

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ІНІТІ ім. акад. Ч.С. Тупого  
Кафедра мехатроніки та пакувальної техніки

«До захисту в ЕК»

Директор інституту (декан факультету)  
[Підпис] Сергієй БЛАЖЕНКО  
(підпис) (ім'я та прізвище)

«15» 02 2023р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  
[Підпис] Федимона КРИВОПЯС-ВОЛОДИНА  
(підпис) (ім'я та прізвище)

«15» 02 2023р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 131 Електрична механіка  
(код та назва спеціальності)  
освітньо-професійної програми Електрична механіка

на тему: Моделирование процессов объединения для абсорбции  
накоп - підсоединів

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ПМ-2-1М

Лосенко Анастасія Сергіївна [Підпис]  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник Васильківський Євдоким Вікторович [Підпис]  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти \_\_\_\_\_ (ім'я та прізвище) \_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ім'я та прізвище) \_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ім'я та прізвище) \_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент Александр ГАВВА [Підпис]  
(ім'я та прізвище) (підпис)

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

Здобувач [Підпис]  
(підпис)

Київ - 2023 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) НМІТІ ім. акад. Ч. Р. Бурого  
Кафедра електроніка та вакуумної техніки  
Освітній ступінь магістр  
Спеціальність 131 Електрична механіка  
(код і назва)  
Освітньо-професійна програма Електрична механіка  
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри М. П. Т.

М. П. Т. Микола КРИВОПІЯС-ВОЛОДИМ

« 07 » 11 2022 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Кочереха Євгенія Сергіївна  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Моделивання процесів обладнання для обертання пакет-нідданів

керівник роботи Восницький Євген Карлович, к. т. н. д. с. н.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 07 » 11 2022 року № 494 к. е.

2. Строк подання здобувачем роботи 24.01.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи 1. Вид обладнання - для обертання пакет-нідданів. 2. Вид дослідження - аналітичне моделювання та експериментальні дані. 3. Визначення параметрів - кінематичні та сили.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Резюме, Вступ, Розділ 1 Аналіз обладнання для обертання трансформних пакетів. Розділ 2 Розробка конструкції та силуету основних вузлів обладнання для обертання пакетів за допомогою програми SolidWorks. Розділ 3 Аналіз дослідження процесів обертання пакетів. Розділ 4, Висновки, Високоефективної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу Екрани на 15-ти аркушах

### 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 04.11.2022

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	08.11.2022	
2	Резюме	10.11.2022	
3	Розділ 1	15.11.2022	
4	Розділ 2	20.11.2022	
5	Розділ 3	12.12.2022	
6	Розділ 4	16.12.2022	
7	Висновки	28.12.2022	
8	Список використаної літератури	23.01.2023	

Здобувач освіти [підпис]  
(підпис)

Людмила ХМЕНО  
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи [підпис]  
(підпис)

Константин ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ  
(ім'я та прізвище)

« 07 » 11 2022 р.

# ЗМІСТ

Реферат.....	5
Вступ.....	7
Розділ 1. Аналіз обладнання для скріплення транспортних пакетів.....	8
1.1. Загальні відомості. Класифікація.....	8
1.2. Обладнання для скріплення транспортних пакетів розтягувальними плівками.....	15
1.3. Висновок.....	30
Розділ 2. Розробка конструкції та аналіз основних вузлів обладнання для скріплення пакетів за допомогою розтягу вальної плівки.....	32
2.1 Призначення, область застосування і розробка пристрою для обтягування плівкою пакет-піддонів.....	32
2.2 Огляд пристроїв для обгортання пакет-піддонів плівкою, що розтягується.....	36
Розділ 3. Аналіз досліджень процесів обтягування плівкою пакет-піддонів.....	43
3.1 Кінематичні дослідження обладнання для скріплення транспортних пакетів.....	43
3.2 Динаміка обтягування плівкою збільшених вантажних одиниць.....	50
3.3 Використання зрівнювальних механізмів у пристроях для обгортання пакет-піддонів.....	65
3.4 Висновок.....	69
Розділ 4. Експериментальні дослідження по визначенню часу обгортання пакет-піддонів.....	70
4.1 Експериментальні дослідження в моделюванні процесів.....	70
4.2 Постановка задачі і проведення експерименту.....	72

4.3 Обробка експериментальних даних.....	76
4.4 Висновок.....	81
Загальні висновки.....	82
Список використаної літератури.....	83

## РЕФЕРАТ

Пакет-піддонні технології перевезення склотари та іншої готової продукції набули значного поширення, і сучасні прогнози їх подальшого розвитку одноставно оптимістичні.

**Актуальність теми.** Забезпечення конкурентноспроможності обладнання для створення збільшених вантажних одиниць на внутрішньому та зовнішньому ринках пакувальної індустрії є невідкладним завданням. Вирішення цієї задачі лежить на шляху зниження питомих витрат, підвищення якості обгортання, зменшення часу, а отже і підвищення продуктивності. Тому створення обладнання та розвиток математичного моделювання для опису процесів є актуальною задачею.

Відомим недоліком машинного обгортання пакет-піддонів плівкою є нерівномірність натягу її. Іноді натягу немає зовсім, тобто плівка провисає. Внаслідок цього не можна досягти запланованої стійкості пакет-піддонів, а отже втрачається готова продукція, доводиться виконувати деякі операції вручну тощо

Нерівномірний натяг є наслідком змінної швидкості змотування плівки з бобіни та несталої довжини ділянки плівки між ведучим і веденим елементами.

Побіжний аналіз цієї системи свідчить, що з метою позитивного впливу здійснюють підгальмовування оправки з рулоном. Проте остаточний результат такого втручання явно незадовільний. Із сказаного можна зробити висновок про необхідність глибинного вивчення явищ, що супроводжують роботу цього обладнання, та розроблення рекомендацій для усунення вказаних недоліків.

У зв'язку з викладеним виникає потреба у розробленні теоретичних положень, що описують цей процес. Зробивши математичне моделювання всіх процесів ми маємо можливість побачити які з факторів і як саме впливають на роботу нашої установки, щоб потім усунути всі недоліки.

*Ключові слова: піддон, обмотування, динаміка, кінематичні параметри, моделювання*

## ABSTRACT

Package technology transportation empties pallets and other finished products gained distribution and current projections of their future development unanimously optimistic.

Background. Ensuring competitiveness equipment to create increased cargo units in the domestic and foreign markets packaging industry is imperative. The solution to this problem lies in the way of reducing unit costs, improving quality wraps, reducing time and thus improve performance.

Background has confirmed that a survey conducted by the food industry , show that up to 20% - pack trays are delivered to consumers with disabilities of their original form and lossy glass. So there is work on improving and improving certain processes of packing and wrapping of consolidated cargo units.

A well-known drawback of the machine, pallet wrapping film package is uneven tension it. Sometimes no tension at all, hat the film sags. Consequently, it is impossible to achieve stability of the proposed package, pallet, and thus lost the finished products, we have to perform some manual operations, etc.

Uneven tension is the result of variable speed rewind reels of film and unsustainable length of fabric between master and slave elements.

A quick analysis of this system shows that in order to exercise a positive influence on the mandrel deceleration bobbin. However, the final outcome of this intervention is clearly unsatisfactory. From this we can conclude on the need for in-depth study of phenomena that accompany the operation of this equipment, and develop recommendations to address these shortcomings.

Having mathematical modeling of all processes we are able to see which factors affect it and how to work our installation, then remove all the imperfections.

*Key words: pallet, winding, dynamics, kinematic parameters, modeling*

## ВСТУП

Перехід до ринкової економіки викликав не тільки зміни у сфері планування виробництва, збуту продукції, удосконалення ланцюгів руху сировини, матеріальних потоків і потоків продукції, а й привів до глибоких зрушень у технологіях та вимогах технологічного обладнання.

Це стосується не тільки харчової та переробної промисловості, а й всієї інфраструктури, пов'язаної з виробництвом, обробкою і закінчуючи задачами індивідуального групового пакування, та утворення збільшених вантажних одиниць для підвищення якості товароруху.

Існуючі інтенсивність грошово-товарних потоків та рівень виробництва були у певній кореляції до названих показників і така динамічна рівновага забезпечувала стабільність роботи підприємств-виробників.

У результаті за ознаками зовнішнього добробуту перебувала застаріла криза технологій, обладнання та системи підготовки й перепідготовки кадрів, відсутність ідеології і практики використання енергозбереження, обмеження втрат сировини та матеріалів. Одночасно криза виробництва надзвичайно підсилювалася різким зростанням цін на первинні енергоносії та електроенергію, інфляційними втратами обігових коштів, подорожчанням послуг сторонніх організацій та жорсткою і нестабільною системою оподаткування.

Дослідження, виконані автором роботи, вказують на необхідність ґрунтовного висвітлення питань, пов'язаних зі створенням інженерної та науково-дослідної бази для отримання конкурентноспроможного обладнання для роботи з вантажними одиницями і вчасності обладнання для скріплення вантажних пакетів.

# РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СКРІПЛЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПАКЕТІВ

## 1.1. Загальні відомості. Класифікація

Поняття стійкості і міцності транспортного пакету вантажів тісно переплетені. Під стійкістю пакета розуміють його здатність зберігати надану йому форму та геометричні розміри протягом всього циклу НРТС-операцій.

Міцність пакету пов'язана перш за все з міцністю тари одиничного вантажу, що обмежує висоту стопи або штабеля в пакеті. Цей фактор вирішально впливає на структуру пакету (кількість шарів по висоті, схема вкладання вантажів у межах шару тощо).

У випадках багатоярусного складування або перевезення транспортних пакетів постає питання про достатню міцність найнижчого пакету, з яким пов'язане поняття вантажопідйомності пакета. В будь-якому разі важливим є фактор вантажопідйомності піддона.

Стійкість і міцність транспортних пакетів вантажів повністю забезпечується несучими і скріплювальними засобами пакетування. На рис. 1.1 наведено класифікацію засобів скріплення транспортних пакетів. Відмова від використання піддонів (несучих засобів) під час пакетних перевезень вантажів дає помітну економію корисного об'єму транспортних засобів і складських приміщень, але ці технології потребують таких засобів скріплення, які виконували б і несучі функції.

Засоби скріплення пакетів — як одноразового, так і багаторазового використання — повинні забезпечувати:

- можливість навантаження і розвантаження пакетів вилковими навантажувачами, кранами, штабелерами та іншими навантажувально-розвантажувальними і підйомно-транспортними машинами;

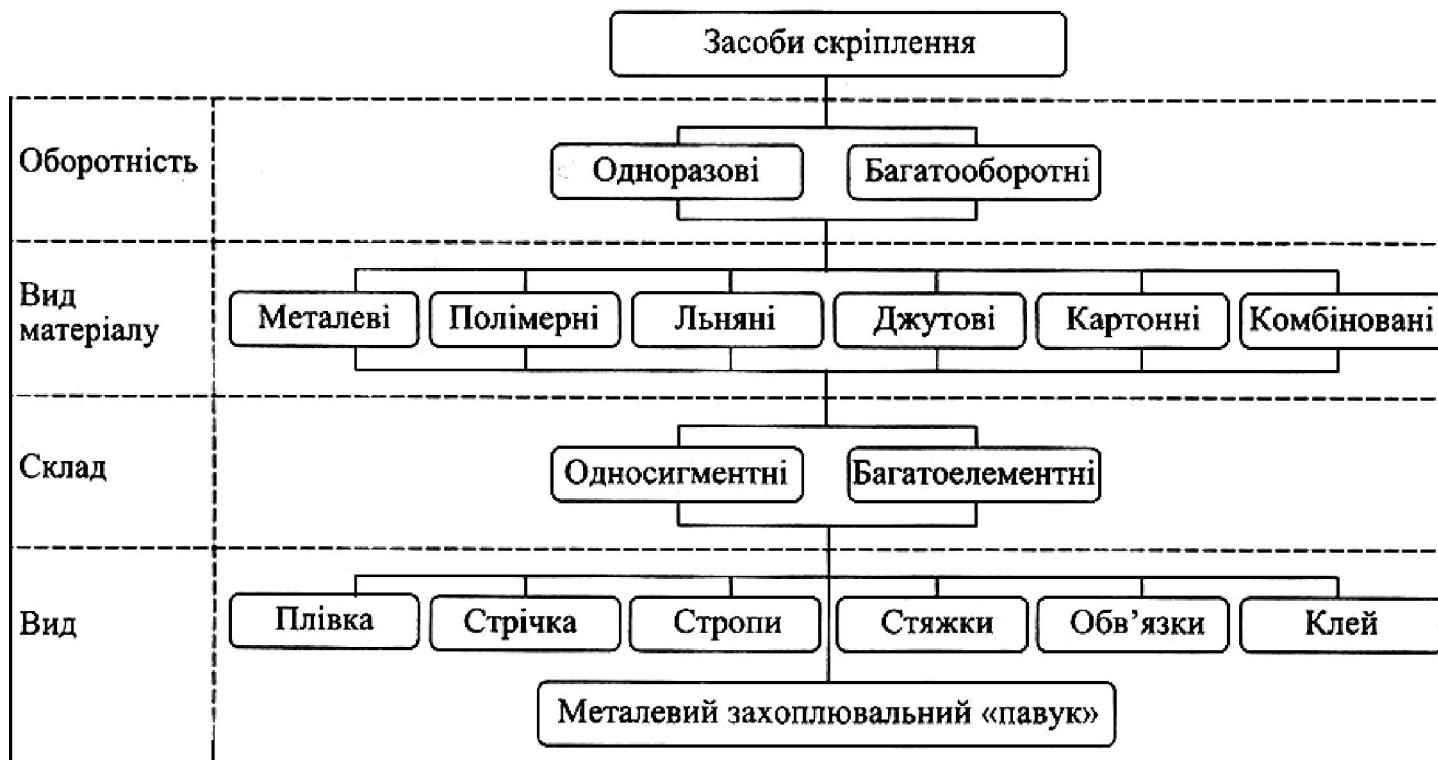


Рис. 1.1. Класифікація засобів скріплення транспортних пакетів

- стабільність форми пакетів протягом усього періоду транспортування їх одним чи кількома видами транспорту, виконання навантажувальних, підйомно-транспортних і складських операцій;
- збереження виробів.

Одним з найпрогресивніших і найперспективніших засобів скріплення вельми широкого асортименту транспортних пакетів на піддонах і без них є термоусаджувальні і розтягувальні плівки. В порівнянні з усіма іншими цей спосіб забезпечує найнадійніший захист вантажів від згубного впливу навколишнього середовища, підвищує ступінь збереження форми і монолітності пакета, скорочує витрати на пакування. Таким чином, під час застосування технологій скріплення транспортних пакетів полімерними плівками значно спрощуються технології пакування виробів без жодної шкоди для них. Полімерні плівки є достатньо міцними, прозорими, волого- і газонепроникними, вони нетоксичні і морозостійкі (придатні в межах температур від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ ), стійкі до статичних та динамічних навантажень (тиск, поштовхи, вібрація тощо). Окрім того, полімерні плівки характеризуються ударною в'язкістю, пружністю, еластичністю, невисокою теплопровідністю, їм не страшні часткові пошкодження, вони достатньо стійкі до дії хімічних реактивів, легко очищаються від забруднення.

Гладка поверхня плівок обумовлює низьке запилення упаковки. Рівень шуму під час виконання НРТС-робіт з транспортними пакетами з плівковим захистом незначний завдяки звукопоглинальній здатності плівок. Полімерним плівкам порівняно легко надати необхідних властивостей (залежно від потреби) шляхом внесення в їх структуру відповідних добавок. Світлостабілізатори, наприклад, додають у плівку в тому разі, коли вантажі довгий час зберігаються на відкритому повітрі. Для збільшення терміну служби плівок в них додають окислювачі вибіркової дії та антиоксиданти. Інгібітори корозії додають у плівку в разі необхідності пакування виробів з чорних та ін. металів — це дозволяє поєднати консервацію і пакування в одному технологічному процесі. Спеціальними технологіями поверхні плівок можна зробити шорсткими, з високим коефіцієнтом

тертя, що дуже важливо під час скріплення пакетів (наприклад, фрикційна плівка «Фрік » фінської фірми Wilk & Hoglund та ін.).

Найбільш поширеним матеріалом для виготовлення термоусаджувальних та розтягувальних плівок є поліетилен, в якому після відповідної обробки досягається певна орієнтація молекул. Для виробництва розтягувальних плівок також застосовується поліпропілен, полівінілхлорид, їх сполучення з вінілацетатом та ін.

У практиці пакетоскріплювання першою почали застосовувати термоусаджувальну плівку. Така плівка здатна скорочуватися під дією температури, вищої за температуру розм'якшування полімеру. Ця властивість плівки отримується в процесі її виготовлення. У високосластичному стані полімери під дією прикладених сил здатні до значних деформацій, внаслідок чого виникає орієнтація молекулярних ланцюжків і з'являються напруження в плівці. Під час подальшого охолодження та затвердіння ці деформації фіксуються в полімері внаслідок протікання процесів скловання і кристалізації. При цьому макромолекули залишаються в напруженому стані.

Під час нагрівання плівки протікають релаксаційні процеси, і вона прагне повернутись до своєї початкової форми. Це і є усадка. Перший ефект усадки в поліетиленовій плівці спостерігається при температурі 100...105 °С, максимальна усадка настає при температурі 115...120 °С.

Основними технічними характеристиками термоусаджувальної плівки є: усаджувальність або відносна усадка; термоусаджувальне напруження, що виникає під час нагрівання плівки до температури плавлення кристалітів, а також холодоусаджувальне напруження, яке з'являється внаслідок протидії тепловій усадці під час подальшого охолодження.

Фізико-хімічні показники термоусаджувальних плівок:

- руйнівне напруження під час розтягання має складати в поздовжньому напрямку — 12-14, в поперечному — 10-13 МПа;
- відносне видовження під час розриву має складати — як в поздовжньому, так і в поперечному напрямках — 100-250 %.

Розтягувальні плівки дістали широкого розповсюдження у світовій практиці пакетоскріплювання приблизно з кінця 80-х рр. ХХ ст. Цьому передувало накопичений протягом 15 попередніх років в промислово розвинутих країнах практичний досвід використання технології скріплення вантажів поліетиленовою розтягу вальною плівкою, який показав, що під час впровадження спеціального обмотувального обладнання досягається значна економічна і навіть соціальна перевага в порівнянні зі способом термоусаджування. Розтягувальна плівка є незамінною, коли неможлива теплова обробка виробів у пакеті (продукція в поліетиленових мішках, заморожені продукти, вибухо- та вогнебезпечні речовини і т. п.). Ця технологія зручна під час обробки рівновеликих пакетів і вантажів з нестабільною об'ємною структурою.

Можливість зміни товщини плівкової оболонки шляхом збільшення кількості намотуваних на пакет шарів плівки залежно від дальності перевезень, можливих навантажень та тривалості зберігання створює передумову для знаходження оптимальних рішень.

Застосування розтягувальної плівки замість термоусаджувальної дає економію полімерного матеріалу на 30 - 40 % за рахунок меншої товщини плівки, знижує витрати електроенергії на 80 % (відпадає необхідність в обладнанні для теплової обробки плівки), а економія виробничих площ складає 50 %. За деякими експертними оцінками застосування розтягу вальних плівок замість термоусаджувальних дає зниження витрат на пакетування продукції в середньому в 1,5-2,0 рази.

Розтягувальна плівка застосовується найчастіше для скріплення пакетів правильної геометричної форми. Вантажі неправильної форми доцільно скріплювати термоусаджувальною плівкою, що дозволяє досягти рівномірного натягу оболонки і, отже, якісного затискання виробів у пакеті. За статистикою, спосіб скріплення пакетів розтягу вальною плівкою завдяки своїй універсальності є придатним і доцільним у 85 випадках із 100.

Суть технології скріплення полягає в тому, що плівку розтягують з певним зусиллям на 10-20 % (як мінімум), внаслідок чого в ній зберігається напруження.

Після зняття зусилля розтягання пакет вантажів щільно обтягується, оскільки плівка через високу еластичність прагне досягти вихідного становища.

Широкого розповсюдження ця технологія отримала на початку 80-х рр. ХХ ст. після появи плівок з лінійного поліетилену з високим ступенем розтягування і великою міцністю на розрив.

Властивості, за якими оцінюються експлуатаційні можливості розтягувальних плівок, поділяються на три групи:

- еластичність та здатність до розтягування під навантаженням;
- здатність шарів плівки прилипати один до одного;
- міцність кожного шару плівки.

Еластичність оцінюється величиною усадки через певний проміжок часу після витяжки. Величина витяжки, наприклад, полівінілхлоридної плівки повинна складати 79 %, а плівки з поліетилену низької щільності — 85 %. Щоб зберегти величину витяжки плівки, призначеної для скріплення транспортних пакетів, необхідна попередня витримка під навантаженням не менше 16 годин.

Еластичність оцінюється також за швидкістю релаксації внутрішніх напружень плівкового матеріалу, що зазнав витягування. Звичайно найбільш помітні зміни внутрішніх напружень спостерігаються протягом перших 10-15 хв. після зняття навантаження, а після 48 годин витримки зміна напружень практично відсутня.

