

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С. Гунього  
Кафедра МПМ

«До захисту в ЕК»

«До захисту допущено»

Директор інституту (декан факультету)

Завідувач кафедри

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«03» 12 2024р.

«03» 12 2024р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 131 Прикладна механіка  
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Прикладна механіка

на тему: Аналіз динамічних процесів у приводі машини  
для виготовлення пакувального матеріалу

Виконав: здобувач \_\_\_\_\_ курсу, групи \_\_\_\_\_

Аргентоверний Олег Францевич  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Васорія Сергій Олександрович

(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 Савва Олександр

(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) незарядженої допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ - 2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТТІ ім. Т.Г. Гулога

Кафедра Мехатроніки та пакувальної техніки


Освітній ступінь МАГІСТР

Спеціальність 131 ПРІКЛАДНА МЕХАНІКА  
(код і назва)

Освітньо-професійна програма ПРІКЛАДНА МЕХАНІКА  
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри М.П.М.

 Людмила КРИВОПЛУТ-ВОЛОДИНА  
«20» 10 2024 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Адрінобський Олег Францович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ПРИВОДІ  
МАШИНИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПАКУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

керівник роботи Володін Сергій Олександрович

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «01» 10 2024 року № 359-к

2. Строк подання здобувачем роботи 03.12.2024р.

3. Вихідні дані до роботи привод - пневматичний з електропневма-  
тичним керуванням, тиск в системі 8...6 бар, шдбер  
для софтодрегата, удосконалити систему керування  
кабеля

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Анотація, Summary, Зміст, Розділ 1, Розділ 2, Розділ 3  
Розділ 4, Висновок, Список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу

Презентація - 14 слайдів

6. Консультанти розділів роботи

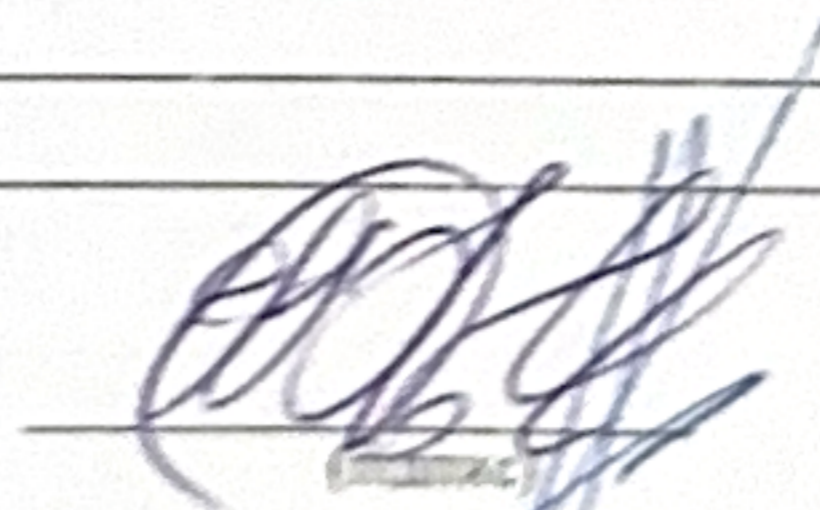
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

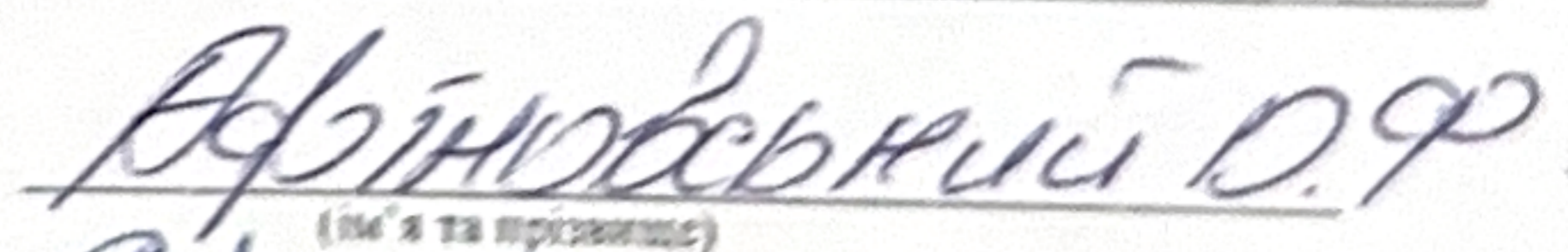
7. Дата видачі завдання 10.10.2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вступ. Анотації.	12.10.2024	Виконано
2.	Розділ 1 - Огляд літератури	14.10.2024	Виконано
3.	Розділ 2 - Теор. дослідження	15.11.2024	Виконано
4.	Розділ 3 - Експериментальні дослідження	20.11.2024	Виконано
5.	Розділ 4 - Охорона праці:	27.11.2024	Виконано
6.	Висновки	28.11.2024	Виконано
7.	Список використаної літератури	29.11.2024	Виконано
8.	Презентація	03.12.2024	Виконано

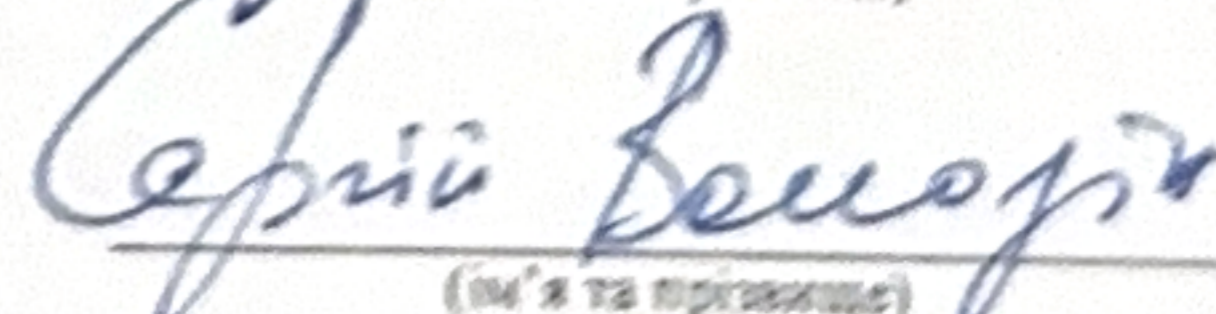
Здобувач освіти

  
(підпис)

  
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи

  
(підпис)

  
(ім'я та прізвище)

«10» 12

2024 р.

## Анотація

Дана робота присвячена комплексному аналізу процесу виробництва гофрокартону, одного з найпоширеніших пакувальних матеріалів. В роботі детально розглянено класифікацію, технологію виробництва та основні характеристики обладнання для виробництва гофрокартону двошарового. Особлива увага приділяється аналізу роботи ключових вузлів гофроагрегату, таких як сплайсер і шабер.

Актуальність дослідження обумовлена постійно зростаючим попитом на якісну пакувальну продукцію та необхідністю оптимізації виробничих процесів. Метою роботи є детальний аналіз існуючих технологій виробництва гофрокартону, виявити їхні недоліки та розробити рекомендації щодо їх вдосконалення.

Об'єктом дослідження є процес виробництва гофрокартону, а предметом - аналіз роботи ключових вузлів гофроагрегату та вплив різних факторів на якість готової продукції.

Для досягнення поставленої мети автор використовує комплексний підхід, що включає аналіз літературних джерел, дослідження технологічних процесів на виробництві та математичне моделювання.

Основними результатами дослідження є:

- Детальний опис технологічного процесу виробництва гофрокартону.
- Аналіз впливу різних факторів на якість склеювання шарів гофрокартону.
- Розробка математичної моделі для дослідження динамічних характеристик автоматизованого пневмоприводу.
- Виявлення основних проблем, що виникають при виробництві гофрокартону.
- Розробка рекомендацій щодо вдосконалення технологічних процесів.

Наукова новизна роботи полягає в детальному аналізі взаємодії різних факторів, що впливають на якість гофрокартону, а також у розробці

математичної моделі для дослідження динамічних характеристик пневмоприводу.

Практична значущість роботи полягає в тому, що отримані результати можуть бути використані для оптимізації виробничих процесів, підвищення якості продукції та зниження витрат. Особистий внесок автора полягає в проведенні теоретичних досліджень, розробці математичної моделі приводу шабера, проведенні чисельних експериментів в ПП FluidSim та аналізі отриманих результатів.

**Ключові слова:** динамічні процеси, шабер, пропорційне керування, точність позиціонування, привод, параметри.

## Summary

This paper is devoted to a comprehensive analysis of the production process of corrugated cardboard, one of the most common packaging materials. The paper describes in detail the classification, production technology and main characteristics of equipment for the production of double-layer corrugated cardboard. Particular attention is paid to the analysis of the operation of the key components of the corrugated unit, such as the splicer and the cutter.

The relevance of the study is due to the ever-growing demand for high-quality packaging products and the need to optimise production processes. The purpose of the study is to analyse in detail the existing corrugated cardboard production technologies, identify their shortcomings and develop recommendations for their improvement.

The object of the study is the corrugated cardboard production process, and the subject is the analysis of the operation of the key units of the corrugated unit and the impact of various factors on the quality of finished products.

To achieve this goal, the author uses an integrated approach, including literature analysis, research of technological processes in production, and mathematical modelling.

The main results of the study are as follows:

- A detailed description of the technological process of corrugated cardboard production.
- Analysis of the impact of various factors on the quality of gluing corrugated cardboard layers.
- Development of a mathematical model to study the dynamic characteristics of an automated pneumatic drive.
- Identification of the main problems that arise in the production of corrugated cardboard.
- Development of recommendations for improving technological processes.

The scientific novelty of the work lies in a detailed analysis of the interaction of various factors affecting the quality of corrugated cardboard, as well as in the development of a mathematical model for studying the dynamic characteristics of the pneumatic drive.

The practical significance of the work is that the results obtained can be used to optimise production processes, improve product quality and reduce costs. The author's personal contribution is to conduct theoretical research, develop a mathematical model of the saber drive, conduct numerical experiments in FluidSim and analyse the results.

**Keywords:** dynamic processes, doctor, proportional control, positioning accuracy, drive, parameters.

## ЗМІСТ

Анотація .....	2
Summary .....	4
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 .....	11
АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	11
І ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	11
1.1. Класифікація пакувального матеріалу на прикладі гофрокартону .....	11
1.2. Процес виготовлення гофрокартону двошарового .....	14
1.3. Практичні аспекти виготовлення двошарового гофрокартону.....	17
1.4. Особливості роботи гофроагрегату для виготовлення двошарового гофрокартону .....	22
Висновок до розділу.....	25
РОЗДІЛ 2 .....	27
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИВОДІВ ОСНОВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВУЗЛІВ ГОФРОАГРЕГАТА .....	27
2.1. Компановка сплайсера.....	27
2.2. Важливі фактори, що впливають на якість стикування шарів гофрокартону .....	29
2.3. Особливості конструкції шабера .....	30
2.4. Дослідження динамічних характеристик автоматизованого позиційного позиційного довгоходового пневмоприводу технологічного.....	32
довгоходового пневмоприводу технологічного обладнання.....	32
Висновок до розділу.....	41
РОЗДІЛ 3 .....	42
ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ПРИВОДУ ШАБЕРА .....	42

3.1. Загальний опис параметрів процесу.....	42
3.2. Опис системи керування приводом шаберу .....	45
3.3. Опис схеми керування в FluidSim .....	46
Висновок до розділу.....	51
РОЗДІЛ 4 .....	53
ОХОРОНА ПРАЦІ .....	53
4.1. Вступ.....	53
4.2. Повітря виробничої зони .....	53
4.3. Освітленість .....	56
4.4. Виробничий шум і вібрація.....	56
4.5. Електронезбезпека .....	59
4.6. Пожежна безпека.....	60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	65

## ВСТУП

Сучасні потокові лінії для виготовлення гофрокартону вимагають високоточних та ефективних систем подачі. Ці системи складаються з транспортерів, подавачів, роботів та захоплювачів, кожен з яких відіграє ключову роль у забезпеченні безперервного та якісного виробництва.

Гофрований картон є добре відомим матеріалом, що використовується для виробництва пакувальних матеріалів [1,2]. Їх корисність визначається міцнісними властивостями картону. Висока міцність картону дозволяє мінімізувати вагу упаковки при збереженні необхідної міцності [3,4]. Тому під час виробництва гофрованого картону велика увага приділяється його механічним властивостям, які визначають властивості виготовленої з нього упаковки, зокрема колективної, яка зберігається у високих штабелях [5-8]. Досягнення високої міцності при низькій масі упаковки є також економічно виправданим і важливим з точки зору мінімізації споживання природних ресурсів [9]. Пакування продуктів у роздрібній торгівлі в картонну упаковку також пов'язане з необхідністю досягнення високих естетичних показників. Вони є результатом, головним чином, способу обробки поверхні упаковки та нанесення друку, а також якості поверхні використовуваного картону [10]. Якість поверхні картону визначається як якістю паперу, що використовується для його виробництва [11-14], так і процесом виготовлення гофрокартону. Тому все більшого значення набуває можливість контролювати якість картону під час виробництва та оперативно усувати причини потенційних дефектів продукції. Наразі автоматичні системи контролю та управління якістю продукції не набули широкого застосування у виробництві гофрованого картону.

Особливу увагу приділяють матеріалам, з яких виготовляється обладнання. Для мінімізації пошкоджень картону використовують м'які матеріали, такі як силікон та поліуретан. Захоплювачі виготовляють зі спеціальних сплавів алюмінію або легких пластиків, що забезпечують міцність та зносостійкість.

Одним з ключових елементів є шабери, які використовуються для очищення робочих поверхонь обладнання від залишків клею та паперу. Для забезпечення ефективної роботи шаберів проводяться дослідження їх конструкції та матеріалів, а також розробляються математичні моделі для аналізу динамічних характеристик приводів. Інноваційні системи керування, засновані на програмованих логічних контролерах, забезпечують точну синхронізацію роботи всіх елементів системи та високу гнучкість виробництва. Системи автоматичного контролю якості дозволяють виявляти дефекти та забезпечувати високу якість готової продукції.

Вибір обладнання для кожної конкретної лінії є індивідуальним завданням, але завжди орієнтованим на забезпечення високої продуктивності, точності позиціонування та мінімізації ризику пошкодження матеріалу.

**Матеріали і методи.** Об'єктом дослідження даної кваліфікаційної роботи були обрані динамічні процеси і керуванні окремими вузлами гофроагрегата. Методи дослідження є чисельними і поєднані з математичним моделюванням.

**Завданням здійсненого дослідження** – є аналіз технологічного процесу виробництва гофрокартону виявив низку перспективних напрямків для подальших досліджень. Зокрема, пріоритетними є: оптимізація склеювання шарів шляхом дослідження впливу різних матеріалів та параметрів процесу, розробка систем автоматичного контролю якості для забезпечення високої точності та виявлення дефектів, а також створення інтелектуальних систем управління для підвищення ефективності виробництва. Важливим аспектом є розробка енергоефективних технологій та дослідження можливості створення нових типів гофрокартону з покращеними характеристиками. Крім того, перспективним напрямком є розробка систем керування шабером, для прогнозування зносу обладнання для планування профілактичних робіт. Виконання цих завдань дозволить не тільки підвищити якість та ефективність виробництва гофрокартону, але й сприяти розробці нових технологій та матеріалів, що відповідають сучасним вимогам ринку

**.Наукова новизна отриманих результатів.** Наукова новизна дослідження полягає у комплексному підході до оптимізації виробництва гофрокартону, за рахунок дослідження динаміки приводу найбільш задіяних в процесі роботи вузлів. Запропоновані напрямки досліджень охоплюють як удосконалення технологічних процесів (склеювання, контроль якості), так і розробку інноваційних рішень (інтелектуальні системи управління, нові матеріали). Це дозволить створити більш ефективне, гнучке та екологічне виробництво.

**Особистий внесок магістранта.** Особистий внесок магістранта полягає у розробці та впровадженні інноваційних рішень для оптимізації виробництва гофрокартону. Зокрема, було розроблено математичну модель для прогнозування міцності склеювання шарів, створено алгоритми для підвищення точності позиціонування та розроблено систему автоматичного контролю якості. Результати дослідження дозволили суттєво підвищити ефективність виробництва та знизити витрати.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

#### І ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ

##### 1.1. Класифікація пакувального матеріалу на прикладі гофрокартону

Історія використання гофрованого картону як універсального пакувального матеріалу сягає кінця XIX століття. Винайдений американцем Альбертом Джонсоном, він швидко завоював популярність завдяки своїм унікальним властивостям: легкості, міцності та здатності захищати вміст від зовнішніх впливів. Перші патенти на виробництво гофрокартону були отримані в 1871 році, а вже через десятиліття з'явилися перші машини для його масового виробництва.

Сучасне виробництво гофрованого картону є високотехнологічним процесом, що дозволяє отримувати матеріал з різноманітними характеристиками. Швидкість сучасних гофрувальних агрегатів досягає 300 метрів за хвилину, а асортимент готової продукції задовольняє найвибагливіші потреби споживачів. Використання нових технологій дозволило створити компактне та продуктивне обладнання, яке доступне навіть для малого та середнього бізнесу.

Гофрокартон виготовляється з різних видів паперу, які поділяються на лайнери (зовнішні шари) та флютинг (внутрішні хвилясті шари). Вибір типу паперу та конструкції гофрокартону залежить від призначення тари та висунутих до неї вимог. Залежно від кількості шарів розрізняють двошаровий, тришаровий, п'ятишаровий і семишаровий гофрокартон. Кожен тип має свої переваги і застосовується для упаковки товарів різної маси та габаритів.

Гофрований картон має ряд незаперечних переваг:

- Легкість: Забезпечує зниження транспортних витрат.
- Міцність: Захищає продукцію від механічних пошкоджень.
- Екологічність: Виготовляється з природних матеріалів і легко піддається вторинній переробці.
- Пластичність: Дозволяє створювати тару різної форми і розміру.

Ці властивості роблять гофрокартон незамінним матеріалом для упаковки широкого спектру товарів, від харчових продуктів до промислового обладнання.

Для характеристики гофрокартону використовують спеціальні стандарти, такі як основні стандарти ISO, що стосуються гофрованого картону:

- ISO 1246: Визначення щільності паперу та картону.
- ISO 2870: Визначення міцності на розрив паперу та картону.
- ISO 5269: Визначення міцності на стиск гофрованого картону.
- ISO 8273: Визначення вологості паперу та картону.
- ISO 1302: Визначення маси одного квадратного метра паперу та картону., які встановлюють вимоги до фізико-механічних властивостей матеріалу.

Основними параметрами, що визначають якість гофрокартону ( на прикладі рис.1.1), є:

- Індекс опору продавлювання: характеризує здатність матеріалу протистояти місцевим навантаженням.
- Розшарування: визначає міцність склеювання шарів.
- Вологість: впливає на міцність і стабільність розмірів.
- Торцеве стиснення: характеризує стійкість до деформацій при стисненні вздовж гофрованих шарів.

Залежно від значення цих параметрів гофрокартон поділяється на марки, що дозволяє підбирати оптимальний матеріал для конкретного виду упаковки.

Таким чином, гофрований картон є універсальним пакувальним матеріалом, який широко використовується в різних галузях промисловості. Його високі експлуатаційні характеристики, екологічність та доступність роблять його одним з найбільш затребуваних матеріалів на сучасному ринку упаковки. Постійний розвиток технологій виробництва гофрокартону дозволяє розширювати сферу його застосування і створювати нові види упаковки, що відповідають найвищим вимогам споживачів.

