

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого
Кафедра Мехатроніки та пакувальної техніки

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)

Серій Білашанко
(підпис) (ім'я та прізвище)

« 11 » 02 2024р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Володимир Кравченко
(підпис) (ім'я та прізвище)

« 19 » 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: Підвищення ефективності та модернізація мехатронного модуля
робота-маніпулятора пакувальної машини

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

Клементьев Владислав Костянтинович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Бурова Зінаїда Андріївна

(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

Юрій ВЕРЕСОЦЬКИЙ

(ім'я та прізвище)

(підпис)

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

Здобувач

(підпис)

Київ – 2024 р.

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» 11 2023 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Клементьєва Владислава Костянтиновича
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Підвищення ефективності та модернізація мехатронного модуля робота-маніпулятора пакувальної машини

керівник роботи Бурова Зінаїда Андріївна, канд.техн.наук, доцент
(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 захоплення одиниць продукції. 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 стор.

Лист 1. Загальний вигляд робота-маніпулятора

Лист 2. Загальний вигляд пристрою захоплення

6. Консультанти розділів роботи

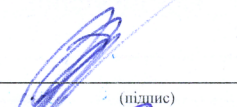
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 20.11.2023р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Огляд робототехнічних комплексів та систем	<u>15.12.2023</u>	
2	Розділ 2. Аналіз структури, кінематики і компоновки	<u>02.01.2024</u>	
3	Розділ 3. Кінематичні та динамічні дослідження	<u>15.01.2024</u>	
4	Розділ 4. Експериментальні дослідження	<u>22.01.2024</u>	
5	Розділ 5. Охорона праці	<u>29.01.2024</u>	
6	Висновки, список літературних джерел	<u>02.02.2024</u>	
7	Оформлення текстової частини роботи	<u>05.02.2024</u>	
8	Оформлення графічної частини роботи	<u>09.02.2024</u>	


Здобувач освіти


(підпис)

Владислав КЛЕМЕНТЬЄВ

(ім'я та прізвище)

Керівник роботи


(підпис)

Зінаїда БУРОВА

(ім'я та прізвище)

«20» 11

2023р.

АНОТАЦІЯ

Підвищення ефективності та модернізація мехатронного модуля робота-маніпулятора пакувальної машини

У харчовій та пакувальній сферах широко використовуються мехатронні та робототехнічні модулі, особливо для вирішення різноманітних технологічних завдань. Основними критеріями вибору таких систем є їх гнучкість у переналаштуванні для оброблення різних об'єктів, енергоефективність та компактність. Це дозволяє реалізувати різноманітні алгоритми та забезпечує виконання вимог технологічних процесів обробки та пакування харчових продуктів. Актуальність обраної теми обумовлена необхідністю удосконалення виробничих процесів шляхом автоматизації, що сприятиме оптимізації контрольних процедур та можливій заміні окремих етапів виробництва. На сучасному етапі розвитку роботів-маніпуляторів закордонного виробництва виникає суттєва проблема – їх висока вартість, тоді як в Україні відсутнє виробництво аналогічних моделей. Це ускладнює можливість використання роботів-маніпуляторів у вітчизняному виробництві та обмежує доступність для багатьох виробників та компаній.

Мета дослідження: модернізація мехатронного модуля робота-маніпулятора та забезпечення утримання продукції пневматичним пристроєм захоплення. Для досягнення цієї мети потрібно вирішити наступні завдання:

1. Виконати кінематичний та динамічний аналізу пристрою захоплення маніпулятора;
2. Обробити переміщення для ланки вихідного маніпулятора у вигляді послідовності рухів кожної з узагальнених координат робота-маніпулятора;
3. Побудувати залежність математичного пошуку лінійної швидкості і прискорення робота для вихідної ланки маніпулятора у системі координат;
4. Виконати моделювання конструкції губок пристрою захоплення та проаналізувати параметри захоплення упаковки.

Методика кінематичного та динамічного аналізу маніпулятора складається з наступних етапів: розроблення математичної моделі маніпулятора; створення програмного забезпечення; розроблення математичного моделювання руху маніпулятора; формулювання початкових умов; проведення аналізу і обробка отриманих результатів для обґрунтування вибору кінцевої роботи модуля. Поставлене завдання полягає у вирішенні задач динамічного та кінематичного аналізів маніпулятора за допомогою сучасних пакетів програмного забезпечення, що дозволить здійснити проектування ефективної роботи маніпулятора для упакування харчових продуктів.

Структура роботи включає вступ, п'ять основних розділів, загальні висновки та список використаних джерел. Обсяг магістерської роботи складає 111 сторінки, а кількість літературних джерел становить 32.

Ключові слова: мехатронний модуль, модернізація, маніпулятор, захоплення, пакування.

ABSTRACT

The efficiency improvement and modernizing the mechatronic module of the packaging machines robotic manipulator

Mechatronic and robotic modules are widely used in the food and packaging industries, especially for solving various technological tasks. The main criteria for choosing such systems are their flexibility in reconfiguring for processing different objects, energy efficiency, and compactness. This allows the implementation of various algorithms and ensures the fulfilment of the requirements for food processing and packaging technological processes. The relevance of the chosen topic is due to the need to improve production processes through automation, which will contribute to the optimization of control procedures and possible replacement of individual stages of production. At the current stage of development, the foreign-produced manipulator robots, there is a significant problem – their high cost, while there is no production of similar models in Ukraine. This complicates the possibility for using manipulator robots in domestic production and limits the affordability for many manufacturers and companies.

Research objective: modernization the mechatronic module of the robot-manipulator and ensuring the retention of product by a pneumatic gripping device. To achieve this goal, the following tasks must be solved:

1. Perform kinematic and dynamic analysis of the manipulator's gripping device;
2. Process the movements for the link of the initial manipulator as a sequence of motions for each generalized coordinate of the robot manipulator;
3. Construct a mathematical dependence for linear velocity and acceleration search for the manipulator's initial link in the coordinate system;
4. Conduct modelling of the gripping device's jaw's structure and analyse the parameters of package gripping.

The procedure for executing kinematic and dynamic analyses of the manipulator entails several critical stages: formulating a comprehensive mathematical model of the manipulator, creating sophisticated software, conducting intricate mathematical simulations of manipulator movements, setting up initial conditions, rigorously analysing the results obtained, and meticulously processing them to justify the selection of the final module's functionality. The task is to solve problems of dynamic and kinematic analysis of a manipulator using modern software packages, which will allow to design the efficient manipulator for the food products packaging.

The structure of the work includes an introduction, five main chapters, general conclusions and a list of used literature sources. The volume of the master's thesis is 111 pages, and the number of literary sources is 32.

Key words: mechatronic module, modernization, manipulator, capture, packaging.

ЗМІСТ

	стор.
ЗМІСТ	8
ВСТУП	10
Розділ 1. ОГЛЯД РОБОТОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ І СИСТЕМ МАНІПУЛЯТОРІВ У СКЛАДІ ПАКУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	12
1.1. Основні поняття та визначення робототехнічних пристроїв.....	12
1.2. Аналіз технологічних схем пакувального обладнання із залученням робототехнічних пристроїв і маніпуляторів	20
Висновки до розділу 1	35
Розділ 2. АНАЛІЗ СТРУКТУРИ, КІНЕМАТИКИ І КОМПОНОВКИ РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА.....	36
2.1. Класифікація роботів маніпуляторів.....	36
2.2 Структура роботів маніпуляторів і робото-транспортних установок.....	42
2.3. Моделювання динамічної взаємодії ПЗП з вантажем при його транспортуванні по прямолінійній траєкторії.....	50
Висновки до розділу 2	62
Розділ 3. КІНЕМАТИЧНІ ТА ДИНАМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИЗОВАНИХ ПРИСТРОЇВ ЗАХОПЛЕННЯ МАНІПУЛЯТОРА	63
3.1. Класифікація пристроїв захоплення.....	63
3.2. Розрахунок пристроїв захоплення.....	70
3.3. Синтез пристрою захоплення на базі існуючих моделей.....	79
3.3.1 Важільний захват серії CGSN.....	79
3.3.2.Розробка конструкції елементів захоплення для серії CGPT.....	80

3.3.3. Розробка схеми керування пневмопристроєм захоплення серії CGPT	83
Висновки до розділу 3	89
Розділ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПНЕВМАТИЧНИХ ПРИСТРОЇВ ЗАХОПЛЕННЯ У СКЛАДІ МАНІПУЛЯТОРА	90
4.1. Аналіз існуючих конструкцій	90
4.2. Розроблення математично-статистичної моделі дослідження	98
Висновки до розділу 4	100
Розділ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	101
Висновки до розділу 5	107
ВИСНОВКИ.....	108
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	109

ВСТУП

У сучасному промисловому виробництві концепція "ефективності" стає все більш важливою, оскільки підприємства прагнуть оптимізувати процеси та забезпечити максимальний вихід продукції при мінімальних затратах. Однією з ключових галузей, що визначає успіх у виробництві, є роботизовані системи, зокрема мехатронні модулі роботів-маніпуляторів, що застосовуються в пакувальних машинах. Підвищення їх ефективності та модернізація стають важливим завданням для підприємств, оскільки це дозволяє забезпечити не лише збільшення продуктивності, а й зниження витрат та підвищення якості виробництва.

Ця тема не лише відображає актуальні технологічні та індустріальні тенденції, але й відкриває широкі перспективи для впровадження інновацій та розвитку виробництва. У даному вступі ми докладніше розглянемо сутність проблематики підвищення ефективності та модернізації мехатронних модулів роботів-маніпуляторів в пакувальних машинах, проаналізуємо ключові аспекти, які впливають на цей процес, та обговоримо можливі шляхи оптимізації та вдосконалення цих систем.

Почнемо з розгляду сутності мехатронних модулів роботів-маніпуляторів в пакувальних машинах. Мехатроніка, яка представляє собою інтеграцію механічних, електронних та програмних компонентів, забезпечує високу функціональність та автоматизацію робочих процесів. Роботи-маніпулятори, що використовуються у пакувальних машинах, виконують різноманітні завдання, такі як збирання, сортування та пакування продукції, забезпечуючи швидкість та точність виконання робіт.

Однак, не дивлячись на технологічну передовість таких систем, існують деякі проблеми та обмеження, які перешкоджають досягненню максимальної ефективності виробництва. Однією з найбільш поширених проблем є обмежені можливості існуючих мехатронних модулів у взаємодії з іншими системами виробництва, що може призводити до затримок та збоїв у роботі. Крім того, відмінність між об'єктами, які необхідно обробляти, може вимагати

постійного налаштування та переналаштування систем, що зменшує продуктивність та підвищує час переустановки.

Ще однією важливою проблемою є потреба у підвищенні швидкості та точності роботи, особливо в умовах високої виробничої масштабності. Це може вимагати вдосконалення алгоритмів управління та використання більш продуктивних технологій та матеріалів для виготовлення компонентів робочих систем. Крім того, розвиток нових методів виявлення та корекції помилок в реальному часі може допомогти у забезпеченні неперервності процесу виробництва та уникненні непередбачених проблем.