Здатність прилипати обумовлена декількома факторами:

- низьким значенням модуля пружності;
- високим ступенем гладкості поверхні;
- додаванням до складу плівки спеціальних речовин — адгезивів.

Ступінь прилипання оцінюється дослідним шляхом. При цьому важливо, щоб прилипання між шарами плівки було достатньо високим, а до деталей та вузлів пакувального обладнання — мінімальним.

З характеристик міцності для оцінки плівки важливі такі:

- границя міцності під час розтягування;
- міцність під час надриву краю;

– міцність під час проколювання гострим предметом.

Для кожної з цих характеристик є стандартизовані методи випробувань, а мінімально допустимі їх величини регламентовані технічними умовами на даний вид плівкового матеріалу. Наприклад, границя міцності на розрив полівінілхлоридної (ПВХ) плівки повинна складати 20 - 30 МПа, видовження під час розтягування до розриву — 160 - 280 %, модуль пружності під час 1 %-го розтягування — 47 МПа, міцність на проколювання — 5,9 - 6,4 Дж/мкм.

Для певних умов оцінюється також ступінь мутності. Наприклад, для плівки ПВХ вона не повинна бути вище 0,6-1,5 %.

Що ж стосується питання, як саме скріплюються транспортні пакети тим чи іншим засобом, то в загальному рисах можна стверджувати наступне. Завдяки великій різноманітності засобів скріплення транспортного пакета в практиці пакетоперевезень застосовуються різноманітні способи скріплення — від найпримітивніших ручних (обв'язування пакета вручну дротом за допомогою слюсарного інструмента) до автоматизованих комплексів із обгортання пакетів термоусаджувальними або розтягувальними плівками з продуктивністю, що відповідає швидкості формування пакетів автоматично діючих ПФМ. Не менш різноманітним є і обладнання для скріплювання транспортних пакетів — від ручних пристроїв до машин-автоматів. У зв'язку з цим одну загальну, універсальну і в той самий час зручну для користування класифікаційну таблицю для скріплювального обладнання створити практично неможливо. Доцільніше класифікувати таке обладнання за окремими видами засобів скріплення.

Найбільш розвиненим і досконалим з точки зору прогресивних технологій є спосіб скріплення транспортних пакетів за допомогою термоусаджувальних та розтягувальних плівок. Обладнання при цьому краще, ніж при всіх інших способах скріплення, піддається механізації і автоматизації. Комплекси такого обладнання здатні синхронно працювати з найпродуктивнішими лініями пакування готової продукції, де застосовуються технології пакування виробів. Звичайно, такі комплекси потребують солідних капітальних витрат і скуповуються лише на підприємствах з великомасштабними потоками вантажів.

## **1.2. Обладнання для скріплення транспортних пакетів розтягувальними плівками**

Розтягувальною плівкою пакети вантажів на піддонах скріплюють шляхом:

- лінійного обгортання (за принципом змотування плівки з двох вертикальних рулонів);
- ротаційного (пряме або спіральне навивання);
- надівання чохла.

Під час скріплення шляхом лінійного обгортання на початковій стадії два полотна плівки зварюють разом, а далі через створену таким чином завісу проштовхується пакет. Просовуючись вперед, пакет змотує плівку з рулонів аж до повного його обгортання. Кінці полотен з'єднуються і зварюються по вертикалі. Такий спосіб є ефективним на підприємствах з великими потоками вантажів, оскільки продуктивність такого обладнання сягає 120...180 пакетів/год при потужності до 10 кВт, проте вартість його порівняно велика.

Скріплення пакетів у такий спосіб здійснюється плівками товщиною 80...150 мкм. Ширина полотна залежить від висоти пакету.

Ротаційне пряме або спіральне навивання плівки здійснюється здебільшого за допомогою поворотного столу, на якому встановлюється пакет. Плівка змотується з вертикального рулону і обгортає вантаж в один або декілька (за потребою) шарів.

Ротаційний спосіб обгортання пакетів розтягувальною плівкою забезпечує продуктивність: пряме навивання в один або декілька шарів - 60...80 пакетів/год (потужність —до 5 кВт), спіральне навивання —до 30 пакетів/год (потужність — до 3 кВт).

Вибір того чи іншого способу обгортання пакетів розтягувальною плівкою залежить від виду спакетованого вантажу. Наприклад, для пакетів правильної форми висотою 1,8 м застосовують пряме навивання полотна плівки.

Спосіб спірального навивання звичайно використовують для вантажів неправильної форми з висотою пакетів 1,8...3 м, для легких виробів тощо.

Ротаційне навивання в декілька шарів плівки дозволяє використовувати плівку однієї товщини (звичайно це 0,025 мм) для різноманітних вантажів. Кількість шарів встановлюється конкретно для певного вантажу. В разі навивання в один шар товщина плівки береться в межах 80...100 мкм залежно від виду вантажу.

Спосіб «надівання розтягнутого чохла» застосовується у високопродуктивних потокових лініях пакування. Цей спосіб застосовується також як складова комбінованого способу, де основним є скріплення пакету термоусаджувальною плівкою.

Класифікація обладнання для скріплення транспортних пакетів з тарно-штучних вантажів розтягувальною плівкою представлена на рис. 1.2.

У практиці скріплення транспортних пакетів розтягувальною плівкою застосовується величезна кількість різноманітних пристроїв. Окрім вказаних у наведеній вище класифікації ознак слід зазначити, що засоби скріплення бувають такими:

- ручні пристрої
- механізовані (напівавтоматизовані і автоматизовані) установки.

За конструктивним оформленням такі пристрої скріплення, як і у випадку з термоусаджувальними плівками, бувають:

- переносні;
- пересувні;
- стаціонарні.

Прикладом ручного пристрою може бути наведений на рис. 1.3. Це дуже просте пристосування, що складається з осердя 1, на яке надівається рулон з плівкою, 2 і держака 3.

Оператор вручну закріплює вільний край плівки на пакеті, що стоїть на полу чи на спеціальному помості, і ходить навкруг нього з пристроєм, виконуючи обгортання.

Ширина використовуваної плівки під час обгортання пакетів за допомогою такого і йому подібних ручних пристроїв має бути не більше 0,5 м, довжина

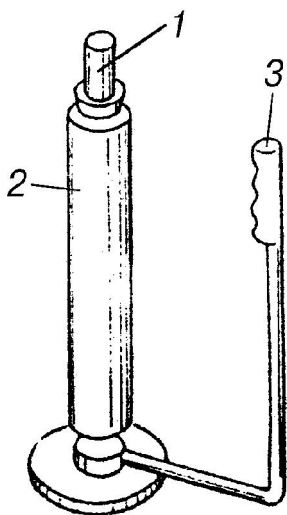


Рис.1.2. Класифікація обладнання для скріплення пакетів розтягувальною плівкою

плівки в рулоні — до 500 м. Маса такого пристрою без рулону складає в середньому 1,5 кг, а з рулоном — близько 5 кг. Продуктивність роботи при цьому зазвичай 10...15 пакетів/год, що окремі дрібні підприємства цілком влаштовує, тим більше що пристрій дозволяє скріплювати пакети, в будь-яких, навіть малодоступних місцях. Механізовані обгортувальні пристрої прохідного типу, що реалізують лінійний спосіб обгортання пакету входять до складу автоматизованих пакувальних ліній.

Схема робота таких пристроїв (рис. 1.4) полягає у наступному. Транспортний пакет 1, що переміщується конвеєром, насувається на розташоване поперек його руху полотно плівки 1, протягаючи його, змотує плівку з двох бічних рулонів 2. Одночасно плівка розтягується, що необхідно за технологією. Полотно плівки щільно облягає передню і бічні грані пакета. Під час проходження пакетом певної лінії, що контролюється фотоелементами, спрацьовують розташовані з обох боків конвеєра важільні пристрої 3, які обтискають плівкою задню його грань.

Задній шов автоматично зварюється, а кінець плівки відрізається від полотна. Звичайно це робиться за допомогою нагрівального дроту.



1. осердя
2. рулон з плівкою
3. держак

Рис.1.3. Ручний пристрій скріплення пакету вантажів розтягувальною плівкою

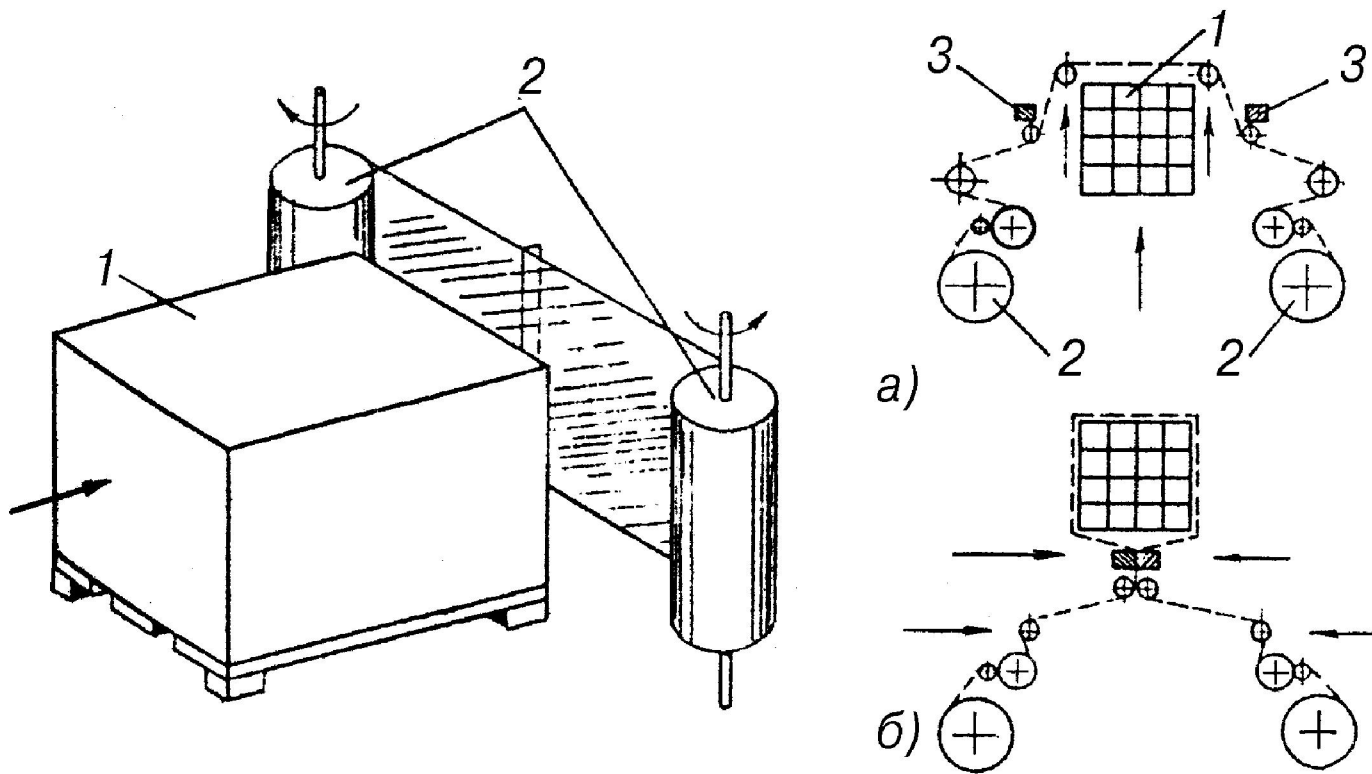


Рис.1.4. Технологічна схема машини прохідного типу

Подібна технологія забезпечує скріплення пакету плівкою тільки в один шар. При цьому ширина полотна повинна відповідати висоті транспортного пакету. В сучасних лініях пакування вантажів ця висота може сягати 3 м. Інколи плівку зміцнюють вузькими горизонтальними бандажами, що накладаються у верхній та нижній частинах пакета.

Такі машини характерні високим ступенем автоматизації, вартість їх значна, і скуповуються вони лише при великих обсягах робіт з масивами однорідних за висотою та конфігурацією пакетів вантажів.

Аналіз практичного досвіду застосування обгортувальних пристроїв різних конструкцій показує, що найбільшого поширення дістали механізовані установки ротаційного типу. Більшість із них складається з чотирьох основних вузлів:

1. каретка із закріпленням на ній рулоном плівки;
2. стояк (стаціонарний або рухомий), по якому переміщується каретка з рулоном плівки;
3. притискач-фіксатор, що запобігає зміщенню пакету під час обгортання;
4. поворотний стіл, на якому встановлюється пакет під час його скріплення плівкою.

Різноманітних за різними ознаками модифікацій обгортувальних пристроїв ротаційного типу сьогодні настільки багато, що це дозволяє скласти для них окрему достатньо містку класифікацію (табл. 1.1).

Близько 30 % усіх обгортальних пристроїв ротаційного типу працюють за принципом прямого (суцільного) навивання.

Схема машини такого типу наведена на рис. 1.5. Плівка змотується з рулону 1 під час обертання пакета 2 зі столом 3, пакет фіксується за допомогою вузла притискання 4, що монтується на стійці 5.

Спосіб прямого (суцільного) навивання є ефективним для скріплення транспортних пакетів правильної конфігурації і постійної висоти. Якщо ж, наприклад, знадобиться надійно закріпити вантажі у верхній частині високого пакету (а саме в такому разі є ймовірність втрати стійкості) шляхом навивання

декількох шарів плівки, то доведеться так обгортати весь пакет (невиправдані

Класифікація пристроїв ротаційного типу скріплення  
транспортних пакетів розтягувальною плівкою

Таблиця 1.1.

Ознака	Класифікаційна позиція			
Спосіб обгортання	Пряме навивання		Спіральне навивання	
Конструктивне оформлення	Переносні	Пересувні		Стаціонарні
Управління	Ручне	Напівавтоматичне		Автоматичне
Рухомість пакета	Пакет нерухомий		Пакет обертається	
Конструкція поворотного стола	Без платформи	Низька платформа	Висока платформа	Рольганг
Кількість поворотних столів	Один стіл		Два столи	
Кількість кареток з рулоном	Одна каретка		Дві каретки	
Стан плівки під час обгортання	Без попереднього розтягування		З попереднім розтягуванням	
Спосіб розтягування плівки	Вручну	Гальмування рулону	Два ролика	Нагрітий ролик
Спосіб фіксації пакета	Без притискної пластини	З вузлом притискання		Зі стояком
Спосіб герметизації обгортки	Без накладання верхнього листа плівки		З накладанням верхнього листа плівки	

великі витрати плівки). У цьому полягає один з недоліків такого способу.

Стаціонарні машини ротаційного типу забезпечують продуктивність до 100 пакетів/год і здебільшого є складовою частиною потокових пакувальних ліній. У більшості моделей таких машин стояк з рулоном плівки залишається нерухомим по відношенню до пакету, в деяких стояк переміщується по колу навкруг нерухомого пакету.

На підприємствах з невеликим обсягом однорідної продукції широко застосовуються пересувні ротаційні установки прямого (суцільного) навивання, основою конструкції яких є вертикальна рама на колесах з рулоном плівки. Переміщення таких установок найчастіше механічне (наприклад, на акумуляторах), продуктивність — до 40 пакетів/год.

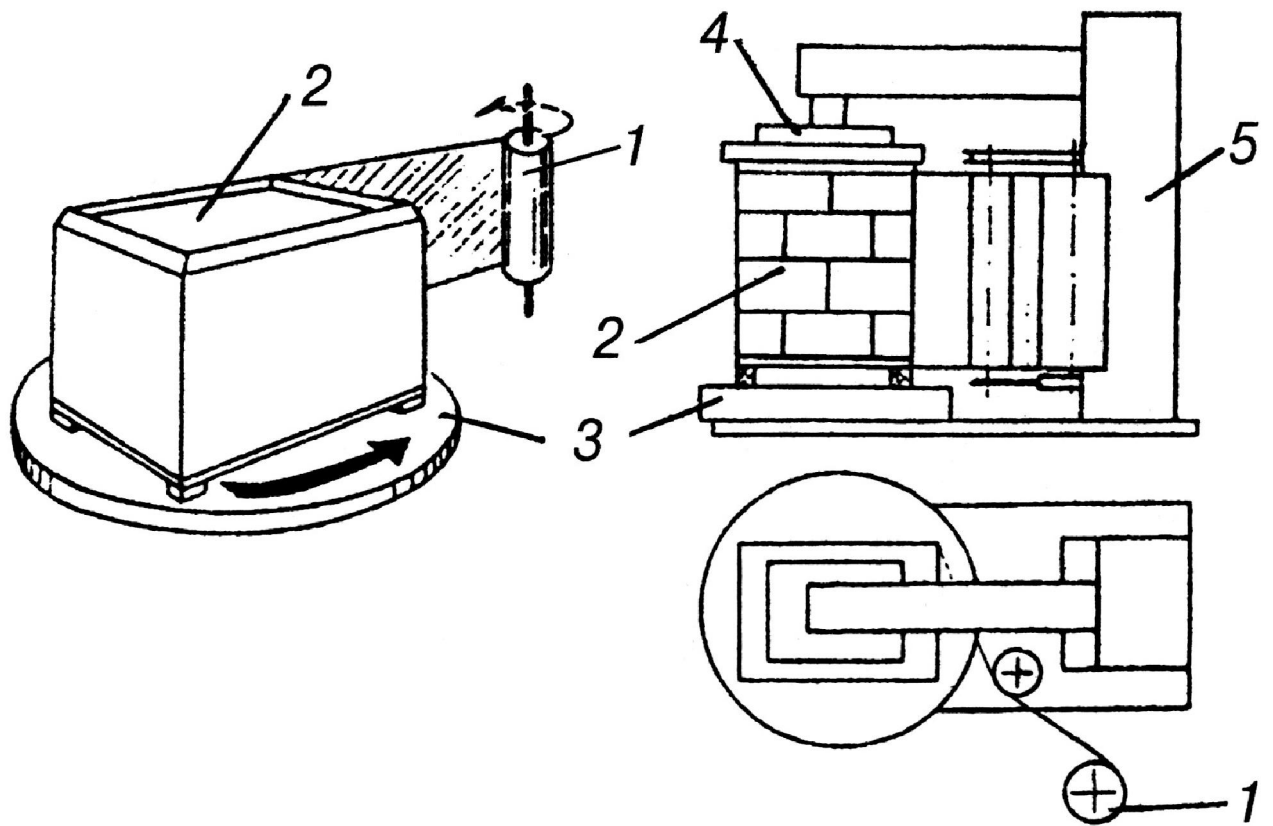


Рис.1.5. Схема машини для скріплення транспортного пакету розтягувальною плівкою за принципом прямого навивання

Серед пристроїв ротаційного обгортання найбільш поширеними є установки спірального навивання. Це пов'язано з рядом їх позитивних якостей: такі пристрої можуть застосовуватись для пакетів різної висоти без зупинки машини і заміни плівки на більш широку чи вузьку; під час скріплення нестійких або неправильної форми пакетів можна за потребою підсилити ту чи іншу частину пакету допоміжними шарами плівки. Основними елементами таких машин є каретка і поворотний стіл (рис. 1.6).

Каретка утримує рулон з плівкою і переміщує його по висоті пакету, при цьому забезпечується необхідний ступінь розтягування плівки. Плівка може сходити з каретки уже в розтягнутому стані або без попереднього розтягування.

В установках без попереднього розтягування плівки її видовження забезпечується різницею лінійних швидкостей намотування плівки на пакет і сходження її з рулону. При цьому виникає ряд проблем, пов'язаних з якістю обгортання плівкою пакету, небезпекою руйнування самої плівки, а також пакету. Справа в тому, що швидкість намотування плівки на пакет створюється за

рахунок обертання поворотного столу, і при встановленні на ньому прямокутного пакету (а при стандартних розмірах піддонів це так і є) ця швидкість змінюється за період одного оберту, оскільки радіуси обертання пакету є різними (коротка і довга сторони пакету). Від цього страждає якість обгортання, так як зі зміною швидкості намотування змінюється і ступінь розтягування плівки.



Рис1.6. Напівавтомат фірми Titan  
(Німеччина)

Збільшити ступінь розтягування плівки можна шляхом зменшення лінійної швидкості сходження плівки з рулону (гальмування рулону). Відповідно до витрати плівки і отже зменшення діаметру рулону за умови постійного гальмівного зусилля швидкість сходження плівки знижується, а ступінь натягування збільшується. Таким чином, знову має місце нерівномірність обгортання.

Енергія для розтягування плівки надходить від приводу обертання поворотного столу і передається через пакет вантажів, що знаходяться на столі. Через це за значних певних зусиль натягу плівки виникає небезпека зсуву шарів вантажів, особливо у верхній частині пакету. Якщо існує ймовірність появи такого явища, в установках без попереднього натягу плівки монтують допоміжний вузол — притискач-фіксатор вантажу.

Усіх цих недоліків уникають шляхом оснащення обгортальних установок спеціальними механізмами попереднього розтягування, завдяки яким плівка накладається на пакет у розтягнутому стані при постійній ширині.

Найпростіші механізми попереднього розтягування плівки — це гальмівні накладки і гальмівні валики, встановленні ззовні плівкового рулону з одночасним пропусканням плівки через фрикційні стержні.