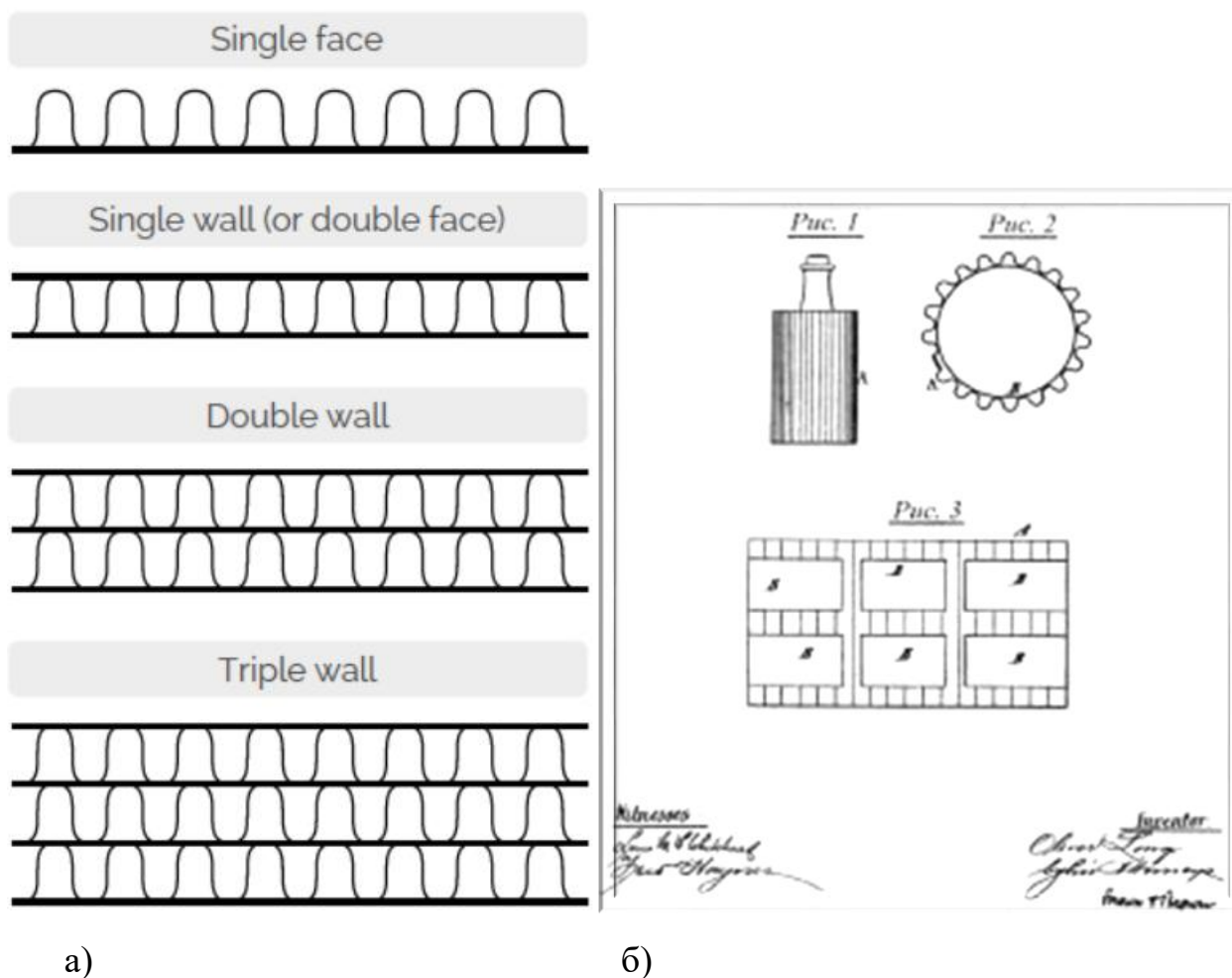


Рис.1.1. Загальна класифікація типів гофрокартону для пакування споживчих товарів: а) види гофрокартону для пакувань, б) Олівер Лонг 1881р. (перший патент на гофрокартон для пакування)

Геометричні параметри гофри (внутрішніх хвиль) гофрованого картону визначають його фізичні властивості та призначення. Залежно від висоти і кроку хвилі, гофри поділяють на класи, позначені латинськими літерами.

- Клас А (крупний): Характеризується висотою хвилі від 4,4 до 6,5 мм і кроком від 8,0 до 9,5 мм. Застосовується для виробництва міцної тари, здатної витримувати значні навантаження.

- Клас С (середній): Має висоту хвилі в діапазоні від 3,2 до 4,4 мм і крок від 6,8 до 8,0 мм. Забезпечує гарне співвідношення міцності і жорсткості.

- Клас В (мілкий): Характеризується висотою хвилі від 2,2 до 3,2 мм і кроком від 4,4 до 6,5 мм. Використовується для виробництва тари з підвищеною жорсткістю і меншою вагою.

- Клас Е (мікро): Має найменшу висоту хвилі – від 1,0 до 1,8 мм і крок від 3,0 до 3,6 мм. Застосовується для виробництва тонких і легких видів тари.

- Клас К (великий): Характеризується найбільшою висотою хвилі – від 6,6 до 7,0 мм і кроком від 11,0 до 12,0 мм. Забезпечує максимальну міцність і амортизацію.

## 1.2. Процес виготовлення гофрокартону двошарового

Рулони паперу та картону встановлюються на розкати 1 і 2. Сучасні безштангові конструкції розкатів мають рулонотримачі з гідравлічним або механічним приводом переміщення по висоті та по ширині рулону, що закріплюється. Для забезпечення і контролю натягу полотна під час подачі його в машину використовують пневматичні, дискові та електричні гальма. Склеювання кінців рулонів проводиться в спеціальному вузлі (сплайдері). Його функція полягає в стикуванні кінців старого і нового рулонів разом у процесі роботи машини. Сучасні сплайдери оснащені системами автоматичного управління величиною натягу з миттєвим реагуванням.



Рис. 1.2. Технологічний процес виробництва двошарового гофрокартону на гофроагрегаті

Паперове полотно, що розмотується з рулону, через підігрівач 3 і зволожувач 4 подається до нагрітих парою рифлених валів вузла гофрування

6. Як показала практика, зволоження парою для більшості видів паперу для гофрування не потрібне. Виняток становлять папери з напівхімічної деревної або сильно клеєної макулатурної маси, а також лайнер, отриманий з крафт-целюлози. Зволоження такого паперу з одночасним його нагріванням дещо розм'якшує проклеювальні речовини, що містяться в ньому, і сприяє поліпшенню проникнення клею всередину паперу під час склеювання. Крім того, папір стає більш еластичним, збільшується його здатність до подовження в процесі гофрування і, отже, усувається основна причина утворення тріщин. При перезволоженні папір погано сприймає клей, стає пухким і не забезпечує необхідну жорсткість гофрів. Оптимальною вважається вологість паперу перед гофруванням 7-8 %. Іноді допускається збільшення вологості до 9 %. Вологість картону для плоских шарів перед склеюванням має бути трохи нижчою за вологість паперу і не перевищувати 7 %.

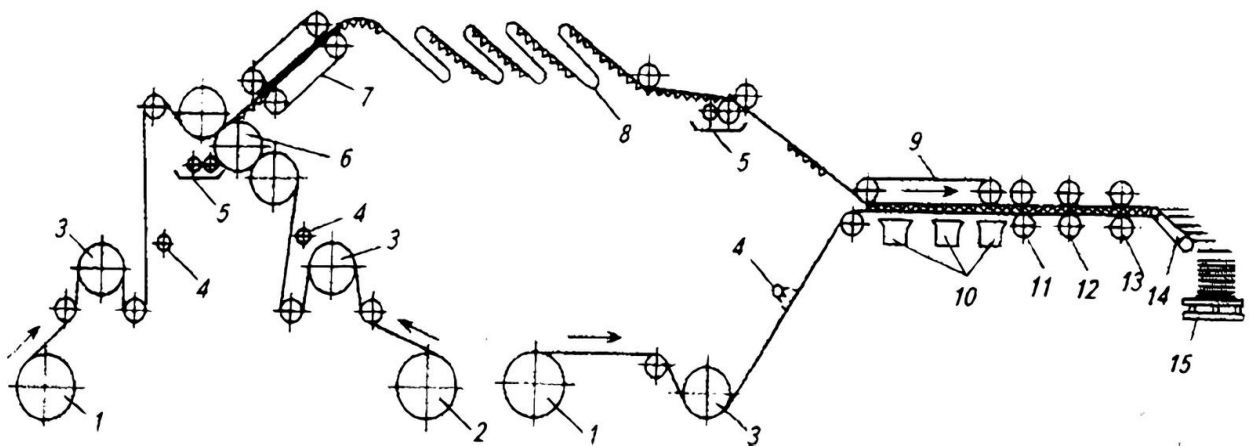


Рис.1.3. Схема гофрувального агрегату: 1 – вузол розкати картону; 2 – вузол розкати паперу; 3 - підігрівачі; 4 - зволожувачі; 5 - клеєнаносний пристрій; 6 - вузол гофрування; 7 - конвеєр; 8 - міст-накопичувач; 9 - притискний конвеєр; 10 - сушильні плити; 11 - вузол поздовжнього різання; 12 - вузол поздовжнього рильовання; 13 – вузол поперечного різання; 14 - приймальний транспортер; 15 - стопоукладальник

Підігрівачі для паперу та картону являють собою сталеві барабани діаметром 900-930 мм і довжиною, що перевищує робочу ширину агрегату. Барабан-підігрівач розрахований на нагрівання поверхні парою до температури 180-200 0С. Для регулювання ступеня охоплення барабана полотном і з метою регулювання вологості картону, що надходить на склейку, є два металеві вали. Мінімальне охоплення окружності барабана - 900, максимальне - 2700. Для зволоження картону і паперу перед гофруванням застосовуються парові зволожувачі трубчастого або камерного типу.

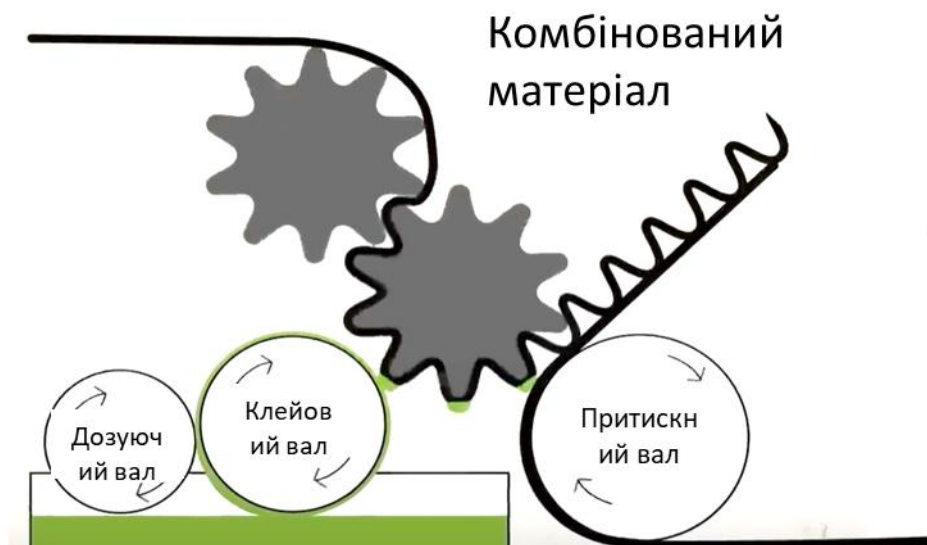


Рис.1.4. Технологічний процес виготовлення двошарового гофрокартону

Папір (флютинг), проходячи між зубчастими валами гофрувальної машини (гофропреса), набуває хвилеподібного профілю. Клей за допомогою клейових валиків 5 наноситься на гребені хвиль флютингу. Відразу після гофропреса і нанесення клею флютинг об'єднується з попередньо підготовленим картоном (лайнером), утворюючи після склеювання двошаровий гофрокартон. Отриманий двошаровий гофрокартон через накопичувальний міст 8 подається до клейового пристрою 5, де клей наноситься на вершини гофрів з іншого боку флютингу.

З окремого розкату відповідно підготовлений другий шар лайнера подається і склеюється з двошаровим гофрокартоном. Через те, що гофрокартон із трьох і більше шарів не згинається без деформації, термосклеювання та сушіння його здійснюється під натиском роликів між плоскою конвеєрною стрічкою 9 і сушильними плитами 10. Далі на відповідних пристроях обрізають кромки, здійснюють поздовжнє різання 11, рильовання 12 і поперечне різання 13, де готовий гофрований картон нарізають на окремі листи необхідної довжини. Двошаровий картон можна намотувати в рулон. Листи гофрокартону за допомогою приймального конвеєра 14 і стопоукладача 15 штабелюються і транспортуються на відлежування для охолодження і остаточного схоплювання клею.

Продуктивність гофроагрегату залежить від багатьох факторів. Серед них: якість вихідної сировини, вид застосовуваного клею, температурний режим, тип картону, що виробляється, частота переналагоджень, кількість заправок рулонів, робоча ширина і швидкість агрегату. У зв'язку з непостійністю фактичної швидкості роботи агрегату під час розрахунку продуктивності застосовують значення усередненої швидкості. Розрахункова продуктивність гофроробного агрегату визначається за такою формулою:

$$Q = 60 \cdot B \cdot v \cdot K_a \cdot K_m, \text{ м}^2/\text{год}, \quad (1.1)$$

де  $B$  - робоча ширина агрегату, м;  $v$  - усереднена швидкість агрегату, м/хв;  $K_a$  - коефіцієнт виходу картону (з урахуванням втрат);  $K_m$  - коефіцієнт використання машинного часу.

### **1.3. Практичні аспекти виготовлення двошарового гофрокартону**

На рис. 1.5 показано основні фактори, що впливають на склеювання шарів гофрокартону на гофроагрегаті.

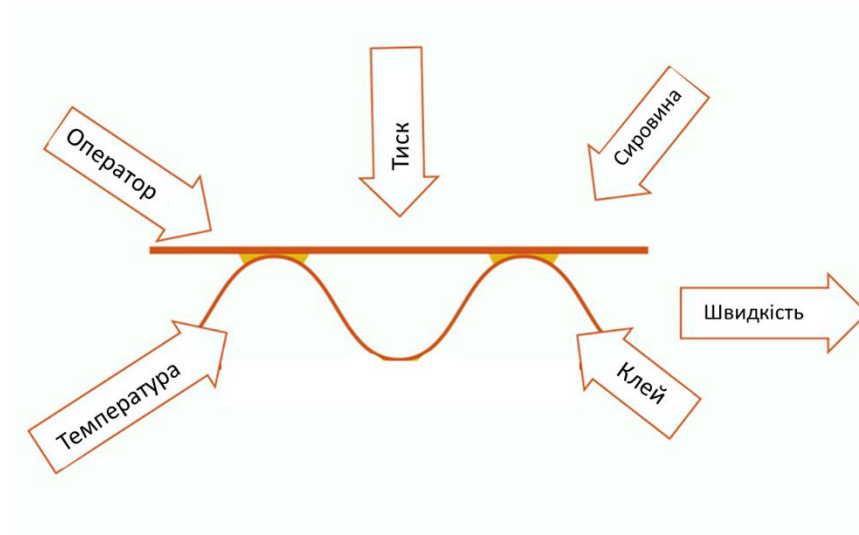


Рис.1.5. Контрольовані параметри технологічного процесу склеювання

Процес склеювання являє собою (рис. 1.6.) процес нанесення клею на вершини гофрів клейовим валом, і далі відбувається контакт із плоским шаром. Тут відбувається процес теплопередачі, він триває в міру проходження флютингу від клейового вала на притискний вал, і далі під час проходження флютингу через точку притискання відбувається приєднання лайнера за високого тиску.

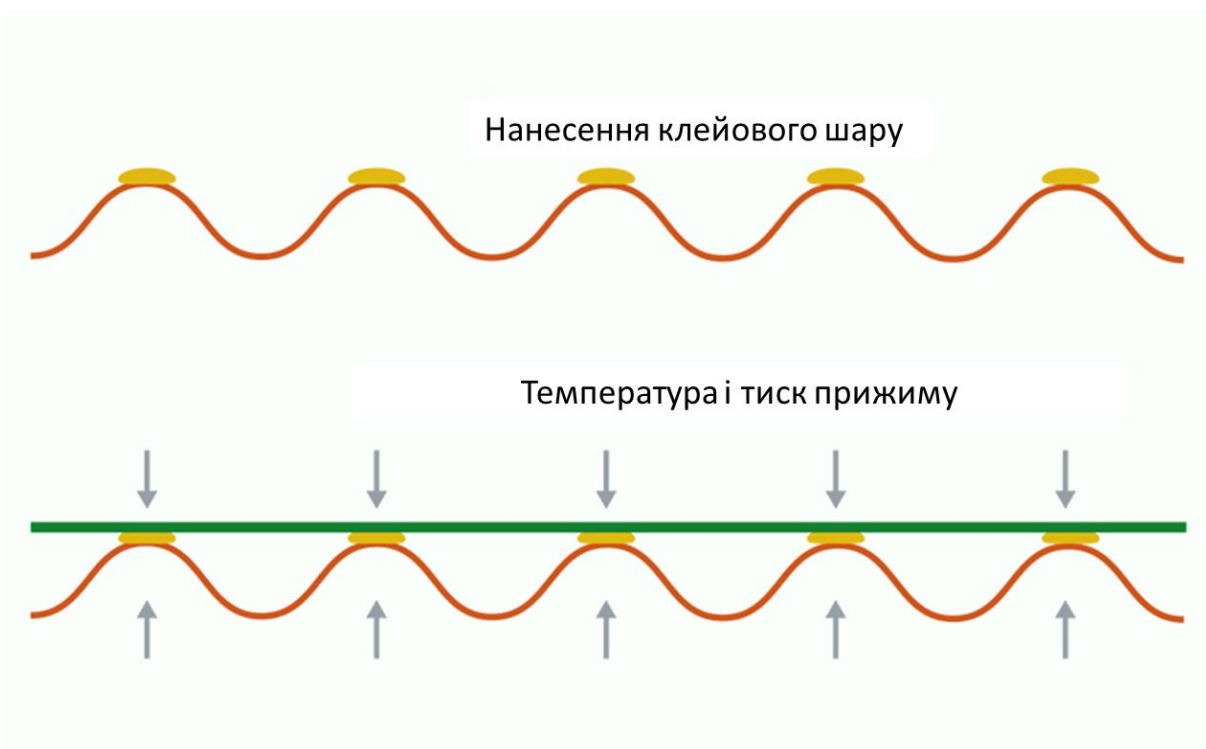


Рис.1.6. Фактори впливу на процес зклеювання

Через високий тиск первинна частина крохмального клею глибоко вдавлюється в папір, надалі відбувається набухання крохмальних зерен клею, водночас в'язкість починає швидко зростати і формується так звана зелена первинна склейка. Зрештою при висушуванні гофрокартону клейовий шов дозріває, і міцність склеювання зростає. Вбирання клею у флютинг і лайнер є суттєвим фактором для отримання хорошого якісного склеювання і, відповідно, отримання якісної упаковки. На рис. 1.7. представлено графічно, як виглядає процес склеювання. Графік ілюструє зміну в'язкості клею на основі крохмалю після його нанесення на вершини гофри та контакту з лайнером під час виготовлення гофрокартону. Вісь X - час, вісь Y - в'язкість крохмального клею.

