

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
Інститут (факультет) МНІТІ ім. акад. Ч.С.Супого  
Кафедра мехатроніки та інкувальної техніки

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)

(підпис)

Сергій БЛАЖЕНКО

(ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Людмила  
КРИВОПЛЯС-ВОЛОДИНА

« 15 » 02 2024р.

« 15 » 02 2024р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 131 Прикладна механіка

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Прикладна механіка

на тему: Синтез мехатронного пристрою вакуумномеханічного захвата для  
обробки крихких харчових продуктів

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

Тимченко Максим Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник: Володін Сергій Олексійович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент

(ім'я та прізвище)

(підпис)

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

Здобувач Антон

(підпис)

Київ - 2024р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

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

Кафедра Мехатроніки та пакувальної техніки


Освітній ступінь магістр

Спеціальність 131 Прикладна механіка  
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Прикладна механіка  
(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри МПТ

 Людмила КРИВОПЛЯС-ВОЛОДИНА

« 23 » л 2023 року

**З А В Д А Н Н Я**

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Тимченко Максим Ігорович  
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Синтез мехатронного пристрою вакуумно-механічного  
захвата для обробки крихких харчових продуктів

керівник роботи Володін Сергій Олексійович, канд.техн.наук, асистент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від 20.11.2023 р. №940-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 05.02.2024

3. Вихідні дані до роботи 1. Вид досліджень – аналітичні та експериментальні.  
2. Вид обладнання – обладнання для здійснення процесів керування запірно-  
регулювальними системами. 3. Вид продукції – харчова продукція.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Інформаційний пошук та аналіз сучасного стану та розвитку робототехнічних комплексів та систем; кінематичні та динамічні дослідження пристроїв захоплення маніпулятора пакувальної машини; експериментальні дослідження та моделювання з використанням сучасних пакетів програмного забезпечення; питання охорони праці при проведенні експериментальних досліджень

5. Перелік графічного матеріалу

Презентація на 20 стор.

### 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 20.11.2023 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Огляд робототехнічних комплексів та систем	21.11.23	виконано
2	Розділ 2. Аналіз структури, кінематики і компоновки	22.11.23	виконано
3	Розділ 3. Кінематичні та динамічні дослідження	24.12.23	виконано
4	Розділ 4. Експериментальні дослідження	10.01.24	виконано
5	Розділ 5. Охорона праці	15.01.24	виконано
6	Висновки, список літературних джерел	17.01.24	виконано
7	Оформлення текстової частини роботи	20.01.24	виконано
8	Оформлення графічної частини роботи	10.02.24	виконано

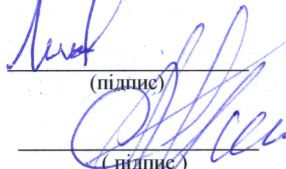
Здобувач освіти

  
(підпис)

Максим ТИМЧЕНКО

(ім'я та прізвище)

Керівник роботи

  
(підпис)

Сергій ВОЛОДІН

(ім'я та прізвище)

« 05 »



20 23 р.

## Анотація

Кваліфікаційна робота ОС Магістра на тему "Синтез мехатронного пристрою вакуумно-механічного захвата для обробки крихких харчових продуктів" присвячена підвищенню ефективності проектування та експлуатації мехатронних систем для роботи з крихкими харчовими продуктами. Робота описує розробку нового вакуумно-механічного захвата, який використовує комбінацію вакуумного та механічного затискачів для бережного та безпечного переміщення крихких продуктів. Зниження ризику пошкодження продуктів: Завдяки вакуумному затискачу, продукт не піддається надмірному механічному впливу.

Підвищення продуктивності: Механічний затискач забезпечує швидке та надійне захоплення продуктів. Універсальність досліджень полягає у тому, що захват може використовуватися для роботи з різними видами продуктів. Переміщення крихких харчових продуктів потребує бережного захвату, щоб уникнути пошкоджень, а традиційні методи не відповідають цій вимозі, що веде до значних втрат продукції.

Метою роботи є розробка мехатронного вакуумно-механічного захвата, який забезпечить бережне та безпечне переміщення крихких харчових продуктів.

Для розробки мехатронного вакуумно-механічного захвата, який бережно та безпечно переміщує крихкі продукти, досліджувались існуючі методи, синтезовано нову модель, проведено моделювання та дослідження динаміки, розроблено алгоритм керування та виготовлено прототип для експериментальних досліджень.

Розроблений мехатронний вакуумно-механічний захват значно підвищить ефективність та безпечність роботи з крихкими продуктами в автоматизованих лініях.

**Ключові слова:** мехатронний захват, вакуумний затискач, механічний затискач, крихкі продукти, харчова промисловість.

## Summary

Master's degree thesis on "Synthesis of a mechatronic device for vacuum-mechanical gripper for handling fragile food products" is dedicated to improving the efficiency of designing and operating mechatronic systems for handling fragile food products. The paper describes the development of a new vacuum-mechanical gripper that uses a combination of vacuum and mechanical clamps to gently and safely handle fragile foods. Reducing the risk of product damage: Thanks to the vacuum clamp, the product is not subjected to excessive mechanical stress.

Increased productivity: The mechanical clamp ensures fast and secure gripping of products. The versatility of the research means that the gripper can be used to handle a variety of different types of food. The handling of fragile food products requires gentle gripping to avoid damage, and traditional methods do not meet this requirement, leading to significant product losses.

The aim of the work is to develop a mechatronic vacuum-mechanical gripper that will ensure gentle and safe handling of fragile food products.

In order to develop a mechatronic vacuum-mechanical gripper that gently and safely moves fragile food, existing methods were studied, a new model was synthesised, modelling and dynamics studies were carried out, a control algorithm was developed and a prototype was manufactured for experimental studies.

The developed mechatronic vacuum-mechanical gripper will significantly increase the efficiency and safety of handling fragile products in automated lines.

**Keywords:** mechatronic gripper, vacuum clamp, mechanical clamp, fragile products, food industry.

## ЗМІСТ

Анотація .....	2
ВСТУП.....	5
АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ.....	7
1.1. Основні етапи та передумови проектування .....	8
1.2. Огляд компонок маніпуляторів .....	10
1.3. Огляд властивостей захватних елементів для маніпуляторів .....	14
1.4. Основні експлуатаційні показники захоплювальних пристроїв .....	17
1.5. Складові частини захоплювальних пристроїв та їх призначення.....	17
1.6. Огляд приводів захватів .....	20
1.7. Механізми захвата для передач руху .....	21
1.8. Аналіз вакуумних систем захвата.....	24
РОЗДІЛ 2 .....	26
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ СИНТЕЗУ І РЕГУЛЮВАННЯ ЗАХВАТНИХ ПРИСТРОЇВ, ТЕОРЕТИЧНІ РОЗРАХУНКИ. ....	26
2.1. Дослідження методів синтезу захватів на базі 3Д друку .....	26
2.2. Авторські розробки захватних накладок на основі 3Д друку .....	28
РОЗДІЛ 3 .....	39
ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ЗАХВАТНИХ ПРИСТРОЇВ .....	39
3.1. Загальний опис конструкцій захватних пневмомеханічних систем: .....	39
3.2. Експериментальна установка.....	41
3.3. Аналіз вакуумної системи захватів .....	43
РОЗДІЛ. 4 .....	56
ОХОРОНА ПРАЦІ .....	56
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	64

## ВСТУП

Переміщення крихких харчових продуктів, таких як фрукти, овочі, кондитерські вироби, потребує особливої уважності, щоб уникнути їх пошкодження. Традиційні методи захвату, як правило, не відповідають цій вимозі, що призводить до значних втрат продукції.

**Метою дослідження** є розробка мехатронного вакуумно-механічного захвата, який забезпечить бережне та безпечно переміщення крихких харчових продуктів.

Для досягнення поставленої мети досліджено існуючі методи захвату крихких продуктів, синтезовано нову модель вакуумно-механічного захвата, проведено моделювання та дослідження динаміки захвата, розроблено алгоритм керування вакуумним та механічним затискачами, виготовлено прототип захвата та проведено його експериментальні дослідження.

Розроблений мехатронний вакуумно-механічний захват поєднує вакуумний затискач для бережного утримання продукту та механічний затискач для його швидкого та надійного захоплення. Розроблений мехатронний вакуумно-механічний захват бережно та безпечно переміщує крихкі продукти, роблячи роботу продуктивною, універсальною та легкою. Проведено дослідження динаміки захвата, яке підтвердило його працездатність. Розроблено алгоритм керування вакуумним та механічним затискачами. Виготовлено прототип захвата та проведено його експериментальні дослідження, які підтвердили його високу ефективність. Розроблений мехатронний вакуумно-механічний захват бережно та безпечно переміщує крихкі продукти, роблячи роботу продуктивною, універсальною та легкою. Розроблений мехатронний вакуумно-механічний захват може значно підвищити ефективність та безпечність переміщення крихких харчових продуктів в автоматизованих лініях для пакування, транспортування та сортування.

Наукова новизна дослідження полягає в розробці мехатронного вакуумно-механічного захвата, який забезпечує бережне та безпечне переміщення крихких харчових продуктів, що дозволить зменшити втрати сировини.

**Особистий внесок магістранта.** Магістрантом проведено аналіз існуючих методів захвату крихких продуктів, здійснено вивчення та порівняння різних типів захватів, визначено недоліки існуючих методів та сформульовано вимоги до нового захвата. Розроблено концепцію нового мехатронного вакуумно-механічного захвата, здійснено проектування вакуумного та механічного затискачів, а також розроблено алгоритм керування затискачами. Створено математичну модель захвата, здійснено моделювання роботи захвата в різних режимах та оптимізовано параметри захвата. Розроблено алгоритм для вакуумного затискача, який забезпечує бережне утримання продукту, а також алгоритм для механічного затискача, який забезпечує швидке та надійне захоплення продукту.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Харчова промисловість є однією з найважливіших галузей економіки, яка постійно потребує вдосконалення та оптимізації виробничих процесів. Одним з актуальних завдань є бережне та безпечне переміщення крихких харчових продуктів, таких як фрукти, овочі, кондитерські вироби, на різних етапах виробництва: пакування, транспортування, сортування. Традиційні методи захвату, такі як механічні затискачі або вакуумні присоски, не завжди відповідають вимогам бережного поводження з крихкими продуктами.

В ході дослідження було проаналізовано широкий спектр літературних джерел, присвячених існуючим методам захвату крихких продуктів. Досліджено такі типи захватів:

- Механічні затискачі: Цей метод є простим та доступним, але може призвести до деформації та пошкодження крихких продуктів.
- Вакуумні присоски: Цей метод забезпечує бережне захоплення, але може бути ненадійним для продуктів з нерівною поверхнею або пористою структурою.
- Пневматичні захвати.
- Комбіновані методи: Деякі дослідники пропонують використовувати комбіновані методи, які поєднують механічні та вакуумні принципи.

Існуючі методи захвату крихких продуктів, такі як механічні затискачі, вакуумні присоски та комбіновані методи, не відповідають вимогам бережного та надійного переміщення. Механічні затискачі ризикують деформувати або пошкодити продукти, вакуумні присоски не завжди надійні для нерівних поверхонь, а комбіновані методи часто мають складну конструкцію та високу вартість виготовлення.4. Мета дослідження

Дослідження спрямоване на розробку нового мехатронного вакуумно-механічного захвата, який забезпечить бережне та безпечне переміщення крихких продуктів, відзначаючись високою надійністю, простотою конструкції та доступністю виготовлення..

### **1.1. Основні етапи та передумови проектування**

Основні етапи та передумови проектування маніпуляторів для пакувальних машин і харчового виробництва.

Передумови проектування маніпуляторів, відповідно до джереллітературного огляду [1-3,4-7], можна сформулювати наступним чином:

- Функціональні вимоги: Визначення завдань, які маніпулятор буде виконувати (наприклад, завантаження, розвантаження, переміщення продуктів).
- Продуктивність: Визначення необхідної швидкості, точності та надійності роботи маніпулятора.
- Вантажопідйомність: Визначення максимально допустимої ваги, яку може піднімати маніпулятор.
- Робочий простір: Визначення розмірів та конфігурації зони, в якій буде працювати маніпулятор.
- Гігієнічні вимоги: Для харчового виробництва маніпулятор повинен бути виготовлений з матеріалів, які легко чистити та дезінфікувати.  
Якщо говорити про етапи проектування, то вони подібні до будь-якого промислового обладнання, а саме:
- Розробка концепції: Вибір типу маніпулятора (роботизована рука, дельта-робот, антропоморфний робот) та визначення його основних параметрів (кількість ступенів свободи, розміри, тип приводу).
- Кінематичний та динамічний аналіз: Розрахунок траєкторій руху маніпулятора, сил та моментів, що діють на його ланки.

- Проектування механічної конструкції: Вибір матеріалів, розрахунок деталей та вузлів маніпулятора.
- Проектування системи керування: Розробка алгоритмів керування рухами маніпулятора, вибір контролера та датчиків.
- Програмування: Написання програмного забезпечення для роботи маніпулятора.
- Моделювання та симуляція: Комп'ютерне моделювання роботи маніпулятора для візуалізації його рухів та оцінки його характеристик.
- Виготовлення та тестування: Виготовлення маніпулятора, його налагодження та тестування.

Особливостями проектування маніпуляторів для пакувальних машин і харчового виробництва в літературних джерелах [6-9,11-16,17,21,26] відокремлюють наступне:

- Висока точність: Маніпулятори повинні точно позиціонувати продукти, щоб забезпечити їх правильне пакування.
- Швидкість: Маніпулятори повинні працювати швидко, щоб забезпечити високу продуктивність пакувальної лінії.
- Надійність: Маніпулятори повинні бути надійними, щоб мінімізувати час простою.
- Гігієнічність: Маніпулятори повинні бути виготовлені з матеріалів, які легко чистити та дезінфікувати.
- Безпека: Маніпулятори повинні відповідати всім вимогам безпеки.
- Використання маніпуляторів у пакувальних машинах і харчовому виробництві:
- Підвищення продуктивності: Маніпулятори можуть значно підвищити зниження витрат, поліпшення якості продукції та зниження ризику травм роблять використання маніпуляторів вигідним для харчового виробництва.

## 1.2. Огляд компонок маніпуляторів

KMR iiwa – це революційна система, що поєднує в собі чутливий робот LBR iiwa з гнучкою мобільною платформою. Цей тандем відкриває нові можливості для автоматизації виробництва, роблячи його більш гнучким, безпечним та економним.

LBR iiwa – перший серійний робот, який безпечно співпрацює з людьми. Він здатен виконувати делікатні завдання з високою точністю, що робить його незамінним у багатьох галузях промисловості.

Мобільна платформа робить KMR iiwa максимально гнучким. Робот може вільно переміщатися по робочому простору, виконуючи різні завдання без зупинки виробничого процесу.

KMR iiwa – це мобільний робот-маніпулятор, що поєднує в собі чутливий робот LBR iiwa з гнучкою платформою. LBR iiwa – перший серійний робот, який безпечно співпрацює з людьми, започатковуючи нову еру в промисловій робототехніці (рис.1.1.)



Рис.1.1. KMR iiwa – мобільний робот-маніпулятор

Ця система дає можливість людині та роботу спільно вирішувати делікатні завдання, відкриваючи нові сфери застосування та роблячи експлуатацію

більш економічною та ефективною. KMR iiwa доступний у двох варіантах з вантажопідйомністю 7 кг та 14 кг.

Характеристики LBR iiwa 7 R800:

Вантажопідйомність: 7 кг

Досяжність: 800 мм

Кількість осей: 7

Точність позиціонування:  $\pm 0,1$  мм

Контролер: KUKA Sunrise Cabinet

KMR iiwa – це інноваційне рішення для автоматизації виробництва, яке робить його більш гнучким, безпечним та економічним завдяки здатності виконувати широкий спектр завдань, включаючи завантаження/розвантаження верстатів, пакування/переміщення продуктів, контроль якості та співпрацю з людьми.