Більш прогресивним і досконалим є такий спосіб попереднього розтягування плівки: змотуваний з рулону плівковий матеріал послідовно огинає пару валиків, що обертаються від спеціального приводу, причому нижній валик обертається вдвічі швидше, ніж верхній. За свідченням фахівців, подібна система забезпечує рівномірне розтягування плівки без розривів і зміни ширини полотна з ефектом видовження вдвічі більшим, ніж у випадку застосування гальмівних пристроїв.

На великих підприємствах, обладнаних сучасними автоматизованими поточковими лініями пакування готової продукції, електронні прилади управління в комплексі з подібними системами забезпечують плавне безступінчасте регулювання ступеня натягу плівки залежно від її типу, специфічних властивостей, форми пакету, умов зберігання, транспортування (кількість шарів) і т. п. При цьому програмою задається будь-яке бажане видовження матеріалу в межах 300...600%.

Одним і різновидів механізмів попереднього натягування плівки є пристрій з використанням принципу нагрітого ролика: плівка, проходячи через цей пристрій, набуває пластичності і майже без зусиль розтягується енергією обертання пакету. Після природного охолодження плівка відновлює свої пружні властивості, міцно скріплюючи пакет. За даними фірм, плівки з полівінілхлориду та з СПЛ етилену з вінілацетатом за допомогою наповненого водою (50 °С) ролика розтягуються без порушення структури на 100...150%. Ширина плівки — 500...1178мм.

У всіх установках з попереднім розтягуванням плівки енергія підводиться від каретки, на пакет намотується вже розтягнена плівка, і силових взаємодій між вантажами і скріплювальним матеріалом не існує. Це дозволяє відмовитись від вузла притискання пакету, але ускладнює вузол каретки.

Одним із основних елементів будь-якої стаціонарної обгортувальної установки є поворотний стіл, конструкція якого залежить від призначення установки і потокової лінії пакування, до складу якої вона входить. Розрізняють три типи поворотних столів:

- з низькою платформою і пандусом для подачі пакету колісним візком;
- з високою платформою, на яку пакет подається вилковим навантажувачем;
- стіл з рольгангом, що монтується як частка транспортної системи лінії пакування.

Провідними фірмами пакувальної індустрії для потужних підприємств створюються високопродуктивні комплексні лінії пакування тарних вантажів і скріплення пакетів розтягувальною плівкою способом «надівання чохла». На рис.1.7. ілюструється, наприклад, така лінія фірми Möllers (Німеччина).

Для підготовки пакетів з тарних вантажів до перевезення їх залізничним та морським транспортом фірма Möllers рекомендує комплексні лінії, що забезпечують абсолютно надійне скріплення і захист пакетів.

Це досягається скріпленням пакету термоусаджувальною плівкою з наступним надіванням на нього контрчохла з розтягувальною плівкою.

Прикладом такої лінії є лінія безпіддоного пакування мішків з сипкими продуктами продуктивністю до 80 пакетів/год (рис. 1.8).

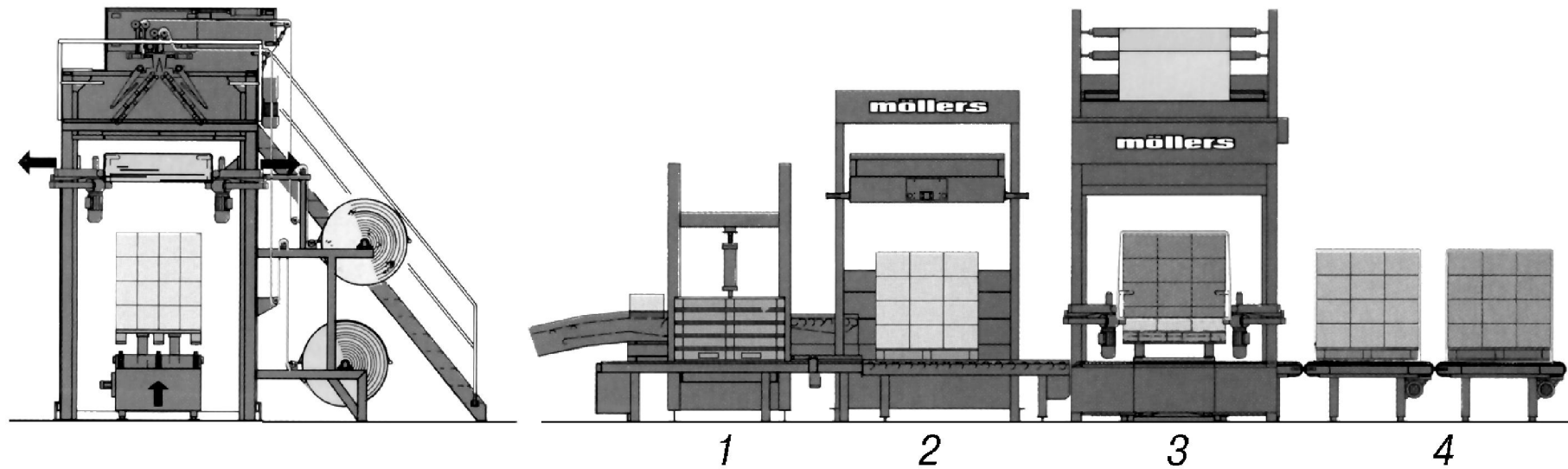


Рис. 1.7. Лінія пакування тарних вантажів та скріплення пакетів розтягувальною плівкою способом «надівання чохла»

- 1 – магазин порожніх піддонів;
- 2 – ПФМ типу PFS;
- 3 – установка HSA II надівання чохла із плівки;
- 4 – конвеєри видачі готових пакетів

Із рис. 1.8. видно, що в лініях скріплення безпіддонних транспортних пакетів термоусаджувальною плівкою встановлюється додаткове обладнання для перевертання пакету і формування уступів із плівки.

Залежно від заданої продуктивності компонування лінії може забезпечувати вантажопотік:

- лінійний;
- зворотно-поступальний;
- коловий.

Ключовим параметром установок для скріплення пакетів плівками є продуктивність. Вона залежить від ряду кінематичних, технологічних та інших факторів. У першу чергу це виявляється в кількості і тривалості окремих операцій, що входять до циклограми процесу скріплення.

Для прикладу розглянемо випадок з ротаційною машиною спірального навивання плівки, де спостерігається найбільша серед усіх інших пристроїв кількість можливих окремих операцій:

$$Z = \frac{3600}{T_0}, \quad (1.1)$$

де  $Z$  - продуктивність, пакетів/год;

$T_0$  - сумарний час обробки одного пакету, с;

$$T_0 = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7 + T_8, \quad (1.2)$$

де  $T_1$  — час установки пакету на стіл, с;

$T_2$  — час опускання притискача пакету, с;

$T_3$  — час прикріплення плівки до піддону, с;

$T_4$  — час обмотування пакету, с;

$T_5$  — час обрізання кінця плівки після закінчення обмотування, с;

$T_6$  – час прикріплення кінця плівки до пакету після закінчення обмотування, с;

$T_7$  — час піднімання притискача пакету, с;

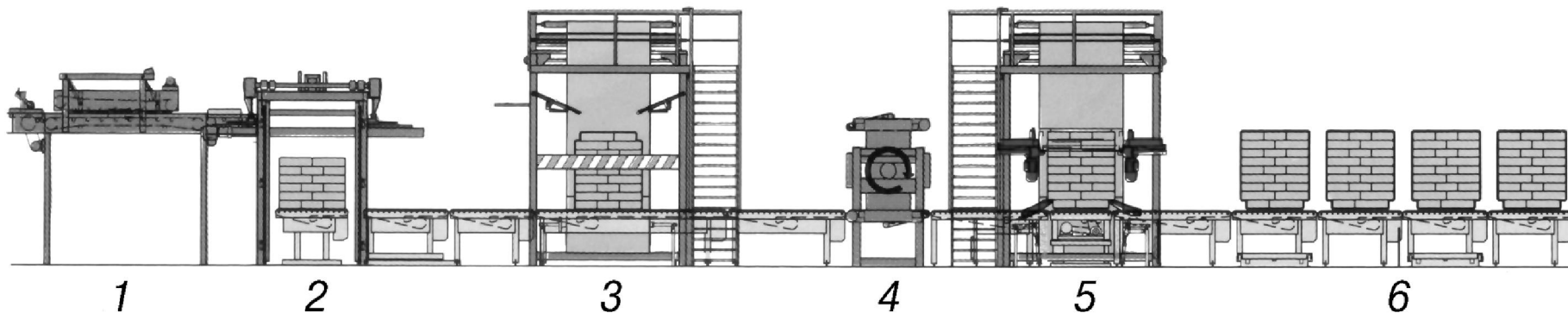


Рис. 1.8. Лінія безпіддоного пакування мішків з сипкими продуктами зі скріпленням пакетів термоусаджувальною плівкою з контрчохлами із розтягувальної плівки:

- 1 – пристрій профілювання мішків;
- 2 – ПФМ типу PLS;
- 3 – обгортальна та усаджувальна установка;
- 4 – пристрій для перевертання пакетів;
- 5 – установка надівання на пакет контрчохла;
- 6 – конвеєри видачі готових пакетів

$T_8$  — час знімання обгорнутого пакета зі столу, с.

Скоротити сумарний час обробки пакету  $i$ , отже, збільшити продуктивність можна за рахунок:

- збільшення швидкодії окремих механізмів;
- виключення з процесу окремих операцій (наприклад, з притискачем пакету, якщо це можливо);
- суміщення в часі різних операцій, що є обов'язковим у будь-якій досконалій циклограмі (наприклад, операції за часом  $T_2$  і  $T_3$  або  $T_5$ ,  $T_6$  і  $T_7$ ).

Найбільші втрати часу припадають на основну операцію — обмотування пакету:

$$T_4 = \frac{60 \cdot H \cdot z}{p \cdot n}, \quad (1.3.)$$

де  $H$  – висота пакету, м;

$z$  - кількість шарів обмотки;

$p$  – крок обмотки, м;

$n$  – частота обертання столу, хв.<sup>-1</sup>.

Аналіз рівняння (1.3) показав, що тривалість цієї операції можна скоротити за рахунок зменшення кількості шарів (тоді треба брати більшої товщини або з міцнішого матеріалу плівку), а також збільшення кроку обмотки (застосовувати плівку більшої ширини).

Висота пакету задається технологічними умовами НРТС-операцій з даною продукцією, тому повинна залишитись незмінною.

Збільшення частоти обертання стола — можливе, але в розумних межах, оскільки виникає небезпека руйнування пакету під дією відцентрових сил. Оптимальна частота обертання столу повинна визначатися для кожного виду вантажів у пакеті.

Сітчасте полотно, виготовлене зі смужок плівки з поліетилену низької щільності лінійної мікромолекулярної будови, застосовується в практиці скріплення транспортних пакетів у випадках необхідності вентиляції

вантажів. Таким чином, замість розтягувальної плівки для скріплення пакетів застосовують розтягувальну сітку.

Для виготовлення розтягувальної сітки витрачається значно менше матеріалу, ніж під час виробництва плівки. Сітка значно легша суцільного полотна і через це може випускатись у більших рулонах — довжиною до 3000 м. Сітчасті полотна під час виготовлення підлягають двохосній витяжці, завдяки чому отримується оптимальне співвідношення механічної міцності до маси і підвищення межі міцності на розтягування у поздовжньому і поперечному напрямках. У випадку, якщо одна нитка сітки порветься, подальшого розповсюдження цього ушкодження не спостерігається.

Сітка придатна для скріплення вантажів різної форми, вона створює надійну фіксацію окремих упаковок у пакеті (ящики, мішки, коробки, паки тощо). Плівка може бути замінена сіткою практично в усіх випадках за винятком тих ситуацій, коли виникає необхідність захисту виробів від пилу, вологи та ін.

Деякі види сіток є міцнішими за плівку в декілька разів, що створює передумови для застосування їх під час скріплення вантажів великої ваги. Доцільно також використовувати сітку для скріплення пакетів з легкозаймистих та відносно легких виробів, що легко деформуються. Під час використання сітки значно спрощується операція закріплення краю полотна на пакеті — цілком досить простого затискача.

Обладнання для скріплення пакетів плівкою і сіткою представлено у світовій практиці ідентичними пристроями і механізмами. Щоправда, сітка дозволяє використовувати різні пристосування для автоматичного закріплення кінців механічним шляхом.

### **1.3. Висновок**

Виконаний огляд літературних джерел вказує на те, що найбільш перспективним для скріплення пакет-піддону є технологія ротаційного обгортання пакету розтягувальною плівкою.

Обладнання для виконання даного процесу дозволяє здійснювати навивання в один, або декілька шарів, від 30 до 80 пакетів за годину, що цілком може задовольняти більшість підприємств харчової промисловості.

## **РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СКРІПЛЕННЯ ПАКЕТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ РОЗТЯГУВАЛЬНОЇ ПЛІВКИ**

### **2.1. Призначення, область застосування і розробка пристрою для обтягування плівкою пакет-піддонів**

Пристрій для пакування й обандеролювання вантажів розтягувальною плівкою (рис. 2.1.) призначено для пакування одиничних вантажів, а також формування групових упакувань на піддоні в єдиний блок (палету).

Переваги пакування в стрейч-плівку:

- надійна фіксація товару на піддоні;
- захист продукції від механічних ушкоджень, впливу навколишнього середовища й втрат при транспортуванні;
- відсутність термозварки, що знижує витрату електроенергії;
- витрата плівки менші в порівнянні з термоусадкою;
- висока продуктивність.

При пакуванні (якщо дозволяє продукція, що пакується) піддон може не використовуватися.

Для пакування вантажів з малою питомою вагою пристрій може комплектуватися притиском.

Такий пристрій може застосовуватися в умовах одиничного, серійного, масового виробництва в будь-яких галузях промисловості.

Розроблений пристрій для обтягування плівкою пакет-піддонів (рис. 2.2.) має такі основні вузли (складальні одиниці):

- платформа ;
- стійка;
- каретка;
- притискна плита;

- вузол відрізки й притиску плівки;
- тримачі плівки;
- пульт керування.

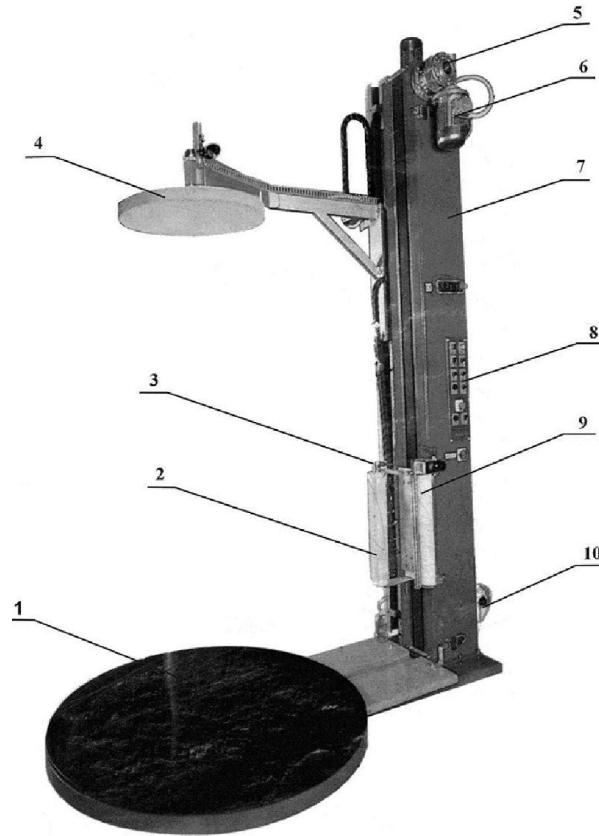


Рис.2.1. Пристрій для обтягування плівкою

1. Платформа
2. Рулон плівки
3. Каретка
4. Верхній прижим
5. Привод притискної плити
6. Привод каретки
7. Стійка
8. Пульт керування
9. Вузол заправки та регулювання натягу плівки
10. Привод платформи

Загальний вигляд пристрою.

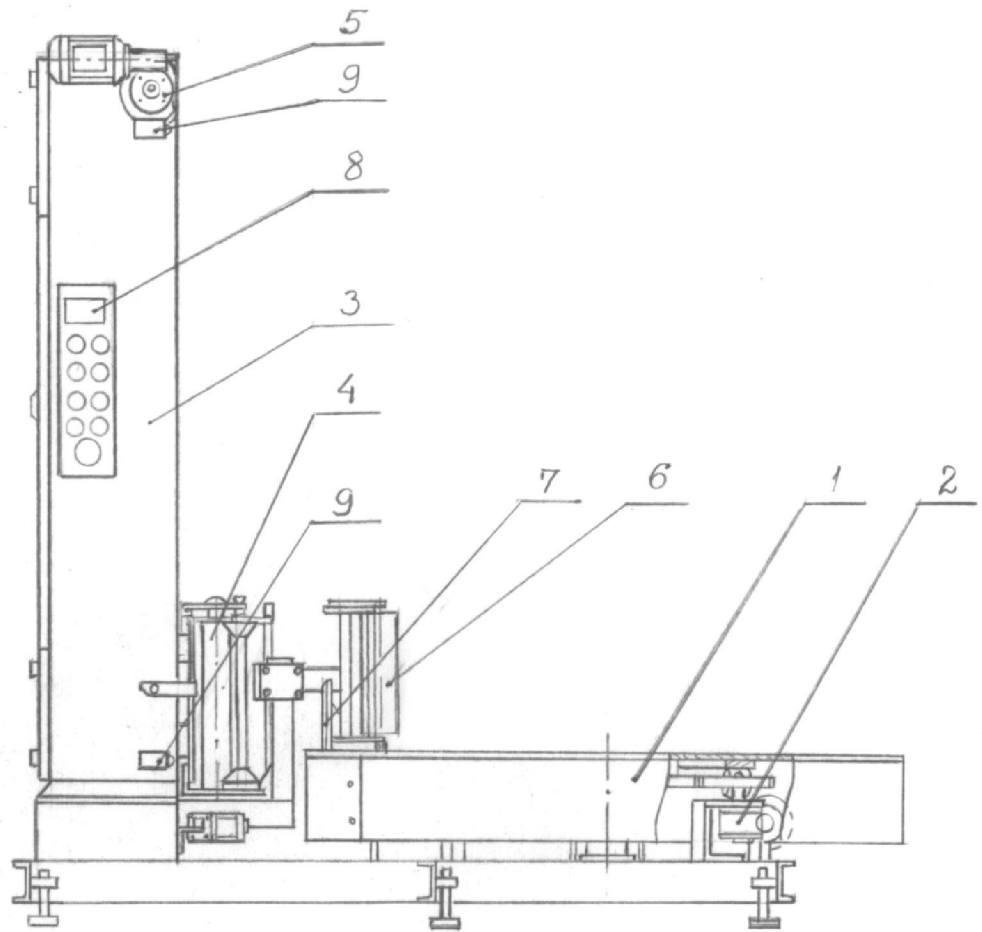


Рис.2.2. Загальний вигляд пристрою

1. Платформа
2. Привод платформи
3. Стійка
4. Каретка
5. Привод каретки
6. Вузол притискання та відрізання
7. Тримачі плівки
8. Пульт керування
9. Аварійні кінцеві вимикачі

### Платформа.

Являє собою станину й обертовий стіл, на який встановлюється пакуємий виріб. Стіл приводиться в рух за допомогою двигуна й шестірень. Вмикання й вимикання платформи здійснюється відповідно до записаної в контролері програми.

Привод платформи постачений перетворювачем частоти, за допомогою якого здійснюється плавний пуск й зупинка платформи. Частотний перетворювач встановлюється безпосередньо в пульті керування пристрою. Необхідні параметри частотного перетворювача встановлюються на його панелі відповідно до прикладеної інструкції по експлуатації. Редуктор привода платформи комплектується обмежником обертаючого моменту для захищення ланцюгової передачі від перевантаження й ударів.

### Стійка.

Представляє собою зварну конструкцію, на якій закріплені наступні вузли пристрою: каретка із приводом, притиск із приводом (при наявності), пульт керування, блок підготовки повітря.

### Каретка.

Переміщується уздовж стійки. Приводиться в рух за допомогою двигуна й наприклад ланцюгової передачі. Вмикання й вимикання каретки здійснюється у відповідності до записаної в контролері програми.

На каретці закріплюється рулон плівки, вузол заправлення плівки, може бути електромагнітна муфта, тощо. Регулювання натягу плівки здійснюється автоматично за допомогою гальма, які бувають різних видів. Далі ми це розглянемо більш детально.

### Притискна плита (при наявності).

Переміщається уздовж стійки. Приводиться в рух за допомогою двигуна й наприклад, ланцюгової передачі. Вмикання й вимикання притиску здійснюється у відповідності до записаної в контролері програми.

### Вузол відрізки й притиску плівки.

Закріплений на станині пристрою. Складається із притискного валика,

упорного валика й ніхромової спіралі. Положення упорного валика при необхідності можна відкоригувати відкрутивши стопорні гвинти.

Приводиться в рух за допомогою пневмоциліндра. Вмикання й вимикання вузла здійснюється відповідно до записаної в контролері програми.

#### Тримачі плівки (захват плівки).

Закріплені на платформі й обертаються разом із платформою. Приводяться в рух за допомогою пневмоциліндра через вузол подачі повітря (перебуває під платформою). Розкриття й закриття захвата здійснюється відповідно до записаної в контролері програми.