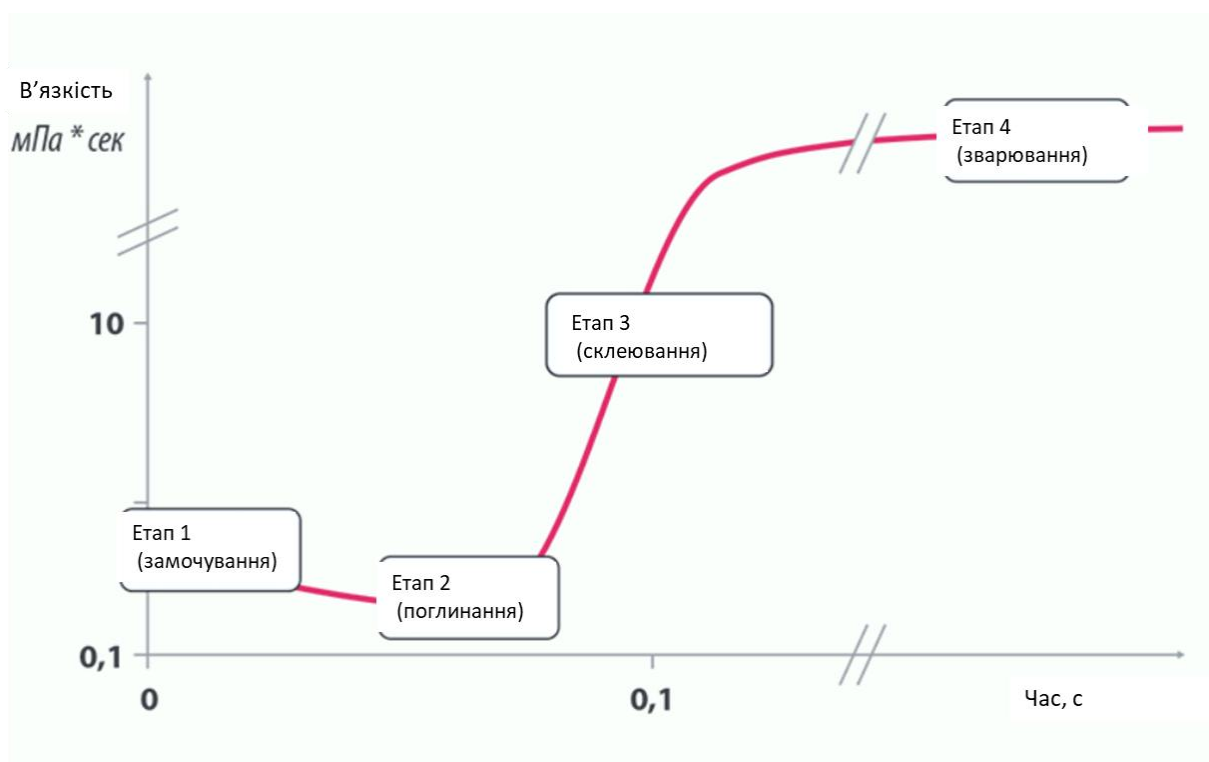


Рис.1.7. Етапи формування гофрокартону

На графіку видно, що процес склеювання (етапи змочування, вбирання, етап формування зеленої склейки) відбувається за частки секунди, і останній етап зварювання крохмального клею вже формує клейовий шов.

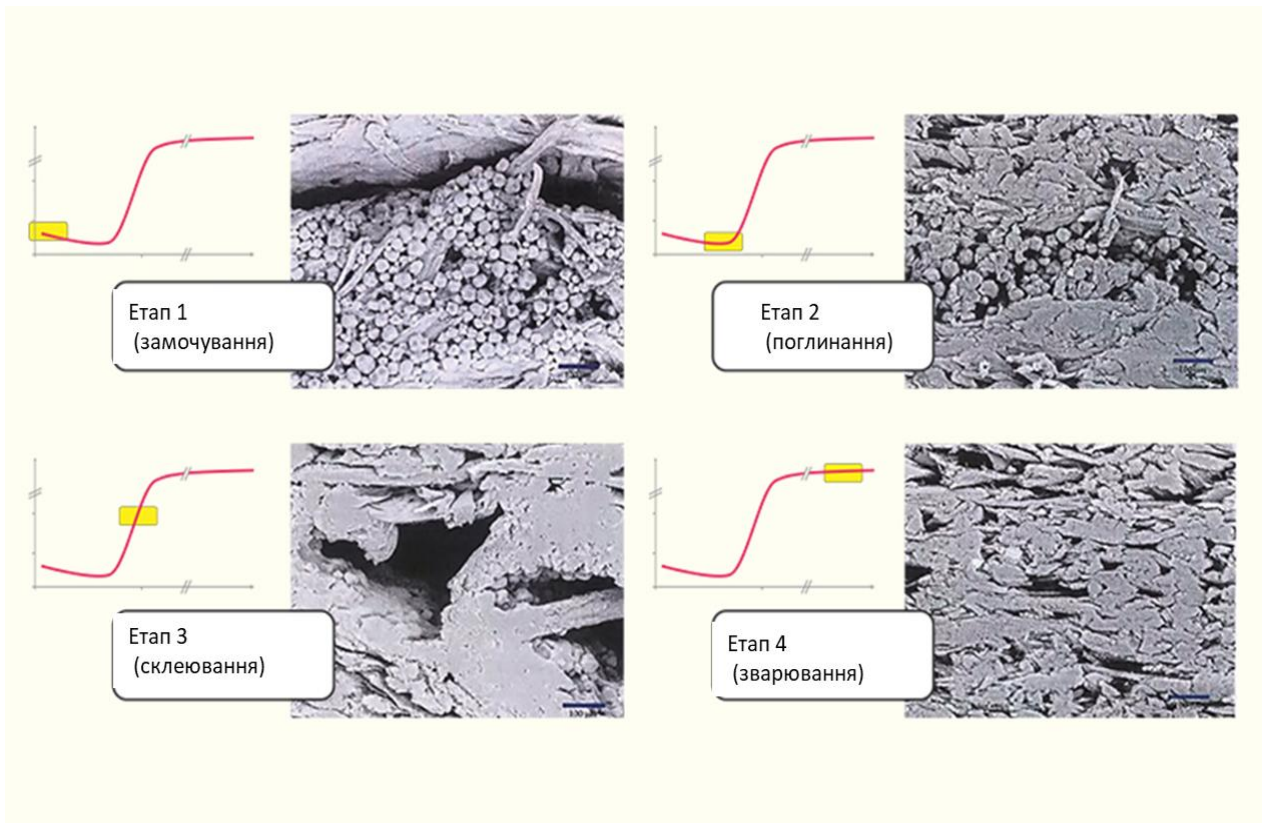


Рис. 1.8. Етапи склеювання під мікроскопом

На рис. 1.8. досліджено, який вигляд мають етапи склеювання під мікроскопом для повної візуалізації картини. Для цього на першому етапі змочування клей нагрівається попередньо нагрітим флютингом, знижується в'язкість клею, що полегшує змочування паперової поверхні паперу для гофрування і лайнера. На етапі вбирання - лайнер і флютинг, що склеюються під тиском. Клей проникає у флютинг і лайнер, забезпечуючи початкове крихке зчеплення. На третьому етапі «зелене склеювання» теплопередачі через папір клею дає швидке збільшення в'язкості, оскільки гранули крохмалю набухають і розчиняються. Це забезпечує «зелений зв'язок», який має бути досить міцним, щоб протистояти подальшим механічним впливам, проходячи подальші етапи переробки. І останній етап зварювання - коли гофрокартон повністю висихає, зв'язок повністю визріває, крохмальний клей повністю формує клейовий шов між флютингом і лайнером (рис. 1.9). Існує загальна рекомендація щодо застосування рецептури клею для гофропреса і клеїльної машини. Наприклад, для гофропреса час від нанесення клею і до зіткнення двох паперів становить

частки секунди, а саме близько 0,06 секунди. Час проникнення клею під притискний валик тут набагато коротший. Залежно від температури гелеутворення клей желатинізується через одну-дві секунди. Тобто приблизно через 10 хвилин на накопичувальному столі ми отримуємо міцне склеювання двошарового гофрокартону. Якщо говорити про вузол клеїльної машини, то це - триваліший час формування зв'язку: від нанесення клею до початку проникнення в папір і до з'єднання з нижнім лайнером потрібно вп'ятеро більше часу, порівняно з гофропресом. Відстань від місця нанесення клею до місця склеювання - близько півтора метра. Для проникнення клею в лайнер використовується значно менший лінійний тиск притиску на сушильному столі.

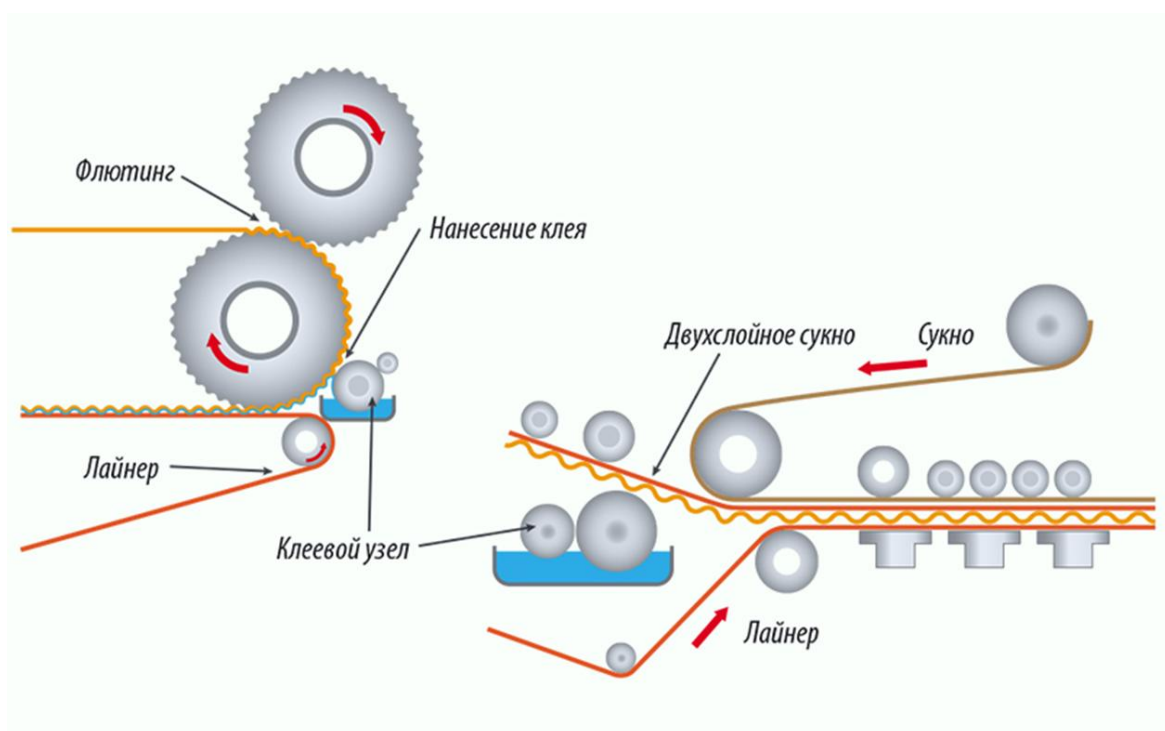


Рис.1.9. Структура споживчого (а) і транспортного (б) пакування в Україні

Картонна тара міцно закріпилася на ринку пакувальних матеріалів завдяки своїм універсальним властивостям, екологічності та економічній ефективності. Процес виробництва картонної упаковки є комплексним і включає низку послідовних операцій: від підготовки паперової сировини до отримання готових картонних виробів.

#### 1.4. Особливості роботи гофроагрегату для виготовлення двошарового гофрокартону

Гофроагрегат є найважливішою частиною машини для гофрування і весь процес є головною операцією для картону, що виходить із машини. Його функції: приклеїти флютинг до лайнера, який відгофрований до отримання бажаної форми гофри, тим самим створити полотно двошарового гофрокартону. Однак, будучи добре автоматизованим пристроєм, він становить елемент спільно з клеїльним процесом і гофроагрегатом для виготовлення тришарового картону, який потребує практичної навички та кмітливості від людини-оператора.

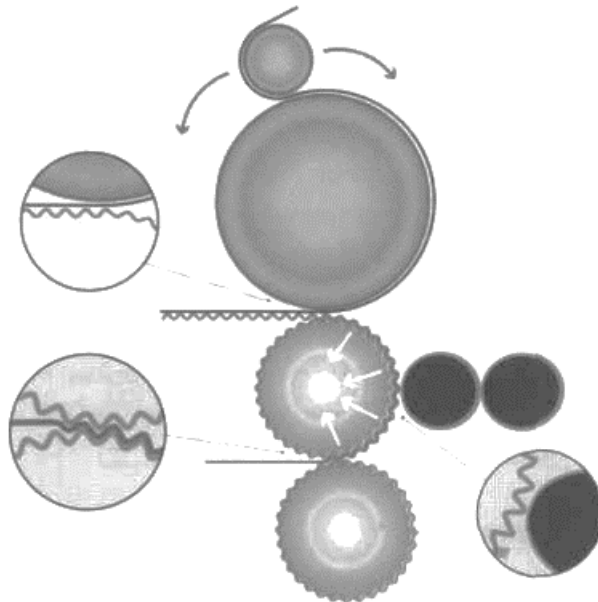


Рис.1.10. Типовий пристрій гофрувального преса

У простому описі (рис.1.10) гофроагрегат для двошарового картону складається з п'яти валів:

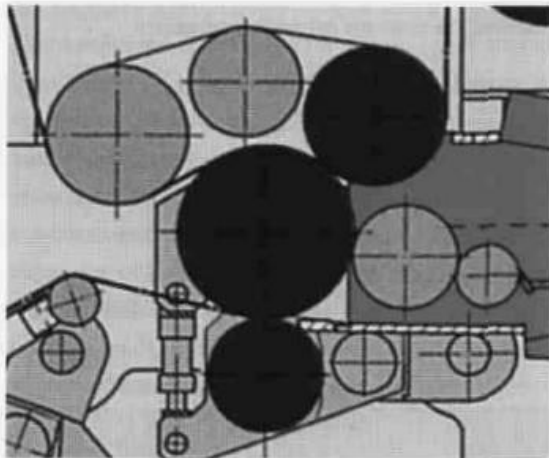
- два гофруючих вали, що підігріваються, в точці контакту між якими формується гофра під час пропускання паперу між валами під тиском;
- один вал для пресування, що підігрівається, який також може слугувати як зона попереднього нагрівання, головна функція його полягає у припресовуванні лайнера до клею на флютингу;
- один клейовий вал для передачі порції клею на флютинг;

- один шаберний валик, леза якого видаляють надлишки клею з клейового вала, залишаючи плівку точно контрольованої товщини.

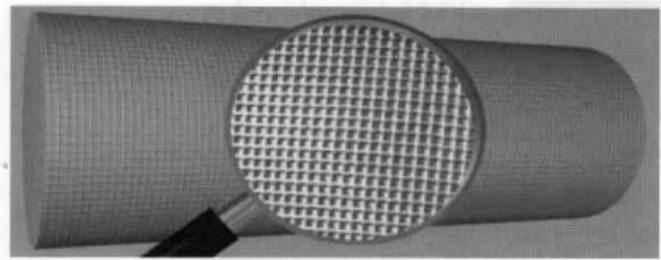
Гофрувальні вали - це дуже точно використовувані інструменти. Їхній знос залежить від стирання папером.

Вони розігріті парою до 180 °С (температура поверхні) для зміни форми флютингу. Час, протягом якого вали змінюють форму паперу, дуже малий. Для прикладу з рулоном діаметром 375 мм за швидкості 300 м/хв час між формуванням гофри та контакту з валом пресування становить 118 мілісекунд.

Гофрований флютинг міцно притискається до верхнього гофровалу (чинячи опір падінню зі збільшенням швидкості) або вакуумом, або тиском повітря, що надходить знизу і зверху через вали подачі клею (рис. 1.11).



а)



б)

Рис.1.11. Варіанти конструктивних змін в гофроагрегаті: а) гофроагрегат с прижимным ремнем вместо прижимного вала; б) Гравірований вал подачі клею з клітинною структурою

Точка зв'язку по лінії контакту між притискним валом і верхнім гофрувальним валом критична. Тиск контакту має бути однаковим, і лінія контакту має бути прямою і горизонтальною, інакше картон не вийде рівним. У цьому полягає причина того, що нижній гофрувальний вал має малу опуклість поверхні. Необхідний тиск додається до кінців притискного вала і нижнього гофрувального вала для створення рівної лінії контакту по всій

ширині паперу, що розмотується. Під час проектування машини було враховано необхідність верхнього гофрувального вала залишатися без будь-яких пошкоджень по лінії контакту з валиком подачі клею, оскільки має бути абсолютно пряма лінія, для того щоб упевнитися в рівному нанесенні клею по всій ширині. Три вали (два гофруючих і один притискний) навантажуються зверху і знизу - зазвичай використовуються гідравлічні циліндри. Поломка всіх притискних валів у гофроагрегатах для виробництва двошарового картону відбувається через частотний резонанс, коли частота вібрацій, отриманих під час контакту притискного і гофрувального валів, перебуває у взаємодії з частотою коливань гофропреса. Вона може варіюватися залежно від гофри, але практично завжди зустрічається на швидкостях між 100 - 130 м/хв, потім збільшується на швидкостях 230 - 350 м/хв. Необхідно запускати машину вище або нижче області резонансу, за умови, що швидкість цього картону збігається з ним, Необхідно запускати машину вище або нижче області резонансу, за умови, що швидкість цього картону збігається з ним, інакше шум створює шкоду навколишньому середовищу і вироблений картон може тріснути.

У деяких машинах заміна притискного вала дає таке:

- верхівки гофрів утримуються в контакті з лайнером і нагріванням більший час, ніж з використанням притискного вала;
- виникає менша вібрація в точці контакту, таким чином, робота стає менш гучною, немає критичного розкиду резонансних швидкостей, які могли б спричинити пошкодження паперу;
- знос гофрувального вала знижується - збільшується термін його служби;
- двошаровий картон формується сухим;
- повна теоретична товщина картону витримується;
- знижується тенденція до утворення хвилястої поверхні;
- лайнер являє собою дуже хорошу поверхню для друку.

Вал подачі клею - поверхня, призначена для нанесення строго контрольованої плівки адгезиву на гофри.

Зазор від регульованого двигуна, хоча й простіший, але недостатньо підходящий, оскільки за такого зазору є багато помилок у передачі. Вали повинні зупинятися для запобігання тертя металу об метал, яке відбувається в разі відсутності паперу в робочій зоні, оскільки це може спричинити пошкодження точної і тонкої поверхні клеїльного вала. Деякі виробники надягають на кінці вала, що подає клей, кільця більшого діаметра як додатковий засіб для безпечної зупинки. Зазвичай є невеликий швидкісний диференціал поверхні трохи вище 3 % для допомоги у видаленні клею. Зараз існують машини, які можуть працювати за умови контакту між подавальним валом і гофрувальним валом. Чутливі датчики на кожному кінці вала, що подає клей, розпізнають контакт із папером, оскільки папір починає відчувати тиск. Ця система відразу ж регулює положення вала до товщини паперу. Іншими словами - це саморегульована система.