### **IRB 5500-25**

IRB 5500-25 від ABB – це високопродуктивний робот-маніпулятор, що володіє вантажопідйомністю 25 кг та радіусом дії 2,55 м. Він ідеально підходить для широкого спектру завдань, таких як:

**Зварювання:** Завдяки своїй точності та надійності IRB 5500-25 гарантує високу якість зварних швів.

**Палетування:** Робот може швидко та ефективно укладати та розпаковувати палети, економлячи ваш час та ресурси.

**Обслуговування верстатів:** IRB 5500-25 може завантажувати та розвантажувати верстати, а також контролювати їх роботу.

**Фарбування:** Завдяки своїй гнучкості робот може фарбувати вироби будь-якої форми та розміру.

**Переваги IRB 5500-25:**

**Висока продуктивність:** Робот може працювати з максимальною швидкістю, що робить його ідеальним для автоматизації виробничих процесів.

**Точність:** IRB 5500-25 гарантує високу точність позиціонування, що важливо для багатьох завдань.

Надійність: Робот виготовлений з високоякісних матеріалів і компонентів, що забезпечує його довговічність.

Гнучкість: IRB 5500-25 може бути запрограмований для виконання різних завдань, що робить його універсальним інструментом для автоматизації.

IRB 5500-25 – це інвестиція, яка окупиться протягом короткого часу.

Додаткові характеристики:

Кількість осей: 6

Повторюваність:  $\pm 0,03$  мм

Максимальна швидкість: 2,1 м/с

Контролер: IRC5



Рис.1.2. IRB 5500-25 від ABB

Система дає можливість використовувати до 4 роботів на одній рейці, що робить її ідеальною для автоматизації складних виробничих процесів.

Elevated Rail сумісна з роботом FlexPainter, який є одним з найуніверсальніших роботів на ринку.

Система має загальну висоту 1123 мм та пропонує численні монтажні положення маніпулятора на одній конструкції візка (нахилений, вертикальний, перевернутий), що робить її максимально гнучкою для використання з різними програмами.

### **JACO Prosthetic KINOVA**



Рис.1.3. Первісна система роботизованої руки

KINOVA JACOTM Prosthetic – це не просто роботизована рука, це інноваційний інструмент, який здатен дарувати людям з обмеженими можливостями нове життя. Завдяки своїй універсальності та широкому спектру функцій, JACOTM Prosthetic може стати незамінним помічником у повсякденному житті.

Шість осей руху, що відповідають плечу, ліктю та зап'ястю, роблять руку неймовірно гнучкою. Вона може виконувати 16 рухів, повністю імітуючи плавність та універсальність людської руки.

JACOTM Prosthetic доступна в декількох конфігураціях: з 4, 6 осями, а також у сферичних варіантах з 6 та 7 осями. Це дозволяє підібрати руку, яка максимально відповідає вашим потребам. Легка та міцна конструкція з вуглецевого волокна робить руку зручною у використанні. Її вага становить лише 5,0-5,2 кг, а радіус дії сягає 900 мм.

JACOTM Prosthetic може піднімати предмети вагою до 1,6-1,8 кг, що робить її здатною виконувати широкий спектр завдань. Енергоспоживання руки становить лише 25W, що робить її економічною та екологічною. KINOVA JACOTM Prosthetic може бути встановлена на будь-якому інвалідному візку та управлятися за допомогою джойстика, голосу, Мобільний маніпулятор KINOVA серії MOVO.

### **1.3. Огляд властивостей захватних елементів для маніпуляторів**

Захоплення – це ключовий фактор роботи будь-якого маніпулятора. Різноманіття завдань, які виконують роботизовані руки, вимагає відповідного розмаїття захватних пристроїв.

Основні характеристики захватних елементів:

- Тип: існують механічні, пневматичні, вакуумні, магнітні та інші типи захватів. Кожен з них має свої переваги та недоліки, які роблять його більш або менш придатним для конкретних завдань.
- Вантажопідйомність: максимальна вага, яку може утримувати захват.

- Розмір: розмір захвата визначає його зданість маніпулювати предметами різних розмірів.
- Форма: форма захвата може бути спеціальною для захоплення певних предметів, або універсальною для роботи з різними об'єктами.
- Матеріал: матеріал захвата визначає його зносостійкість, стійкість до хімічних речовин, температур та інших факторів.
- Кількість пальців: кількість пальців захвата впливає на його гнучкість та здатність захоплювати предмети складної форми.
- Датчики: захвати можуть бути оснащені датчиками тиску, сили, температури, що дає можливість роботу отримувати додаткову інформацію про об'єкт, який він тримає.

При виборі хватного елемента важливо враховувати такі фактори:

- Тип завдання: які завдання буде виконувати робот?
- Характеристики предметів: з якими предметами буде працювати робот?
- Умови роботи: в яких умовах буде працювати робот?
- Вартість: скільки ви готові витратити на хватний елемент?

Деякі з найпоширеніших хватних елементів:

- Палець: простий і універсальний хват, який може використовуватися для захоплення предметів різної форми.
- Ваккуумний хват: використовується для захоплення гладких і пористих предметів.
- Магнітний хват: використовується для захоплення феромагнітних предметів.
- Кліщовий хват: використовується для захоплення предметів з великою силою тертя.
- Гнучкий хват: використовується для захоплення предметів складної форми.

Захоплення – це динамічно розвивається область робототехніки. Постійно з'являються нові типи хватних елементів, які розширюють можливості роботів. Важливо правильно підібрати хватний елемент для конкретного завдання, щоб робот міг виконувати його максимально ефективно.

Основні класифікаційні ознаки винесено на рис.1.4.

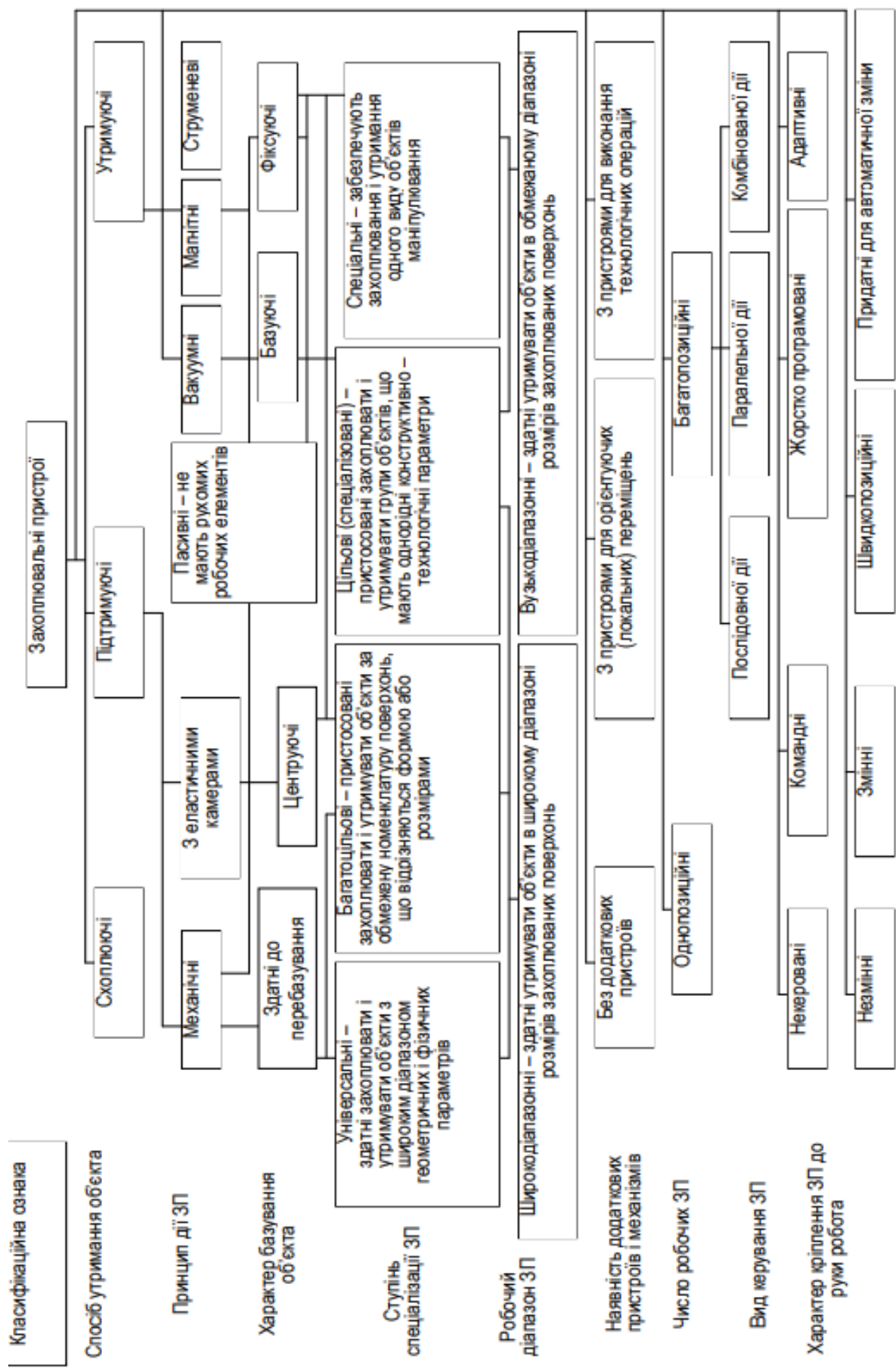


Рис.1.4. Класифікаційні ознаки захватів

#### **1.4. Основні експлуатаційні показники захоплювальних пристроїв**

Основними експлуатаційними показниками захоплювальних пристроїв є зусилля захоплювання, час захоплювання, час відпускання, характерні розміри об'єкта, який захоплюється (мінімальний, максимальний). Технічні характеристики захоплювальних пристроїв поділяються на чотири групи. У першій групі об'єднують показники, які є загальними для всіх типів захоплювальних пристроїв, у другій – показники захоплювачів, у третій – вакуумні захоплювальні пристрої, четвертій – магнітні захоплювальні пристрої, п'ятій – струменеві захоплювальні пристрої.

Номенклатуру технічних характеристик складають показники: 1. Номінальна вантажопідйомність, кг. 2. Зусилля захоплювання, Н. 3. Граничні значення прикладених сил і моментів, Н або Нм (вказуються граничні значення прикладених сил і моментів за трьома осями прямокутної системи координат захоплювального пристрою). 4. Час захоплювання, с. 5. Час відпускання, с. 6. Середнє напруження на відмову, год. 7. Маса, кг. 8. Габаритні розміри, м. 9. Експлуатаційні показники захоплювачів. 9.1 Кінематична схема. 9.2 Зусилля на вихідній ланці привода, Н. 9.3 Максимальне переміщення вихідної ланки привода, мм. 9.4 Тиск робочого тіла привода, МПа. 9.5 Напряга живлення, В. 10. Експлуатаційні показники вакуумних захоплювальних пристроїв. 10.1 Розміри контактної площі присмоктувача, м. 10.2 Номінальний тиск у порожнині присоски, Мпа. 11. Експлуатаційні показники магнітних захоплювальних пристроїв. 11.1 Кількість ампер-витків. 11.2 Розміри площі контакту, м<sup>2</sup>. 11.3 Напряга живлення, В. 12. Експлуатаційні показники струменевих захоплювальних пристроїв. 12.1 Кількість сопел на торці захоплювача. 12.2 Розміри сопла присмоктувача, мм. 12.3 Напряга живлення, МПа.

#### **1.5. Складові частини захоплювальних пристроїв та їх призначення**

Поділяти на складові ЗП, що мають певну конструктивну та функціональну самостійність, зручно при впорядкуванні даних про безліч

варіантів схем і конструкцій захоплювачів, а також при їхньому проектуванні. Докладний аналіз схем і конструкцій захоплювачів свідчить, що їх велика різноманітність отримується при поєднанні не дуже великої кількості варіантів складових. Захоплювачі поділяють на наступні складові: з'єднувальні елементи, двигуни (або джерела утворення переміщень та зусиль), механізми передавання зусиль і перетворення рухів, кінцеві ланки механізмів, робочі елементи, накладки або вставки. У конкретних випадках деякі з перерахованих складників можуть або бути відсутні, або об'єднуватися з суміжними складовими.[20,21] Відомості про функціональне призначення основних складових наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.

## Основні складові ЗП

Складові захоплювача	Функціональне призначення складових частин
1. З'єднувальні елементи	Збільшення виносу захоплювача, його вертикальне або бокове зміщення, зміна орієнтації захоплювача, забезпечення можливості встановлення двох і більше захоплювачів або захоплювача другого ПР
2. Двигуни	Переміщення робочих елементів захоплювання, створення зусиль захоплювання
3. Механізми передавання	Перетворення видів руху, зміна його напрямку, передавання руху до кількох ланок, отримання потрібного передавального числа для розкриття захоплювача.
4. Кінцеві ланки механізмів	Задавання потрібного положення і кінематики переміщень робочих елементів, пристосування до габаритів об'єктів захоплювання
5. Робочі елементи	Забезпечення базування і жорсткого фіксування предметів за заданими координатами; забезпечення контакту за заданими точками, лініями або поверхнями
6. Накладки (вставки)	Підвищення несучої здатності за рахунок збільшення коефіцієнта тертя, зменшення контактних напружень за рахунок збільшення зон контакту, адаптації до змін форми поверхонь об'єкта

З'єднувальні елементи вставляють між з'єднувальним вузлом руки маніпулятора й основою захоплювача. Використання з'єднувальних елементів дозволяє змінювати відносне положення та конфігурацію робочої зони маніпулятора найпростішими способами. Наявність наборів з'єднувальних елементів дозволяє оперативно налагоджувати ПР на робочому місці,

позбавляючись необхідності проектування та виготовлення таких елементів для конкретного робочого місця. З'єднувальні елементи можуть бути нерегульованими і регульованими (перезакріплюючими). Нерегульовані з'єднувальні елементи мають незмінну конфігурацію, при їхньому використанні положення основи захоплювача відносно руки маніпулятора ПР цілком визначене. Параметрами нерегульованих з'єднувальних елементів є відстані між площинами з'єднань, міжосьові відстані та кути між осями. Регульовані з'єднувальні елементи складаються з двох або кількох частин, які можна з'єднувати і закріплювати в різноманітних положеннях заданого діапазону. При цьому можна задавати або лінійні переміщення, або обертання (по одній або двох осях), або спільно те й інше. Приклади регульованих з'єднувальних елементів зображено на рис.1.5.

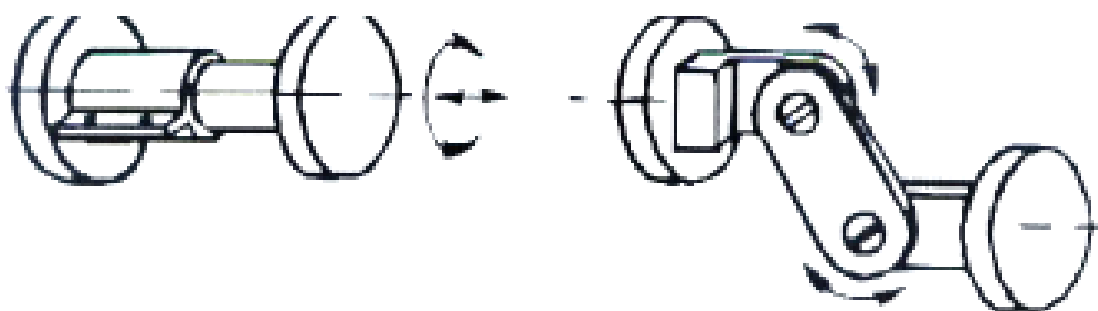


Рис.1.5. Елементи з'єднання

З'єднувальні елементи, що використовуються для налагодження кількох захоплювачів, дозволяють реалізувати багатооб'єктний захоплювач, призначений для одночасного захоплення кількох об'єктів, або дають можливість послідовного використання то одного, то іншого захоплювача (зокрема, за наявності орієнтуючого ступеня рухомості маніпулятора внаслідок повороту з'єднувального елемента один захоплювач може займати місце другого).

Число типів двигунів, які використовують в захоплювачах ПР, невелике. Класифікація двигунів за типом енергоносія і за видом руху вихідної ланки й їхній аналіз подано в [26, 12].

Основне функціональне призначення механізмів передавання захоплювачів

полягає в передаванні руху та зусилля з вихідної ланки двигуна на робочі елементи. Огляд найбільш розповсюджених схем механізмів захоплювачів із виявленням їх особливостей, встановленням областей застосування, аналізом переваг і недоліків наведено раніше.

Кінцеві ланки механізму передавання, на яких кріплять робочі елементи, часто виконують змінними. Від їхнього вибору залежать передавальне число механізму захоплювача в цілому та діапазон розкриття захоплювача.