#### Пульти керування.

За допомогою пульта керування здійснюється керування технологічним процесом. На операторській панелі пульта керування користувач може встановлювати й коректувати параметри технологічного процесу.

Розглянемо декілька характерних пристроїв для обгортання пакет-піддонів плівкою, що розтягується.

## **2.2. Огляд конструкцій пристроїв для обгортання пакет-піддонів плівкою, що розтягується**

### **2.2.1. Пристрій для обгортання пакет-піддонів плівкою ( ПУ 36149)**

Пристрій відноситься до пакувального обладнання, яке служить для отримання збільшених вантажних одиниць і може бути використаний в харчовій, фармацевтичній, хімічній та інших галузях народного господарства.

Відомий пристрій для обгортання пакет-піддонів плівкою, що розтягується [3], який складається з обертального столу, притискної плити і механізму розмотування плівки.

Але вказаний пристрій не забезпечує гарантованої роботи в режимі обгортання, особливо пакет-піддонів з різними розмірами по довжині і ширині, що призводить до нерівномірного навантаження на привід обертального столу,

змінних динамічних навантажень на плівку і її нерівномірний розтяг, і, як наслідок, - втрата стійкості пакет-піддонів в процесі подальшого транспортування.

Поставлена проблема вирішується за рахунок того, що пристрій для обгортання пакет-піддонів плівкою, що розтягується включає обертальний стіл, притискну плиту і рулонотримач, встановлений на вертикальну колону з можливістю вертикального зворотно-поступального руху. Причому хвостовик рулонотримача з'єднаний з ротором гідравлічного обертального демпфера, виконаного у вигляді крильчатки і розміщеної в осьовому напрямку між стаціонарними радіальними лопатками статора в середовищі силіконового масла.

Причинно-наслідковий зв'язок між ознаками, що пропонуються і технічним результатом, що очікується, наступний. Надання пристрою бобіно-утримувача, з'єданого з ротором гідравлічного обертального демпфера, виконаного у вигляді крильчатки і розміщеної в осьовому напрямку між стаціонарними радіальними лопатками статора в середовищі силіконового масла, забезпечує гарантовану роботу пристрою в режимі обгортання пакет-піддону, зменшує динамічні навантаження на привід обертального столу, стабілізує величину натягу плівки і забезпечує стійкість пакет-піддону.

Таким чином, сукупність запропонованих ознак дозволяє забезпечити в повному об'ємі очікуваний технічний результат.

На рис.2.3 показано пристрій для обгортання пакет-піддону плівкою, що розтягується, на рис.2.4 –рулонотримач.

Пристрій для обгортання пакет-піддонів плівкою, що розтягується, складається з обертального столу з пакет-піддоном 1, притискної плити 2, вертикальної колони 3, рулонотримача 4 і плівки 5. Рулонотримач включає хвостовик 6, крильчатку 7, радіальні лопатки статора 8, середовище силіконового масла 9.

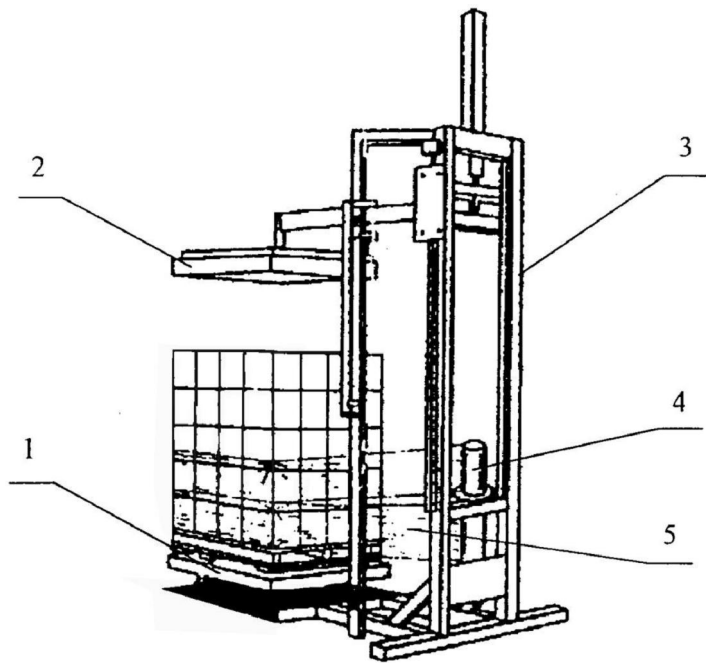


Рис 2.3. Пристрій для обгортання пакет-піддонів плівкою, що розтягується.

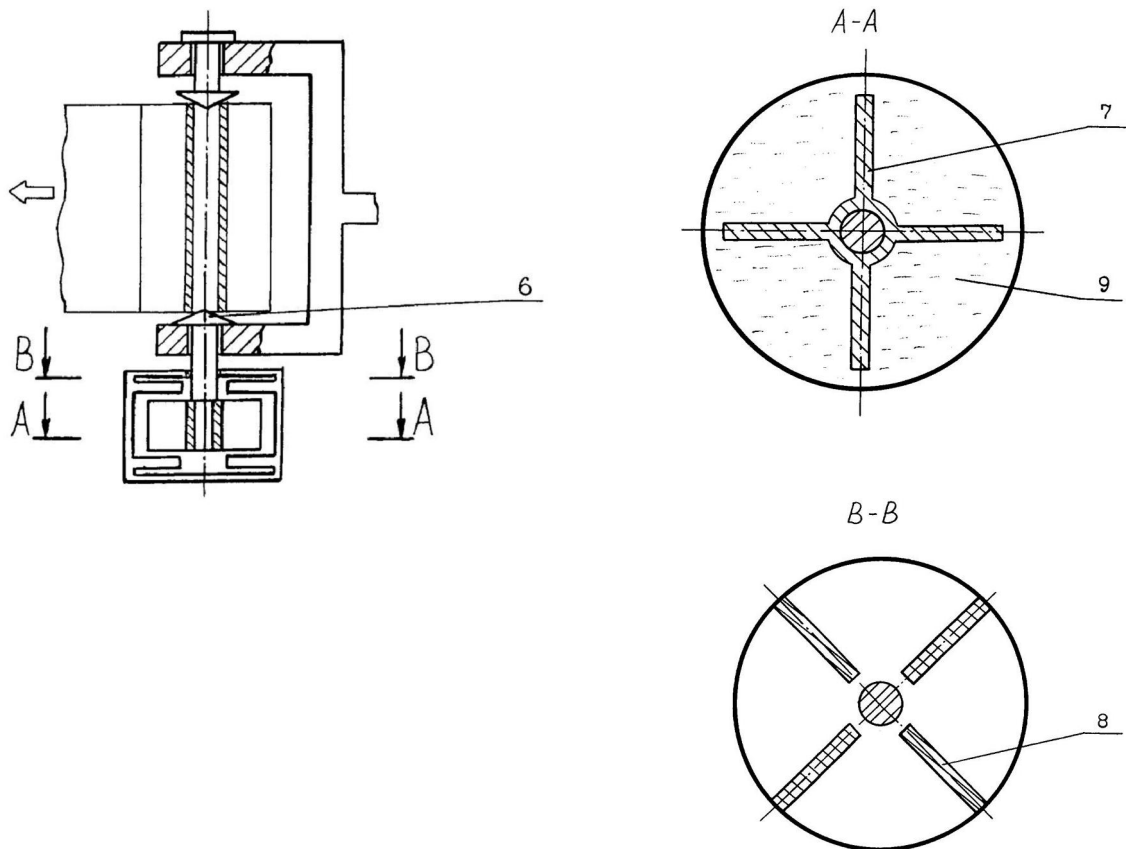


Рис 2.4. Рулонотримач.

Пристрій працює наступним чином. При обертанні пакет-піддону, розміщеного на столі 1, притиснутого зверху прижимною плитою 2, з рулонотримач 4, який здійснює зворотно-поступальний рух по вертикальній

колоні 3, змотується плівка 5. При цьому, при переході плівки з грані на грань пакет-піддону, за рахунок хвостовика 6, з'єданого з крильчаткою 7 і розміщеного в середовищі силіконового масла 9, автоматично підтримується постійний натяг плівки 5, що призводить до зменшення динамічних навантажень на привід оберտального столу і забезпечує стійкість пакет-піддону. Радіальні лопатки 8 служать для ліквідації розкручування силіконового масла 9.

### **2.2.2. Пристрій для обгортання пакет-піддонів плівкою ( ПУ 58140)**

Пристрій відноситься до пакувального обладнання, яке служить для отримання збільшених вантажних одиниць і може бути використаний в харчовій, фармацевтичній, хімічній та інших галузях народного господарства.

Відомий пристрій для обгортання пакет-піддонів плівкою [3], який складається з оберտального столу, притискної плити і механізму розмотування плівки.

Але вказаний пристрій не забезпечує гарантованої роботи в режимі обгортання, особливо пакет-піддонів з різними розмірами по довжині і ширині, що призводить до нерівномірного навантаження на привод оберտального столу, змінних динамічних навантажень на плівку і її нерівномірний натяг, і як наслідок втрата стійкості пакет-піддонів в процесі подальшого транспортування.

Поставлена проблема вирішується за рахунок того, що пристрій для обгортання пакет-піддонів плівкою включає обертальний стіл, притискну плиту і рулонотримач встановлений на платформі, змонтованій на вертикальній колоні з можливістю вертикального зворотно-поступального руху, а система стабілізації натягу плівки виконана у вигляді кінематично- зв'язаних між собою зубчастими колесами роликів, виконаних бочкоподібної форми та змонтованих на одній платформі з рулонотримачем.

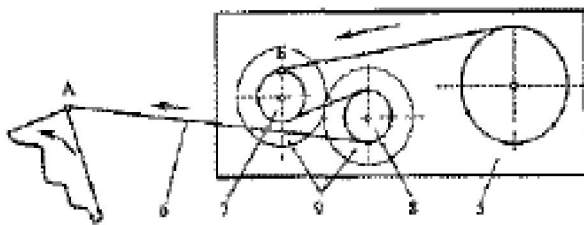
Причинно-наслідковий зв'язок між ознаками, що пропонуються і технічним результатом, що очікується, наступний. Надання пристрою системи стабілізації

натягу плівки виконаної у вигляді кінематично-зв'язаних між собою зубчастими колесами роликів, виконаних бочкоподібної форми та змонтованих на одній платформі з рулонотримачем зменшує динамічні навантаження на привод обертального стола, стабілізує величину натягу плівки і забезпечує стійкість пакет-піддону.

На рис.2.3 показано пристрій для обгортання пакет-піддону плівкою; на рис.2.5 - система стабілізації натягу плівки.

Пристрій для обгортання пакет-піддонів плівкою складається з обертального столу з пакет-піддоном 1, притискної плити 2, вертикальної колони 3, рулонотримача 4 встановленого на платформі 5, плівки 6, роликів 7 та 8 кінематично зв'язаних між собою зубчастими колесами 9.

Рис.2.5. Система стабілізації натягу плівки



Пристрій працює наступним чином. При обертанні пакет-піддону, розміщеного на столі 1, притиснутого зверху притискної плитою 2, з рулонотримача 4, встановленого на платформі 5, який здійснює зворотно-поступальний рух по вертикальній колоні 3, змотується плівка 6. При цьому, при переході плівки з грані на грань пакет-піддону, за рахунок кінематично зв'язаних між собою зубчастими колесами 9 роликів 7 та 8 змонтованих на одній платформі з рулонотримачем забезпечується постійний натяг плівки в точці збігання А з ролика 8 в незалежності від натягу плівки в точці набігання Б на ролик 7, що призводить до зменшення динамічних навантажень на привод обертального стола і забезпечує стійкість пакет-піддону. Ролики 7 та 8 виконані бочкоподібної форми з метою центрування плівки.

### 2.2.3. Пристрій для обгортання пакет-піддонів плівкою ( ПУ 6635)

Пристрій відноситься до пакувального обладнання, яке служить для отримання збільшених вантажних одиниць захищених від впливу факторів зовнішнього середовища (бруд, волога...) і може бути використаний в харчовій, фармацевтичній, хімічній та інших галузях народного господарства.

Відомий пристрій для обгортання пакет-піддонів плівкою [3], який складається з обертального столу, притискної плити і механізму розмотування плівки, що включає рулонотримач встановлений на вертикальній колоні з можливістю вертикального зворотно-поступального руху.

Але вказаний пристрій не забезпечує гарантованого захисту від впливу шкідливих факторів зовнішнього середовища, що призводить до пошкодження упаковки, яка втрачає свою форму, властивості і товарний вигляд, а також псування продукту, що знаходиться в упаковці.

Поставлена проблема вирішується за рахунок того, що пристрій для обгортання пакет-піддонів плівкою включає обертальний стіл, притискну плиту і рулонотримач, встановлений на вертикальній колоні з можливістю вертикального зворотно-поступального руху.

Згідно винаходу, пристрій додатково має механізм для герметизації пакет-піддону у верхній його частині, який складається з двох ланцюгових передач на яких закріплені каретки з голками, вузла кріплення та гальмування рулону, вузла відрізання, гальмування та амортизації плівки.

Причинно-наслідковий зв'язок між ознаками, що пропонуються і технічним результатом, що очікується, наступний. Виконання механізму герметизації пакету у вигляді двох ланцюгових передач, на яких кріпляться каретки з голками, вузла кріплення та гальмування рулону, вузла відрізання, гальмування та амортизації плівки забезпечує надійну герметизацію пакет-піддона, та захищає його від впливу факторів зовнішнього середовища.

На рис.2.6 показано пристрій для обгортання пакет-піддону плівкою та механізм герметизації пакет-піддону у верхній його частині.

Пристрій складається з обертального стола 1, вертикальної колони 2, на якій змонтовано притискну плиту 3 та рулонотримач 4, які мають можливість вертикального зворотно-поступального руху. Над обертальним столом змонтовано механізм для герметизації пакет-піддона, що складається з двох ланцюгових передач 5 на яких закріплені каретки з голками 6. Рулон з плівкою встановлюється на вузол кріплення та гальмування рулону 7. Плівка протягується через вузол амортизації плівки 8, вузол гальмування плівки 9 та вузол відрізання плівки 10.

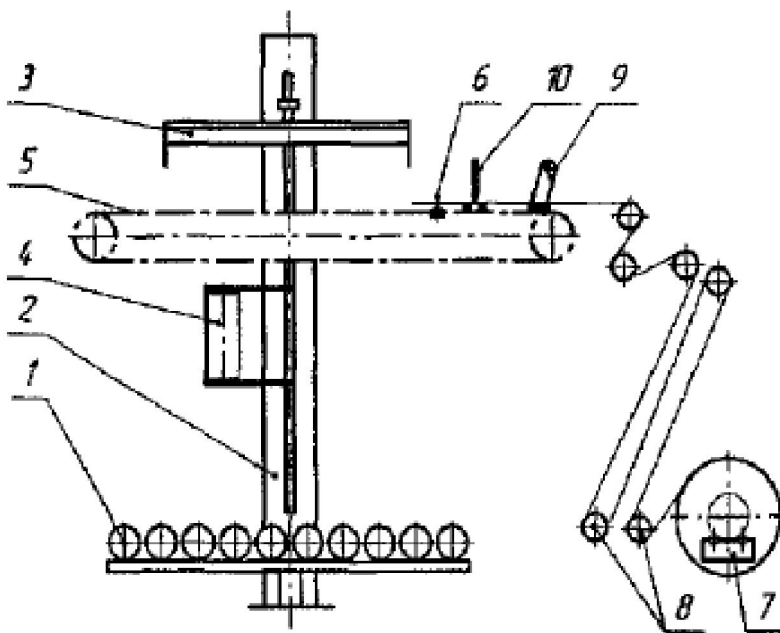


Рис.2.6. Пристрій для обгортання пакет-піддону плівкою

Пристрій працює наступним чином. Над пакетом, що зафіксовано на обертальному столі 1 протягується герметизуюча плівка за допомогою ланцюгових передач 5, на яких закріплені каретки з голками 6 і відрізається за допомогою вузла 10. Вільний кінець плівки не падає завдяки вузлу гальмування плівки 9.

Відрізаний лист плівки притискається до пакету притискною плитою 3 і починається процес обгортання пакет-піддону плівкою, по завершенню якого притискна плита піднімається вгору. Процес герметизації і скріплення пакет-піддона завершено.

Плівка для скріплення пакет-піддона монтується на рулонотримачі 4, який в свою чергу разом з притискною плитою кріпляться на вертикальній колоні 2 і мають можливість вертикального зворотно-поступального руху.

Таким чином, запропонований пристрій дає можливість захистити пакет-піддон від впливу факторів зовнішнього середовища, а також зберегти цілісність пакет-піддона під час його транспортування та зберігання.

## **РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСІВ ОБТЯГУВАННЯ ПЛІВКОЮ ПАКЕТ-ПІДДОНІВ**

### **3.1. Кінематичні дослідження обладнання для скріплення транспортних пакетів**

У більшості випадків скріплення пакет-піддонів досягається шляхом обгортання останніх розтягувальною полімерною плівкою на машинах ротаційного типу. При відносній простоті конструкції машин для обгортання створеного пакету, технологія обгортання розтягувальною плівкою має суттєвий недолік. Це пов'язано із неузгодженістю кінематичних параметрів поворотного столу з пакетом, кутова швидкість якого найчастіше є постійною, та бобіни з плівкою, швидкість змотування якої є змінною і залежить від багатьох чинників.

Так, наприклад, за зростання швидкості змотування плівки, що ведеться ребром пакету, обертання бобіни буде прискореним, і загальний натяг плівки визначатиметься сумою статичної і динамічної складових. Зі зменшенням швидкості змотування, бобіна перебуває в стані інерційного вибігу, що призводить до зменшення натягу плівки. При певному наборі геометричних і кінематичних параметрів, зменшення натягу може привести до нульового і від'ємного (провисання) натягу. Останнє означатиме суттєве зниження стійкості пакет-піддону, а подібних ситуацій варто уникати.

Саме тому в машинах для скріплення пакетів здійснюють підгальмовування бобінодержача, для того щоб підвищити статичну складову натягу плівки, та встановлюють компенсаційні натяжні ролики. При цьому статична складова натягу стрічки повинна перевищувати динамічну складову процесу вибігу. Чим більшою є різниця між ними, тим більшим є залишковий натяг, однак в період розгону, динамічна і статична складові натягу суміряються.

Важливо, що за різних габаритних в плані розмірів пакета кінематичні параметри і динамічні складові навантажень змінюються по чергово зі зміною

ведучих ребер пакету. Можливо, саме ця обставина є однією з причин відсутності розробок, в яких використовувались би спеціальні приводи із компенсуючими елементами, як, наприклад, в ланцюгах конвеєрах зі значним кроком ланцюга.

Система «пакет-піддон – плівка – бобіна», з точки зору динаміки, відповідає двомасовій моделі, в якій взаємодія ведучої і веденої мас за вказаних кінематичних збурень в русі ведучої супроводжується виникненням коливальних процесів. Останні додатково дестабілізують натяг плівки. Певну роль в цій дестабілізації відіграє зміна довжини ведучої ділянки плівки за час ведення одним ребром пакету, оскільки плівка визначає жорсткість, Н/м:

$$c = \frac{E \cdot F}{l}, \quad (3.1)$$

де  $E$  – модуль пружності першого роду матеріалу плівки, Па;

$F$  – площа поперечного перерізу плівки, м<sup>2</sup>;

$l$  – довжина ведучої ділянки плівки, м.

Можливість прогнозування параметрів таких систем – не тільки теоретичний інтерес, таму що практика виконання навантажувально-розвантажувальних, транспортних і складських робіт знає випадки, коли руйнуються не тільки масиви виробів, а й окремі пакет-піддони.