У контексті постійно зростаючих вимог до якості та ефективності виробництва, модернізація мехатронних модулів роботів-маніпуляторів стає необхідністю для підприємств, що прагнуть залишатися конкурентоспроможними на ринку. Така модернізація може включати у себе впровадження нових сенсорів та датчиків для покращення системи відслідковування об'єктів, розробку більш інтелектуальних алгоритмів управління, а також використання передових матеріалів для зменшення ваги та збільшення маневреності роботів.

Крім того, важливим аспектом модернізації є інтеграція мехатронних модулів з іншими системами виробництва, що дозволяє забезпечити повну автоматизацію та оптимізацію всіх процесів. Це може включати у себе розробку стандартизованих інтерфейсів для спільної роботи з іншими пристроями та системами, а також використання відкритих протоколів зв'язку для спрощення інтеграції.

Отже, висока ефективність та модернізація мехатронних модулів роботів-маніпуляторів у пакувальних машинах відіграють важливу роль у забезпеченні конкурентоспроможності та стабільності виробництва. Для досягнення цієї мети необхідно постійно вдосконалювати технології та методи управління, використовуючи передові наукові досягнення та інженерні рішення. Тільки таким чином підприємства зможуть успішно протистояти викликам сучасного ринку та забезпечити стабільний розвиток у майбутньому.

Розділ 1. ОГЛЯД РОБОТОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ І СИСТЕМ МАНІПУЛЯТОРІВ У СКЛАДІ ПАКУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1. Основні поняття та визначення робототехнічних пристроїв

З'явлення роботизованих виробничих систем на початку 80-х років ХХ століття має історичні корені, пов'язані із змінами у різних галузях промисловості. Ці зміни полягали в переході від автоматизаційних систем із жорстким цикловим управлінням до гнучких виробничих систем, що могли оперативно змінювати асортимент виробів. Цей перехід виник від необхідності суспільства у товарах із скороченим життєвим циклом, тобто виробів, які могли швидко модернізувати свої технічні характеристики.

Створенню роботизованих виробничих систем передував етап широкого впровадження верстатного обладнання із числовим програмним управлінням. Соціальна важливість роботизованих систем обґрунтована переходом функцій від особистої участі людини в обробці матеріалів і виробів до функцій програмування й налагодження виробничого обладнання.

У теорії організації виробництва одним із ключових понять є концепція типу виробництва. Це поняття визначає комплексну організаційно-технологічну характеристику виробничого процесу, яка враховує ступінь його спеціалізації, різноманітність та стабільність асортименту виробів, обсяги виробничих партій, що запускаються, і регулярність випуску виробів. Тип виробництва визначає методи, за якими відбувається управління та організація як виробничого процесу, так і всієї виробничо-господарської діяльності підприємства.

Згідно з довідковою літературою, робот - це автоматична машина, яка включає перепрограмований пристрій управління та інші технічні засоби для виконання дій, що характерні для людини в процесі трудової діяльності. Найбільш розвинений робот може самостійно приймати рішення, адаптуватися до зовнішнього середовища та виконувати різноманітні трудові завдання. Характерною особливістю роботів є здатність швидко

переналаштовуватися для автоматичного виконання різних завдань, передбачених програмою.

Наразі не існує загальноприйнятого визначення промислового робота. В Японії, наприклад, під промисловим роботом розуміють автомати зі змінною програмою, які використовуються для автоматизації ручних операцій. За цим визначенням промисловий робот, так само, як і людина, має фізичні, функціональні та розумові можливості. Функціональні можливості включають пристосованість та рухливість, а розумові - здатність до відчуття і сприйняття, пам'ять, логіку і навчання. Визначення промислового робота, прийняте в Україні, описує його як автономну автоматичну машину з маніпулятором та програмним управлінням, призначену для виконання операцій виробничого циклу без участі людини.

В технічній літературі широко використовується коротке визначення: промисловий робот - перепрограмований автоматичний маніпулятор промислового застосування. Важливо уникати використання терміна "робот-маніпулятор", який іноді з'являється в друкованих виданнях. Маніпулятор - це виконавчий пристрій для виконання рухових функцій, а об'єкт маніпулювання може бути різними тілами, такими як заготовки, деталі, інструменти і технологічне оснащення.

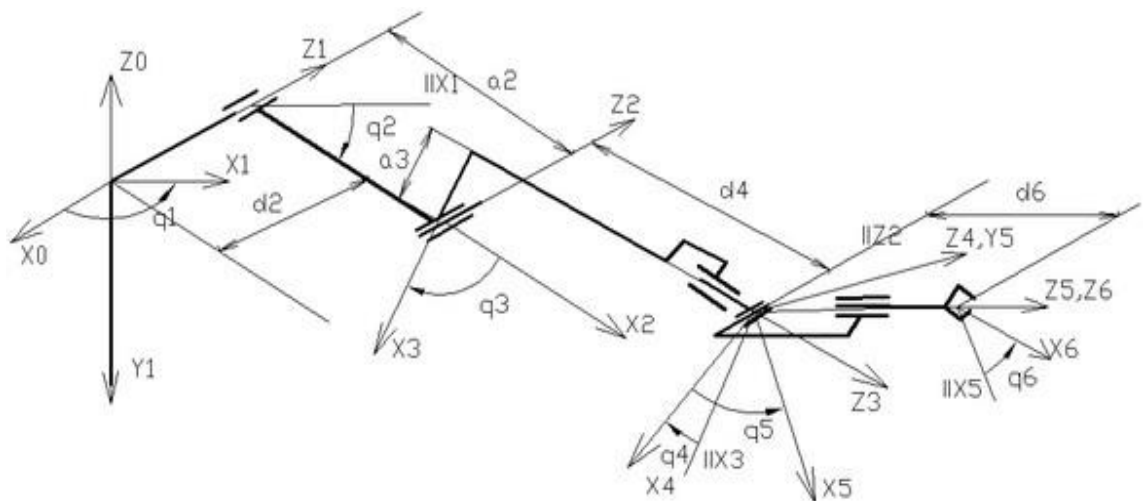


Рис. 1.1 Кінематична модель ПР PUMA-01

Важливі параметри систем координат для динамічного аналізу зручно визначати, використовуючи систему координат з початком в шарнірах, яку представили Денавіт та Хартенберг. Вони використовують метод послідовного формування систем координат для створення кінематичної схеми.

До числа автоматичних роботів маніпуляторів можна віднести автооператорів. Автооператор - це автоматично діючий пристрій з виконавчим органом у вигляді маніпулятора, засобами пересування і неперепрограмованою системою управління. Такі пристрої зазвичай виконують прості операції та використовують системи циклової автоматики для управління. Регулювання або заміна кінематичних ланок може бути необхідним для переналаштування автооператора.

Визначення РТС (Робототехнічна система) представляє собою збірну структуру інформаційно-сенсорних, механічних виконавчих та керуючих пристроїв, які спільно функціонують для виконання визначеного технологічного процесу чи операції. РТС реалізується у формі комплексу технологічного та транспортного обладнання, який включає промислові роботи, що виконують основні чи допоміжні технологічні операції в умовах автоматизованого виробництва. Робототехнічна система представляє собою інтегровану сукупність підсистем, включаючи:

- 1) комп'ютеризовану інженерно-технологічну службу;
- 2) комплекс автоматизованого технологічного обладнання з інтегрованою системою контролю, включаючи промислових роботів;
- 3) автоматизовану транспортну систему, що поєднує склад заготовок, підсистему упорядкування виробничого середовища та склад готової продукції;
- 4) загальну систему автоматичного керування виробничим комплексом.



Рис. 1.2. Узагальнена схема РТС

Класифікація роботизованих виробничих систем проводиться з урахуванням кількох ключових аспектів, включаючи область застосування, рівень розвиненості структури, гнучкість, ступінь автоматизації, функціональне призначення системи управління обладнанням і тип конфігурації АТСС (див. рис. 1.3).



Рис. 1.3. Класифікація РТС

За рівнем розвиненості структури виокремлюють п'ять рівнів роботизованих виробничих систем (РТС):

1) Роботизований виробничий модуль (комірка): це переналагоджувальна на конкретну номенклатуру виробів одиниця основного технологічного обладнання. Вона обладнана пристроями програмного керування, можливістю заміни інструменту, автоматичного видалення виробів (автооператор або ПР), системами накопичення початкового матеріалу та напівфабрикатів, пристроями для видалення відходів, а також системами контролю та налаштування технологічного процесу та корекції якості виробу. Модуль здійснює повторювані автоматичні цикли, призначений для автономної роботи і може бути вбудований в систему більш високого рангу.

2) Роботизована виробнича лінія – це комплекс, що включає дві чи більше одиниці основного технологічного обладнання або роботизованих модулів, які взаємодіють завдяки системі автоматичного керування і транспортно-нагромаджувальним системам. Ця лінія може бути адаптована для виробництва продукції певної номенклатури в рамках технічних обмежень та обладнання. Її особливістю є організація матеріальних потоків між різними одиницями технологічного обладнання.

3) Роботизована виробнича ділянка – це концепція, ідентична гнучкій виробничій лінії, за винятком того, що організація матеріального потоку на цій ділянці здійснюється незалежно для кожної окремої одиниці технологічного обладнання.

4) Роботизований виробничий цех представляє собою комплекс гнучких ділянок, ліній та модулів, спроектований для послідовного виконання технологічного процесу і здатний бути переналагоджуваним для виготовлення продукції конкретної номенклатури.

5) Гнучкий переналагоджуваний завод представляє собою комплекс гнучких виробничих цехів, ліній, ділянок і модулів, таких як ливарні, ковальсько-пресові, металорізні, термічні, мийні, сушильні, контрольні, складальні, консерваційні, пакувальні та інші, оснащених основним

обладнанням. Цей комплекс здатен переналагоджуватися для виконання різноманітних технологічних процесів при виробництві різних видів продукції.

Робот представляє собою автоматичну систему, що включає перепрограмований блок управління та інші технічні пристрої, спроможні здійснювати визначені дії, що характерні для людей під час трудової діяльності. Сучасний робот визначається як машина, здатна самостійно та в координації вирішувати завдання, пов'язані з власним вдосконаленням, адаптацією до навколишнього середовища та виконанням різноманітних технологічних завдань. Роботи, різнячись за технічним рівнем, параметрами систем управління, інформаційним забезпеченням і виконавчими органами, входять в широкий клас машин, спрямованих на виконання різноманітних операцій. Спільною характеристикою роботів є їхня можливість ефективного перепрограмування для автоматичного виконання різних завдань, передбачених програмою.

Промисловий робот є автоматизованою машиною, яка програмується та використовується в промисловому виробничому процесі для здійснення рухових операцій, аналогічних тим, які виконує людина, у переміщенні предметів виробництва та обробці технологічної оснастки. Для виконання цих завдань промисловий робот оснащений маніпулятором та системою управління.

Маніпулятор – пристрій, розроблений для емуляції рухових та працюючих функцій верхньої кінцівки людини і оператором (у випадку біотехнічних маніпуляторів) або автоматично. Автооператори, що також включаються в категорію автоматичних маніпуляторів промислового призначення, обмежені кількістю ступенів свободи, яка, як правило, не перевищує 3, і вони діють в рамках жорсткого циклу, на відміну від програмованих роботів-маніпуляторів.