Більшість захоплювачів оснащуються змінними робочими елементами.

Для можливості захоплювання й утримання об'єктів різноманітної форми та для запасу несучої спроможності важливою є форма поверхонь робочих елементів.

Остання складова захоплювача – накладки, які кріплять до робочих елементів. Роль накладок у взаємодії робочих елементів із об'єктом і в забезпеченні високого рівня експлуатаційних характеристик виключно велика.

Відзначимо, що вибором матеріалу з підвищеним коефіцієнтом тертя для накладок може бути істотно підвищена несуча спроможність захоплювача без всяких змін інших частин. Накладками з теплоізолюючих матеріалів може бути знижене нагрівання механізму при роботі з гарячими заготовками. Нарешті, вплив неминучого спрацювання в зонах контакту на похибки позиціонування може бути значно зменшений, якщо накладки виконують окремо та змінними.

## **1.6. Огляд приводів захватів**

Двигуни ЗП за функціональними можливостями утворення переміщень робочих елементів захоплювачів їх зручно поділити на три групи: з необмеженим переміщенням вихідної ланки (електродвигуни), з обмеженим переміщенням вихідної ланки (пневмоциліндри і неповноповоротні пневмодвигуни), з малим переміщенням вихідної ланки (мембранні двигуни). Двигуни з необмеженим переміщенням вихідної ланки доцільно застосовувати в захоплювачах, призначених для захоплювання

великогабаритних об'єктів, у яких відстань між поверхнями захоплювання може змінюватися в широких межах.

Двигуни з обмеженим переміщенням використовують у більшості захоплювачів. Двигуни з малими переміщеннями переважно є простими і надійними, але знаходять застосування здебільшого тільки у вузькодіапазонних захоплювачах, призначених для захоплювання об'єктів одних й тих ж розмірів.

Найбільшого розповсюдження в захоплювачах отримали лінійні пневмодвигуни-пневмоциліндри, їх застосовують більш ніж у 90% ПР. Їм властива простота конструкції і добра відпрацьованість. Швидкодія, що визначається переміщенням поршня з одного крайнього положення в інше, виявляється переважно достатньою (0.1-0.3 с).

Гідродвигуни, які широко використовують у різноманітних затискних пристроях верстатів, через можливість при малих габаритах отримувати дуже великі зусилля захоплювання іноді використовують і в захоплювачах ПР, причому у тих випадках, коли інші приводи ПР також гідравлічні й наявна насосна станція. Недоліки: високі вимоги до точності виготовлення елементів.

### **1.7. Механізми захвата для передачі руху**

Механізми передавання характеризуються типом перетворення руху, передавальним числом, залежністю зусилля захоплювання від розкриття захоплювача. Найпростішою є схема (рис. 1.6 а) з прямим передаванням, в якій єдиний рухомий робочий елемент жорстко зв'язаний зі штоком пневмоциліндра і тому переміщується вздовж його осі. Введення об'єкта в зону між робочими елементами здійснюється вертикальним рухом вздовж осі Z. Захоплювачі, які виконують за такими схемами, можуть мати малі габаритні розміри, особливо вздовж осі Z. Одним із недоліків цієї схеми є навантаження штока поперечною силою.

У схемі, наведеній на рис. 1.6 б, з простим шарнірно-важільним механізмом здійснюється перетворення лінійного горизонтального руху штока в обертовий рух верхнього робочого елемента. Введення об'єкта в зону між

робочими елементами здійснюється горизонтальним рухом по осі X. Така схема потребує більших габаритних розмірів захоплювача.

Схема (рис. 1.6 в) має дві характерні особливості: циліндр умонтований у механізм і є коливальним. Розташування циліндра всередині механізму дозволяє скоротити його розмір вздовж поздовжньої осі X (при заданій довжині важеля, що обертається). Застосування коливального циліндра спрощує схему, але обмежує можливість зміни параметрів при конструюванні й призводить до зниження надійності (зокрема, внаслідок використання гнучких трубопроводів).

На рис. 2.7 г і д зображені найбільш розповсюджені схеми кліщових захоплювачів, у яких вихідні ланки обертаються симетрично відносно осі X навколо непорушних осей у протилежні боки. Ці схеми виконані так, щоб стискування захоплювача здійснювалося при подаванні тиску в ліву порожнину пневмоциліндра, в якій відсутній шток.

У схемі, наведеній на рис. 2.7 е, вихідні ланки здійснюють поступальний рух без обертання, тому площини робочих елементів, встановлених початково паралельно одна одній, залишаються паралельними і захоплювач виявляється пристосованим для захоплювання об'єктів за паралельні площини. Паралельність забезпечується паралелограмними механізмами, що входять до схеми. У схемі точки вихідних ланок і робочих елементів переміщуються по колу; зміщення робочих елементів уздовж осі X іноді вважається істотним недоліком.

Досить розповсюдженою є схема (рис. 1.6 ж) з двома повзунами, які переміщуються вздовж однієї або двох паралельних направляючих. При простоті схеми виготовлення пар ковзання можуть виникнути певні труднощі, особливо при жорстких обмеженнях на габаритні розміри вздовж осі Z.

У схемі, що на рис. 1.6 з використовується кулачковий (клиновий) механізм, вибором профілю кулачка можна змінювати як вид залежності зусилля

захоплювання від розкриття захоплювача, так і напрямку переміщення робочих елементів при одному і тому ж напрямку переміщення штока.

У механізмах передавання використовують також зубчасті передачі.

Відзначимо, що швидкодія захоплювачів із гвинтовими та черв'ячними передачами виявляється низькою, що обмежує їх застосування.

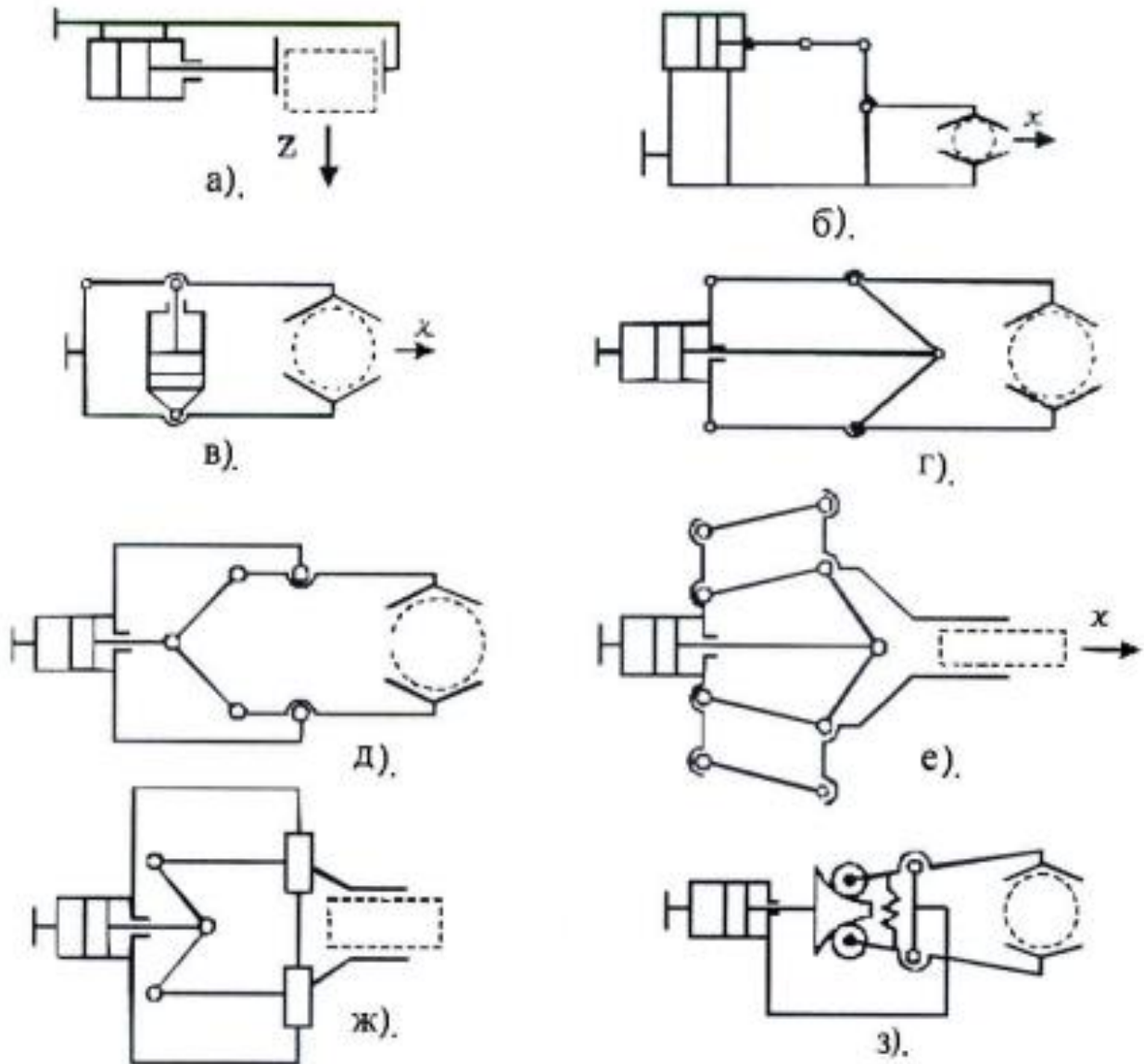
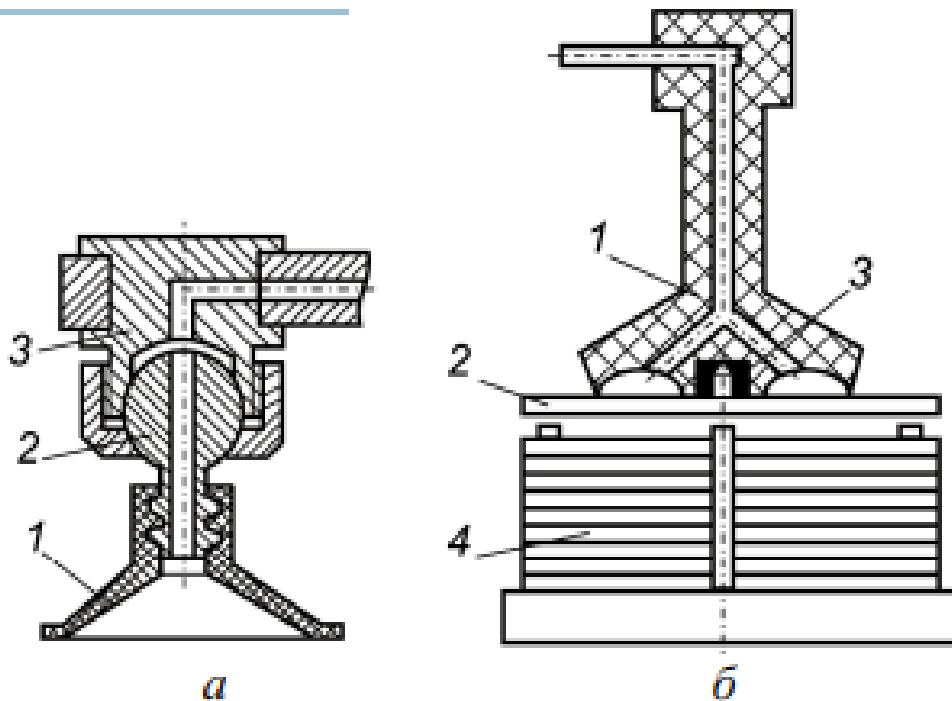


Рис.1.6. Механізм захвата

### 1.8. Аналіз вакуумних систем захвата

До вакуумних ЗП належать такі пристрої, які утримують деталь завдяки силі притягання, що виникає внаслідок різниці атмосферного й залишкового тисків у порожнині, утвореної присмоктувачем і поверхнею об'єкта (заготовки, деталі, виробу). Затискування об'єктів маніпулювання в вакуумних ЗП здійснюється силою атмосферного тиску. Створення вакууму забезпечується за допомогою вакуум-насосу або з допомогою ежекторів. Другий спосіб внаслідок своєї простоти більш розповсюджений у робототехніці. За допомогою вакуумних ЗП можливе захоплення як плоских, так і сферичних об'єктів.



Рим.1.7. Вакуумні ЗП

Залежно від способу утворення вакууму у внутрішній порожнині присосу розрізняють ежекторні, насосні та безнасосні вакуумні ЗП. В останньому випадку вакуум створюється тільки через деформацію присмоктувача при його контакті з базовою поверхнею виробу. Для більшої надійності роботи такі ЗП додатково оснащують зворотним клапаном, який спрацьовує у напрямку витікання повітря з присмоктувача.

Вакуумний захоплювальний пристрій, зображений на рис. 1.7а, має

еластичний присмоктувач 1, закріплену на кульковій опорі 2, що дозволяє задавати завдяки їй будь-які кутові положення відносно корпусу 3, закріпленого на руці маніпулятора. Для закріплення об'єктів великих габаритних розмірів і ваги ЗП обладнують кількома присмоктувачами.

Виконання присмоктувачів повністю з еластичного матеріалу (гуми або полімерів) не дозволяє здійснювати точне позиціонування через їхню пружну деформацію під дією ваги захопленого об'єкта.

Загальний недолік вакуумних ЗП – низька надійність закріплення забруднених мастилом об'єктів, що, як правило, має місце при механічній обробці. При переміщенні таких об'єктів доводиться обмежувати швидкість маніпулювання через їх інерційне зміщення (зсув) відносно присосу, що негативно відображається на продуктивності й точності виконання технологічних операцій.

На рис.1.7 б зображено вакуумний захоплювач 1 для плоских деталей 2, обладнаний індуктором 3, що забезпечує надійне відділення плоскої деталі відстопи 4 навіть у випадку їх злипання через наявність масла. Коли захоплювач із притягнутими деталями піднімається над стопою, на індуктор подається імпульс струму тривалістю, необхідною для проникнення магнітного поля на товщину однієї деталі, під дією якого проходить відділення злиплених деталей від стопи.

## РОЗДІЛ 2

### ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ СИНТЕЗУ І РЕГУЛЮВАННЯ ЗАХВАТНИХ ПРИСТРОЇВ, ТЕОРЕТИЧНІ РОЗРАХУНКИ.

#### 2.1. Дослідження методів синтезу захватів на базі 3D друку

Захоплення предметів – це ключова задача для робототехніки. Різноманіття завдань, які виконують роботизовані руки, вимагає відповідного розмаїття захватних пристроїв. 3D-друк відкриває нові можливості для створення захватів з заданими характеристиками.

##### Методи синтезу захватів:

Існує два основних методи синтезу захватів на базі 3D друку:

- **Прямий друк:** захват друкується цілком з одного або декількох матеріалів.
- **Друковані елементи:** захват збирається з друкованих деталей, які потім з'єднуються між собою.

##### Переваги та недоліки 3D друку захватів:

###### Переваги:

- **Швидкість:** 3D-друк дозволяє швидко виготовляти прототипи та досліджувати різні варіанти захватів.
- **Гнучкість:** 3D-друк дозволяє створювати захвати складної форми, які неможливо виготовити традиційними методами.
- **Матеріали:** 3D-друк дозволяє використовувати широкий спектр матеріалів, що дає можливість створювати захвати з заданими характеристиками.
- **Вартість:** 3D-друк може бути економічно вигідним способом виготовлення захватів, особливо при малих серіях.

###### Недоліки:

- **Міцність:** 3D-друковані захвати можуть бути не такими міцними, як захвати, виготовлені традиційними методами.

- **Точність:** 3D-друк може бути не таким точним, як традиційні методи виготовлення, що може призвести до проблем з припасуванням захвата до руки робота.

- **Матеріали:** Не всі матеріали, які використовуються для 3D друку, підходять для виготовлення захватів.

#### **Аналіз марок 3D принтерів:**

- **Stratasys:** пропонує широкий спектр 3D принтерів для друку захватів з різних матеріалів.

- **Objet:** пропонує 3D принтери з високою точністю друку, що важливо для виготовлення захватів складної форми.

- **Markforged:** пропонує 3D принтери для друку захватів з міцних композитних матеріалів.

#### **Аналіз марок філаментів:**

- **ABS:** ABS пластик – це міцний і термостійкий матеріал, який добре підходить для друку захватів.

- **PLA:** PLA пластик – це екологічно чистий і біорозкладний матеріал, який добре підходить для друку прототипів захватів.