На рис. 3.1. наведена розрахункова схема, за допомогою якої можна визначити геометричні зв'язки системи і кінематичні параметри. За розмірів пакет-піддону в плані  $a \times b$  на схемі показані положення, які відповідають зміні ведучого ребра. В положенні I в контакт з плівкою входить ребро  $A$ , яке стає ведучим до переміщення його в позицію  $A'$ . Кутове переміщення пакет-піддону при цьому будемо вважати переміщенням першого етапу. По його завершенню в контакт з плівкою входить ребро  $B$  (позиція  $B'$ ) і другий етап продовжується до моменту, коли ребро  $B'$  приймає положення ребра  $D$  на схемі. При цьому кут  $\varphi_1$  повороту пакет-піддону більший на першому етапі порівняно з  $\varphi_2$  на другому етапі, тобто:

$$\varphi_1 = \frac{\pi}{2} + \gamma; \quad \varphi_2 = \frac{\pi}{2} + \gamma, \quad (3.2)$$

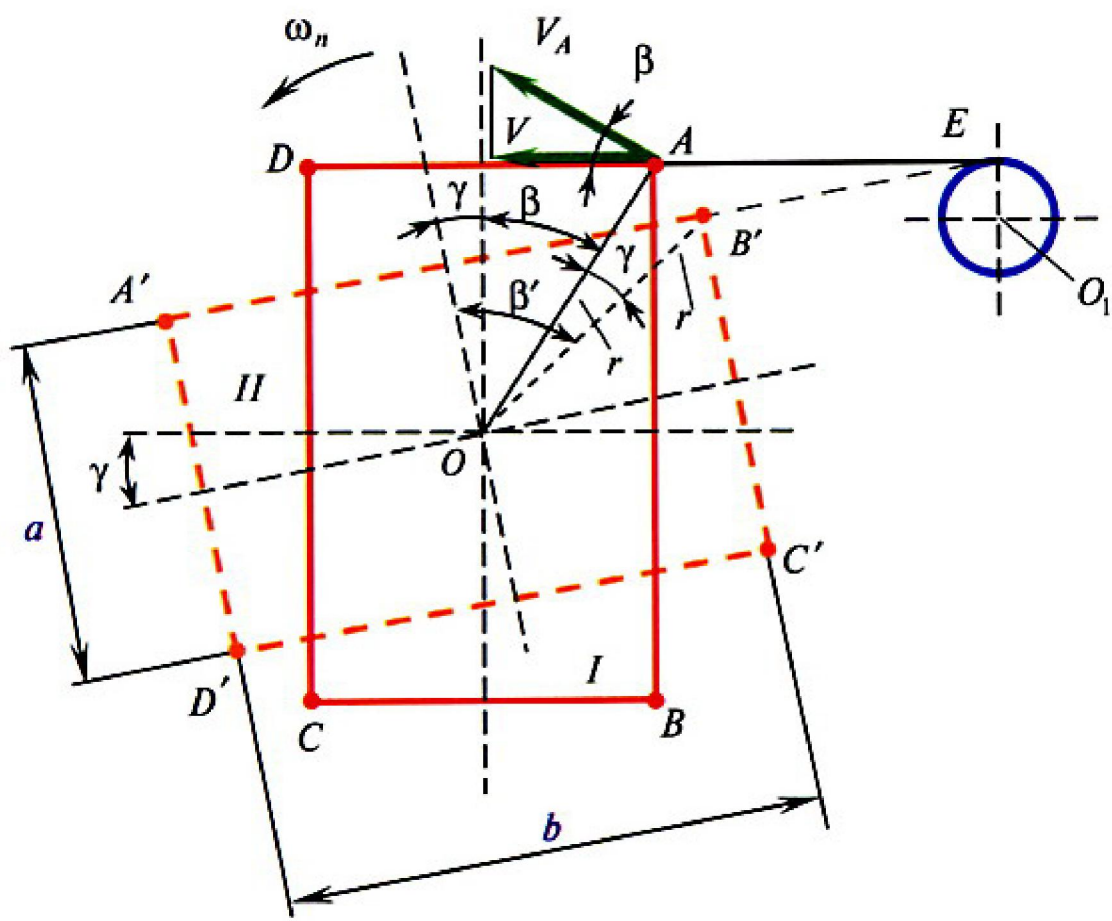


Рис. 3.1. Розрахункова схема до визначення кінематичних параметрів процесу

$$\text{де } \gamma = \frac{\beta' - \beta}{2};$$

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{a}{b};$$

$$\beta' = \operatorname{arctg} \frac{b}{a}.$$

Таким чином, для квадратного перерізу пакета, коли  $a = b$ , одержуємо:

$$\beta = \beta';$$

$$\gamma = 0;$$

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \frac{\pi}{2}.$$

За заданої кутової швидкості пакет-піддону  $\omega_n$  колова швидкість ребер однокова, оскільки вони розташовуються на однокових радіусах  $r$ , і для ребра А маємо:

$$V_A = \omega_n \cdot r \text{ і } \bar{V}_A \perp \bar{r}. \quad (3.3)$$

В положенні І маємо відхилення вектора  $\bar{V}_A$  від площини розташування плівки на кут  $\beta$ , а тому швидкість  $V$  змотування плівки знайдемо за формулою:

$$V = V_A \cdot \frac{\cos \beta}{\cos \alpha}, \quad (3.4)$$

де  $\alpha$  - кут підйому гвинтової лінії плівки.

Оскільки проекція  $\bar{V}_A$  на площину плівки залежить від величини кута  $\beta$ , що змінюється від  $\beta_{\max} = \operatorname{arctg} \frac{a}{b}$  до  $\beta_{\min} = 0$ , то це визначає діапазон зміни швидкості змотування плівки на першому етапі, а саме:

$$V_{\min}^I = \frac{\omega_n \cdot r \cdot \cos \operatorname{arctg} \frac{a}{b}}{\cos \alpha} \quad (3.5)$$

$$V_{\max}^I = \frac{\omega_n \cdot r}{\cos \alpha} \quad (3.6)$$

Відповідно для другого етапу запишемо:

$$V_{\min}'' = \frac{\omega_n \cdot r \cdot \cos \arctg \frac{b}{a}}{\cos \alpha} \quad (3.7)$$

$$V_{\max}'' = \frac{\omega_n \cdot r}{\cos \alpha} \quad (3.8)$$

Тоді коефіцієнт нерівномірності змотування плівки на першому етапі

$$\delta^I = \frac{V - V_{\min}}{V} = 1 - \cos \arctg \frac{a}{b}, \quad (3.9)$$

$$\delta^{II} = 1 - \cos \arctg \frac{b}{a} \quad (3.10)$$

Зміна співвідношень розмірів  $a$  і  $b$  у пакета, як бачимо, по-різному впливає на рівномірність змотування плівки. Якщо відношення  $a:b$  зменшується, то на першому етапі це викликає зменшення  $\delta^I$ , а на другому етапі  $\delta^{II}$  зростає і навпаки. Так для пакет-піддонів  $1200 \times 1000$  маємо:

$$\frac{a}{b} = \frac{1000}{1200} = 0,833;$$

$$\frac{b}{a} = 1,2,$$

а для  $1200 \times 800$  мм:

$$\frac{a}{b} = \frac{800}{1200} = 0,666;$$

$$\frac{b}{a} = 1,5.$$

Тоді для першого випадку

$$\beta_{\max} = \arctg 0,833 = 39,79^\circ,$$

$$\beta'_{\max} = \arctg 1,2 = 50,19^\circ,$$

а для другого –

$$\beta_{\max} = \arctg 0,666 = 33,66^\circ,$$

$$\beta'_{\max} = \arctg 1,5 = 56,3^\circ,$$

За знайдених значень для пакет-піддонів  $1200 \times 1000$  мм на першому і другому етапах відповідно отримуємо:

$$\delta^I = 1 - \cos \operatorname{arctg} \frac{a}{b} = 1 - 0,768 = 0,232;$$

$$\delta^{II} = 1 - 0,64 = 0,36,$$

а для пакет-піддонів 1200×800 мм маємо:

$$\delta^I = 1 - \cos \operatorname{arctg} 0,666 = 1 - 0,832 = 0,168;$$

$$\delta^{II} = 1 - \cos \operatorname{arctg} 1,5 = 1 - 0,555 = 0,445.$$

Для випадку квадратного поперечного перерізу пакет-піддону маємо:

$$\beta_{\max} = \beta'_{\max} = 45^\circ$$

Тоді:

$$\delta^I = \delta^{II} = 1 - \cos \operatorname{arctg} 1,0 = 1 - 0,707 = 0,293.$$

Таким чином, швидкість змотування плівки у відповідності з кутом повороту пакет-піддону змінюється від  $V_{\min}^I$  до  $V_{\max} = \frac{\omega_n \cdot r}{\cos \alpha}$  і до  $V_{\min}^{II}$ , а на другому етапі – від  $V_{\min}^{II}$  до  $V_{\max}$  і до  $V_{\min}^I$  (Рис. 3.2.).

На ділянці повороту від  $\varphi = 0$  до  $\varphi = \beta$  маємо:

$$V = \frac{\omega_n \cdot r}{\cos \alpha} \cdot \cos(\beta - \omega_n \cdot t), \quad (3.11)$$

де  $t$  - час процесу, а на ділянці від  $\varphi = \beta$  до  $\varphi = \varphi_1$  швидкість змотування

$$V = \frac{\omega_n \cdot r}{\cos \alpha} \cdot \cos \omega_n \cdot t. \quad (3.12)$$

Тоді відповідно на вказаних ділянках диференціюванням рівнянь (3.11) та (3.12) одержуємо:

$$a = \frac{\omega_n \cdot r}{\cos \alpha} \cdot \sin(\beta_1 - \omega_n \cdot t); \quad (3.13)$$

$$a = -\frac{\omega_n \cdot r}{\cos \alpha} \cdot \sin \omega_n \cdot t. \quad (3.14)$$

Таким чином, на ділянках  $\varphi_1'$  та  $\varphi_2'$  має місце прискорений рух, а на ділянках  $\varphi_1''$  та  $\varphi_2''$  – рух сповільнений. Саме на двох останніх ділянках має місце послаблення натягу плівки, а в позиціях  $\varphi = 0$  і  $\varphi = \varphi_1$  трапляються м'які удари.

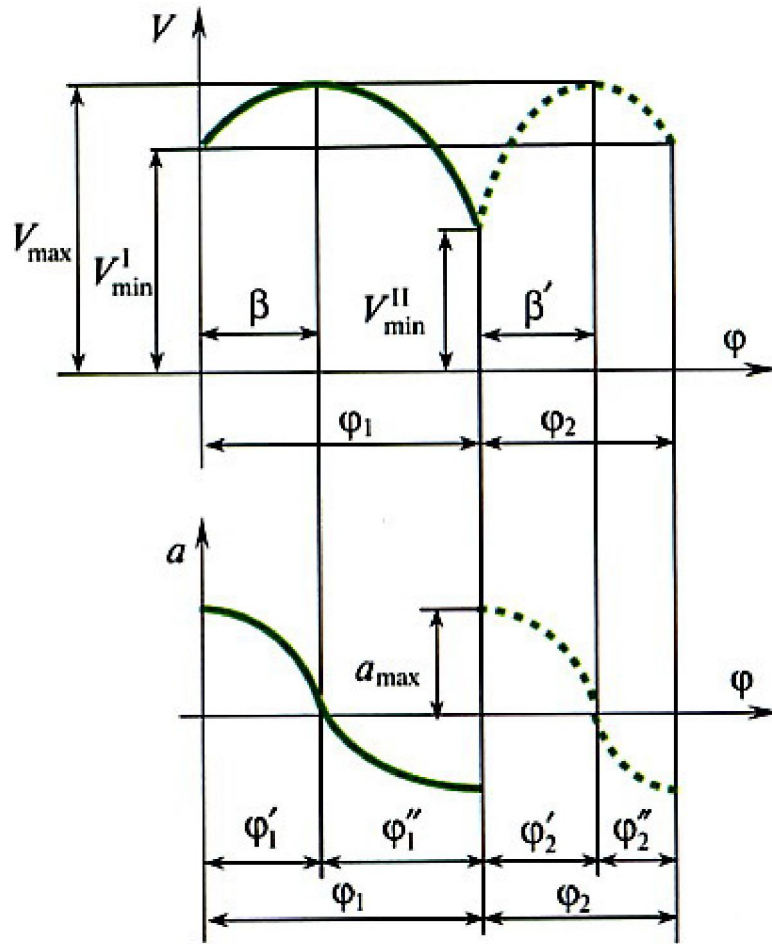


Рис. 3.2. Графіки зміни швидкості і прискорення змотування плівки

Викладене вказує на наявність кінематичних збурень системи, проявам чого є нерівномірність натягу плівки, яка існує завжди. Тому важливо відслідковувати і підтримувати на певному рівні гальмівний момент опору на бобіні з тим, щоб обмежувати її вибіг.

### **3.2. Динаміка обтягування плівкою збільшених вантажних одиниць**

Звичайно пакет-піддони мають форму паралелепіпеда, і машинне обтягування їх плівкою здійснюється внаслідок їх обертання та “змотування” плівки з барабана, якому надається зворотно-поступальний рух по вертикальній напрямній для утворення гвинтової намотки. Плівка при цьому “ведеться” вертикальним ребром пакету. Незважаючи на те, що значення радіуса ребра є величиною сталою, швидкість змотування плівки весь час змінюється. У зв’язку з цим внаслідок інерційних явищ порушується рівномірний натяг плівки, що певним чином відображається на міцності майбутнього пакета. Усувають цей недолік двома шляхами. Перший з них – це підгальмовування барабану з плівкою та регулювання моменту опору його обертання, а другий – регулювання швидкості обертання пакета. Кожен з цих шляхів має свої недоліки та переваги, проте успішне їх втілення можливе лише за умови наявності теоретичних положень, які відображають фізичну суть явищ.

Зміна швидкості змотування плівки є не єдиною причиною вказаного недоліку. Довжина ділянки плівки між ведучим ребром та барабаном також змінна, і це визначає змінний характер жорсткості, яка є важливим динамічним параметром.

У зв’язку з викладеним виникає потреба у розробленні теоретичних положень, що описують цей процес.

Розв’язання задачі почнемо з пошуку геометричних зв’язків. Звичайно в плані пакет-піддон має форму прямокутника. Позначимо його сторони через  $a$  та  $b$  (рис.3.3).

Кінематика та динаміка процесу описується певними залежностями на етапах повороту пакет-піддона на кути  $\varphi_{(к)}^I$  та  $\varphi_{(к)}^{II}$ . Позначивши відстань  $O_2C$  як  $r$ , визначимо ці кути.

З рисунка видно, що

$$\psi_{(к)}^I = \arcsin \frac{b}{2l_{O_1O_2}}; \quad (3.15)$$

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{r \sin(\varphi + \varphi_o)}{l_{O_1O_2} - r \cos(\varphi + \varphi_o)}. \quad (3.16)$$

Показане на рис. 3.3 положення пакета та барабана відповідає завершенню I етапу (ведуче ребро  $B$ ). Початок наступного етапу має місце від моменту контакту плівки з ребром  $C$ . Тут справедливі такі геометричні співвідношення:

$$\varphi_{(к)}^I = \frac{\pi}{2} - \psi_{(к)}^I + \psi_o = \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{b}{2l_{O_1O_2}} + \arcsin \frac{a}{2l_{O_1O_2}}; \quad (3.17)$$

$$\varphi_{(к)}^{II} = \pi - \varphi_{(к)}^I = \frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{b}{2l_{O_1O_2}} - \arcsin \frac{a}{2l_{O_1O_2}}. \quad (3.18)$$

Нехай відстань  $l_{O_1O_2}$  та кутова швидкість обертання пакета  $\omega$  відомі (рис. 3.4).

Визначимо величину  $x_A$ , яка відповідає довжині плівки:

$$x_A = l_{O_1O_2} \cos \psi - r \cos(\varphi + \varphi_o + \psi). \quad (3.19)$$

Після підстановки (3.16) в (3.19) дістанемо:

$$x_A = l_{O_1O_2} \cos \operatorname{arctg} \frac{r \sin(\omega t + \varphi_o)}{l_{O_1O_2} - r \cos(\omega t + \varphi_o)} - r \cos \left( \varphi_o + \operatorname{arctg} \frac{r \sin(\omega t + \varphi_o)}{l_{O_1O_2} - r \cos(\omega t + \varphi_o)} + \omega t \right). \quad (3.20)$$

На момент завершення I етапу в контакт з плівкою ввійде ребро  $C$  (рис.3.3).

Якщо кутова швидкість  $\omega$  обертання пакет-піддона відома, то маємо можливість визначити час завершення першого етапу:

$$t_{(к)}^I = \frac{\varphi_{(к)}^I}{\omega} = \frac{\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{b}{2l_{O_1O_2}} + \arcsin \frac{a}{2l_{O_1O_2}}}{\omega} \quad (3.21)$$

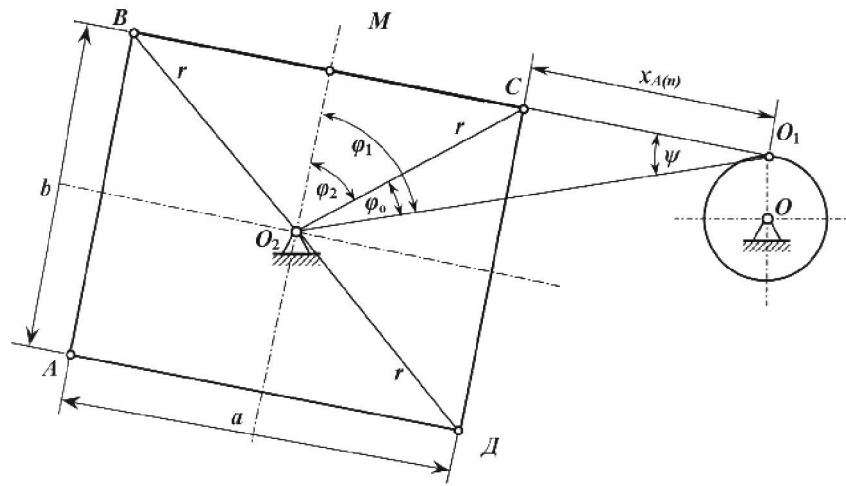


Рис. 3.3. Схема до визначення геометричних зв'язків

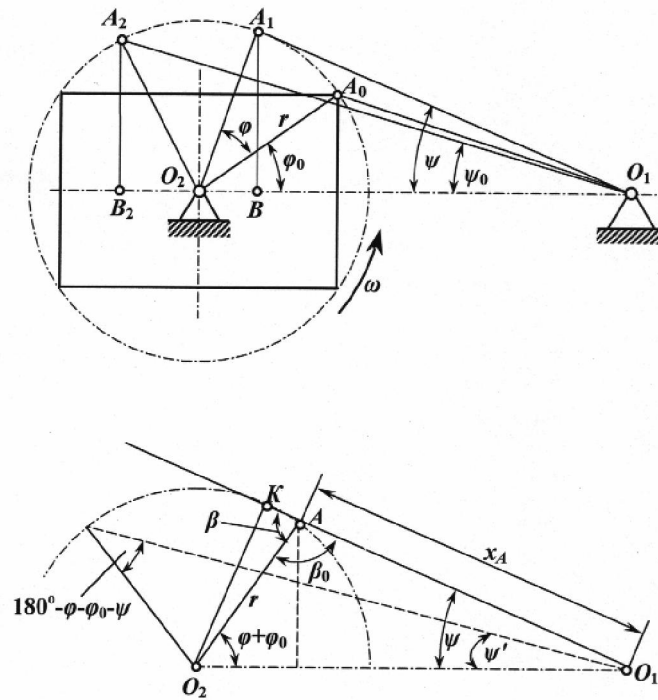


Рис. 3.4. Схеми загального положення

Побудуємо графік залежності  $t_{(\kappa)}^I$  від  $l_{o_1o_2}$ . Для цього нам треба розв'язати рівняння (3.21) підставивши такі прийняті значення:

$$\omega = 1,75$$

$$b = 1,2$$

$$a = 0,8$$

А  $l_{o_1o_2}$  коливається у межах від 1 до 2 метрів, з кроком 0,1 м

При  $l_{o_1o_2} = 1$  м

$$t_{(\kappa)}^I = \frac{\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{1,2}{2 \cdot 1} + \arcsin \frac{0,8}{2 \cdot 1}}{1,75} = \frac{1,57 - 0,64 + 0,41}{1,75} = 0,77 \text{ (с)}$$

При  $l_{o_1o_2} = 1,1$  м

$$t_{(\kappa)}^I = \frac{\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{1,2}{2 \cdot 1,1} + \arcsin \frac{0,8}{2 \cdot 1,1}}{1,75} = \frac{1,57 - 0,58 + 0,37}{1,75} = 0,78 \text{ (с)}$$

При  $l_{o_1o_2} = 1,2$  м

$$t_{(\kappa)}^I = \frac{\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{1,2}{2 \cdot 1,2} + \arcsin \frac{0,8}{2 \cdot 1,2}}{1,75} = \frac{1,57 - 0,52 + 0,34}{1,75} = 0,79 \text{ (с)}$$

При  $l_{o_1o_2} = 1,3$  м

$$t_{(\kappa)}^I = \frac{\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{1,2}{2 \cdot 1,3} + \arcsin \frac{0,8}{2 \cdot 1,3}}{1,75} = \frac{1,57 - 0,48 + 0,31}{1,75} = 0,8 \text{ (с)}$$

При  $l_{o_1o_2} = 1,4$  м

$$t_{(\kappa)}^I = \frac{\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{1,2}{2 \cdot 1,4} + \arcsin \frac{0,8}{2 \cdot 1,4}}{1,75} = \frac{1,57 - 0,44 + 0,29}{1,75} = 0,81 \text{ (с)}$$

При  $l_{o_1o_2} = 1,5$  м

$$t_{(\kappa)}^I = \frac{\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{1,2}{2 \cdot 1,5} + \arcsin \frac{0,8}{2 \cdot 1,5}}{1,75} = \frac{1,57 - 0,41 + 0,27}{1,75} = 0,817 (c)$$

При  $l_{o,o_2} = 1,6$  м

$$t_{(\kappa)}^I = \frac{\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{1,2}{2 \cdot 1,6} + \arcsin \frac{0,8}{2 \cdot 1,6}}{1,75} = \frac{1,57 - 0,38 + 0,25}{1,75} = 0,823 (c)$$

