

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Інститут (факультет) Навчально-науковий Інженерно-технічний
інститут ім.акад. І.С. Гулого**

**Кафедра Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій
проектування**

«До захисту в ЕК»
ктор інституту(декан факультету)
_____ Сергій БЛАЖЕНКО
(іс) (ім'я та прізвище)

» _____ 20__ р.

«До захисту допущено»
дучач кафедри
_____ Микола ЯКИМЧУК
(іс) (ім'я та прізвище)

» _____ 20__ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності _____ 133 «Галузеве машинобудування»
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Модернізується машина для скріплення пакет-
піддонів полімерною плівкою продуктивністю 80 пак./год

Виконав: здобувач IV курсу, групи 2
Туров Кирил Максимович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Якимчук Микола Володимирович _____
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Консультанти _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

_____ (ім'я та прізвище) _____ (підпис)

_____ (ім'я та прізвище) _____ (підпис)

Рецензент _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую
рку університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла)
воленої допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів
: авторів мають посилання на відповідне джерело

увач _____
(підпис)

Київ – 2025 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С.Гулого

Кафедра Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва)

Освітня програма «Інжиніринг харчових та біотехнологічних виробництв

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТОКТП

проф. Микола ЯКИМЧУК

(власне ім'я і ПРІЗВИЩЕ)

«___» _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Туров Кирил Максимович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Обладнання переробних і харчових виробництв на тему Модернізується машина для скріплення пакет-піддонів полімерною плівкою продуктивністю 80 пак./год

керівник роботи Якимчук Микола Володимирович, проф., докт. тех. наук

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «10» квітня 2025 р. № 218-кс

2. Строк подання здобувачем роботи «01» червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи

1. Технічний паспорт обладнання.

2. Альбом галузевого обладнання. 3. Навчальна та спеціальна література

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): анотація, зміст; перелік умовних позначень, термінів; вступ; порівняльний аналіз технічних рішень поставленої задачі; техніко-економічне, соціальне обґрунтування; характеристика вихідної сировини і готового продукту; опис запропонованого технічного рішення, будова та принцип роботи; вибір конструкційних матеріалів; розрахункова частина; технологічний маршрут виготовлення деталі; вимоги щодо монтажу, експлуатації та ремонту; система управління; заходи щодо охорони праці, екології; висновки; список використаних літературних джерел, специфікація.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Загальний вигляд обладнання – 2 аркуші; Складальні одиниці обладнання – 2 аркуші;

Технологія машинобудування – 1 аркуш.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультантів	Підпис, дата	
		вдання видав	Завдання прийняв
ологія нобудування			

7. Дата видачі завдання: «02» жовтня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	виконання етапів	римітка
	<i>ація, зміст; перелік умовних позначень, термінів</i>	3.04.2025р.	
	<i>вняльний аналіз технічних рішень поставленої</i>	3.04.2025р.	
	<i>ко-економічне, соціальне обґрунтування.</i>	5.04.2025р.	
	<i>ктеристика вихідної сировини і готового продукту</i>	7.04.2025р.	
	<i>запропонованого технічного</i>	7.05.2025р.	
	<i>ня. Будова та принцип роботи.</i>		
	<i>о конструкційних матеріалів</i>	9.05.2025р.	
	<i>ахункова частина</i>	3.05.2025р.	
	<i>ологічний маршрут виготовлення деталі</i>	4.05.2025р.	
	<i>ги щодо монтажу, експлуатації та ремонту.</i>	8.05.2025р.	
	<i>системи управління</i>	1.05.2025р.	
	<i>ди щодо охорони праці, екології</i>	3.05.2025р.	
	<i>овки,</i>	7.05.2025р.	
	<i>ічна частина: 5 аркушів формату А3</i>	7.05.2025р.	
	<i>ок використаних літературних джерел</i>	7.05.2025р.	
	<i>ча ДП на кафедрі</i>	9.05.2025р.	

Здобувач

(підпис)

Кирил ТУРОВ

(власне ім'я і ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

Микола ЯКИМЧУК

(підпи

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт присвячено вирішенню актуального завдання галузі пакування — підвищенню ефективності процесу скріплення пакет-піддонів полімерною розтягнутою плівкою за рахунок модернізації пакувального обладнання. Показано, що полімерні розтягнуті плівки залишаються одним із найефективніших пакувальних матеріалів для забезпечення стійкості вантажу, захисту від впливу навколишнього середовища, збереження форми й логістичної зручності. Основним напрямом модернізації є впровадження конструкції з нерухомим положенням пакету, при якій обмотка виконується шляхом обертання каретки з полімерною плівкою навколо статичного вантажу. Вдосконалена конструкція каретки передбачає застосування електроприводу з частотним перетворювачем, що забезпечує плавне регулювання швидкості її руху залежно від висоти пакета, типу плівки та необхідного ступеня натягу. Завдяки використанню частотного регулювання вдалося досягти більшої точності позиціонування, зменшити динамічні навантаження на вузли машини, а також підвищити загальну енергоефективність та довговічність роботи обладнання. Така каретка дозволяє автоматично адаптувати режими обмотування до параметрів конкретного вантажу, що суттєво покращує якість пакування й знижує

Результатом розробки є покращення технологічної ефективності пакування, підвищення стабільності обмотування й зменшення енерговитрат.

Дипломний проєкт складається з пояснювальної записки, що містить розрахункову, конструкторську, технологічну частини, а також розділ з охорони праці. Графічна частина представлена на 5 аркушах формату А1.

Ключові слова: модернізація, машина для обмотування плівкою, скріплення пакетів, полімерна розтягнута плівка, каретка, продуктивність.

SUMMARY

The diploma project is devoted to solving the current task of the packaging-to increase the efficiency of the process of fastening the package-pallets with a polymer stretched film by modernizing the packaging equipment. It is shown that polymer stretched films remain one of the most effective packaging materials to ensure the stability of cargo, protection against environmental impact, preservation of shape and logistic convenience.

The main direction of modernization is the introduction of a structure with a fixed position of the package, in which the winding is performed by rotating the carriage with a polymer film around the static cargo. The improved design of the carriage involves the use of an electric drive with a frequency converter, which provides smooth adjustment of the speed of its movement depending on the height of the package, type of film and the required degree of tension. The use of frequency regulation has managed to achieve greater accuracy of positioning, reduce dynamic loads on the nodes of the machine, as well as increase the overall energy efficiency and durability of the equipment. Such a carriage allows you to automatically adapt the winding modes to the parameters of a particular cargo, which significantly improves the quality of packaging and reduces

The result of development is an improvement in the technological efficiency of packaging, increasing the stability of winding and reducing energy consumption.

The diploma project consists of an explanatory note containing the calculation, design, technological parts, as well as the section on labor protection. The graphic part is presented on 5 sheets of A1 format.

Keywords: modernization, film winding machine, packet fastening, polymer stretched film, carriage, performance.

ЗМІСТ

стор.

ВСТУП

1. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ
ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧІ

2. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ, СОЦІАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

3. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНОЇ СИРОВИНИ І ГОТОВОГО
ПРОДУКУ

4. ОПИС ЗАПРОПОНОВАНОГО ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ.
БУДОВА ТА ПРИНЦИП РОБОТИ

5. ВИБІР КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

6. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

7. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ МАРШРУТ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

8. ВИМОГИ ЩОДО МОНТАЖУ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕМОНТУ.

9. СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ

10. ЗАХОДИ ЩОДО ОХОРОНИ ПРАЦІ, ЕКОЛОГІЇ

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

СПЕЦИФІКАЦІЯ

ВСТУП

Харчова промисловість є однією з провідних галузей економіки України, забезпечуючи населення широким спектром харчових продуктів першої необхідності. Одним із важливих аспектів у ланцюгу постачання харчових продуктів є забезпечення надійного пакування і транспортування продукції. Особливого значення в цьому контексті набувають машини для скріплення транспортних пакетів полімерними плівками, які широко застосовуються на підприємствах з виробництва напоїв, сипких харчових продуктів.

В сучасних умовах пакувальне обладнання демонструє високий рівень технічного розвитку та адаптивності, а полімерні плівки займають провідне місце серед пакувальних матеріалів. Серед них особливо вирізняються розтягвані плівки, що забезпечують пружне обгортання пакету без потреби в термічній дії.

Машини для скріплення полімерною плівкою класифікуються за типом плівки (розтягвана, термоусадкова), способом фіксації пакету (з обертанням пакету або з обертанням рами), режимом роботи (напівавтоматичні, автоматичні), орієнтацією обмотки (горизонтальна, вертикальна) та ступенем автоматизації процесу. У межах цього проекту розглядається модернізація машини автоматичного типу з вертикальною орієнтацією обмотки та обертанням рами навколо нерухомого пакета.

Каретки, що забезпечують подачу плівки, відіграють ключову роль у стабільності процесу пакування. У даній модернізованій конструкції застосовано каретку з електроприводом та частотним керуванням, системою стабілізації натягу плівки, що забезпечує надійність і рівномірність обмотки.

Суть технології обмотки транспортного пакету полягає в натягу плівки на 10–20 % від її початкової довжини, після чого внутрішні сили пружності забезпечує обтиснення пакету. Така технологія дозволяє уникнути

використання термозбіжного обладнання, що знижує енергоспоживання та підвищує безпеку процесу. Крім того, пакети, скріплені розтягнутою плівкою, вирізняються стійкістю до вібрацій, поштовхів і хімічного впливу, а також легкістю очищення та високою ударною в'язкістю.

Машини подібного типу мають широкі перспективи застосування на харчових підприємствах: у пивобезалкогольній галузі, на молокозаводах, хлібопекарських комбінатах, м'ясокомбінатах, заморожувальних цехах. У всіх цих випадках ефективне пакування забезпечує збереження продукції та оптимізує процеси логістики.

У межах цієї кваліфікаційної роботи здійснюється модернізація машини для скріплення пакет-піддонів полімерною розтягнутою плівкою з продуктивністю 80 пак./год. Основні технічні характеристики: частота обертання рами — 28 об./хв, швидкість конвеєра — 0,15 м/с, швидкість каретки — 0,34 м/с, висота бобіни з плівкою — 500 мм.

Практичними результатами кваліфікаційної роботи є: удосконалення механізму переміщення каретуи, механізму розмотування плівки та відповідного роликового конвеєру. Усі технічні рішення виконувалися з урахуванням сучасних вимог до енергоефективності, надійності, безпечності та уніфікації машин для скріплення транспортних пакетів полімерними плівками.

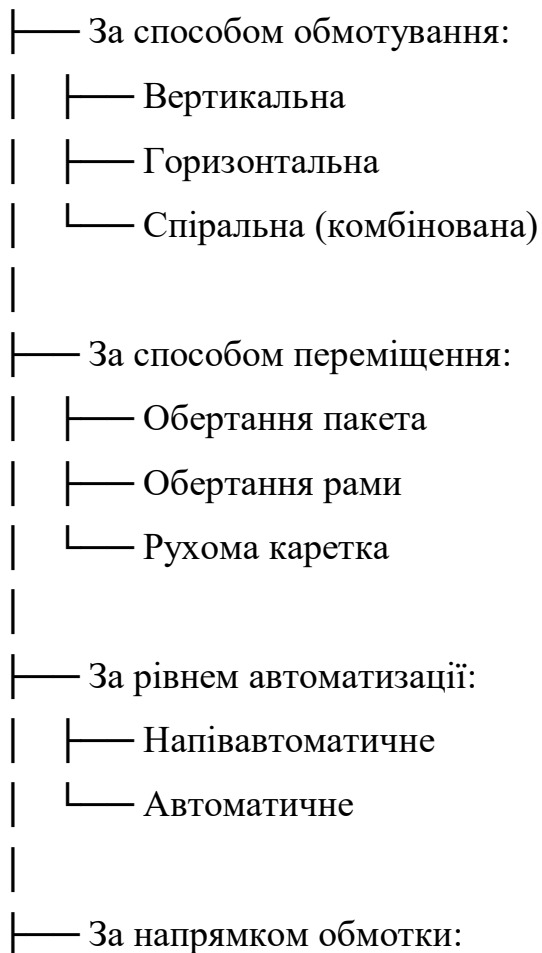
Таким чином, модернізація машини для скріплення транспортних пакетів полімерними плівками є технічно доцільною, економічно обґрунтованою та практично значущою для підприємств харчової галузі.

1. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧ

2.1. Аналіз можливих процесів скріплення пакет-піддонів полімерною розтягнутою плівкою

Сучасні технології скріплення пакет-піддонів полімерною розтягнутою плівкою включають декілька ефективних варіантів організації процесу. Вони розрізняються за механізмом дії, напрямком обмотки, кількістю витків, рівнем автоматизації тощо. Правильний вибір методу скріплення дозволяє забезпечити стабільність вантажу, зменшити витрати на пакування, підвищити ефективність логістики.

Класифікація процесів скріплення пакет-піддонів розтягнутою плівкою показано на рис. 2.1.



- | | — Знизу вгору
- | | — Зверху вниз
- | | — Змінний (реверсивний)
- |
- | — За кількістю шарів:
 - | — Одношарова
 - | — Багатошарова (посилені ділянки)

Рис. 2.1 Класифікація процесів скріплення пакет-піддонів розтягувальною плівкою

Типові конструкції машини. Які використовуються для скріплення пакет-піддонів розтягувальною плівкою наведені а рис. 2.2 та 2.3.

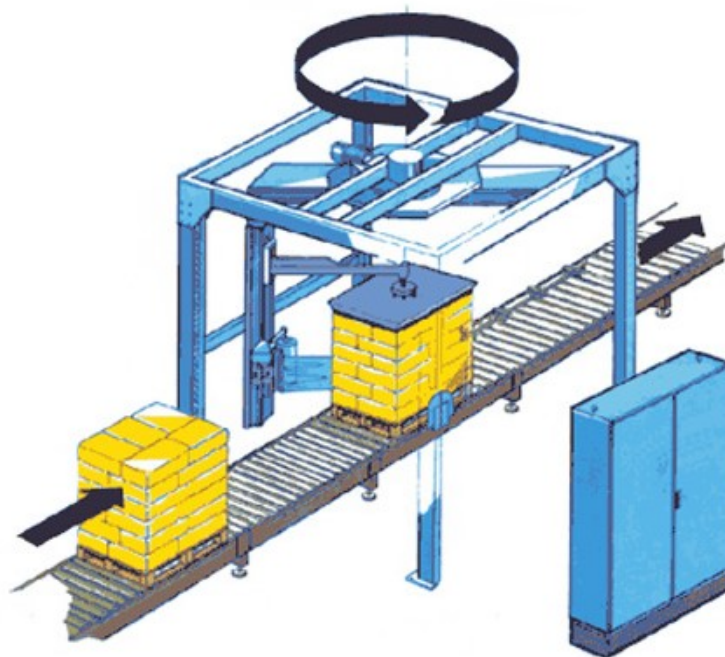


Рис. 2.2 Машина для скріплення пакет-піддонів розтягувальною плівкою по схемі з нерухомим пакет-піддоном та кареткою, яка обертається

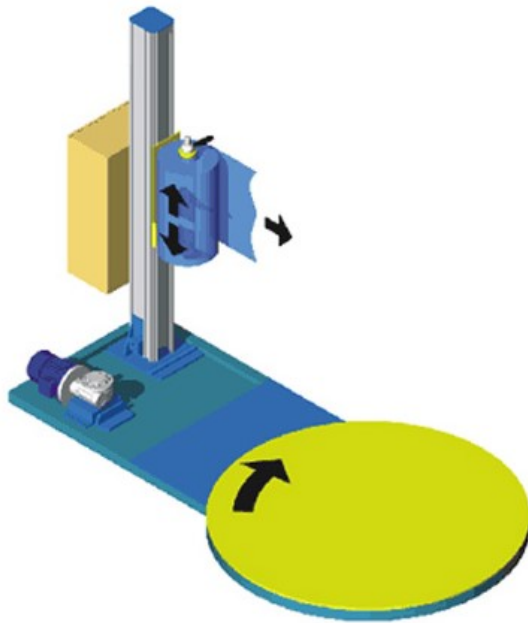


Рис. 2.3 Машина для скріплення пакет-піддонів розтягувальною плівкою по схемі з пакет-піддоном, який обертається.

2.2. Аналіз конструкцій машин для скріплення пакет-піддонів полімерною розтягнутою плівкою

Українські та закордонні виробники пропонують численні варіанти конструкцій машин для обмотування розтягнутою плівкою. Класифікація конструктивних рішень таких машин відрізняються принципом дії, компонованням, типами приводів і механізмів. (рис.2.2).

└— За типом механізму:

- | └— Платформні (обертається пакет)
- | └— Щоглові (рухома рама або каретка)
- | └— Роботизовані (рука-маніпулятор)

|

└— За типом подачі плівки:

- | └— Вертикальна каретка
- | └— Горизонтальна каретка
- | └— Комбінована система

|

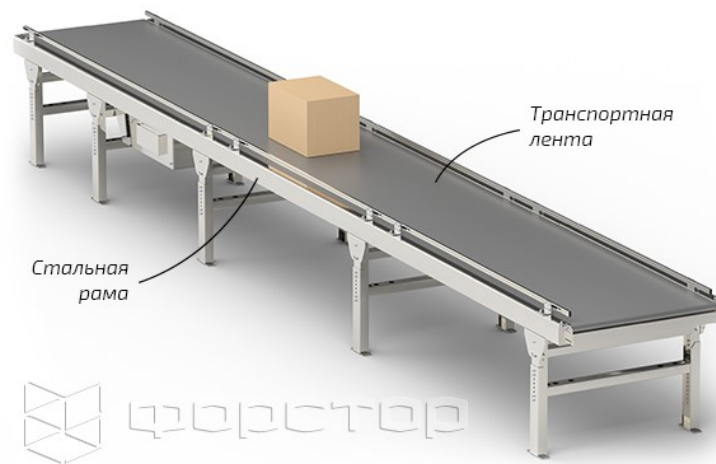
- |— За системою натягу:
 - | |— Механічна
 - | |— Електромагнітна
 - | |— Pre-stretch
 - | |— Комбінована
- |
- |— За способом подачі піддонів:
 - | |— Ручне завантаження
 - | |— Конвеєрна подача
 - | |— Автоматична система

Рис.2.4 Класифікація конструктивних рішень машин для обмотування розтягнутою плівкою

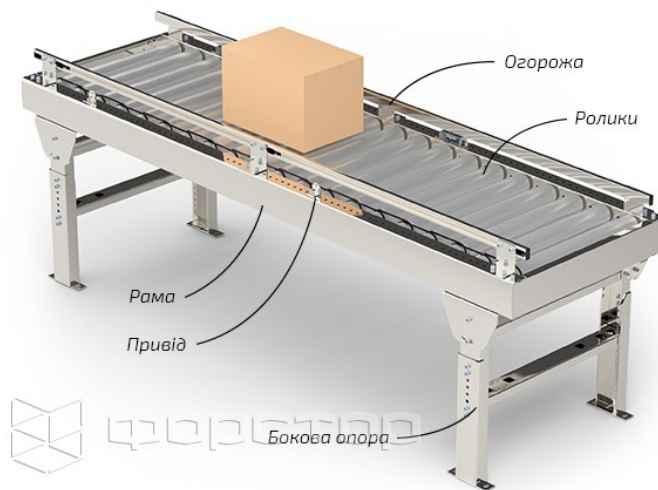
2.3. Конструкції кареток і конвеєрів

Каретка є функціональним елементом машини, який відповідає за подачу та натяг плівки, її рівномірне обгортання навколо транспортного пакета. Конвеєр, у свою чергу, забезпечує подачу піддонів до зони обмотування. Вдало обрані конструкції каретки та конвеєра є запорукою ефективної та безперебійної роботи всього обладнання (рис. 2.3).