Виробничі об'єкти, що переміщуються у просторі маніпулятора, розглядаються як об'єкти маніпулювання. Серед них можуть бути вказані заготовки, деталі, складальні з'єднання, пристрої захоплення, а також допоміжні, вимірювальні або обробляючі інструменти. До класу роботів можна віднести маніпулятори з інтерактивним управлінням, які періодично керуються оператором та діють автоматично. В порівнянні з біотехнічними маніпуляторами, ці роботи оснащені пристроями пам'яті для автоматичного виконання певних завдань. Залежно від ступеня участі оператора, інтерактивні роботи можуть працювати в двох режимах: автоматизованому, де автоматичні та біотехнічні режими керування чергуються; та супервізорному, де всі етапи зазначеного циклу операцій виконуються роботом автоматично за етапами, а перехід від одного етапу до іншого можливий лише за умови отримання оператором відповідної цілеспрямованої команди. Зазвичай інтерактивні роботи застосовуються в екстремальних умовах, таких як обслуговування атомних реакторів, маніпулювання хімічно та вибухонебезпечними речовинами або в умовах техногенних катастроф. Іншими словами, інтерактивні роботи використовуються, коли управління маніпулятором вимагає втручання людини з огляду на технічну безпеку.

Класифікація промислових роботів (рис. 1.4) проводиться з урахуванням основних характеристик, які визначають розробку конкретних типів роботів. За призначенням всі роботи групуються, і серед цих груп клас промислових роботів включає ті, що створені для автоматизації процесів та операцій у галузі машинобудування.

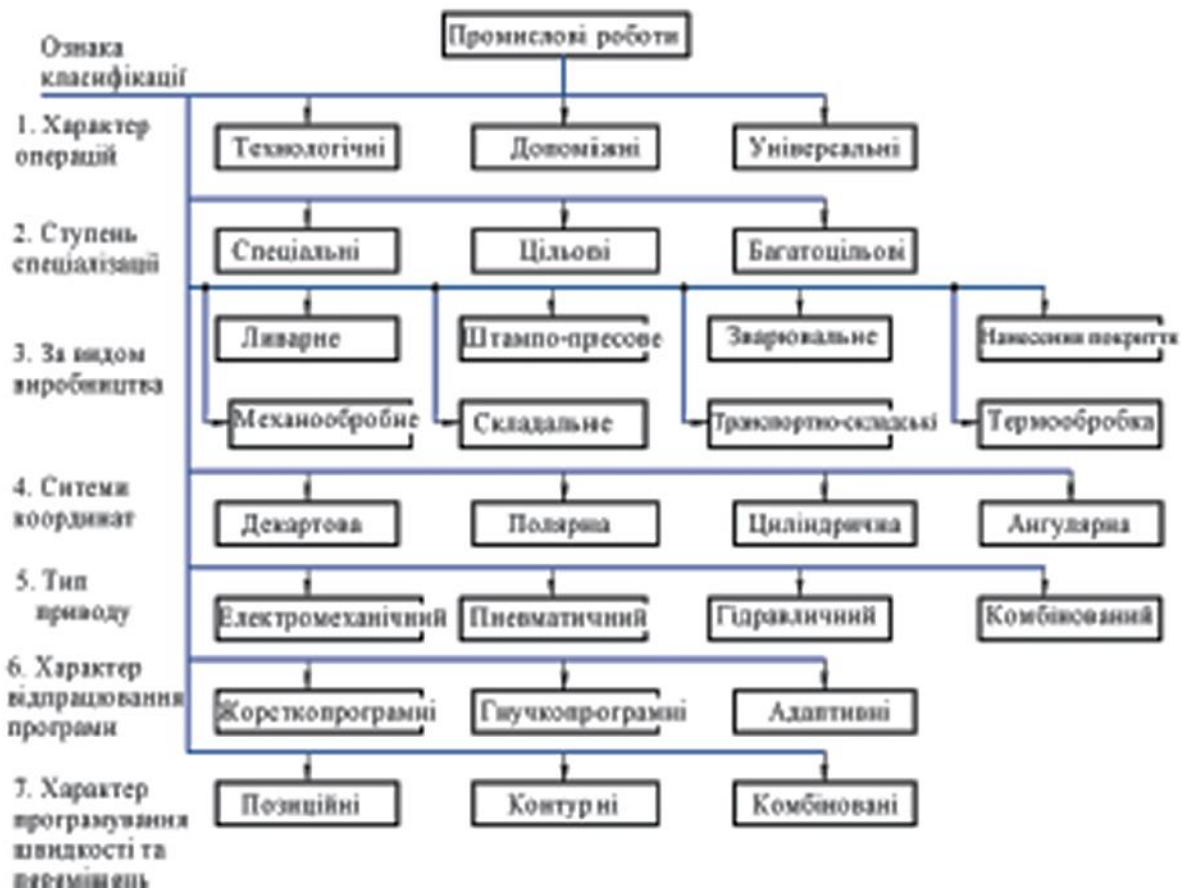


Рис. 1.4. Класифікація промислових роботів

За характером виконуваних операцій виокремлюються різні групи промислових роботів із різними виробничо-технологічними характеристиками. Серед цих груп:

- виробничі (технологічні) роботи, що забезпечують виконання основних операцій технологічного процесу, таких як обробка, складання, зварювання, фарбування тощо, і тим самим беруть участь у технологічному процесі як виробляючі або обробляючі машини;
- підйомно-транспортні (допоміжні) роботи, які використовуються для обслуговування основного технологічного обладнання, забезпечуючи автоматизацію в допоміжних операціях, таких як встановлення та зняття заготовок, деталей та інструменту, очищення баз деталей та обладнання, живлення конвеєрів, а також в транспортно-складських та інших операціях;
- універсальні роботи, які виконують різноманітні операції, як основні, так і допоміжні.

1.2. Аналіз технологічних схем пакувального обладнання із залученням робототехнічних пристроїв і маніпуляторів

Усі перелічені класифікації роботів розподіляють їх на чотири покоління згідно з базою та функціями, які вони виконують.

Роботи першого покоління (рис. 1.5) з програмної точки зору є найпростішими. Зазвичай вони працюють за програмою, записаною в пам'ять системи управління, і виконують технологічний цикл, не відхиляючись від чітких параметрів. При потребі програму можна переписати та замінити на іншу. Більшість сучасних роботів працюють за цим принципом, оскільки вони ефективно впораються з багатьма технологічними процесами для досягнення економічної вигоди.

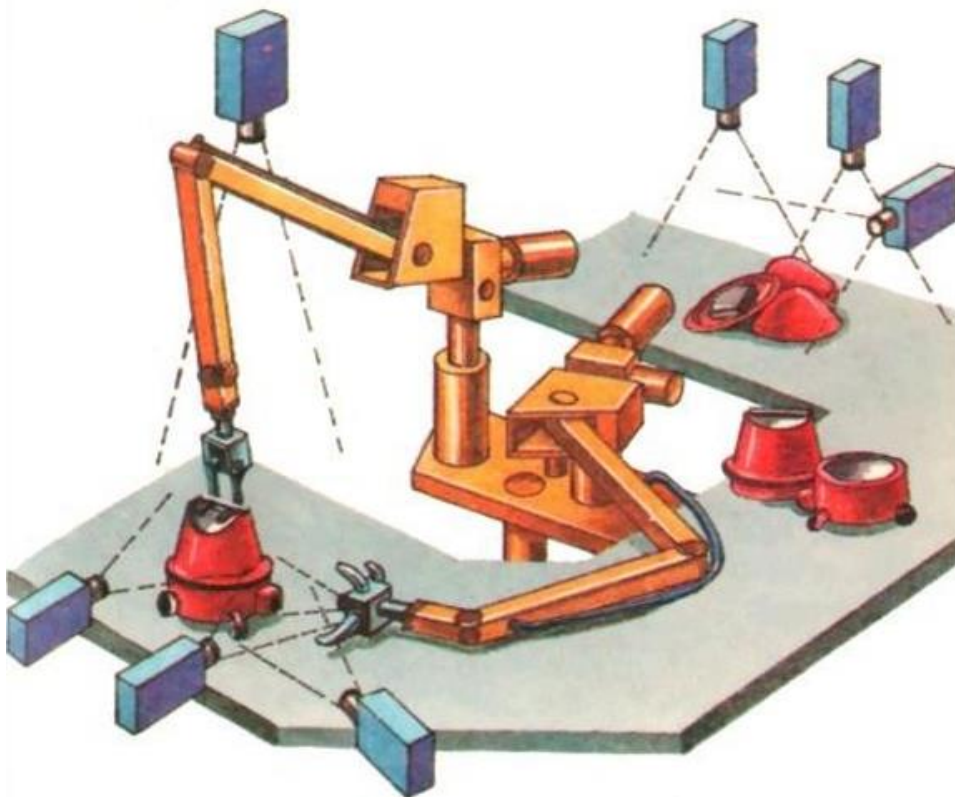


Рис. 1.5. РМ першого покоління

Роботи другого покоління вирізняються системами адаптивного відчуття. Завдяки новітній системі сенсорів такі роботи можуть миттєво пристосовуватися до найменших відхилень між реальними умовами та

програмованими параметрами. Ці високотехнологічні маніпулятори широко використовуються у складних технологічних процесах, де вимагається надзвичайно точна реакція на будь-які зміни, наприклад, на конвеєрі для автоматичного збирання складних деталей.

На рисунку 1.6 представлені роботи-маніпулятори від німецького виробника KUKA, які безперервно працюють на конвеєрі заводу Tesla Motors. Такі передові роботизовані системи відзначаються надзвичайно високим рівнем автоматизації та неймовірною точністю виробничих операцій.



Рис. 1.6. РМ другого покоління

Ці два покоління роботів відображають еволюцію від простих, програмно зорієнтованих систем до більш адаптивних, оснащених системами відчуття, що можуть ефективно працювати в змінних умовах виробництва.

Роботи третього покоління є, напевно, найскладнішими в своїй будові. Вони обладнані інтелектуальними властивостями, включаючи елементи штучного інтелекту. Ці роботи здатні самостійно приймати рішення, проводити самонавчання в процесі роботи та взаємодіяти з людиною за допомогою голосового управління.

На рисунку 1.7 представлена революційна експериментальна система, розроблена університетом Аберіствіта для проведення глибоких досліджень у біології, зокрема в галузі генетики. Ця передова система здатна власноруч приймати ключові рішення стосовно подальшого напрямку досліджень, ґрунтуючись на накопиченому досвіді та аналізі отриманих результатів.



Рис. 1.7. РМ третього покоління ADAM

Машина має здатність самостійно визначати, з якими речовинами змішувати експериментальні компоненти та розуміє результати виконаних дій. Наприклад, ця система самостійно виявила роль 12 генів у клітинах дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*, що раніше було невідомо. Такі роботи відзначаються високим рівнем автономії та інтелектуальної самостійності у виконанні завдань.

