатів. Такий порядок дозволяє контролювати кожний етап підготовки моделі та уникати помилок під час передавання даних між модулями.

Після імпорту геометричної моделі у форматі STEP у програмне середовище ANSYS DesignModeler було налаштовано параметри обробки об'єкта. Для забезпечення цілісності структури розрахункової моделі обрано операцію «Add Material», яка об'єднує імпортовані тіла в єдиний масив. Додатково перевірено одиниці вимірювання, коректність зчитування поверхонь і відсутність помилок геометрії. Після оновлення геометрії модель передано до ANSYS Mechanical для подальшого призначення матеріалу, побудови сітки та виконання міцнісного аналізу. Як матеріал для торсіонного вала у вікні Engineering Data задано конструкційну якісну вуглецеву сталь 45 за ДСТУ 7806:2015.

Параметри імпорту геометричної моделі налаштовано таким чином, щоб зберегти твердотільну структуру деталі та забезпечити можливість коректного призначення матеріалу. Після імпорту виконано перевірку цілісності моделі, зокрема шліцьових ділянок, посадочних шийок і циліндричних поверхонь, після чого геометрію передано до розрахункового модуля.

Після налаштування параметрів імпорту в модулі DesignModeler генерується тривимірна геометрична модель торсіонного вала. Програма

відображає імпортоване тверде тіло у графічному вікні, що дозволяє візуально проконтролювати цілісність шліців, циліндричних ступенів та переконатися у відсутності помилок передачі геометрії з CAD-системи перед генерацією скінченно-елементної сітки (рис. 5.9).

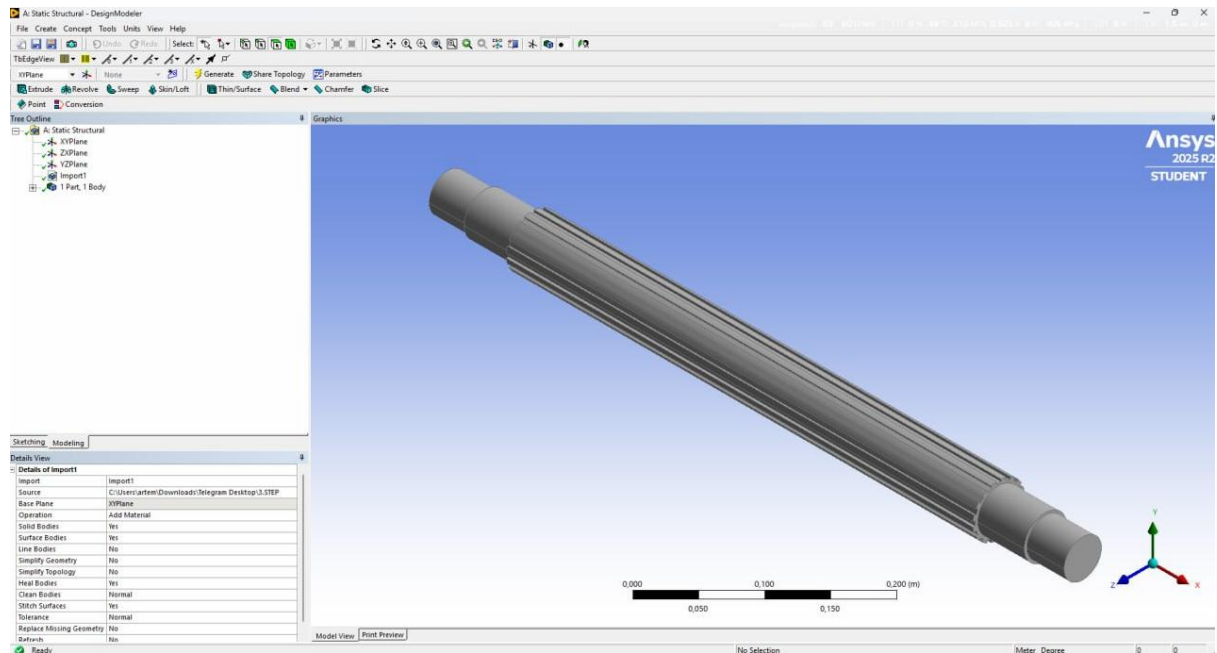


Рисунок 5.9 – Імпортована геометрія торсійного вала в модулі ANSYS DesignModeler

Наступним етапом розрахунку є дискретизація геометричної моделі шляхом побудови скінченно-елементної сітки. У розділі налаштувань «Details of Mesh» задано базовий розмір елемента (Element Size), який становить 5 мм. Програма автоматично генерує сітку з тетраедричних елементів, що щільно покривають складну геометрію шліців та циліндричних переходів вала, забезпечуючи необхідну точність для подальшого розрахунку напружень (рис. 5.10).

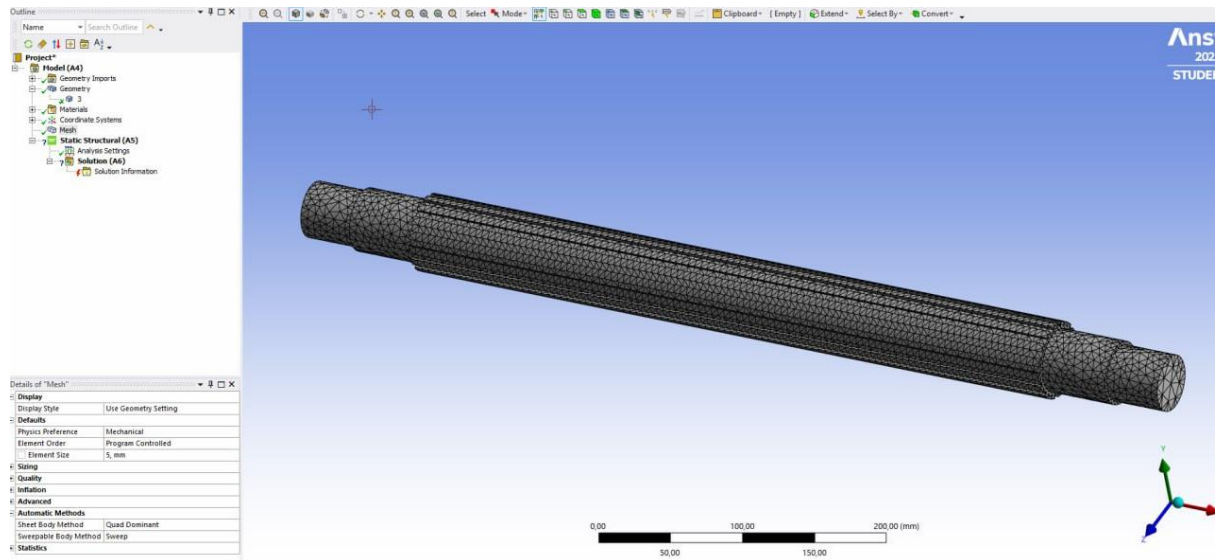


Рисунок 5.10 – Генерація скінченно-елементної сітки вала з розміром елемента 5 мм

Для проведення міцнісного розрахунку задаємо граничні умови в модулі Static Structural на основі кінематичної схеми роботи вузла та вихідних даних на проектування пластинчастого живильника.

На правому циліндричному торці вала (в зоні посадки опорного підшипника кочення) накладаємо жорстке защемлення «Fixed Support» (точка A), що повністю обмежує всі лінійні та кутові ступені свободи даної поверхні для імітації його фіксації в корпусі привода.

На циліндричну робочу шліцьову поверхню вала прикладаємо рівномірно розподілений тиск «Pressure» величиною 1 МПа (точка B). Дане значення тиску прийняте як еквівалентне питоме навантаження на шліци, розраховане виходячи з колового зусилля від тягового ланцюга конвеєра при транспортуванні крупнозернистого ґравію та з урахуванням обмеження по зминанню для заданого зовнішнього діаметра пальців (рис. 5.11).

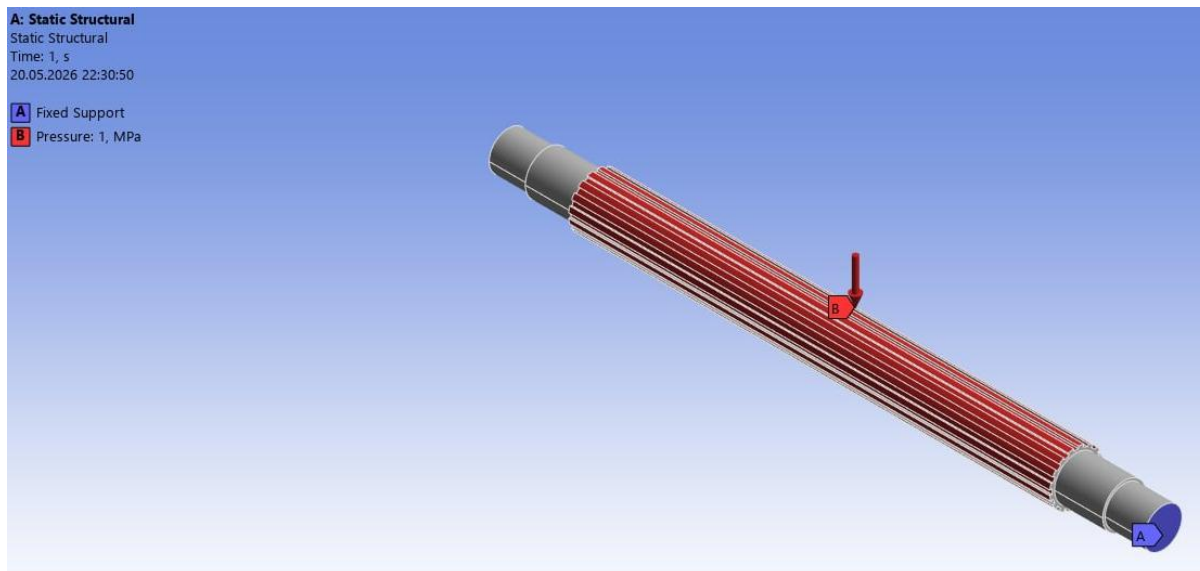


Рисунок 5.11 – Граничні умови розрахунку: закріплення та прикладене навантаження

У розділі «Solution» розрахункового дерева ANSYS Mechanical задано перелік вихідних параметрів для аналізу результатів. Для оцінки міцності та жорсткості торсіонного вала додано інструменти виведення сумарних деформацій («Total Deformation»), еквівалентних пружних деформацій («Equivalent Elastic Strain») та коефіцієнта запасу міцності («Safety Factor»). Після цього виконано команду «Solve», а отримані епюри використано для оцінки характеру деформування, жорсткості та працездатності модернізованого вузла.

Під час підготовки результатів розрахунку в розділі «Solution» було вибрано ті параметри, які найповніше характеризують роботу торсіонного вала: сумарні переміщення, еквівалентні пружні деформації та коефіцієнт запасу міцності. Саме ці показники дозволяють визначити небезпечні зони деталі та оцінити придатність конструкції до подальшої експлуатації.

Після проведення розрахунку отримано епюру розподілу сумарних деформацій (Total Deformation) торсіонного вала. Згідно з візуалізацією, мінімальні переміщення локалізовані в місці жорсткої фіксації опорної шийки вала (синя зона, маркер Min) і становлять 0 мм. Максимальний прогин конструкції виникає в центральній геометричній частині вала (червона зона, маркер Max) під дією прикладеного тиску і становить 0,25251 мм. Отримане

значення максимального переміщення знаходиться в межах допустимих конструкторських норм для приводних валів конвеєрів і не порушує жорсткість вузла (рис. 5.12).