- |— За напрямком руху:
 - | |— Вертикальні
 - | |— Горизонтальні
 - | |— Комбіновані
- |
- |— За типом приводу:
 - | |— Механічні
 - | |— Електричні
 - | |— Пневматичні



2.6. Стационарный стрічковий конвеєр



2.7. Стационарный роликовий конвеєр

2.4. Висновок щодо перспектив використання обладнання для скріплення пакетів полімерною розтягнутою плівкою

Машина для скріплення пакетів полімерною розтягнутою плівкою має значні перспективи застосування, особливо у галузях з високими вимогами до логістики, збереження продукції та пакувальної ефективності. Це стосується підприємств харчової промисловості, пивобезалкогольної галузі, заморожувальних цехів, логістичних центрів, фармацевтики та побутової хімії.

Переваги такого обладнання очевидні: зменшення ручної праці, висока швидкість пакування, універсальність, економія плівки та електроенергії,

інтеграція в автоматизовані лінії. Конструктивні рішення з попереднім натягом плівки та точним контролем натягу дозволяють покращити якість обгортання, уникнути пошкоджень пакету та знизити ризики механічних деформацій.

Подальший розвиток напрямку включає удосконалення приводів, впровадження систем штучного інтелекту для адаптації режимів обмотки до типу вантажу, а також створення енергоощадних приводів і кареток.

Загалом, модернізація машин такого типу відповідає вимогам часу та відкриває широкі можливості для підвищення ефективності пакувальних процесів на вітчизняних і закордонних підприємствах.

2. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ, СОЦІАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Під час виконання кваліфікаційної роботи було здійснено техніко-економічний аналіз конструкцій обладнання для скріплення транспортних пакетів полімерними плівками. Особливу увагу приділено вивченню сучасних рішень машин для обмотування пакет-піддонів, які застосовуються на підприємствах харчової промисловості, у логістиці та складському господарстві.

В результаті аналізу встановлено, що найбільш поширеними є машини з обертанням платформи або пакета. Такі рішення характеризуються високими енерговитратами та створюють надмірні механічні навантаження на вантаж і саму конструкцію піддону. Також виявлено недоліки, пов'язані зі складністю синхронізації руху каретки, нерівномірним натягом плівки та низькою ефективністю автоматизації.

На основі цього сформовано технічне завдання, яке передбачає модернізацію машини шляхом переходу до конструкції з обертанням каретки навколо нерухомого пакета. Це дозволяє суттєво знизити масу рухомих елементів, зменшити навантаження на продукцію, скоротити споживання електроенергії та підвищити стабільність обмотки.

У межах проєкту каретку оснащено електроприводом з частотним перетворювачем. Такий вузол дає можливість точно регулювати швидкість руху, адаптуючи процес обмотки до розмірів і форми пакета. Частотне регулювання зменшує пускові навантаження, забезпечує енергозбереження та плавність ходу. Окрім того, покращено конструкцію вузлів подачі й натягу плівки, що забезпечує рівномірність обгортання без ризику обривів або провисання.

Для автоматизації подачі й відведення піддонів у машину вбудовано роликівий конвеєр з електроприводом. Завдяки цьому підвищено продуктивність до 80 пак./год, знижено втрати плівки до 10 %, а енергоспоживання скорочено на 15–20 %. Зменшення кількості ручних

операцій дозволяє знизити витрати на оплату праці, підвищити безпеку обслуговування та загальну ефективність виробництва.

Економічна доцільність модернізації полягає у комплексному зниженні виробничих витрат і підвищенні ефективності пакувального процесу. Насамперед, завдяки впровадженню конструкції з кареткою, оснащеною електроприводом із частотним перетворювачем, досягається оптимізація витрат полімерної плівки. Стабільний натяг плівки та можливість точного дозування кількості витків обмотки навколо пакета дозволяють уникнути надлишкових витрат матеріалу. Рівномірне обгортання з мінімально необхідною кількістю витків забезпечує економію плівки в межах 10–15 % у порівнянні з традиційними системами без адаптивного регулювання.

Крім того, модернізоване обладнання забезпечує високу якість формування транспортного пакета. Щільне, симетричне обгортання з попереднім натягом плівки сприяє кращій стійкості вантажу на піддоні, що мінімізує ризики пошкодження під час транспортування та зменшує потребу у використанні додаткових фіксувальних матеріалів (стрейч-стрічок, кутників тощо). Таким чином, знижується не лише собівартість пакування, а й загальні витрати на логістику, зокрема, за рахунок зменшення втрат товару, пошкоджень тари та рекламцій з боку торговельних мереж.

У довгостроковій перспективі реалізовані технічні рішення забезпечують зниження загальної собівартості пакування, підвищення рентабельності виробництва та швидке повернення інвестицій у модернізоване обладнання завдяки ефекту від скорочення витрат на матеріали, енергію, обслуговування й персонал.

Соціальне обґрунтування модернізації пов'язане з покращенням умов праці персоналу, зменшенням ризиків травматизму та підвищенням ергономічності процесу. Працівники менше піддаються фізичному навантаженню, що сприяє збереженню здоров'я, зниженню плинності кадрів і підвищенню загальної задоволеності умовами праці.

Упакована в розтягвану плівку харчова продукція виглядає охайно та зручно для транспортування. Такий тип пакування сприяє позитивному іміджу підприємства, підвищує конкурентоспроможність продукції, сприяє кращому захисту товарів від вологи, пилу та механічних пошкоджень.

3. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНОЇ СИРОВИНИ І ГОТОВОГО ПРОДУКТУ

3.1. Характеристика вихідної сировини

У межах даного дипломного проєкту об'єктом пакування виступають транспортні пакети з продукцією харчової промисловості, зокрема упаковки в ПЕТ-пляшках (напої, мінеральна вода, соки), пакети з борошном, цукром, крупами або інші споживчі одиниці, укладені на піддони. Основною сировиною, що забезпечує скріплення пакетів у єдиний вантажний блок, є полімерна розтягувана плівка (стрейч-плівка).

Полімерна розтягувана плівка — це спеціальний матеріал, виготовлений на основі поліетилену лінійної низької щільності (LLDPE). Вона характеризується високою еластичністю, пружністю, здатністю до багаторазового розтягування без розривів. Основні властивості плівки:

- товщина: 17–23 мкм;
- ступінь розтягування: 150–300 %;
- міцність на розрив: не менше 25 МПа;
- висока прозорість;
- стійкість до вологи та пилу;
- термостійкість: від -40 до $+60$ °С;
- безпечність у контакті з харчовими продуктами (за умови первинної плівки).

Плівка подається у рулонах, які встановлюються на каретку машини. Завдяки використанню функції попереднього натягу (pre-stretch), забезпечується економне витрачання матеріалу та щільне охоплення вантажу. Залежно від типу продукції, геометрії пакета й умов транспортування, підбирається плівка відповідної товщини й розтягуваності.

3.2. Характеристика готового продукту

Готовим продуктом пакувального процесу є транспортний пакет, сформований із декількох споживчих одиниць, укладених на стандартний дерев'яний або пластиковий піддон (європіддон 1200×800 мм або інші варіанти). Кожен такий пакет фіксується шляхом щільного обмотування полімерною плівкою. Якість та конфігурація пакета визначаються технологічною схемою його формування.

Типові схеми формування транспортного пакету:

1. Шахове розташування (цеглинка) — найпоширеніше при упаковці коробок і пакетів;
2. Пряме укладання рядами — використовується для пляшок і каністр;
3. Комбіноване укладання з чергуванням напрямку — забезпечує підвищену стійкість;
4. Укладання з використанням прокладок між рядами (картон, фанера) — для покращення стабільності при високих навантаженнях;
5. Блочне укладання із попередньою фіксацією кожного рівня — застосовується при формуванні високих палет.

Усі ці схеми враховуються при налаштуванні параметрів обмотки, зокрема: кількості витків по висоті, посиленого обгортання нижньої та верхньої зон пакета, використання режиму армування кутів (додаткові витки на кутах).

Основні характеристики сформованого пакета:

- **форма:** прямокутний паралелепіпед;
- **стійкість:** забезпечується силою натягу плівки та правильним укладанням;
- **розміри пакета:** змінні, залежно від висоти вантажу (від 800 до 1800 мм);
- **маса пакета:** 300–800 кг;

- **стійкість до зсуву:** висока при багатошаровій обмотці з перекриттям шарів;

- **вологозахист:** середній або повний залежно від способу обгортання;

- готовність до механізованого штабелювання та навантаження.

Ключовими параметрами, що визначають якість пакета, є:

- рівномірність натягу плівки;

- симетричність формування;

- герметичність нижньої та верхньої частин пакета;

- відсутність провисань, перекосів, деформацій;

- збереження цілісності пакета під час транспортування.

Це підвищує загальну надійність логістичних операцій і рівень задоволеності споживачів.

4. ОПИС ЗАПРОПОНОВАНОГО ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ. БУДОВА ТА ПРИНЦИП РОБОТИ

У пакетоскріплюючих машинах фіксація транспортних пакетів здійснюється за допомогою термоусадкової плівки, розтягнутої полімерної плівки або стрічкових матеріалів одноразового використання, залежно від типу продукції, умов експлуатації та логістичних вимог. Найбільш універсальними та економічно вигідними вважаються технології з використанням розтягнутої плівки, що поєднують високу міцність обгортання, енергоефективність та простоту обслуговування.

4.1. Опис пропозиції. Конструкція і принцип роботи

В даному дипломному проекті розробляється машина для скріплення ротаційним способом нерухомого транспортного пакету розтягнутою полімерною плівкою (рис. 4.1).

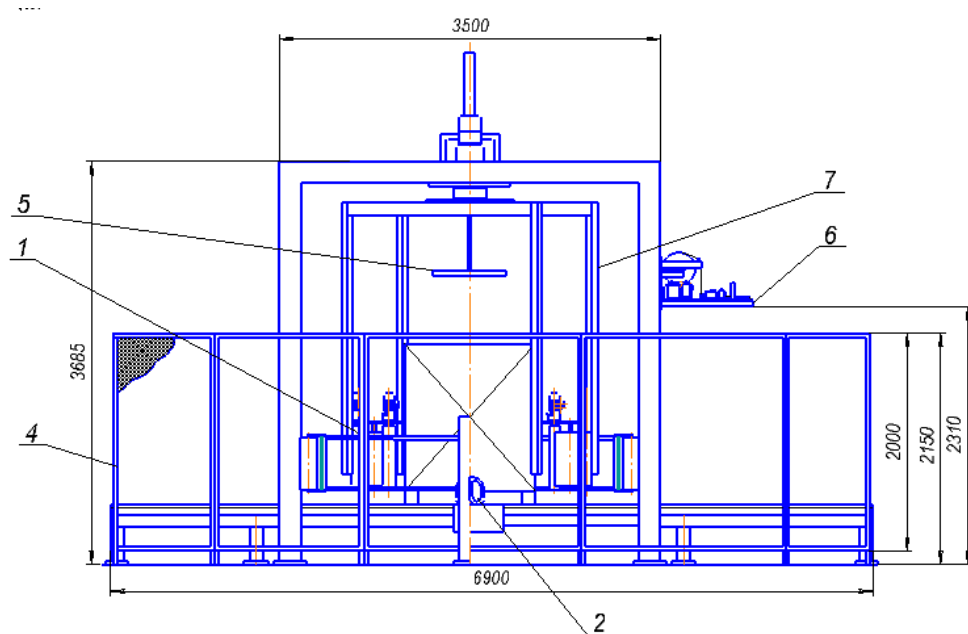


Рис.4.1 Машина для скріплення ротаційним способом нерухомого транспортного пакету

Основні вузли та механізми:

- механізм обертання П-подібної рами;
- механізм переміщення каретки;
- механізм розмотування ПЕТ плівки в каретці;

- механізм захоплення та утримання ПЕТ плівки;
- механізм розгладжування, відрізання та зварювання плівки;
- механізм фіксування пакету;
- механізм притискання пакету;
- роликівий привідний конвеєр (подавальний, проміжний, вивідний).

Механізм обертання рами складається з вала, який прикріплений до рами і другим кінцем розміщений в стакані з підшипниками, за рахунок чого вал може обертатися. Також на вал насаджено перше колесо, яке прикріплено до рами. Друге колесо зубчастої передачі закріплено на валу, що виходить з мотор редуктора, який і забезпечує обертання.

Механізм переміщення каретки (рис.4.2) являє собою дві колони, в середині яких розташовані ланцюгові передачі.

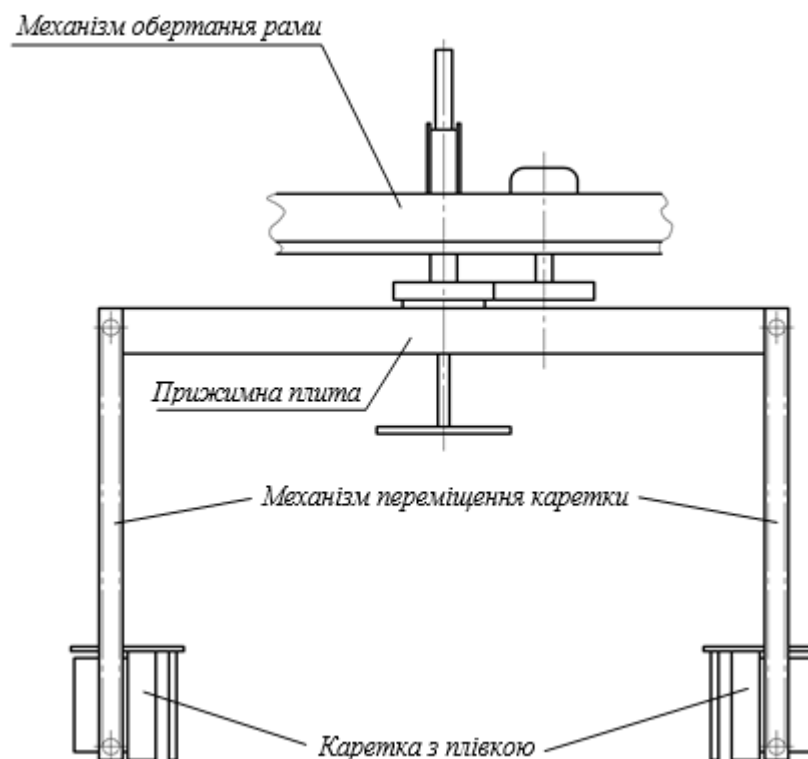


Рис.4.2 Механізм переміщення каретки

Каретки машини приводяться в рух за допомогою черв'ячного мотор-редуктора, що забезпечує стабільний і контрольований рух по напрямних. До

ланцюгів приводу жорстко закріплюється каретка, яка виконує функцію несучої платформи для обмотувального обладнання.

Конструктивно каретка складається з металевих зварених пластин, що утворюють жорстку рамну конструкцію. На одну з пластин закріплено механізм розмотування плівки, який включає рулоноутримувач та гальмівні ролики. Така система забезпечує рівномірну подачу плівки з оптимальним натягом, необхідним для формування щільного обгортання вантажу.

Механізм захоплення та утримання плівки (рис. 4.3) складається з двох незалежних затискачів, які забезпечують фіксацію вільного кінця плівки перед початком та після завершення обмотування. Затискачі виконують обертальний рух навколо своєї осі завдяки приводу, з'єднаному з виконавчим механізмом рами. Після подачі команди на фіксацію плівки привід обертає затискні елементи, які стискають плівку між поверхнями губок. Відпускання плівки відбувається у момент завершення обертального циклу шляхом відкриття затискачів.

Така конструкція забезпечує точне й надійне утримання плівки під час циклу обгортання, запобігає її провисанню або мимовільному вислизанню та дозволяє формувати акуратний початок і кінець обмотки.

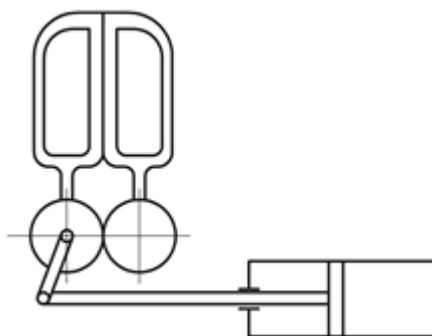


Рис. 4.3. Механізм захоплення та утримання плівки

Затискачі механізму захоплення та утримання плівки прикріплені до коліс зубчастої передачі, що забезпечує їх обертання навколо власної осі. До одного з цих коліс за допомогою важеля приєднано шток пневматичного циліндра. Під дією стисненого повітря пневмоциліндр переміщає шток, який через важільний механізм передає зусилля на

обертання колеса, а отже — й на поворот затискачів. Така конструкція дозволяє точно керувати моментом захоплення й відпускання плівки в автоматичному режимі.

Механізм розгладжування та відрізання плівки (рис. 4.4) є завершальним етапом процесу обмотування. Він складається з циліндричної труби, на якій змонтовано кілька функціональних елементів: розгладжувальний тампон, ніж для механічного відрізання плівки, а також, за потреби, електрозварювальні пластини для термічного скріплення кінця плівки до пакета.

Розгладжувальний тампон вирівнює плівку, усуваючи можливі зморшки або нерівності у зоні завершення обмотки. Ніж виконує точне відсічення плівки після завершення обертання рами. Електрозварювальні пластини (у разі їх використання) забезпечують герметичне закріплення вільного краю плівки до нижнього шару, що підвищує надійність і цілісність сформованого транспортного пакета.

Злагоджена робота цього механізму є важливою умовою формування охайної, надійної та готової до транспортування упаковки.

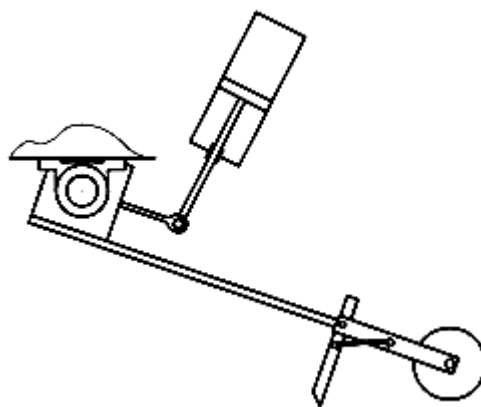


Рис. 4.4. Механізм розгладжування, відрізання плівки

Другий кінець труби, на якій змонтовано механізм розгладжування та відрізання плівки, жорстко з'єднано з вертикальним валом. Цей вал здатен обертатися на заданий кут, що забезпечує необхідне позиціонування розгладжувального елемента й ножа відносно пакета. Обертання вала здійснюється за допомогою пневматичного циліндра, шток якого з'єднаний з важільним механізмом приводу. Завдяки цьому забезпечується швидке та точне приведення ріжучого вузла у робоче положення та його відведення після завершення операції.

Механізм фіксування піддон- пакета (рис. 4.5) слугує для зупинки та стабілізації транспортного вантажу у зоні обмотування. Він являє собою підйомну планку або ролик, встановлений у базовій частині машини. Планка піднімається за допомогою пневмоциліндра, до штока якого вона жорстко прикріплена. У піднятому положенні планка виступає як упор, який запобігає зсуву пакета під час обертання рами або кареток.

Фіксування вантажу у визначеній позиції є критично важливим для забезпечення точності формування обмотки, симетричності розподілу плівки, а також запобігання деформації або перекиданню пакета в процесі пакування. Робота механізму синхронізується з рухом транспортного конвеєра та системою притискної плити, що гарантує стабільність усієї конструкції під час обгортання.

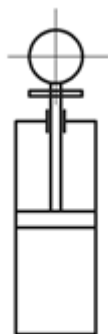


Рис. 4.5. Механізм фіксування пакету

Механізм притискання пакета (рис. 4.6) призначений для фіксації вантажу зверху з метою забезпечення його стійкості під час обмотування плівкою. Конструктивно він складається з притискної плити, яка жорстко закріплена до кінця штока пневматичного циліндра. Пневмоциліндр забезпечує вертикальний рух плити — її опускання у робоче положення перед початком обмотування та піднімання після завершення пакувального циклу.