Роботи-маніпулятори створюють передумови для якісного зростання автоматизації через організацію комплексно-автоматизованих ділянок та цехів. За допомогою робототехнічних пристроїв можна інтегрувати технологічне обладнання в спільно працюючі комплекси різного рівня. Це відкриває нові можливості для ефективної організації серійного виробництва, використовуючи комплексну автоматизацію матеріальних та інформаційних потоків за допомогою промислових роботів та засобів обчислювальної техніки. Такий підхід до організації комплексної автоматизації отримав назву "інтегрованої виробничої системи". Особливості серійного виробництва, пов'язані з швидкою заміною моделей виробів, потребують створення автоматизованих систем, які володіють технологічною гнучкістю, тобто можливістю переналадження обладнання в межах науково обґрунтованого типорозмірного ряду. Робототехнічні пристрої становлять основу таких систем автоматизації, які отримали назву "гнучкої виробничої системи" (ГВС). ГВС може складатися з модулів двох типів: роботизованих технічних комплексів (РТК), де робот відповідає за обслуговування основного технологічного обладнання, і роботизованих виробничих комплексів (РВК), де робот виконує основні операції технологічного процесу, такі як складання, зварювання, фарбування, напилення тощо.

На рис. 1.8 представлено загальний вигляд Роботизованого Технічного Комплексу (РТК) для обробки деталей типу "тіла обертання" з обслуговуючим роботом порталного типу. Завантаження верстата чотирма заготовками виконується так: робот 3 бере чотири заготовки з касети 1 для завантаження верстата. Касету 1 до верстата доставляє транспортер 2 підлогового типу. Після обробки, готові деталі також повертаються у касету, що відводиться тим же транспортером-накопичувачем.

На рис. 1.9 а показано загальний вигляд Роботизованого Технічного Комплексу (РТК) для обробки деталей типу "Тіла обертання" з обслуговуючим роботом підлогового типу, а на рис. 1.9 б – загальний вигляд РТК для обробки корпусних деталей.

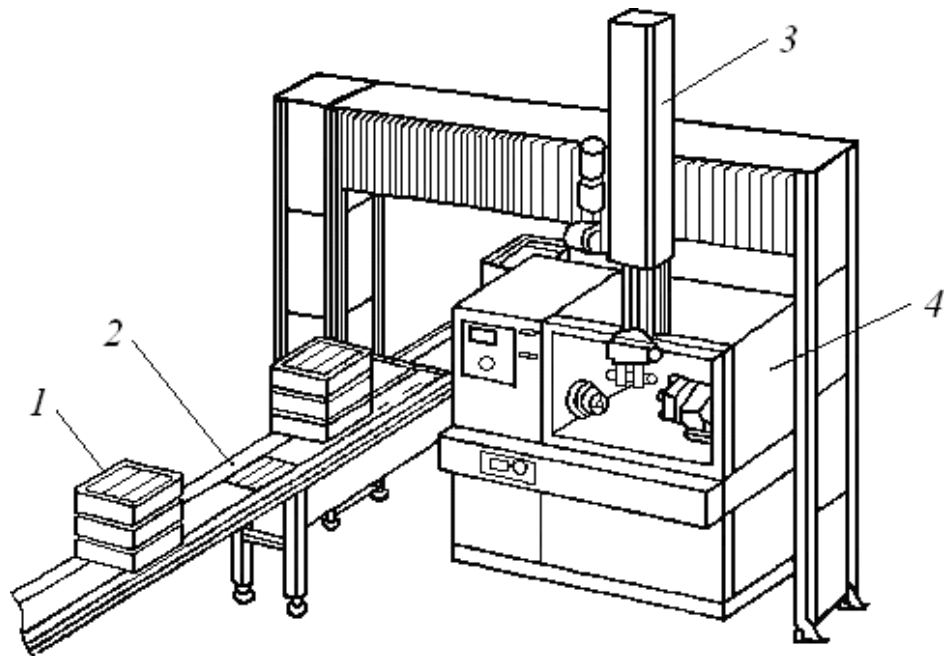


Рис. 1.8. Загальний вигляд РТК для обробки деталей типу «тіла обертання» з обслуговуючим роботом порталного типу

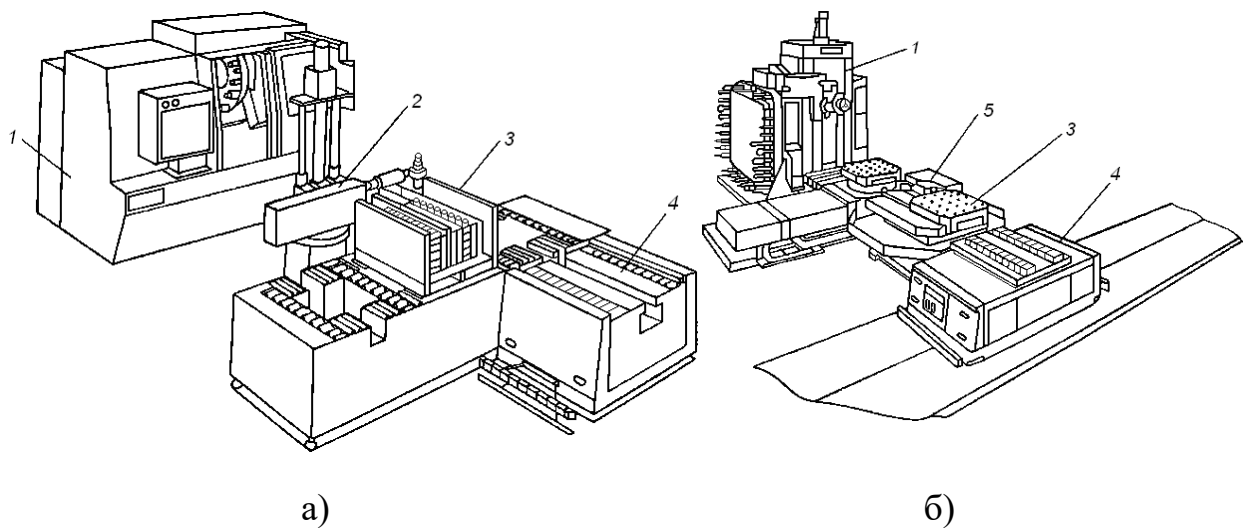


Рис. 1.9. Загальні види РТК для обробки деталей типу «тіла обертання» (а) і корпусних деталей (б): 1 – обробний центр; 2 – обслуговуючий робот; 3 – операційний накопичувачі; 4 – транспортний робот; 5 – завантажувальний пристрій

У першому випадку основу РТК складає токарний обробний центр, а в другому - фрезерно-розточний центр. Заготовки та деталі переміщуються в технологічних супутниках за допомогою роликів напрямних та

спеціального пристрою для завантаження-розвантаження, наприклад, гідроштанги. Обробні центри обладнані операційними накопичувачами, з якими взаємодіє зовнішній транспортний робот.

Варіанти компоновки Роботизованого Виробничого Комплексу (РВК) для складання виробів представлені на рис. 1.10. Складальний РВК з порталним роботом оснащений двома вібробункерами для орієнтації і накопичення деталей, а також транспортером касет з деталями і зібраними вузлами (рис. 1.10, а). РВК з одним підвісним і двома підлоговими роботами призначений для складання великих вузлів (рис. 1.10, б). Базова деталь доставляється транспортним роботом 5 під захопленням підвісної роботи, яка базує її на поворотному складному столі.

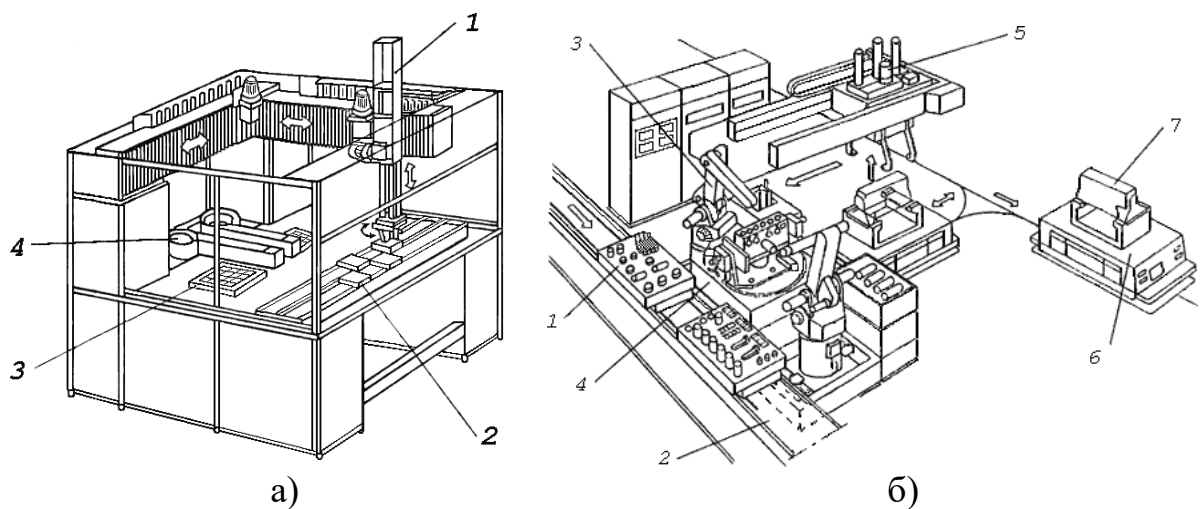


Рис. 1.10. Варіанти компоновок складальних РВК з порталних (а), підлоговими і підвісним (б) роботами: 1 – ПР; 2 – транспортер касет; 3 – касета з деталями; 4 – вібробункер; 5 – транспортний робот

На рисунку 1.11 зображено конфігурацію гнучкого виробничого комплексу (ГВК), яка включає три верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК) 2, обладнані завантажувальними роботами. Також у складі комплексу є транспортна система 4 для касет 5 з заготовками і деталями, а також розподільний підлоговий робот 3. Останній відповідає за перенесення касет з заготовками на приймальні столи кожного верстата і на операційні

накопичувачі 1. Після завершення обробки деталей, робот 3 переміщує касети з виготовленими деталями на транспортний візок 4.