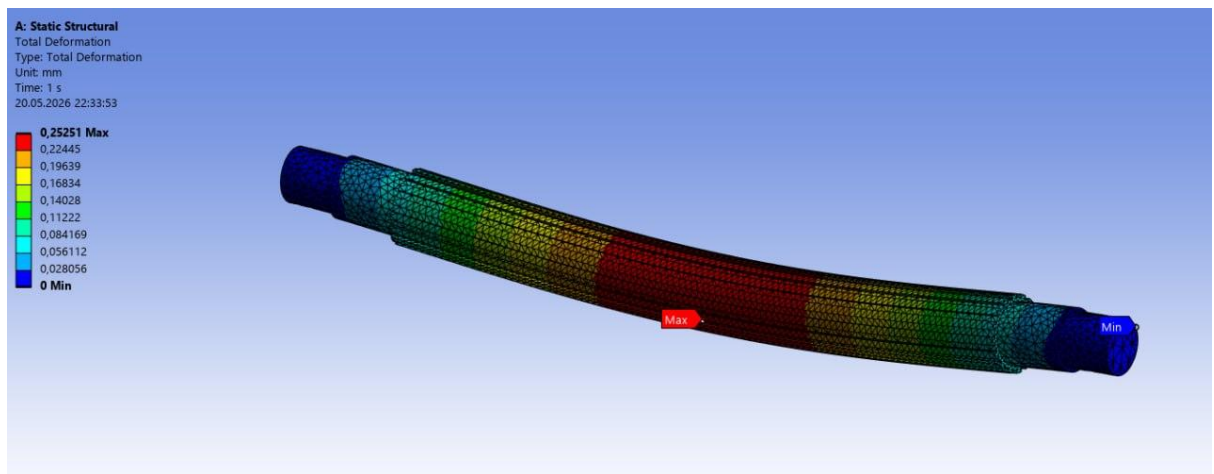


Рисунок 5.12 – Епюра сумарних деформацій торсіонного вала (Total Deformation)

На основі чисельного розрахунку отримано епюру розподілу еквівалентних пружних деформацій (Equivalent Elastic Strain) матеріалу вала. Граничні значення відносних деформацій розподілилися наступним чином: мінімальна деформація зафіксована на шліцьовій поверхні ближче до зони закріплення (синій колір, маркер Min) і становить $2,8078 \cdot 10^{-6}$ мм/мм. Максимальні значення відносних пружних деформацій локалізовані на лівій перехідній циліндричній ділянці вала (червона зона, маркер Max) і становлять 0,0005704 мм/мм. Більша частина робочої довжини та шліців знаходиться в зоні низьких деформацій, що підтверджує раціональний розподіл матеріалу (рис. 5.13).

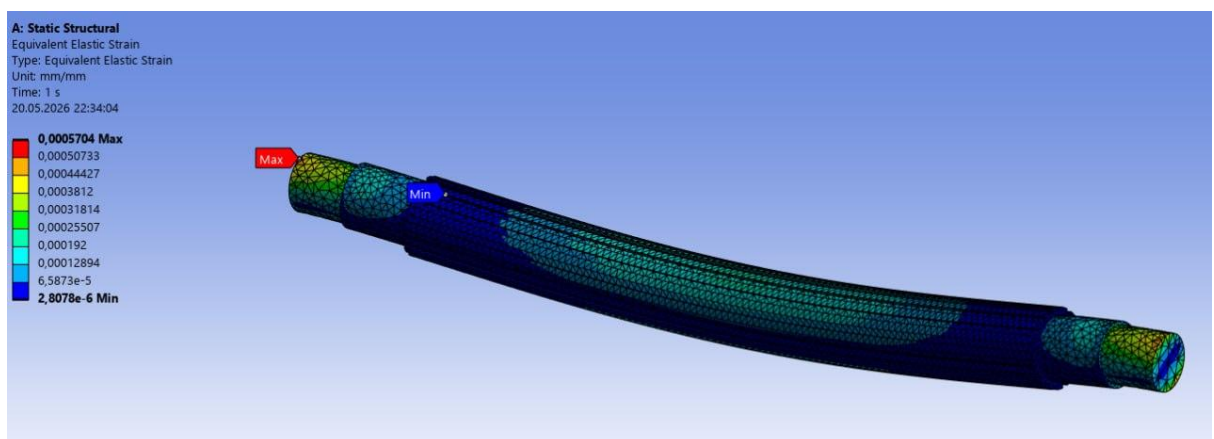


Рисунок 5.13 – Епюра еквівалентних пружних деформацій вала (Equivalent Elastic Strain)

За результатами розрахунку отримано кольорову епюру розподілу коефіцієнта запасу міцності (Safety Factor). Максимальний запас міцності зафіксовано на вільних від навантаження ділянках (синя зона, маркер Max), де він досягає верхньої розрахункової межі програми — 15. Мінімальне граничне значення коефіцієнта запасу міцності локалізоване в місці концентрації напружень на перехідному галтельному ступені лівого кінця вала (червоно-жовта зона, маркер Min) і становить 2,1915 (рис. 5.14). [12]

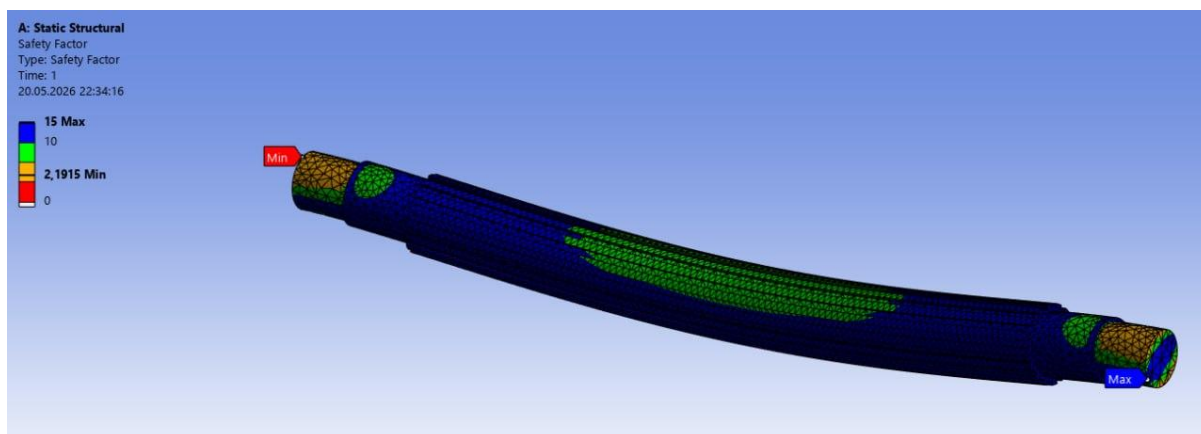


Рисунок 5.14 – Епюра коефіцієнта запасу міцності вала (Safety Factor)

Висновок до розділу

Проведене чисельне моделювання напружено-деформованого стану приводного торсіонного вала пластинчастого живильника в програмному комплексі ANSYS підтвердило його повну працездатність та конструктивну надійність.

Аналіз отриманих результатів показав, що мінімальний коефіцієнт запасу міцності матеріалу (сталь 45) становить $n_{\min} = 2,1915$. Це повністю задовольняє нормативну умову міцності та відповідає жорсткій вимозі викладача щодо забезпечення мінімально допустимого коефіцієнта запасу ($[n] \geq 2,0$). Оскільки $n_{\min} = 2,1915 > [n] = 2,0$, виникаючі робочі напруження є меншими за допустимі, що гарантує відсутність пластичних деформацій чи руйнування вузла під час транспортування крупнозернистого гравію.

5.7 Автоматизація розрахунків параметрів конвеєра за допомогою програми

Для того, щоб повністю уникнути рутинного ручного перерахунку геометричних та кінематичних параметрів конвеєра для кожного окремого технічного завдання, було прийнято рішення розширити практичну частину проекту та створити спеціалізоване програмне забезпечення. Проектування архітектури програми, написання вихідного коду, його відладка та фінальна компіляція здійснювалися в сучасному та популярному середовищі розробки Visual Studio Code (VS Code). Вибір цього інструментарію обумовлений його високою швидкістю роботи, зручною системою підсвічування синтаксису та можливістю гнучкого налаштування компіляторів для мов високого рівня.

Сама програма написана мовою C++ і функціонує в текстовому консольному режимі. Головне призначення створеного цифрового інструменту полягає в миттєвому визначенні конструктивної ширини пластин конвеєра та нормативної висоти його бортів. Користувачеві достатньо лише ввести один базовий параметр — необхідну об'ємну продуктивність лінії сортування. У внутрішню логіку програми заздалегідь закладено алгоритми автоматичного підбору правильних параметрів, що значно прискорює та спрощує етап попереднього проектування сортувальної лінії. Окрему увагу під час розробки було приділено сумісності шрифтів: у коді реалізовано примусове керування системними сторінками кодування Windows, завдяки чому весь текстовий інтерфейс коректно відображається українською мовою, не викликаючи збоїв, появи незрозумілих символів чи помилок кодування в терміналі.

```
ConsoleApplication1.cpp  (Global Scope)  main()
1  #include <iostream>
2  #include <cmath>
3  #include <iomanip>
4  #include <string>
5  #include <windows.h>
6
7  using namespace std;
8
9  double getStandardWidth(double calculated_B) {
10     return ceil(calculated_B * 10.0) / 10.0;
11 }
12
13 int main() {
14     SetConsoleCP(65001);
15     SetConsoleOutputCP(65001);
16
17     const double v = 0.1;
18     const double phi = 0.7;
19     double Pi_v;
20
21     cout << "==== Розрахунок параметрів пластичного живильника ===" << endl;
22     cout << "Введіть Pi_v (м3/год) або натисніть Enter для значення за замовчуванням (10): ";
23
24     string input;
25     getline(cin, input);
26
27     if (input.empty()) {
28         Pi_v = 10.0;
29         cout << "> Використано значення за замовчуванням: 10 м3/год" << endl;
30     }
31     else {
32         try {
33             Pi_v = stod(input);
34         }
35         catch (...) {
36             cout << "Помилка введення! Встановлено значення 10." << endl;
37             Pi_v = 10.0;
38         }
39     }
40
41     double denominator = 270.0 * v * phi;
42     double B_calculated = sqrt(Pi_v / denominator);
43
44     double B_standard = getStandardWidth(B_calculated);
45     if (B_standard == 0.7) B_standard = 0.8;
46
47     double h = 0.75 * B_standard;
48
49     cout << fixed << setprecision(3);
50     cout << "\n— Результати розрахунків —" << endl;
51     cout << "Розрахункова ширина пластини B: " << B_calculated << " м" << endl;
52     cout << "Фіксована стандартна ширина пластини B: " << B_standard << " м" << endl;
53     cout << "Висота бортів живильника h: " << h << " м" << endl;
54
55     return 0;
56 }
57
```

Рисунок 5.18 — Вихідний код програми в середовищі Visual Studio Code

Якщо розглядати принцип роботи написаного коду з погляду інженера, а не програміста, то весь внутрішній алгоритм програми можна розділити на кілька послідовних та логічних етапів. На першому етапі, одразу після запуску, програма ініціалізує мовні пакети, виводить на екран назву розрахункового модуля та зупиняє виконання, очікуючи від користувача введення числового значення продуктивності. Для підвищення стабільності системи в код додано інтелектуальний захист від випадкових дій: якщо користувач не вкаже жодної цифри і просто натисне клавішу Enter, програма не видасть критичну помилку і не закриється, а самостійно підставить базове тестове значення, передбачене проектом.

На другому етапі комп'ютер миттєво підставляє введене число у математичну модель розрахунку. Проте, оскільки результатом математичного ділення та добування квадратного кореня майже завжди є складне дробове число, його неможливо напряму використати в реальному виробництві, адже деталі на заводах виготовляються суворо за стандартами. Тому на третьому етапі вмикається спеціально написана функція округлення. Вона аналізує отриманий

дріб і автоматично збільшує його до найближчого нормативного розміру, який існує в чинних машинобудівних стандартах для конвеєрного обладнання. На фінальному етапі програма за доли секунди виводить на екран підсумкові результати у вигляді трьох чітких рядків, які показують точне теоретичне число, прийняту стандартну ширину полотна в метрах та фінальну конструктивну висоту бортів конвеєра.

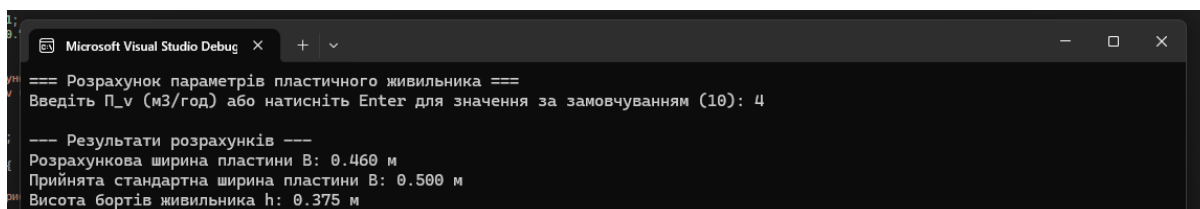


Рисунок 5.19 — Результат розрахунку в консолі при продуктивності 4
м³/год

Нижче наведено інший скриншот із результатами обчислень, де для перевірки універсальності програми, стабільності її математичного ядра та коректності відпрацювання алгоритму округлення було введено інше значення продуктивності, яке за технічними умовами дорівнює 12.