При  $l_{o,o_2} = 1,7$  м

$$t_{(\kappa)}^I = \frac{\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{1,2}{2 \cdot 1,7} + \arcsin \frac{0,8}{2 \cdot 1,7}}{1,75} = \frac{1,57 - 0,36 + 0,238}{1,75} = 0,827 (c)$$

При  $l_{o,o_2} = 1,8$  м

$$t_{(\kappa)}^I = \frac{\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{1,2}{2 \cdot 1,8} + \arcsin \frac{0,8}{2 \cdot 1,8}}{1,75} = \frac{1,57 - 0,34 + 0,22}{1,75} = 0,829 (c)$$

При  $l_{o,o_2} = 1,9$  м

$$t_{(\kappa)}^I = \frac{\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{1,2}{2 \cdot 1,9} + \arcsin \frac{0,8}{2 \cdot 1,9}}{1,75} = \frac{1,57 - 0,32 + 0,21}{1,75} = 0,834 (c)$$

При  $l_{o,o_2} = 2$  м

$$t_{(\kappa)}^I = \frac{\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{1,2}{2 \cdot 2} + \arcsin \frac{0,8}{2 \cdot 2}}{1,75} = \frac{1,57 - 0,3 + 0,2}{1,75} = 0,84 (c)$$

Необхідні розрахунки проведено, отже можемо будувати графік

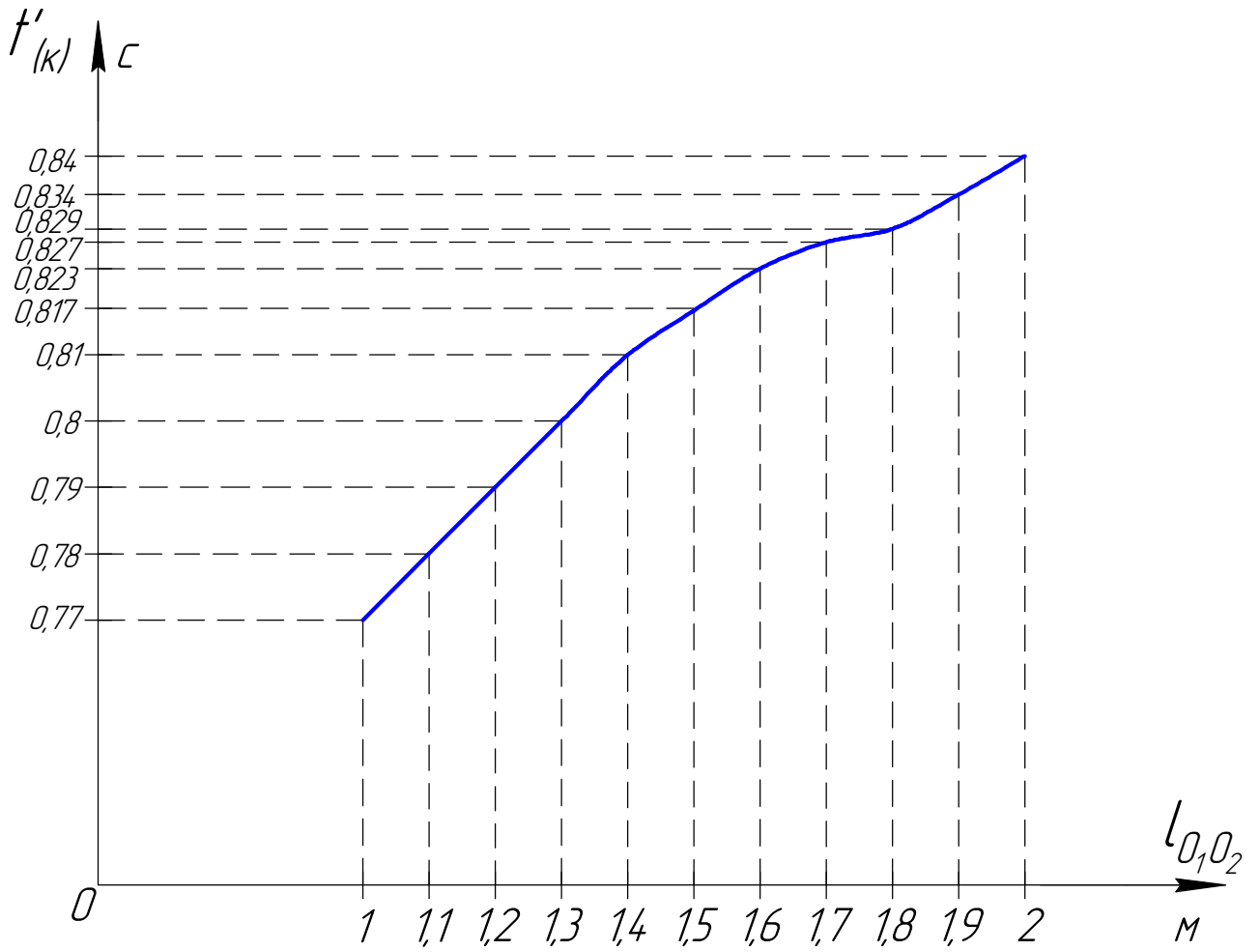
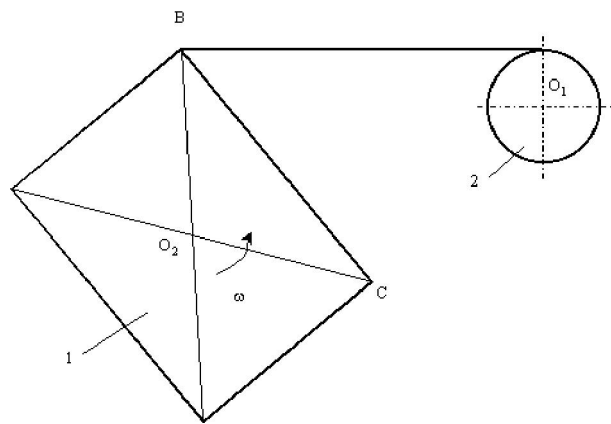


Рис. 3.5. Графік залежності  $t'_{(\kappa)}$  від  $l_{O_1O_2}$

Нерівномірний натяг є наслідком змінної швидкості змотування плівки з бобіни та несталої довжини ділянки плівки між ведучим і веденим елементами. Кінематичні збурення системи “пакет-піддон – плівка – бобіна” оцінювалися раніше, проте заслуговує на окрему увагу вплив на динаміку процесу змінної жорсткості плівки. Це тим більше актуально, що одним з напрямів розв’язання проблеми є стабілізація швидкості змотування плівки за допомогою регульованого приводу пакет-піддона.

Розглянемо випадок, коли швидкість  $\dot{x}_{\text{ст}}^I$  змотування плівки є величиною постійною. Досягти цього можна, якщо кутова швидкість  $\omega = \omega(t)$  пакет-піддона змінна.



- 1 – пакет-піддон;
- 2 – бобіна з плівкою

Рис.3.6. Схема пристрою для обгортання пакет-піддону

Оскільки довжини граней його різні, виділимо два етапи руху. Нехай на першому етапі з плівкою взаємодіє ребро  $B$ , а на другому – ребро  $C$ . Складаючи модель перехідного етапу, будемо вважати, що ведуча маса за час вибору технологічного зазору набере швидкість  $\dot{x}_{\text{ст}}^I$  змотування плівки. Тоді рівняння руху ведучої та веденої мас записуються у вигляді:

$$\begin{cases} x_1 = \dot{x}_{\text{ст}}^I t + x_{1(\Pi)}^I; \\ m_2 \ddot{x}_2 = c(x_1 - x_2) - P_{\text{оп}}, \end{cases} \quad (3.22)$$

де  $x_1$  і  $x_2$  – координати переміщення відповідно ведучої та веденої мас;  $c$  – зведена жорсткість системи;  $P_{оп}$  – зведена сила опору переміщення ведучої маси.

Зведену жорсткість  $c$  визначимо діленням питомої жорсткості  $EF$  (де  $E$  – модуль пружності матеріалу плівки;  $F$  – площа поперечного перерізу плівки) на загальну довжину  $l$  ділянки плівки між ребром пакет-піддона та бобіною.

Підстановка значень жорсткості  $c$  (з урахуванням  $l = x_1$ ) та  $x_1$  перетворює рівняння (3.22) на вираз:

$$\ddot{x}_2 = \frac{EF}{m_2} - \frac{EF x_2}{m_2(\dot{x}_{ст}^I t + x_{1(п)}^I)} - \frac{P_{оп}}{m_2} \quad (3.23)$$

Початкові умови першого етапу:

$$t_{(п)}^I = 0; \quad x_{2(п)}^I = x_{1(п)}^I - \frac{P_{оп}}{EF} x_1; \quad \dot{x}_{2(п)}^I = \dot{x}_{см}^I \quad (3.24)$$

Інтегрування виразу (3.24) дає можливість визначити кінематичні параметри залежно від часу, а підстановка часу завершення першого етапу  $t = t_{(к)}^I$  дає можливість обчислити значення кінематичних параметрів  $x_{2(к)}^I$ ,  $\dot{x}_{2(к)}^I$ ,  $\ddot{x}_{2(к)}^I$ .

Рівняння руху для другого етапу

$$\begin{cases} x_1 = \dot{x}_{ст}^{II} t + x_{1(п)}^{II}; \\ m_2 \ddot{x}_2 = c(x_1 - x_2) - P_{оп}. \end{cases} \quad (3.25)$$

Після підстановки значень  $c$  та  $x_1$  і перетворень дістанемо

$$\ddot{x}_2 = \frac{EF}{m_2} - \frac{EF x_2}{m_2(\dot{x}_{ст}^{II} t + x_{1(п)}^{II})} - \frac{P_{оп}}{m_2}. \quad (3.26)$$

Початкові умови другого етапу:

$$t_{(п)}^{II} = 0; \quad x_{2(п)}^{II} = x_{2(к)}^I; \quad \dot{x}_{2(п)}^{II} = \dot{x}_{2(к)}^I. \quad (3.27)$$

Пружні зусилля в плівці на першому і другому етапах визначаються за виразами

$$P_{пр}^I = \frac{EF}{\dot{x}_{ст}^I t + x_{1(п)}^I} (x_1^I - x_2^I) \quad (3.28)$$

та

$$P_{\text{пр}}^{\text{II}} = \frac{EF}{\dot{x}_{\text{ст}}^{\text{II}} t + x_{1(n)}^{\text{II}}} (x_1^{\text{II}} - x_2^{\text{II}}). \quad (3.29)$$

Якщо швидкість змотування плівки постійна, то зникають зовнішні збурення коливальних процесів. Проте змінною залишається жорсткість плівки, і це продовжує дестабілізувати пружні сили.

На рис. 3.7 наведено графіки переміщення  $x_2$ , швидкості  $\dot{x}_2$  та пружних сил  $P_{\text{пр}}$ . Вихідні дані для цього випадку  $m_2 = 20$  кг;  $EF = 20000$  Н;  $x_{2(n)} = 0,25$  м;  $\dot{x}_{2(n)} = 0,64$  м/с;  $\dot{x}_{\text{см}} = 0,78$  м/с. В даному разі різниця швидкостей  $\dot{x}_{2(n)}$  та  $\dot{x}_{\text{см}}$  є однією з причин виникнення коливальних процесів.

З графіків змінення швидкості та пружних сил видно, як відчутно змінюється частота власних коливань системи за час перебігу етапу, що є наслідком змінення жорсткості. Саме вплив останньої добре простежується на графіку змінення пружних сил, відповідно до якого екстремальні значення їх від 215 Н на початку зменшуються до 110 Н в кінці процесу затухання, тобто в 1,95 рази. В той же час жорсткість змінюється в 6 разів. Нагадаємо, що в подібних випадках динамічна складова навантаження пропорційна  $\sqrt{c}$  і тому становить  $\sqrt{6} \approx 2,45$ . Таке порівняння наводить на думку, що саме зменшення жорсткості призводить до зниження пружних сил. Подібні силові залежності можна навести для умов коли  $P_{\text{он}} = 150$  Н (рис. 3.8). Для даного випадку  $P_{\text{пр max}} = 316$  Н. Динамічна складова навантаження в обох випадках становить близько 165 Н. Як бачимо, динамічні складові навантажень не залежать від опору переміщення, тому однією з можливостей уникнути від'ємних навантажень у плівці є збільшення опору переміщення веденої маси.

Із розрахунків випливає, що швидкість руху веденої маси збільшується від початкового до максимального значення з виникненням коливального процесу відносно заданої величини  $\dot{x}_{\text{см}}$ . Кінематичні параметри коливального процесу вказують на те, що за інших однакових умов має значення величина  $\dot{x}_{2(n)}$ .

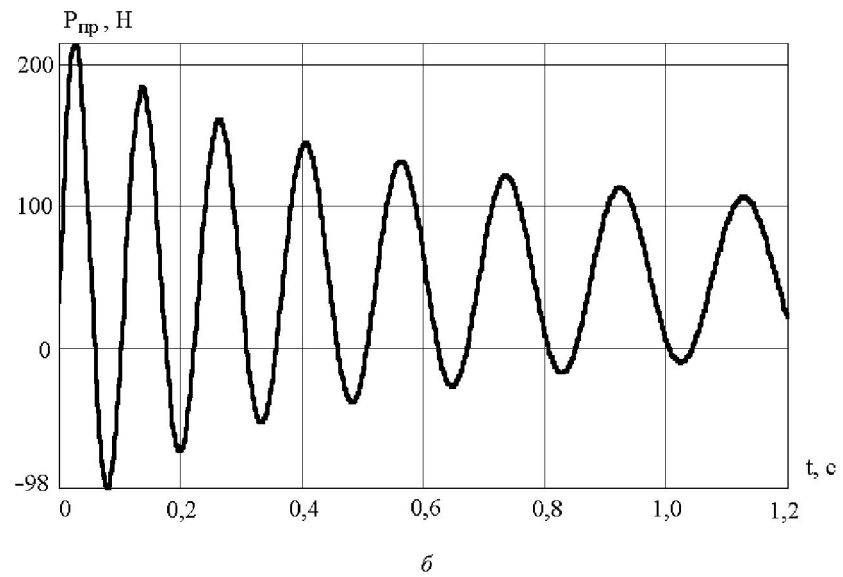
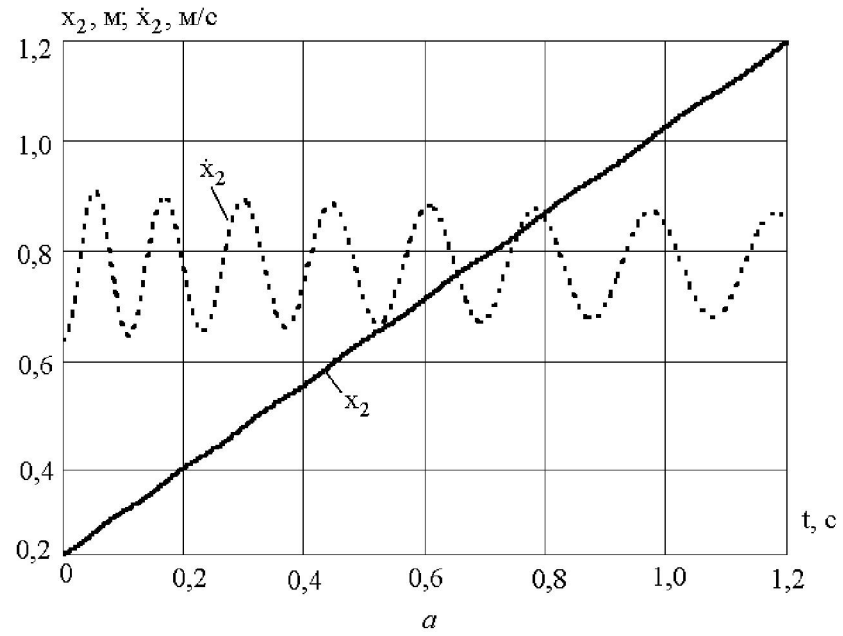


Рис. 3.7. Графіки кінематичних (а) та силових (б) параметрів при  $P_{\text{он}} = 50 \text{ Н}$

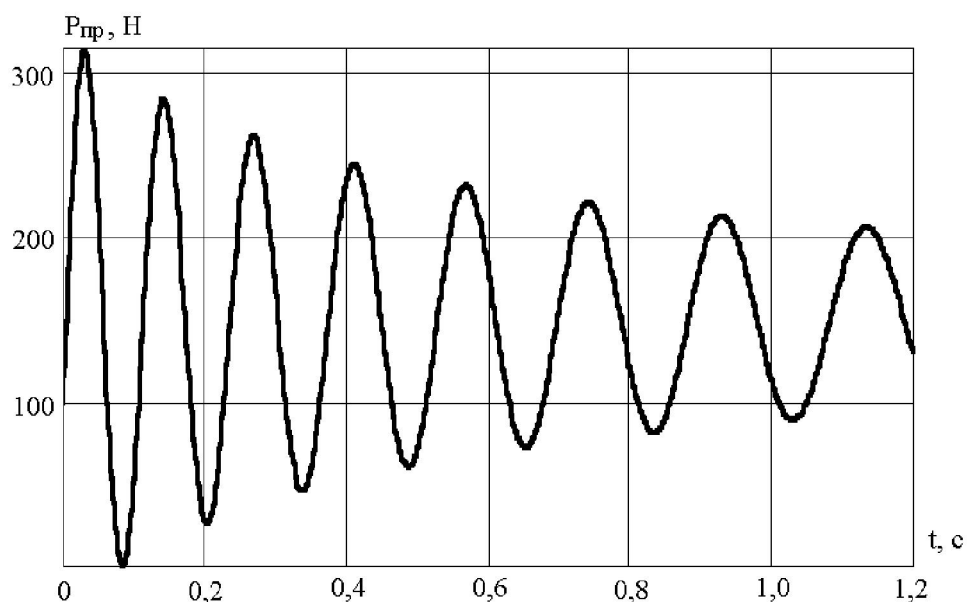


Рис. 3.8. Графік силового параметра при  $P_{он} = 150$  Н

Тому в міру затухання коливального процесу єдиною причиною змінних значень  $P_{пр}$  залишається змінна жорсткість.

Щоб визначити кінематичні параметри процесу обтягування плівкою, треба двічі про диференціювати вираз (3.20), доставши при цьому швидкості та прискорення.

Для дослідження динаміки усталеного руху складемо динамічну модель, яка описує процес (рис. 3.9).

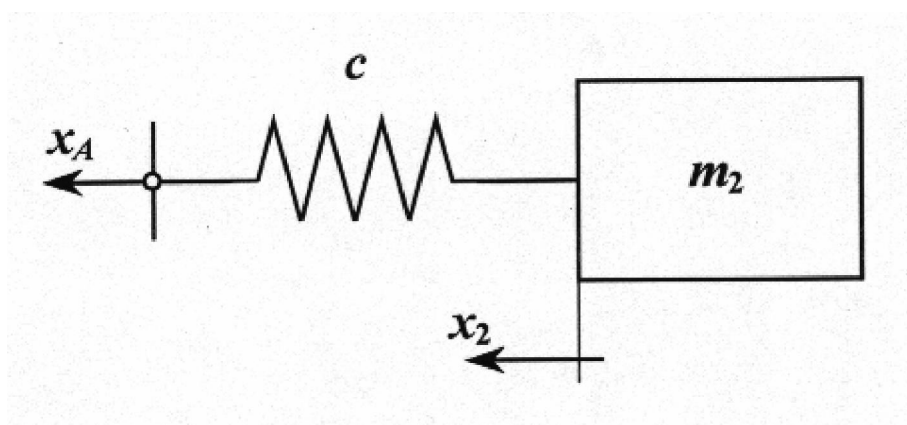


Рис. 3.9. Розрахункова модель до випадку усталеного руху

Рівняння руху веденої маси в цьому випадку записується у вигляді

$$m_2 \ddot{x}_2 = c(x_A - x_2) - P_{on}, \quad (3.30)$$

де  $x_2$  – координата переміщення веденої маси;  $c$  – жорсткість пружного елемента

$$c = EF/x_A; \quad (3.31)$$

$E$  – модуль пружності, Па;  $F$  – площа поперечного перерізу плівки, м<sup>2</sup>.

Підставивши  $c$  та  $x_A$  у (3.30), дістанемо:

$$m_2 \ddot{x}_2 = \frac{EF}{l_{O_1O_2} \cos \arctg \frac{r \sin(\varphi + \varphi_o)}{l_{O_1O_2} - r \cos(\varphi + \varphi_o)} - r \cos(\varphi + \varphi_o) + \arctg \frac{r \sin(\varphi + \varphi_o)}{l_{O_1O_2} - r \cos(\varphi + \varphi_o)} \times \\ \times \left( l_{O_1O_2} \cos \arctg \frac{r \sin(\varphi + \varphi_o)}{l_{O_1O_2} - r \cos(\varphi + \varphi_o)} - r \cos \left( \varphi + \varphi_o + \arctg \frac{r \sin(\varphi + \varphi_o)}{l_{O_1O_2} - r \cos(\varphi + \varphi_o)} \right) - x_2 \right) - P_{on}. \quad (3.32)$$

Початкові умови для розв'язання рівняння (3.32)

$$t_{(n)} = 0;$$

$$x_{2(n)} = x_{A(n)};$$

$$\dot{x}_{2(n)} = \frac{\dot{x}_{A_{\max}} + \dot{x}_{A_{\min}}}{2}$$

Навантаження плівки:

$$P_{np} = c(x_A - x_2) \quad (3.33)$$

Розрахунки виконуємо для двох етапів, оскільки протягом цих етапів значення  $\varphi_o$  будуть різними.