- **PETG:** PETG пластик – це гнучкий і стійкий до хімічних речовин матеріал, який добре підходить для друку захватів, які будуть використовуватися в агресивних середовищах.

#### **Висновок:**

3D-друк – це перспективний метод синтезу захватів. Він дає можливість швидко і економічно виготовляти захвати з заданими характеристиками.

#### **Рекомендації:**

- Для друку захватів рекомендується використовувати 3D принтери з високою точністю друку.

- Для друку захватів рекомендується використовувати міцні і термостійкі матеріали.

- Перед друком захвата рекомендується провести дослідження і підібрати оптимальний матеріал і метод друку.

## 2.2. Авторські розробки хватних накладок на основі 3D друку

В рамках роботи досліджувалися моделі накладок на захвати, які можна виготовити на 3D-принтері з різних матеріалів. Розглядалися варіанти як з підвищеною жорсткістю, так і з гнучкістю.

Метою дослідження було визначити оптимальні характеристики накладок для конкретних завдань, враховуючи такі фактори, як:

Матеріал: ABS пластик, PLA пластик, PETG пластик, TPU пластик, нейлон.

Жорсткість: жорсткі накладки для точного захоплення, гнучкі накладки для захоплення крихких предметів.

Форма: накладки з рифленням для кращого зчеплення, накладки з отворами для зменшення ваги.

Метод друку: FDM, SLA, SLS.

Результати дослідження показали, що 3D-друк накладок на захвати є перспективним напрямком, що дозволяє:

Швидко і економно виготовляти накладки з заданими характеристиками. Підвищувати зносостійкість та довговічність хватів. Захищати руки робота від пошкоджень. Покращувати зчеплення з предметами..



Рис.2.1. Кліщовий захват

Моделі накладок були спроектовані на основі наших потреб. Та для поставлених задач. Накладки з підвищеною жорсткістю виготовляємо з матеріалу PLA



Рис.2.2. Захват об'єктів форми куб

Також в роботу був введений матеріал TPU, що має підходящі характеристики для використання його на нашому порталному роботі маніпуляторі для крихтик продуктів. Гнучкі захвати стають все більш популярними в робототехніці, завдяки своїй здатності делікатно й безпечно захоплювати предмети різної форми та розміру. 3D-друк відкриває нові можливості для створення таких захватів з TPU 90A MonoFilament – гнучкого філаменту, що володіє високими експлуатаційними характеристиками.

Аналіз використання TPU 90A MonoFilament для soft захватів:

**Висока гнучкість:** TPU 90A MonoFilament має твердість по Шору 90A і подовження при розриві 510%, що робить його ідеальним для створення гнучких захватів.

**Стійкість до стирання:** TPU 90A MonoFilament стійкий до стирання, що робить його довговічним у порівнянні з іншими матеріалами.

**Висока ударна міцність:** TPU 90A MonoFilament володіє високою ударною міцністю, що робить його стійким до ударів і вібрацій.

**Стійкість до хімічних речовин:** TPU 90A MonoFilament стійкий до олій, жирів та багатьох розчинників, що робить його ідеальним для використання в агресивних середовищах.

Широкий діапазон температур: TPU 90A MonoFilament може експлуатуватися в діапазоні температур від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+140^{\circ}\text{C}$ , що робить його універсальним матеріалом для різних застосувань.

3D-друк накладок з TPU 90A MonoFilament:

Для створення гнучких накладок на захвати маніпулятора був використаний 3D-принтер Creality Ender-3. Цей принтер має доступну ціну, високу точність друку і простоту використання, що робить його ідеальним для прототипування та виготовлення невеликих серій захватів.

Переваги 3D-друку накладок для захватів:

- Швидкість: 3D-друк дозволяє швидко виготовляти прототипи та досліджувати різні варіанти накладок.
- Гнучкість: 3D-друк дозволяє створювати накладки складної форми, які неможливо виготовити традиційними методами.
- Матеріали: 3D-друк дозволяє використовувати широкий спектр матеріалів, що дає можливість створювати накладки з заданими характеристиками.
- Вартість: 3D-друк може бути економічно вигідним способом виготовлення накладок, особливо при малих серіях.

Гнучкі накладки з TPU 90A MonoFilament – це перспективний напрямок розвитку захватів для маніпуляторів. 3D-друк дає можливість швидко і економно виготовляти такі накладки з заданими характеристиками, що робить їх доступними для широкого спектру застосувань.

Для друку накладок рекомендується використовувати 3D принтери з високою точністю друку.

Перед друком накладки рекомендується провести дослідження і підібрати оптимальні параметри друку.

Для експлуатації в агресивних середовищах рекомендується використовувати TPU 90A MonoFilament з відповідними хімічними добавками.

Ось кілька прикладів накладок, які можна зробити з TPU 90A MonoFilament:

- Накладки з рифленням: для кращого зчеплення з предметами.
- Накладки з отворами: для зменшення ваги.
- Накладки з ребрами жорсткості: для підвищення міцності.

Для створення накладок був задіяний 3D принтер.



Рис.2.3. Creality Ender-3 принтер

На підставі оцінювання переваг і недоліків вакуумних захватів була розроблена конструкція вакуум-механічного захвату рис.2.4.



Рис.2.4. Загальний вид розробленого вакуум механічного захвата

Аналогом власно розробленої конструкції є NS-Z2D35LS - це компактний, легкий (0,45 кг) і потужний вакуумно-механічний захват з вантажопідйомністю 35 Н. Він має вбудований вакуумний генератор (-70 кПа, 10 л/хв) і два рухливих пальця, які можуть обертатися на 90°. Корпус захоплення виготовлений з алюмінію, а присоска - з силікону.

#### Переваги:

- Компактний дизайн: зручний для використання в обмеженому просторі.
- Легка вага: зручний для роботи з крихкими предметами.
- Висока вантажопідйомність: може утримувати предмети вагою до 35 Н.
- Швидке захоплення: завдяки вбудованому вакуумному генератору.
- Надійне утримання: силіконова присоска не пошкоджує предмети.
- Гнучкість: два рухливих пальця для захоплення предметів різної форми.
- Простота в експлуатації: не потребує спеціального навчання.

#### Недоліки:

- Необхідність підключення до джерела стисненого повітря.
- Чутливість до пилу та бруду.

#### Застосування:

##### Пакувальні машини

- Збиральні лінії
- Верстати з ЧПУ
- Робототехніка
- Інші промислові завдання

Важливо: перед покупкою захоплення рекомендується ознайомитися з його характеристиками та переконатися, що він відповідає вашим потребам.

Перевагою подібних рішень є використання м'якої силіконової присоски для мінімізації ризику пошкодження крихких предметів.

Можливість зменшити силу вакууму для запобігання пошкодження крихких предметів. Особливість застосування полягає

у тому, що предмет щільно прилягає до присоски для кращого утримання.

Захоплення типу "коготь" NS-Z2D35LS - це універсальний інструмент для широкого спектру промислових завдань.

Захоплення типу "коготь" NS-Z2D35LS завдяки своїм компактним розмірам, легкій вазі, гнучкості та надійному утриманню може використовуватися в різних пакувальних машинах з роботами-маніпуляторами:

#### 1. Горизонтальні пакувальні машини:

Захоплення вакуум-механічним захватом може використовуватися для розміщення продуктів в горизонтальні пакувальні пакети. Його компактний дизайн робить його ідеальним для роботи в обмеженому просторі пакувальної машини. Легкість захоплення дозволяє делікатно переміщати крихкі предмети, не пошкоджуючи їх.

#### 2. Вертикальні пакувальні машини:

Захоплення може використовуватися для завантаження продуктів у вертикальні пакувальні машини. Два рухливих пальця захоплення дають можливість захоплювати предмети різної форми. Швидке захоплення і надійне утримання дозволяють збільшити продуктивність пакувальної лінії.

#### 3. Флоу-пак машини:

Захоплення вакуум-механічним захватом може використовуватися для захоплення та транспортування продуктів в упакувальній плівці. Гнучкість захоплення дозволяє йому адаптуватися до різних форм та розмірів продуктів. Силіконова присоска не пошкоджує делікатні продукти.

#### 4. Роботопакети:

Захоплення вакуум-механічним захватом може використовуватися в роботопакетах для автоматизованого пакування продуктів. Його легка вага і компактний дизайн роблять його ідеальним для використання на роботизованих руках.

Простота в експлуатації зменшує час на навчання персоналу.

Переваги використання захоплення вакуум-механічним захватом:

- Підвищення продуктивності: завдяки швидкому захоплення і надійному утриманню.
- Зниження ризику пошкодження продуктів: завдяки легкій вазі і м'якій силіконовій присосці.
- Збільшення гнучкості: завдяки можливості захоплення предметів різної форми.
- Зниження витрат: завдяки довговічності і простоті в обслуговуванні.

Послідовність розрахунку наведена у табл.3.1.

3.1.

### Послідовність розрахунку

№ етапу	Розрахункові формули
I етап	<p>Початкові умови: <math>t = 0; x = 0; \dot{x} = 0; \ddot{x} = 0</math>.</p> $\ddot{x}_1 = A_1 * \sin(a_1 x) \quad (4.10), \quad a_1 = \frac{\pi}{2x_{1к}}; \quad A_1 = \ddot{x}_{11} * \dot{x}_1 =$ $\sqrt{2 * \frac{A_1}{a_1} * (1 - \cos(a_1 * x))} \quad (4.11)$ $t_1 = \int_0^{x_{1к}} \frac{dx}{\sqrt{2 * \frac{A_1}{a_1} * (1 - \cos(a_1 * x))}}$ <p>Кінцеві умови: <math>t_{1к} = t_1; \ddot{x}_{1к} = \ddot{x}_{11}; \dot{x} = \dot{x}_{1к}; x = x_{1к}</math>.</p>
II етап	<p>Початкові умови: <math>t_{11} = t_1; \ddot{x}_{11} = \ddot{x}_{11}; \dot{x}_{11} = \dot{x}_{1к}; x_{11} = x_{1к}</math>.</p> $\ddot{x}_{11} = \frac{Q}{m_{гр}} - g * f \quad (2.32) \quad \dot{x}_{11}$ $= \sqrt{\dot{x}_{11}^2 + 2 * \left( \frac{Q}{m_{гр}} - g * f \right) * (x - x_{11})} \quad (4.20)$ $t_{11} = \frac{\dot{x}_{11к} - \dot{x}_{11}}{\frac{Q}{m_{гр}} - g * f}$ <p>Кінцеві умови: <math>t_{11к} = t_1 + t_1; \ddot{x}_{11к} = \ddot{x}_{11}; \dot{x} = \dot{x}_{11к}; x = x_{11к}</math></p>

III етап	<p>Початкові умови: <math>t_{IIIH} = t_{IIIK}</math>; <math>\ddot{x}_{IIIH} = \ddot{x}_{IIIK}</math>; <math>\dot{x}_{IIIH} = \dot{x}_{IIIK}</math>; <math>x_{IIIH} = x_{IIIK}</math>  <math>\ddot{x}_{III} = B_3 + A_3 * \sin(q_3 * x + b_3)</math> (2.36)</p> $A_3 = \frac{ \ddot{x}_{III}  +  \ddot{x}_{IV} }{2}; B_3 = \frac{ \dot{x}_{III}  +  \dot{x}_{IV} }{2}; b_3 = \pi - a_3 * x_\tau$ (4.25) $a_3 = \frac{0.45 * (p_{2H} + p_{2K}) * k * F_2 - \dot{p}_1 * F_1(s + x_{02} - x)}{(s + x_{02} - x) * m * A_3}$ (4.24) $\dot{x}_{III} = \sqrt{2 * (B_3(x - x_{IIIH}) - \frac{A_3}{a_3} * \cos(a_3 * x + b_3)) + \frac{x_{IIIH}^2}{2}}$ (4.28) $t_{III} = \int_{x_{3K}}^{x_{3H}} \frac{dx}{2 * (B_3 * (x - x_{IIIH}) - \frac{A_3}{a_3} * \cos(a_3 * x + b_3)) + \frac{\dot{x}_{IIIH}^2}{2}}$ <p>Кінцеві умови: <math>t_{IIIK} = t_I + t_{II} + t_{III}</math>; <math>\ddot{x}_{IIIK} = \ddot{x}_{IV}</math>; <math>\dot{x} = \dot{x}_{IIIK}</math>; <math>x = x_{IIIK}</math></p>
IV етап	<p>Початкові умови: <math>t_{IVH} = t_{IIIK}</math>; <math>\ddot{x}_{IVH} = \ddot{x}_{IV}</math>; <math>\dot{x}_{IVH} = \dot{x}_{IIIK}</math>; <math>x_{IVH} = x_{IIIK}</math>  <math>\ddot{x}_{IV} = -g * f</math> (4.21)    <math>\dot{x}_{IV} = \sqrt{2 * g * f(s - x)}</math> (4.22)    <math>t_{IV} = \dot{x}_{IVH} / g * f</math></p> <p>Кінцеві умови: <math>t_{IVK} = T_{OB}</math>; <math>\ddot{x}_{IVK} = \ddot{x}_{IV}</math>; <math>\dot{x}_{IVK} = 0</math>; <math>x = s</math></p>

В ході розрахунку отримані узагальнені кінематичні характеристики вихідної ланки маніпулятора при обробці об'єкту – процес змикання губок на рис.2.5.

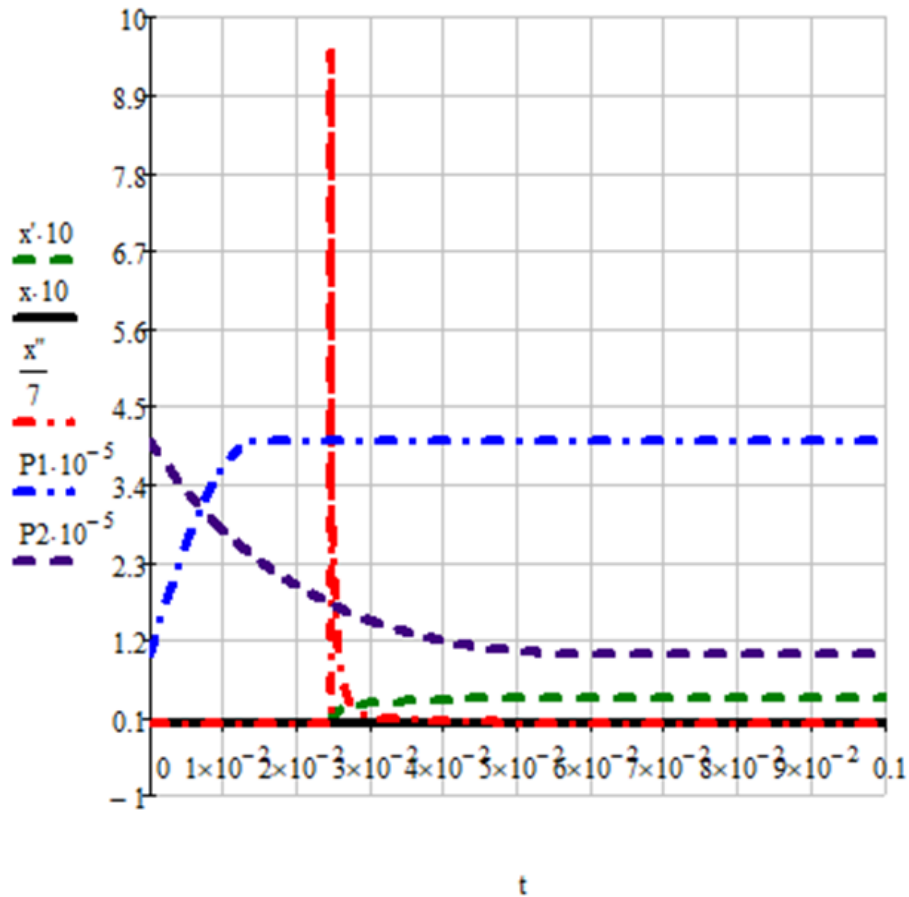


Рис.2.5. Узагальнені кінематичні характеристики вихідної ланки маніпулятора

Висновок по дослідженню узагальнених кінематичних характеристик вихідної ланки маніпулятора CGLN Camozzi

#### 1. Кінематичні характеристики:

Досліджено кінематичні характеристики вихідної ланки маніпулятора CGLN Camozzi.