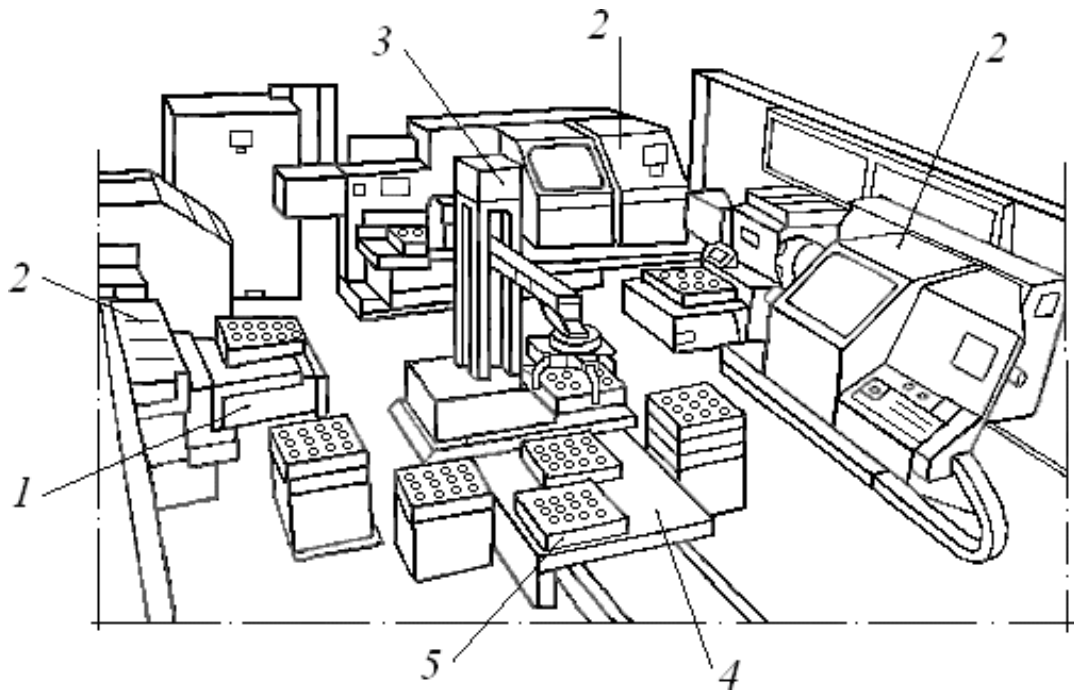


Рис. 1.11. Компонівка гнучкого виробничого комплексу механообробки тіл обертання

Завантаження заготовок в патрони 1 верстатів і видалення готових деталей з верстатів виконується роботами 2 типу НЦТМ-01, розташованими на передній бабці кожного верстата (рис. 1.11). Завантажувальний робот 2 оснащений здвоєним кліщовим захопленням 4, яке повертається на 180° . Робот бере наступну заготовку 5 з касети 7, потім виймає готову деталь 6 з патрона 1 верстата 3. Після повороту захоплення встановлює нову заготовку в патрон і переносить деталь до касети, розміщуючи її в те ж гніздо, з якого була взята заготовка.

Верстати, що входять до складу ЦПК, є токарними оброблювальними центрами, оскільки вони обладнані інструментальними магазинами і операційними накопичувачами для установки касет з заготовками. Зовнішній транспортний робот доставляє штабелі касет на ЦПК, а розподільний робот розміщує штабель касет на міжопераційний накопичувач. Потім робот виконує розкладку касет по операційним накопичувачам трьох верстатів. За

допомогою подібних РТК, РПК і ЦПК формуються гнучкі виробничі системи, гнучкі виробничі ділянки та лінії.

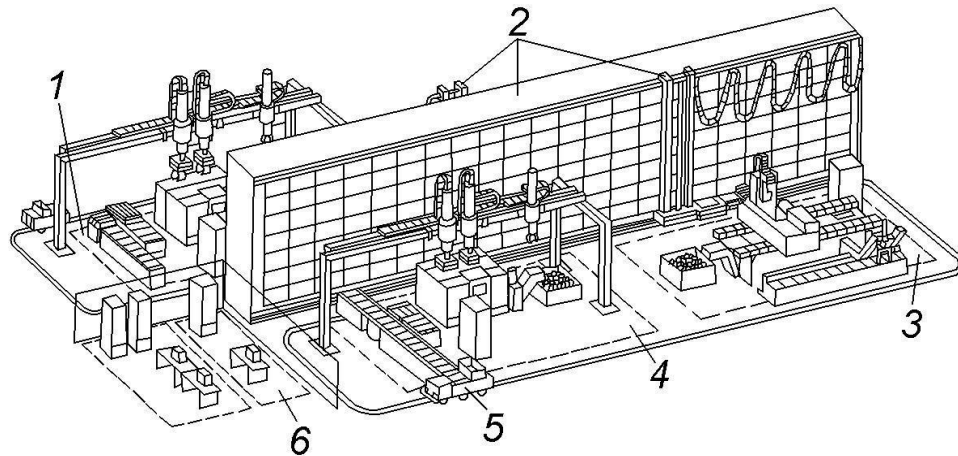


Рис. 1.12. Схема обслуговування токарного верстата з ЧПУ роботом НЦТМ-01 в складі ЦПК

На рисунку 1.13 представлений вражаючий приклад ДПС механообробки з центральним розміщенням автоматизованого складу.

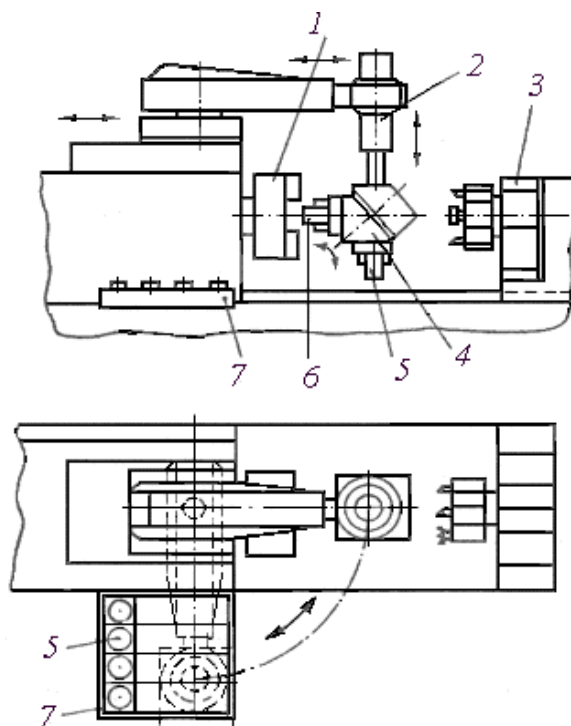


Рис. 1.13. Загальний вигляд ДПС механообробки (приклад):

1, 4 – ЦПК токарного оброблення; 2 – автоматизований склад; 3 – ЦПК фрезерної обробки; 5 – транспортний робот; 6 – керуючий обчислювальний комплекс

Цей виріб не лише об'єднує в собі ЦПК для токарної та фрезерної обробки, але й відзначається високою ступенем технологічної гнучкості. Щоб забезпечити таку гнучкість, застосовують передові принципи модульного конструювання технічних засобів та строгу стандартизацію оснастки, інструментів і заготовок.

Ключовим елементом є можливість безперервної заміни компонентів у ЦПК під час переналагодження. Ця можливість включає в себе не лише керуючі програми, а й пристрої захоплення роботів (за потреби), інструментальні блоки, пристрої для завантаження-вивантаження деталей, технологічні супутники та елементи транспортно-накопичувальної системи.

Визначальним фактором є абсолютна мінімізація часу переналагодження обладнання до найкоротших можливих показників. Це вирішальний аспект для досягнення найвищої продуктивності виробництва при переході між виготовленням різних продуктів. Такий стратегічний підхід не лише дозволяє значно знизити втрати продуктивності в порівнянні зі стандартними спеціалізованими лініями масового виробництва, але й надає виробництву неймовірну гнучкість і адаптивність до змінних вимог ринку.

В останні роки визначились загальні тенденції в розвитку технологій і техніки, що передбачають переосмислення всіх сфер людської діяльності, включаючи пакувальну індустрію. Ці тенденції стали відомі як четверта промислова революція. З історичної перспективи, після винайдення машин, однією з постійних ліній розвитку людської діяльності стало розроблення машин-автоматів і, в подальшому, робототехнічних комплексів.

Виготовлення упаковки та упакування продукції залучають значні матеріальні та людські ресурси, які взаємодіють для формування вартості упаковки. Витрати на упаковку становлять суттєвий елемент в економіці окремих підприємств і в цілому впливають на галузі національного господарства. Ці витрати відзначаються значним впливом на кінцеву ціну продукції. Фахівці визнають особливо великі витрати на упаковку у сфері харчової промисловості.

Упаковка виконує чотири основні функції:

1) Ідентифікація товару та надання основної інформації про нього (інформація може передаватися за допомогою написів на упаковці, етикеток, штрих-кодів, маркувань і т. д.).

2) Захист від пошкоджень (запобігає впливу агресивних хімічних середовищ, фізичних впливів, захищає від псування, можливих розкрадань).

3) Підвищення ефективності вантажопереробки (уніфікація упаковки дозволяє розробляти та застосовувати стандартні ряди складського та вантажопереробного обладнання, уніфікувати характеристики транспортних засобів).

4) Надання допомоги у маркетингу для просування та реклами продукції, а також надання інформації споживачам.

У ході технологічного процесу пакування виконується послідовність технологічних операцій, спрямованих на досягнення пакування продукції як кінцевого результату. Зазвичай, типовий технологічний процес пакування включає етапи, такі як дозування, фасування, виготовлення тари, закупорювання та етикетування. Враховуючи ці стадії технологічного процесу пакування, ключові функціональні модулі будь-якого упаковочного обладнання включають устаткування, що проводить дозування, фасування, виготовлення тари, закупорювання, етикетування та інші операції.

Для організації процесу пакування продукції на промисловому рівні важливо використовувати комплексний підхід, який включає в себе наступні аспекти:

- ефективне використання матеріальних, енергетичних, трудових та фінансових ресурсів з мінімізацією виробничих втрат;

- раціональна організація процесу пакування з створенням безперервного потокового виробництва;

- повна автоматизація та механізація всіх основних та вторинних операцій;

- комплексний контроль якості продукції та операцій пакування;

– інтегроване управління виробництвом, використовуючи сучасні комп'ютерні технології.

Під терміном «пакувальне обладнання» розуміється комплекс пристроїв, машин, поточкових ліній та інших технічних засобів, які виконують різноманітні операції, як основні, так і допоміжні, для забезпечення ефективного процесу пакування продукції.

Основні процедури упакування включають в себе модифікації у стані, структурі та фізико-хімічних характеристиках виробів, у той час як допоміжні операції стосуються змін у формі, розмірах, стані, розташуванні пакувальних матеріалів, тари та інших компонентів упаковки. Крім того, здійснюються обслуговуючі процедури, в основному пов'язані із функціонуванням обладнання, такі як діагностика, змащення, очищення та заміна робочих органів. Важливо відзначити, що всі ці операції можуть бути виконані за допомогою того ж самого типу обладнання.

Наразі існують два основних підходи до класифікації пакувального обладнання: перший базується на функціональному призначенні, а другий враховує конструктивні особливості цих засобів.

За функціональним призначенням пакувальне обладнання класифікується з урахуванням різних ознак:

1) Тип дії: Пакувальні машини розподіляються за типом дії на два класи – дискретної та безперервної дії.

2) Тип руху продукції: В залежності від руху продукції щодо робочих органів машини виділяють три класи:

- I клас – це машини непотокового типу, або так звані "непрохідні";
- II і III класи – це поточкові машини.

3) Ступінь механізації і автоматизації: Машини поділяються за ступенем механізації і автоматизації на три групи:

- з ручною системою керування;
- напівавтоматичної дії;
- автоматичної дії.

4) Кількість стадій пакування: Машини розподіляються за кількістю стадій пакування на одностадійні та багатостадійні.