Очевидно, що значення  $x_2 = x_2(t)$  і  $P_{np} = P_{np}(t)$  залежать від величин  $a$ ,  $b$  та  $l_{O_1O_2}$  у своєму безпосередньому впливі. Разом з тим, має вплив жорсткість, яка за інших рівних умов залежить від вибраного  $l_{O_1O_2}$ .

Отже, до зовнішніх параметрів впливу належать кутова швидкість  $\omega$  і відстань  $l_{O_1O_2}$ . Проте кутова швидкість обертання пакета певним чином регламентується пропускнуою здатністю системи, але якийсь діапазон вибору все-таки існує.

Хоча маса бобіни протягом роботи суттєво змінюється, проте це визначає лише різні рівні навантаження та різну динаміку у міру витрачання плівки. Однак цей вплив на динаміку обтягування окремо взятого пакет-піддона залежить від маси бобіни, хоча всі залежності зберігаються.

На рис. 3.10 показано результати розрахунків для визначення пружних зусиль, які здійснювалися з використанням програми “Mathcad” за таких значень параметрів:

$$m_2 = 20 \text{ кг}; EF = 5000; 20000 \text{ Н}; l_{O_1O_2} = 1,2r;$$
$$r = 0,72 \text{ м}; \omega = 1,57 \text{ с}^{-1}; P_{on} = 150 \text{ Н}.$$

З рис.3.10. видно, що вказаний набір параметрів системи запобігає від’ємним натягам плівки і дає задовільний результат.

Основні результати виконаних досліджень формулюються так:

1. Одержано взаємозв’язки між геометричними та кінематичними параметрами пристрою для обтягування плівкою пакет-піддонів і виведено залежність для визначення довжини плівки;
2. Створено математичну модель динаміки перехідного процесу розгону системи “пакет-піддон-плівка-бобіна”, виведено нелінійні диференціальні рівняння руху мас і визначено початкові умови;
3. Виконано чисельне розв’язання рівняння руху та проаналізовано одержані розв’язки за певних значень параметрів системи. Встановлено, що наявність коливальних процесів, пов’язаних зі змінною швидкістю ведучої маси, може супроводжуватись від’ємними розрахунковими значеннями пружних сил. Уникнути таких показників вдається за рахунок підвищення сили опору переміщення веденої маси;
4. Збільшення довжини плівки протягом кожного з етапів зумовлює зменшення жорсткості, що відображається зменшенням динамічних складових пружних навантажень за інших рівних умов.

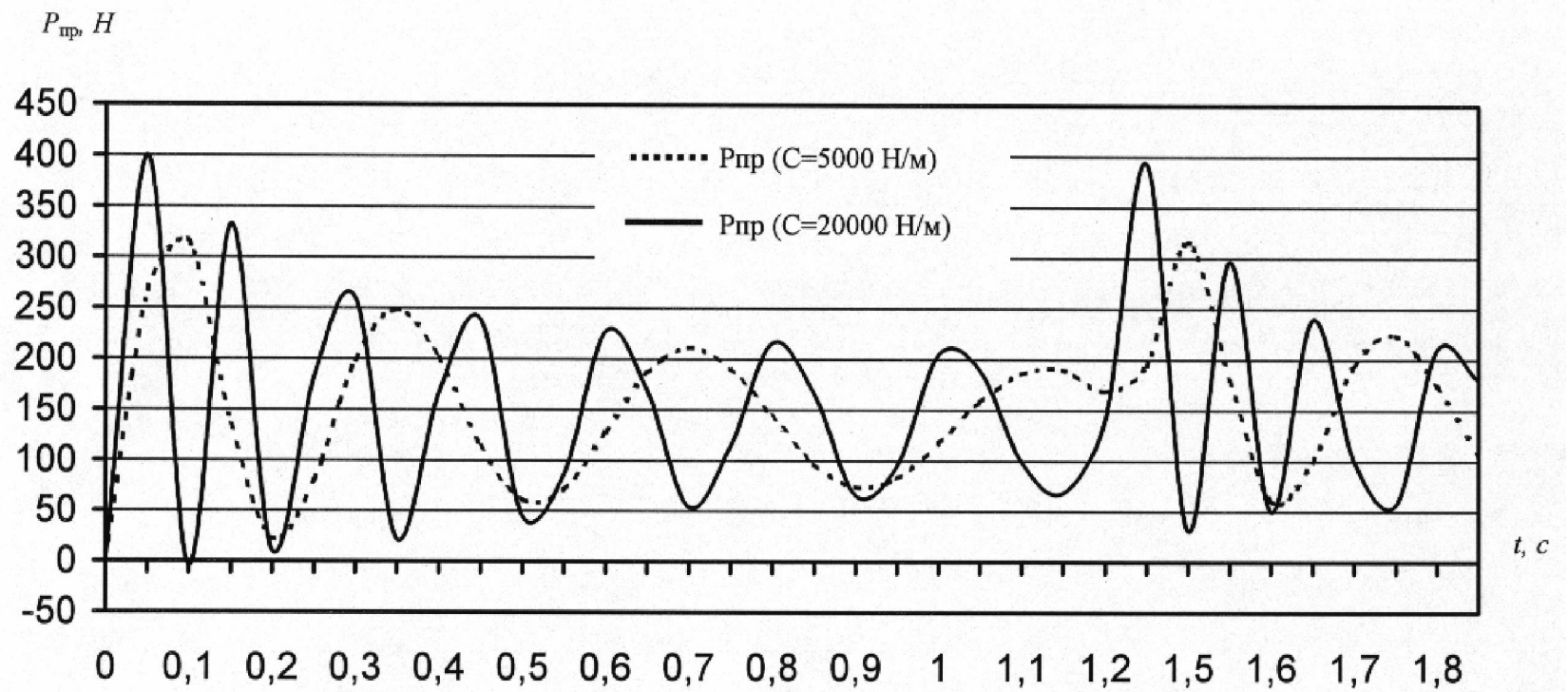


Рис. 3.10. Графіки пружних навантажень плівки для I і II етапів усталеного руху

### 3.3. Використання зрівнювальних механізмів у пристроях для обгортання пакет-піддонів

Обстеження, проведені на підприємствах харчової промисловості, показують, що до 20 % пакет-піддонів доставляються до споживача з відхиленнями початкової форми їх і з втратами склотари. Цей недолік пов'язаний з динамікою виконання процесу обгортання плівкою. Існуюче поєднання геометрії пакета та кінематики його обертання є причиною того, що швидкість змотування плівки – не постійна величина, між тим система "пакет-піддон – плівка – бобіна" є пружною, в якій внаслідок кінематичних збурень виникають коливальні процеси. Ці кінематичні збурення можуть розглядатись як періодичні, параметри яких залежать від співвідношення розмірів пакета та частоти його обертання. Очевидно, що на загальну картину коливань впливають жорсткість плівки та маса (момент інерції) бобіни. Довжина ділянки плівки, що "ведеться" ребром пакета, змінна, тому треба враховувати змінну жорсткість, оскільки вона обернено-пропорційна довжині. Змінною в процесі роботи є також маса (момент інерції) бобіни з плівкою, тому натяги плівки на початку роботи з новою бобіною і в кінці будуть різними.

Виконані дослідження кінематики та динаміки, які супроводжують процес обгортання плівкою пакет-піддонів, показали, що для систем з параметрами, наближеними до виробничих, динамічні складові навантажень за амплітудами близькі до статичних складових і це означає можливість зниження натягів плівки (аж до від'ємних). Та обставина, що динамічні складові навантажень зі збільшенням часу проходження кожного з етапів зменшуються, становища не рятує, оскільки "ослаблення" плівки на початку етапу неминуче призведуть до зменшення натягу на бічних поверхнях пакета. Причиною виникнення коливальних процесів, як відмічалось, є зміна кінематичних збуджень, а результати навантажень визначаються жорсткістю системи, веденою масою та зведеною силою (моментом) опору. У зв'язку з цим завдання синтезу системи,

позбавленої вказаного недоліку, можна вирішити регулюванням (стабілізацією) швидкості ведучої маси, зниженням жорсткості плівки, зменшенням веденої маси, використанням поглиначів коливань.

Зрівнювальні пристрої використовують для того, щоб досягти заданих законів руху ведених ланок. Відома постановка такого завдання стосовно ланцюгових передач або ланцюгових транспортувальних машин (елеватори, конвеєри). За кінцеву мету тут мають домагатися постійної швидкості руху ланцюгів. Якщо швидкість руху ведучих зірочок постійна, то, як відомо, ланцюг матиме змінну швидкість. Завдяки зміні закону руху ведучих зірочок (разом з ведучим валом) досягається стабілізація швидкості ланцюга.

Аналогічно виглядає проблема використання зрівнювальних механізмів стосовно пристроїв для обгортання пакет-піддонів плівкою. Технічно забезпечити заданий закон руху пакет-піддона можна, використовуючи існуючі розробки. На рис. 3.11. зображено схему приводу пакет-піддона зі зрівнювальним пристроєм. До складу останнього входять ведуча зірочка 1 ланцюгової передачі та ведена зірочка 2, яка має стільки ж граней, як і пакет-піддон. На рисунку показані також пакет-піддон 3, плівка 4, та бобіна 5. При цьому крок ланцюга  $p$  на гранях зірочки 2 має вкладатися ціле число разів. Окрім того, має виконуватись умова подібності, тобто:

$$\frac{a}{a_1} = \frac{b}{b_1}. \quad (3.34)$$

У зв'язку зі зміною положення радіуса-вектора зубця зірочки 2, який ведеться шарніром ланцюга, кутова швидкість її буде змінною і в указаному на рис. 3.11 положенні – найменшою. Окрім того, має виконуватись умова подібності трикутників  $OCO_1$  та  $OA'O_2$  (рис. 3.12), за якою визначається довжина  $l_{A'O_2}$  та міжосьова відстань  $l_{OO'}$ .

У вказаному положенні кутова швидкість веденої зірочки та пакета буде найменшою, що спричиняє зменшення швидкості змотування плівки. Результат

стабілізації останньої певною мірою залежить від величини кроку ланцюга ланцюгової передачі. Вибір кроку ланцюга пов'язується з розмірами граней  $A'B'$  та  $B'C'$  веденої зірочки.

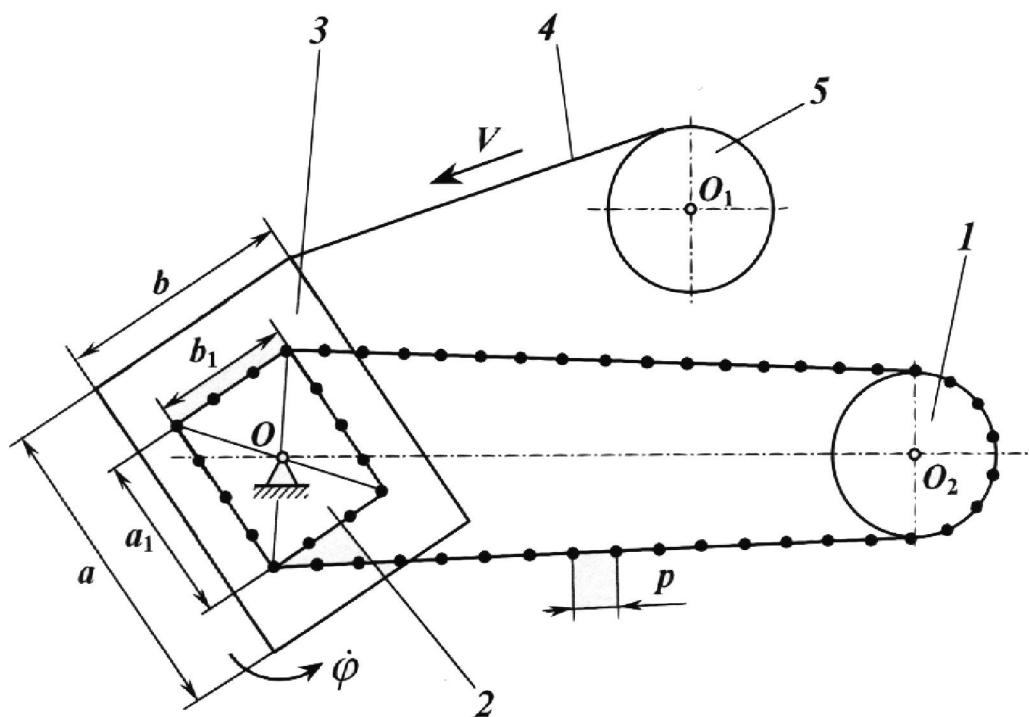


Рис. 3.11. Схема приводу пакет-піддону зі зрівнювальним механізмом

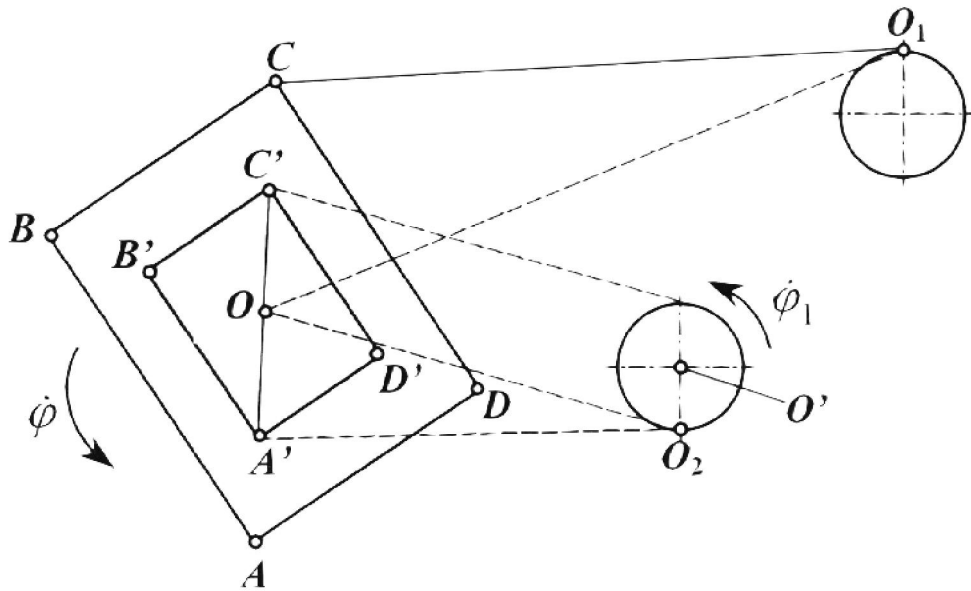


Рис. 3.12. Схема до визначення  
співвідношень геометричних параметрів приводу

Використання зрівнювальних механізмів у нашому випадку має певні недоліки, пов'язані з нерівномірністю обертання пакет-піддонів, маса та момент інерції яких можуть бути досить великими.

Обертальний рух пакет-піддону зі змінною кутовою швидкістю зумовлює появу моменту сил інерції  $M_i = -I_s \ddot{\phi}$ , де  $I_s$  – момент інерції пакет-піддона відносно осі, яка проходить через його геометричний центр ваги (найчастіше ця вісь збігається з віссю обертання пакет-піддона).

Розрахунки приводу, передач, валів та опор у цьому випадку треба виконувати з урахуванням максимального моменту сил інерції

$$M_{i \max} = -I_s \ddot{\phi}_{\max}. \quad (3.35)$$

Використання зрівнювальних пристроїв інших типів супроводжуватиметься такими ж недоліками, які мали місце в розглянутому прикладі, й пов'язані вони зі значною масою пакет-піддонів.

### 3.4. Висновки

1. Оцінено перспективи використання зрівнювальних механізмів у складі приводів пристроїв для обгортання пакет-піддонів плівкою, що розтягується. Запропоновано методика визначення геометричних параметрів зрівнювальних пристроїв на основі використання ланцюгової передачі й веденої зірочки з геометрією, подібною в плані до геометрії пакета.
2. Запропоновано формули для визначення взаємозв'язків між геометричними і кінематичними параметрами пакет-піддонів з динамічними характеристиками в умовах використання зрівнювальних пристроїв.
3. У разі використання зрівнювальних пристроїв виникає потреба оцінити параметри стійкості окремих вантажних складових пакет-піддонів.
4. Розрахунки приводів зі зрівнювальними механізмами мають виконуватися з урахуванням додаткових динамічних навантажень.

## РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПО ВИЗНАЧЕННЮ ЧАСУ ОБГОРТАННЯ ПАКЕТ-ПІДДОНІВ

### 4.1. Експериментальні дослідження в моделюванні процесів

У наукових дослідженнях для опису процесу, що відбувається, використовується поняття математичної моделі. *Математичною моделлю* називають співвідношення між величинами, що характеризують явища, процеси або об'єкти.

На базі використання відомих законів природи, аналізу матеріальних, енергетичних і інших балансів можна скласти *теоретичну математичну модель* у вигляді диференціальних, інтегральних, інтегровано-диференціальних, алгебраїчних рівнянь або їх систем. Математична модель, побудована методом ідентифікації, при якому основні залежності отримані шляхом безпосередніх вимірів, називається *емпіричною математичною моделлю*. Принципова відмінність емпіричної моделі в тому, що її параметри розраховуються експериментальними методами, отже, є величинами випадковими. Тому при аналізі розглянутих моделей використовується апарат теорії імовірності та математичної статистики.

*Експериментом* будемо називати послідовність заздалегідь спланованих дій для отримання величин, що є результатами експерименту.

*Планування експерименту* – процедура вибору кількості й умов проведення дослідів, потрібних для розв'язання задачі досліджень з достатньою точністю.

Задачі, для яких може бути використано планування експерименту, такі: пошук оптимальних умов, побудова інтерполяційних формул, вибір суттєвих факторів, що впливають на процес, визначення або уточнення констант теоретичної математичної моделі (коефіцієнти тертя, відновлення тощо).

У теорії експерименту вхідні параметри називаються *факторами*, а вихідні – *відгуком*.

Розрізняють пасивний і активний експерименти. *Пасивний експеримент* є традиційним методом дослідження, під час якого вхідні параметри не можуть змінюватись, а тільки реєструються вхідні та вихідні величини. До пасивного експерименту відносять збирання статистичного матеріалу в режимі нормальної експлуатації промислового об'єкта. Опрацювання даних для отримання емпіричної математичної моделі при цьому проводиться методами класичного регресійного і кореляційного аналізу. *Активний експеримент* ставиться за попередньо складеним планом, при цьому передбачається одночасна зміна всіх параметрів, які впливають на процес, що дає змогу встановити силу взаємодії факторів з одночасним скороченням загальної кількості дослідів. У даному разі можна отримати рівняння регресії з оцінкою впливу кожного фактора на вихідну величину.

Залежно від кількості факторів експерименти поділяють на одно- й багатофакторні. Коли змінюється тільки одна вхідна величина і реєструється відгук, то експеримент називається *однофакторним*. Якщо факторів, що впливають на процес, більше одного, то проводять *багатофакторний експеримент*. Переважно процеси характеризуються впливом кількох факторів, тому розглядатиметься тільки багатофакторний експеримент. Якщо кожен фактор набуває тільки два рівня, то експеримент називається *дворівневим*.

Сучасний стан теорії багатофакторного активного експеримент дає можливість розв'язувати такі задачі:

- 1) розкриття механізму процесу чи явища – побудова в умовах невизначеності математичної емпіричної моделі процесу, яка в кількісній формі показує вплив різних факторів на вихідну величину;
- 2) оптимізація об'єктів – знаходження сукупності значень параметрів керування, які забезпечують екстремум вихідної величини;
- 3) виявлення факторів з усієї сукупності змінних, які суттєво впливають на вихідну величину;
- 4) ідентифікація об'єктів – визначення їх стану і параметрів у процесі функціонування;

5) екстраполяція поведінки об'єкту в часі й просторі.

## 4.2. Постановка задачі і проведення експерименту

Вдосконалення теорії та методів розрахунку обладнання для обтягування плівкою пакет-піддонів являється задачею, рішення якої забезпечить оптимальне конструювання його вузлів з метою зменшення часу, який витрачається на обгортання, а отже, для збільшення продуктивності. Ми зможемо дізнатися який з параметрів найбільше впливає на наш процес.

У зв'язку з цим виникає потреба в математичному моделюванні процесу обтягування, висока значимість якого відмічається багатьма сучасними вченими і не викликає сумніву.

Основні цілі математичного моделювання процесу обтягування плівкою пакет-піддонів містяться у поглибленні розуміння процесу і його кількісного опису з максимально можливим наближенням до реальної технологічної практики, а також побудова в умовах невизначеності математичної емпіричної моделі процесу, яка в кількісній формі показує вплив різних факторів на вихідну величину.

### Складання математичної моделі

Детермінічна залежність нам невідома, оскільки невідомі фізичні зв'язки між вхідними і вихідними параметрами, тобто ми маємо модель ОХТ у вигляді «чорного ящика».