Притискна плита має достатню площу та вагу, щоб забезпечити надійний притиск пакета до платформи або конвеєра, не допускаючи його хитання, зсуву чи обертання. Це особливо важливо при обмотуванні високих

або нестійких вантажів, а також при роботі на підвищених швидкостях. Поверхня плити може мати амортизуючі накладки або гумові елементи, що запобігають пошкодженню верхньої частини пакованої продукції.

Робота механізму синхронізується з фазами транспортування та обмотки, що дозволяє забезпечити безперервність та автоматичність усього пакувального процесу.

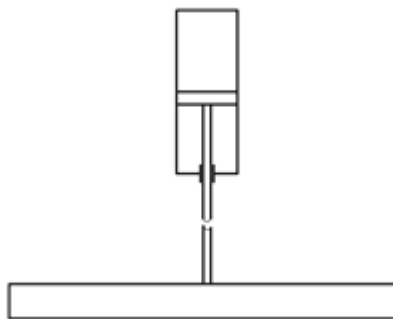


Рис. 4.6. Механізм притискання пакету

Роликові конвеєри (рис. 4.7) призначені для автоматизованої подачі та відведення транспортних пакетів у зону кріплення плівкою. Вони є важливими елементами загальної системи переміщення вантажу та забезпечують безперервність пакувального процесу.

Конвеєри складаються з рами, на якій розташовано ряд паралельно встановлених обертових роликів. Пакети переміщуються по роликах за рахунок сили тертя або приводу (у випадку приводного конвеєра). На вхідному конвеєрі вантаж подається до зони пакування, де відбувається його фіксація, обмотування та відрізання плівки. Після завершення процесу, за допомогою вихідного роликового конвеєра, упакований пакет транспортується до зони складування або подальшого укладання.

Конвеєри можуть бути:\n

- **вільнообертovими** (для переміщення під дією зовнішньої сили або нахилу);\n
- **приводними** (оснащеними електродвигунами для контролюваної швидкості подачі);\n

- **комбінованими**, із синхронізованим керуванням відповідно до сигналів датчиків і логіки роботи всієї машини.

Для надійного позиціонування пакета перед обмотуванням, на роликові конвеєри встановлюються обмежувачі, упори, а також можуть інтегруватися сенсорні елементи для визначення наявності пакета та подачі відповідних команд.

Завдяки простоті конструкції, надійності та здатності до модульного налаштування, роликові конвеєри забезпечують плавний і безпечний рух пакетів без додаткових навантажень на механізми машини, підвищуючи загальну продуктивність і ефективність пакувального процесу.

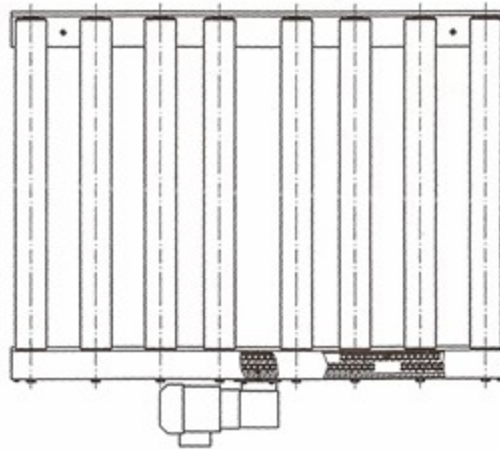


Рис. 4.7. Роликовий конвеєр

Роликові конвеєри приводяться в рух від черв'ячного мотор-редуктора за допомогою ланцюгової передачі та зірочок насаджених на кожний ролик.

Принцип роботи машини: Загальний вигляд машини для скріплення транспортних пакетів ротаційним способом зображено на рис. 4.1. Обладнання призначене для обмотування нерухомого вантажу розтягнутою полімерною плівкою шляхом обертання навколо нього спеціальної П-подібної рами з каретками.

Початковий етап роботи

Після надходження пакета на роликовий конвеєр 1 і спрацювання датчика на вході або за умов активації кнопки «Пуск», вмикається електропривод, що

приводить у рух транспортувальний конвеєр. Швидкість подачі регулюється так, щоб відповідати темпу подачі плівки з рулону.

Фіксація пакета

Коли вантаж досягає зони позиціонування, спрацьовує датчик, який активує піднімання упору 3. Після фіксації пакета в заданому положенні транспортер зупиняється, і зверху опускається притискна плита 4, яка забезпечує стійкість вантажу під час обмотування.

Фаза обмотування

Після стабілізації вантажу активується обертання П-подібної рами 7, на якій розташовані дві незалежні каретки 5 і 6 з рулонами полімерної плівки. Каретки починають рухатися по напрямних — одна відносно одної з певним кроком. В процесі обертання рами спрацьовують механізми захоплення плівки 8 і 9: затискні губки відкриваються, звільняючи плівку для обмотування.

Каретки рухаються по вертикалі. При досягненні верхньої точки одна з кареток здійснює декілька додаткових обертів для посиленого закріплення верхньої частини пакета, після чого починає опускатися. Друга каретка повторює аналогічну послідовність дій. Такий алгоритм забезпечує рівномірне і симетричне обмотування пакета зверху донизу.

Завершення циклу

Після того як обидві каретки досягають нижнього положення, двигуни, що приводять у рух раму та каретки, автоматично вимикаються. У цей момент механізми захоплення та утримання плівки 8 і 9 повторно активуються для фіксації плівки й завершення обмотки.

Далі вмикаються вузли 10 і 11 — пристрої для розгладжування та відрізання плівки. Вони забезпечують охайний вигляд кінцевої ділянки обмотки, запобігають її самовільному розмотуванню та фіксують завершений виток.

Висновок до розділу: Описаний принцип дії машини для скріплення нерухомого транспортного пакета полімерною розтягнутою плівкою ротаційним способом демонструє чітко структурований, автоматизований і ефективно реалізований алгоритм взаємодії всіх ключових функціональних вузлів. Завдяки скоординованій роботі притискного механізму, роликового конвеєра, обертової рами з каретками, механізмів натягу, захоплення та обрізання плівки забезпечується висока якість обмотки, геометрична стабільність пакета та енергоефективність усього циклу пакування.

Конструкція машини дозволяє виконувати автоматичне позиціонування пакета, реалізовувати багат шарову обмотку із підсиленими зонами фіксації та завершувати цикл акуратним відрізанням плівки. Застосування електроприводів з частотним регулюванням забезпечує плавну, стабільну та точну роботу виконавчих механізмів, що зменшує зношування, підвищує точність та збільшує ресурс елементів.

З метою вдосконалення роботи обладнання була реалізована низка технічних рішень, спрямованих на підвищення точності, продуктивності, економічності та гнучкості налаштування. Основні напрями модернізації охоплюють:

1. **Механізм піднімання каретки:** Замість приводу з частотним регулюванням встановлено **серводвигун потужністю 5,5 кВт**, що забезпечує більш точне, адаптивне та динамічне керування рухом у вертикальній площині, особливо в умовах змінної маси пакета.

2. **Механізм розмотування плівки:** Впроваджено **систему контролю натягу плівки** для забезпечення рівномірного натягу під час обмотки, а також **систему візуального контролю положення пакета** (ймовірно, з використанням 3D-візуалізації або лазерного сканування) для точного визначення його габаритів та розташування у просторі. Завдяки цьому система **автоматично розраховує оптимальну кількість**

плівки, необхідну для кожного циклу, і відповідно налаштовує натяг, швидкість розмотування та кількість витків.

3. Роликовий конвеєр: Здійснено заміну електродвигуна. Встановлено двигун **нового покоління з енергозберігаючими характеристиками**, оснащений **частотним регулятором швидкості**, що дозволяє плавно запускати та зупиняти конвеєр, знижуючи механічні навантаження та енергоспоживання.

4. Механізм відрізання плівки: Замінено пневмоциліндр на **сучасну сервоприводну систему**, яка працює за принципом керування зусиллям. Такий підхід забезпечує **точне та повторюване обрізання плівки**, знижує ймовірність її пошкодження або неповного відрізу.

Усі запропоновані заходи модернізації дозволили значно покращити динаміку, гнучкість і адаптивність роботи машини в умовах змінних виробничих параметрів. Результатом стало:

- зниження енергоспоживання на одиницю продукції;
- покращення якості обмотки незалежно від габаритів пакета;
- скорочення тривалості циклу пакування;
- зменшення частки браку.

Таким чином, реалізований комплекс технічних рішень модернізації забезпечив підвищення ефективності, економічності та надійності роботи пакувальної машини, роблячи її оптимальним технологічним рішенням для підприємств із великим обсягом обгорткових операцій.

6. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

6.1. Розрахунок та підбір приводу до механізму розтягування полімерної плівки

1. Визначаємо кут нахилу витка:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{500}{2200} = 0,227 ;$$

$$\alpha = \operatorname{arctg}0,227 = 12^{\circ}47'22'' .$$

2. Визначаємо довжину вже розтягнутої полімерної стрічки затраченої при одному оберті рами:

$$L' = \frac{1000}{\cos\alpha} = \frac{1000}{\cos 12^{\circ}47'22''} = 1025,44 \text{ мм};$$

$$L'' = \frac{1200}{\cos\alpha} = \frac{1200}{\cos 12^{\circ}47'22''} = 1230,53 \text{ мм};$$

$$P_1 = 2(1025,44 + 1230,53) = 4511,94 \text{ мм}.$$

3. Визначаємо периметр розтягувального ролика:

$$P_2 = \pi d = 3,14 \cdot 120 = 376,8 \text{ мм}.$$

Визначаємо кількість обертів розтягувального ролика на один оберт рами:

$$n' = \frac{4511,94}{376,8} = 11,97 \text{ об.}$$

4. Визначаємо час за який рама робить один оберт:

$$t = 1/28 = 0,0357 \text{ хв.}$$

5. Визначаємо частоту обертання розтягувального ролика:

$$n = \frac{11,97}{0,0357} = 335,3 \text{ об./хв.}$$

Вибираємо соосний мотор-редуктор типу АСF 25/2 потужністю 0,06 кВт з такими параметрами: $n_1 = 1400$ об./хв., $n_2 = 347$ об./хв., $i = 4$, $T_2 = 1,6$ Нм та трифазним двигуном з гальмівним пристроєм та синхронною частотою обертання 1500 об./хв. типу 71АТF з такими параметрами: $P_n = 0,25$ кВт, $n_n = 1400$ об./хв., $\eta = 63\%$, $m = 6,8$ кг.

6.2. Розрахунок та підбір приводу до механізму переміщення каретки з плівкою

Каретка з плівкою прикріплена до ланцюгової передачі. Для визначення потужності двигуна використаю метод обходу по контуру (рис. 4.1).

$$S_1 = 300 \text{ Н};$$

$$S_2 = S_1 + qgl_0\omega + W_k;$$

$$S_3 = S_2k_3;$$

$$S_4 = S_3 + qgl_0\omega + W_k$$

де S_1, S_2, S_3, S_4 – значення натягу ланцюга в певних точках; iq 0,8 кг/м – погонне навантаження ланцюга; $k_3 = 1,03$ – коефіцієнт опору на зірочці; $\omega = 0,1$ – коефіцієнт шкідливого опору; $l_0 = 2,4$ м – міжосьова відстань.

Отже, необхідно визначити сумарну силу опору переміщення вантажу W_k . Для цього необхідно знати нормальні реакції напрямної площини. Для визначення нормальної реакції напрямної площини використаю розрахункові схеми, зображені на рис. 4.2:

$$M_0 = N_1l_1 - mgl_2 = 0; \quad N_1 = \frac{mgl_2}{l_1}.$$

Визначасмо маси складових каретки.

а) корпус каретки:

$m_1 = 0,45 \cdot 0,435 \cdot 0,01 \cdot 7800 = 15,27$ – маса горизонтальної пластини, на якій розміщений пристрій для розтягування плівки;

$m_2 = m_2 = 0,12 \cdot 0,4 \cdot 0,01 \cdot 7800 = 3,744$ кг – маса вертикальної пластини-напрявної.

б) пристрої, змонтовані в каретці:

маса рулону плівки $m_5 = 25$ кг:

$$m_6 = \left(3,14 \frac{0,12^2 - 0,115^2}{4} \cdot 0,63 + 3,14 \frac{0,052^2}{4} \cdot 0,105 \right) 7800 + 25 = 31,271 \text{ кг} - \text{маса}$$

бобіни з плівкою маса бобіни з плівкою;

$$m_7 = m_8 = \left(3,14 \frac{0,12^2 - 0,115^2}{4} \cdot 0,63 + 3,14 \frac{0,047^2}{4} \cdot 0,105 \right) 7800 = 5,953 \text{ кг} - \text{маса}$$

розтягувальних роликів;

$m_9 = m_{10} = 10$ кг – маса мотор-редукторів.

Загальна маса каретки:

$$m_{\text{заг}}^{\text{к}} = 15,27 + 3,744 \cdot 2 + 31,271 + 5,953 \cdot 2 + 10 \cdot 2 \approx 86 \text{ кг}.$$

Отже:

$$m = \frac{m_{\text{заг}}^{\text{к}}}{2} = \frac{86}{2} = 43 \text{ кг}; \quad N_1 = \frac{mgl_2}{l_1} = \frac{43 \cdot 9,81 \cdot 0,336}{0,358} = 396 \text{ Н};$$

$$\sum X = N_2 - N_1 = 0; \quad N_1 = N_2.$$

Визначаємо величину сили шкідливого опору від сил тертя-кочення підшипників по напрямних:

$$W_{\text{к}} = N \frac{2k}{d_n},$$

де $k = 0,01$ – коефіцієнт тертя-кочення; $d_n = 0,022$ м – зовнішній діаметр кільця підшипника.

$$W_{\text{к}} = 396 \frac{2 \cdot 0,01}{0,022} = 360 \text{ Н}.$$

За методом обходу по контуру, маємо:

$$S_1 = 300 \text{ Н};$$

$$S_2 = S_1 + qgl_0\omega + W_k;$$

$$S_3 = S_2k_3;$$

$$S_4 = S_3 + qgl_0\omega + W_k;$$

$$S_2 = 300 + 2,6 \cdot 2,4 \cdot 9,81 \cdot 0,1 + 360 = 666,1 \text{ Н};$$

$$S_3 = 666,1 \cdot 1,03 = 686,1 \text{ Н};$$

$$S_4 = 686,1 + 2,6 \cdot 2,4 \cdot 9,81 \cdot 0,1 + 360 = 1047,5 \text{ Н}.$$

Знайдемо тяглове зусилля:

$$W_T = S_{\text{наб}} - S_{\text{зб}} + (k_3 - 1)(S_{\text{наб}} + S_{\text{зб}});$$

$$W_T = S_4 - S_1 + (k_3 - 1)(S_4 + S_1)$$

$$W_T = 1047,5 - 300 + (1,03 - 1)(1047,5 + 300) = 788 \text{ Н}.$$

Потужність електродвигуна мотор-редуктора:

$$N = \frac{W_T v}{1000 \eta},$$

де $\eta = \eta_{\text{л.п.}} \eta_{\text{ч.р.}}$; $\eta_{\text{л.п.}} = 0,9$ – ККД відкритої ланцюгової передачі; $\eta_{\text{ч.р.}} = 0,68$ – закрита несамогальмівна черв'ячна передача при числі заходів черв'яка $z = 1$.

Необхідна швидкість піднімання каретки при накладанні плівки на 100 мм повинна становити:

$$v = \frac{1 - 0,1 \cdot 2}{60 / 28} \approx 0,373 \text{ м/с}; \quad v = \frac{znt}{60 \cdot 1000}, \text{ звідки}$$

$$n = \frac{60 \cdot 1000 v}{zt}.$$

Приймаємо $z = 19$, $t = 12,7$ мм:

$$n = \frac{60 \cdot 1000 \cdot 0,373}{19 \cdot 12,7} \approx 92,75 \text{ об./хв.}$$

Приймаємо $n = 93$ об./хв., тоді:

$$v = \frac{19 \cdot 93 \cdot 12,7}{60 \cdot 1000} = 0,374 \text{ м/с.}$$

Отже ширина накладання плівки становить:

$$\Delta = \frac{1 - \frac{0,374 \cdot 60}{28}}{2} \cdot 1000 = 99,3 \text{ мм.}$$

$$N = \frac{788 \cdot 0,374}{0,9 \cdot 0,68 \cdot 1000} = 0,48 \text{ кВт.}$$

З конструктивних міркувань за каталогом вибираємо одноступінчатий черв'ячний мотор-редуктор RMI 70 з такими параметрами:

- електродвигун з потужністю $N = 0,55$ кВт та частотою обертання 1400 об./хв.;
- частота обертання вихідного вала мотор-редуктора 93 об./хв.;
- крутний момент на вихідному валу 45 Н·м;
- передаточне число редуктора $i = 15$.

6.3. Розрахунок та підбір двигуна для механізму обертання рами

Вихідні дані:

Габаритні розміри рами:

$$L_1 = D = 3350 \text{ мм}; \quad L_4 = 110 \text{ мм};$$

$$L_2 = 2535 \text{ мм}; \quad L_4 = 110 \text{ мм};$$

$$L_3 = 150 \text{ мм}; \quad m_{\text{заг}}^{\text{к}} = 86 \text{ кг.}$$

Необхідно знайти масу рами:

$$m_p = V\rho,$$

де V – об'єм рами, м^3 ; $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$ – густина заліза, з якого виготовлено раму.

$$V = \sum V_i;$$

$$V = [4(0,15(2,535 - 0,11)0,07) + 2 \cdot 3,35 \cdot 0,07 \cdot 0,11] - [4(0,147(2,532 - 0,11)0,067) + 2 \cdot 0,35 \cdot 0,067 \cdot 0,107] = 0,01 \text{ м.}$$

Отже маса рами:

$$m_p = 0,01 \cdot 7800 = 78 \text{ кг.}$$

Можемо підрахувати загальну масу рами з каретками:

$$m_{\text{заг}} = m_p + m_{\text{заг}}^{\text{к}} + m_{\text{л.п.}} = 78 + 86 + 2,6 \cdot 2,4 \cdot 4 = 189 \text{ кг.}$$

Для визначення крутного моменту на валу двигуна, складемо рівняння:

$$I\ddot{\varphi} = M_p - \sum M_{\text{оп}},$$

де M_p – рушійний крутний момент; $\ddot{\varphi}$ – кутове прискорення; $I = m_{\text{заг}} R^2 = m_{\text{заг}} \frac{D^2}{4} = 189 \frac{3,35^2}{4} = 530,3 \text{ кг} \cdot \text{м}^3$ – момент інерції; $\sum M_{\text{оп}} = M_1 + M_2$ – сума моментів опорів, $\sum M_{\text{оп}}$; M_1, M_2 – відповідно момент опору розтягування плівки та моменту опору в підшипниках.

$$M_1 = F \frac{d}{2}; \quad d = 240 \text{ мм}; \quad F = A[\sigma_p] = \delta H[\sigma_p],$$

$H = 500 \text{ мм}$ – висота бобіни з плівкою; $\delta = 0,03 \text{ мм}$ – товщина плівки; $[\sigma_p] = 16 \text{ МПа}$ – опір на розрив.

$$F = 0,03 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot 16 \cdot 10^6 = 240 \text{ Н};$$

$$M_1 = 240 \frac{0,24}{2} = 28,8 \text{ Нм}.$$

Визначимо момент опору тертя в підшипниках:

$$M_2 = Gf' \frac{d_n}{2},$$

де $G = 189 \cdot 9,81 = 1854,1 \text{ Н}$ – вага рами з каретками; $d_n = 85 \text{ мм}$ – діаметр підшипника; $f' = 0,4$ – коефіцієнт тертя.

$$M_2 = 1854,1 \cdot 0,4 \frac{0,085}{2} = 31,5 \text{ Нм.}$$

Отже: $\sum M_{оп} = 28,8 + 31,5 = 60,3$ Нм.