У механізмах з дискретною дією виробу піддають обробці протягом конкретного визначеного періоду, а упакований продукт виводиться із машини по закінченню цього інтервалу. Після чого цей процес розпочинається знову. У пакувальних машинах безперервної дії робочий процес оперує в строго визначеному в часі режимі, де завантаження продукції та вивантаження упакованої одиниці відбуваються одночасно.

У машинах першого класу характеризується тим, що продукція, яка піддається упаковці, залишається на постійному положенні під час обробки, при цьому робочі органи спрямовані до неї, а потім відводяться від неї. Багатофункціональні машини цього класу можуть виконувати операції в паралельному, послідовному або послідовно-паралельному режимі. Цей тип машин характеризується невисокою продуктивністю.

У машинах другого класу характеризується можливістю розміщення пакувальної продукції в різних положеннях, і в процесі зупинок у цих положеннях вона піддається обробці різними робочими органами. Машини цього класу поділяються на групи А і Б в залежності від системи транспортування. Групу А складають машини, де продукція переміщується лінійними або роторними системами, а до групи Б входять машини, де переміщення продукції здійснюється робочими органами чи спеціальними пристроями, такими як елементи захоплення.

В машини третього класу впроваджено принцип поєднання операцій пакування з безперервним рухом в лінійних або роторних транспортних системах. Ці машини розподіляються на групи А і Б. У машинах групи А робочі органи не переміщуються разом із продукцією, тоді як у групі Б робочі органи рухаються паралельно з продукцією.

Машини другого і третього класів володіють високою продуктивністю, але мають значно більш складну конструкцію порівняно з машинами першого класу, що призводить до збільшення витрат на їх виробництво.

У пристроях напівавтоматичної дії в основному виконуються операції в автоматичному режимі, у той час як допоміжні процеси реалізуються залученням ручної праці. Інтеграція численних автоматизованих машин в потокову лінію з однією централізованою системою управління утворює складну автоматизовану систему.

Багатостадійні машини іноді отримують найменування «агрегати» або «лінії пакування». Багатостадійні та одностадійні машини також розрізняються за ступенем уніфікації операцій на універсальні і спеціальні. Спеціальні машини призначені для пакування продукції однакового типу у однаковий вид тари або упаковки. Універсальні машини відрізняються тим, що можуть використовуватися для різноманітної гами продукції та тари.

За конструктивними ознаками пакувальне обладнання поділяється на наступні види (табл. 1.1).

Таблиця 1.1. Класифікація пакувального обладнання

Класифікатор	Види
Компонування робочих органів	площинне просторове
Траєкторія переміщення пакувального продукту	горизонтальна вертикальна складна
Структура вхідних і вихідних потоків	однопотокові багатопотокові з розбіжними потоками із збіжними потоками із паралельними потоками із змішаними потоками
Траєкторія переміщення робочих органів	лінійні горизонтальні вертикальні складні комбіновані
Вид транспортних систем	лінійні роторні
Тип і вид приводу	одноприводні багатоприводні електромеханічні пневматичні гідравлічні, комбіновані

Розширення асортименту прийомів та технічних рішень, що використовуються для упакування завершеної продукції у споживчу упаковку, є наслідком варіації структурно-механічних властивостей виробів. У другому розумінні, це пов'язано з різноманітністю упаковочних матеріалів, і, в третьому, з умовами зберігання, транспортування та реалізації упакованих товарів. Типовий технологічний процес пакування готової продукції в споживчу упаковку можна розглядати як сукупність послідовно виконаних операцій (див. рис. 1.14).



Рис. 1.14 – Технологічний процес пакування готової продукції

Пакувальні операції виконуються за допомогою окремих машин або робочих органів, які вбудовуються у склад функціональних пристроїв або модулів.

Загальну структуру обладнання для пакування продукції можна представити наступним чином (рис. 1.15).



Рис. 1.15 – Структура пакувальної машини

На сучасному етапі існують три основних методи пакування продукції в споживчу тару. Перший метод включає використання готової, завчасно виготовленої тари (банок, пляшок, коробок, ящиків тощо), в яку розміщується відповідна доза продукції. Зазвичай цей метод використовується для пакування в'язких або сипучих продуктів, які не мають стабільної форми та тенденції до зміни розмірів. Другий метод передбачає обгортання продукції упаковочним матеріалом або підготовленою упаковкою (висічкою, флатом). Для використання цього методу продукція повинна мати стабільну конфігурацію і розміри, а також відповідну жорсткість та міцність. Третій метод базується на комбінації двох перших.

Висновки до розділу 1

Запропонована інформація надає обширний огляд розвитку та застосування промислових роботів, зокрема роботів-маніпуляторів у сучасних виробничих процесах. Класифікація роботів відбувається за різними критеріями, такими як елементна база, функції та покоління.

Згідно з класифікацією за поколіннями, роботи першого покоління працюють на основі жорстко заданих програм, тоді як роботи другого покоління мають адаптивні системи відчуття, що дозволяє їм адаптуватися до змін у робочих умовах. Роботи третього покоління володіють інтелектуальними властивостями та можливістю самостійного навчання та прийняття рішень.

Подальше розглядання показало, що робототехнічні пристрої грають важливу роль у створенні гнучких виробничих систем. Інтеграція роботів у виробничі процеси дозволяє створювати комплексно-автоматизовані ділянки та цехи, а також гнучкі виробничі системи, що пристосовані для серійного виробництва різноманітних виробів.

Узагальнюючи, можна визначити, що роботи-маніпулятори є ключовим елементом сучасних виробничих систем, допомагаючи підвищувати ефективність, точність та гнучкість виробничих процесів у різних галузях промисловості.

Розділ 2. АНАЛІЗ СТРУКТУРИ, КІНЕМАТИКИ І КОМПОНОВКИ РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА

2.1. Класифікація роботів маніпуляторів

З історичним прогресом робототехніки в сучасному світі виникли три основні етапи оцінки рівня промислових роботів та РТУ: роботи першого, другого і третього покоління.

Роботи першого покоління працюють відповідно до жорсткої програми, тож вони не можуть адаптуватися до змінних умов виробництва і зовнішнього середовища. Вони вимагають упорядкованого розміщення орієнтованих деталей в накопичувачі. Тим не менше, завдяки простоті конструкції, роботи першого покоління широко використовуються в промисловості, зокрема для завдань, таких як загрузка-розвантаження верстатів, транспортування і складування деталей тощо.

Роботи другого покоління працюють за гнучкою програмою та оснащені розвиненим сенсорним апаратом. Це забезпечує роботу за принципом "ситуація – дія", спрямованою на вибір оптимального алгоритму функціонування в залежності від реального стану виробничого процесу. Роботи цього покоління можуть успішно виконувати складні завдання, такі як складання прецизійних виробів.

Роботи третього покоління вважаються інтегральними (або інтелектуальними) системами, оскільки завдяки новітнім засобам адаптації вони можуть навчатися самі та розпізнавати образи. Це становить один з ключових елементів штучного інтелекту. З появою штучного інтелекту автоматичні роботизовані системи отримують здатність моделювати зовнішнє середовище, проводити аналіз виробничої обстановки, приймати рішення і планувати власні дії.

Щодо робіт третього покоління, в промислово розвинених країнах світу проводяться дослідження щодо переходу в системи управління роботизованими комплексами з використанням швидкодіючих ЕОМ з

інтелектуальним інтерфейсом. Це дозволяє користувачам працювати з керуючими ЕОМ засобами природної мови.

Загальна класифікація промислових роботів включає в себе від 7 до 12 класифікаційних ознак (залежно від джерела інформації). Оскільки ця класифікація досить громіздка, можливо розглянути її поетапно, розглядаючи приватні класифікації за найважливішими характеристиками.

Класифікація за характером виконуваних операцій (рис. 2.1)

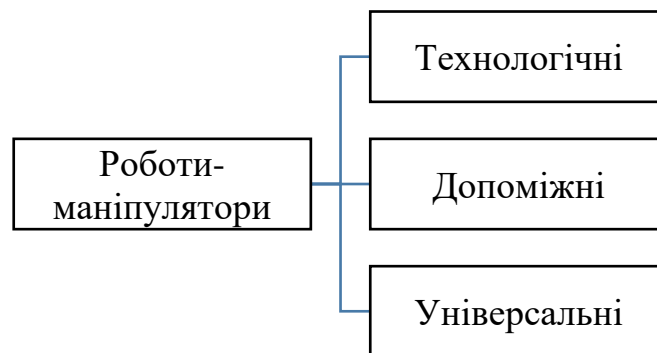


Рис. 2.1. Класифікація РМ за характером виконуваних операцій

Технологічні апарати виконують ключові фази технологічного процесу, такі як обробка, складання, зварювання, фарбування і інші. Допоміжні технічні засоби використовуються для обслуговування основного технологічного обладнання, займаючись встановленням та зняттям заготовок, деталей, інструментів і оснащення, а також виконуючи різноманітні транспортно-складські операції та інші завдання. Універсальні технічні системи можуть виконувати як основні, так і допоміжні операції, здатні об'єднувати ознаки обох груп.

Класифікація за ступенем спеціалізації (рис. 2.2)

Функціональні можливості спеціального робочого механізму дозволяють йому виконувати конкретну технологічну операцію або обслуговувати певний тип обладнання. Спеціалізовані робочі механізми призначені для виконання конкретних технологічних операцій, таких як збірка, зварювання, гнуття, фарбування, штабельювання і інші.

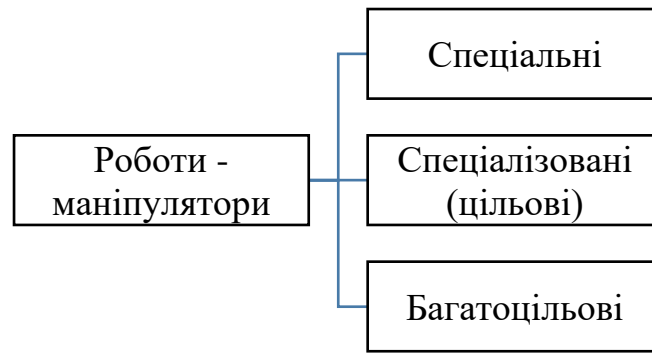


Рис. 2.2. Класифікація РМ за ступенем спеціалізації

Спеціалізовані допоміжні робочі механізми використовуються для обслуговування широкого спектру моделей основного технологічного обладнання, які об'єднані загальним набором маніпуляційних дій. Багатофункціональні робочі механізми призначені для виконання різноманітних основних або допоміжних операцій.

Якщо багатофункціональний робочий механізм може виконувати як основні, так і допоміжні операції, то його можна віднести до категорії універсальних.

Класифікація за системами координатних переміщень (рис. 2.3). Прямокутна система координат підрозділяється на плоску і просторову.