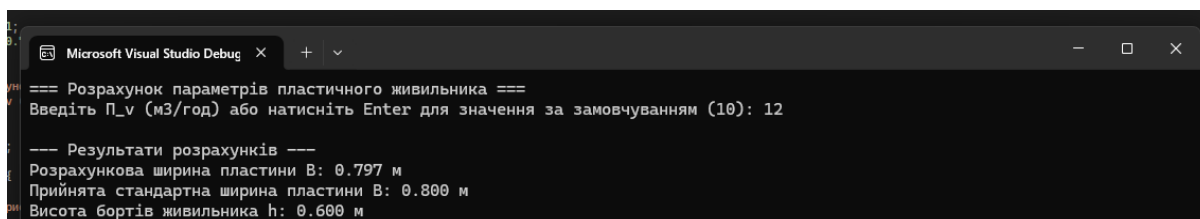


Рисунок 5.20 — Результат розрахунку в консолі при продуктивності 12
м³/год

Успішне створення, компіляція та серія тестових запусків цієї програми наочно підтвердили, що складні процеси інженерних розрахунків сортувальних ліній можна ефективно автоматизувати за допомогою базових засобів програмування. Створений програмний продукт демонструє високу стабільність, миттєво реагує на зміну вхідних даних та повністю вирішує проблему сумісності українських шрифтів у консольному середовищі. Впровадження такого

інструменту в практику проектування дозволяє повністю ліквідувати людський фактор, уникнути випадкових арифметичних помилок при ручних підрахунках та оперативно отримати точні геометричні розміри модернізованого конвеєра ще до етапу побудови складних тривимірних моделей у CAD-системах.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛЬШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Розділ розроблено відповідно до теми дипломного проекту «Лінія сортування посилок та вантажів з модернізацією пластинчатого конвеєра». Об'єктом аналізу є виробнича ділянка сортування штучних вантажів, на якій посилки після приймання подаються на пластинчастий конвеєр, ідентифікуються за допомогою сканерів або датчиків, переміщуються вздовж траси та спрямовуються до відповідних сортувальних виходів. Модернізований пластинчастий конвеєр містить раму, приводний вузол, тягові ланцюги з пластинами, натяжний пристрій, опорні ролики, захисні огороження, датчики контролю положення вантажу та аварійні пристрої зупинки. [13, 14]

Метою розділу є визначення небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть виникати під час експлуатації лінії, та розроблення заходів для забезпечення безпечної роботи оператора, ремонтного персоналу й допоміжних працівників. Ураховано, що оператор переважно перебуває біля пульта керування або на робочому місці контролю сортування, а безпосередній доступ до рухомих частин допускається лише після зупинки лінії, блокування живлення та виконання регламенту технічного обслуговування. [13]

Виробниче приміщення площею $S = 120 \text{ м}^2$ та висотою 4,5 м. Тоді орієнтовний об'єм приміщення становить $V = 540 \text{ м}^3$. Після отримання фактичного плану ділянки ці значення необхідно уточнити в остаточному варіанті дипломного проекту.

6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Під час роботи лінії сортування посилок і вантажів можливий вплив таких небезпечних та шкідливих виробничих факторів: рухомі елементи конвеєра і сортувальних механізмів; затягування одягу або рук у зони контакту пластин, ланцюгів, зірочок і роликів; падіння або зміщення вантажів на поворотах та в

місцях розвантаження; ураження електричним струмом від електродвигунів, шаф керування, частотних перетворювачів і датчиків; підвищений рівень шуму від редукторів, ланцюгової передачі, роликів та ударів вантажів об напрямні; недостатня освітленість робочих зон; запиленість або забруднення повітря картонним пилом і дрібними частинками пакувальних матеріалів; пожежна небезпека через велику кількість паперу, картону, полімерної плівки та електрообладнання. [13, 14]

Найбільш небезпечними зонами лінії є приводна та натяжна станції, місця входу пластин у зірочки, ділянки бокових напрямних, сортувальні відводи, місця ручного завантаження і знімання вантажів, а також шафи електрокерування. У цих зонах повинні бути встановлені стаціонарні огороження, попереджувальні знаки, аварійні кнопки «Стоп» та блокування, що унеможливають пуск обладнання при відкритих кожухах.

Працівники, які обслуговують лінію, повинні пройти вступний і первинний інструктажі з охорони праці, навчання безпечним методам роботи, ознайомлення з інструкцією експлуатації конвеєра, правилами дій у разі аварійної зупинки, пожежі або травмування. До ремонту привода, натяжного пристрою та електрообладнання допускаються тільки працівники відповідної кваліфікації. [13, 21]

6.2 Безпека конструкції та експлуатації конвеєрної лінії

Безпечна експлуатація пластинчастого конвеєра забезпечується конструктивними, організаційними та технічними заходами. Приводна станція, редуктор, муфти, зірочки, ланцюги та натяжний пристрій повинні бути закриті металевими або сітчастими огороженнями. Конструкція огорожень має забезпечувати можливість огляду стану вузлів, але не повинна допускати потрапляння рук, інструменту або частин одягу в небезпечну зону. [14, 15]

Уздовж траси конвеєра необхідно встановити аварійний тросовий вимикач або кнопки аварійної зупинки з інтервалом, який забезпечує доступність з будь-якого робочого місця. Кнопки аварійної зупинки повинні мати червоний колір, фіксацію у вимкненому положенні та маркування, зрозуміле оператору. Після спрацювання аварійної зупинки повторний пуск лінії допускається тільки після з'ясування причини зупинки, огляду небезпечної зони та подачі звукового або світлового попереджувального сигналу. [14, 15]

Для зменшення ризику падіння вантажів на сортувальних виходах встановлюються бокові напрямні, обмежувачі висоти, приймальні лотки або рольганги. Вантажі, що переміщуються по лінії, не повинні перевищувати допустиму масу та габарити, встановлені технічною характеристикою конвеєра. Посилки з пошкодженою упаковкою, нестійкою формою або відкритими гострими кромками повинні направлятися на окрему ділянку ручного контролю.

Під час технічного обслуговування необхідно повністю зупинити конвеєр, вимкнути електроживлення, зафіксувати вимикач у вимкненому положенні та вивісити попереджувальну табличку «Не вмикати — працюють люди». Забороняється очищати пластини, ланцюги, ролики та зірочки під час руху конвеєра. Регулювання натяжного пристрою виконується лише при знятій напрузі та відсутності вантажів на робочій гілці. [13, 15]

6.3 Промислове освітлення

Нормальне освітлення робочої зони є важливою умовою безпечної експлуатації сортувальної лінії, оскільки оператор повинен контролювати маркування посилок, положення вантажів на пластинах, роботу датчиків, стан огорожень та відсутність сторонніх предметів на трасі конвеєра. Недостатнє освітлення призводить до зростання втоми, помилок під час сортування та підвищення ризику травмування. [16]

У приміщенні передбачається комбіноване освітлення: природне через світлові прорізи та штучне загальне рівномірне освітлення світлодіодними світильниками. На робочих місцях оператора, біля зони завантаження, біля пульта керування, сканерів, сортувальних виходів та місць технічного огляду освітленість повинна бути достатньою для зчитування маркування і безпечного візуального контролю. Світильники слід розташовувати так, щоб вони не створювали різких тіней, засліплення та відблисків на екранах пульта керування. [16]

Для аварійних ситуацій передбачається аварійне освітлення шляхів евакуації, виходів, пульта керування та місць розташування засобів пожежогасіння. Світильники аварійного освітлення мають живитися від незалежного або резервного джерела електроенергії. Усі світильники повинні бути захищені від механічних пошкоджень і встановлені так, щоб під час обслуговування не виникала небезпека падіння працівника з висоти.

6.4 Електробезпека

Лінія сортування містить електродвигуни привода конвеєра, частотні перетворювачі, блоки живлення датчиків, сканери, електромагнітні або пневмоелектричні виконавчі механізми сортувальних відводів, шафи керування та пульт оператора. Тому одним з основних небезпечних факторів є можливість ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції, порушенні заземлення, відкритті електричних шаф або виконанні ремонту без відключення живлення. [15]

Для забезпечення електробезпеки всі металеві неструмопровідні частини обладнання повинні бути приєднані до захисного заземлення. Електричні шафи мають бути закриті на замок, обладнані попереджувальними знаками та доступні лише електротехнічному персоналу. Кабелі прокладаються в кабельних лотках, коробах або трубах із захистом від механічного пошкодження. У місцях

можливого контакту з рухомими частинами кабелі повинні бути додатково захищені гнучкими металорукавами або кожухами. [15]

Система керування повинна мати захист від короткого замикання, перевантаження, перегріву електродвигуна та самовільного пуску після відновлення напруги. Рекомендується застосовувати пристрої захисного вимкнення, автоматичні вимикачі, теплові реле, кінцеві вимикачі огорожень та блокування пуску при відкритих захисних кожухах. На пульті оператора повинні бути чітко позначені органи керування: «Пуск», «Стоп», «Аварійний стоп», вибір режиму роботи та індикація несправностей. [15]

Перед виконанням ремонтних робіт електрообладнання має бути знеструмлене. Працівник повинен перевірити відсутність напруги, вжити заходів проти випадкового вмикання та використовувати справні засоби індивідуального захисту: діелектричні рукавички, килимок, інструмент з ізольованими ручками. Робота під напругою для обслуговуючого персоналу сортувальної дільниці забороняється.

6.5 Повітря робочої зони та вентиляція [17]

Під час роботи лінії сортування посилок та вантажів у повітря робочої зони можуть потрапляти пил від картону, паперу, полімерної плівки, залишки пакувальних матеріалів, а також дрібні частинки, що утворюються під час тертя вантажів об напрямні та пластини конвеєра. На відміну від ліній переробки сипучих матеріалів, запиленість тут є менш інтенсивною, проте вона може погіршувати санітарний стан приміщення, забруднювати датчики, оптичні сканери та вентиляційні решітки.

Для забезпечення нормального стану повітря робочої зони приміщення обладнується загальнообмінною припливно-витяжною вентиляцією. У місцях інтенсивного накопичення пилу, наприклад біля ділянки розпаковування, ручного контролю пошкоджених посилок або очищення тари, доцільно передбачити

місцеві відсмоктувачі або переносні промислові пиłosоси. Забороняється очищати обладнання стисненим повітрям без системи відсмоктування, оскільки це призводить до повторного піднімання пилу в робочу зону. [17]

Мікроклімат у приміщенні повинен забезпечувати працездатність оператора протягом зміни. Оскільки робота оператора сортувальної лінії належить переважно до легких або середньої важкості робіт, температура, вологість і швидкість руху повітря мають підтримуватися в комфортних межах. У холодний період року приміщення повинно опалюватися, а в теплий період — провітрюватися або кондиціюватися. Не допускається розміщення робочого місця оператора в зоні постійного протягу.

Для зменшення забруднення повітря необхідно організувати регулярне сухе або вологе прибирання підлоги, очищення підконвеєрного простору, видалення відходів пакувальних матеріалів у закриті контейнери та періодичне очищення вентиляційних фільтрів. Усі відходи картону, паперу та полімерної плівки повинні збиратися роздільно, що також знижує пожежне навантаження приміщення.

6.6 Виробничий шум і вібрація [18]

Джерелами шуму на лінії сортування є електродвигун і редуктор привода, зачеплення тягових ланцюгів із зірочками, робота опорних роликів, удари посилок об напрямні та спрацювання сортувальних відводів. Підвищений шум може викликати втому оператора, зниження уваги та погіршення сприйняття звукових сигналів безпеки.

Для зменшення шуму необхідно застосовувати справні редуктори, своєчасне змащування підшипників, правильне регулювання натягу тягових ланцюгів, еластичні прокладки в місцях кріплення напрямних, гумові або полімерні демпфери на сортувальних лотках, а також віброізоляційні опори під приводною станцією. Зношені ролики, підшипники та пластини повинні

своєчасно замінюватися, оскільки їхній дефектний стан різко підвищує рівень шуму. [18]

Якщо фактичний рівень шуму на робочому місці перевищує допустимі значення, необхідно застосовувати організаційні заходи: обмеження часу перебування працівника у шумній зоні, винесення пульта керування в ізольоване місце, встановлення шумозахисного екрана або кожуха на приводній станції. Працівникам, які виконують обслуговування поблизу джерел шуму, видаються протишумові навушники або вкладиші.