Визначимо кутові прискорення:

$$\ddot{\phi} = \omega/t,$$

де $t = 1$ с – час розгону; $\omega = \pi n/30 = \frac{3,14 \cdot 28}{30} = 2,93$ рад/с.

$$\ddot{\phi} = \frac{2,93}{1} = 2,93 \text{ рад/с.}$$

Визначаємо рушійний крутний момент:

$$M_p = I\ddot{\phi} + \sum M_{оп} = 530,3 \cdot 2,93 + 60,3 = 1614,1. \text{ Нм.}$$

Визначаємо необхідну потужність електродвигуна:

$$N = \frac{M_p \omega}{1000 \eta} = \frac{1614,1 \cdot 2,93}{1000 \cdot 0,9} = 5,3 \text{ кВт.}$$

За каталогом вибираємо мотор-редуктор АСF 100/3:

- електродвигун потужністю 5,5 кВт, з частотою обертання 2800 об./хв.;
- частота обертання вихідного валу 28 об./хв.;
- передаточне число редуктора $i = 98,6$;
- крутний момент на вихідному валу 1720 Нм.

4.4. Розрахунок та підбір привода роликового конвеєра

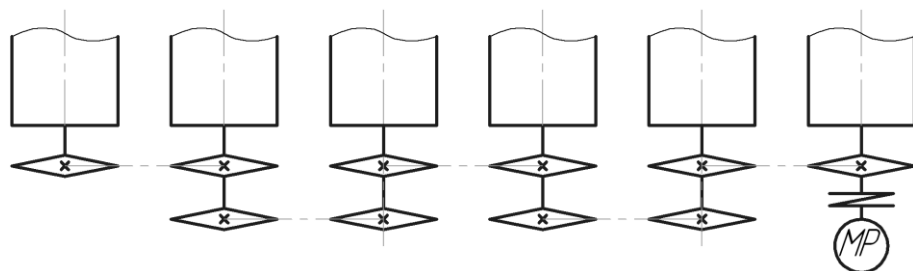


Рис. 6.1. Схема роликового конвеєра

Вихідні дані:

$$Q = 100 \text{ пак./год.} \quad v = 0,15 \text{ м/с}$$

$$L = 6900 \text{ мм}; \quad i = 61$$

$$G_p = 3,5 \text{ кг}$$

Потужність привода роликового конвеєра:

$$N = \left(C \frac{QL}{367} + \frac{iG_p C' v}{102} \right) \frac{1}{\eta \mu},$$

де Q – продуктивність конвеєра, пак./год.; L – довжина конвеєра, м; G_p – сила тяжіння частини ролика, що обертається, Н; i – кількість роликів на конвеєрі, шт.; v – швидкість руху вантажу, м/с; C – коефіцієнт опору переміщення вантажів, Н; C' – коефіцієнт опору переміщенню роликів, Н; $\mu = 0,4$ – коефіцієнт

тертя кочення; $\eta = 1,8$ – коефіцієнт експлуатації.

$$C = \frac{fd + 2\mu}{D}; \quad C' = \frac{fd}{D};$$

$f = 0,2$ – коефіцієнт тертя в підшипниках; $d = 17$ – діаметр цапфи, мм; $D = 50$ мм – зовнішній діаметр ролика.

$$C = \frac{0,2 \cdot 17 + 2 \cdot 0,4}{50} = 0,084; \quad C' = \frac{0,2 \cdot 17}{50} = 0,068.$$

Уточнюємо значення частоти обертання вихідного валу для подальшого вибору мотор-редуктора:

$$n = \frac{v60 \cdot 1000}{\pi d} = \frac{0,15 \cdot 60 \cdot 1000}{3,14 \cdot 50} = 57,3 \text{ об./хв.}$$

Приймаємо $n = 57$ об./хв. Тоді:

$$v = \frac{\pi d n}{60 \cdot 1000} = \frac{3,14 \cdot 50 \cdot 57}{60000} = 0,14915 \approx 0,15 \text{ м/с} - \text{задовольняє умови задачі}$$

$$N = \left(0,084 \frac{100 \cdot 6,9}{367} + \frac{61 \cdot 3,5 \cdot 0,068 \cdot 0,15}{102} \right) \frac{1}{1,8 \cdot 0,4} = 0,24 \text{ кВт.}$$

За каталогом вибираємо мотор-редуктор фірми Motovario H A32-AIS71A4 з алюмінієвим корпусом:

- електродвигун потужністю 0,25 кВт;
- частота обертання вихідного валу 57 об./хв.;
- передаточне число редуктора $i = 24,5$;
- крутний момент на вихідному валу 40 Нм.

6.5. Розрахунок та підбір пневмоциліндрів

6.5.1. Підбір пневмоциліндра для пристрою прижимання пакету

Вихідні дані: $m = 20$ кг; $P_1 = 6$ атм; $P_2 = 1$ атм.

Для притискання пакету прижимної плитою необхідне більше зусилля, ніж для піднімання прижимної плити. Тому запишемо рівняння спокою системи зображеної на рис. 4.5:

$$\sum X = N - mg - P_{\text{пр}} = 0,$$

звідки:

$$N = mg + P_{\text{пр}},$$

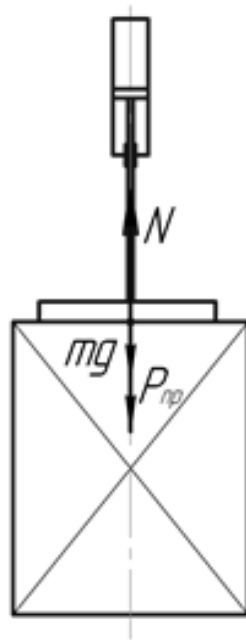


Рис. 6.2. Розрахункова схема для підбору пневмоциліндра пристрою прижимання пакету

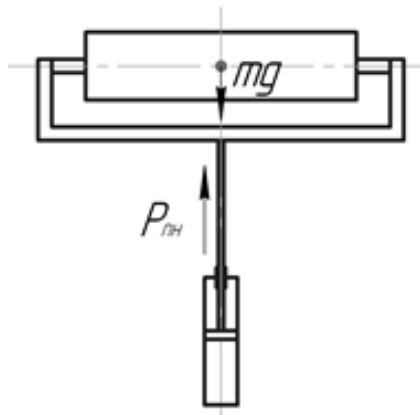


Рис. 6.3. Розрахункова схема для підбору пневмоциліндра упора

де: $P_{пр} = 300 \text{ Н}$ – зусилля притискання пакету прижимною плитою

$$N = 20 \cdot 9,81 + 300 = 496,2;$$

$$N = P_{пн},$$

де $P_{пн}$ – зусилля пневмоциліндра, Н.

$$N = \frac{\pi d^2}{4} (P_1 - P_2).$$

Діаметр штоку циліндра:

$$d = \sqrt{\frac{4N}{\pi(P_1 - P_2)}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 496,2}{3,14 \cdot (0,6 - 0,1)}} \approx 36 \text{ мм}.$$

Вибираємо пневмоциліндр **40N2A63E700**.

6.5.2. Підбір пневмоциліндра для упору

Вихідні дані: $m = 5,1 \text{ кг}$; $P_1 = 6 \text{ атм}$; $P_2 = 1 \text{ атм}$.

У випадку піднімання упора запишемо рівняння (рис. 4.6):

$$mg - P_{пн} = 0;$$

$$P_{пн} = mg,$$

де $m = 5,1 \text{ кг}$ – маса упора.

$$P_{пн} = 5,1 \cdot 9,8 = 50,031 \text{ Н}.$$

Для визначення діаметра штоку пневмоциліндра запишемо рівняння:

$$P_{\text{пн}} = \frac{\pi d^2}{4}(P_1 - P_2),$$

звідки:

$$d = \sqrt{\frac{4P_{\text{пн}}}{\pi(P_1 - P_2)}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 50,031}{3,14(0,6 - 0,1)}} \approx 11,3 \text{ мм}.$$

За каталогом підбираємо пневмоциліндр **40N2A63E700**.

6.5.3. Підбір пневмоциліндра для механізму захоплення та утримання плівки

Вихідні дані:

$m = 1 \text{ кг}$ – маса одного захвату;

$R = 0,33 \text{ м}$ – радіус обертання центра ваги захвата;

$r = 0,1 \text{ м}$ – радіус важеля;

$h = 0,071 \text{ м}$;

$P_1 = 6 \text{ атм}$, $P_2 = 1 \text{ атм}$.

Для знаходження зусилля $P_{\text{пн}}$ складемо рівняння (рис. 4.7):

$$I'' \cdot M_{\text{оп}}; \quad M_p = I'' \quad ;$$

$M_{\text{оп}} = mgrf$ – момент опору у підшипнику

$$M_{\text{оп}} = 1 \cdot 9,81 \cdot 0,01 \cdot 0,4 = 0,04 \text{ Нм};$$

$$I = mR^2 = 1 \cdot 0,33^2 = 0,1089 \text{ Нм}.$$

Знайдемо кутове прискорення з яким рухаються захвати:

$$\ddot{\alpha} = \frac{3,14 \cdot 5}{30 \cdot 0,1} = 5,2 \text{ рад/с}^2,$$

де: $n = 5 \text{ об/хв}$ – частота обертання захватів; $t = 0,1 \text{ с}$ – час розгону.

Знайдемо зусилля пневмоциліндра:

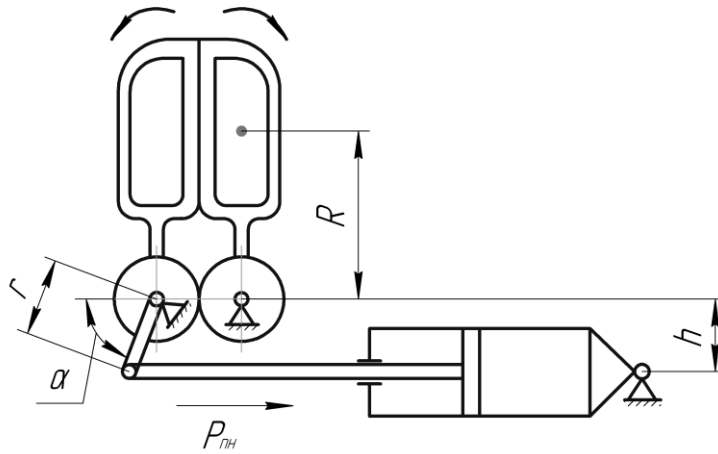


Рис. 6.7. Розрахункова схема для підбору пневмоциліндра пристрою захоплення та утримання плівки

1) $M_p = P_{пн}h$, якщо $\alpha = 45^\circ$

$$P_{пн} = \frac{M_p}{h} = \frac{I''}{h} = \frac{0,1089 \cdot 5,2 + 0,04}{0,071} = 8,54 \text{ Н};$$

2) $M_p = P_{пн}r$, якщо $\alpha = 90^\circ$

$$P_{пн} = \frac{I''}{r} = \frac{0,1089 \cdot 5,2 + 0,04}{0,1} = 6,06 \text{ Н}.$$

Для більшого зусилля визначимо діаметр штоку пневмоциліндра:

$$d = \sqrt{\frac{4P_{пн}}{\pi(P_1 - P_2)}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,54}{3,14 \cdot (0,6 - 0,1)}} \approx 5 \text{ мм}.$$

За каталогом вибираємо пневмоциліндр **24N2A12II160**.

6.5.4. Підбір пневмоциліндра для механізму відрізання полімерної розтягнутої плівки

Вихідні дані:

$$m = 10 \text{ кг}; \quad r = 0,2 \text{ м}; \quad r_0 = 0,026 \text{ м}; \quad P_1 = 6 \text{ атм}; \quad P_2 = 1 \text{ атм}.$$

Для визначення зусилля пневмоциліндра $P_{пн}$ запишемо рівняння (див.

рис. 4.8):

$$I'' = M_{оп};$$

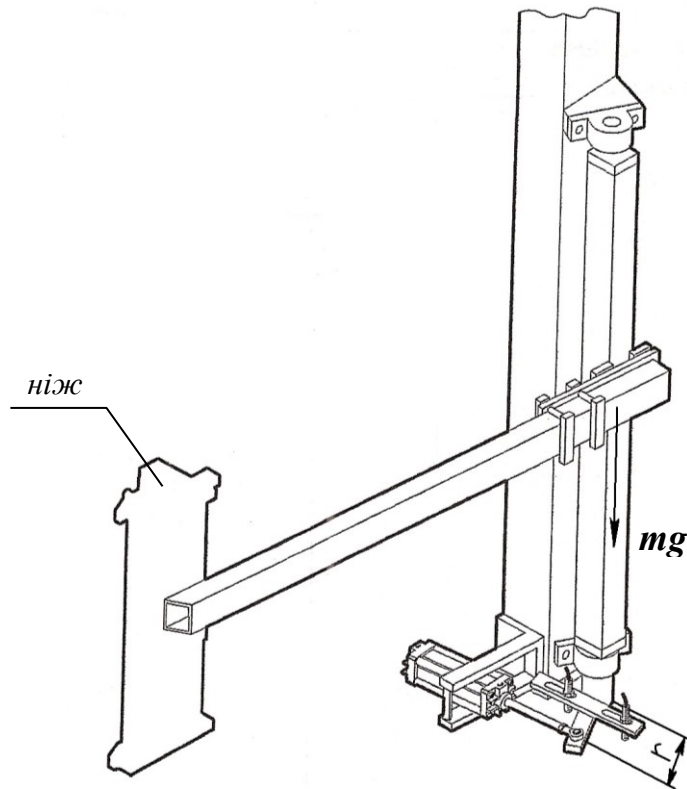


Рис. 6.8. Розрахункова схема для механізму відрізання полімерної розтягнутої плівки

$$I = mr^2 = 10 \cdot 0,2^2 = 0,4 \text{ Нм};$$

$M_{\text{оп}} = mgr_0f$ – момент опору у підшипнику,

де $f = 0,2$ – коефіцієнт тертя-кочення.

$$M_{\text{оп}} = 10 \cdot 9,81 \cdot 0,026 \cdot 0,2 = 0,51 \text{ Нм}.$$

Знайдемо зусилля пневмоциліндра:

$$M_p = P_{\text{пн}} r;$$

$$P_{\text{пн}} = \frac{I''}{r};$$

$$P_{\text{пн}} = \frac{0,4 \cdot 76 + 0,51}{0,1} = 154,55 \text{ Н}.$$

Знайдемо кутове прискорення з яким рухається рукав:

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 73}{30 \cdot 0,1} = 76 \text{ рад/с}^2,$$

де: $n = 73$ об./хв. – частота обертання захватів; $t = 0,1$ с – час розгону.

Визначимо діаметр штоку пневмоциліндра:

$$d = \sqrt{\frac{4P_{\text{пн}}}{\pi(P_1 - P_2)}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 154,55}{3,14 \cdot (0,6 - 0,1)}} \approx 20 \text{ мм}.$$

За каталогом вибираємо пневмоциліндр **27N2A25I125**.

6.6. Розрахунок ланцюгової передачі для механізму переміщення каретки

Вихідні дані:

$N = 0,55$ кВт – потужність двигуна;

$n = 93$ об./хв. – частота обертання вихідного вала;

$T = 45$ Нм – крутний момент на вихідному валу;

$U = 1$ – передаточне число;

1. Визначаємо коефіцієнт експлуатації:

$$k_e = k_d \cdot k_a \cdot k_n \cdot k_p \cdot k_z \cdot k_{zm},$$

де k_d – коефіцієнт динамічності навантаження. При спокійному навантаженні $k_d = 1$; k_a – коефіцієнт, який враховує міжосьову відстань, при $a \geq 25t$ – $k_a = 0,8$; k_n – коефіцієнт, який враховує нахил передачі до горизонту, при $\alpha \geq 60^\circ$ – $k_n = 1,25$; k_p – коефіцієнт, який залежить від способу регулювання натягу ланцюга, при регулюванні положення осі однієї з зірочок – $k_p = 1$; k_z – коефіцієнт, який враховує характер змащування, при періодичному змащуванні $k_z = 1,5$; k_{zm} – коефіцієнт, який залежить від тривалості роботи за добу, при однозмінній роботі $k_{zm} = 1$.

$$k_e = 1 \cdot 0,8 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1 = 1,5$$

2. Попередньо приймаємо ланцюг однорядний привідний роликів нормальної серії за ГОСТ 13568-75 з кроком $t = (8,0 \dots 63,5)$ мм = 12,7 мм.

3. Приймаємо число зубців зірочок: $z = 19$.

4. Розрахунковий крок ланцюга:

$$t_p \geq 183 \sqrt[3]{\frac{10k_e N}{S_t [p] z n k_m}}.$$

Для ланцюга ПР за ГОСТ 13568-75:

$$S_t = 0,28;$$

$[p] = 33,1$ МПа – допустимий питомий тиск в шарнірах ланцюга при $t = 12,7$ мм та $n = 93$ об/хв.

$k_m = 1$ – коефіцієнт, який враховує число рядів ланцюга

$$t_p = 183 \cdot \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 1,5 \cdot 0,55}{0,28 \cdot 33,1 \cdot 19 \cdot 93 \cdot 1}} = 14,6 \text{ мм}.$$

З конструктивних міркувань прийmemo $t_p = 12,7$ мм та виберемо ланцюг ПР-12.7-1820-2 з руйнівним навантаженням $Q_{руйн} = 18200$ Н та погонною масою $q = 0,75$ кг/м.

5. Перевірний розрахунок ланцюгової передачі на запас міцності.

Необхідна умова:

$$n = \frac{Q_{руйн}}{F_{\Sigma}} \geq [n],$$

де $F_{\Sigma} = K F_t + S_{\text{ц}} + S_0$; K – коефіцієнт, який враховує характер передавального навантаження, $K = 1$ – при спокійному навантаженні; $F_t = \frac{1000N}{v}$ – колова

сила, Н; $v = \frac{z n t}{60 \cdot 1000}$ – колова швидкість ланцюга, м/с.

$$v = \frac{19 \cdot 93 \cdot 12,7}{60 \cdot 1000} = 0,374 \text{ м/с};$$
$$F_t = \frac{1000 \cdot 0,55}{0,374} = 1470,6 \text{ Н};$$

$S_{\text{ц}}$ – натяг від відцентрових сил, $S_{\text{ц}} = q v^2$. При $v \leq 12$ м/с ($0,374$ м/с < 12 м/с)

величиною $S_{\text{ц}}$ можна знехтувати, тобто $S_{\text{ц}} = 0$; $S_0 = k_f q g a$ – величина початко-

вого натягу ланцюга, Н; $k_f = 1$ – коефіцієнт, який залежить від провисання ланцюга (для вертикальної передачі); $a = 2387,6 \text{ мм} = 2,3876 \text{ м}$ – міжосьова відстань;

$$S_0 = 1 \cdot 0,75 \cdot 9,81 \cdot 2,3876 = 17,57 \text{ Н};$$

$$F_{\Sigma} = K F_t + S_{\text{ц}} + S_0;$$

$$F_{\Sigma} = 1 \cdot 1470,6 + 0 + 17,57 = 1488,17 \text{ Н};$$

$$n = \frac{18200}{1488,17} = 12,2;$$

$[n]$ – допустимий коефіцієнт запасу міцності, при частоті обертання $n = 93$ об./хв. та кроку ланцюга $t = 12,7 \text{ мм}$, маємо $[n] = 7,2$;

$$n \geq [n];$$

$12,2 > 7,2$ – умова виконується.

6. Перевірочний розрахунок строку служби.