Визначено залежність координат та швидкостей кінцевої точки ланки від параметрів маніпулятора та кутів повороту його суглобів.

Отримані аналітичні вирази для лінійної та кутової швидкостей, а також прискорення кінцевої точки.

#### 2. Аналіз:

Проведено аналіз впливу параметрів маніпулятора на його кінематичні характеристики.

Визначено оптимальні значення параметрів для забезпечення заданих характеристик руху кінцевої точки.

Досліджено вплив кутової швидкості обертання суглобів на траєкторію руху кінцевої точки.

2. Результати наведені на рис.2.6.:

Визначення залежності  $p=f(t)$ , для пошуку оптимальної продуктивності РМ

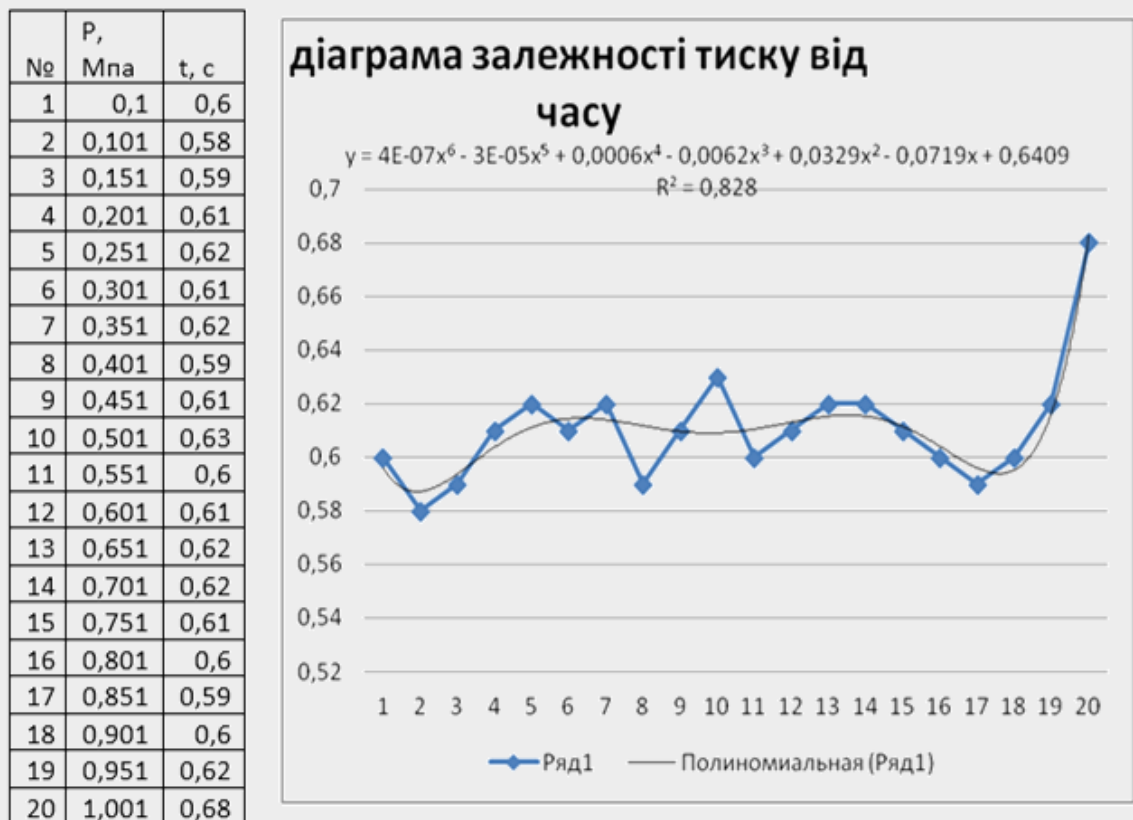


Рис.2.6. Діаграма залежності тиску від часу у роботі захвата

Результати дослідження можуть бути використані для проектування та управління маніпулятором CGLN Camozzi.

Отримані аналітичні вирази дозволяють розрахувати координати, швидкості та прискорення кінцевої точки ланки для будь-якого набору параметрів маніпулятора та кутів повороту його суглобів.

Дослідження показало, що маніпулятор CGLN Camozzi має широкий діапазон робочого простору та може бути використаний для виконання різних завдань.

## РОЗДІЛ 3

### ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ЗАХВАТНИХ ПРИСТРОЇВ

#### 3.1. Загальний опис конструкцій захватних пневмомеханічних систем:

Опис конструкцій захватних пневмомеханічних систем CGLN, CGSN (CAMOZZI) та їх використання для пакувальних машин. Пневмомеханічні захватні системи CGLN та CGSN від CAMOZZI – це універсальні рішення для автоматизованого захоплення та транспортування різноманітних продуктів у пакувальних машинах. Їх відрізняє висока надійність, простота монтажу та експлуатації, а також широкий спектр модифікацій, що дозволяє підібрати оптимальне рішення для будь-якого завдання.

3. Конструкція досліджуваного захвата наведена на рис.3.1

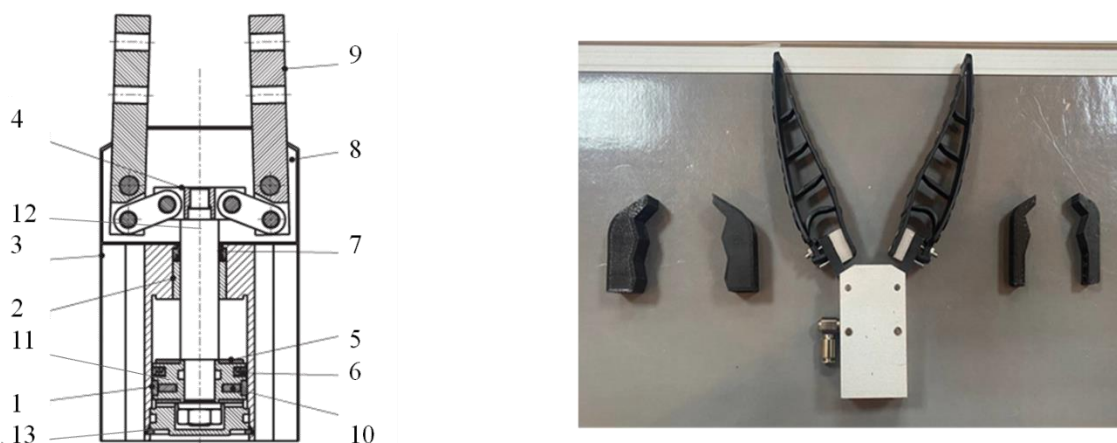


Рис.3.1. Пневмомеханічний захват: 1- робоче поршневе кільце; 2 – втулка; 3 – корпус; 4 – направляюча тяга; 5 – ущільнення заслінки; 6 – ущільнення поршня; 7 – ущільнення штока; 8 – антифрикційна пластина; 9 – палець рукоятки; 10 – магніт; 11 – поршень; 12 – шток; 13 – кришка

Корпус: виготовляється з анодованого алюмінію, що забезпечує високу міцність та стійкість до корозії. Цилиндр: пневматичний, двосторонньої дії,

забезпечує плавне та потужне захоплення. Всмоктувальні насадки: різної форми та розміру, підбираються під конкретний продукт. Пневматичні клапани: регулюють потік повітря та забезпечують синхронну роботу хватних пристроїв. Датчики: контролюють положення та тиск, забезпечуючи безпечну та точну роботу системи.

Принцип роботи ( рис.3.2) хватних пневмомеханічних систем CGLN та CGSN заснований на вакуумі. При подачі стисненого повітря в циліндр, поршень приводить в рух шток, який, в свою чергу, активує всмоктувальні насадки. Насадки створюють вакуум, який утримує продукт. Завдяки синхронній роботі хватних пристроїв продукт надійно фіксується та транспортується.

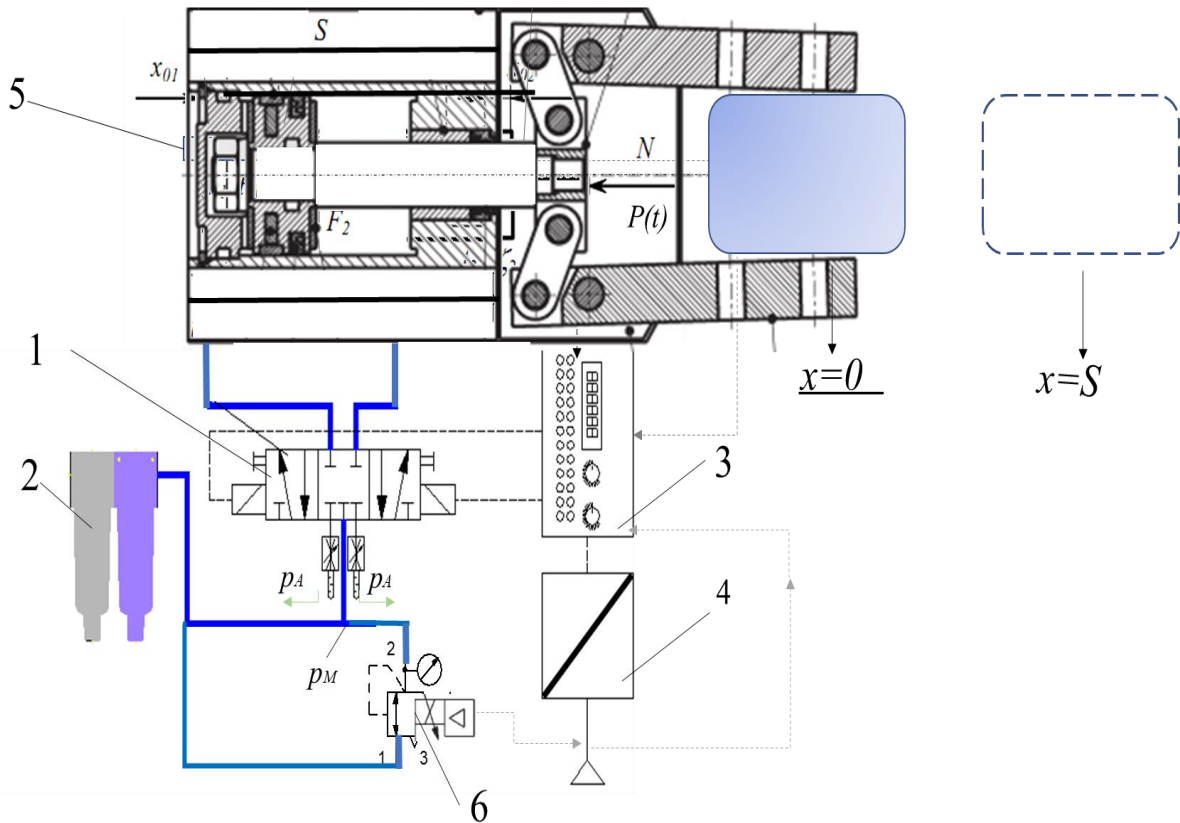


Рис.3.2. Схема підключення захвата до системи керування

Пневмомеханічні хватні системи CGLN та CGSN використовуються в пакувальних машинах для автоматизованого захоплення, транспортування, упакування та палетування різноманітних продуктів.

Пневмомеханічні захватні системи CGLN та CGSN від CAMOZZI – це універсальні, надійні та прості в експлуатації рішення для пакувальних машин. Їх широкий спектр модифікацій дозволяє підібрати систему під будь-який продукт, а висока якість компонентів та збірки гарантує довговічність та безперебійну роботу. Завдяки високій швидкості та точності роботи, а також низьким експлуатаційним витратам, CGLN та CGSN є економічно вигідним вибором для будь-якого виробництва.

### 3.2. Експериментальна установка



Рис.3.3. Алгоритм складання експериментальної установки

Алгоритм складання експериментальної установки для тестування захоплення пневматичного на зусилля змикання пальців, тиск та швидкість спрацювання

#### 1. Підготовка до проведення експерименту:

##### 1.1 Вибір компонентів:

**Пневматичний захоплювач:** з урахуванням максимального зусилля змикання, розміру та форми об'єктів, що захоплюються.

**Пневморозподільник:** з необхідною кількістю каналів та типом керування.

**Пнеumoциліндр:** з відповідним ходом штока та діаметром для забезпечення необхідного зусилля.

**Датчик тиску:** з діапазоном вимірювання, що відповідає робочому тиску пневмосистеми.

**Датчик зусилля:** з діапазоном вимірювання, що відповідає максимальному зусиллю змикання пальців.

**Датчик швидкості:** для вимірювання швидкості руху штока пневмоциліндра.

**Система керування:** з можливістю регулювання тиску та керування пневморозподільником.

**Апаратура для збору та обробки даних:** для запису та візуалізації результатів вимірювань.

## **1.2 Монтаж:**

**З'єднання пневматичних компонентів:** за допомогою трубок, фітингів та пневмороз'ємів.

**Підключення датчиків:** до системи керування та апаратури для збору даних.

**Установка пневматичного захоплювача:** на робоче місце.

**Калібрування датчиків:** згідно з інструкціями виробника.

## **2. Проведення тестування**

### **2.1 Налаштування:**

**Встановлення необхідного тиску повітря:** в пневмосистемі.

**Вибір режиму роботи:** пневморозподільника.

**Запуск системи керування:** та моніторинг роботи установки.

### **2.2 Тестування:**

**Захоплення об'єкта:** пневматичним захоплювачем.

**Зняття даних:** з датчиків тиску, зусилля та швидкості.

**Повторення тестів:** для різних об'єктів та режимів роботи.

## **3. Обробка та аналіз результатів**

**Аналіз даних:** для визначення характеристик роботи пневматичного захоплення.

**Візуалізація результатів:** у вигляді графіків, діаграм та таблиць.

**Порівняння результатів:** з паспортними даними та теоретичними розрахунками.

**Формулювання висновків:** про характеристики та працездатність пневматичного захоплення.

#### 4. Опис алгоритму

- **Підготовка:**
- Вибір компонентів.
- Монтаж установки.
- Калібрування датчиків.
- **Проведення тестування:**
- Налаштування установки.
- Захоплення об'єкта.
- Зняття даних.
- Повторення тестів.
- **Обробка та аналіз результатів:**
- Аналіз даних.
- Візуалізація результатів.
- Порівняння результатів.
- Формулювання висновків.

### 3.3. Аналіз вакуумної системи захватів

Матеріалами дослідження є ежектори з L - подібною компоновкою, із сопловим перерізом у межах 0,5; 0,7; 1; 2мм. Методами дослідження є чисельні методи у складі CFD моделі ежектора.

Завданням проведеного дослідження – є аналіз можливостей використання захватів в технологічних і пакувальних процесах харчових виробництв. Окрема увага приділялась моделям визначення раціональних значень параметрів системи обдуву і витратним характеристикам стисненого

повітря. Під час вирішення поставлених завдань, використовувався аналіз і узагальнення відомих літературних джерел [5],[6]. Розроблено алгоритм створення CFD моделі ежектора і проведено порівняльний аналіз із теоретичними дослідженнями ежекторів.

У ежекторних системах пакувальних машин продуктивність має вирішальне значення для роботоздатності технологічної системи. Побудова математичних моделей є ефективним методом аналізу продуктивності ежектора, а також окремих функціональних систем пакувальних машин із сопловими пристроями. Розроблені моделі можуть використовуватися для аналізу управління роботою пакувальної машини, інтерпретації експериментальних результатів і сприяння в проектуванні і оптимізації пакувальних ліній.

Дослідні моделі були розділені на дві основні категорії: 1 - стійкі термодинамічні моделі, які можна далі поділити на однофазну модель потоку і модель двофазного потоку; 2 - динамічні моделі, які також поділяються відповідно із фазами [6].

Обґрунтовуючи математичну модель ежектору на принципах гідрогазодинаміки [7], можна спростити методіку вибору елементів функціонального модуля пакувальної машини і попередньо оцінити раціональність підібраних параметрів робочого процесу із системами ежекторів (рис. 1).