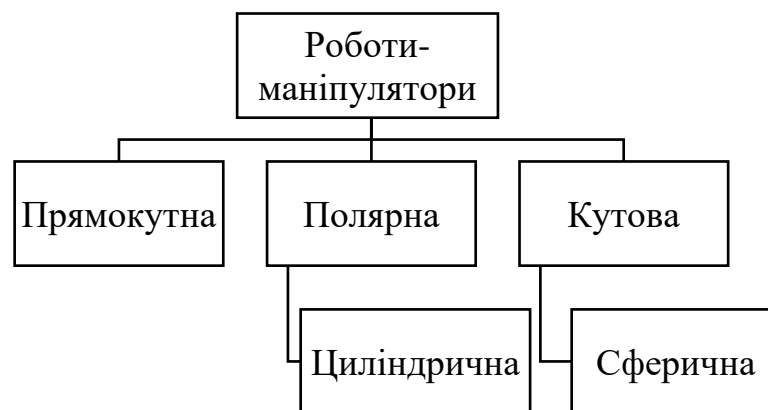


Рис. 2.3. Класифікація РМ по системі координатних переміщень

Класифікація за типом силового приводу (рис. 2.4)



Рис.2.4. Класифікація РМ за типом силового приводу

Класифікація за характером відпрацювання програми (рис. 2.5)



Рис. 2.5. Класифікація РМ за характером відпрацювання програми

Більшість використовуваних роботів відносяться до категорії жорстко програмованих. У цих роботах програма дій містить необхідну інформацію і залишається незмінною протягом процесу роботи. Адаптивні робочі механізми включають в себе інформацію про об'єкти та умови зовнішнього середовища. Завдяки сенсорному обладнанню ці роботи можуть коригувати свою керуючу програму в реальному часі.

Гнучкопрограмовані автоматичні системи можуть розвивати стратегію дій, враховуючи свою ціль та інформацію, що надходить з оточуючого середовища.

Класифікація за характером програмування швидкостей і дискретності переміщень (рис. 2.6)

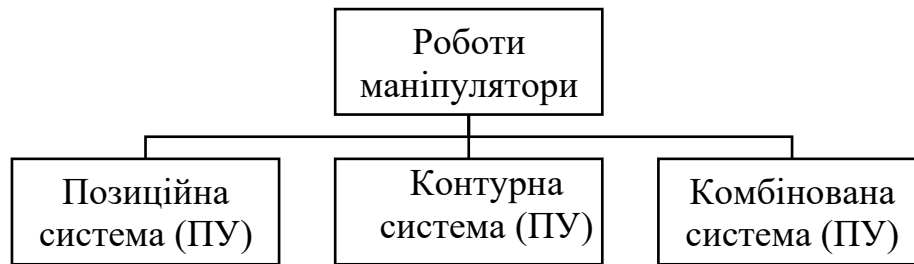


Рис.2.6. Класифікація РМ за характером програмування швидкостей і дискретності переміщень (ПУ - програмне управління)

Щодо характеру переміщення робочого органу, робочі механізми із позиційною системою програмного керування (СПУ) рухаються від точки до точки, встановлюючи конкретні координати позицій. У той час як робочі механізми з контурною СПУ рухаються по безперервній траєкторії, намічаючи контур або шлях.

В залежності від способу обробки наданої інформації, системи програмованого керування (СПК) можуть бути розділені на кілька типів: циклові, аналогові, цифрові та аналого-цифрові (гібридні). У циклових СПК переміщення програмується шляхом установки упорів, які управляють кінцевими перемикачами. В аналогових СПК інформація виражається у формі неперервно змінюваних значень фізичних (аналогових) величин. У системах числового програмованого керування (ЧПК) (як позиційних, так і контурних) інформація подається у вигляді цифрових кодів, що зберігаються на швидкозмінних носіях.

Інші класифікаційні ознаки включають область застосування за видами виробництва, число ступенів рухливості, вантажопідйомність, мобільність, конструктивне виконання та схему розташування приводів. Метод управління маніпулятором робототехнічного пристрою поділяється на біотехнічні (з ручним керуванням), інтерактивні (зі змішаним управлінням) та автоматичні.

Таким чином, класифікація робочих механізмів за різними ознаками надає детальний огляд їхніх характеристик та застосувань.

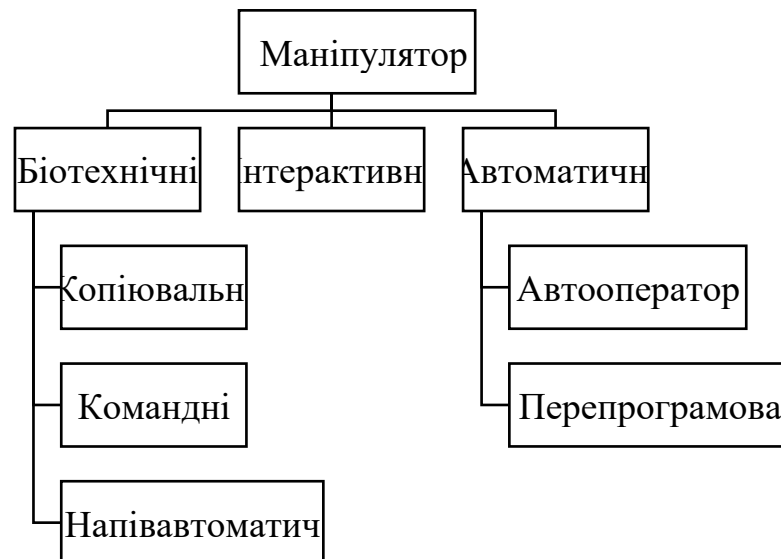


Рис.2.7. Класифікація маніпуляторів за методом управління

У біотехнічних маніпуляторах управління може проводитися дистанційно або безпосередньо за рахунок переміщення робочого органу. В копіюючому маніпуляторі рух робочого органу повторює рухи оператора, що є результатом намагань руки людини. У командному (некопіруючому) маніпуляторі рух робочого органу не пов'язаний кінематично з рукою оператора, і управління кожним ступенем рухливості здійснюється окремо за допомогою кнопок, рукояток тощо. У системі напівавтоматичного маніпулятора впроваджено комплексне рішення, яке об'єднує рукоятку з багатьма ступенями рухливості та спеціалізований обчислювач, відомий як мікроЕОМ. Цей обчислювач забезпечує конвертацію сигналів, надходячи з рукоятки, у сигнали, що ефективно керують рухами виконавчих органів з надзвичайною точністю та швидкістю. Усі біотехнічні маніпулятори відрізняються від автоматичних відсутністю пристроїв пам'яті, тому вони потребують постійної участі оператора в процесі управління.

У відміну від біотехнічних, інтерактивні маніпулятори оснащені пристроями пам'яті для автоматичного виконання окремих дій. Залежно від форми участі людини, інтерактивне управління може бути автоматизованим, коли відбувається чергування автоматичних режимів управління із

біотехнічних, або супервізорним, коли маніпулятор виконує всі частини заданого циклу автоматично, але перехід від одного етапу до іншого може відбуватися тільки після отримання оператором цільової команди.

У автоматичних маніпуляторах виконання робочих функцій забезпечується без участі оператора. Деякі маніпулятори з інтерактивним управлінням можуть також відноситися до автоматичних в певних випадках.

2.2 Структура роботів маніпуляторів і робото-транспортних установок

Типовий робототехнічний пристрій (РТП) включає у себе різноманітні ключові компоненти: механічну систему, відому також як маніпулятор, технологічне обладнання, систему управління, інформаційну систему та пульт керування для введення програми (рис. 2.8).

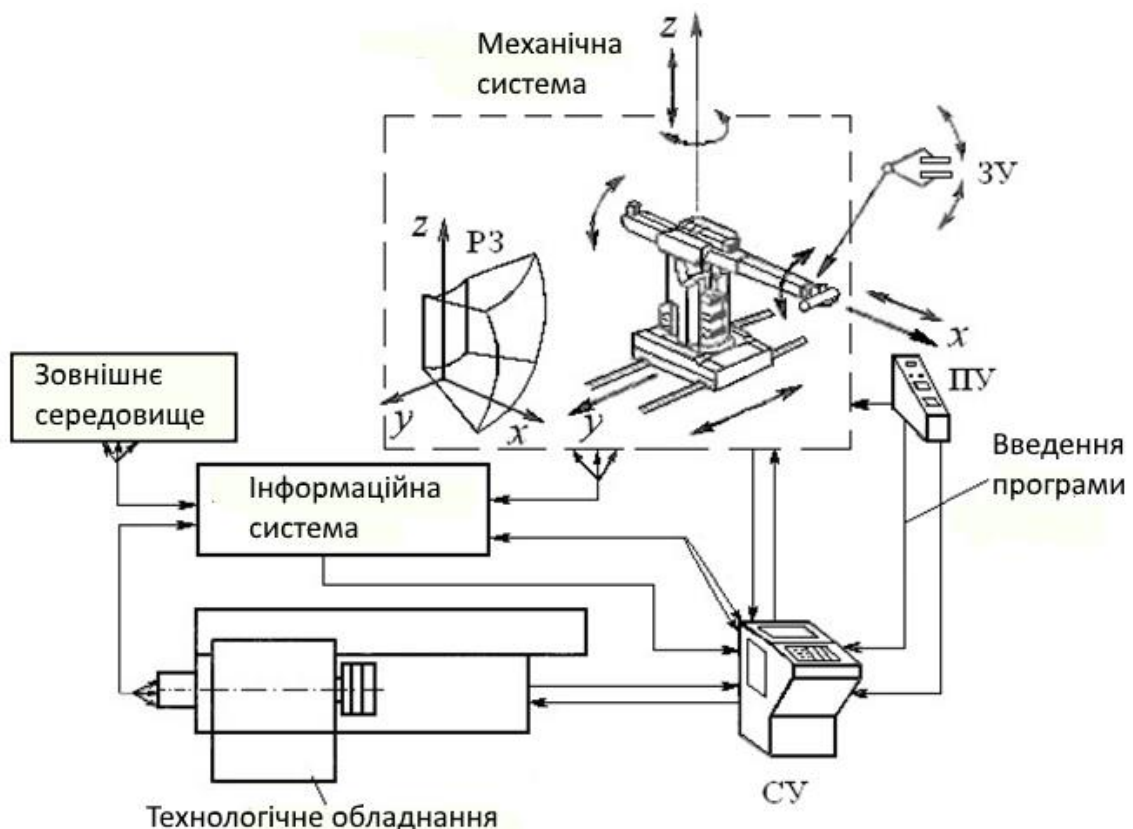


Рис. 2.8. Структура типового робототехнічного пристрою:

СУ – система управління; ПУ – пульт управління; ЗУ – пристрій захоплення;

РЗ – робоча зона і система координат основних рухів РМ

У такій структурі маніпулятор є основною механічною частиною, яка відповідає за виконання різноманітних завдань, технологічне обладнання забезпечує виконання конкретних функцій, система управління регулює рухи та дії пристрою, а інформаційна система забезпечує обмін та обробку даних для ефективного функціонування РТП. Керування пристроєм відбувається через спеціальний пульт, що дозволяє вводити програми та взаємодіяти з пристроєм у процесі роботи.

Система управління спрямована на відтворення та опрацювання програми функціонування РМ з урахуванням координації його дій із роботою технологічного обладнання. Управляюча програма містить послідовність простих інструкцій, виконання яких у певній послідовності приводить до розв'язання поставленої задачі.