Термін служби ланцюга T (год.):

$$T = 5200 \frac{\Delta t k_c \sqrt{z_1} \sqrt[3]{a_t u}}{p \sqrt[3]{v} k_e} \geq T_0;$$

$T_0 = 2000$ год. – очікуваний термін служби;

$\Delta t \leq 3\%$ – допустиме збільшення кроку ланцюга. Приймаємо $\Delta t = 3\%$;

$k_c = \frac{k_{\text{сп}}}{\sqrt{v}}$ – коефіцієнт змащування;

$k_{\text{сп}} = 0,15$ – коефіцієнт, який враховує спосіб змащування;

$$k_c = \frac{0,15}{\sqrt{0,374}} = 0,245.$$

Міжосьова відстань виражена в кроках:

$$a_t = \frac{a}{t} = \frac{2387,6}{127} = 188.$$

Питомий тиск в шарнірах ланцюга:

$$p = \frac{F_t}{S_{\text{он}}} = \frac{1470,6}{50,3} = 29,2 \text{ МПа},$$

де $S_{\text{он}} = 50,3 \text{ мм}^2$ – проекція опорної поверхні шарніра;

$$T = 5200 \frac{3 \cdot 0,245 \cdot \sqrt{19} \cdot \sqrt[3]{188 \cdot 1}}{29,2 \cdot \sqrt[3]{0,374 \cdot 1,5}} = 3024,3 \text{ год.}$$

$$T \geq T_0.$$

3024,3 год. > 2000 год. – умова виконується.

7. Геометричний розрахунок зірочок ланцюгової передачі.

Міжосьова відстань: $a = 2387,6 \text{ мм}$;

Число зубців: $z = z_1 = z_2 = 19$;

Передаточне число: $u = 1$;

Довжина ланцюга виражена в кроках:

$$L_t = \frac{2a}{t} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \left(\frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2 \frac{t}{a};$$

$$L_t = \frac{2a}{t} + z; \quad L_t = \frac{2 \cdot 2387,6}{12,7} + 19 = 207.$$

Кут повороту ланок ланцюга на зірочках:

$$\varphi = \frac{360}{z} = \frac{360}{19} = 18^\circ 56' 51''.$$

Діаметр ділильного кола зірочок:

$$D_d = \frac{t}{\sin\left(\frac{180}{z}\right)}; \quad D_d = \frac{12,7}{\sin\left(\frac{180}{19}\right)} = 77,16 \text{ мм}.$$

8. Розрахунок приводного вала ланцюгової передачі на статичну міцність. Проведемо розрахунок на кручення. Знайдемо діаметр вала:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{T}{0,2[\tau_k]}}$$

де $[\tau_k] = 20$ МПа – допустиме напруження на кручення.

$$d = \sqrt[3]{\frac{45}{0,2 \cdot 20 \cdot 10^6}} = 0,022 \text{ м.}$$

Діаметр валу округляємо під розмір підшипників кочення у сторону збільшення згідно ГОСТ. З конструктивних міркувань приймаємо $d = 25$ мм.

Компоновочна схема приводного валу ланцюгової передачі зображена на **рис. 6.9**.

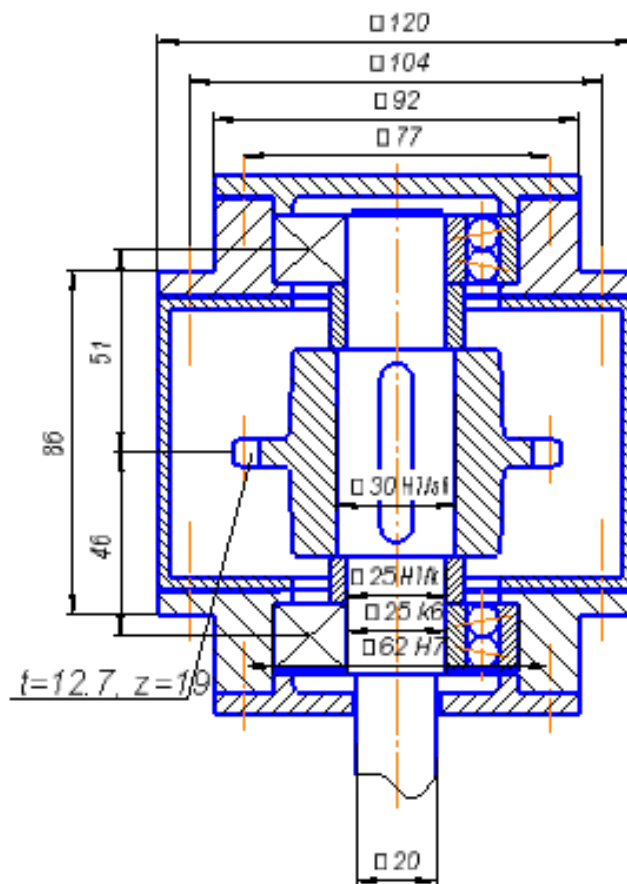


Рис. 6.9 Компоновочна схема приводного валу ланцюгової передачі *для* механізму переміщення каретки

9. Розрахунок приводного валу ланцюгової передачі на крутний і

згинальний момент. Представляємо вал, як статично визначену балку на двох опорах (рис. 6.10).

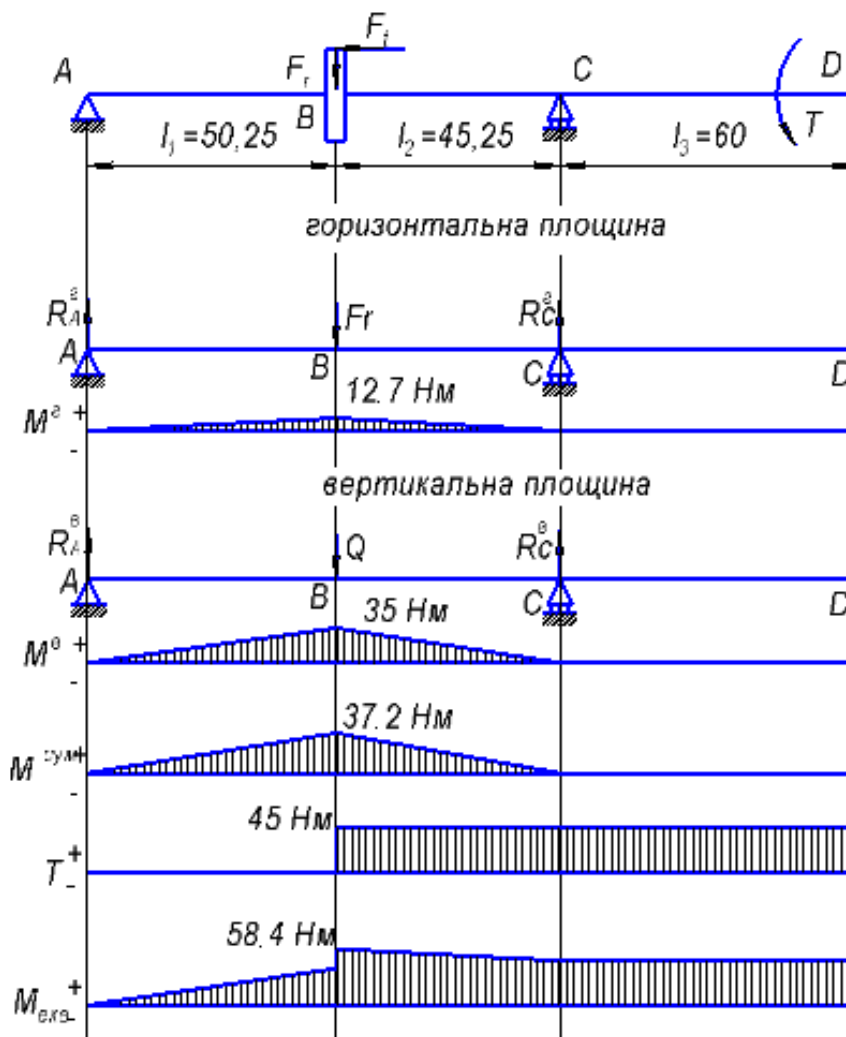


Рис. 6.10 Розрахунок привідного вала ланцюгової передачі механізму переміщення каретки на крутний і згинальний момент

Навантаження представляємо у вигляді зосереджених сил і моментів прикладених до певної ділянки.

1) визначаємо сили, що діють на балку. Уточнимо значення колової сили враховуючи натягання ланцюга. Використовують таку формулу:

$$Q_n = kF_t,$$

де $k = 1,05$ – для ланцюгової передачі, що працює при спокійних навантаженнях вертикально до горизонту.

$$F_t = 1470,6 \text{ Н};$$

$$Q = 1,05 \cdot 1470,6 = 1544,13 \text{ Нм};$$

$F_r = F_t \operatorname{tg} \alpha$ – радіальна сила;

$\alpha = 20^\circ$ – кут зачеплення;

$$F_r = 1470,6 \operatorname{tg} 20^\circ = 535,3 \text{ Н};$$

2) оскільки навантаження діють в різних площинах (горизонтальній та вертикальній) розглянемо навантаження на балку окремо в двох площинах.

Визначаємо реакції опор:

Для горизонтальної площини:

$$\sum M_A^r = -F_r L_1 + R_C^r (L_1 + L_2) = 0; \quad R_C^r = \frac{F_r L_1}{L_1 + L_2};$$

$$R_C^r = \frac{535,3 \cdot 50,25}{(50,25 + 45,25)} = 281,7 \text{ Н};$$

$$\sum M_C^r = -R_A^r (L_1 + L_2) + F_r L_2 = 0; \quad R_A^r = \frac{F_r L_2}{L_1 + L_2};$$

$$R_A^r = \frac{535,3 \cdot 45,25}{(50,25 + 45,25)} = 253,6 \text{ Н}.$$

Виконуємо перевірку:

$$\sum X = R_A^r - F_r + R_C^r = 0; \quad 49,115 - 98,23 + 49,115 = 0$$

$$\sum X = 253,6 - 535,3 + 281,7 = 0.$$

Умова виконується, отже підрахунки зроблено вірно.

Для вертикальної площини:

$$\sum M_A^b = -Q L_1 + R_C^b (L_1 + L_2) = 0; \quad R_C^b = \frac{Q L_1}{L_1 + L_2};$$

$$R_C^b = \frac{1470,6 \cdot 50,25}{(50,25 + 45,25)} = 773,8 \text{ Н};$$

$$\sum M_C^b = -R_A^b (L_1 + L_2) + Q L_2 = 0;$$

$$R_A^B = \frac{QL_2}{L_1 + L_2} = 0; \quad R_A^B = \frac{1470,6 \cdot 45,25}{(50,25 + 45,25)} = 696,8 \text{ Н.}$$

Виконуємо перевірку:

$$\sum X = R_A^B - Q + R_C^B = 0; \quad 298,649 - 597,298 + 298,649 = 0 \text{ А;}$$

$$\sum X = 696,8 - 1470,6 + 773,8 = 0.$$

Умова виконується, отже підрахунки зроблено вірно.

Визначаємо величину згинальних моментів та побудуємо епюри згинальних моментів окремо у горизонтальній та вертикальній площинах.

Для горизонтальної площини:

а) $0 \leq x \leq (50,25 \text{ мм});$

$$M(x) = R_A^r x;$$

$$M(0) = 0 \text{ Нм;}$$

$$M(50,25) = 253,6 \cdot 50,25 \cdot 10^{-3} = 12,7 \text{ Нм;}$$

б) $(50,25 \text{ мм}) \leq x \leq (95,5 \text{ мм});$

$$M(x) = R_A^r x - F_r(x - L_1)0;$$

$$M(50,25) = 253,6 \cdot 50,25 \cdot 10^{-3} - 535,3(50,25 - 50,25) \cdot 10^{-3} = 12,7 \text{ Нм;}$$

$$M(95,5) = 253,6 \cdot 95,5 \cdot 10^{-3} - 535,3(95,5 - 50,25) \cdot 10^{-3} = 0 \text{ Нм;}$$

в) $(95,5 \text{ мм}) \leq x \leq (155,5 \text{ мм});$

$$M(x) = 0 \text{ Нм;}$$

Для вертикальної площини:

а) $(0 \text{ мм}) \leq x \leq (50,25 \text{ мм});$

$$M(x) = R_A^B x; \quad M(0) = 0 \text{ Нм;}$$

$$M(50,25) = 696,8 \cdot 50,25 \cdot 10^{-3} = 35 \text{ Нм;}$$

б) $(50,25 \text{ мм}) \leq x \leq (95,5 \text{ мм});$

$$M(x) = R_A^B x - Q(x - L_1);$$

$$M(50,25) = 696,8 \cdot 50,25 \cdot 10^{-3} - 1470,6(50,25 - 50,25) \cdot 10^{-3} = 35 \text{ Нм};$$

$$M(95,5) = 696,8 \cdot 95,5 \cdot 10^{-3} - 1470,6(95,5 - 50,25) \cdot 10^{-3} = 0 \text{ Нм};$$

$$\text{в) } (95,5 \text{ мм}) \leq x \leq (155,5 \text{ мм});$$

$$M(x) = 0 \text{ Нм}.$$

Визначасмо сумарні згинальні моменти та будуємо епюру:

$$M_{\text{сум}} = \sqrt{(M^{\Gamma})^2 + (M^{\text{В}})^2};$$

Отже:

$$M_{\text{А}}^{\text{сум}} = \sqrt{(0)^2 + (0)^2} = 0 \text{ Нм};$$

$$M_{\text{В}}^{\text{сум}} = \sqrt{12,7^2 + 35^2} = 37,2 \text{ Нм};$$

$$M_{\text{С}}^{\text{сум}} = \sqrt{0^2 + 0^2} = 0 \text{ Нм}.$$

Будуємо епюру крутного моменту:

$$T = 45 \text{ Нм}.$$

Визначасмо еквівалентний момент та будуємо епюру:

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{(M_{\text{сум}})^2 + (\alpha T)^2},$$

α – коефіцієнт, що враховує різницю впливу на міцність валу згинальних та крутних навантажень і залежить від матеріалу вала.

Для реверсивної передачі $\alpha = 1$.

$$M_{\text{екв}}^{\text{max}} = \sqrt{(37,2)^2 + (1 \cdot 45)^2} = 58,4 \text{ Нм}.$$

Для максимального навантаження визначають діаметр вала:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{\text{екв}}^{\text{max}}}{0,1[\sigma_{-1}]}}$$

де $[\sigma_{-1}]_0$ – допустиме знакозмінне навантаження для вала:

$$[\sigma_{-1}] = 55 \text{ МПа} \text{ – для сталі 45};$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{58,4}{0,1 \cdot 55 \cdot 10^6}} \approx 0,022 \text{ м} = 22 \text{ мм}.$$

З конструктивних міркувань приймаємо $d = 25 \text{ мм}$.

Виходячи зі знайденого діаметра вала в небезпечному перерізі будемо ескіз орієнтовної конструкції вала (рис. 4.11, а)

Аналогічно проводять розрахунок веденого вала ланцюгової передачі. Прийmemo конструкцію вала зображену на рис. 4.11, б.

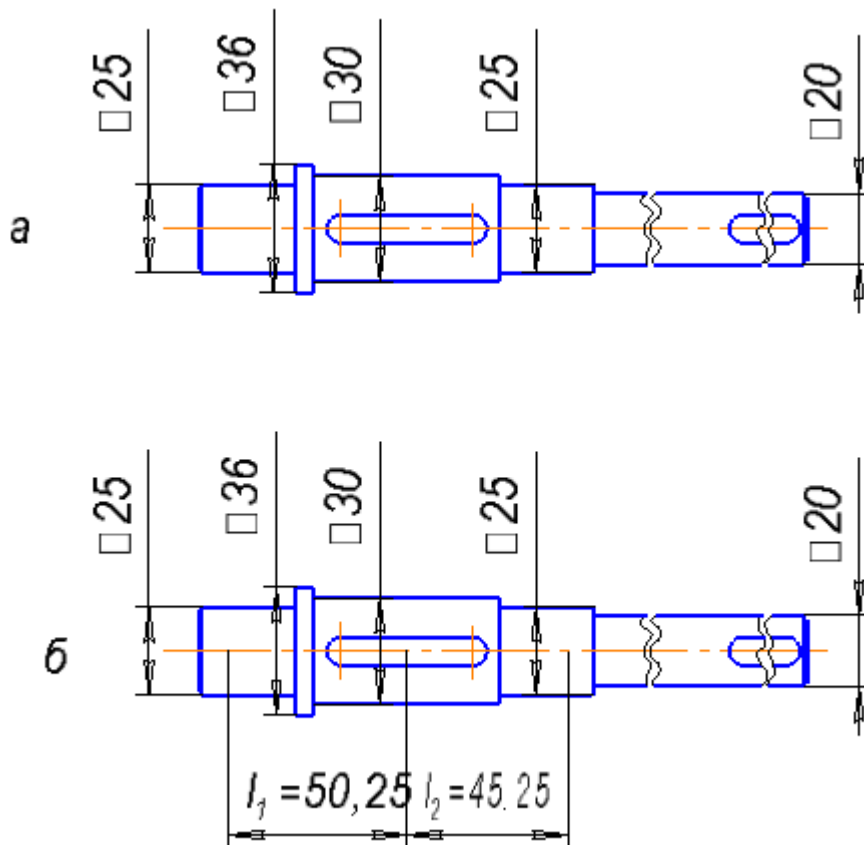


Рис. 4.11 Ескіз орієнтовної конструкції вала

10. Розрахунок підшипників на довговічність. Вал ланцюгової передачі (ведучий та ведений) встановлено в радіальні однорядні підшипники 305 з динамічною вантажопідйомністю $C = 17600 \text{ Н}$, статичною – $C_0 = 11600 \text{ Н}$.

Нехай номінальна довговічність підшипника в годинах становить:

$$L_h = 10000 \text{ год.}$$

Тоді довговічність підшипника в млн. обертів:

$$L = L_h \frac{60n}{10^6} = 10000 \frac{60 \cdot 70}{10^6} = 42 \text{ млн.об.}$$

Найбільш навантажений підшипник в т. С. На нього діє радіальне навантаження:

$$F_r = \sqrt{281,7^2 + 773,8^2} = 823,5 \text{ Н.}$$

Знайдемо еквівалентне навантаження:

$$P = F_r X V K_o K_t,$$

де: $X = 1$ – коефіцієнт радіального навантаження;

$V = 1$ – кінетичний коефіцієнт (обертається внутрішнє кільце підшипника, а зовнішнє – нерухоме);

$K_o = 1,1$ – коефіцієнт безпеки;

$K_t = 1$ – температурний коефіцієнт.

$$P = 823,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1 = 905,8 \text{ Н.}$$

Розрахункова динамічна вантажопідйомність підшипника:

$C_p = P \sqrt[p]{L}$, де $p = 3$ – степеневий показник (для кулькових підшипників).

$$C_p = \sqrt[3]{42} = 3148,7 \text{ Н.}$$

$3148,7 \text{ Н} < 17600 \text{ Н}$ – умова $C_p < C$ виконується.

Отже, підшипники підібрано правильно.

11. Розрахунок шпонкових з'єднань. Зірочку ланцюгової передачі з'єднуємо з валом за допомогою призматичної шпонки з скріпленням торцями.

За діаметром вала, згідно ГОСТ 10748-79 вибираємо такі параметри з'єднання (рис. 4.12):

$$b = 10 \text{ мм}; \quad h = 8 \text{ мм}; \quad \ell = 45 \text{ мм}; \quad t_1 = 5 \text{ мм}; \quad t_2 = 3,3 \text{ мм}$$

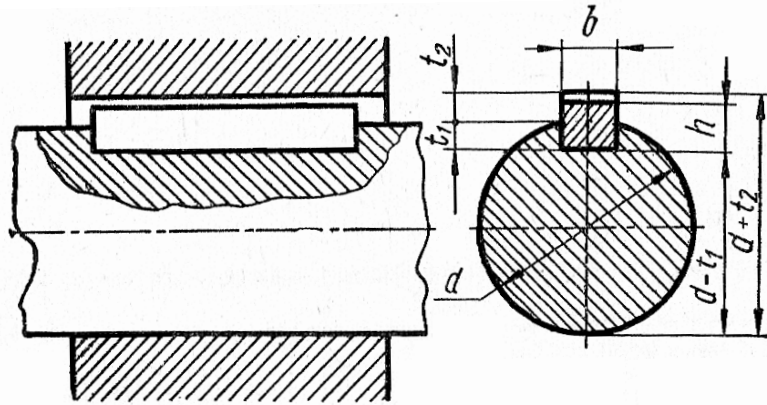


Рис. 4.12. Шпонкове з'єднання

Найбільш небезпечною деформацією для шпонок є зминання від крутного моменту.