### **Висновок до розділу.**

Проблеми, які потребують додаткового дослідження:

- Вплив швидкості руху шабера на якість нанесення клею: Необхідно дослідити оптимальну швидкість руху шабера для забезпечення рівномірного нанесення клею на необхідну товщину. Занадто висока швидкість може призвести до нерівномірного розподілу клею, а занадто низька - до надмірного його споживання.

- Вплив тиску шабера на якість склеювання: Тиск шабера на гофрований папір впливає на якість склеювання. Необхідно визначити оптимальний тиск, який забезпечить міцне з'єднання шарів картону без пошкодження поверхні.

- Вплив матеріалу шабера на знос і якість нанесення клею: Різні матеріали шаберів мають різну зносостійкість і впливають на якість поверхні,

що обробляється. Необхідно провести дослідження з метою визначення оптимального матеріалу для шабера.

- Динамічні навантаження на шабер: Під час роботи гофроагрегата шабер піддається значним динамічним навантаженням. Необхідно дослідити характер цих навантажень та їх вплив на знос шабера і якість обробки.

- Вплив температури клею та паперу на якість склеювання: Температура клею та паперу впливає на в'язкість клею і швидкість його висихання. Необхідно визначити оптимальні температурні режими для забезпечення якісного склеювання.

#### **Завдання дослідження:**

1. Здійснити детальний аналіз існуючих технологій і обладнання для виготовлення гофрокартону.
2. Розробити математичну модель для дослідження стабілізації процесів у окремих приводів гофроагрегата.
3. Здійснити комп'ютерне моделювання різних варіантів організації системи керування приводами окремих вузлів.
4. Перевірити ефективність запропонованих рішень за допомогою чисельного експерименту.
5. Розробити рекомендації по вдосконаленню обладнання для виготовлення пакувального матеріалу ( гофрокартонц двошарового).

## РОЗДІЛ 2

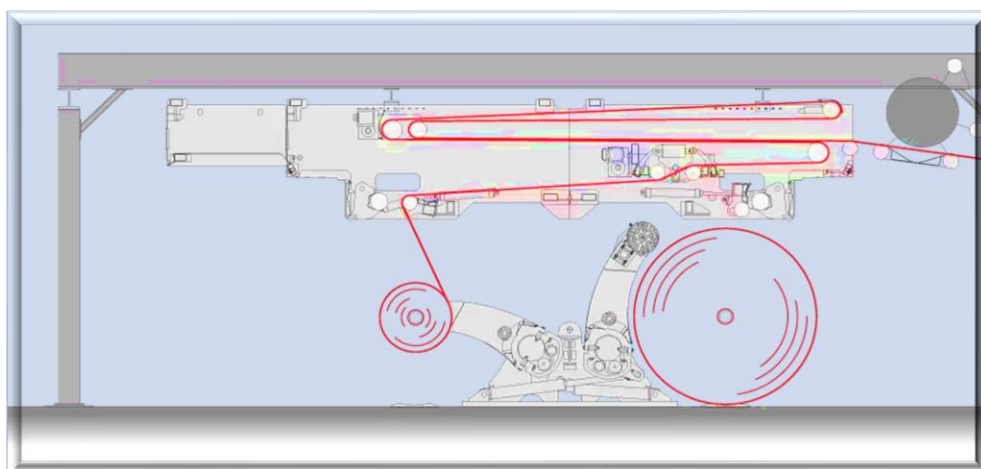
### ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИВОДІВ ОСНОВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВУЗЛІВ ГОФРОАГРЕГАТА

#### 2.1. Компановка сплайсера

Лайнер і флютинг подаються на гофропрес із протилежних сторін, які розташовані на 4 розкатах – по 2 на кожний. Коли один із рулонів закінчується, або потрібно змінити сорт, або ширину паперу – полотно нового рулону з'єднується із старим полотном без зупинки гофроагрегату за допомогою вузла – СПЛАЙСЕР ( рис.2.1.).



а)



б)

Рис.2.1. Загальна вид і схема роботи сплайсера

Сплайсер – це невід'ємна частина сучасних гофроагрегатів, призначена для безперервного процесу виробництва гофрокартону шляхом стикування кінців рулонів паперу (лайнера та флютингу) під час роботи обладнання. Цей вузол забезпечує плавний перехід від одного рулону до іншого без зупинки виробничої лінії, що значно підвищує ефективність виробництва.

### ***Принцип роботи сплайсера***

- Підготовка кінців рулонів: Перед стикуванням кінці рулонів піддаються спеціальній обробці: їх вирівнюють, обрізають під кутом для кращого склеювання і, за необхідності, проклеюють.

- Накладання полотен: Новий рулон накладається на кінець старого під певним кутом. Цей кут розраховується таким чином, щоб забезпечити плавний перехід між полотнами і мінімізувати ризик утворення дефектів на готовому продукті.

- Склеювання: Для склеювання полотен використовують спеціальний клей, який швидко схоплюється і забезпечує міцне з'єднання. Клей наноситься на зону склеювання за допомогою спеціальних валів або розпилювачів.

- Притискання і сушіння: Після нанесення клею полотна притискаються один до одного і проходять через зону сушіння, де клей остаточно полімеризується.

- Контроль якості: Після склеювання стик ретельно оглядається системами контролю якості для виявлення можливих дефектів.

### ***Типи сплайсерів та їх особливості***

Існує декілька типів сплайсерів, які відрізняються конструкцією та принципом роботи:

- Механічні сплайсери: Найпростіші за конструкцією, здійснюють стикування полотен за допомогою механічних пристроїв (кліщі, преси).

- Термопластичні сплайсери: Використовують термопластичні матеріали для склеювання полотен. Цей тип сплайсерів забезпечує більш міцне і надійне з'єднання.

- Ультразвукові сплайсери: Використовують ультразвукові коливання для зварювання полотен. Цей метод дозволяє отримати дуже міцне і герметичне з'єднання.

## **2.2. Важливі фактори, що впливають на якість стикування шарів гофрокартону**

- Точність позиціонування: Точне позиціонування кінців рулонів є одним з найважливіших факторів, що впливають на якість стикування.

- Однорідність клею: Клей повинен мати стабільну в'язкість і бути рівномірно нанесений на зону склеювання.

- Температура і вологість: Температура і вологість повітря в зоні склеювання впливають на швидкість висихання клею і міцність з'єднання.

- Швидкість руху полотен: Швидкість руху полотен повинна бути оптимальною для забезпечення якісного склеювання.

Сплайсер відіграє критичну роль у безперервному виробництві гофрокартону, забезпечуючи плавний перехід між рулонами паперу без зупинки обладнання. Цей вузол дозволяє не лише підвищити продуктивність за рахунок економії часу на зміну рулонів, але й оптимізувати використання матеріалу, мінімізуючи відходи.

Крім того, якісне стикування полотен, забезпечене сплайсером, гарантує міцність і надійність готового гофрокартону, виключаючи ризик розривів під час подальшої обробки.

Сплайсер та шабер – це два ключових елементи сучасного гофроагрегату, які, хоча й виконують різні функції, тісно взаємодіють між собою, забезпечуючи безперервність та високу якість виробництва гофрокартону.

Сплайсер відповідає за з'єднання кінців рулонів паперу (лайнера та флутингу), забезпечуючи безперервний процес виробництва. Він ніби «зшиває» паперові полотна, створюючи єдиний потік матеріалу. Якість цього з'єднання безпосередньо впливає на міцність та зовнішній вигляд готового гофрокартону.

Шабер же виконує функцію очищення робочих поверхонь гофроагрегату, зокрема валів, від залишків клею та паперу. Таким чином, він забезпечує стабільну якість нанесення клею та формування гофри.

Взаємодія сплайсера та шабера в процесі виробництва гофрокартону є складним технологічним процесом, що вимагає точного налаштування та контролю. Сплайсер, за допомогою спеціальних механізмів, забезпечує точне позиціонування та склеювання рулонів паперу. При цьому, якість склеювання значною мірою залежить від однорідності шару клею, що наноситься на флютинг. Шабер, у свою чергу, забезпечуючи чистоту робочих поверхонь гофроагрегату, сприяє стабільності процесу нанесення клею та формування гофри. Сучасні гофроагрегати оснащуються системами автоматичного керування, що дозволяють оптимізувати роботу як сплайсера, так і шабера, забезпечуючи високу точність і стабільність процесу.

### **2.3. Особливості конструкції шабера**

Шабер складається з корпусу, який встановлюють на певне місце в певній частині папероробної машини. Корпус шабера виконують у вигляді зварної конструкції.

До корпусу кріпиться державка шабера з підшипниками, які дають змогу вільно повертати корпус, а в шаберів, що осцилюють, дають змогу здійснювати осьове переміщення ( рис.2.2). Шабери застосовують для очищення пресових валів, сушильних циліндрів і холодильників, валиків сіткової частини гофроагрегатів (машин).

Кожен шабер сконструйований для відповідного застосування і для певних типів машин. З метою поліпшення роботи шаберів вони оснащуються осцилювальним пристроєм. У мокру частину гофроробної машини всі деталі виготовляються з неіржавної сталі або з облицюванням з неіржавної сталі. У суху частину гофроробної машини всі деталі виготовляються з конструкційної сталі з лакофарбовим покриттям.

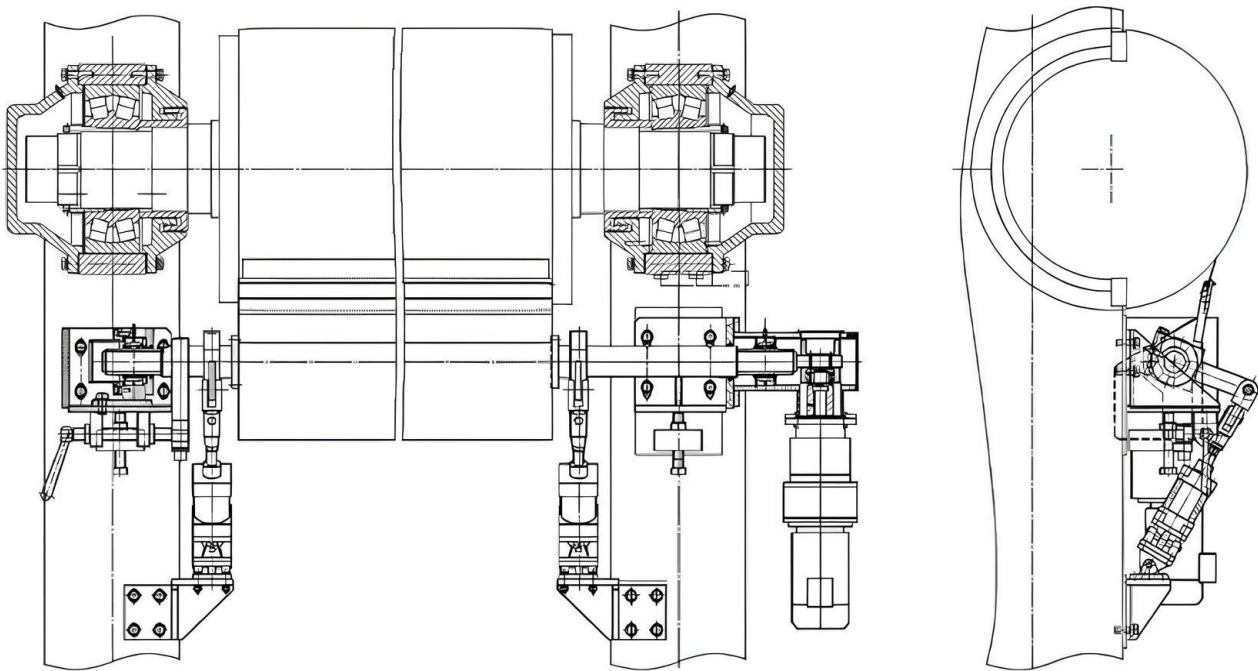


Рис.2.2. Шабер пресового валу з механізмом осциляції (елементи приводу)

На рис.2.2 - зображено конструкцію типового шабера для видалення надлишків клею, що використовується в промислових процесах, зокрема, в гофровиробництві. Основними елементами такого шабера є: корпус, що виконує функцію несучої конструкції; робоча поверхня (лезо), виготовлена з матеріалу, стійкого до абразивного зносу та впливу хімічних речовин, яка безпосередньо контактує з забрудненою поверхнею; привід, що забезпечує рух леза і може бути виконаний на пневматичних або гідравлічних циліндрах, дозволяючи реалізувати різні траєкторії руху (коливальні, поступальні); система кріплення, що фіксує шабер на робочому обладнанні; та система регулювання, яка дозволяє змінювати параметри роботи шабера, такі як сила притискання леза, швидкість руху та амплітуда коливань. Принцип роботи шабера ( рис.2.3.) полягає в тому, що привід приводить в рух робочу поверхню, яка, взаємодіючи з забрудненою поверхнею, видаляє залишки клею за рахунок механічного тертя.

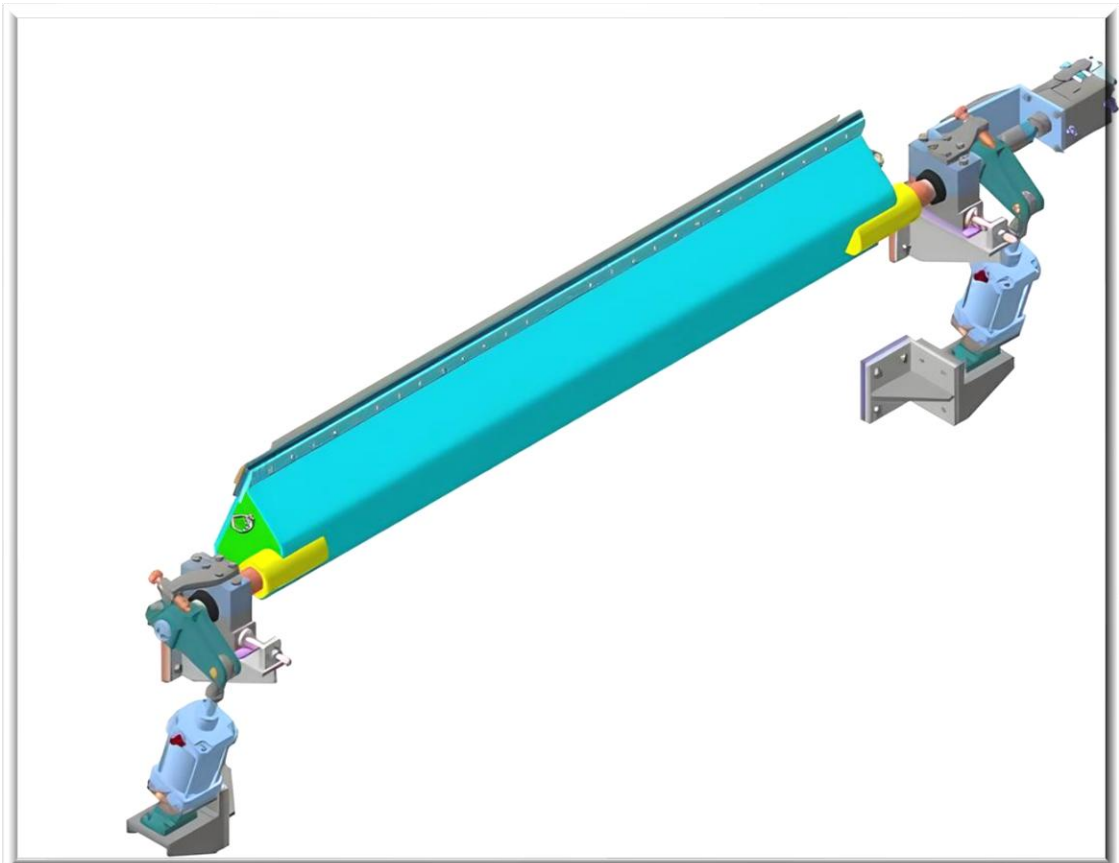


Рис.2.3. Загальний вид приводу конструкції шабера

Параметри роботи шабера підбираються залежно від типу клею, матеріалу поверхні, що очищається, та вимог до якості очищення. Для оптимізації процесу очищення можуть використовуватися додаткові елементи, такі як системи подачі охолоджуючої рідини або вакуумні системи для відведення знятого матеріалу. Конкретна конструкція шабера може варіюватися залежно від його призначення та умов експлуатації.

#### **2.4. Дослідження динамічних характеристик автоматизованого позиційного позиційного довгоходового пневмоприводу технологічного довгоходового пневмоприводу технологічного обладнання**

Математична модель приводу за конструкцією (рис.2.3.), сформована за комплексом розрахунків. Вона враховує залежності, характерні для руху поршня пневмоциліндра. Баланс масових витрат досліджується за

рівняннями витрати газу під час стиснення в камері, через розподільники і дроселі, у нагнітальній і зливній порожнинах і в керуючому пристрої. Розглянуто нерівності, що описують тиск у точках і контур управління. Складну математичну модель розв'язували в програмному середовищі «Сімінтех» (Simintech) методом Рунге - Кутти зі змінним кроком інтегрування. Фрагмент роботи програми обрано як одну з ілюстрацій. Він показує, що софт задіює для розрахунків такі показники, як: задана та наведені координати; універсальна газова стала; коефіцієнти жорсткості пружини, опору, адіабати та в'язкого тертя в поршні. в'язкого тертя в поршні; тиск компресора; масу рухомих частин пневмоприводу; силу зовнішніх опорів; діаметри трубопроводу, поршня пневмоциліндра і гальмівного пристрою; протяжність ходу поршня циліндра; площі поршневих порожнин і дроселів; довжину трубопроводу і його внутрішній об'єм.

Таким чином, програма оперує значним комплексом даних, що дає можливість отримати суттєві та адекватні результати. Схематично показано взаємозв'язок блоків і діаграм, використаних під час розв'язання моделі. Роглянемо графіки переміщень, тисків, швидкостей, в залежності від часу. Використано блоки з текстом програми та призначені для інтегрування. Таким чином отримано математичну модель автоматизованого пневмоприводу технологічного обладнання та залежності основних параметрів його роботи. Графіки свідчать про те, що виконавчий механізм пневмоприводу належним чином пневмоприводу належним чином слідує запропонованій траєкторії.

Продуктивність приводів визначається точністю позиціонування і швидкістю переміщення координат у різних робочих циклах. Сучасне промислове обладнання часто оснащують автоматичними пневматичними приводами, для яких характерні довгоходові переміщення. Це, наприклад, порталні апарати для контактного зварювання, координатні столи та розкрійні машини.

Сучасні позиційні пневмоприводи довгоходових переміщень у технологічному обладнанні забезпечують швидкість до 30 мм/с і точність  $\sim 1$

% від довжини переміщення. У спеціальному виконанні за швидкості до 100 мм/с точність позиціонування досягає 0,4 %. Зазначимо, що траєкторія рухів формується за допомогою управління потоком стисненого повітря в напірних або зливних трубопроводах і порожнинах пневмоциліндра. У довгоходових приводах довжина таких порожнин сягає 3 м. Складні термодинамічні процеси і стисливість у повітряних потоках - основні чинники, що обмежують підвищення точності [1-3].