Вібрація від привода та рухомих елементів передається на раму, фундамент і частково на підлогу. Для її зменшення необхідно забезпечити балансування обертових деталей, правильне центрування валів, використання справних муфт, жорстке кріплення рами до основи та встановлення віброізолюючих елементів. Регулярний контроль вібрації дозволяє своєчасно виявляти дефекти підшипників, перекис зірочок або неправильний натяг ланцюга.

6.7 Пожежна безпека [19, 20]

Лінія сортування посилок працює з великою кількістю горючих пакувальних матеріалів: картоном, папером, поліетиленовою плівкою, скотчем, етикетками та дерев'яною тарою. Додатковими джерелами пожежної небезпеки є електродвигуни, кабельні лінії, шафи керування, перегрів підшипників, короткі замикання, а також порушення правил проведення ремонтних або зварювальних робіт. [19, 20]

Для запобігання пожежі необхідно підтримувати чистоту підконвеєрного простору, не допускати накопичення паперу,пилу, плівки та інших відходів біля електрообладнання і приводної станції. Кабельні траси повинні регулярно оглядатися, пошкоджені кабелі та розетки негайно замінюватися. Забороняється зберігати зайві пакувальні матеріали в проходах, біля пультів керування, електрощитів та евакуаційних виходів. [20]

Приміщення повинно бути обладнане первинними засобами пожежогасіння: порошковими або вуглекислотними вогнегасниками, пожежним щитом, ящиком з піском за потреби, а також знаками пожежної безпеки. Біля телефонів або пультів зв'язку розміщують таблички з номером виклику пожежно-рятувальної служби. Евакуаційні проходи та виходи мають бути вільними, освітленими та позначеними відповідними знаками.

Під час виконання зварювальних, різальних або інших вогневих робіт поблизу конвеєра необхідно прибрати горючі матеріали, закрити обладнання негорючими екранами, підготувати вогнегасники і призначити відповідального за пожежну безпеку. Після завершення робіт місце ремонту контролюється протягом часу, достатнього для виключення тління пакувальних матеріалів. [13, 21]

6.8 Організаційні заходи безпеки та засоби індивідуального захисту [13, 21]

До роботи на лінії допускаються працівники, які пройшли навчання, інструктаж, медичний огляд за потреби та перевірку знань з охорони праці. Оператор повинен знати призначення органів керування, порядок пуску і зупинки лінії, правила дій у разі заклинювання вантажу, спрацювання аварійного вимикача, виявлення пошкодженої упаковки або стороннього предмета на конвеєрі.

Перед початком зміни оператор перевіряє справність огорожень, наявність попереджувальних знаків, роботу аварійних кнопок, відсутність сторонніх предметів на пластинах і під конвеєром, стан робочого місця та проходів. Пуск лінії дозволяється тільки після звукового або світлового попередження, якщо всі працівники перебувають поза небезпечною зоною. Під час роботи забороняється ставати на конвеєр, торкатися рухомих пластин, витягувати застряглі посилки руками, перелазити через лінію у невстановлених місцях.

Засоби індивідуального захисту підбираються залежно від характеру робіт. Для оператора та працівників сортування передбачаються спецодяг без вільно звисаючих частин, закрите взуття з неслизькою підошвою, захисні рукавички для ручного переміщення посилок, а за підвищеного рівня шуму — протишумові

навушники або вкладиші. Для ремонтного персоналу додатково застосовують захисні окуляри, каску, діелектричні рукавички та інструмент з ізольованими ручками при роботах з електрообладнанням. [13, 20]

6.9 Охорона навколишнього середовища

Експлуатація лінії сортування посилок не супроводжується значними технологічними викидами, однак утворюються відходи пакувальних матеріалів, пил, шум і споживання електроенергії. Основними природоохоронними заходами є раціональне використання електроенергії, роздільне збирання відходів, зменшення шуму та запобігання потраплянню пилу в навколишнє середовище.

Картон, папір, полімерна плівка, дерев'яні піддони та інші пакувальні матеріали необхідно збирати в окремі контейнери й передавати на повторну переробку або утилізацію згідно з установленим на підприємстві порядком. Забороняється спалювати відходи упаковки на території підприємства або зберігати їх у невстановлених місцях. Для зменшення енергоспоживання доцільно застосовувати частотне регулювання привода, автоматичний перехід лінії в режим очікування при відсутності вантажів та своєчасне технічне обслуговування механічних вузлів.

Використання модернізованого натяжного пристрою пластинчастого конвеєра позитивно впливає на безпеку та екологічність експлуатації, оскільки стабілізація натягу тягового органу зменшує удари, перекоси, прослизання, шум, знос деталей і кількість ремонтних операцій. Це сприяє підвищенню ресурсу конвеєра, зменшенню кількості металевих відходів і скороченню простоїв лінії. [13-21]

6.10 Висновки до розділу

У розділі охорони праці проаналізовано основні небезпечні та шкідливі фактори, які виникають під час експлуатації лінії сортування посилок та вантажів з модернізованим пластинчастим конвеєром. Встановлено, що найбільшу небезпеку становлять рухомі частини конвеєра, приводний і натяжний вузли, електрообладнання, можливе падіння вантажів, шум, запиленість від пакувальних матеріалів та пожежне навантаження приміщення.

Запропоновані заходи — встановлення огорожень, аварійних вимикачів, блокувань, належного освітлення, вентиляції, заземлення, засобів пожежогасіння, регулярного технічного обслуговування та застосування засобів індивідуального захисту — забезпечують безпечні умови праці оператора і ремонтного персоналу. Остаточні числові параметри приміщення, освітленості, вентиляції та фактичного рівня шуму необхідно уточнити після отримання плану ділянки та технічних характеристик конкретного обладнання.

7 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

7.1 Опис і призначення деталі

Храпове колесо є деталлю храпового механізму, що входить до складу приводного або стопорного вузла пластинчастого конвеєра. Деталь має форму диска з центральним отвором та зовнішнім зубчастим профілем односторонньої дії. Зубці храпового колеса взаємодіють із собачкою, завдяки чому забезпечується передавання переривчастого обертального руху або фіксація вала від зворотного провертання.

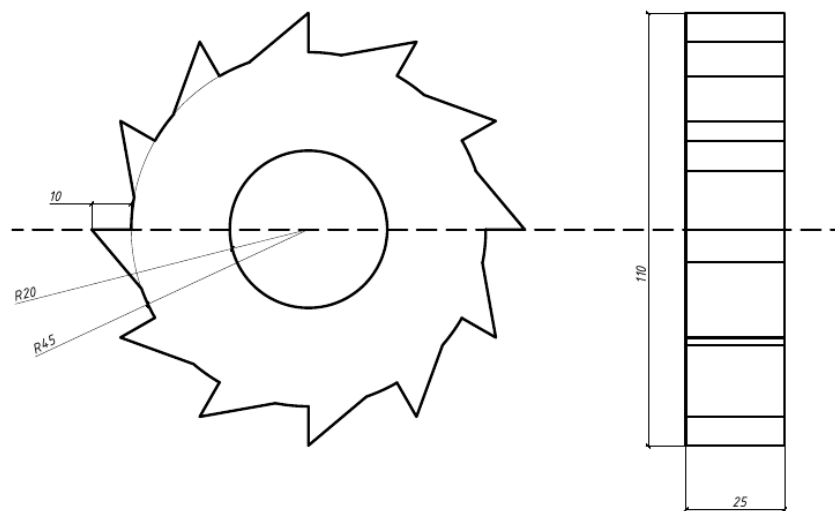


Рисунок 7.1 – Ескіз храпового колеса

Основне призначення храпового колеса полягає у забезпеченні роботи храпового механізму, який допускає обертання в одному напрямку та перешкоджає зворотному руху. У конструкції пластинчастого конвеєра така деталь може застосовуватись у механізмах фіксації, натягування, привода або зупинення рухомих елементів під час технічного обслуговування та регулювання.

Під час експлуатації храпове колесо сприймає контактні навантаження від собачки, крутний момент від вала, а також динамічні навантаження, що виникають під час періодичного зачеплення зубців. Найбільш навантаженими

ділянками є робочі поверхні зубців, зона западин між зубцями та центральний отвір, через який деталь встановлюється на вал або вісь.

Деталь виготовляється з матеріалу: сталь 45 ГОСТ 1050-88. Сталь 45 належить до конструкційних якісних вуглецевих сталей і характеризується достатньою міцністю, твердістю та зносостійкістю після механічної і, за потреби, термічної обробки. Такий матеріал доцільно застосовувати для деталей, що працюють під дією змінних і контактних навантажень.

До храпового колеса висуваються такі основні технічні вимоги: точність зовнішнього профілю зубців, забезпечення товщини деталі 25 мм, якісна обробка центрального отвору, відсутність тріщин, задирок, сколів, перекосів та інших дефектів поверхні. Робочі поверхні зубців повинні мати правильну геометричну форму, оскільки від цього залежить надійність зачеплення із собачкою та стабільність роботи всього механізму.

На основі аналізу конструкції храпового колеса та умов його роботи визначено, що найбільш доцільним способом отримання заготовки є використання круглого сталевого прокату діаметром 115 мм з подальшим розрізанням на заготовки довжиною 30 мм. Такий спосіб є раціональним для одиничного або дрібносерійного виробництва, оскільки не потребує складного штампового оснащення та забезпечує достатній припуск для подальшої механічної обробки.



Рисунок 7.2 – Ескіз заготовки

7.2 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі

Храпове колесо є деталлю типу «диск із зовнішнім зубчастим профілем», тому технологічний процес його виготовлення базується на заготівельних, токарних, свердлильних, фрезерних та слюсарних операціях. Основними етапами виготовлення є підготовка заготовки, обробка торцевих поверхонь, утворення центрального отвору, чистова токарна обробка, фрезерування зубчастого профілю та остаточне зачищення.

Для храпового колеса передбачаються такі основні оброблювані поверхні: дві торцеві поверхні; центральний отвір діаметром 40 мм; зовнішній зубчастий профіль із найбільшим розміром 110 мм; поверхні западин зубців з радіусом R45; центральна внутрішня поверхня з радіусом R20; бічні поверхні зубців; фаски та зачищені кромки після механічної обробки.

Технологічний процес виготовлення храпового колеса включає такі основні операції:

- підготовка круглого прокату Ø115 мм і розкрій на мірні заготовки довжиною 30 мм;
- чорнова токарна обробка торцевих і зовнішніх поверхонь;
- свердління та обробка центрального отвору;
- чистова токарна обробка до заданої товщини 25 мм;
- фрезерування западин і робочих поверхонь зубців храпового профілю;
- слюсарна обробка, зачищення задирок і притуплення гострих кромок;
- остаточний контроль геометричних розмірів і якості поверхні.

Розкрій прокату виконують на стрічкопильному або відрізному верстаті. Після цього заготовка надходить на токарну операцію, де обробляються торцеві поверхні та формується базова циліндрична поверхня. Далі виконується свердління центрального отвору, який є основною базовою поверхнею для подальшої установки деталі.

На чистовій токарній операції деталь доводиться до товщини 25 мм, знімаються фаски та забезпечується необхідна якість торцевих поверхонь. Після цього храпове колесо встановлюється на фрезерному верстаті з використанням ділильної головки або поворотного пристрою, що забезпечує рівномірний розподіл зубців по колу.

Фрезерування зубців є найбільш відповідальною операцією, оскільки саме від точності профілю зубців залежить правильність роботи храпового механізму. Після фрезерування виконується слюсарна обробка: зняття задирок, притуплення гострих кромek та контроль форми зубців за шаблоном. Детально технологічний процес виготовлення храпового колеса описаний у маршрутній карті, карті ескізів та операційних картах, наведених нижче.