Необхідно щоб виконувалась така залежність:

$$l \geq \frac{M}{t_1 [\sigma_{зм}]},$$

де l – робоча довжина шпонки; $M = 58,4$ Нм – крутний момент.

Допустиме напруження на зминання:

$$[\sigma_{зм}] = 150 \text{ МПа} \text{ – для шпонок з сталі 45.}$$

Маємо:

$$l \geq \frac{4 \cdot 1000}{5 \cdot 150} = 7,4 \text{ мм};$$

$$35 \text{ мм} > 7,4 \text{ мм} \text{ – умова } l \geq \frac{M}{t_1 [\sigma_{зм}]} \text{ виконується.}$$

Отже, шпонкове з'єднання підбрано вірно.

4.7. Розрахунок ланцюгової передачі для роликового конвеєра

Вихідні дані:

$N = 0,25$ кВт – потужність двигуна;

$N = 57$ об./хв. – частота обертання вихідного вала;

$T = 40$ Нм – крутний момент на вихідному валу.

$u = 1$ – передаточне число;

1. Визначаємо коефіцієнт експлуатації:

$$k_e = k_d \cdot k_a \cdot k_n \cdot k_p \cdot k_z \cdot k_{zm},$$

де k_d – коефіцієнт динамічності навантаження, при спокійному навантаженні

$k_d = 1$;

k_a – коефіцієнт, який враховує міжосьову відстань; при $a \leq 25t$ $k_a = 1,25$;

k_n – коефіцієнт, який враховує нахил передачі до горизонту, при $\alpha \leq 60^\circ$ $k_n = 1$;

k_p – коефіцієнт, який залежить від способу регулювання натягу ланцюга; при нерегульованій передачі $k_p = 1$;

k_z – коефіцієнт, який враховує характер змащування; при періодичному змащуванні $k_z = 1,5$;

k_{zm} – коефіцієнт, який залежить від тривалості роботи за добу; при однозмінній роботі $k_{zm} = 1$.

$$k_e = 1 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1 = 1,875.$$

2. Попередньо приймаємо ланцюг однорядний привідний роликів нормальної серії за ГОСТ 13568-75 з кроком $t = (8,0 \dots 63,5)$ мм = 19,05 мм.

3. Приймаємо число зубців зірочок $z = 13$.

4. Розрахунковий крок ланцюга:

$$t_p \geq 183 \sqrt[3]{\frac{10k_e N}{S_t [p] z n k_m}}.$$

Для ланцюга ПР за ГОСТ 13568-75:

$$S_t = 0,28;$$

$[p] = 34,3$ МПа – допустимий питомий тиск в шарнірах ланцюга при $t = 19,05$

мм та $n = 57$ об./хв.;

$k_m = 1$ – коефіцієнт, який враховує число рядів ланцюга.

$$t_p = 183 \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 1,875 \cdot 0,25}{0,28 \cdot 34,3 \cdot 13 \cdot 57 \cdot 1}} \approx 16 \text{ мм.}$$

З конструктивних міркувань приймаємо $t_p = 19,05$ мм та вибираємо ланцюг ПР-19.05-3180 з руйнівним навантаженням $Q_{руйн} = 31800$ Н та погонною масою $q = 1,9$ кг/м.

5. Перевірочний розрахунок ланцюгової передачі на запас міцності.

Необхідна умова:

$$n = \frac{Q_{руйн}}{F_{\Sigma}} \geq [n],$$

де $F_{\Sigma} = KF_t + S_{ц} + S_0$;

K – коефіцієнт, який враховує характер передавального навантаження; $K = 1$ – при спокійному навантаженні;

$$F_t = \frac{1000N}{v} \text{ – колова сила, Н;}$$

$$v = \frac{znt}{60 \cdot 1000} \text{ – колова швидкість ланцюга, м/с;}$$

$$v = \frac{13 \cdot 57 \cdot 19,05}{60 \cdot 1000} = 0,24 \text{ м/с;}$$

$$F_t = \frac{1000 \cdot 0,25}{0,24} = 1041,7 \text{ Н;}$$

$S_{ц}$ – натяг від відцентрових сил;

$$S_{ц} = qv^2.$$

При $v \leq 12$ м/с ($0,24$ м/с < 12 м/с) величиною $S_{ц}$ можна знехтувати, тобто $S_{ц} = 0$;

$$S_0 = k_f qga \text{ – величина початкового натягу ланцюга, Н;}$$

$k_f = 6$ – коефіцієнт, який залежить від провисання ланцюга (для горизонтальної передачі);

$a = 0,1143 \text{ м} = 114,3 \text{ мм}$ – міжосьова відстань;

$$S_0 = 6 \cdot 1,9 \cdot 9,81 \cdot 0,1143 = 12,9 \text{ Н};$$

$$F_{\Sigma} = 1 \cdot 1041,7 + 0 + 12,9 \approx 1054,6 \text{ Н};$$

$$n = \frac{31800}{1054,6} = 30,2;$$

$[n]$ – допустимий коефіцієнт запасу міцності.

При частоті обертання $n = 57 \text{ об/хв.}$ та кроку ланцюга $t = 19,05 \text{ мм}$, маємо $[n] = 7$:

$$n \geq [n];$$

$30,2 > 7$ – умова виконується.

6. Перевірочний розрахунок строку служби. Термін служби ланцюга T (год.):

$$T = 5200 \frac{\Delta t k_c \sqrt{z_1} \sqrt[3]{a_t u}}{p^3 \sqrt[3]{v} k_e} \geq T_o,$$

де $T_o = 2000 \text{ год.}$ – очікуваний термін служби;

$\Delta t \leq 3\%$ – допустиме збільшення кроку ланцюга, приймаємо $\Delta t = 3\%$.

$k_c = k_{\text{сп}} / \sqrt{v}$ – коефіцієнт змащування;

$k_{\text{сп}} = 0,15$ – коефіцієнт, який враховує спосіб змащування;

$$k_c = \frac{0,15}{\sqrt{0,24}} = 0,31.$$

Міжосьова відстань виражена в кроках:

$$a_t = \frac{a}{t} = \frac{114,3}{19,05} = 6.$$

Питомий тиск в шарнірах ланцюга:

$$p = \frac{F_t}{S_{\text{оп}}} = \frac{1041,7}{105,8} = 9,8 \text{ МПа},$$

де $S_{\text{оп}} = 105,8 \text{ мм}^2$ – проекція опорної поверхні шарніра.

Отже:

$$T = 5200 \frac{3 \cdot 0,31 \cdot \sqrt{13} \cdot \sqrt[3]{6 \cdot 1}}{9,8 \sqrt[3]{0,24} \cdot 1,875} = 2774,7 \text{ год.};$$

$$T \geq T_0;$$

2774,7 год. > 2000 год. – умова виконується.

7. Геометричний розрахунок зірочок ланцюгової передачі:

міжосьова відстань $a = 114,3$ мм;

число зубців $z = z_1 = z_2 = 13$;

передаточне число: $u = 1$;

Довжина ланцюга виражена в кроках:

$$L_t = \frac{2a}{t} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \left(\frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2 \frac{t}{a};$$

$$L_t = \frac{2a}{t} + z; \quad L_t = \frac{2 \cdot 114,3}{19,05} + 13 = 25.$$

Кут повороту ланок ланцюга на зірочках:

$$\varphi = \frac{360}{z} = \frac{360}{13} = 27^\circ 41' 32''.$$

Діаметр ділильного кола зірочок:

$$D_d = \frac{t}{\sin\left(\frac{180}{z}\right)}; \quad D_d = \frac{19,05}{\sin\left(\frac{180}{13}\right)} = 79,6 \text{ мм.}$$

7. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ МАРШРУТ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

7.1. Розробка технологічного маршруту виготовлення деталі - зірочка

Машинобудування є однією з ключових галузей промисловості, оскільки забезпечує всі сектори національного господарства різноманітними машинами. Рівень розвитку машинобудівної галузі прямо впливає на темпи зростання промисловості загалом.

Основні тенденції розвитку машинобудування:

- збільшення потужності та продуктивності машин;
- підвищення швидкості та рівномірності роботи механізмів;
- покращення коефіцієнта корисної дії (ККД);
- автоматизація виробничих процесів;
- забезпечення високої точності функціонування обладнання;
- впровадження стандартизації та взаємозамінності складових;
- підвищення зручності та безпеки обслуговування;
- зменшення габаритів (компактність);
- дотримання принципів технічної етики.

Основні поняття машинобудівного виробництва:

Об'єктом машинобудування виступає **виріб**, що є результатом завершального етапу виробничого процесу.

- **Деталь** – це окремий виріб, виготовлений без застосування складальних операцій.
- **Складальна одиниця** – виріб, частини якого з'єднуються між собою під час складання на виробничому підприємстві.

Одним із важливих напрямів модернізації виробництва є застосування високотехнологічного обладнання, зокрема верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК). Водночас оптимізація виробництва включає аналітичні

розрахунки припусків та режимів різання, що дозволяє зменшити собівартість продукції та скоротити витрати металу.

Відновлення промислового потенціалу сьогодні відбувається на новому якісному рівні, ключовою ознакою якого є активне впровадження комп'ютерних технологій.

7.2. Характеристика та аналіз деталі на технологічність

Оцінка технологічності конструкції деталі може здійснюватися як у якісній, так і у кількісній формі:

- **Якісна оцінка** базується на професійному досвіді виконавця й передбачає узагальнений аналіз конструкції шляхом відповіді на низку типових запитань.
- **Кількісний аналіз** передбачає обчислення основних і додаткових показників технологічності. У разі відсутності базового варіанту конструкції визначаються лише додаткові показники. Кількісна оцінка набуває значення тоді, коли має безпосередній вплив на удосконалення технологічності виробу.

Технологічний аналіз деталей типу «Зірочка»

Деталі типу «Зірочка» мають характерні особливості конструкції та обробки.

Основними технологічними завданнями при виготовленні таких деталей є:

1. Забезпечення доступності інструмента для входу та виходу, а також зручності обробки;
2. Оптимізація розмірів оброблюваних поверхонь;
3. Досягнення високої точності посадкового отвору та отворів для полегшення маси.

Конструктивні та виробничі особливості

Для втулок, що не належать до масового виробництва, технічні умови визначає конструктор з урахуванням умов експлуатації у складі вузла.

Основні види заготовок – **литво та штампування**.

На початкових етапах обробки **як** технологічні бази використовуються необроблені циліндричні поверхні й торці. Після обробки саме ці поверхні слугують базами для наступних операцій. Деталь типу зірочки має просту просторову геометрію, і всі її поверхні підлягають механічній обробці згідно з кресленням.

Вибір і обґрунтування технологічних баз

Базування – це надання заготовці фіксованого положення відносно інструмента або елементів верстата. Для цього необхідно позбавити заготовку **шести ступенів вільності** у системі трьох взаємно перпендикулярних координатних осей.

Правильний вибір технологічних баз має вирішальне значення для якості обробки. Невдалий вибір може призвести до:

- відхилення положення деталі відносно інструмента,
- порушення точності обробки,
- нерівномірності припусків,
- зниження якості продукції або браку.

Принципи вибору технологічних баз

Для забезпечення точності та ефективності обробки слід дотримуватись таких принципів:

1. **Використання опорних поверхонь великої протяжності** – для досягнення високої стійкості та точності кутового положення;
2. **Вибір баз за функціональним призначенням** – базами мають бути саме ті поверхні чи осі, відносно яких визначається положення інших поверхонь;
3. **Принцип постійності баз** – по можливості слід зберігати одні й ті самі бази на всіх етапах обробки;
4. **Максимізація обробки за одне встановлення** – це знижує похибки та скорочує час операцій;

5. Штучне збільшення площі баз або створення спеціальних баз у разі необхідності;
6. Формування постійних баз на перших операціях, що слугуватимуть основою для подальших технологічних переходів;
7. Чорнові бази на перших операціях можуть формуватися з необроблених або майбутніх оброблюваних поверхонь, які повинні мати гладку структуру для забезпечення стабільності.

7.3. Матеріал деталі та його характеристика

В даному дипломному проекті використовується деталь «Зірочка», яка виготовлена із сталі 30ХГСА.

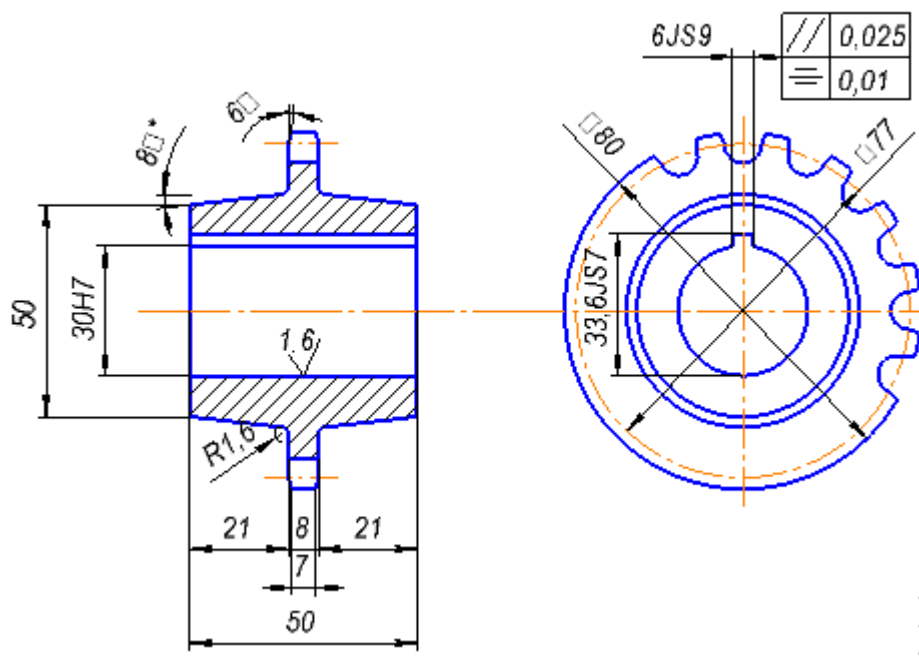


Рис. 7.1 Деталь «Зірочка»

Сталь 30ХГСА – це ударна конструкційна сталь. Маловуглицеві сталі застосовують для виготовлення деталей, що піддаються ударним навантаженням.

Таблиця 1.

Хімічний склад матеріалу заготовки зірочки

Матеріал	C%	Si%	Mn%	S%	P%	Ni%	Cr%
Сталь 30ХГСА	0,22-0,30	0,17-0,37	0,5-0,8	0,04	0,035	0,3	0,25

Заготовка зі сталі 30ХГСА задовольняє всі вимоги механічних властивостей до деталі - міцності та жорсткості.

Таблиця 2.

Характеристика механічних властивостей

Матеріал	Рекомендовані режими термічної обробки	Характеристики механічних властивостей				
		δ_B кгс/мм ²	Δ	ψ	a	НВ
Сталь 30ХГСА	Закалка 870°-890° відпуск 610°-630°	50	22	33	3,5	131-207

7.4. Визначення припусків на механічну обробку деталі

Дослідно-статистично на поверхню 6JS9.

Приймаємо:

Заготовка – литво; маса 0,58 кг; технологічний маршрут обробки 6JS9: протягнути 6JS9 – оскільки протяжка має декілька зон протягування та калібрування. Отримаємо величини Rz і T:

Rz=	200,	h=	200,	точн.	JS 14
Rz=	50,	h=	50,	точн.	JS 11
Rz=	20,	h=	10,	точн.	JS 9

Таблиця 3

Переходи обробки елементарних поверхонь	Елементи припуску (мкм)				Розрах. припуск 2Zmin	Розрах. розмір (мм)	Допуск (мкм) T	Граничні розміри		Граничні припуски	
	Ra	H	d	Ey				min	max	min	max
Заготовка	25	20	63	-		6,036	250	6	6,063		

Протягнути	5	50	23	50	1731	6,067	160	6	6,016	1731	1821
Калібрувати	2,5	10	9	50	310	6,077	62	6	6,1	310	408

Z_{min} Z_{max}
2203 2414

Σ значення просторових відхилень:

$$\rho = \sqrt{\rho_{\text{см}}^2 + \rho_{\text{ек}}^2} = \sqrt{1,3^2 + 20^2} = 20 \text{ мкм};$$

$$\rho_{\text{см}} = 1,2 \text{ мкм}; \rho_{\text{ек}} = 15 \text{ мкм}.$$

Величина остаточної просторової похибки після:

чорнвої обробки

$$\rho_{\text{чорн}} = 0,02\rho_{\text{заг}} = 0,02 \cdot 20 = 0,4 \text{ мкм};$$

чистої обробки

$$\rho_{\text{чист}} = 0,005\rho_{\text{чорн}} = 0,005 \cdot 0 = 0 \text{ мкм}.$$

Похибка закріплення при умові зажиму заготовки по зовнішнім площинам в лещатах з пневматичним приводом $\varepsilon = 110 \text{ мкм}$, $\varepsilon' = 50 \text{ мкм}$.

Мінімальний припуск:

протягнути

$$2Z_{\text{min}} = (Rz + T + \sqrt{\rho_{\text{заг}}^2 + \varepsilon^2}) = 2(40+60+\sqrt{20^2 + 50^2}) = 292 \text{ мкм};$$

калібрувати

$$2Z_{\text{min}} = (Rz + T + \sqrt{\rho_{\text{заг}}^2 + \varepsilon^2}) = 2(50+40+\sqrt{0^2 + 50^2}) = 280 \text{ мкм}.$$

Графа розрахунковий розмір заповнюється починаючи з кінцевого переходу з розміру по кресленню. Послідовно вираховуємо розрахунковий мінімальний припуск кожного технологічного переходу. Маючи розмір по кресленню 6,025 мм:

$$Z_{\text{min}} = Z_{\text{min } i-1} - Z_{\text{min } i}.$$

Значення допусків кожного переходу приймають по таблицям допусків в залежності з якітетом точності:

для протягування JS12 = 180 мкм;

для калібрування JS9 = 43 мкм.

Графа 10 заповнюється по розрахункам розмірів, заокруглені до точності допуску.

Найменші розміри отримують з найбільших попередніх розмірів розрахунком допусків відповідних переходів:

$$Z_{\max} = Z_{\max i-1} - Z_{\max i}.$$

Мінімальне значення припуску Z_{\min} дорівнює різниці найбільших граничних відхилень та попередніх переходів. Z_{\max} дорівнює різниці найменших граничних розмірів.

Розраховуємо суму мінімальних і максимальних граничних припусків

$$Z_{\min} = Z_{\min 1} + \dots + Z_{\min N} = 838 \text{ мкм};$$

$$Z_{\max} = Z_{\max 1} + \dots + Z_{\max N} = 1000 \text{ мкм}.$$

Розраховуємо поле допуску розміру:

$$H_{12} - H_9 = 162 \text{ мкм}.$$

Робимо перевірку вірності розрахунку припусків:

$$H_{12} - H_9 = Z_{\max} - Z_{\min};$$

$$162 = 162.$$

Оскільки перевірка виконана, робимо висновок, що припуск розрахований вірно.

7.5. Розрахунок режимів різання

Токарна операція

Перехід 10.1 Підрізати торець 1.

Загальна глибина різання при обробці заданої поверхні $t = 52 - 50 = 2$ мм.

Подача з табл. № 17 $S = 0,75 \dots 1$ мм/об. Звіряємо з паспортними даними верстата і приймаємо $S = 0,75$ мм/об.