Таким чином, необхідно збільшити продуктивність робочих і технологічних процесів обладнання при забезпеченні заявленої точності. У цьому разі видається перспективним створення автоматизованого позиційного пневмоприводу для довгоходових переміщень. Нове рішення має враховувати такі характеристики пневмоприводу, як швидкість, масогабаритні показники, пожежо- і вибухозахищеність [2, 4].

Результат досягається при більш складному пропорційному управлінні приводом. Траєкторію руху забезпечує точність перемикання управліннь, рис.2.4, рухом по шляху  $L_{пу}$ .

В описі траєкторії 1 латинськими літерами позначено точки перемикання: А - на розгін приводу; В - на уповільнення; С - на швидкість позиціонування; D - на зупинку. На ділянках АВ і ВС забезпечуються початковий розгін і гальмування до швидкості позиціонування ВПЗ і подальшої зупинки гальмівним пристроєм 2 .

$$\Delta L_2 \leq |L \max|$$

Під час руху за 2-ю траєкторією: А - перемикання на розгін приводу; F - перемикання на зупинку. Під час використання траєкторії 1 збільшується тривалість переміщень, але менше використовуються сила і потужність. Отже, точність буде кращою порівняно з траєкторією 2.

Пропонується оригінальний струменевий датчик із внутрішнім пневматичним зв'язком і пневмомеханічний дискретно-пропорційний пристрій, що дає змогу підвищити швидкодію контуру керування, оскільки

зворотні зв'язки у відомих аналогах при довгих ходах знижують точність основного двигуна приблизно на 10-15 % [4-6].

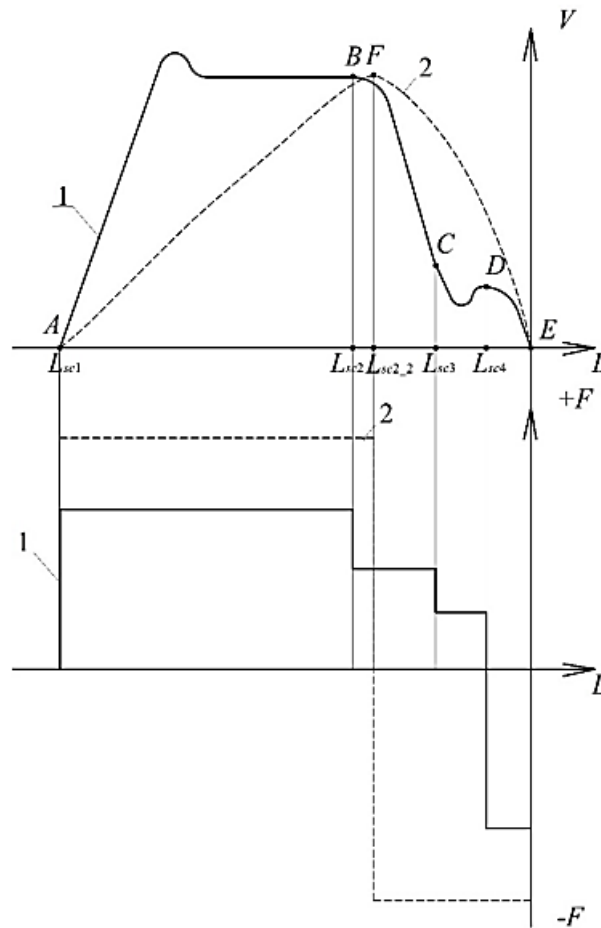


Рис.2.4. Рис. 1. Траєкторії переміщень: 1 - субоптимального ABCDE; 2 - оптимального AFE

Схематичне рішення пневматичного позиційного приводу для довгоходових переміщень показано на рис. 2. Привід працює відповідно до субоптимальної траєкторії руху, що визначається в завданні оптимальної швидкості за заданої точності позиціонування. Тут ПЦ1 - безштоковий пневмоциліндр довгоходових переміщень, який здійснює головний рух; ПЦ2, ПЦ3 – гальмівні пневмоциліндри, які фіксують привід; СА - струменевий датчик, що визначає координату переміщення, прискорення приводу, його швидкість і зусилля; Р1 - пневматичний розподільник з електропневматичним

керуванням, він керує подачею на струменевий датчик; Р2 - головний керуючий розподільник; Р3 - розподільник із пневматичним керуванням, він керує роботою гальмівних пневмоциліндрів; Г1-Г4 - глушники, що відповідають за скидання тиску в атмосферу; ДД - датчик тиску, який отримує дані зі струменевого датчика; ПЛК - логічний контролер; ШД - кроковий двигун, керуючий золотником розподільника; БПВ - блок підготовки повітря; ДР1, ДР2 - дросель зі зворотним клапаном, що слугує для регулювання швидкості безштокового пневмоциліндра довгоходових переміщень головного руху [7].

Математична модель сформована з такими припущеннями [8-12]:

- тиск джерела стисненого повітря залишається постійним із плином часу;
- термодинамічний процес поведінки газу в пневматичній системі є адіабатичним;

- в описі пневматичних пристроїв використовується модель ідеального газу, оскільки тиск

пневматичної системи не перевищує 10 бар;

- витоки не враховуються;

- сила в'язкого тертя пропорційна швидкості;

- коефіцієнт витрат експериментально виявлено шляхом ідентифікації;

- маса переміщуваної деталі постійна;

- зусилля на вихідній ланці пневмоприводу постійне.

1. Рівняння руху поршня пневмоциліндра [1, 4]:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = S \cdot (p_1 - p_2) - F_{\text{вн}} - k_{\text{ам}} \cdot \frac{dx}{dt} - F_{\text{мп}} \cdot \text{sign} \frac{dx}{dt} - \alpha \cdot F_m . \quad (2.1)$$

Тут  $S$  - площа поршня нагнітальної та зливної порожнин безштокового пневмоциліндра довгоходових координатних переміщень головного руху,  $m^2$

$P_1, P_2$  - тиск повітря в нагнітальній і зливній порожнинах циліндра довгоходових порожнинах циліндра довгоходових переміщень, Па;  $F_{вн}$  зовнішні сили, Н;  $k_{вт}$  - коефіцієнт в'язкого тертя;

$$F_m = \mu \cdot c_{пр м} \cdot (x_{0m} - x_m), \quad (2.2)$$

$F_{тр}$  - сила тертя, Н;  $\alpha$  - Булев параметр:  $\alpha=0$  за  $P_5 \leq P_{атм}$  і  $\alpha = 1$  за умови  $P_5 \geq P_{атм}$  - тиск у каналі управління, Па;  $P_{ратм}$  - тиск атмосфери, Па [12-14];  $m$  - маса рухомих частин приводу, кг;  $F_T$  - сила гальмування, Н

$$m \frac{d^2 x_m}{dt^2} = c_{пр м} \cdot (x_{0m} - x_m) - S_m \cdot p_m - F_{атм} - k_{ам м} \cdot \frac{dx_m}{dt}. \quad (2.3)$$

Здесь  $c_{пр т}$  — коефіцієнт жорсткості пружини пневмоциліндра гальма;  $x_{0т}$  — координата початкового стиснення;  $S_T$  — ефективна площа поршня зливної порожнини поршня пневмоциліндра гальма,  $m^2$ ;  $P_M$  — тиск повітря відповідно в нагнітальній порожнині пневмоциліндра гальма, Па;  $F_{вн}$  — зовнішні сили, Н;  $k_{втт}$  — коефіцієнт в'язкого тертя.

3. Рівняння балансу масових витрат:

$$\begin{aligned} G_{p2}(t) - G_{мц1}(t) + G_{сж}(t) &= 0, \\ G_{мц2}(t) - G_{p3}(t) - G_{др}(t) + G_{сж}(t) &= 0, \\ G_{др1}(t) - G_{др2}(t) - G_{yy1}(t) + G_{сж}(t) &= 0, \\ G_{др3}(t) - G_{др4}(t) - G_{yy2}(t) + G_{сж}(t) &= 0, \\ G_{yy}(t) - G_{py4}(t) + G_{сж}(t) &= 0. \end{aligned} \quad (2.4)$$

$G_{сж}(t)$  - масова витрата газу під час стиснення в камері;

$G_{p2}(t), G_{p3}(t)$  - масова витрата крізь розподільники;

$\bar{G}_{m1}(t)$  и  $\bar{G}_{m2}(t)$  - масова витрата в нагнітальній і зливній порожнинах безштокового пневмоциліндра довгоходових переміщень;

$G_{dp}(t), G_{dp1}(t), G_{dp2}(t), G_{dp3}(t), G_{dp}(t), G_{dp}(t)$  - масова витрата крізь дроселі в зливній лінії, на вході в сопловий апарат струминного датчика і на виході з соплового апарата;

$G_{yy1}(t), G_{yy2}(t), G_{yy}(t), G_{py4}(t)$  - масова витрата в каналах управління керуючого пристрою, на виході з керуючого пристрою, розподільника гальмівних пневмоциліндрів.

$$G_{cx}(t) = \frac{\rho \cdot \pi \cdot V}{4 \cdot E \cdot R \cdot T} \cdot \frac{dp}{dt}, \quad (2.5)$$

$\rho = 1,288$  кг/м<sup>3</sup> - густина повітря;  $V$  - об'єм порожнини;  $R = 287$  Дж/(кг·К) - газова постійна;  $E$  - об'ємний модуль пружності повітря;  $T$  - температура в точці;  $dp/dt$  - зміна тиску в точці [6].

$$G_{m1}(t) = \frac{W_1}{k \cdot R \cdot T} \cdot \frac{dp_1}{dt},$$

$$G_{m2}(t) = \frac{W_2}{k \cdot R \cdot T} \cdot \frac{dp_2}{dt}, \quad (2.6)$$

де  $W_1$  і  $W_2$  - поточні обсяги в напірній і зливній порожнинах основного пневмоциліндра, м<sup>3</sup>;  $k$  – показник адіабати (для повітря  $k = 1,4$ ).

4. Рівняння тиску в точках:

$$\begin{aligned}
\frac{dp_1}{dt} &= \frac{k \cdot f_1 \cdot \sqrt{R \cdot T_M}}{S(x+x_{01})\sqrt{\xi_{51}}} \cdot \sqrt{p_M^2 - p_1^2} - \frac{k \cdot f_3 \cdot \sqrt{R \cdot T_M}}{S(x+x_{01})\sqrt{\xi_{52}}} \cdot \left(\frac{p_3}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{2k}} \cdot \sqrt{p_1^2 - p_3^2} - \frac{k \cdot p_1}{x+x_{01}} \cdot \frac{dx}{dt}, \\
\frac{dp_2}{dt} &= -\frac{k \cdot f_2 \cdot \sqrt{R \cdot T_M}}{S(L-x+x_{02})\sqrt{\xi_{52}}} \cdot \left(\frac{p_2}{p_a}\right)^{\frac{k-1}{2k}} \cdot \sqrt{p_2^2 - p_a^2} + \frac{k \cdot p_2}{L-x+x_{02}} \cdot \frac{dx}{dt}, \\
\frac{dp_3}{dt} &= \frac{k \cdot f_3 \cdot \sqrt{R \cdot T_3}}{W_1 \cdot \sqrt{\xi_{53}}} \cdot \sqrt{p_1^2 - p_3^2} - \frac{k \cdot f_4 \cdot \sqrt{R \cdot T_4}}{W_2 \cdot \sqrt{\xi_{54}}} \cdot \left(\frac{p_3}{p_a}\right)^{\frac{k-1}{2k}} \cdot \sqrt{p_3^2 - p_a^2}, \\
\frac{dp_4}{dt} &= \frac{k \cdot f_5 \cdot \sqrt{R \cdot T_5}}{W_3 \cdot \sqrt{\xi_{55}}} \cdot \sqrt{p_1^2 - p_4^2} - \frac{k \cdot f_6 \cdot \sqrt{R \cdot T_6}}{W_4 \cdot \sqrt{\xi_{56}}} \cdot \left(\frac{p_4}{p_a}\right)^{\frac{k-1}{2k}} \cdot \sqrt{p_4^2 - p_a^2}, \\
\end{aligned}
\tag{2.7}$$

$$\frac{dp_5}{dt} = \frac{k \cdot f_6 \cdot \sqrt{R \cdot T_7}}{W_5 \cdot \sqrt{\xi_{57}}} \cdot \sqrt{p_5^2 - p_a^2}.$$

$k$  - показник адиабати;  $R$  - газова постійна, Дж/кг·К;  $T_M$  - температура повітря в магістралі, К;  $p_a$  - тиск атмосфери, Па;  $p_1 - p_5$  - тиск у проточних частинах трубопроводу, Па;  $W_1 - W_5$  - об'єми проточних частин, м<sup>3</sup>;  $\xi_1 - \xi_7$  - коефіцієнти опору в лінії;  $f_1 - f_6$  - площі прохідних перерізів трубопроводу, м<sup>2</sup>;  $L$  - максимальний хід поршня, м;  $x_{01}, x_{02}$  - відношення початкових обсягів пневмоприводу до корисної площі поршня поршневої порожнини пневмоциліндра, м;  $dx/dt$  - швидкість переміщення поршня, м/с.

##### 5. Рівняння контуру керування.

Рівняння руху золотника розподільника :

$$m_{zpl} \frac{d^2 x_{z1}}{dt^2} = c_{np\ p1} \cdot x_{z1} - F_{c1} \cdot \text{sign}\left(\frac{dx_{z1}}{dt}\right) - F_{y1} \cdot \left(\frac{dx_{z1}}{dt}\right) - F_{zml}.
\tag{2.8}$$

Отримані результати моделювання показали наступні характеристики приводу:

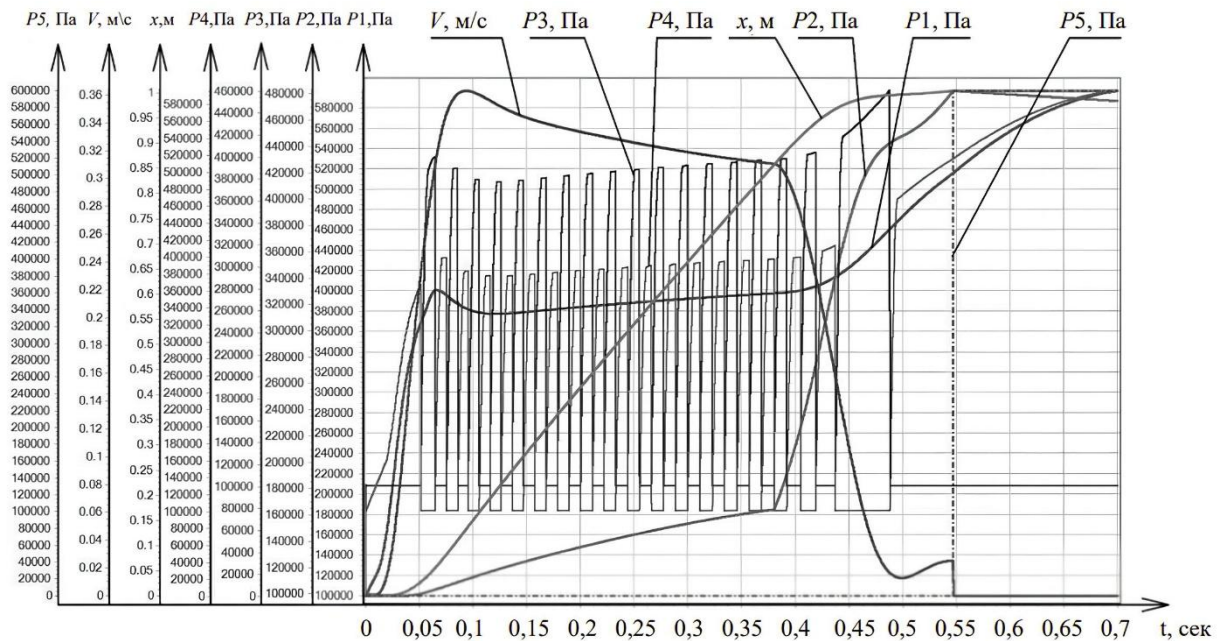


Рис. 2.5. Комплекс графіків за даними узагальненої математичної моделі

1. Робота приводу складається з декількох етапів.

1. 0-0,1 сек. Розгін. Тиск у напірній порожнині підвищується до 4 бар, швидкість руху каретки пневмоциліндра - 1 м/с.

2. 0,1-0,38 сек. Рух зі сталою швидкістю. Тиск у напірній порожнині - близько 3,8 бар. Тиск у зливній лінії підвищується до 1,6 бар, швидкість руху каретки пневмоциліндра - 0,85 м/с.

3. 0,38-0,5 сек. Уповільнення. Тиск у напірній і зливній порожнинах збільшується. Швидкість руху каретки пневмоциліндра знижується до 0,075 м/с.

4. 0,5-0,65 сек. Рух зі швидкістю позиціонування. Тиск у напірній і зливній порожнинах підвищується, швидкість руху каретки пневмоциліндра - 0,075 м/с.

5. 0,65 сек. Перемикання на гальмування, активація зовнішнього гальмівного пристрою підтвердили, що система керування функціонує належним чином.

Подальші дослідження будуть зосереджені на оптимізації системи для скорочення тривалості та підтримання точного позиціонування за зовнішніх впливів.

### **Висновок до розділу**

Розроблена конструкція шабера, що оснащена системою автоматичного регулювання, базується на принципі безконтактного моніторингу стану поверхні циліндра. Це дозволяє забезпечити оптимальний тиск притискання лез, мінімізуючи ризик пошкодження як самої поверхні, так і робочих елементів шабера. Результати досліджень свідчать про високу ефективність запропонованого рішення, яке характеризується підвищеною продуктивністю, зниженням витрат на обслуговування та поліпшенням якості кінцевого продукту.

## РОЗДІЛ 3

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ПРИВОДУ ШАБЕРА

## 3.1. Загальний опис параметрів процесу

Існуючі конструкції шаберів для очищення циліндрів папероробних машин мають ряд недоліків. Так, традиційні системи, що спрацьовують виключно при обриві паперового полотна, не забезпечують постійного очищення поверхні циліндрів від забруднень, що поступово накопичуються. Крім того, стабільність тиску лез на поверхні циліндра в таких системах є недостатньою, що призводить до нерівномірного зношування як лез, так і самої поверхні.

Запропонований шабер (рис.3.1) вирішує ці проблеми завдяки введенню інноваційних елементів.