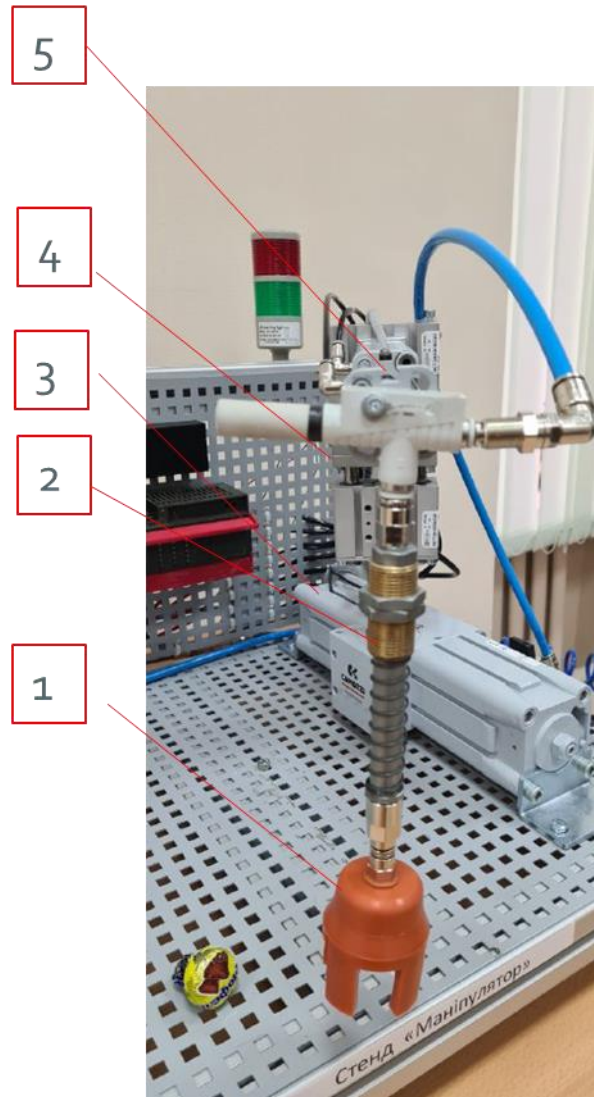


Рис.3.4. Використання ежекторів у функціональних модулях: 1- вакуумно-механічний захват; 2 плунжер корегування висоти до об'єкту; 3- поворотний циліндр; 4 – модуль із трьох лінійних циліндрів; 5 – ежектор.

Газовий ежектор відноситься до струйних пристроїв, в яких повний тиск газового потоку підсилюється під дією тиску іншого, більш високонапірного потоку, забезпечує роботу соплових систем технологічних ліній в харчовій промисловості [8]. Передача енергії від потоку повітря до речовини розпилювання, відбувається шляхом турбулентного змішування. Підвищення тиску ежектуємого потоку без безпосередньої витрати механічної енергії є основною перевагою ежектора, порівняно із вакуум насосами. Завдяки простоті конструкції, у порівнянні з механічними нагнітачами, газові ежектори знайшли широке застосування у пакувальних лініях для харчових

продуктів [9]. Ежектор може використовуватися в ролі насоса, компресора, ексгаустера для створення зниженого тиску в деякому обсязі, для інших цілей. В залежності від призначення ежектори мають різні конструктивні особливості. Але найбільш розповсюджена в пакувальних машинах є геометрія L-подібного ежектора. Принципова схема дослідного L-подібного ежектора приведена на рис. 2.

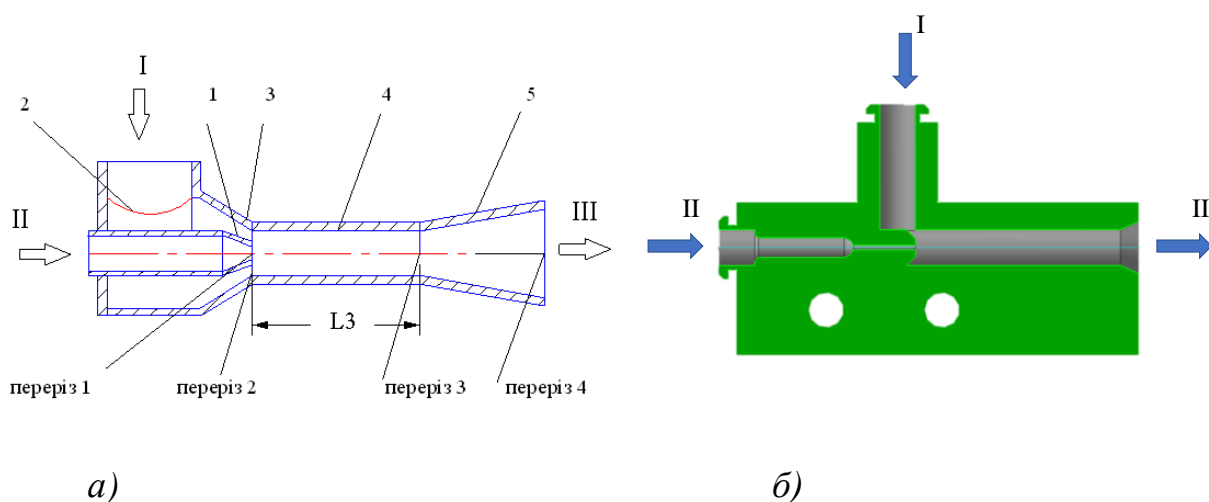


Рис.3.5. Загальний вид конструкції L-подібних ежекторів соплових систем у пакувальних лініях: а) класична модель із основними зонами(перерізами) зміни тиску; б) 3D розроблена модель із змінними прохідними перерізами; I – канал підведення робочого середовища в сопловий переріз; II – вхідний напірний канал; III – вивідний (вихлопний) канал

Він складається із активного сопла 1, яке подає робоче середовище до приймальної камери 2 (для підведення потоку ежекції), пасивного сопла 3 для підведення повітря, камери змішування 4, дифузора 5, призначеного для підвищення статичного тиску. В деяких компоновках дифузор або пасивне сопло можуть бути відсутні [9],[10]. Перерізи - 1,2,3,4 є основними зонами дослідження тиску  $p$ , температури  $T$ , швидкості потоку  $\omega$ , масових витрат  $G$ ,  $\sigma$  коефіцієнтів відновлення тиску.

Алгоритм дій для якісного виконання чисельних досліджень в системі CFD моделі ежектора відповідав такій послідовності етапів: постановка завдання дослідження на основі експертного аналізу; вибір методу розрахунку; розроблення фізичної моделі; вибір розрахункового коду; вибір

і побудова розрахункової області; розробка комп'ютерної моделі; затвердження результатів чисельного моделювання; верифікація результатів чисельного моделювання; розробка звітної документації.

Процес побудови чисельного рішення розділено на кілька кроків. На першому кроці формують диференціальні рівняння в часткових похідних, які описують безперервний процес, а також допоміжні (граничні і початкові) умови (які перетворюються в дискретну систему алгебраїчних рівнянь). Цей крок називається дискретизацією.

Зупинимося на описі моделі роботи ежектора докладніше. Робочий процес ежектора у пакувальній машині для оброблення упаковок зводиться до наступного. Високо напірний (робочий) газ, що має повний тиск  $p^*$  і температуру гальмування  $T^*$  - підводиться крізь сопло 1 (рис.2) у змішувальну камеру 4. У вхідному перерізі камери змішувача встановлюється статичний тиск  $p_2$ , який нижче повного тиску низьконапірного газу  $p_2^*$  ежекції.

Під дією різниці тисків низьконапірний газ (повітря) спрямовується у камеру змішування. В кінці камери 4 після завершення процесу змішування газ має усереднені параметри  $p_3$ ,  $T_3$ ,  $\omega_2$ .

На виході дифузору статичний тиск газу  $p_4$  більше статичного тиску в кінці камери змішування  $p_3$ . Якщо позначити масову витрату робочого потоку  $G_1$ , а масові витрати газу ежекції  $G_2$ , то співвідношення  $n = G_2/G_1$  є коефіцієнтом ежекції. При цьому відношення статичного тиску робочого газу перед соплом до статичного тиску газу ежекції  $p_1/p_2$  буде ступенем розширення. Відношення статичного тиску на виході з дифузора до статичного тиску газу ежекції  $p_4/p_2$  визначає ступінь стиснення, або ступінь підвищення тиску.

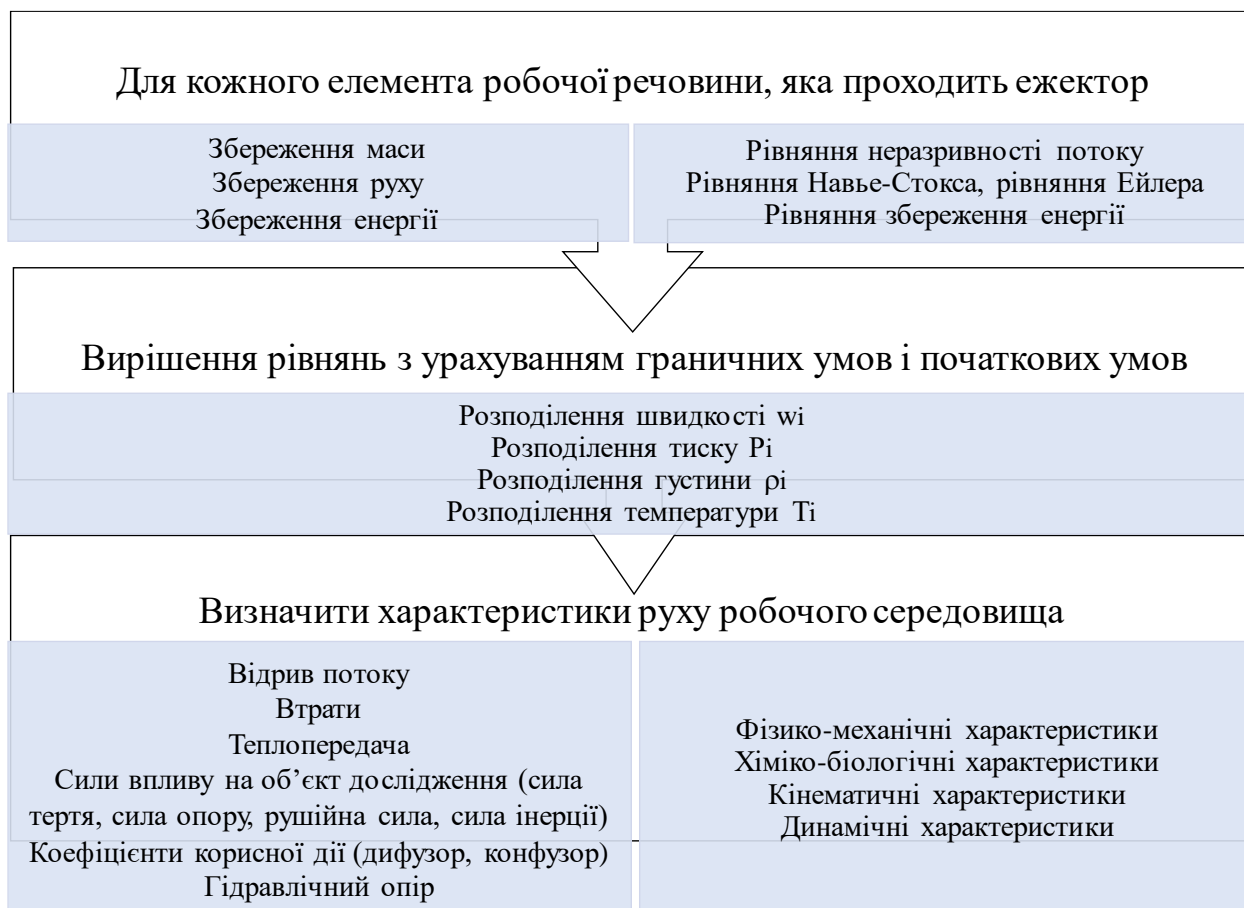


Рис.3.6. Алгоритм дій імітаційного моделювання на принципах гідрогазодинаміки

При моделюванні у просторі ПП FlowVision, основним геометричним параметром ежектора є відношення площин вихідних соплових перетинів для робочого потоку і потоку ежекції:

$$\alpha = \frac{F_1}{F_2} = \frac{F_1}{F_3 - F_1} \quad (3.)$$

де  $F_1, F_2$  – відповідно площа вихідних соплових перерізів для підведення робочого потоку і потоку ежекції;  $F_3$  – площа перетину циліндричної камери змішування (переріз 3). Ежектор з великим значенням  $\alpha$  вважається високо напірним, але має малий коефіцієнт ежекції. І навпаки, ежектор з малим  $\alpha$  дозволяє отримати великий коефіцієнт ежекції, але характеризується малим напором.

Другий геометричний параметр при імітаційному моделюванні ежектора – відносна довжина камери змішування  $L_1/d_3$  – також впливає на динамічні характеристики ежектора.

Третій геометричний параметр моделі ежектора - ступінь розширення дифузора  $f = F_4/F_3$  – приймалась як відношення площі перерізу на виході з дифузора до площини на вході в нього.

Припущенням дослідної моделі FlowVision приймалось що ежектор працює при заданому статичному тиску на виході із дифузора (наприклад, при виході в атмосферу, або всередину споживчої упаковки із постійним тиском). Ступінь розширення дифузора  $f$ , розглядалась як параметр який суттєво впливає на режими роботи ежектора. Для проведення моделювання розроблено чотири 3D моделі ежектора з різними характеристиками прохідного робочого сопла, рис.4.

При моделюванні ежектора також прийняті допущення про одномірність потоку. Закон збереження маси має вигляд:

$$G_3 = G_1 + G_2, \text{ тоді } G_3/G_1 = 1 + n \quad (3.2)$$

На основі закону збереження енергії можна записати:

$$G_3 \left( c_3 T_3 + \frac{w_3^2}{2} \right) = G_1 \left( c_1 T_1 + \frac{w_1^2}{2} \right) + G_2 \left( c_2 T_2 + \frac{w_2^2}{2} \right) + Q \quad (3.3)$$

де  $Q$  – загальна кількість тепла, яке підводиться до повітря (газу) в секунду через стінку змішувальної камери. При розрахунках лінійних ежекторів рис.2, приймається, що  $Q = 0$  і гази, які змішуються, однорідні і мають однакову теплоємність.

Допущення:

$$(n + 1) \frac{T_3^*}{T_1^*} = 1 + n \frac{T_2^*}{T_1^*} \quad (3.4)$$

Введені співвідношення  $\Theta = \frac{T_2^*}{T_1^*}$ , дозволили отримати зручні формули для розрахунку:

$$\frac{T_3^*}{T_1^*} = \frac{n\Theta + 1}{n + 1} \quad (3.5)$$

$$\frac{a_{k3}}{a_{k3}} = \sqrt{\frac{n\Theta + 1}{n + 1}} \quad (3.6)$$

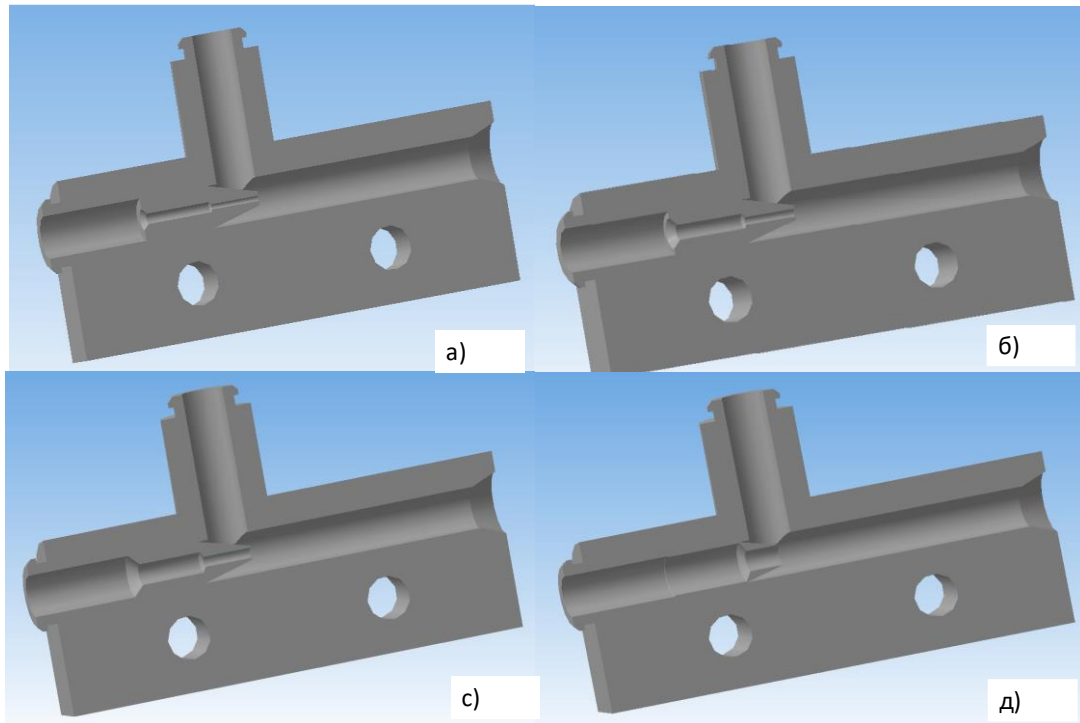


Рис. 3.7. Переріз імітаційних 3D моделей L-подібного ежектора: а) діаметр сопла 0,5мм; б) діаметр сопла 0,7мм; с) діаметр сопла 1мм; д) діаметр сопла 2мм.