Визначаємо швидкість різання з табл. № 20:

$$V = \frac{C_V}{T^{0,2} t^{0,15} S^{0,35}} = \frac{292}{60^{0,2} \cdot 2^{0,15} \cdot 0,75^{0,2}} = 131,41 \text{ м/хв}.$$

Потрібна частота обертів шпинделя верстата:

$$n_B = \frac{1000V}{\pi d_3} = \frac{1000 \cdot 131,41}{3,14 \cdot 50} = 837,9 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо ближчу меншу частоту обертів шпинделя верстата $n_B = 1000$ об/хв. Дійсна швидкість різання при таких обертах шпинделя:

$$V_D = \frac{\pi d n_B}{1000} = \frac{3,14 \cdot 50 \cdot 1000}{1000} = 157,8 \text{ м/хв.}$$

Розрахункова довжина оброблення для переходу:

$$L = l_{\text{дет}} + l_1 + l_2 + l_3 = 50 + 2 + 2 = 54 \text{ мм,}$$

де $l_{\text{дет}} = 50$ мм – довжина деталі; $l_1 = 2$ мм – підвід інструменту; $l_2 = 2$ мм – врізання інструменту; $l_3 = 0$ – перебіг інструменту.

Основний час на виконання переходу:

$$t_0 = \frac{L}{n_B S} = \frac{54}{1000 \cdot 0,75} = 0,072 \text{ хв.}$$

Допоміжний час на виконання переходу:

$$t_d = t_1 + t_2 + t_3 = 0,11 + 0,12 + 0,7 = 0,93 \text{ хв.,}$$

де $t_1 = 0,11$ хв – допоміжний час, пов'язаний безпосередньо з переходом для поперечного обточування з установленим різцем по упору (табл. 26); $t_2 = 0,06 + 0,06 = 0,12$ хв. – допоміжний час на зміну частоти обертів шпинделя і подачі; $t_3 = 0,7$ хв. – заміна різця.

Перехід 010.2 Точити пов. 2.

Нехтуючи припуском під шліфування, приймаємо глибину різання:

$$t = \frac{82 - 80}{2} = 1 \text{ мм.}$$

Подача табл. № 17 $S = 0,75$ мм/об. Звіряємо з паспортними даними верстата і приймаємо $S_B = 0,75$ мм/об.

Визначаємо швидкість різання за табл. № 20:

$$V = \frac{C_V}{T^{0,2} t^{0,15} S^{0,35}} = \frac{292}{60^{0,2} \cdot 2^{0,15} \cdot 0,75^{0,35}} = 165,6 \text{ м/хв.}$$

Потрібна частота обертів шпинделя верстата:

$$n_B = \frac{1000V}{\pi d_3} = \frac{1000 \cdot 165,6}{3,14 \cdot 80} = 656,4 \text{ об./хв.}$$

Приймаємо ближчу меншу частоту обертів шпинделя верстата $n_B = 750$ об./хв. Дійсна швидкість різання при таких обертах шпинделя:

$$V_D = \frac{\pi d n_B}{1000} = \frac{3,14 \cdot 80 \cdot 750}{1000} = 145,2 \text{ м/хв.}$$

Розрахункова довжина оброблення для переходу:

$$L = l_{\text{дет}} + l_1 + l_2 + l_3 = 10 + 1 + 2 = 13 \text{ мм,}$$

де $l_{\text{дет}} = 10$ мм – довжина деталі; $l_1 = 2$ мм – підвід інструменту; $l_2 = 1$ мм – врізання інструменту; $l_3 = 0$ – перебіг інструменту.

Основний час на виконання переходу:

$$t_0 = \frac{L}{n_B S} = \frac{13}{750 \cdot 0,75} = 0,069 \text{ хв.}$$

Допоміжний час на виконання переходу:

$$t_D = t_1 + t_2 + t_3 = 0,11 + 0,12 = 0,23 \text{ хв.,}$$

де $t_1 = 0,11$ хв. – допоміжний час, пов'язаний безпосередньо з переходом для поперечного обточування з установленням різця по упору; $t_2 = 0,06 + 0,06 = 0,12$ хв. – допоміжний час на зміну частоти обертів шпинделя і подачі. t_3 – заміна різця.

Протягування 30

Перехід 30.1. Протягнути паз 6JS9, $l = 50$ мм.

Нехтуючи припуском під шліфування, приймаємо глибину різання $t = 1 \dots 3$ мм.

Подача табл. № 17 $S = 0,75 \dots 1$ мм/с. Звіряємо з паспортними даними верстата і приймаємо $S = 0,8$ мм/с.

Визначаємо швидкість різання за табл. № 20:

$$V = \frac{C_v}{T^{0,2} t^{0,15} S^{0,35}} = \frac{243}{60^{0,2} \cdot 1,5^{0,15} \cdot 0,8^{0,35}} = 112,54 \text{ м/хв.}$$

Дійсна швидкість різання при протягуванні визначається розрахунковою довжиною переходу:

$$L = l_{\text{дет}} + l_1 + l_2 + l_3 = 50 + 1,05 + 17 = 68,05 \text{ мм,}$$

де $l_{\text{дет}} = 50 \text{ мм}$ – довжина деталі; $l_1 = 17 \text{ мм}$ – хвостовик інструменту;

$l_2 = 1,05 \text{ мм}$ – врізання інструменту; $l_3 = 0$ – перебіг інструменту.

Основний час на виконання переходу:

$$t_0 = \frac{L}{n_p S} = \frac{68}{112,54} = 0,7 \text{ хв.}$$

Допоміжний час на виконання переходу:

$$t_d = t_1 + t_2 + t_3 = 0,11 + 0,12 = 0,23 \text{ хв.,}$$

де $t_1 = 0,11 \text{ хв.}$ – допоміжний час, пов'язаний безпосередньо з переходом для поперечного обточування з установленням різця по упору;

$t_2 = 0,06 + 0,06 = 0,12 \text{ хв.}$ – допоміжний час на зміну частоти обертів шпинделя і подачі; t_3 – зняття протяжки.

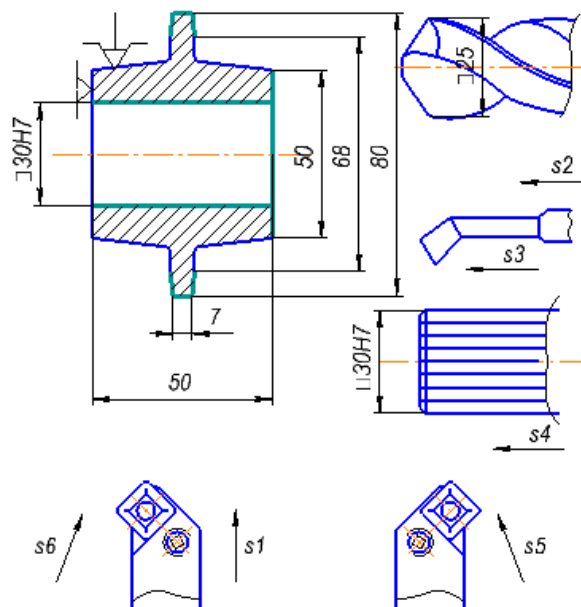


Рис.7.2 Технологічні операції виготовлення деталі - зірочка

Фрезерна операція

020 Фрезерувати зубці $z = 10$, витримавши розмір $R = 25$.

Глибина – $t = 25$ мм, ширина $B = 25$ мм.

Визначити геометричні дані інструменту (довідник):

Модульна фреза: $D_{\phi} = 60$ мм; число зубців $Z = 25$ шт.; $S_z = 0,08 \dots 0,15$ мм/зуб, приймаємо $S_z = 0,1$ мм/зуб.

Вибираємо емпіричну формулу (критичної) швидкості різання сталі (табл. 28):

$$V_p = \frac{53,0 \cdot D_{\phi}^{0,45}}{T^{0,33} t^{0,5} S_z^{0,5} B^{0,1} Z^{0,1}} = \frac{53,0 \cdot 60^{0,45}}{60^{0,33} \cdot 3,75^{0,5} \cdot 0,1^{0,5} \cdot 6^{0,1} \cdot 4^{0,1}} = 36,5 \text{ м/хв},$$

де $T = 60$ хв. – стійкість фрези (табл. 35).

Розрахункова частота обертання шпинделя:

$$n_p = \frac{1000 V_p}{\pi D_{\phi}} = \frac{1000 \cdot 36,5}{3,14 \cdot 60} = 193,7 \text{ об./хв.}$$

Узгодивши n_p з паспортними характеристиками верстату 6P13, приймаємо:

$$n_b = 250 \text{ об./хв.}$$

Тоді дійсна швидкість обертання:

$$V_d = \frac{\pi D_{\phi} n_b}{1000} = \frac{3,14 \cdot 60 \cdot 250}{1000} = 18,84 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо хвилинну подачу:

$$S_{xb} = S_z n_b Z;$$

$$S_{xb} = 0,1 \cdot 25 \cdot 250 = 625 \text{ мм/хв.}$$

Із паспортних характеристик верстату 6P13 приймаємо $S_{xb} = 400$ мм/хв.

Розрахункова довжина обробки:

$$L_p = L_d + L_1 + L_2;$$

$$L_p = 9 + 2 + 14 = 25 \text{ мм},$$

де $L_1 = 2 \dots 3$ мм – підвід інструменту; $L_2 = 9$ мм – врізання і перебіг залежить від типу фрези.

Основний час на перехід:

$$T_o = L_p/S_{хв}; \quad T_o = 25/400 = 0,06 \text{ хв.}$$

Допоміжний час:

$$T_d = t_y + t_d; \quad t_y = t_{y1} + t_{y2},$$

де $t_{y1} = 0,3$ хв. (табл. № 37) – час на установлення деталі масою до 0,5 кг з кріпленням гайкою за допомогою ключа; $t_{y2} = 0,06$ хв. (табл. № 37) час на очищення місця установки деталі від стружки;

$$t_y = 0,3 + 0,06 = 0,36 \text{ хв.}$$

Допоміжний час, пов'язаний з переходом, для верстатів з довжиною стола 1600 мм, автоматичним переміщенням, установленою на розмір, $t_d = 0,09$ хв. (табл. № 38). Тоді

$$T_d = 0,36 + 0,09 = 0,45 \text{ хв.}$$

Оперативний час: $T_{оп} = T_o + T_d;$

$$T_{оп} = 0,06 + 0,45 = 0,51 \text{ хв.}$$

Штучний час: $T_{шт} = T_{оп} + T_{об} + T_{пер},$

де $T_{об} = 0,045T_{оп}$ і $T_{пер} = 0,06T_{оп}$ – відповідно, допоміжний час на обслуговування робочого місця і на відпочинок та природні потреби, що беруться у відсотках від оперативного часу (табл. № 36):

$$T_{шт} = 0,51 + 0,045 \cdot 0,51 + 0,06 \cdot 0,51 = 0,56 \text{ хв.}$$

Калькуляційний час:

$$T_k = T_{шт} + \frac{T_{п.з.}}{n},$$

де $T_{пз}$ – підготовчо-завершувальний час, що згідно з табл. № 36 визначається як сума часу налагодження верстата (при кріпленні в лещатах з двома болтами кріплення – 19,3 хв.) та на одержання наряду, інструментів, пристроїв – 7хв.:

$$T_{пз} = 19,3 + 7 = 26,3 \text{ хв.}$$

Тоді

$$T_k = 0,56 + 26,3/150 = 0,73 \text{ хв.}$$

Норма виробітку (кількість деталей за годину):

$$N = \frac{60}{T_k}$$

За формулою визначаємо

$$N = 60/0,73 \approx 82 \text{ деталей.}$$

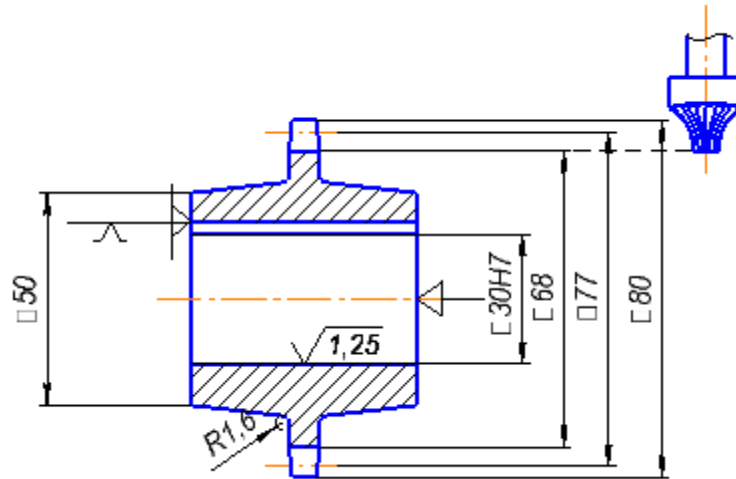


Рис.7.3 Фрезерування зубів зірочки

7.6. Конструювання, розрахунок та принцип дії верстатного пристосування для протягувальної операції

Згідно завдання для операції 015 проектуємо пристосування для протягувальної операції.

Принцип дії пристосування: деталь розміщується на точній площині, в яку вставлений адаптер для протягувального інструменту з посадкою з натягом.

Поверхня або опорна база закріплена в основу, на яку розміщується на верстаті за допомогою пальців і кріпиться за рахунок УЗП. Протяжка виконує центрування заготовки та необхідне притискання за рахунок великих сил стискання.

Розрахунок такого пристосування зводиться до підбору подачі на верстаті СГП12 яку вибираємо як 0,06 м /с.

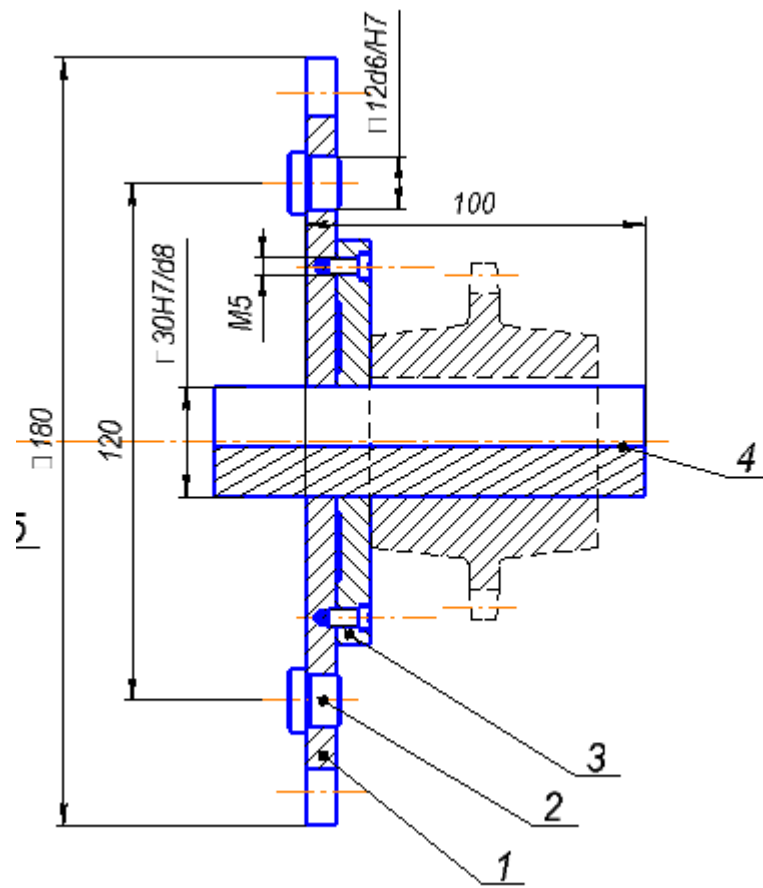


Рис. 7.4 Верстатний пристрій для протягувальної операції

8. ВИМОГИ ЩОДО МОНТАЖУ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕМОНТУ

8.1. Загальні положення

Машина для скріплення транспортних пакетів розтягнутою полімерною плівкою є складним електромеханічним обладнанням, що поєднує механічні, пневматичні та електронні вузли. Її ефективна і безпечна експлуатація вимагає відповідального ставлення до монтажу, обслуговування та ремонту. Усі технічні операції повинні виконуватись виключно підготовленим персоналом, який має відповідну кваліфікацію, знає конструкцію обладнання та дотримується вимог техніки безпеки.

8.2. Вимоги до монтажу

Монтаж машини передбачає низку етапів, від дотримання яких залежить її стабільна робота. Перш за все необхідно підготувати тверду, міцну і горизонтально вирівняну основу для встановлення обладнання. Далі здійснюється підключення машини до електромережі та пневматичної системи згідно з технічними характеристиками.

Наступним кроком є встановлення основних конструктивних елементів — рами, колон, механізмів захоплення і притискання, відповідно до технічної документації. Після збирання виконується калібрування й перевірка точності взаємного розташування вузлів, а також узгодження роботи системи транспортування. Завершальним етапом монтажу є пробний запуск у тестовому режимі без навантаження, що дозволяє переконатися в коректній роботі всіх механізмів.

8.3. Умови експлуатації

Для надійної та тривалої експлуатації машини необхідно забезпечити відповідні умови навколишнього середовища. Рекомендований температурний режим становить від +5 до +40 °С, а вологість повітря — не більше 80%. Робоча зона повинна бути чистою, без надмірного пилу та забруднення, що можуть потрапити до механізмів.

Під час експлуатації слід регулярно перевіряти справність вузлів фіксації, притискання, обертання і розмотування плівки. Особлива увага приділяється стану пневмосистеми та електроприводів. Важливо дотримуватися графіку технічного обслуговування та своєчасно виконувати мастильні й профілактичні роботи.

8.4. Технічне обслуговування

Технічне обслуговування машини має проводитися у відповідності до встановленого регламенту. Щодня необхідно здійснювати візуальний огляд вузлів, очищення від пилу і залишків плівки, перевірку справності датчиків і наявності плівки.

Щотижневе обслуговування передбачає перевірку стану приводних вузлів, роликів, напрямних, а також контроль робочого тиску у пневмосистемі. Щомісячно виконуються глибші діагностичні заходи — перевірка люфтів у каретках, герметичності з'єднань, стабільності фіксації. Щоквартально проводиться ревізія електронного блоку, пускових реле, датчиків безпеки й керуючих елементів.

8.5. Ремонт і заміна вузлів

У процесі експлуатації виникає необхідність у заміні або ремонті окремих елементів. Зношення підлягають затискачі, ножі, рулоноутримувачі, які при пошкодженні потребують негайної заміни. Пневмоциліндри та мотор-редуктори можуть втрачати продуктивність — у такому випадку проводиться їх діагностика й заміна.

У разі деформацій або втрати геометричної точності ремонтуються або замінюються каретки та елементи рами. Збої у програмному забезпеченні або електроніці потребують втручання фахівців та перевірки електронних модулів. Після завершення будь-якого виду ремонту обов'язково проводиться тестування обладнання в холостому режимі.

8.6. Найбільш поширені причини несправностей

Серед типових причин несправностей машини найпоширенішими є: відсутність або несвоєчасне змащення механізмів, накопичення забруднень на направляючих елементах, природне зношення затискачів, ножів, притискної плити. Часто причиною порушень роботи є нестабільність пневмосистеми, зумовлена витоками повітря або засміченням каналів.

До несправностей також призводять порушення калібрування датчиків, їх фізична несправність, а також використання неякісної або невідповідної плівки. Крім того, значної шкоди може завдати некваліфіковане втручання, що порушує синхронізацію роботи вузлів.

8.7. Основні наслідки типових несправностей

Результатом перелічених несправностей може бути нерівномірне, недостатнє або нестійке обгортання пакета. Це, у свою чергу, призводить до пошкодження продукції або пакування, призупинення роботи, необхідності ручного втручання, зниження продуктивності, перевитрати плівки й електроенергії.

У крайніх випадках можлива поява браку або необхідність повторного виконання пакувального циклу, що підвищує витрати підприємства і знижує загальну ефективність виробництва.

8.8. Висновки щодо профілактики

Щоб запобігти виникненню несправностей та забезпечити безперебійну роботу машини, слід систематично дотримуватися вимог профілактики. Основою надійної експлуатації є регулярне технічне обслуговування відповідно до графіка, суворе дотримання інструкцій, використання лише рекомендованих витратних матеріалів.