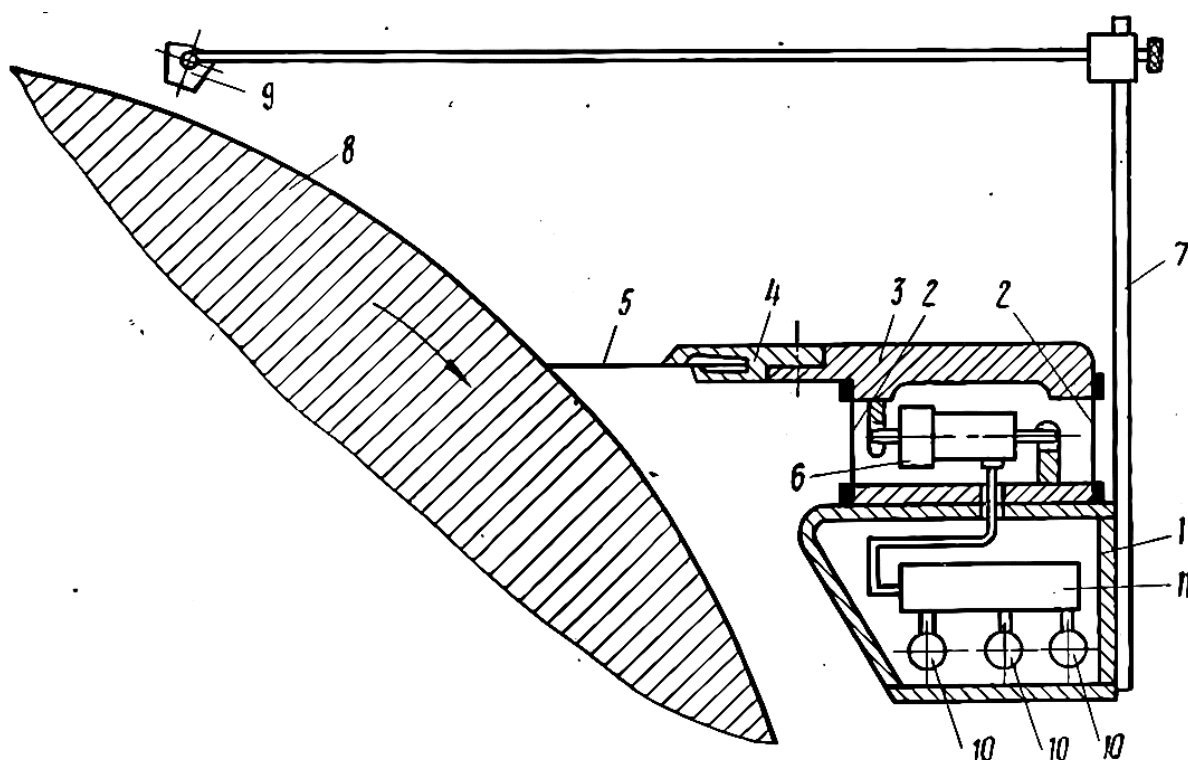


Рис.3.1. Конструкція запропонованого привода шабера

На рис.3.1, конструкція передбачає використання безконтактного датчика забрудненості, який постійно моніторить стан поверхні циліндра. Сигнал від датчика надходить на пневмоелектричний перетворювач, що керує

роботою пневмоциліндрів, які, в свою чергу, регулюють силу притискання лез до поверхні. Це дозволяє забезпечити оптимальний тиск притискання лез в залежності від рівня забруднення, що значно підвищує ефективність очищення та продовжує термін служби як самого шабера, так і очищуваної поверхні.

Запропонована конструкція шабера для очищення циліндрів папероробної машини являє собою інноваційне рішення, спрямоване на підвищення ефективності та надійності процесу виробництва паперу. Пристрій (рис.3.1) складається з корпусу 1, на якому за допомогою пружних опорних елементів 2 закріплені каретки 3 з тримачами 4 для лез 5. Силкові елементи - пневмоциліндри 6 - забезпечують необхідне зусилля притискання лез до поверхні циліндра. Ключовим елементом системи є безконтактний датчик забрудненості 9, встановлений над поверхнею циліндра 8.

На (рис.3.2) і (рис.3.3.) - датчик, як правило, виконаний на основі оптичного принципу і дозволяє вимірювати ступінь забруднення поверхні за інтенсивністю відбитого світла.

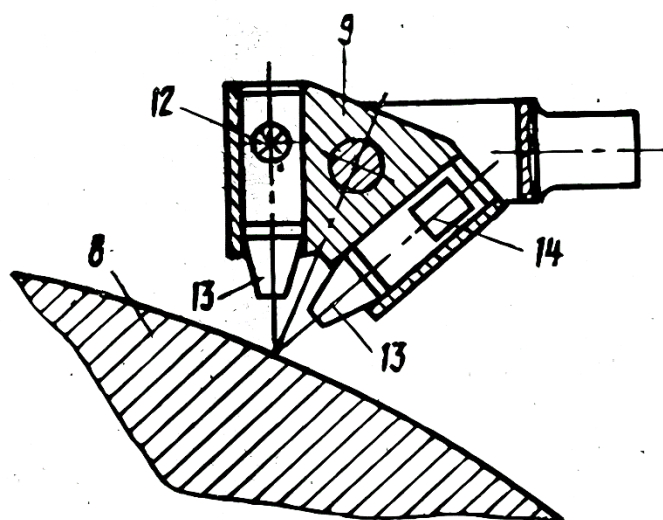


Рис.3.2. Безконтактний датчик (оптико-електричний)

Сигнал від датчика надходить на пневмоелектричний перетворювач 11, який керує роботою пневмоциліндрів 6, забезпечуючи автоматичне регулювання сили притискання лез до поверхні циліндра в залежності від рівня забруднення. Для забезпечення постійного моніторингу всього периметра циліндра, датчик 9 може бути обладнаний механізмом зворотно-

поступального переміщення вздовж осі циліндра. Принцип роботи шабера полягає в наступному: світловий промінь від джерела світла, розташованого в датчику, направляється на поверхню циліндра. Відбите світло фіксується фотоприймачем, і за зміною його інтенсивності визначається ступінь забруднення.

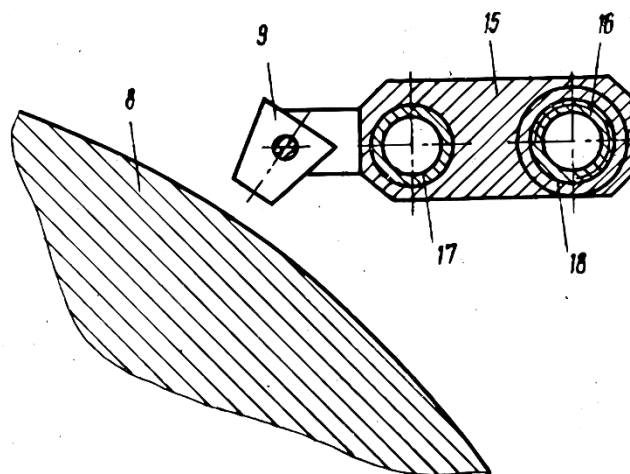


Рис.3.3. Каретка з безконтактним датчиком

Отриманий електричний сигнал обробляється пневмоелектричним перетворювачем, який змінює тиск у пневмоциліндрах, що призводить до відповідного зміщення лез. При збільшенні забруднення тиск у пневмоциліндрах зростає, забезпечуючи більш сильне притискання лез до поверхні і ефективне видалення забруднень. Таким чином, система автоматично підлаштовується під поточні умови роботи, забезпечуючи оптимальний режим очищення. Запропонована конструкція шабера має ряд переваг порівняно з традиційними рішеннями: підвищена ефективність очищення завдяки автоматичному регулюванню сили притискання лез, зменшення зносу лез і поверхні циліндра, зниження енергоспоживання, підвищення надійності роботи обладнання.

Безконтактний датчик 9, зазвичай виконаний за оптичним принципом, здійснює безперервний моніторинг стану поверхні циліндра 8. Світловий промінь від джерела світла 12, проходячи через оптичну систему (об'єктиви

13), фокусується на поверхні циліндра і, відбиваючись від неї, потрапляє на фотоприймач 14. Інтенсивність відбитого світла є функцією стану поверхні: чим більше забруднень, тим менше світла досягає фотоприймача. Електричний сигнал, пропорційний інтенсивності відбитого світла, знімається з фотоприймача і подається на пневмоелектричний перетворювач 11. Останній, у свою чергу, змінює тиск у пневмоциліндрах 6, регулюючи силу притискання лез 5 до поверхні циліндра. Завдяки використанню зворотно-поступального переміщення датчика 9 за допомогою каретки 15, забезпечується постійний моніторинг стану всієї поверхні циліндра. Для забезпечення необхідної точності вимірювання та швидкого відгуку системи, датчик може бути виконаний на основі лазерних технологій або використовувати більш складні оптичні схеми. Крім оптичних датчиків, можливе використання індуктивних або ємнісних датчиків, які дозволяють вимірювати інші фізичні параметри поверхні, такі як провідність або діелектричну проникність. Вибір типу датчика залежить від конкретних умов експлуатації та характеристик забруднень.

### **3.2. Опис системи керування приводом шаберу**

Пневматична система керування приводом шабера, що складається з двох двосторонніх пневматичних циліндрів, одного безштокового циліндра, розподільників 5/2 і 5/3, а також додаткових елементів керування (кнопки пуск/стоп, датчик тиску), забезпечує точне регулювання процесу очищення циліндра (рис.3.4).

Алгоритм роботи дослідної системи:

1. Запуск системи: При натисканні кнопки "Пуск" стиснене повітря подається до розподільників, які перемикаються в необхідне положення, забезпечуючи рух пневмоциліндрів і початок процесу очищення.
2. Робота датчика: Оптичний датчик безперервно сканує поверхню циліндра, вимірюючи рівень забрудненості. Сигнал від датчика надходить на розподільник, який регулює тиск у пневмоциліндрах.

3. Регулювання сили притискання: Залежно від сигналу датчика, розподільник змінює напрямок потоку стисненого повітря в пневмоциліндрах, що призводить до збільшення або зменшення сили притискання лез до поверхні.
4. Захист системи: Датчик тиску контролює тиск в системі і при досягненні критичних значень відключає систему, запобігаючи аварійним ситуаціям.
5. Зупинка системи: При натисканні кнопки "Стоп" розподільники перемикаються в нульове положення, і система зупиняється.

### 3.3. Опис схеми керування в FluidSim

Для чисельного моделювання процесу керування шабером застосовано студентську версію ПП FluidSim

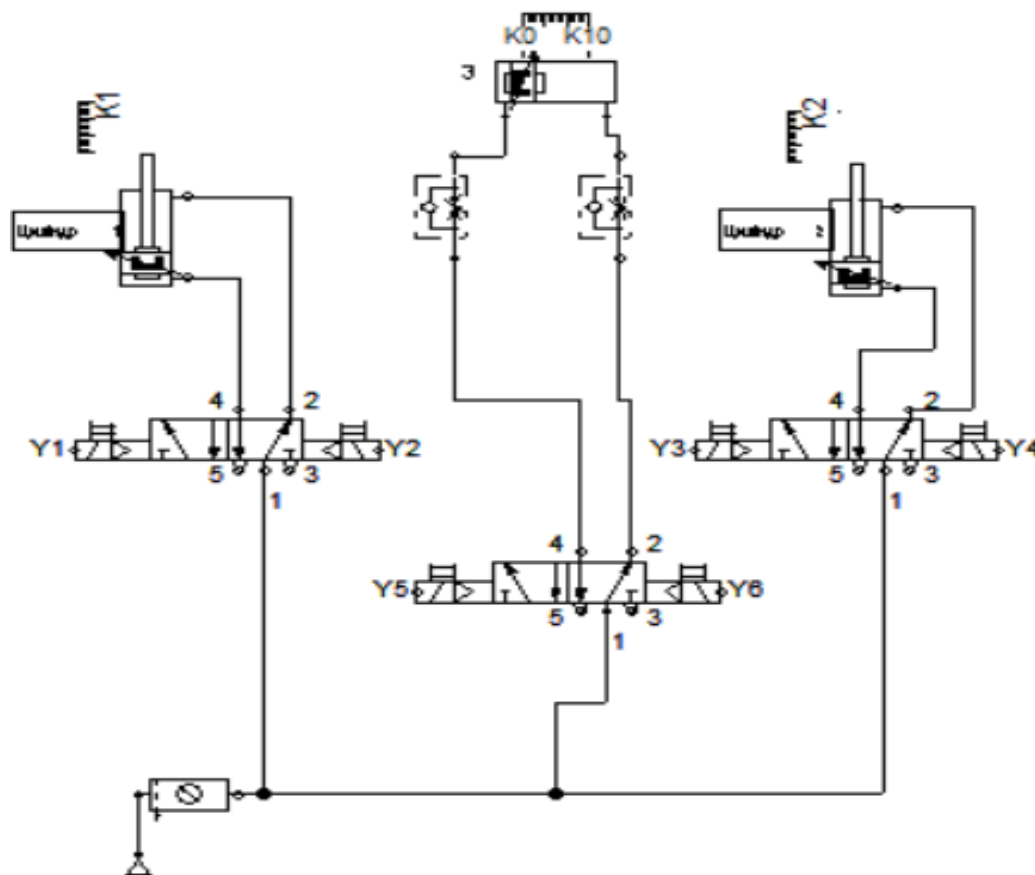


Рис.3.4. Силова принципова електропневматична схема керування шабером

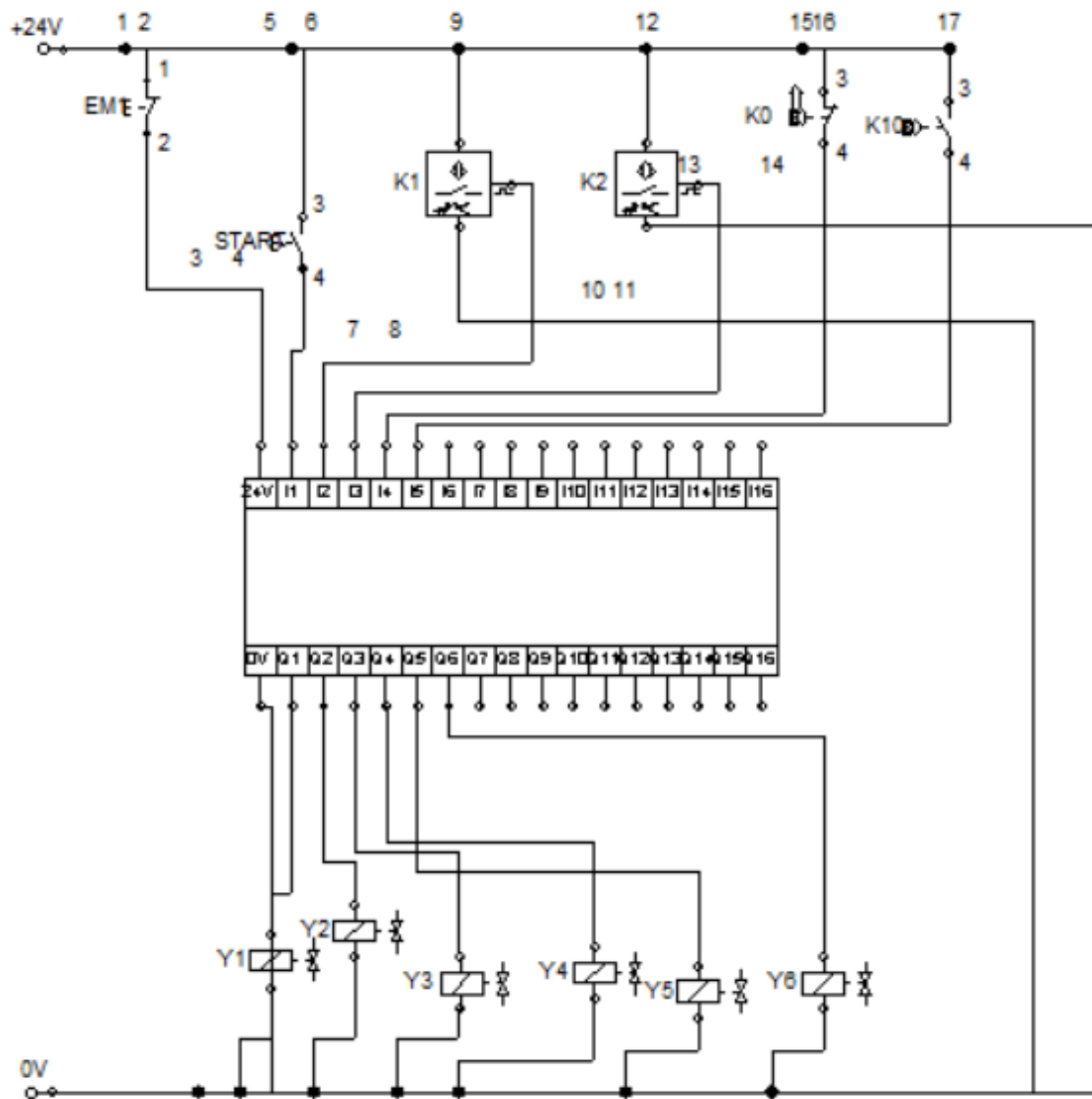


Рис.3.5. Електропневматична схема керування шабером з програмованим логічним контролером

Пневмоциліндри «Циліндр 1», «Циліндр 2» ( які на рис.3.1 позначені – б) - забезпечують необхідне зусилля притискання лез до поверхні циліндра. Позиція «3» на рис.3.4. описує систему зворотно-поступального руху датчика забруднення ( який на рис.3.1 – на позиції 9). Показники кінематичних та динамічних параметрів зафіксовані в тестовому режимі ( без врахування часу розмотування рулонного матеріалу ( флютинга і лайнера), для можливості дослідження режиму розгону і гальмування системи. Позиція ЕМ на рис.3.5 відтворює режим аварійної зупинки системи.

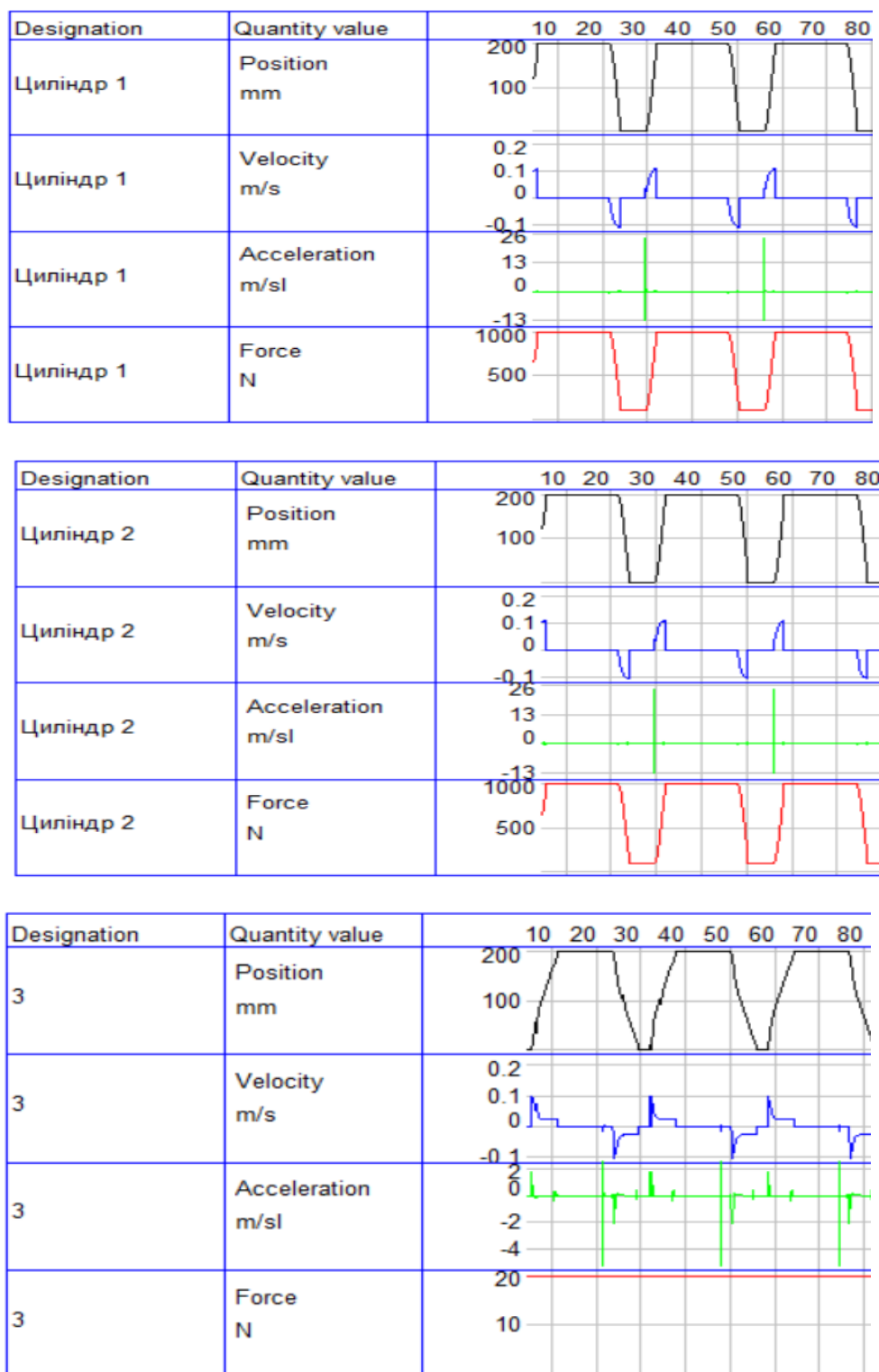


Рис.3.6. Узагальні графіки кінематичних характеристик роботи шабера з контролем навантаження на робочі штоки і каретку переміщення датчика забруднення зі скребком

Окрема система контролю за переміщенням датчика забруднення на базі пропорційного керування наведена на рис.3.7.