[illegible]

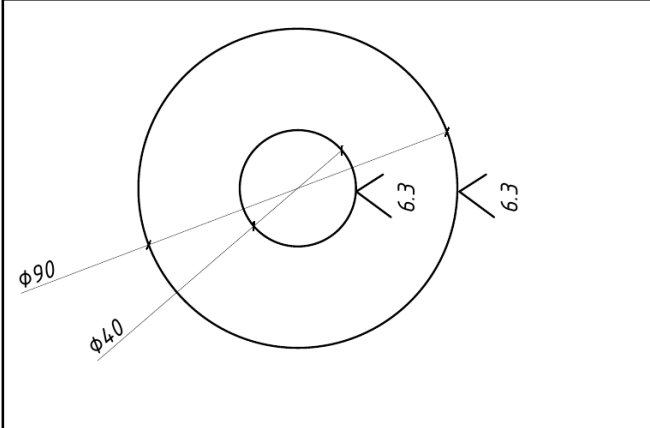
[illegible]

Дудл.																									
Взамін.																									
Підпис																									
												Зм				Ар		№ док.		Підпис		Дата			
Розробив		Курлович О.А.						КПІ ім. Ігоря Сікорського																	
Перевірів		Борщик С.О.																							
Н. контр.								Храпове колесо										Н							
								Назва операції						Матеріал											
								Свердлильна						Сталь 45 ГОСТ 1050-88											
								Твердість		ОВ		МД		Профіль і розміри				МЗ		Коод					
										кг		1.25						2.17		1					
								Обладнання						Позначення програми											
								38261 XXXX Вертикально-свердлильний верстат 2Н135																	
								То		Тд		Тп.з		Тшт.		МОР									
Р						Інструмент		ПН		D або B		L		S		κ		s		n		v			
P01		1. Торцювати першу бічну поверхню				підрізний різець																			
T02		2. Просвердити центральний отвір				Свердло				40															
03																									
004																									
T05																									
T06																									
P07																									
08																									
OK		Обробка різання																							

Дубл.			
Взамін.			
Підпис			

Розробив	Курлович О.А.			КПІ ім. Ігоря Сікорського							
Перевірив	Борщук С.О.										

Н. контр.				Храпове колесо						Н		
-----------	--	--	--	----------------	--	--	--	--	--	---	--	--



Назва операції				Матеріал			
Токарна чистова				Сталь 45 ГОСТ 1050-88			
Твердість	ОВ	МД	Профіль і розміри		МЗ	Коод	
	кг	1.25			2.17	1	
Обладнання				Позначення програми			
38261 XXXX Токарно-гвинторізний верстат 16K20							
Го	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР			

Р		Інструмент	ПН	Д або В	L	S	к	s	п	v
P01	1. Торцювати до товщини 25 мм	Підрізний різець								
T02	2. Зняти фаски на отворі та торцях	Фасочний різець								
03										
004										
T05										
T06										
P07										
08										
OK	Обробка різання									

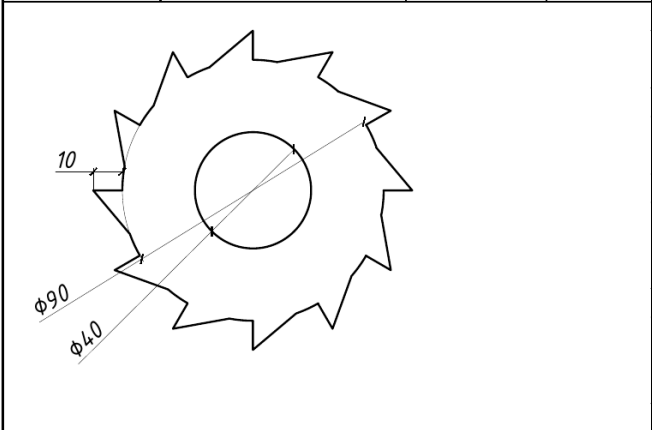
Дубл.			
Взамін.			
Підпис			

Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата

Розробив	Курлович О.А.		
Перевірів	Борщик С.О.		
Н. контр.			

КПІ ім. Ігоря Сікорського					
---------------------------	--	--	--	--	--

Храпове колесо			Н		
----------------	--	--	---	--	--



Назва операції				Матеріал	
Фрезерна				Сталь 45 ГОСТ 1050-88	
Твердість	ОВ	МД	Профіль і розміри		МЗ
	кг	1.25			2.17
Обладнання			Позначення програми		
38261 XXXX Вертикально-фрезерний верстат 6P12					
То	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР	

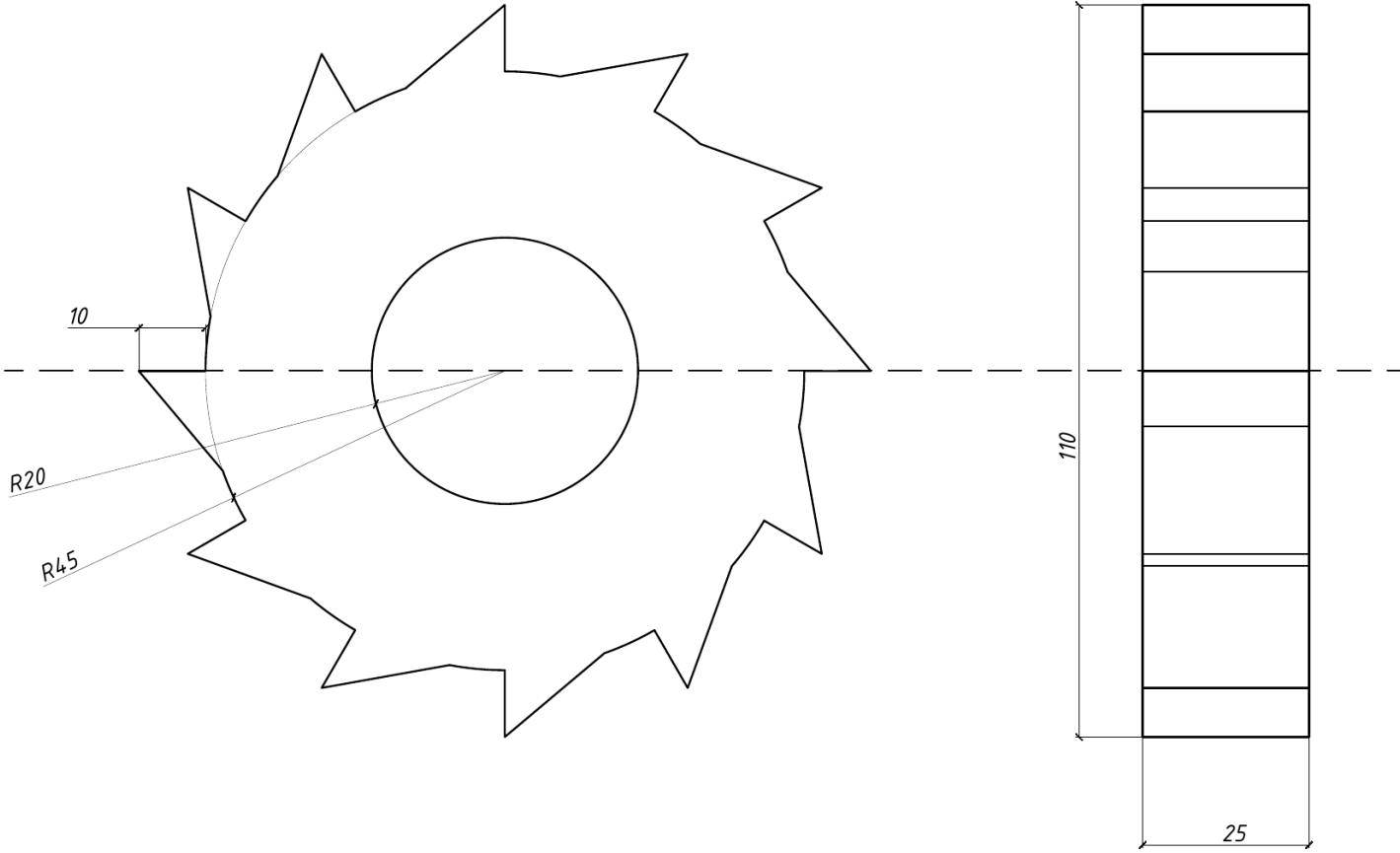
Р		Інструмент	ПН	Д або В	L	S	κ	d	n	v
P01	1. Фрезувати западини зубців до R50	Кінцева фреза								
T02	2. Перевірити зовнішній розмір 110 і висоту зуба 10 мм	Шаблон								
004										
T05										
T06										
P07										
08										
OK	Обробка різання									

Дубл.			
Взамін.			
Підпис			

Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата

Розробив	Курлович О.А.		
Перевірив	Борщук С.О.		
Н. контр.			

КПІ ім. Ігоря Сікорського			
Храпове колесо		Н	



КЕ	Обробка різання
----	-----------------

7.3 Призначення пристосування для обробки деталі

Для точної обробки зубців храпового колеса на фрезерній операції доцільно застосовувати вертикально-фрезерний верстат 6P12 разом із ділильною головкою або поворотним столом. Таке пристосування забезпечує надійне закріплення заготовки, її послідовний поворот на заданий кут та рівномірне розташування зубців по колу.

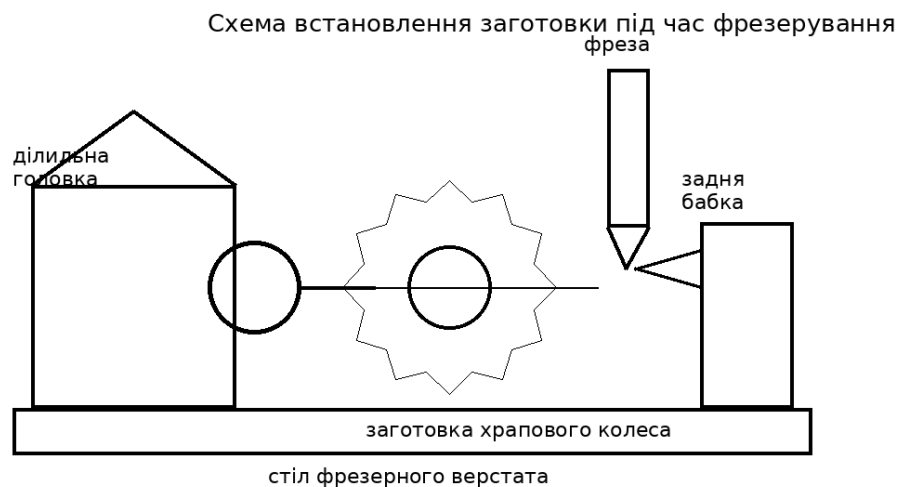


Рисунок 7.3 – Схема встановлення заготовки на ділильній головці

Ділильна головка дозволяє базувати заготовку за центральним отвором та торцевою поверхнею, а також здійснювати точне кутове переміщення після обробки кожної западини між зубцями. Це особливо важливо для храпового колеса, оскільки нерівномірний крок зубців може спричинити удари, підвищене зношування собачки та нестабільну роботу механізму.

Під час встановлення заготовку закріплюють на оправці або в патроні ділильної головки, після чого перевіряють її биття та положення відносно осі інструмента. Для фрезерування зубців застосовують кінцеву або дискову фрезу відповідного профілю. Контроль виконують штангенциркулем, шаблоном профілю зубців і візуальним оглядом робочих поверхонь.

Використання ділильної головки забезпечує необхідну точність кутового поділу, зменшує ймовірність похибок під час фрезерування зубців і підвищує стабільність якості виготовлення храпового колеса.

Висновок до розділу

У ході виконання розділу було розглянуто та обґрунтовано технологічний процес виготовлення храпового колеса, яке є відповідальною деталлю храпового механізму та призначене для передавання переривчастого руху або фіксації вузла від зворотного повертання.

Визначено, що для виготовлення деталі доцільно застосовувати сталь 45 ГОСТ 1050-88 та заготовку з круглого прокату $\varnothing 115 \times 30$ мм. Такий спосіб отримання заготовки є придатним для одиничного та дрібносерійного виробництва і забезпечує достатній припуск для механічної обробки.

Розроблений технологічний маршрут включає послідовні операції: заготівельну, токарну чорнову, свердильну, токарну чистову, фрезерну, слюсарну та контрольну. Обґрунтовано використання вертикально-фрезерного верстата 6Р12 із ділильною головкою як основного пристосування для формування зубчастого профілю храпового колеса

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломного проекту на тему «Лінія сортування посилок та вантажів з модернізацією пластинчастого конвеєра» було розглянуто призначення, галузь застосування, конструкцію та принцип роботи транспортно-сортувальної системи. Встановлено, що застосування пластинчастого конвеєра у складі лінії сортування є доцільним, оскільки він забезпечує стабільне положення штучних вантажів на робочому полотні, надійне транспортування коробок, пакетів і мішків, а також можливість організації декількох сортувальних виходів.

У роботі проаналізовано технічні характеристики базової машини та основні параметри лінії: ширину пластин, довжину транспортуючої ділянки, висоту бортів, швидкість руху полотна, кут нахилу конвеєра, діаметр пальців ланцюга та кількість сортувальних виходів. На основі цих даних виконано параметричні та кінематичні розрахунки, визначено основні навантаження, тягове зусилля, потужність привода і параметри передавального механізму. За результатами розрахунків для привода прийнято електродвигун типу АИР90L6 потужністю 1,5 кВт із синхронною частотою обертання 1000 об/хв.