Необхідно підтримувати чистоту робочої зони та механізмів, проводити регулярне навчання операторів, оновлювати їхні знання та практичні навички. Після кожного втручання в конструкцію машини чи заміни вузлів слід проводити повне налагодження та тестування.

Таким чином, дотримання наведених рекомендацій дозволить підвищити надійність і довговічність обладнання, зменшити ризик аварійних зупинок, забезпечити високу якість пакування та стабільність технологічного процесу.

9. СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ

9.1. Функціональна схема роботи машини для скріплення транспортних пакетів

Система управління розробленої машини побудована на основі принципів автоматичного керування, контролю та сигналізації технологічних параметрів, що забезпечують стабільність і безпеку процесу обгортання вантажу полімерною плівкою. Серед основних контрольованих параметрів — положення пакета, обертання рами, натяг плівки, положення кареток, спрацювання затискачів, притискного механізму, температурного та механічного стану вузлів.

Цикл роботи машини реалізується за наступним алгоритмом: транспортний пакет подається роликівим конвеєром до зони обмотування, де він фіксується упором і притискається верхньою плитою. Після цього активується обертання П-подібної рами, на якій рухаються дві каретки з рулонами плівки. Обмотування виконується синхронно, знизу вгору і навпаки, із забезпеченням рівномірного натягу та контролем початку й завершення циклу. Завершальна фаза включає розгладжування, відрізання й термічне фіксування плівки. Всі дії керуються з центральної панелі управління, яка містить інтерфейс введення параметрів та систему індикації.

9.2. Засоби автоматизації та контролю

До складу системи управління входять наступні пристрої та виконавчі механізми:

- **Фотоелектричні датчики позиціонування пакета**, що розташовані на вході в зону обмотки. Вони подають сигнал на зупинку конвеєра та активацію упорного механізму.
- **Датчики положення кареток**, що фіксують верхню та нижню точки ходу та забезпечують зворотний зв'язок для контролера щодо завершення обмотування.

- **Сенсори натягу плівки**, інтегровані в механізм подачі, які сигналізують про обрив або слабкий натяг плівки.

- **Кінцеві вимикачі**, встановлені на кожному етапі механічної дії (притискач, затискач, ріжучий вузол), для запобігання передчасним або некоректним діям механізмів.

- **Пневморозподільники з соленоїдними клапанами**, які керують рухом пневмоциліндрів, зокрема притискної плити, затискачів плівки та ножа.

- **Система захисту приводу**, яка включає реле перевантаження і аварійну сигналізацію при блокуванні або перевищенні номінального навантаження.

- **Панель оператора** із сенсорним інтерфейсом для введення робочих параметрів (кількість витків, швидкість обертання рами, напруга плівки) та контролю стану вузлів у реальному часі.

9.3. Алгоритм керування

1. Оператор активує головний тумблер живлення та виконує запуск через панель управління.

2. При надходженні пакета в зону обмотки фотоелектричний датчик подає команду на зупинку конвеєра та підняття фіксуєчого упору.

3. Одночасно активується пневматичний притиск зверху, який стабілізує вантаж.

4. Вмикається обертання рами, в ході якого каретки з плівкою починають рух по напрямних, забезпечуючи рівномірне обгортання.

5. Після досягнення кінцевих точок ходу, система зчитує положення кареток і активує механізм фіксації плівки.

6. Вмикається вузол розгладжування й відрізання, який за допомогою пневмоциліндра позиціонується та виконує завершення обмотки.

7. Після завершення циклу обмотування притискна плита піднімається, упор опускається, і конвеєр подає наступний пакет.

8. У разі виявлення несправностей (відсутність плівки, перевантаження, відхилення положення пакета) спрацьовує система сигналізації та зупинка з індикацією причини.

9.4. Система сигналізації та індикації

Для підвищення зручності обслуговування та безпеки використовується світлова та звукова сигналізація. Зелений індикатор повідомляє про нормальну роботу, жовтий – про необхідність втручання (наприклад, кінець плівки), червоний – про аварійну зупинку. Панель оператора також відображає поточні параметри — кут обертання рами, кількість витків, стан кареток та плівки.

У разі виникнення помилок, система автоматично блокує механізми, зберігаючи останній статус для зручності відновлення процесу. Можливе підключення машини до SCADA-системи через інтерфейси RS-485 або Ethernet для дистанційного моніторингу.

Висновки

Запропонована система управління забезпечує повністю автоматизований цикл обгортання вантажу з мінімальним втручанням оператора. Використання датчиків зворотного зв'язку, надійних виконавчих механізмів та інтелектуальної логіки керування дозволяє досягти високої точності, повторюваності та безпечності кожного пакувального циклу. Такий підхід значно підвищує ефективність обладнання, знижує ймовірність браку та забезпечує стабільну якість обмотки, що особливо важливо для підприємств з великим обсягом пакувальних операцій.

10. ЗАХОДИ ЩОДО ОХОРОНИ ПРАЦІ, ЕКОЛОГІЇ

10.1. Загальні положення

Організація безпечних умов праці на підприємстві, де експлуатується машина для скріплення транспортних пакетів розтягнутою полімерною плівкою, є важливою складовою виробничого процесу. Усі роботи, пов'язані з монтажем, експлуатацією, налагодженням та технічним обслуговуванням обладнання, повинні виконуватися відповідно до чинних нормативно-правових актів України у сфері охорони праці. Основним документом, що регламентує відносини між роботодавцем і працівником у цій сфері, є Закон України «Про охорону праці». Додатково враховуються вимоги санітарно-гігієнічних норм, технічних регламентів безпеки машин та обладнання, а також галузевих стандартів.

Машина, що використовується для обмотування транспортних пакетів, є джерелом потенційної небезпеки. Вона містить механічно активні елементи, пневматичні приводи, електрообладнання та елементи з підвищеною температурою (наприклад, вузол термозварювання плівки). Внаслідок цього виникають ризики, пов'язані з ураженням струмом, механічним травмуванням, опіками, защемленням, а також шкідливим впливом шуму, вібрацій і підвищеної температури. Усі ці фактори мають бути проаналізовані та усунуті шляхом впровадження відповідних технічних і організаційних заходів.

Безпека праці має забезпечуватися не лише на рівні обладнання, а й у загальній організації робочого процесу. Працівники повинні мати чітко визначені посадові інструкції, що регламентують їхні дії у штатних та аварійних ситуаціях. Крім того, роботодавець зобов'язаний забезпечити працівників засобами індивідуального захисту та навчити їх правильному поводженню з ними.

10.2. Організаційні заходи

До початку роботи з обладнанням персонал повинен пройти вступний інструктаж з охорони праці. Такий інструктаж проводиться за спеціальною програмою і є обов'язковим для всіх без винятку. Після проходження вступного інструктажу працівник має пройти первинний інструктаж на робочому місці. Під час цього інструктажу оператор знайомиться з конкретними умовами експлуатації машини, її елементами, пусковими пристроями, органами керування, можливими небезпеками та способами їх уникнення.

Крім вступного та первинного, також проводиться повторний, позаплановий та цільовий інструктаж. Повторний інструктаж проводиться не рідше одного разу на пів року для всього персоналу. Позаплановий — у разі зміни умов праці, введення нового обладнання, змін у технологічному процесі або після нещасного випадку. Цільовий інструктаж проводиться перед виконанням разових робіт, під час ліквідації аварій або виконання робіт за нарядом-допуском.

Робоче місце оператора повинне бути обладнане з урахуванням ергономічних вимог. Висота робочої поверхні, розташування панелі керування, освітлення, температура та вентиляція повинні відповідати нормам ДСН та ДСанПіН. Робоча поза працівника має бути зручною, що зменшує втомлюваність і підвищує рівень уваги.

10.3. Вимоги до конструкції машини

Конструкція машини передбачає наявність захисних елементів, що запобігають безпосередньому контакту оператора з рухомими або гарячими частинами. Всі приводи та передавальні механізми мають бути захищені кожухами. Захисні екрани повинні бути виготовлені з міцного прозорого матеріалу, що дозволяє візуально контролювати стан обладнання, не знімаючи огорожі.

На кожній рухомій кришці встановлено кінцевий вимикач, який перешкоджає запуску машини при відкритому захисному кожусі. Такий принцип блокує подачу живлення до виконавчих механізмів, тим самим запобігаючи випадковому вмиканню обладнання. Додатково система управління оснащена аварійною кнопкою «Стоп», яка миттєво знеструмлює усі вузли та активує гальмування приводів.

10.4. Безпека під час роботи

Оператор має право розпочати роботу лише після проведення щозмінного огляду обладнання. Перед включенням машини необхідно впевнитися у відсутності сторонніх предметів у зоні обмотування, на транспортних конвеєрах та поблизу кареток. Перевіряється наявність плівки у рулоні, правильність її заправлення, натяг, справність затискачів і приводу рами.

Під час роботи заборонено здійснювати будь-які регулювання або ручні дії в зоні обертання рами. Усі переміщення пакета повинні здійснюватися автоматично — вручну дозволяється лише у випадку повного відключення живлення. Заборонено змащувати або очищати вузли під час роботи, проводити ремонтні дії без наряду-допуску та без відключення електроживлення.

У разі аварійної зупинки працівник повинен негайно вимкнути живлення, доповісти керівництву та не вживати жодних самостійних дій до прибуття інженера або електромеханіка.

10.5. Засоби індивідуального захисту

Для всіх осіб, які експлуатують або обслуговують машину, передбачене використання індивідуальних засобів захисту. До обов'язкових ЗІЗ належать: спецодяг (халат або комбінезон), антиковзне взуття, бавовняні або гумові рукавички (залежно від характеру роботи), захисні окуляри при роботі з пневмоприводами або зварювальним вузлом.

У разі підвищеного шумового навантаження рекомендується використовувати протишумні навушники або беруші. Для осіб, які здійснюють обслуговування пневмосистем, обов'язковим є застосування захисту обличчя. Усі ЗІЗ повинні відповідати стандартам ДСТУ, мати відповідне маркування та проходити регулярну перевірку.

10.6. Екологічні заходи

Машина для обмотування вантажу розтягнутою полімерною плівкою є відносно безпечним з екологічної точки зору обладнанням. Під час її роботи не утворюються токсичні гази, не викидаються забруднюючі речовини у повітря або воду. Тим не менше, слід передбачити належну утилізацію використаної плівки та обрізків, що накопичуються в процесі пакування.

Виробниче приміщення має бути обладнане контейнерами для збору полімерних відходів. У подальшому ці залишки передаються на підприємства, що займаються вторинною переробкою пластмас. Утилізація шляхом спалювання категорично заборонена, оскільки призводить до викиду токсичних речовин.

Щоб зменшити кількість відходів, рекомендовано використовувати плівку з підвищеною розтяжністю, що дозволяє скорочувати її витрати без шкоди для якості обмотки. Оператори мають бути поінформовані про методи зменшення перевитрат, налаштування оптимального натягу та кількості витків плівки.

10.7. Вимоги до мікроклімату та гігієни

Робота оператора повинна проводитися у приміщенні з відповідним мікрокліматом. Температура повітря має підтримуватись у межах від +16 до +24 °С. Вологість повітря не повинна перевищувати 75%. У разі підвищеної температури (в літній період) необхідно забезпечити роботу систем вентиляції або кондиціонування. Вентиляція має бути припливно-витяжною з добовим повітрообміном не менше 3-кратного обсягу приміщення.

Освітлення робочої зони повинно відповідати нормативу 300 лк. При недостатньому природному освітленні необхідно використовувати локальні джерела світла. У виробничих приміщеннях мають бути доступні умивальники, місця для зберігання спецодягу, шафи для особистих речей.

10.8. Протипожежна безпека

У зв'язку з наявністю електричних елементів і пневматичних систем, робоча зона обладнання повинна бути забезпечена засобами первинного пожежогасіння. У безпосередній близькості мають знаходитись вогнегасники (вуглекислотні або порошкові), вказівні знаки з евакуаційними виходами, інструкція з пожежної безпеки. У разі виникнення загоряння необхідно миттєво знеструмити обладнання та викликати аварійні служби.

Висновки

Сукупність заходів, описаних у цьому розділі, спрямована на забезпечення безпечної, ефективної та екологічно відповідальної експлуатації пакувальної машини. Впровадження цих заходів дозволяє мінімізувати ризики для персоналу, запобігти аварійним ситуаціям, знизити вплив на навколишнє середовище та забезпечити стабільність виробничого процесу.

ВИСНОВКИ

У рамках проєктування та технічного вдосконалення машини для скріплення пакет-піддонів полімерною плівкою продуктивністю 80 пак./год.

До основних **технічних напрямків модернізації** належать:

1. Заміна приводу підйому каретки на серводвигун потужністю 5,5 кВт. Це дозволило забезпечити високу точність позиціонування, адаптивне регулювання швидкості підйому/опускання та плавність ходу, що критично важливо для стабільного розміщення пакета.

2. Інтеграція системи контролю натягу плівки в механізм її розмотування. Завдяки автоматичному регулюванню натягу забезпечено рівномірність обгортання, зменшено ризики обриву плівки та втрат герметичності.

3. Впровадження системи контролю просторового положення пакета. Завдяки датчикам розташування (з можливим використанням машинного зору) система визначає розміри та координати пакета, що дає змогу оптимізувати кількість витків плівки для кожного конкретного випадку.

4. Встановлення нового енергоефективного електродвигуна на роликівий конвеєр із частотним керуванням. Це дозволило реалізувати економний режим транспортування пакетів, зменшити пускові струми та знизити навантаження на механічні вузли.

5. Модернізація вузла відрізання плівки шляхом заміни пневмоциліндра на сервоциліндр з керуванням по зусиллю. Це забезпечує чітке, швидке та повторюване обрізання з мінімальним залишком плівки, зменшуючи втрати матеріалу та час циклу.

6. Розширення функціоналу панелі оператора із підтримкою цифрового введення параметрів, сигналізацією станів системи та можливістю підключення до зовнішніх SCADA-систем.

7. Розроблено технологічний маршрут виготовлення деталі - зірочка

Усі ці технічні рішення спрямовані на комплексне покращення якості обгортання, зниження експлуатаційних витрат, мінімізацію впливу людського фактора та забезпечення високого ступеня повторюваності результату. Крім того, модернізація передбачала урахування сучасних вимог до енергоощадності, технічного сервісу та екологічності процесу.

Підсумовуючи, впроваджені технічні заходи модернізації:

- підвищили точність і стабільність роботи основних вузлів;
- забезпечили адаптивність машини до різних типів і габаритів пакета;
- скоротили час циклу обгортання;
- знизили витрати на плівку та електроенергію.

Таким чином, запропонована та реалізована концепція технічного удосконалення створює передумови для отримання високопродуктивної, та енергонфективної машина для скріплення пакет-піддонів полімерною плівкою продуктивністю 80 пак./год..

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кондратюк С.П. Проектування машин: навч. посіб. — Тернопіль: ТНТУ, 2022. — 270 с.
2. Курило О.Ю. Основи технічної експлуатації обладнання. — Полтава: РВВ ПУЕТ, 2020. — 346 с.
3. Ляшенко І.В. Гідравліка та пневматика. — Київ: Кондор, 2021. — 388 с.
4. Пилипчук О.О. Технологія пакування. — Львів: Вид-во ЛПНУ, 2021. — 306 с.
5. Колісник Я.І., Романів З.Ю. Машини та апарати харчових виробництв. — Львів: Афіша, 2020. — 368 с.
6. Мельник Л.П. Техноекологія. — Суми: Університетська книга, 2018. — 320 с.
7. Назаренко О.М. Промислова екологія. — Чернігів: ЧНТУ, 2020. — 278 с.
8. Чепіль І.М. Устаткування для пакування харчових продуктів. — Львів: Видавництво ЛНУВМ та БТ, 2021. — 280 с.
9. Климчук М.Я. Технологія і обладнання пакування. — Хмельницький: ХНУ, 2022. — 318 с.
10. Семенчук І.Г. Автоматизовані пакувальні машини. — Тернопіль: ТНТУ, 2019. — 296 с.
11. Сніжко О.О. Обладнання для пакування сипких продуктів. — Київ: ЦУЛ, 2020. — 252 с.
12. Андрушків Б.М. Основи охорони праці. — Львів: «Новий Світ – 2000», 2021. — 336 с.
13. Баран В.М. Безпека життєдіяльності. — Київ: Ліра-К, 2020. — 412 с.
14. Василенко М.С. Охорона праці у галузі. — Харків: Стилєт, 2021. — 350 с.
15. Гуцал С.В. Експлуатація і технічне обслуговування машин. — Вінниця: Нова Книга, 2022. — 298 с.
16. Дудар І.С. Автоматизовані системи управління технологічними процесами. — Львів: Каменярь, 2021. — 332 с.

17. Гиренко І.В. Процеси та апарати пакувальних систем. — Харків: УПА, 2019. — 314 с.
18. Щербина М.І. Пневматичні приводи в пакувальному устаткуванні. — Краматорськ: ДДМА, 2021. — 284 с.
19. Іщенко П.В. Основи механіки пакувального обладнання. — Запоріжжя: ЗНТУ, 2020. — 280 с.
20. Пахомов Ю.Ф. Пакувальні машини і комплекси. — Дніпро: НГУ, 2022. — 312 с.
21. Soroka, W. *Fundamentals of Packaging Technology*. — Naperville: IoPP, 2014. — 624 p.
22. Yam, K.L. *The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology*. — Wiley, 2009. — 1356 p.
23. Selke, S.E., Culter, J.D., & Hernandez, R.J. *Plastics Packaging: Properties, Processing, Applications, and Regulations*. — Hanser Publishers, 2021. — 464 p.
24. Hanlon, J.F., Kelsey, R.J., & Forcinio, H.E. *Handbook of Package Engineering*. — CRC Press, 2005. — 720 p.
25. Brody, A.L. & Marsh, K.S. *The Wiley Handbook of Packaging for the Food Industry*. — Wiley, 2008. — 360 p.
26. Singh, S.P. *Distribution Packaging Technology*. — DEStech Publications, 2004. — 318 p.
27. Emblem, A. (Ed.) *Packaging Technology: Fundamentals, Materials and Processes*. — Woodhead Publishing, 2012. — 600 p.
28. Coles, R. & Kirwan, M.J. *Food and Beverage Packaging Technology*. — Wiley-Blackwell, 2011. — 432 p.
29. Klimchuk, M.R. & Krasovec, S.A. *Packaging Design: Successful Product Branding from Concept to Shelf*. — Wiley, 2012. — 256 p.
30. Tummala, R.R. *Fundamentals of Microsystems Packaging*. — McGraw-Hill, 2001. — 912 p.

31. Dutton, K. *Packaging Machinery Handbook: The Complete Guide to Automated Packaging Machinery*. — PMMI Media Group, 2013. — 212 p.
32. Scott, G. *Industrial Automation: Hands-On*. — McGraw-Hill, 2009. — 432 p.
33. Jaffe, M.P. *Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods*. — Wiley, 2006. — 392 p.
34. Lockhart, H. & Paine, F.A. *Packaging of Pharmaceuticals and Healthcare Products*. — Springer, 2006. — 230 p.
35. Luyt, A.S. *Polymer Blends for Packaging Applications*. — Elsevier, 2021. — 472 p.
36. Mahalik, N.P. *Packaging Machinery and Automation*. — Springer, 2016. — 290 p.
37. Helén, H. *Packaging Logistics: Understanding and Managing the Economic and Environmental Impacts of Packaging*. — Lund University Press, 2018. — 248 p.
38. Ostafiichuk, P.M. *Automation in Packaging Lines*. — Cambridge Scholars Publishing, 2020. — 312 p.
39. Yam, K.L. *Packaging for Nonthermal Processing of Food*. — Wiley-Blackwell, 2009. — 304 p.
40. Embleton, J. *Wrapping Machinery: Basic Concepts and Design*. — Industrial Press, 2017. — 220 p.