Запишемо вхідні параметри процесу (рис. 3.3)

$$t_{(к)}^I = \frac{\varphi_{(к)}^I}{\omega} = \frac{\frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{b}{2l_{o_1o_2}} - \arcsin \frac{a}{2l_{o_1o_2}}}{\omega} \quad (3.21)$$

$a$  і  $b$  – сторони пакет піддону;

$\omega$  – кутова швидкість;

$l_{o_1o_2}$  – довжина ведучого ребра.

У загальному вигляді функцію можна представити так:

$$t = f(a, b, \omega, l_{o_1, o_2}),$$

але у зв'язку з тим, що  $\omega$  і  $l_{o_1, o_2}$  є сталими параметрами, то отримаємо:

$$t = f(\omega, l_{o_1, o_2}),$$

Побудуємо загальну схему математичної моделі

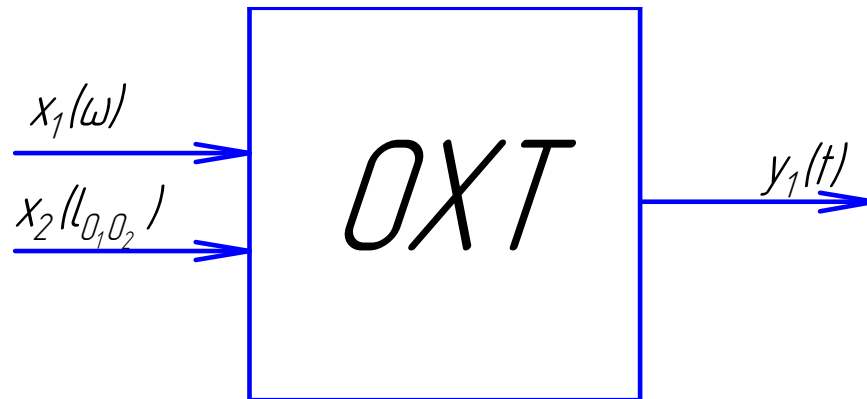


Рис.4.1. Загальна схема математичної моделі

Складемо рівняння регресії передбачаючи, що залежність буде лінійною:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_1 x_2$$

де  $b_0, b_1, b_2, b_3$  – коефіцієнти регресії.

### Побудова плану повного факторного експерименту

Для проведення дослідів складають план з відповідними матрицями планування експерименту з вказуванням числа дослідів та межі зміни факторів. Матриця представляє собою перелік варіантів взятих в даній серії дослідів. Відомо, що найбільш простими матрицями є матриці повного факторного експерименту (ПФЕ), в яких досліджувані фактори змінюються лише на двох рівнях: верхньому та нижньому.

Визначаємо кількість дослідів повного факторного експерименту:

$$N = 2^n = 2^2 = 4,$$

де  $n = 2$  – кількість вхідних факторів.

Плануємо кількість дублюючих дослідів  $m = 2$ .

Нормалізуємо вихідне рівняння регресії, тобто перетворюємо змінні  $x_i$  в безрозмірні нормалізовані  $z_i$ :

$$z_i = (x_i - x_0) / \Delta x_i,$$

де  $x_i$  – значення фактора на «+» - рівні;

$x_0$  – значення фактора на 0-рівні;

$\Delta x_i$  – крок варіювання.

Після нормалізації рівняння регресії маємо:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_1 x_2$$

Визначивши які фактори впливають на процес обгортання визначаємо їх рівні варіювання та крок варіювання:

Таблиця 1

Фактор	Одиниці вимірювання	0-рівень	Крок варіювання	Верхній рівень «+»	Нижній рівень «-»
$x_1 (l)$	м	1	0,2	1,2	0,8
$x_2 (\omega)$	$c^{-1}$	1,5	0,5	2	1

Нехай  $l_{O_1 O_2} = l$ .

Ця довжина змінюється в межах від 0,8м до 1,2м

$$l_1 = 0,8 (м) \quad l_2 = 1,2 (м)$$

Кутова швидкість обертання пакета  $\omega$  змінюється від 1рад/с до 2рад/с

$$\omega_1 = 1 (c^{-1}) \quad \omega_2 = 2 (c^{-1})$$

### Матриця планування двофакторного експерименту

Номер дослідів N	Фактори			
	$x_0$	$x_1 (l)$	$x_2 (\omega)$	$x_1 x_2$

1	+	-	-	+
2	+	+	-	-
3	+	-	+	-
4	+	+	+	+

Стовпчик  $x_0$  потрібний для обчислення коефіцієнта  $b_0$ , а останній стовпчик є добутком другого і третього.

Результати експериментів:

Номер досліджу	$y_1$ с	$y_2$ с	$y_{сер}$ с
1	1,38	1,42	1,40
2	1,45	1,51	1,48
3	0,69	0,71	0,70
4	0,70	0,78	0,74

### 4.3. Обробка експериментальних даних

Розрахуємо коефіцієнти рівняння регресії:

Таким чином для двофакторного експерименту  $b$ - коефіцієнти розраховуються за такими формулами:

$$b_0 = \frac{(+1)t_1 + (+1)t_2 + (+1)t_3 + (+1)t_4}{4}$$

$$b_0 = \frac{(+1)1,40 + (+1)1,48 + (+1)0,7 + (+1)0,74}{4} = 1,08$$

$$b_1 = \frac{(-1)t_1 + (+1)t_2 + (-1)t_3 + (+1)t_4}{4}$$

$$b_1 = \frac{(-1)1,4 + (+1)1,48 + (-1)0,7 + (+1)0,74}{4} = 0,03$$

$$b_2 = \frac{(-1)t_1 + (-1)t_2 + (+1)t_3 + (+1)t_4}{4}$$

$$b_2 = \frac{(-1)1,4 + (-1)1,48 + (+1)0,7 + (+1)0,74}{4} = -0,36$$

$$b_3 = \frac{(+1)t_1 + (-1)t_2 + (-1)t_3 + (+1)t_4}{4}$$

$$b_3 = \frac{(+1)1,4 + (-1)1,48 + (-1)0,7 + (+1)0,74}{4} = -0,01$$

### Перевіряємо однорідність дисперсій

а) розраховуємо дисперсію паралельних дослідів кожного рядка матриці плану за рівнянням:

$$S_n^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m (y_{nk} - \bar{y}_n)^2,$$

де  $m = 2$  – кількість паралельних дослідів.

$$S_1^2 = \frac{1}{2-1} \cdot [(1,38 - 1,4)^2 + (1,42 - 1,4)^2] = 4 \cdot 10^{-4} + 4 \cdot 10^{-4} = 8 \cdot 10^{-4}$$

$$S_2^2 = \frac{1}{2-1} \cdot [(1,45 - 1,48)^2 + (1,51 - 1,48)^2] = 9 \cdot 10^{-4} + 9 \cdot 10^{-4} = 1,8 \cdot 10^{-4}$$

$$S_3^2 = \frac{1}{2-1} \cdot [(0,69 - 0,7)^2 + (0,71 - 0,7)^2] = 1 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 10^{-4} = 2 \cdot 10^{-4}$$

$$S_4^2 = \frac{1}{2-1} \cdot [(0,7 - 0,74)^2 + (0,78 - 0,74)^2] = 1,6 \cdot 10^{-3} + 1,6 \cdot 10^{-3} = 3,2 \cdot 10^{-3}$$

б) визначаємо найбільше значення  $S_{n \max}^2$  з усіх розрахованих:

$$S_{n \max}^2 = S_4^2 = 3,2 \cdot 10^{-3}$$

в) розраховуємо суму дисперсій

$$\sum_{n=1}^N S_n^2 = S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 = 8 \cdot 10^{-4} + 1,8 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-4} + 3,2 \cdot 10^{-3} = 4,38 \cdot 10^{-3}$$

г) розраховуємо критерій Кохрена:

$$G_{\max} = \frac{S_{n \max}^2}{\sum_{n=1}^N S_n^2} = \frac{3,2 \cdot 10^{-3}}{4,38 \cdot 10^{-3}} = 0,73$$

д) вибираємо табличне значення критерію Кохрена  $G_{кр}$  для значень степеня свободи  $f_1 = m - 1 = 2 - 1 = 1$  та  $f_2 = N = 4$  та для рівня значущості  $\alpha = 5\%$  і перевіряємо виконання умови:

$$G_{\max} = 0,73 < G_{кр} = 0,906$$

Робимо висновок, що дисперсії вихідного параметру в паралельних дослідах є однорідними, тобто отримане рівняння регресії є відтворюваним.

Розраховуємо загальну похибку дослідів

$$S_0^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N S_n^2 = \frac{4,38 \cdot 10^{-3}}{4} = 0,001095$$

### Перевірка значущості коефіцієнтів регресії

Перевіряємо значущість коефіцієнтів регресії, що характеризують лінійні ефекти та ефекти парної взаємодії.

а) визначаємо дисперсію коефіцієнтів регресії:

$$S_{bi}^2 = \frac{S_0^2}{N \cdot m} = \frac{0,001095}{4 \cdot 2} = 1,368 \cdot 10^{-4}$$

б) визначаємо відхилення будь-якого коефіцієнту:

$$\Delta b_i = \pm t_T \cdot \sqrt{S_0^2} = 2,776 \cdot \sqrt{0,001095} = 0,09186$$

де  $t_T = 2,776$  – табличне значення критерію Стьюдента для ступені свободи  $f_1 = N(m - 1) = 4(2 - 1) = 4$  та рівня значущості  $\alpha = 5\%$ .

в) розраховуємо значення критерія Стьюдента для кожного коефіцієнта регресії:

$$t_{b_0} = \frac{|b_0|}{S_{bi}^2} = \frac{|1,08|}{1,368 \cdot 10^{-4}} = 7888,97;$$

$$t_{b_1} = \frac{|b_1|}{S_{bi}^2} = \frac{|0,03|}{1,368 \cdot 10^{-4}} = 219,298;$$

$$t_{b_2} = \frac{|b_2|}{S_{bi}^2} = \frac{|-0,36|}{1,368 \cdot 10^{-4}} = 2631,578;$$

$$t_{b_3} = \frac{|b_3|}{S_{bi}^2} = \frac{|-0,01|}{1,368 \cdot 10^{-4}} = 73,099;$$

г) перевіряємо умову значущості кожного з коефіцієнтів регресії, а саме  $t_{bi} > t_T$ , виконання цієї умови дає підставу констатувати значущість відповідного  $i$ -го коефіцієнту. В нашому випадку всі коефіцієнти регресії є значущими.

Записуємо в остаточному вигляді отримане рівняння регресії у формі поліному першого порядку:

$$\hat{y} = 1,08 + 0,03 \cdot x_1 - 0,36 \cdot x_2 - 0,01 \cdot x_1 \cdot x_2$$

Для переходу до натуральних значень використаємо формули:

$$x_1 = \frac{H_1 - H_{01}}{\lambda_1} = \frac{l - 1}{0,2};$$

$$x_2 = \frac{H_2 - H_{02}}{\lambda_2} = \frac{\omega - 1,5}{0,5};$$

де  $H_1, H_2$ , – натуральні значення факторів;

$H_{01}, H_{02}$ , – значення факторів на нульовому рівні;

$\lambda_1, \lambda_2$ , – кроки варіювання факторів.

Тоді рівняння регресії буде мати вигляд:

$$t = 1,08 + 0,03 \cdot \frac{l - 1}{0,2} - 0,36 \cdot \frac{\omega - 1,5}{0,5} - 0,01 \cdot \frac{l - 1}{0,2} \cdot \frac{\omega - 1,5}{0,5},$$

Підставляючи значення кожного фактора, отримаємо вихідні розрахункові значення функції та порівнюємо їх з вихідними дослідними значеннями:

$$t_1 = 1,08 + 0,03 \cdot \frac{0,8 - 1}{0,2} - 0,36 \cdot \frac{1 - 1,5}{0,5} - 0,01 \cdot \frac{0,8 - 1}{0,2} \cdot \frac{1 - 1,5}{0,5} = 1,08 - 0,03 + 0,36 - 0,01$$

$$t_1 = 1,4 (c)$$

$$t_2 = 1,08 + 0,03 \cdot \frac{1,2 - 1}{0,2} - 0,36 \cdot \frac{1 - 1,5}{0,5} - 0,01 \cdot \frac{1,2 - 1}{0,2} \cdot \frac{1 - 1,5}{0,5} = 1,08 + 0,03 + 0,36 + 0,01$$

$$t_2 = 1,48 (c)$$

$$t_3 = 1,08 + 0,03 \cdot \frac{0,8 - 1}{0,2} - 0,36 \cdot \frac{2 - 1,5}{0,5} - 0,01 \cdot \frac{0,8 - 1}{0,2} \cdot \frac{2 - 1,5}{0,5} = 1,08 - 0,03 - 0,36 + 0,01$$

$$t_3 = 0,7 (c)$$

$$t_4 = 1,08 + 0,03 \cdot \frac{1,2-1}{0,2} - 0,36 \cdot \frac{2-1,5}{0,5} - 0,01 \cdot \frac{1,2-1}{0,2} \cdot \frac{2-1,5}{0,5} = 1,08 + 0,03 - 0,36 - 0,01$$

$$t_4 = 0,74 \text{ (с)}$$

### Перевірка рівняння регресії на адекватність

Перевіряємо отримане рівняння регресії на адекватність дійсному процесу

а) розраховуємо залишкову дисперсію:

$$S_{\text{зал}}^2 = \frac{m}{f_1} \sum_{n=1}^N (\bar{y}_n - \hat{y})^2 = \frac{2}{4} ((1,4 - 1,4)^2 + (1,48 - 1,48)^2 + (0,7 - 0,7)^2 + (0,74 - 0,74)^2)$$

де  $f_1 = N \cdot m - (n + 1) = 4 \cdot 2 - (3 + 1) = 8 - 4 = 4$  - число ступенів свободи;

$\bar{y}_n$  - середнє дослідне значення вихідного параметру в кожному досліді;

$\hat{y}$  - розраховане за рівнянням регресії значення вихідного параметру.

б) розрахуємо значення критерію Фішера

$$F_p = \frac{S_{\text{зал}}^2}{S_0^2} = \frac{0}{0,001095} = 0$$

в) за таблицями, для степеня свободи  $f_1 = N \cdot m - l = 4 \cdot 2 - 3 = 5$  та  $f_2 = N \cdot (m - 1) = 4 \cdot (2 - 1) = 4$  та для рівня значущості  $\alpha = 5\%$ ;

де  $l = 3$  - кількість коефіцієнтів в рівнянні регресії. Вибираємо табличне значення критерія Фішера:

$$F_T = 6,16$$

г) перевіряємо умову адекватності

$$F_p = 0 < F_T = 6,16$$

Робимо висновок, що отримане рівняння регресії є адекватним дослідженому процесу, що також доказывается порівнянням дисперсій

$$S_{\text{зал}}^2 = 0 \ll S_0^2 = 0,001095$$

#### 4.4. Висновок

В результаті проведення і обробки експериментальних досліджень отримано рівняння регресії  $\delta = 1,08 + 0,03 \cdot l_{O_1O_2} - 0,36 \cdot \omega - 0,01 \cdot l_{O_1O_2} \cdot \omega$ . З даного рівняння можна зробити наступні висновки: у зв'язку з тим, що біля параметру  $X_2$  є найбільший коефіцієнт, то саме параметр кутової швидкості найбільше впливає на час обгортання пакет-піддону.

В результаті проведення математико-статистичної обробки виявлено, що рівняння регресії відтворюване, а тому може використовуватися у подальших дослідженнях.

Проведені експериментальні дослідження підтверджують правильність опису процесів динаміки досліджуваного обладнання.

## Загальні висновки

В результаті проведення аналітичного та експериментального досліджень можна зробити наступні висновки:

1. знайдено зв'язок між кінематичними параметрами та геометрією пакет-піддону і одержано взаємозв'язки між геометричними та кінематичними параметрами пристрою для обтягування плівкою пакет-піддонів і виведено залежність для визначення довжини плівки;
2. встановлено, що наявність коливальних процесів, пов'язаних зі змінною швидкістю ведучої маси, може супроводжуватись від'ємними розрахунковими значеннями пружних сил. Уникнути таких показників вдається за рахунок підвищення сили опору переміщення веденої маси;
3. збільшення довжини плівки протягом кожного з етапів зумовлює зменшення жорсткості, що відображається зменшенням динамічних складових пружних навантажень за інших рівних умов.
4. вказано на можливість використання зрівнювальних механізмів у складі приводів пристроїв для обгортання пакет-піддонів плівкою, що розтягується. Запропоновано методику визначення геометричних параметрів зрівнювальних пристроїв на основі використання ланцюгової передачі й веденої зірочки з геометрією, подібною в плані до геометрії пакету.
5. запропоновано модель для визначення взаємозв'язків між геометричними і кінематичними параметрами пакет-піддонів з динамічними характеристиками в умовах використання зрівнювальних пристроїв.
6. В результаті проведення і обробки експериментальних досліджень отримано рівняння регресії  $\hat{y} = 1,08 + 0,03 \cdot x_1 - 0,36 \cdot x_2 - 0,01 \cdot x_1 \cdot x_2$ .

Проведені експериментальні дослідження підтверджують правильність опису процесів динаміки досліджуваного обладнання.

## Список використаної літератури

1. Гавва О.М., Масло М.А., Яровий В.Л. Пристрої подачі рулонного пакувального матеріалу // Упаковка. – 2005. – №5. – С.46-54.
2. Картон. Тара и упаковка: Киев: ИАЦ «Упаковка», 1999 – С.186, рис 5.31 б.
3. Методичні вказівки до постановки і оброблення результатів багатofакторного експерименту для студентів спец. 7.09.0223 «Машина і технологія пакування» ден. Форм навчання та аспірантів / Уклад. К.В. Васильківський, А.І. Соколенко, О.Ю. Шевченко. – К: УДУХТ, 2000. – 16с.
4. А.І. Соколенко, К.В. Васильківський, О.Ю. Шевченко та ін. Моделювання процесів пакування./ За ред. Соколенка/ Підручник. – Вінниця: Нова Книга, 2004. – 272с.
5. Коваль І.Й., Юно М.І., Васильківський К.В. Динаміка обтягування плівкою пакет-піддонів // Харчова промисловість. Міжвідомчий тематичний науковий збірник. – К.: НУХТ. – № 45. – 2000. – С. 255-259.
6. Коваль І.Й. Динаміка пристроїв для обтягування пакет-піддонів плівкою // Харчова промисловість. – К.: НУХТ. – 2003. – №2. – С. 73-74.
7. Коваль І.Й., Васильківський К.В. Визначення натягів плівки при обгортанні пакет-піддонів // Харчова промисловість. – К.: НУХТ. – 2003. – №45. – С.75-76
8. Гавва О.М. Пакувальне обладнання. Обладнання для групового пакування / Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. – К.: ІАЦ “Упаковка”, 2007. – 136 с.
9. Гавва О.М. Пакувальне обладнання. Обладнання для пакування продукції у споживчу тару / Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. – К.: ІАЦ “Упаковка”, 2008. – 436 с.
10. Гавва О.М., Пакувальне обладнання. Обладнання для обробки транспортних пакетів / Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. – К.: ІАЦ В.Г. Рєзнік, І.Ф. Максименко, А.І. Соколенко, М.В. Якимчук „Перехідні режими в процесах транспортування вантажів”. Стаття із журналу „Упаковка” №3 2006р. – 44-46 с.

11. А.І. Соколенко, д.т.н., В.Г. Рєзнік, Ю.О. Мальська, С.А. Бут „, Енерговитрати і кінематика переміщення вантажів” Стаття із журналу „Упаковка” №2 2006р. – 27-29с.
12. Соколенко А.И., Українець А.И., Яровой В.Л. и др. Справочник специалиста пищевых производств. —К.: АртЭк, 2003. — 432 с.
13. Соколенко А.И., Українець А.И., Яровой В.Л. Справочник механика пищевой промышленности. — К.: АртЭк, 2004. — 304 с.
14. Пакувальне обладнання: [підручник] / О.М. Гавва, А.П. Беспалько, А.І. Волчко, О.О. Кохан – К.: ІАЦ “Упаковка”, 2010. – 744 с.
15. Моделювання технологічних процесів [Електронний ресурс] : методичні рекомендації до проведення практичних занять для здобувачів освітнього ступеня “Магістр” спеціальності 131 “Прикладна механіка” освітньо-професійної програми “Прикладна механіка” денної та заочної форм навчання / укладачі : А. І. Соколенко, К. В. Васильківський. – Київ : НУХТ, 2019. – 23 с.
16. Розрахунок і конструювання функціональних мехатронних модулів [Електронний ресурс] : методичні рекомендації до проведення практичних занять для здобувачів освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 131 Прикладна механіка освітньо-професійної програми «Прикладна механіка» денної та заочної форм навчання / укладачі : Л. О. Кривопляс-Володіна, С. В. Токарчук ; Національний університет харчових технологій. – Київ : НУХТ, 2022 – 68 с.
17. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи (проекту) на здобуття освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньо-професійної програми «Прикладна механіка» денної та заочної форм навчання [Електронний ресурс] / укладачі : А. І. Соколенко, Л. О. Кривопляс-Володіна, М. В. Якимчук, К. В. Васильківський, С. В. Токарчук ; Національний університет харчових технологій. – Київ : НУХТ, 2021. – 30 с.