Витрати повітря (газу) в будь-якому перетині сопла розраховувались за формулою [8]:

$$G = m\sigma_1 \frac{p^* F q(\lambda)}{\sqrt{T^*}} \quad (3.7)$$

де  $m$  знаходиться за формулою і для повітря  $m = 0,0404 \text{ м}^{-1} \cdot \text{с} \cdot \text{К}^{0,5}$ ;  $\sigma_1$  – коефіцієнт відновлення тиску в активному соплі.

Визначення масових витрат у рівнянні нерозривності потоку за допомогою формули (7), дають можливість отримати формулу для зв'язку параметрів ежектора в перетинах ежекції 1 та 3:

$$\frac{p_3^*}{p^*} = \sigma_1 \frac{\sqrt{(1+n\Theta \frac{c_2}{c_1})(n+1) \frac{c_2}{c_1}}}{F_3/F_1 \cdot q(\lambda_3)} q(\lambda_1) \quad (3.8)$$

У випадку звукового або надзвукового режимах роботи ежектора приймаємо:  $q(\lambda_1) = 1$ . Рівняння руху робочого середовища має вигляд:

$$G_3 \omega_3 + p_3 F_3 = G_1 \omega_1 + p_1 F_1 + G_2 \omega_2 + p_2 F_2 - P_{тр} \quad (3.9)$$

де  $G\omega + pF$  – повний імпульс у відповідному перерізі;  $P_{mp}$  – сумарна сила тертя по бічній поверхні змішувальної камери. Часто приймають  $P_{mp} = 0$ . В іншому випадку її можна визначити по формулі [9]:

$$P_{mp} = \zeta \frac{L_3}{d_3} \frac{p_3 \omega_3^2}{2} F_3 \quad (3.10)$$

де  $\zeta$  – коефіцієнт опору. Для турбулентного режиму приймаємо, що  $\zeta = const$ . Загальне значення  $\zeta = 0,015 - 0,02$ . [4]. Враховуючи значення приведеної швидкості потоку ежекції [10], отримаємо:

$$P_{mp} = \zeta \frac{L_3}{d_3} G_3 \lambda_3 a_{k3} \quad (3.11)$$

Рівняння імпульсів приймає наступний вигляд:

$$\left[ z(\lambda_3) + \frac{1}{2} \chi \lambda_3 \right] \sqrt{(n+1)(1+n\theta)} = z(\lambda_1) + z(\lambda_2) n \sqrt{\theta} \quad (3.12)$$

Тут величина  $\chi$  – приведена довжина тертя, обумовлена залежністю:

$$\chi = \zeta \frac{L_3}{d_3} \frac{2k}{k+1} \quad (3.13)$$

Так як в ежекторах відношення  $L_3/d_3$  зазвичай не перевищує межу 10,[5] то тертям можна знехтувати і використати формулу:

$$z(\lambda_3) \sqrt{(n+1)(1+n\theta)} = z(\lambda_1) + z(\lambda_2) n \sqrt{\theta} \quad (3.14)$$

Виразимо коефіцієнт ежекції через відношення витрат за допомогою залежності (7):

$$n = \frac{G_2}{G_1} = \frac{\sigma_2 p_n^* q(\lambda_2) F_2 \sqrt{T_1^*}}{\sigma_1 p^* q(\lambda_1) F_1 \sqrt{T_2^*}}$$

Після спрощення отримаємо:

$$n = \frac{p_2^* q(\lambda_2)}{p_1^* q(\lambda_1) \alpha \sqrt{\theta}} \quad (3.15)$$

де  $\sigma_2, \sigma_1$  – коефіцієнти відновлення тиску відповідно в активному і пасивному соплі  $p_1^* = p^* \sigma_1$  і  $p_2^* = p_n^* \sigma_2$ . Аналогічно вище наведеній послідовності розрахунку, отримані рівняння, які зв'язують параметри повітря (газу) в перетині 1 і 3 і коефіцієнту ежекції:

$$\frac{p_3^* q(\lambda_3) F_3 \sqrt{T_1^*}}{p_1^* q(\lambda_1) F_1 \sqrt{T_3^*}} = n + 1 \quad (3.16)$$

Приведені рівняння дозволяють визначити основні параметри в перетинах 1, 2, 3 при заданих геометричних параметрах і початкових параметрах потоку. Для розрахунку дифузора використовують рівняння нерозривності в формі:

$$\frac{p_4^* F_4 q(\lambda_4)}{\sqrt{T_4^*}} = \frac{p_3^* F_3 q(\lambda_3)}{\sqrt{T_3^*}} \quad (3.17)$$

Коефіцієнт відновлення тиску в дифузори  $\sigma_1$  визначено за формулою:

$$\sigma_1 = \frac{p_4^*}{p_3^*} = \frac{p_4}{p_3^* \pi(\lambda_4)} \quad (3.18)$$

При умові  $T_4^* = T_3^*$ , рівняння нерозривності має вигляд:

$$q(\lambda_4) = \frac{F_3 q(\lambda_3)}{F_3 \sigma_1} \quad (3.19)$$

Якщо задати статичний тиск на виході  $p_4$  із дифузора, рівняння нерозривності складатиме:

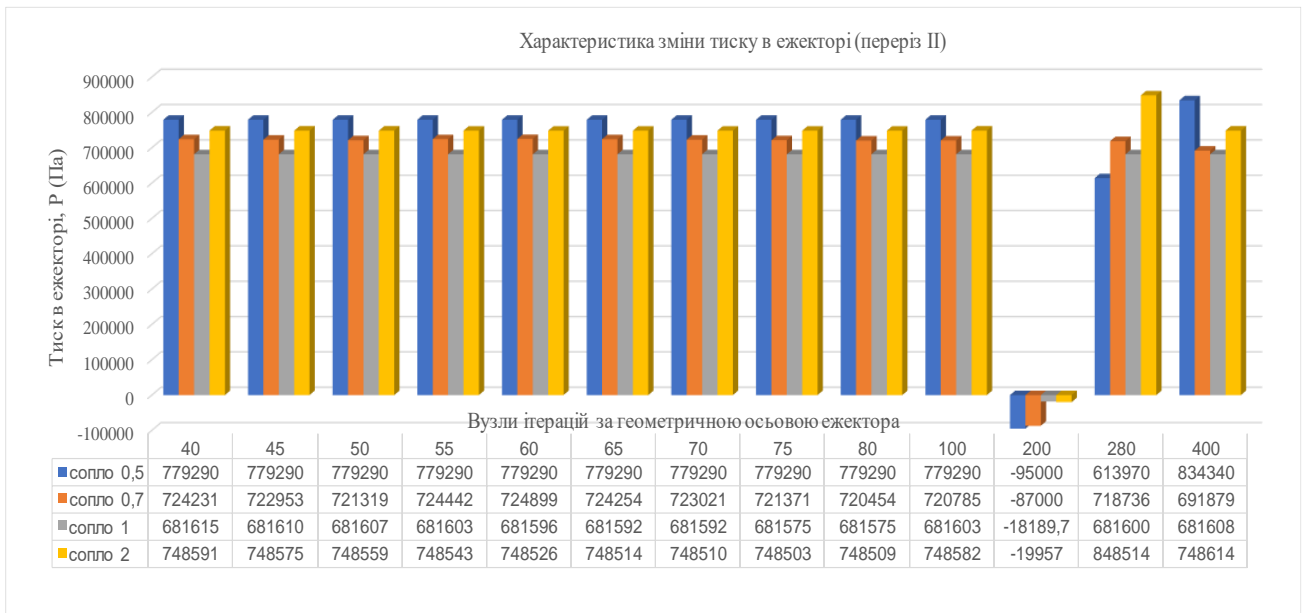
$$y(\lambda_4) = \frac{F_3 q(\lambda_3)}{F_4 \sigma_1} \quad (3.20)$$

Враховуючи формулу [1] для визначення повного тиску після змішування, матимемо узагальнене значення тиску:

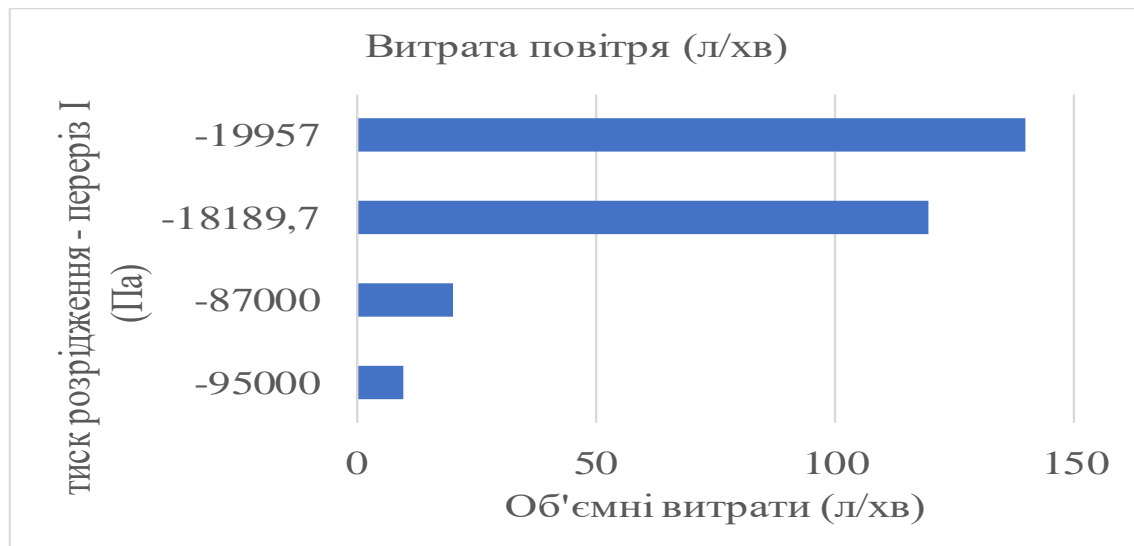
$$p_3^* = \frac{\alpha p_1^* + p_2^*}{1 + \alpha} \quad (3.21)$$

Приймемо величину  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  у межах нормальних значень [10] - (0,15-1,1) і відношення температур  $0,3 < \Theta < 3,0$ , для проведення імітаційного моделювання ежектора.

**Результати CFD моделювання роботи L – подібного ежектора.** На основі імітаційного моделювання ПП FlowVision, проведено аналіз вищеописаної моделі ежектора. оточуюче середовище 293К, тиск оточуючого середовища - 1,013бар. В процесі моделювання отримані характеристики зміни тиску рис.5а і швидкості рис.5б в переризі сопла ежектора.



а)



б)

Рис.3.8. Узагальнені витратні характеристики і характеристики зміни тиску в системі L-подібного ежектора: а) зміна тиску в перехідному відрізку перерізу I; б) порівняння об'ємних витрат в залежності від розрідження в перерізі сопла ежектора 0,5;0,7;1;2.

Модель керування разом із системою керування маніпулятором, побудована в програмі для ПЛК на FBD, наведена на рис.3.9.

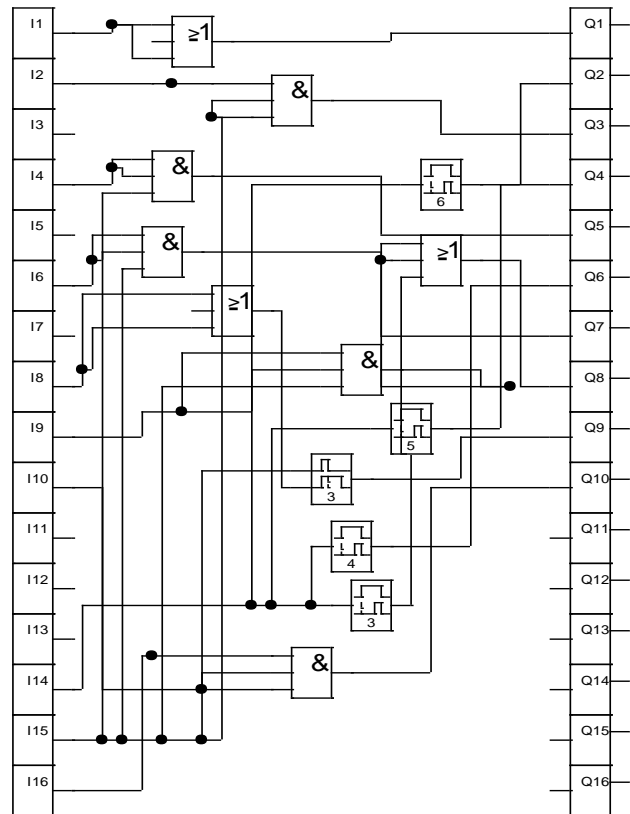
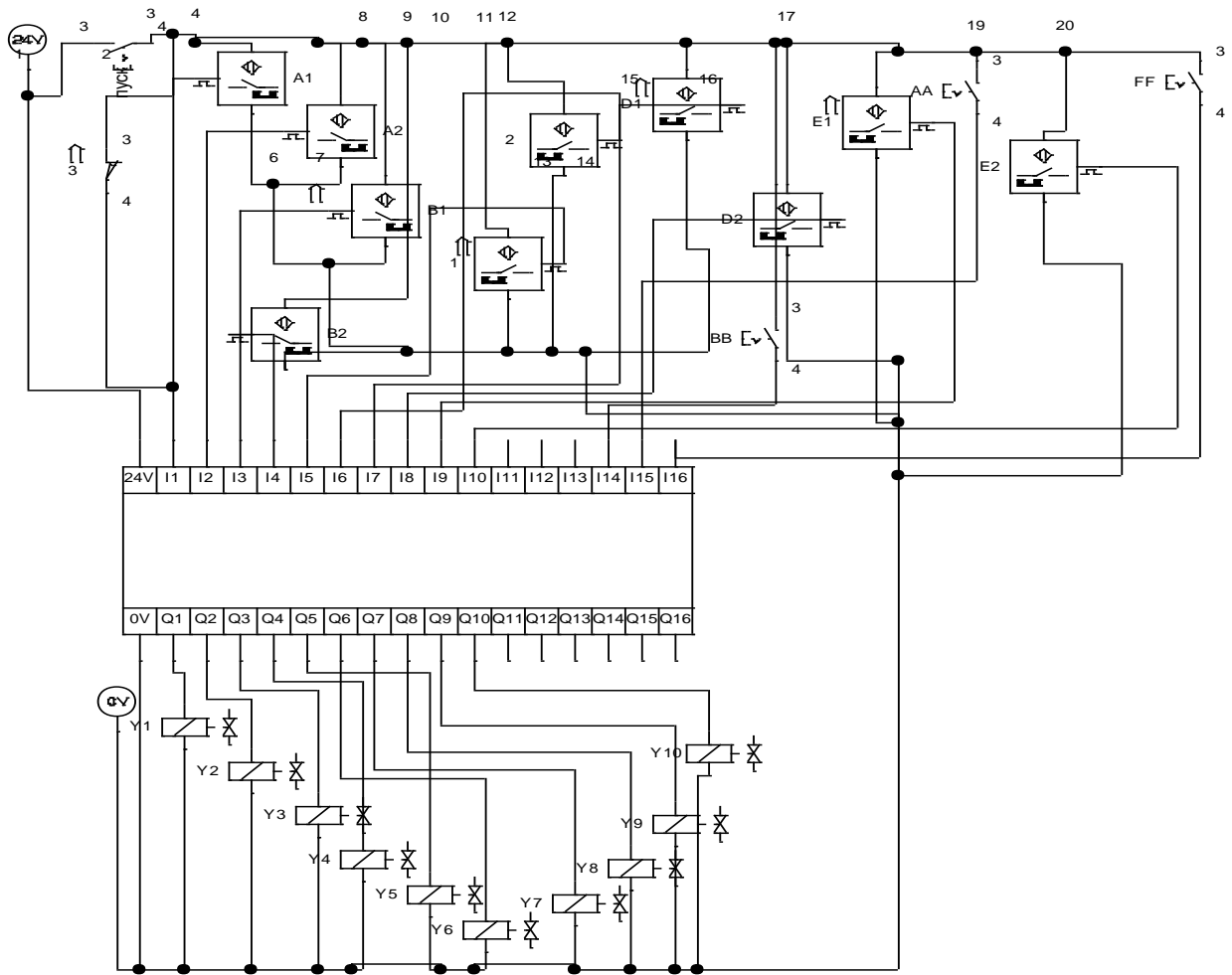


Рис.3.9. Модель керування

Робота трьохкоординатного робота-маніпулятора з вакууммеханічним захватом поділена на 4 етапи: захоплення, переміщення, відпускання та повторення. На етапі захоплення робот позиціонує захват над об'єктом, опускає його, забезпечуючи щільне прилягання вакуумних присосок, і активує вакуумний насос для утримання об'єкта. Переміщення включає підняття захвату з об'єктом на задану висоту, його транспортування до місця призначення за заданою траєкторією та опускання до заданої точки. На етапі відпускання вимикається вакуумний насос, захват піднімається, відпускаючи об'єкт, і переміщується в початкове або безпечне положення. Цикл захоплення-переміщення-відпускання може повторюватися для інших об'єктів.