У літературно-патентному огляді розглянуто існуючі конструктивні рішення натяжних пристроїв конвеєрів і живильників. На основі аналізу їх переваг і недоліків обґрунтовано доцільність використання модернізованого натяжного пристрою за патентом UA 153150 U. Запропоноване рішення передбачає застосування пучкового торсіонного вала, важелів і храпових механізмів, що дає змогу підтримувати стабільний натяг полотна, зменшити динамічні навантаження під час пуску та підвищити надійність роботи транспортуючого вузла.

У середовищі SolidWorks 2024 було виконано проєктування приводного вузла пластинчастого конвеєра. Побудовано тривимірні моделі приводного вала, важелів, торсіонного вала, храпового колеса, зірочок та

інших елементів. Виконана збірка дозволила перевірити взаємне розташування деталей, правильність спряжень і відсутність небажаних перетинів. Це підтверджує можливість подальшого використання розробленої моделі для числового аналізу та підготовки конструкторської документації.

У розділі технології машинобудування розроблено технологічний процес виготовлення храпового колеса як однієї з важливих деталей модернізованого вузла. Для деталі обрано матеріал сталь 45 ГОСТ 1050-88 та заготовку з круглого прокату. Запропонований технологічний маршрут включає заготівельну, токарну, свердлильну, чистову токарну, фрезерну, слюсарну та контрольну операції. Розроблені технологічні карти дають змогу забезпечити необхідну точність форми, розмірів і якості поверхонь деталі.

У розділі охорони праці розглянуто основні питання безпечної експлуатації обладнання, електробезпеки, виробничого освітлення, вентиляції, шуму та пожежної безпеки. Запропоновані заходи спрямовані на створення безпечних умов праці персоналу, зменшення впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів та забезпечення надійної роботи обладнання під час експлуатації.

Таким чином, у дипломному проекті виконано комплексну розробку лінії сортування посилок та вантажів з модернізацією пластинчастого конвеєра. Проведені розрахунки, аналіз конструкції, 3D-моделювання, вибір модернізованого натяжного пристрою та розробка технологічного процесу виготовлення деталі підтверджують доцільність прийнятих технічних рішень. Запропонована модернізація сприяє підвищенню надійності, стабільності роботи та довговічності пластинчастого конвеєра у складі сортувальної лінії.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мікульонок І. О. Механічні та гідромеханічні процеси, апарати і машини хімічної технології: Навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 175 с.
2. Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв: Підручник / І. В. Коваленко, В. В. Малиновський. Київ : Інрес : Воля, 2005. 264 с.
3. Пакувальне обладнання: Підручник / О. М. Гавва, А. П. Беспалько, А. І. Волчко, О. О. Кохан. Київ : ІАЦ «Упаковка», 2010. 744 с.
4. Пат. UA 17670 U, Україна, МПК B65G 23/00. Натяжний пристрій стрічки конвеєра / Бодло М. В., Вільянінов М. І.; заявник і патентовласник – Бодло М. В.; заявл. 14.03.2006; опубл. 16.10.2006, Бюл. № 16.
5. Пат. UA 126276 U, Україна, МПК B65G 15/00, B65G 23/44. Натяжний пристрій стрічкового конвеєра / Гузенко Ю. М., Костюк В. А.; власник – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»; опубл. 11.06.2018, Бюл. № 11.
6. Пат. UA 153150 U, Україна, МПК B65G 15/00, B65G 23/44. Натяжний пристрій стрічкового конвеєра / Сандлер А. К., Бога В. М.; власники – Національний університет «Одеська морська академія», Сандлер А. К., Бога В. М.; заявл. 12.12.2022; опубл. 24.05.2023, Бюл. № 21.
7. Пат. України № 40540 U, МПК B62M 9/00. Пристрій натяжний / Дорохов Микола Юрійович; заявник і власник: Донецька державна машинобудівна академія. – № u200814115; заявл. 08.12.2008; опубл. 10.04.2009, бюл. № 7/2009.
8. Пат. України № 20772 U, МПК F16H 7/10. Пристрій натяжний / Лук'янов Ігор Олександрович, Фесенко Роман Олександрович; заявник:

Donbas State Mechanical Engineering Academy; власник: Донецька державна машинобудівна академія. – № u200608405; заявл. 26.07.2006; опубл. 15.02.2007, бюл. № 2/2007.

9. Пат. України № 18413 U, МПК В62М 9/00. Пристрій натяжний / Дорохов Микола Юрійович; заявник і власник: Донецька державна машинобудівна академія. – № u200604042; заявл. 12.04.2006; опубл. 15.11.2006, бюл. № 11/2006.

10. Пат. України № 98111 U, МПК В65G 23/00. Натяжний пристрій стрічкового конвеєра / Павленко Володимир Сергійович; заявник і власник: Павленко Володимир Сергійович. – № u201413928; заявл. 25.12.2014; опубл. 10.04.2015, бюл. № 7/2015.

11. Електродвигун АИР90L6 1,5 кВт, 1000 об/хв. URL: https://xn--80aqy.com.ua/katalog_elektrovdigatelei_air/air-90l6-1-5-kvt-1000-ob-min/

12. Даниленко О.В. Навчальний посібник Деталі машин, Використання сучасних CAD/CAE систем у розрахунках деталей машин

13. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-ХІІ.

14. ДСТУ EN ISO 12100:2016. Безпечність машин. Загальні принципи проектування. Оцінювання та зменшення ризиків.

15. ДСТУ EN 60204-1:2015. Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги.

16. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення.

17. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

18. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

19. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва.

20. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні.

21. НПАОП 0.00-1.75-15. Правила охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

ТАБЛИЦЯ РОЗГЛЯНУТИХ ПАТЕНТІВ

№ п/п	Предмет пошуку	Країна видачі, вид і номер документа	Суть заявленого технологічного рішення
1	Натяжний пристрій стрічки конвеєра	Україна, UA 17670 U	Розглядається натяжний пристрій стрічки конвеєра, у якому вісь барабана переміщується в напрямних пазах повзуна за допомогою натяжного гвинта. Додаткове встановлення силових циліндрів полегшує переміщення важконавантаженого барабана та зменшує трудомісткість обслуговування.
2	Натяжний пристрій стрічкового конвеєра	Україна, UA 126276 U	Запропоновано конструкцію з напрямними, повзунами, натяжним гвинтом і дисковою гайкою з кільцевою канавкою. Гнучкий трос із підвісним вантажем забезпечує автоматичне підтягування стрічки у процесі роботи та компенсацію її видовження.
3	Натяжний пристрій стрічкового конвеєра	Україна, UA 153150 U	Розглядається натяжний пристрій із пучковим торсіонним валом, важелями та храповими механізмами. Натяг створюється крутним моментом на торсіонному валу, а фіксація виконується храповим механізмом. Рішення зменшує знос і демпфує динамічні навантаження.
4	Пристрій натяжний	Україна, UA 40540 U	Пристрій призначений для вирівнювання натягу тягового органу в ланцюгових приводах. Конструкція містить гідроциліндри та роликівий механізм, що дає змогу компенсувати коливання натягу під час роботи.
5	Пристрій натяжний	Україна, UA 20772 U	Технічне рішення призначене для автоматичного натягування

			двоступінчастої ремінної передачі. Застосування рухомих напрямних, повзунів, опор, гвинта та пружини дає змогу вирівнювати зусилля натягу в обох ступенях передачі.
6	Пристрій натяжний	Україна, UA 18413 U	Запропоновано важільно-пружинну систему з еліптичним роликом для компенсації коливань геометричної довжини ланцюга. Пристрій стабілізує натяг тягового органу безпосередньо під час експлуатації.
7	Натяжний пристрій стрічкового конвеєра	Україна, UA 98111 U	Натягування стрічки здійснюється завдяки еластичним пустотілим елементам, закріпленим на барабанах і з'єднаним із гідро- або пневмосистемою. Зміна тиску робочого середовища змінює діаметр барабанів і забезпечує регулювання натягу.

ДОДАТОК Б

```
#include <iostream>
#include <cmath>
#include <iomanip>
#include <string>
#include <windows.h>

using namespace std;

double getStandardWidth(double calculated_B) {
return ceil(calculated_B * 10.0) / 10.0;
}

int main() {

SetConsoleCP(65001);
SetConsoleOutputCP(65001);

const double v = 0.1;
const double phi = 0.7;
double Pi_v;

cout << "=== Розрахунок параметрів пластинчастого живильника ===" <<
endl;
cout << "Введіть  $\Pi_v$  (м3/год) або натисніть Enter для значення за
замовчуванням (10): ";

string input;
getline(cin, input);

if (input.empty()) {
```

```

Pi_v = 10.0;
cout << "Використано значення за замовчуванням: 10 м3/год" << endl;
}
else {
try {
Pi_v = stod(input);
}
catch (...) {
cout << "Помилка введення! Встановлено значення 10." << endl;
Pi_v = 10.0;
}
}

double denominator = 270.0 * v * phi;
double B_calculated = sqrt(Pi_v / denominator);

double B_standard = getStandardWidth(B_calculated);
if (B_standard == 0.7) B_standard = 0.8;

double h = 0.75 * B_standard;

cout << fixed << setprecision(3);
cout << "\n--- Результати розрахунків ---" << endl;
cout << "Розрахункова ширина пластини B: " << B_calculated << " м" << endl;
cout << "Прийнята стандартна ширина пластини B: " << B_standard << " м"
<< endl;
cout << "Висота бортів живильника h: " << h << " м" << endl;

return 0;
}

```

ДОДАТОК В

Модернізація натяжного пристрою пластинчастого живильника

Курлович О.А., студ. Швачко Д. Г., доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Запропоновано модернізацію натяжного пристрою пластинчастого живильника на основі конструкції з торсіонним валом, важелями та храповими механізмами. Технічне рішення спрямоване на забезпечення стабільного натягу тягового органу, зменшення впливу пилу та динамічних навантажень, а також підвищення надійності роботи вузла. Проведено параметричні та міцнісні розрахунки живильника, виконано побудову 3D-моделі у SolidWorks і числове моделювання торсіонного вала в ANSYS.

Ключові слова: пластинчастий живильник, натяжний пристрій, торсіонний вал, храповий механізм, SolidWorks, ANSYS.

Вступ. Пластинчасті живильники застосовуються для переміщення сипких, кускових та штучних вантажів у виробничих лініях. Одним із важливих вузлів такого обладнання є натяжний пристрій, який забезпечує необхідний натяг тягового органу та стабільну роботу конвеєра. Недостатній або нерівномірний натяг може призводити до пробуксовування, підвищеного зносу деталей та зниження надійності машини [1,2].

У традиційних конструкціях часто застосовують напрямні, повзуни, натяжні гвинти та різьбові пари. Такі елементи можуть швидко зношуватися під дією пилу, бруду та ударних навантажень. Тому доцільною є модернізація натяжного вузла за рахунок використання торсіонного вала, важелів і храпової фіксації, що дозволяє спростити обслуговування та підвищити ресурс роботи обладнання.

Виклад основного матеріалу. В основу модернізації покладено конструкцію натяжного пристрою, у якій на рамі встановлено обойми з кульковими підшипниками. У них обертається пучковий торсіонний вал, до кінців якого жорстко приєднані важелі та храпові механізми. На протилежних кінцях важелів розміщується вал натяжного барабана або зірочок, що забезпечує створення необхідного натягу тягового органу [1].

Модернізація полягає у заміні складного гвинтового натяжного механізму на вузол з торсіонним валом. Під час роботи до кінців вала прикладається крутний момент, унаслідок чого важелі переміщують натяжний елемент і створюють потрібне зусилля натягу. Після досягнення необхідного положення вал фіксується храповими механізмами. Це дає можливість регулювати натяг без значної кількості різьбових з'єднань і повзунів.

Для обґрунтування параметрів живильника виконано розрахунок за вихідними даними: продуктивність 10 м³/год, довжина живильника 5 м, кут нахилу 12°, об'ємна маса матеріалу 1800 кг/м³, швидкість руху полотна 0,1 м/с. За результатами розрахунку прийнято ширину пластин 0,8 м та визначено основні зусилля в тяговому органі (рис. 1).