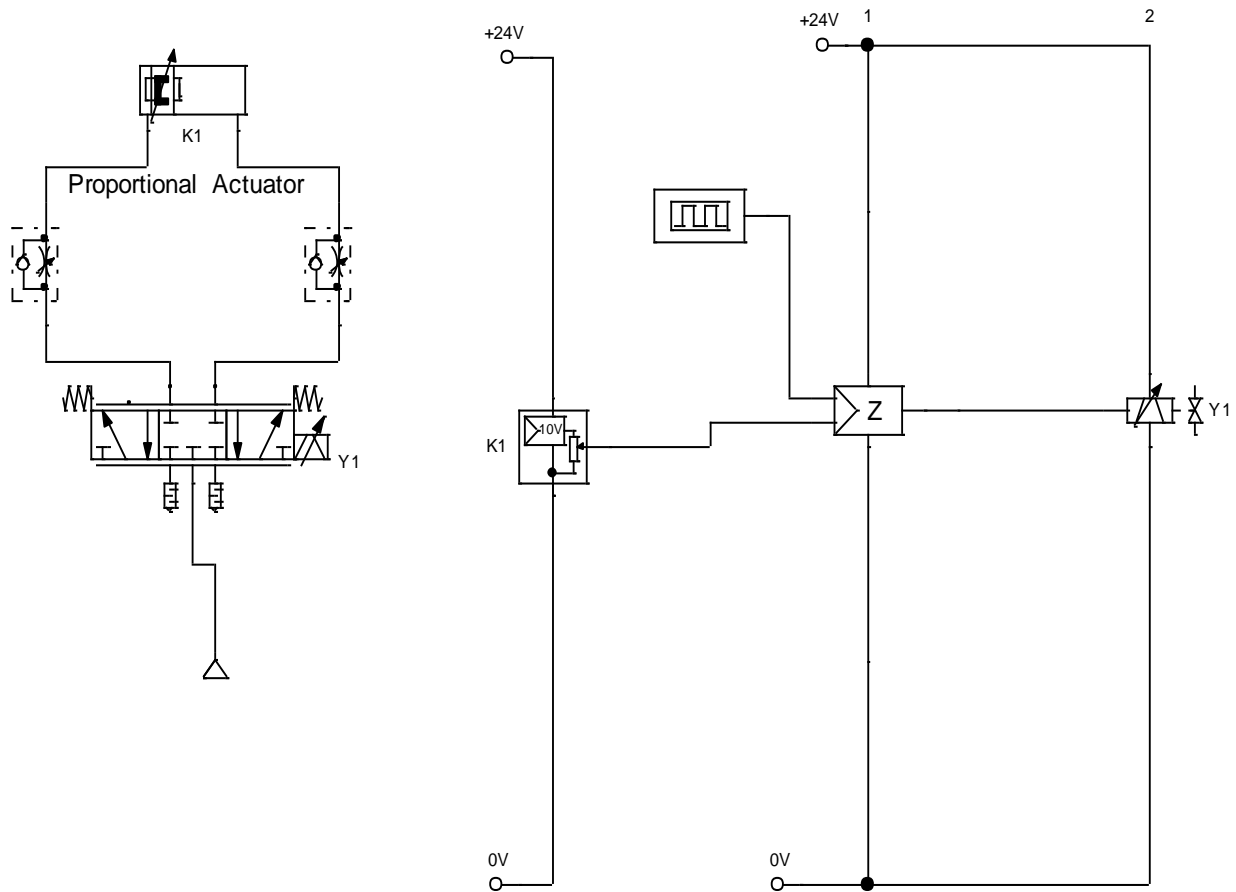


Рис.3.7. Схема пропорційного керування зворотно-поступальним рухом датчика контролю забруднення вздовж валу

У системі керування шабером, де використовується Rectangle режим з 0-10В сигналом, рух датчика контролю забруднення відбувається за наступним принципом. Електричний сигнал, що відповідає за положення датчика, змінюється від 0 до 10 вольт. Цей сигнал надходить на привід, який перетворює його на механічний рух. Залежно від напруги сигналу, датчик переміщується вздовж вала на певну відстань. Коли напруга досягає максимального значення (10В), датчик переміщається в крайнє праве положення, а при нульовій напрузі - у крайнє ліве. Такий режим керування дозволяє точно позиціонувати датчик відносно поверхні вала і забезпечує рівномірний контроль за рівнем забруднення по всій довжині вала.

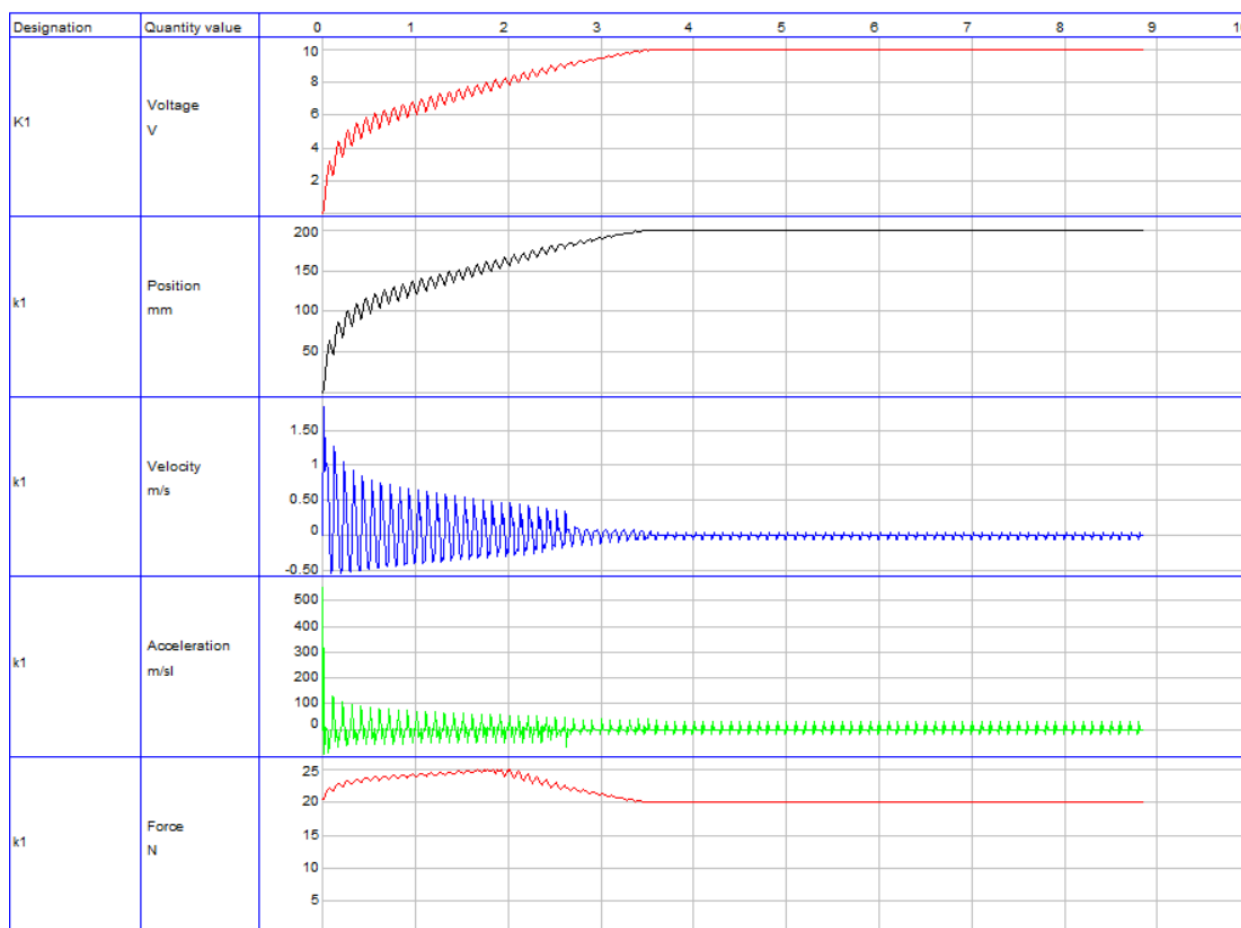


Рис.3.8. Графіки кінематичних і динамічних характеристик навантаження системи за режимом Rectangle

Наведений графік ілюструє динамічні характеристики системи керування переміщенням датчика під впливом прямокутного електричного сигналу в діапазоні 0-10 В. Аналіз графіків положення, швидкості, прискорення та сили дозволяє виявити ряд характерних особливостей.

Пропорційний електромагнітний пневматичний клапан, що є центральним елементом системи, демонструє загальну тенденцію до лінійної залежності між вхідним електричним сигналом і вихідним пневматичним потоком, що забезпечує пропорційне зміщення датчика. Однак, на графіках спостерігаються відхилення від ідеальної лінійності, особливо в області малих значень вхідного сигналу, що може бути пов'язано з нелінійністю характеристик клапана або інших елементів системи.

Динамічні характеристики системи виявляють пульсаційний характер змін швидкості та прискорення датчика. Ці коливання можуть бути обумовлені різними факторами, такими як резонансні явища в пневматичній системі, нерівномірність тертя в механічних елементах, або впливом зовнішніх збурень. Затримка між зміною вхідного сигналу та відповідною реакцією системи свідчить про інерційність процесів, що відбуваються в системі.

Сила, що діє на датчик, також має пульсаційний характер, що безпосередньо пов'язано зі змінами швидкості та прискорення. Амплітуда коливань сили залежить від маси рухомих елементів системи та жорсткості пружин.

Загалом, представлені дані свідчать про складну динаміку системи, яка визначається взаємодією різних фізичних процесів: електромагнітних, пневматичних і механічних. Для більш детального аналізу та оптимізації роботи системи необхідно провести додаткові дослідження, включаючи моделювання системи, експериментальні дослідження з різними режимами роботи і аналіз частотних характеристик.

### **Висновок до розділу**

Аналіз графіків на рис.2.7 - дозволяє зробити такі висновки:

1. Безперервність і диференційовність руху: Криві, що описують зміну кутового переміщення, швидкості та прискорення коромисла, є безперервними і диференційовними на всьому інтервалі часу. Це свідчить про плавність руху механізму та відсутність різких змін кінематичних параметрів, що є важливою умовою для забезпечення довговічності та точності роботи механізму.
2. Стикування фаз: В точках переходу між фазами руху спостерігається плавне стикування кривих інваріантів. Це свідчить про успішну реалізацію завдання синтезу комбінованого закону руху, який забезпечує плавний перехід між різними режимами роботи механізму.
3. Відсутність пікових значень прискорення: Амплітуда коливань прискорення є відносно невеликою, що свідчить про зменшення

динамічних навантажень на елементи механізму. Це дозволяє підвищити точність позиціонування робочого органу та зменшити знос деталей.

4. Оптимізація профілю швидкості: Профіль швидкості коромисла має плавний характер, що сприяє зменшенню вібрацій і шуму під час роботи механізму.

Таким чином, проведені дослідження показали, що синтезований закон руху коромисла забезпечує високу якість роботи кулачкового механізму. Отримані результати можуть бути використані для подальшої оптимізації конструкції механізму та розробки нових типів кулачкових механізмів з заданими кінематичними характеристиками.

## **РОЗДІЛ 4**

### **ОХОРОНА ПРАЦІ**

#### **4.1. Вступ**

У процесі підготовки і розмелювання волокнистих напівфабрикатів та виготовлення картону на персонал можливий вплив небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Тому умови роботи на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування і інших засобів виробництва, стан засобів колективного і індивідуального захисту, які використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам законодавства.

При експлуатації обладнання на технологічному потоці існують такі шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

- повітря робочої зони;
- виробничий шум і вібрація;
- небезпека рухомих і обертових деталей машини і механізмів;
- небезпека ураження електричним струмом;
- пожежонебезпека.

Необхідно проаналізувати можливі небезпечні і шкідливі виробничі фактори і розробити необхідні міри для їх усунення

#### **4.2. Повітря виробничої зони**

В картоноробному цеху роботи виконуються стоячи, а також роботи пов'язані з ходьбою, тому категорія робіт середньої тяжкості - Па. Температура повітря в робочій складає зоні 20-30 °С, а в зоні ПРМ може складати 30-35 °С. Головним джерелом тепла в є тепло сушильної частини машини. У сітково-пресовій частині машини спостерігається підвищення вологості повітря до 75%, параметри мікроклімату наведені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Основні фактичні характеристики мікроклімату цеху

Назва цеху чи приміщення	Категорія робіт за важкістю	Фактичний параметр мікроклімату					
		Холодна пора року			Тепла пора року		
		Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Розмелювально-підготовчий цех	П а	18-20	60-65	0,2-0,3	20-23	55-60	0,2-0,4
Сітково-пресова частина машини	Те ж	17-22	60-75	0,2-0,3	21-25	60-75	0,2-0,4
Сушильна частина машини і накат	«	17-23	55-65	0,2-0,3	20-35	55-60	0,3-0,4
Повздовжньо-різальний станок і зона пакування	«	17-23	55-65	0,2-0,3	20-30	55-60	0,2-0,4

Основне джерело тепла – сушильна частина КРМ.

Відносна вологість 40 – 65 %, в пресовій частини спостерігається підвищення вологості повітря до 75 %.

При виробництві картону утворюється пил, який є шкідливим виробничим фактором, оскільки робить шкідливий вплив на слизову оболонку очей, дихальні шляхи і може викликати алергію. При попаданні пилу на шкіру відбувається закупорка сальних залоз, внаслідок чого утворюються вугри, фурункули, екземи.

Заходи для створення здорових і безпечних умов праці:

– для досягнення нормальних умов праці в операторській встановлений кондиціонер;

– організовано функціонування систем опалення, загальнообмінної вентиляції і кондиціонування повітря. Площа цеху становить 19440 м<sup>2</sup>, що забезпечує норму на одну людину 50 – 100 м<sup>2</sup>. У приміщенні складу напівфабрикатів, глинозему і цеху масопідготовки застосовується загальнообмінна штучна вентиляція. На складі крохмалю - природна вентиляція; приміщення для приготування клею оснащено двома установками загальнообмінної витяжної вентиляції для видалення крохмального пилу. У приміщенні картоноробного цеху застосовується штучна (механічна) вентиляція, що дозволяє переміщати, очищати і підігрівати повітря. Тут встановлено припливно-витяжну вентиляцію, яка забезпечує організацію відведення парів води від сушильної частини машини, продування сушильних сіток і обдування мережі над мокрою частиною КРМ. Вентиляція складається з наступних вузлів:

- решітка входу;
- повітряний клапан, що запобігає попаданню в приміщення зовнішнього повітря або снігу при підключенні системи вентиляції;

- фільтр для очищення повітря від пилу, пуху і комах;
- калорифер, призначений для нагрівання повітря взимку;
- радіальний вентилятор, що подає повітряний потік під тиском;
- пристрої для зниження рівня шуму;
- мережа повітропроводів;
- розподільник повітря у вигляді ґрат або дифузорів;
- система регулювання та автоматики;

– багато процесів автоматизовано і використовується дистанційне керування ними, що виключає безпосередній контакт працівників зі шкідливими речовинами;

– проводяться періодичний медичний огляд працівників, які працюють у

шкідливих умовах, надаються продукти харчування для нейтралізації шкідливості;

– контролюється вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони згідно ГОСТ 12.1.016-79 «Повітря робочої зони. Вимоги до методик вимірювання концентрації шкідливих речовин»;

– Використовуються засоби індивідуального захисту працівників згідно ГОСТ 12.4.001-75 ССБТ. Персонал, зайнятий у виробництві, забезпечується костюмами і комбінезонами, черевиками, рукавицями і гумовими рукавичками, захисними окулярами, респіраторами та дерматологічними захистами.

### **4.3. Освітленість**

У проєктованому цеху прийнято природне і штучне освітлення.

Природне освітлення одностороннє, здійснюється в денний час доби через вікна цеху. Так як виробництво безперервне передбачено штучне освітлення в нічний і вечірній час доби. Для цього використовуються люмінесцентні лампи.

Для систем електричного освітлення підібрані вологонепроникні люмінесцентні лампи типу ЛПП-04-2×36 ( $E_{\text{факт}} = 350$  лк,  $E_{\text{мін}} = 300$  лк).

Для операторської згідно ДБНВ 2.5.28-2006, робота з обслуговування обладнання відноситься до VI розділу підрозділу «а», тобто загальне спостереження за технологічним процесом. При цьому робоче місце оператора повинно мати освітленість робочої зони  $E_{\text{нор}} = 200$  лк.

Щоб робоче місце в операторській відповідало нормам освітленості обираємо лампи ЛПП-04-1×36 (які мають фактичну освітленість  $E_{\text{факт}} = 250$  лк, та мінімальну  $E_{\text{мін}} = 200$  лк), що задовольняють вимоги ДБНВ 2.5.28-2006.

### **4.4. Виробничий шум і вібрація**

Джерела шуму в цеху – обертові частини машини, насоси, вентилятори, двигуни, вакуум-насоси й повітродувки.

Контроль над рівнем шуму проводиться один раз на рік за допомогою шумоміра ВТТТВ-003. Найбільший шум в цеху створюється пресою частиною КРМ. Рівень шуму в цеху становить  $L = 95$  дБА. Для зниження рівня шуму передбачено:

- встановлення звукоізолюючої кабіни для машиністів; звукоізоляція забезпечується за рахунок стін з цегляної кладки і двопакетних вікон, що знижує рівень шуму на 30 дБА.
- укладання джерел шуму в звукоізолюючий кожух (матеріал – сталевий лист, покриття з мінераловатних плит), який знижує рівень шуму на 5 – 10 дБА;
- застосування засобів індивідуального захисту за ДСТУ12.4005-88. В якості індивідуального захисту застосовують протишумні вкладиші, навушники, які знижують рівень шуму на  $16 \pm 3$  дБА.