## **РОЗДІЛ. 4**

### **ОХОРОНА ПРАЦІ**

#### **1. Загальні положення**

Цей розділ визначає основні вимоги з охорони праці на підприємстві, де використовуються роботи-маніпулятори та пакувальні машини для харчових продуктів. Він розроблений з урахуванням:

- **Закону України "Про охорону праці"**
- **Положення про розробку інструкцій з охорони праці**
- **Державних санітарних норм та правил роботи з харчовими продуктами**
- **Інших нормативно-правових актів з охорони праці**

#### **2. Вимоги до персоналу**

**2.1. До роботи з роботами-маніпуляторами та пакувальними машинами допускаються особи:**

- Які досягли 18-річного віку.
- Які пройшли медичний огляд та визнані придатними до роботи.
- Які пройшли навчання та інструктаж з охорони праці.
- Які мають посвідчення на право роботи з відповідним обладнанням.

#### **2.2. Персонал зобов'язаний:**

- Виконувати правила внутрішнього трудового розпорядку.
- Дотримуватися інструкцій з охорони праці.
- Використовувати за призначенням засоби індивідуального та колективного захисту.
- Проходити періодичні медичні огляди.
- негайно повідомляти про несправності обладнання та інші небезпечні фактори своєму безпосередньому керівнику.

#### **3. Вимоги до робочого місця**

**3.1. Робоче місце повинне відповідати наступним вимогам:**

- Бути достатньо освітленим.
- Бути обладнано вентиляцією.
- Бути вільним від сторонніх предметів.

- Мати безпечні проходи та зони доступу до обладнання.
- Бути забезпечене засобами індивідуального та колективного захисту.

### **3.2. Роботи-маніпулятори та пакувальні машини повинні:**

- Бути справними та мати відповідні сертифікати.
- Бути обладнані захисними огорожами та блокуваннями.
- Бути заземлені.
- Мати інструкції з експлуатації та технічного обслуговування.

## **4. Вимоги безпеки під час роботи**

### **4.1. Перед початком роботи:**

- Перевірити справність обладнання.
- Одягти засоби індивідуального захисту.
- Ознайомитися з завданням на роботу.

### **4.2. Під час роботи:**

- Дотримуватися інструкцій з експлуатації обладнання.
- Не допускати перевантажень обладнання.
- Не залишати без нагляду роботу обладнання.
- Не торкатися руками до рухомих частин обладнання.
- Бути уважним та обережним.

### **4.3. Після закінчення роботи:**

- Вимкнути обладнання.
- Прибрати робоче місце.
- Зняти засоби індивідуального захисту.

## **5. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях**

### **5.1. У разі виникнення аварійної ситуації:**

- негайно зупинити роботу обладнання.
- Вжити заходів для усунення аварійної ситуації.
- Повідомити про аварію своєму безпосередньому керівнику.

### **5.2. При виявленні несправностей обладнання:**

- негайно зупинити роботу обладнання.
- Повідомити про несправність своєму безпосередньому керівнику.

## 6. Навчання та інструктаж з охорони праці

### 6.1. На підприємстві повинна бути організована система навчання та інструктажу з охорони праці, яка включає:

- Вступний інструктаж.
- Первинний інструктаж на робочому місці.
- Повторний інструктаж.
- Цільовий інструктаж.
- Позаплановий інструктаж.

Особливості інструктажу з охорони праці та пожежної безпеки на підприємствах харчової галузі для операторів та технічного персоналу

#### 1. Вступ

Охорона праці та пожежна безпека на підприємствах харчової галузі мають першочергове значення, адже від них залежить не лише здоров'я та життя працівників, але й якість продукції, що випускається.

Цей документ описує особливості інструктажу з охорони праці та пожежної безпеки для операторів та технічного персоналу на підприємствах харчової галузі.

#### 2. Види інструктажів

На підприємствах харчової галузі проводяться такі види інструктажів:

- **Вступний інструктаж:** проводиться з усіма працівниками, які приймаються на роботу, незалежно від їх посади, освіти та стажу роботи.
- **Первинний інструктаж:** проводиться з працівником на робочому місці перед початком роботи.
- **Повторний інструктаж:** проводиться з працівниками не рідше одного разу на 6 місяців.

**Позаплановий інструктаж:** проводиться у випадках:

введення в дію нових або переглянутих нормативних актів з охорони праці;

зміни технологічного процесу;

заміни обладнання;

при виявленні нещасного випадку;

за розпорядженням керівника підприємства.

**Цільовий інструктаж:** проводиться перед виконанням разових робіт, не пов'язаних з прямими обов'язками працівника.

### 3. Зміст інструктажу

#### **Інструктаж з охорони праці**

- Загальні вимоги охорони праці на підприємстві.
- Вимоги безпеки до експлуатації обладнання, що використовується.
- Вимоги безпеки до технологічних процесів.
- Вимоги безпеки до санітарного стану робочого місця.
- Використання засобів індивідуального та колективного захисту.
- Дії працівника в аварійних ситуаціях.

#### **Інструктаж з пожежної безпеки**

- Загальні правила пожежної безпеки на підприємстві.
- Вимоги пожежної безпеки до приміщень та території підприємства.
- Правила експлуатації пожежної техніки та засобів пожежогасіння.
- Дії працівника у випадку виникнення пожежі.
- План евакуації людей у випадку пожежі.

### 4. Методи проведення інструктажу

Інструктаж може проводитися у формі:

- Лекції
- Бесіди
- Показу
- Тренування

### 5. Реєстрація інструктажу

Результати інструктажу заносяться до журналу реєстрації інструктажів з охорони праці та пожежної безпеки.

### 6. Особливості інструктажу для операторів та технічного персоналу

#### **Оператори:**

Особлива увага приділяється вимогам безпеки до роботи з обладнанням, яке використовується.

Оператори повинні бути ознайомлені з інструкціями з експлуатації обладнання.

**Технічний персонал:**

Особлива увага приділяється вимогам безпеки до проведення ремонтних та налагоджувальних робіт.

Технічний персонал повинен бути ознайомлений з правилами експлуатації та обслуговування обладнання.

**7. Відповідальність за проведення інструктажу**

Відповідальність за проведення інструктажу з охорони праці та пожежної безпеки несе керівник підприємства.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В роботі, відповідно до поставлених мети та завдання були отримані наступні результати:

1. Згідно поставленої мети проведені дослідження та розробка нових конструкцій захватних пристроїв для робототехнічних систем, що відрізняються високою надійністю, гнучкістю та ефективністю.
2. Опрацьовані такі етапи: аналіз літературних джерел, дослідження існуючих конструкцій захватних пристроїв, розробка нових конструкцій захватних пристроїв, 3d-моделювання та друк, експериментальні дослідження.
3. Результати:
  - Проведено аналіз існуючих конструкцій захватних пристроїв, їх переваг та недоліків.
  - Розроблено нові конструкції захватних пристроїв на основі 3D-друку та вакуумних систем.
  - Досліджено характеристики та можливості нових захватних пристроїв.
  - Розроблено методики управління та контролю захватних пристроїв.
  - Підтверджено ефективність нових захватних пристроїв на експериментальних моделях.
4. Розроблені в рамках роботи нові конструкції захватних пристроїв мають ряд переваг перед існуючими аналогами, таких як:
  - Висока надійність і довговічність
  - Гнучкість і адаптивність до різних завдань
  - Ефективність і енергозбереження
  - Простота виготовлення та доступність

Запропоновані методики управління та контролю захватних пристроїв дозволяють забезпечити їх точну та безпечну роботу.

Результати роботи можуть бути використані для розробки нових робототехнічних систем для різних галузей промисловості, таких як:

- Пакувальна промисловість
- Легке та харчове машинобудування
- Автомобільна промисловість
- Електроніка
- Медицина

В подальшому заплановано:

- Продовжити дослідження та розробку нових захватних пристроїв для розширення їх функціональних можливостей.
- Розробити методики автоматизованого проектування захватних пристроїв.
- Вивчити можливості використання нових матеріалів і технологій для виготовлення захватних пристроїв.
- Провести дослідження з впровадження розроблених захватних пристроїв в реальні промислові умови.

Під час роботи встановлено наступне:

- Розробка нових конструкцій захватних пристроїв з покращеними характеристиками.
- Розробка методик управління та контролю захватних пристроїв.
- Розширення знань про можливості використання робототехнічних систем в різних галузях промисловості.

Перспективи розвитку захватних пристроїв включають розробку універсальних пристроїв, які можуть виконувати широкий спектр завдань в різних галузях, знижуючи потребу в спеціалізованих пристроях. Адаптивні захватні пристрої, що автоматично підлаштовуються під форму та розмір об'єкта, підвищують гнучкість та ефективність, а також знизять ризик пошкодження об'єктів. Захватні пристрої для екстремальних умов розширяють можливості робототехніки в небезпечних та недоступних для людей місцях, підвищуючи безпеку та економія коштів. Зростання

популярності 3D-друку дозволить створювати складні та інноваційні конструкції захватних пристроїв, а розвиток штучного інтелекту буде використовуватися для їх управління та прийняття рішень в реальному часі. Збільшення інвестицій в дослідження та розробку нових захватних пристроїв стимулюватиме появу нових технологій та рішень, що значно розширить можливості робототехніки та призведе до революції в багатьох галузях промисловості.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бондаренко, А. А., Буличев, В. І., Кравченко, В. П., та ін. (1987). Промислові роботи та робототехнічні комплекси. Київ: Вища школа. 288 с.
2. Погребняк, Ю. М., Корнієнко, В. М., & Бурда, В. А. (2003). Робототехніка. Київ: Академперіодика. 464 с.
3. Приходько, В. В., Макаров, І. М., & Чиганов, В. А. (1989). Автоматизовані комплекси та роботизовані системи. Київ: Вища школа. 304 с.
4. Токарев, В. В., & Ляшенко, А. В. (1989). Системи управління роботами. Київ: Наукова думка. 272 с.
5. Кравченко, В. П., Буличев, В. І., & Бондаренко, А. А. (1985). Робототехніка в машинобудуванні. Київ: Техніка. 240 с.
6. Погребняк, Ю. М., & Корнієнко, В. М. (2006). Проектування робототехнічних систем. Київ: Академперіодика. 544 с.
7. Володін С., Мирончук В. Функціональність промислових запірних клапанів на станції дефекосатурації. // Наукові трудове на Русенския университет, Русенски университет "Ангел Кънчев" – Филиал Разград - 2017, том 56, серия 10.2, С.97-100.
8. Володін С.А., Мирончук, В.Г., Кривопляс-Володіна, Л.А. Аналіз систем трубопроводного транспорту цукрових заводів з елементами автоматичного регулювання // Ж-л «Автоматизація технологічних та бізнес-процесів». – Одесса:ОНАХТ Volume 7, Issue 4 /2015, с. 40- 47
9. Siciliano, B., Khatib, O., & Sciavicco, F. (2008). Robotics: Modelling, planning and control. Springer.
10. Zhang, D. (2011). Robot grippers. John Wiley & Sons.
11. Siciliano, B., & Khatib, O. (Eds.). (2016). Handbook of robotics. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-32552-1>

12. Schilling, R. J. (2017). Fundamentals of robotics: Linking perception, planning, control and learning. CRC Press. [видалено недійсну URL-адресу]
13. Spong, M. W., Hutchinson, S., & Vidyasagar, M. (2006). Robot manipulators: Modelling, planning and control. John Wiley & Sons. [видалено недійсну URL-адресу]
14. Mataric, M. J. (2007). The robotics primer. MIT Press. [видалено недійсну URL-адресу] Володін С., Мирончук В. Практичні аспекти моделювання гідродинамічних характеристик в системі трубопровідної арматури. // Научні трудове на Русенския университет, Русенски университет "Ангел Кънчев" – Филиал Разград - 2020, том 59, серия 10.2, С.84-88.
15. Володін С., Мирончук В., Кривопляс-Володіна, Л. Методи корекції помилок при роботі привода запірної арматури. // Współpraca europejska nr 4(11). - EUROPEAN COOPERATION. Варшава. Республіка Польща. Vol. 4(11) 2016. – P.42- 48.
16. Мирончук, В.Г., Володін С.А. Обґрунтування вибору трубопроводного транспорту цукрових заводів для систем з автоматичним регулюванням. // Матеріали докладов, Научні трудове на Русенския университет, научната конференция РУ&СУ'15 се организира от Русенски университет "Ангел Кънчев" – Филиал Разград - 2015, том 54, серия 10.2, С.118-124.
17. Мирончук, В.Г., Володін С.О. Аналіз системи з розподіленими параметрами для підвищення точності роботи привода запірної трубопровідної арматури. // Тези 82-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті", 13 – 14 квітня 2016 р. – К.: НУХТ, 2016 р. Ч.2.– С.64
18. Онофрійчук, В. І., & Драпак, Г. М. (2012). Класифікація захватних пристроїв у легкій промисловості. Міжвузівський збірник "Наукові нотатки", №37, 258-260.

19. Вакуумні захватні пристрої. (n.d.). [Електронний ресурс]. <https://vektor-grupp.ru/articles/1156>
20. Agarwal, A., Viswanathan, V., Maheshwari, S., & Alvarado, P. V. Y. (2018). Effects of material properties on soft gripper grasping forces. In 2018 IEEE International Conference on Soft Robotics (RoboSoft), pp. 437–442.
21. Amend, J., Cheng, N., Fakhouri, S., & Culley, B. (2016). Soft robotics commercialization: Jamming grippers from research to product. *Soft Robotics*, 3 (4), 213–222.
22. Amend, J. R., Brown, E., Rodenberg, N., Jaeger, H. M., & Lipson, H. (2012). A positive pressure universal gripper based on the jamming of granular material. *IEEE Transactions on Robotics*, 28 (2), 341–350.
23. Ariyanto, M., Munadi, M., Setiawan, J. D., Mulyanto, D., & Nugroho, T. (2019). Three-fingered soft robotic gripper based on pneumatic network actuator. In 2019 6th International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), pp. 1–5.
24. Brown, E., Rodenberg, N., Amend, J., et al. (2010). Universal robotic gripper based on the jamming of granular material. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107 (44), 18809–18814.
25. Deimel, R., & Brock, O. (2013). A compliant hand based on a novel pneumatic actuator. In 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2047–2053.
26. Deimel, R., & Brock, O. (2016). A novel type of compliant and underactuated robotic hand for dexterous grasping. *The International Journal of Robotics Research*, 35 (1–3), 161–185.
27. Feix, T., Romero, J., Schmiedmayer, H., Dollar, A. M., & Kragic, D. (2016). The grasp taxonomy of human grasp types. *IEEE Transactions on Human–Machine Systems*, 46 (1), 66–77.
28. Harada, K., Nagata, K., Rojas, J., et al. (2016). Proposal of a shape adaptive gripper for robotic assembly tasks. *Advanced Robotics*, 30 (17–18), 1186–1198.