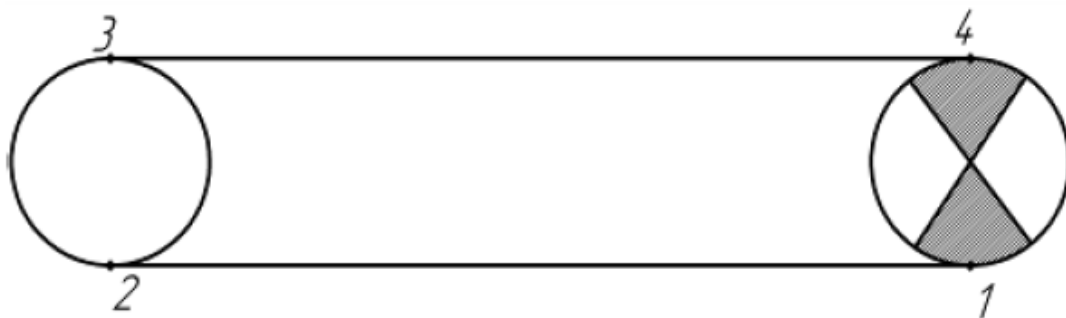


Рисунок 1 – Схема траси пластинчастого живильника з розрахунковими точками

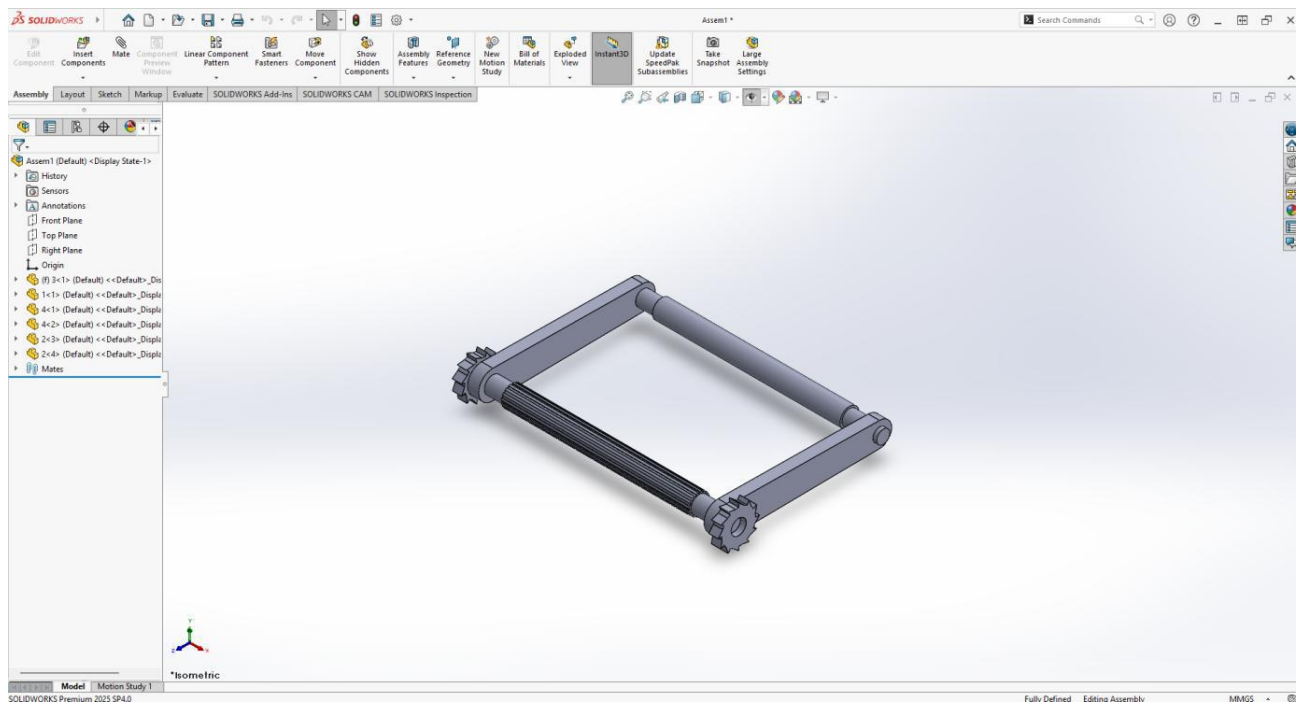


Рисунок 2 – Загальний вигляд збірки модернізованого вузла пластинчастого живильника

Робота модернізованого вузла відбувається наступним чином. У статичному режимі торсіонний вал може перебувати у ненапруженому стані. Під час підготовки до роботи до кінців вала прикладається крутний момент, який через важелі створює натяг тягового органу. Храпові механізми фіксують положення вала та запобігають самовільному послабленню натягу. За потреби натяг можна збільшити або зменшити шляхом зміни прикладеного моменту.

У середовищі SolidWorks було побудовано тривимірні моделі основних деталей: привідного вала, важелів, торсіонного вала, храпових елементів та загальної збірки вузла. Після накладання спряжень виконано перевірку на відсутність взаємних перетинів деталей, що підтверджує коректність побудови моделі та можливість її подальшого використання для інженерного аналізу.

Результати моделювання

Для оцінювання працездатності модернізованого вузла було виконано розрахунки пластинчастого живильника та числове моделювання торсіонного вала. Порівняння і оцінювання проводили за такими показниками: тягове зусилля, потужність привода, значення натягу в характерних точках, максимальна сумарна деформація, еквівалентна пружна деформація та коефіцієнт запасу міцності (табл. 1, рис. 3-8).

Таблиця 1 – Основні результати розрахунку пластинчастого живильника та торсіонного вала

Показник	Позначення	Значення	Одиниця
Продуктивність живильника	P_v	10	$\text{м}^3/\text{год}$
Довжина живильника	L	5	м
Кут нахилу	β	12	град
Ширина пластин	B	0,8	м
Сила тиску на 1 м довжини полотна	q_1	490	Н/м
Тягове зусилля в ланцюзі	W_0	573,1	Н
Зусилля натягу в точці 2	S_2	9968	Н
Зусилля натягу в точці 3	S_3	10965	Н

Зусилля натягу в точці 4	S4	11970	Н
Тягове зусилля на приводних зірочках	P	10193,5	Н
Потужність на вихідному валу	P _{вих}	1,02	кВт
Прийнята потужність електродвигуна	P _{дв}	1,5	кВт
Максимальна сумарна деформація	$\delta_{\max}$	0,252	мм
Максимальна еквівалентна пружна деформація	$\epsilon_{\max}$	0,00057	мм/мм
Мінімальний коефіцієнт запасу міцності	n _{min}	2,19	—

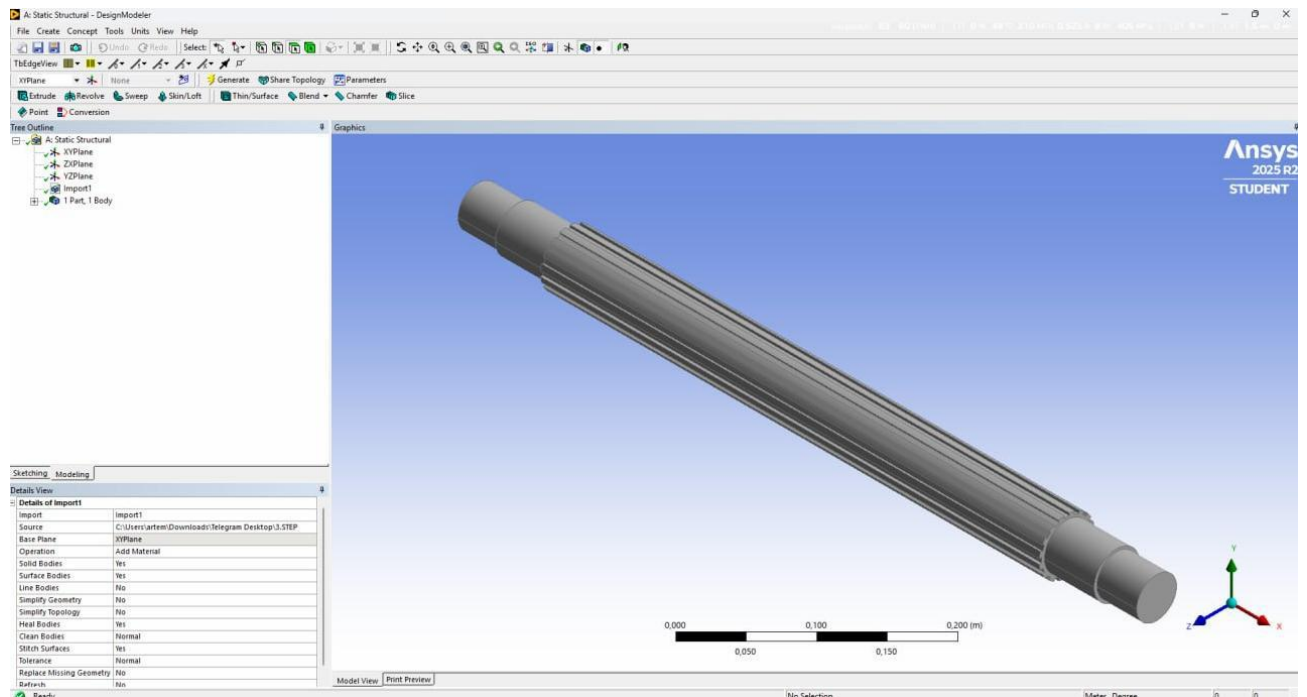


Рисунок 3 – Імпортована геометрія торсійного вала в модулі ANSYS DesignModeler

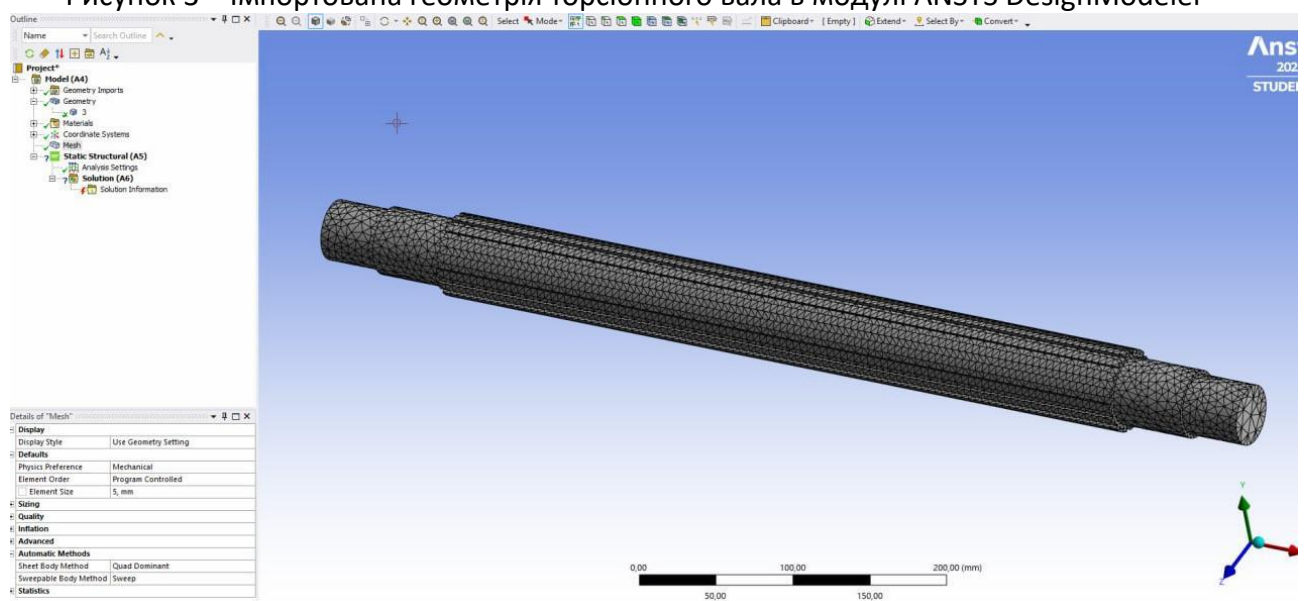


Рисунок 4 – Генерація скінченно-елементної сітки торсійного вала з розміром елемента 5 мм