Фактичний рівень шуму після проведення всіх заходів в цеху (при використанні протишумних навушників) складатиме близько 65 дБА, а в операторській (де немає необхідності застосування ЗІЗ) – 55 дБА, що задовольняє норми ДСН 3.3.6.37-99

Джерела вібрації в цеху – обертові частини машини, насоси, двигуни та внутрішньо цеховий транспорт.

Норми вібрації повинні задовольняти ДСН 3.3.6.039-99 В операторській норми вібрації відповідають ДСН 3.3.6.039-99 оскільки робоче місце достатньо віддалене від джерел вібрації

Захист від вібрації в цеху забезпечується:

- застосуванням засобів віброзахисту, що знижують вплив вібрації на робочих (пружинні амортизатори використовують для віброізоляції насосів, електродвигунів та деяких рухомих частин машини; віброізолюючі опори встановлюються під більшість обладнання з рухомими частинами);
- організаційно-технічними заходами: підтриманням високого рівня механічного стану обладнання, а головне – впровадження дистанційного

керування, що виключає постійне перебування працюючого у зоні небезпечних рівнів вібрації.

#### *Небезпека рухомих і обертових деталей машин і механізмів*

У проєктованому виробництві використовується ряд обертових механізмів і деталей, які становлять особливу небезпеку для людини.

Джерелами травм можуть бути відкриті частини КРМ, сортувалок, формуючих циліндрів, вали каландрів. У цеху згідно ДСТУ 12.2.020 - 76 для захисту робочих деталей і частин картоноробної машини застосовуються сітчасті стаціонарні огорожі. Виробничі майданчики огорожуються бар'єрами висотою 1 м.

Причинами аварій на виробництві можуть бути: порушення технологічного режиму, неправильна експлуатація обладнання, порушення правил техніки безпеки.

Заходи усунення небезпеки рухомих машин і механізмів:

–технологія виробництва відповідає правилам технічної експлуатації устаткування;

–до експлуатації устаткування допускається навчений персонал, ознайомлений з пристроєм, принципом роботи і безпечним методам ведення робіт, пройшов стажування від двох до п'ятнадцяти змін;

–персонал проходить всі види інструктажів, передбачених для роботи на даному виді обладнання;

–при управлінні технологічним обладнанням забезпечується можливість його автоматичної аварійної зупинки за допомогою натискання кнопки «стоп» (на обладнанні або на пульті управління);

–обслуговуючий персонал стежить за надійністю кріплення огорож на обладнанні.

#### 4.5. Електронебезпека

За ступенем небезпеки ураження електричним струмом виробництво відноситься до класу особливо небезпечних приміщень (ПУЕ -87 ).

Забезпечення струмом електрообладнання передбачається від 3-х фазної чотирьохпроводної електричної мережі змінного струму промислової частоти  $f = 50$  Гц з глухозануленою нейтраллю з напругою  $U = 220 - 380$  В.

Основні причинами травматизму є:

- Випадковий дотик до частин під струмом електроустаткування, що знаходяться під напругою;
- Пошкодження ізоляції частин під струмом;
- Замикання фази мережі на землю;
- Падіння проводу на конструктивні частини обладнання.

Відповідно до *ДСТУ* 12.1.019-79 для безпеки обслуговування електроустановок передбачено:

- застосування огорож для захисту та ізоляції частин під струмом електрообладнання. відкриті струмопровідні частини електрообладнання огорожені сіткою;
- захист струмоведучих частин від механічних пошкоджень прокладкою проводів в трубах;
- встановлення електрообладнання відповідно до умов навколишнього середовища; закриті пилонепроникні електродвигуни;
- захисне відключення електроустановок;
- постійний контроль над станом ізоляції електроустановок. Для вимірювання опору ізоляції використовується прилад-мегаометр м-116;
- захисні засоби: діелектричні рукавички, інструменти з ізолюючими рукоятками, діелектричні калоші, ізолюючі підставки та інші;
- в аварійному режимі використовується занулення.

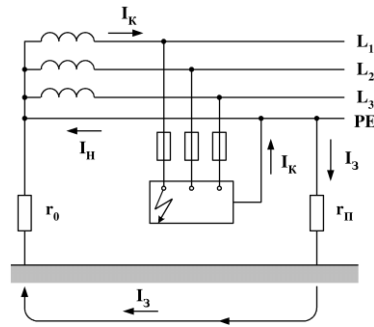


Рисунок 4.1 – Принципова схема занулення

Так як використовується мережа з глухозаземленою нейтраллю, то при порушенні занулення:  $I_{к.з.} = \frac{U_{\phi}}{z_0 + z} = \frac{220}{0,4 + 0,2} = 366 \rightarrow 300A$ ,

де  $z_0$  – опір 0 провідника = 0,4 Ом;

$z$  – опір фази провідника = 0,2 Ом;

Що дозволяє спрацювати захисту МТЗ  $> 1,25 - 1,4I_{ном.}$  ( $I_{ном.} = 70A$ ), що відповідає ДСТУ 12.1.030-82.

#### 4.6. Пожежна безпека

Виробництво картону є пожежонебезпечним. Пожежі можуть виникати в результаті накопичення статичної електрики, несправного виробничого обладнання та порушення технологічного процесу, течі і проливання мастильних матеріалів, поганої ізоляції проводів та ін. Класифікація основних відділів і установок по вибухопожежонебезпечності, електроустаткування і санітарної характеристики наведені в таблиці 4.2.

Основними причинами виникнення пожежі можуть бути:

- порушення елементарних правил пожежної безпеки;
- несправність електроустаткування, електромереж;
- порушення електротехнічних правил.

Для здійснення безпеки обслуговуючого персоналу при експлуатації технічних засобів автоматичної пожежної сигналізації і виконанні ремонтних робіт передбачено:

- використання пожежних сповіщувачів згідно умов їх експлуатації;
- відсутність радіоізотопних сповіщувачів;

– гучномовне оповіщення персоналу про пожежу

–об'єктове світлозвукове оповіщення персоналу про пожежу.

Таблиця 4.2 – Класифікація основних відділів і установок по вибухопожежонебезпечності, електроустаткуванню та санітарній характеристиці

Назва цеху, відділу, установки	Категорія виробництва по вибухонебезпечності відповідно ЗНТП 24-86	Класифікація приміщень і зовнішніх пристроїв по електрообладнанню відповідно ДНАОП 0.00-1-32 – 01		Група виробничих процесів по санітарній характеристиці СНіП 2.09.04-85 і галузевим нормам
		Клас зони	Категорія і група вибухонебезпечних сумішей	
1 Розмелювальньо-підготовчий цех	В	П-Па	Вибухонебезпечні суміші відсутні	П-в
2 Картоноробна машина: мокра частина сушильна частина	Д В	П-Па П-Па	Те саме -\\-	П-в П-а
3 Участок обробки, різання і пакування картону	В	П-Па	-\\-	І-а, І-б

Допустима відстань від самого віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу - 7,5 м. З коридору повинно бути, як правило не менше 2-ох евакуаційних виходів. Враховуючи об'єми приміщень, категорію пожежної небезпеки виробництва і ступень вогнестійкості будівлі, визначаємо необхідну ширину евакуаційних виходів.

Для проходів – не менше 1 м, коридорів – 1,4 м, двері – 0,8 м і марші – 1,05 м, площадка сходів – 1,05 м. Висота дверей і проходів на шляхах евакуації

повинна бути не менше 2 м. Двері на шляхах евакуації повинні відкриватися по напрямленню виходу будівлі (СНІП 2.09.02-85).

При виникненні пожежі необхідно терміново викликати пожежну охорону, відвести в безпечне місце людей і приступити до гасіння пожежі засобами пожежогасіння (вогнегасники, пісок, лопата, багор, відро), дотримуючись правил техніки безпеки.

ТС оснащується первинними засобами пожежогасіння (вогнегасники, лопата, ящик з піском, багор, відро), що розташовані на пожежному щиті

Засоби пожежогасіння повинні відповідати вимогам “Інструкції по утриманню та застосуванню засобів пожежогасіння на підприємствах”

В тому числі приміщення захищене щогловим блискавковідводом висотою 27 м. Блискавковідвід приєднується сталеву половою 40x4 мм до спеціального заземлювача, який складається з двох електродів довжиною 7,5 м, які з'єднуються між собою сталеву половою 40x4 мм. Заземлювач блискавковідводу приєднати до існуючого контуру заземлення. Опір заземлюючого пристрою більше 100 Ом.

Для гасіння електропроводок і електроустаткування під напругою передбачені порошкові вогнегасники ОПС-10 – 4 шт., також наявні вуглекислотні вогнегасники ОУ-5 – 4 шт.

Приміщення операторської обладнане електричною системою. Датчики сповіщувальні типу ДЛТ з'єднані з прийомною станцією по променевій системі. При підвищенні температури легкозаймистий шар, що з'єднує кінці двох пружних дротів, розплавляється, розривається електричний ланцюг і спрацьовує сигналізація. Також у операторській передбачений прямий телефонний зв'язок з пожежною охороною підприємства.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дана робота присвячена комплексному аналізу процесу виробництва гофрокартону з метою підвищення ефективності та якості роботи приводів гофроагрегата. Актуальність дослідження обумовлена постійно зростаючим попитом на якісну пакувальну продукцію та необхідністю оптимізації виробничих процесів.

**Основні результати дослідження** У ході дослідження було проведено детальний аналіз технологічного процесу виробництва гофрокартону, включаючи вивчення впливу різних факторів на якість готової продукції. Особлива увага була приділена аналізу роботи ключових вузлів гофроагрегату, таких як сплайсер і шабер. Розроблена математична модель дозволила дослідити динамічні характеристики автоматизованого пневмоприводу шабера та оптимізувати його роботу. Виявлені основні проблеми, що виникають при виробництві гофрокартону, такі як нестабільність якості склеювання, нерівномірність нанесення клею та знос обладнання.

**Наукова новизна та практична значимість** Наукова новизна роботи полягає у розробці математичної моделі для дослідження динамічних характеристик пневмоприводу шабера та у виявленні взаємозв'язку між параметрами процесу і якістю готової продукції. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації роботи гофроагрегатів, підвищення якості гофрокартону та зниження витрат виробництва.

**Перспективи подальших досліджень** Перспективним напрямком подальших досліджень є розробка інтелектуальних систем управління гофроагрегатом, які дозволять автоматизувати процес виробництва та підвищити його гнучкість. Також цікавим напрямком є дослідження нових матеріалів для виробництва гофрокартону з покращеними характеристиками, наприклад, підвищеною міцністю та екологічністю.

Проведене дослідження дозволило отримати нові знання про динаміку роботи приводу шабера в лінії гофрокартону та розробити ряд рекомендацій щодо його оптимізації. Результати дослідження можуть бути використані для підвищення ефективності виробництва, поліпшення якості продукції та зниження витрат. Отримані дані та розроблені моделі можуть бути основою для подальших досліджень у цій галузі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Регей, І., Книш, О., Бегень, П., & Михайлів, Ю. (2024). Аналітичні дослідження силового навантаження привода натискної плити у штанцювальному пресі. *Технічні науки та технології*, (3 (37)), 37–44.
2. Tendentsii rozvytku rynku upakovky z paperu ta kartonu [Development trends of the paper and cardboard packaging market]. (2023). *Upakovka – Packaging*, 2, 24-27.
3. Rehei, I. I. (2011). Spozhyvche kartonne pakovannia (materialy, proektuvannia, obladnannia dlia vyhotovlennia) [Consumer cardboard packaging (materials, design, manufacturing equipment)]. UAD.
4. Бек, М., Фішерауер, Г. (2022). Моделювання короблення гофрокартону на основі методів гомогенізації для застосувань у вимірюваннях в процесі виробництва. *Appl. Sci.*, 12(6), 1684. [CrossRef]
5. Valmet. (n.d.). Behind the Scenes of Developing the World’s First True QCS for Corrugators [Електронний ресурс]. <https://www.valmet.com/automation/board-and-paper/corrugating/behind-the-scenes-of-the-worlds-first-qcs> (дата звернення: 12 травня 2023 р.).
6. BHS Corrugated. (n.d.). Training Manual for BHS-Corrugator [Електронний ресурс]. [invalid URL removed] (дата звернення: 15 травня 2023 р.).
7. Back, С. (2017). Controlling Warp on the Corrugator. *Corrugated Today*, травень/червень. [Електронний ресурс]. <https://www.valmet.com/globalassets/automation/quality-management/grades/converting/controlling-warp.pdf> (дата звернення: 10 травня 2023 р.).
8. Ван Хунг, Д., Накано, Й., Танака, Ф., Хаманака, Д., Учіно, Т. (2010). Збереження міцності гофрокартону за умов високої вологості за допомогою нанорозмірних туманів. *Compos. Sci. Technol.*, 70(17), 2123–2127. [CrossRef] і т.д. (оформлення решти джерел аналогічне).
9. Ternytskyi, S., Rehei, I., Kandiak, N., Radikhovskyi, I., Mlynko, O. (2021). Experimental research of paperboard cutting in die cutting press with the

- screw nut transmission of drive mechanism of a movable pressure plate. *Acta mechanica et automatica*. doi: 10.2478/ama-2021-0017.
10. Knysh, O., Rehei, I., Vlach, V., Mlynko, O., Ternytskyi, S. (2023). Analytical interpretation of experimental research of cardboard cutting in die-cutting press. *Academic journal of manufacturing engineering*, 21(1).
  11. Rehei, I.I., Vlach, V.V., Mykhayliv, Y.Y., Mlynko, O.I. (2023) Zastosuvannia dvosektsiinoi nat-ysknoi plyty u presi shtantsiuvalnoho avtomata: perspektyvy vidmovy vid monoblochnoi konstruktsii [The use of a two-section pressure plate in the die cutting press: possibilities for abandoning the mon-oblock design]. *Naukovi zapysky UAD –Scientific notes of UAD*, (2(67)), 239–248.
  12. Rzepa, S. (2004). Parametry papieru [Paper parameters]. In *Proceedings of the Sympozjum Mondi Packaging “From Fibre to Corrugated Board”* (pp. 1–2). Świecie, Poland: [Mondi Packaging].
  13. Bai, J., Wang, J., Pan, L., Lu, L., & Lu, G. (2019). Quasi-static axial crushing of single wall corrugated paperboard. *Composite Structures*, 226, 111237. [invalid URL removed]
  14. Fadiji, T., Coetzee, C. J., & Oparab, U. L. (2019). Analysis of the creep behaviour of ventilated corrugated paperboard packaging for handling fresh produce—An experimental study. *Food Packaging and Shelf Life*, 117, 126–137. [invalid URL removed]
  15. Gong, G., Liu, Y., Fan, B., & Sun, D. (2020). Deformation and compressive strength of corrugated cartons under different indentation shapes: Experimental and simulation study. *Packaging Technology and Science*, 33(1), 215–226. [invalid URL removed]
  16. Schaffrath, H. J., Reichenbach, F., & Schabel, S. (2018). Prediction of Box Failure from Paper Data for Asymmetric Corrugated Board. *TAPPI Journal*, 17(10), 429–434. [invalid URL removed]

17. Kmita-Fudalej, G., Szewczyk, W., & Kołakowski, Z. (2020). Calculation of honeycomb paperboard resistance to edge crush test. *Materials*, 13(7), 1706. <https://doi.org/10.3390/ma13071706>
18. Kołakowski, Z., Szewczyk, W., & Bieńkowska, M. (2020). Distribution of Bending Stiffness of Orthotropic Fibrous Material Based on an Example of Corrugated Board. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 23(3), 50–54. [invalid URL removed]
19. Garbowski, T., & Knitter-Piątkowska, A. (2022). Analytical Determination of the Bending Stiffness of a Five-Layer Corrugated Cardboard with Imperfections. *Materials*, 15(3), 663. [invalid URL removed] [PubMed]
20. Bloch, P. H., Brunel, F. F., & Arnold, T. J. (2003). Individual Differences in the Centrality of Visual Product Aesthetics: Concept and Measurement. *Journal of Consumer Research*, 29(5), 551–565. [invalid URL removed]
21. Zorenko, O. (2021). Influence of the Surface Characteristics of Corrugated Cardboard on the Quality of Inkjet Printing. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 6(103), 47–55. [invalid URL removed]
22. Koo, C. W., Park, J. Y., Kim, H. J., & Ha, Y. B. (2016). Study on the Printing Quality depending on the Surface Roughness of the Digital Printing Paper. *Journal of Korea TAPPI*, 48(1), 14–23. [invalid URL removed]
23. Seth, R. S., & Page, D. H. (1983). The stress–strain curve of paper. In *The Role of Fundamental Research in Papermaking—Transactions of the Seventh Fundamental Research Symposium* (pp. 421–428). Mechanical Engineering Publications, Ltd.: Cambridge, London, UK.
24. Aboura, Z., Talbi, N., Allaoui, S., & Benzeggagh, M. L. (2004). Elastic behaviour of corrugated cardboard: Experiments and modelling. *Composite Structures*, 63(1), 53–62. [https://doi.org/10.1016/S0263-8223\(03\)00131-4](https://doi.org/10.1016/S0263-8223(03)00131-4)
25. Buannic, N., Cartraud, P., & Quesnel, T. (2003). Homogenisation of corrugated core sandwich panels. *Composite Structures*, 59(3), 299–312.
26. Langberg, H. A., Arp, H. P. H., Castro, G., Asimakopoulos, A. G., & Knutsen, H. (2024). Recycling of paper, cardboard and its PFAS in Norway. *Journal of*

Hazardous Materials Letters, 5, 100096.  
<https://doi.org/10.1016/j.hazl.2023.100096>

27. Isaksson, P., & Hägglund, R. (2005). A mechanical model of damage and delamination in corrugated board during folding. *Engineering Fracture Mechanics*, 72(14-16), 2299–2315.
28. McKee, R., Gander, J., & Wachuta, J. (1963). Compression strength formula for corrugated boxes. *Paperboard Packaging*, 40(11), 149–159.
29. Fadijia, T., Coetzee, C. J., & Opara, U. L. (2019). Analysis of the creep behaviour of ventilated corrugated paperboard packaging for handling fresh produce—An experimental study. *Food Bioproducts Processing*, 117, 126–137.
30. Liu, L., Gu, Y., Yang, H., Wang, X., Zhou, Y., Dai, X., ... Li, M. (2024). Spontaneous ignition of corrugated cardboard under dynamic high radiant flux. *Defence Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2024.05.010>
31. Boacă, I. F., Cananau, S., Brăileanu, I., & Călin, A. (2023). A simplified FEM bending model for corrugated board. *Acta Technica Napocensis - Series: Applied Mathematics, Mechanics and Engineering*, 66(3), 117–122.
32. Hämäläinen, P., Hallbäck, N., Gård, A., & Lestelius, M. (2017). On the determination of transverse shear properties of paper using the short span compression test. *Mechanics of Materials*, 107, 22–30.
33. Bai, J., Wang, J., Pan, L., Lu, L., & Lu, G. (2019). Quasi-static axial crushing of single wall corrugated paperboard. *Composite Structures*, 226, 111237.
34. Fadijia, T., Coetzee, C. J., Pathareb, P., & Opara, U. L. (2016). Susceptibility to impact damage of apples inside ventilated corrugated paperboard packages: Effects of package design. *Postharvest Biology and Technology*, 111, 286–296.