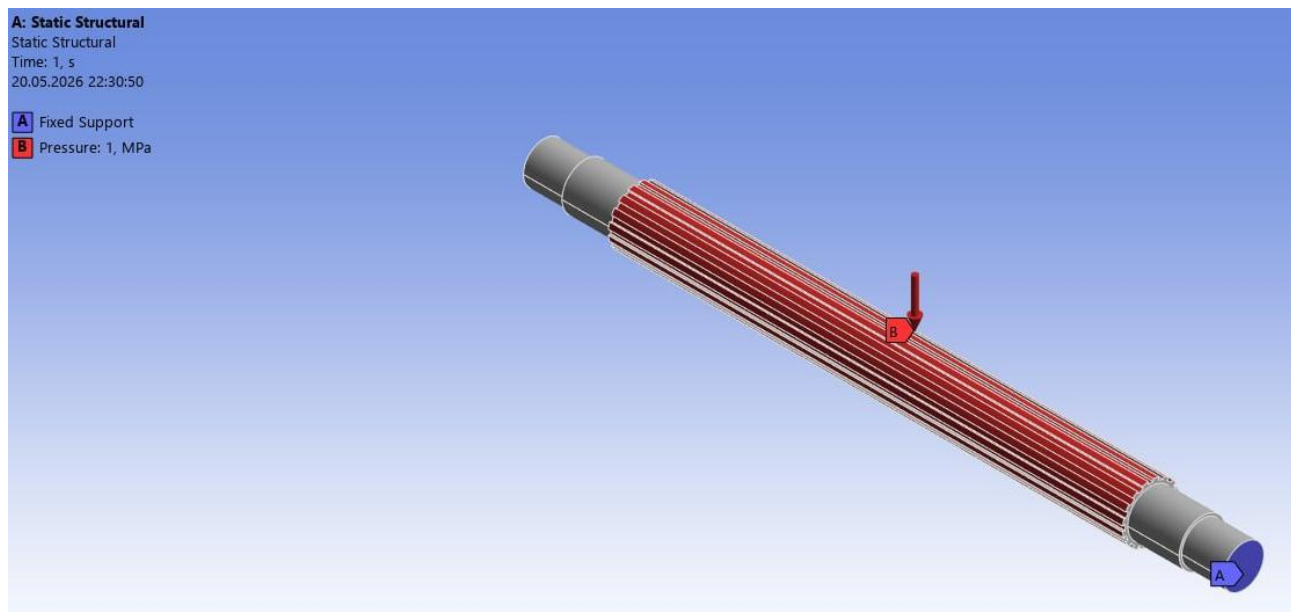


Рисунок 5 – Граничні умови розрахунку: закріплення та прикладене навантаження

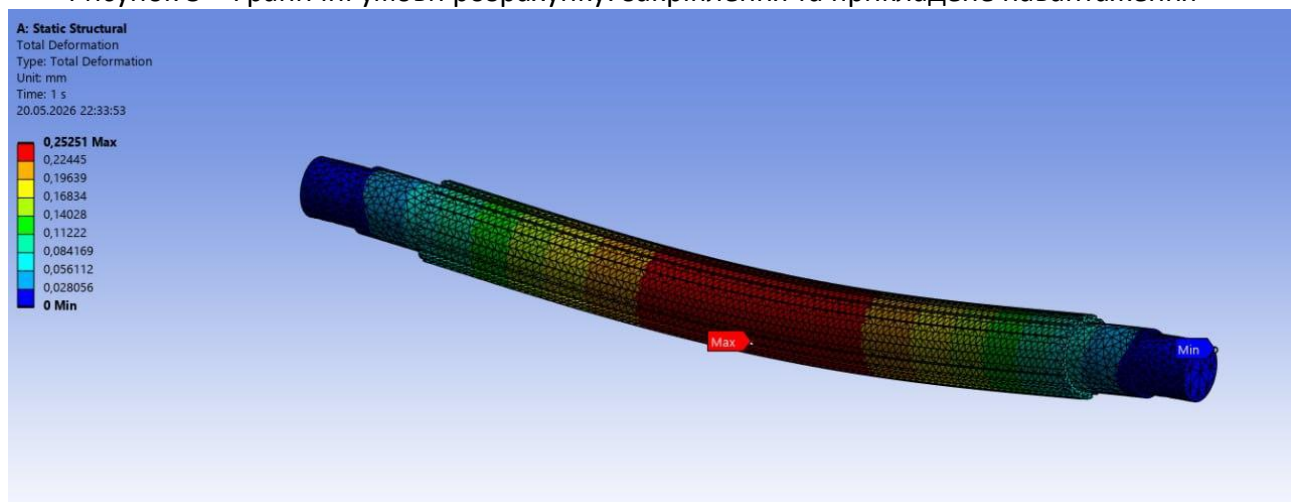


Рисунок 6 – Епюра сумарних деформацій торсіонного вала (Total Deformation)

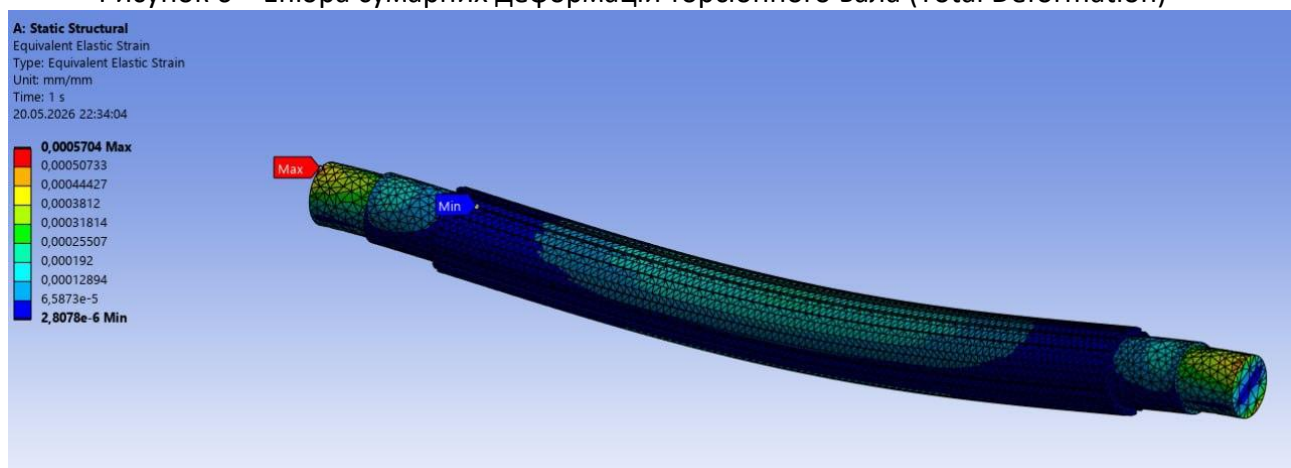


Рисунок 7 – Епюра еквівалентних пружних деформацій торсіонного вала (Equivalent Elastic Strain)

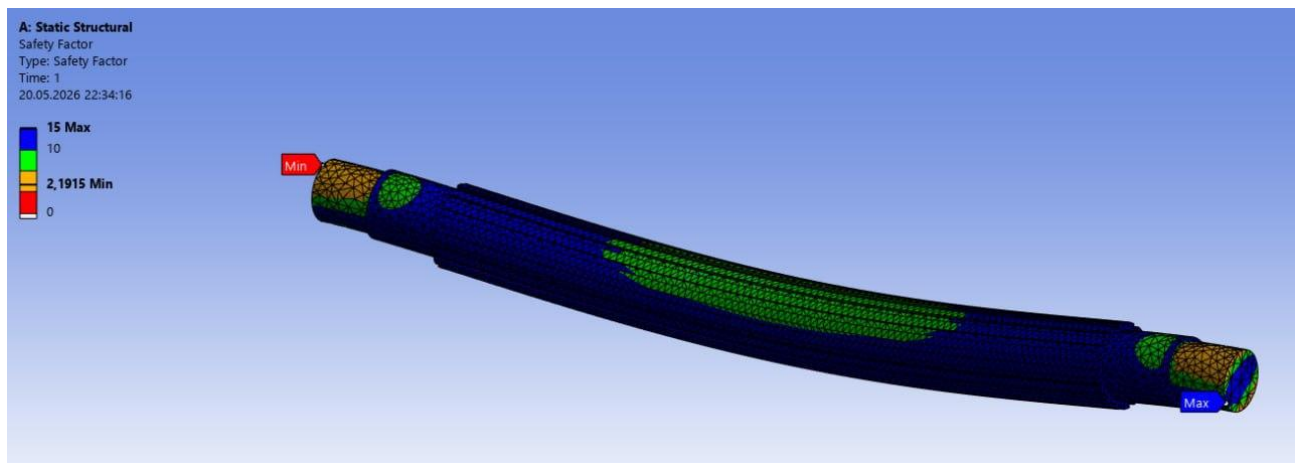


Рисунок 8 – Епюра коефіцієнта запасу міцності торсіонного вала (Safety Factor)

Отримані результати показали, що модернізована конструкція має достатню жорсткість і міцність для роботи під навантаженням. Максимальна сумарна деформація торсіонного вала становить 0,252 мм, що є допустимим для вузла даного типу. Максимальна еквівалентна пружна деформація становить 0,00057 мм/мм, а мінімальний коефіцієнт запасу міцності дорівнює 2,19. Це підтверджує працездатність конструкції та доцільність застосування торсіонного натяжного механізму.

Висновок. Запропонована модернізація натяжного пристрою пластинчастого живильника дозволяє підвищити надійність роботи вузла за рахунок використання торсіонного вала, важелів та храпової фіксації. Таке рішення зменшує кількість різьбових і тертьових з'єднань, спрощує регулювання натягу та знижує ймовірність зношування елементів у запилених умовах експлуатації. Проведені розрахунки і числове моделювання підтверджують достатній запас міцності, працездатність конструкції та можливість її використання у складі пластинчастого живильника.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Патент України UA 153150 U. Натяжний пристрій стрічкового конвеєра / А.К. Сандлер, В.М. Богач; заявл. 12.12.2022; опубл. 24.05.2023, Бюл. № 21.
2. Курлович О.А. Пластинчастий живильник з модернізацією: курсова робота. – Київ, 2026.
3. ANSYS Inc. ANSYS Mechanical APDL Structural Analysis Guide. – Canonsburg : ANSYS Inc., 2024.
4. Dassault Systèmes. SolidWorks 2025 Documentation. – 2025.

ДОДАТОК Г

[illegible]

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Примітка	
				Документація			
A1			ЛУ21.059613.001-90 ВЗ	Складальне креслення			
				Складальні одиниці			
		1		Похила секція	14		
		2		Опора проміжна	12		
		3		Настил	1		
		4		Привідна станція	1		
		5		Натяжна станція	1		
		6		Бункер	1		
				Деталі			
				Кріплення настилу	512		
				Болт фундаментний	90		
				Планка притискна	76		
				Шайба	90		
				Стандартні вироби			
				Болт М12 35 ГОСТ 14 78-75	1024		
				Болт М16 50 ГОСТ 14 78-75	76		
				Гайка М12 ГОСТ 15526-76	2048		
				Гайка М16 ГОСТ 11371-78	76		
				Шайба 12.65Г ГОСТ 11371-78	2048		
				Шайба стопорна 17 ГОСТ 3695-75	76		
				Ланцюг ПВКР ГОСТ 588-81	2		
				ЛУ21.059613.001-90 СП			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Загальний вигляд пластинчастого живильника з модернізованим натяжним пристроєм		
Розробив	Курлович						
Перевірив	Швачко						
Н. контр.							
Затвердив	Сокольський						
					Літ	Аркуш	Аркушів
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ХПСМ Гр. ЛУ-21 Формат А4		

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Примітка
				Документація		
A1			ЛУ21.059613.002-90 СК	Складальне креслення		
				Складальні одиниці		
		1		Рама	1	
				Деталі		
		2		Вал	1	
		3		Гвинт стопорний	2	
		4		Зірочка	2	
		5		Шайба кінцева	2	
		6		Шайба стопорна	2	
				Стандарті вироби		
		7		Болт М25х80 ГОСТ 7788-70	10	
		8		Болт М36х115 ГОСТ 7788-70	4	
		9		Болт М15х62 ГОСТ 7788-70	4	
		10		Гайка М25 ГОСТ 15526-76	24	
		11		Гайка М36 ГОСТ 15526-76	8	
		12		Гайка М15 ГОСТ 15526-76	8	
		13		Підшипник 3000 ГОСТ 5721-85	2	
		14		Шайба 25 ГОСТ 11371-78	24	
		15		Шайба 36Г ГОСТ 11371-78	8	
		16		Шпонка 12х24х120 ГОСТ 7415-75	4	
		17		Шпонка 22х44х210 ГОСТ 7415-75	2	
				Інші вироби		
		18		Електродвигун 5А225М4	1	
		19		Редуктор Ц2-500	1	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
Розробив	Курлович					
Перевірив	Швачко					
Н. контр.						
Затвердив	Сокольський					
					ЛУ21.059613.002-90 СП	
					Привідна станція	
					Літ	Аркуш
					Аркушів	
					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ХПСМ Гр. ЛУ-21	