Для бездоганного функціонування промислового робота є критично важливим мати повну та точну інформацію про послідовність кроків програми, точне просторове розташування рухомих елементів та бездоганне виконання кожного етапу за розкладом, а також жорсткий контроль за виконанням команд. Інформаційна система має розглядатися як важливий компонент, що відповідає за комплексне накопичення, обробку та передачу даних про функціонування всіх елементів та механізмів промислового робота, включаючи системи управління, а також звітність про зовнішнє середовище. Ця система вбудовується в програмне забезпечення й має пристрої зворотного зв'язку з різноманітними датчиками та засобами порівняння сигналів.

Механічна система, відома як маніпулятор, відіграє ключову роль у здійсненні рухів та реалізації технологічних завдань промислового робота. Маніпулятор – це вища форма механізму з відкритою кінематичною ланцюгом, що включає в себе несучі конструкції, приводи, передавальні механізми, виконавчі елементи та засоби захоплення.

Виконавчий механізм маніпулятора - це сукупність рухливо з'єднаних ланок, призначених для впливу на об'єкт маніпулювання чи оброблювану середу. Виконавчий механізм, який здійснює транспортовані та орієнтовані

рухи, визначається як рука ПР. У випадку, коли ланки виконавчого механізму з'єднані між собою обертовими кінематичними парами, вони утворюють шарнірну руку (рис. 2.9).

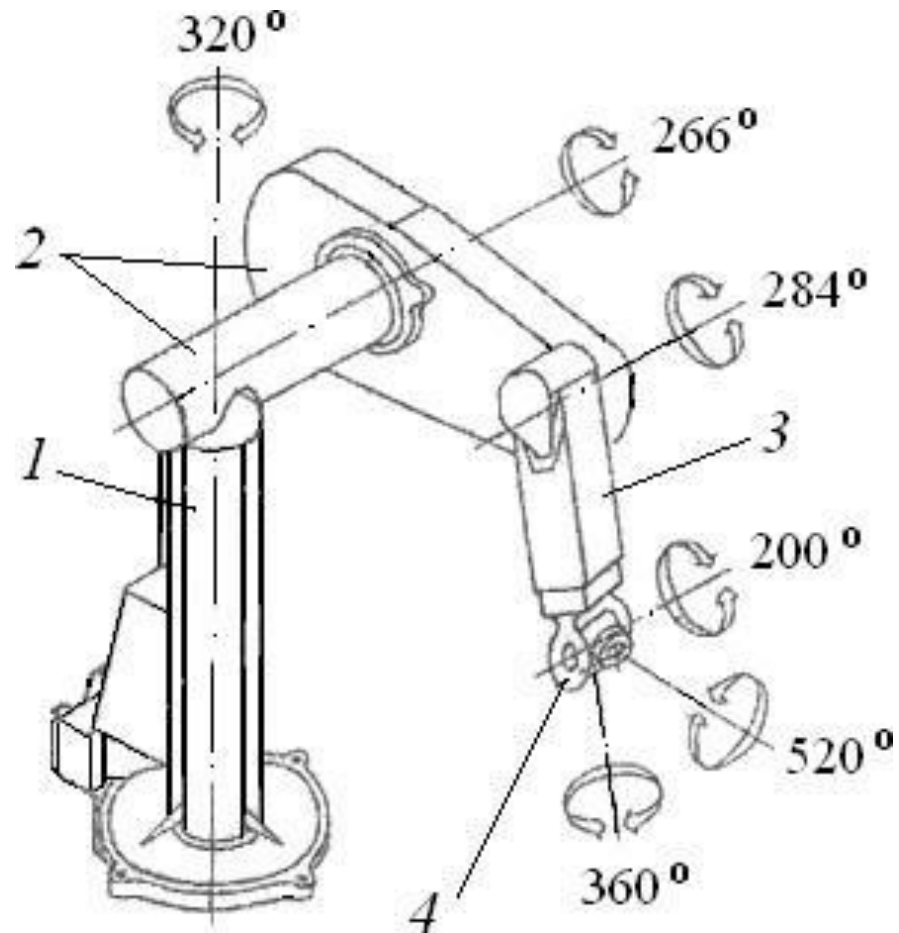


Рис 2.9. Кулькове з'єднання руки робота маніпулятора РМ - 01:

1 – колона (перший суглоб); 2 – плече (другий суглоб); 3 – лікоть (третій суглоб); 4 – кисть (четвертий суглоб); 360° – кут повороту кисті; 200° – хитання кисті (п'ятий суглоб); 520° – хитання кисті (шостий суглоб)

Захоплюючий пристрій (гріпер) - це складова частина механічної системи РМ, яка відповідає за утримання об'єкта маніпулювання в конкретному положенні. Об'єкти можуть варіювати за розміром, формою і масою, тому пристрої захоплення входять до числа змінних елементів РМ і

маніпуляторів. Зазвичай, РМ комплектуються стандартним набором пристроїв захоплення, які можна змінювати для вирішення визначеної технологічної задачі.

З'єднання ланок маніпулятора в кінематичну ланцюг здійснюється за допомогою кінематичних пар. Кінематична пара представляє собою з'єднання двох торцевих ланок, яке дозволяє їм рухатися одна відносно одної. Кінематичні пари класифікуються залежно від умов зв'язку, характеру дотику ланок і способу замикання. Обмеження, які обмежують вільний рух тіла, називають умовами зв'язку.

Класифікація кінематичних пар базується на числі умов зв'язку (кількості ступенів свободи). Таблиця 2.1 наводить найбільш поширені кінематичні пари. Під час підрахунку числа умов зв'язку, тобто визначення класу кінематичної пари, враховують тільки незалежні рухи. Наприклад, гвинтова кінематична пара одночасно включає обертання гайки і її переміщення вздовж гвинта. Оскільки ці рухи взаємопов'язані, гвинтову кінематичну пару відносять до п'ятого класу.










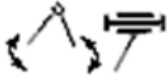


У більшості конструкцій РМ використовуються кінематичні пари п'ятого (V) класу - обертальні або поступальні. Вони забезпечують одну ступінь свободи в руху для кожної з двох рухомих ланок, коли рухається нерухома ланка. Число ступенів рухливості є важливою характеристикою механічної системи РМ і визначається як число ступенів свободи в кінематичній ланцюгу.

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1, \quad (2.1)$$

де $n = (m - 1)$ - число рухомих ланок; m - загальне число ланок; p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 - число кінематичних пар I, II, III, IV і V класу відповідно. Для плоских механізмів:

$$W_{пл} = 3n - 2p_5 - p_4. \quad (2.2)$$

Таблиця 2.1. Умовні позначення кінематичних пар

Клас пари	Число умов зв'язку	Число ступенів свободи	Найменування пари	Рисунок	Умовні позначення
III	3	3	Сферична		
IV	4	2	Циліндрична		
IV	4	2	Сферична з пальцем		
V	5	1	Поступальна		
V	5	1	Обертальна		
V	5	1	Гвинтова		

Для кінематичного ланцюга маніпулятора, утвореної тільки парами V класу, число ступенів рухливості робота визначається за формулою:

$$W = 6n - 5p_5 \quad \text{і} \quad W_{\text{пл}} = 3n - 2p_5. \quad (2.3)$$

У відкритих кінематичних ланцюгах, до яких відносять механічні системи РМ і маніпуляторів, число рухомих ланок завжди дорівнює числу пар:

$$n = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5. \quad (2.4)$$

Як приклад визначимо число ступенів свободи маніпулятора, кінематична схема якого показана на рис. 2.10.

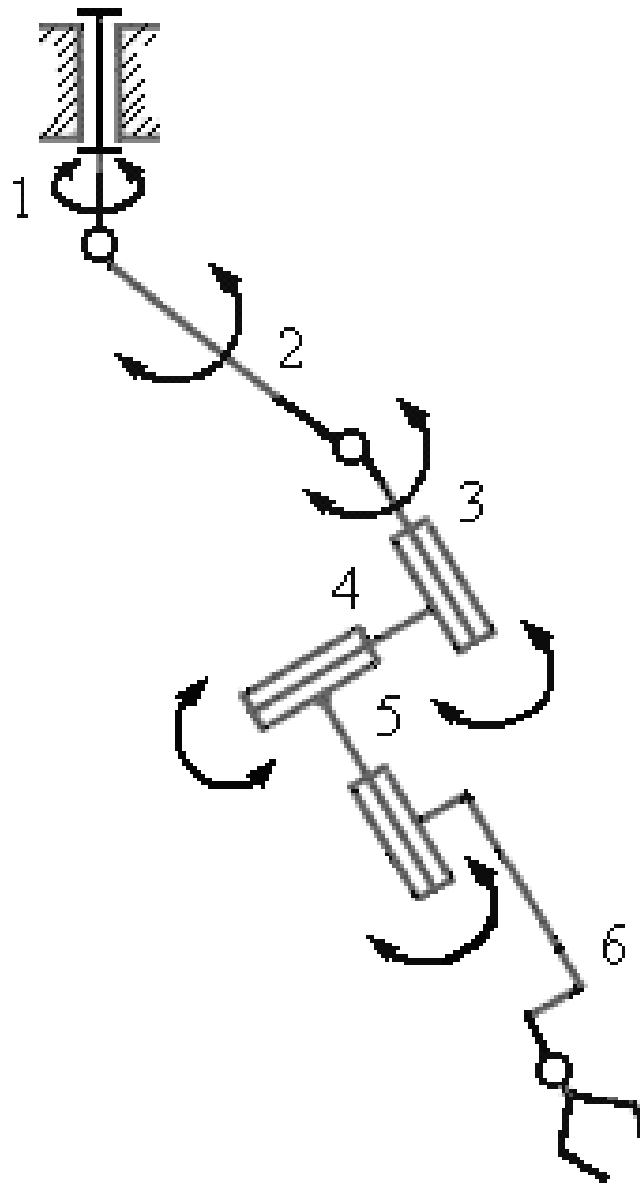


Рис. 2.10. Кінематична схема маніпулятора:

1 – 6 – рухливі ланки

Число ступенів свободи (W) маніпулятора можна визначити за допомогою структурної формули. У даному випадку, маніпулятор має 6 рухомих ланок, і кожна ланка включає обертальну кінематичну пару. Оскільки рух губок захоплення не враховується, то він не додає додаткових ступенів свободи.

$$W = 6n = 6 \times 6 - 5 \times 6 = 6 \quad (2.5)$$

Можливі ступені рухливості для зварювальних роботів типу IR-160/60 і IR-601/60 від німецької фірми «Кіка» показані стрілками на рис. 2.11. Рухомі

ланки механічної системи промислового робота (ПР) розподіляються за допомогою стрілок на три групи: орієнтуючі (локальні), транспортуючі (регіональні) і координатні (глобальні). Здійснення повного просторового маніпулювання об'єктом маніпулятор повинен мати шість ступенів рухливості: три орієнтуючі – для досягнення потрібної кутової орієнтації захоплення або інструменту і три транспортуючі – для переміщення об'єкта в зазначену точку простору.

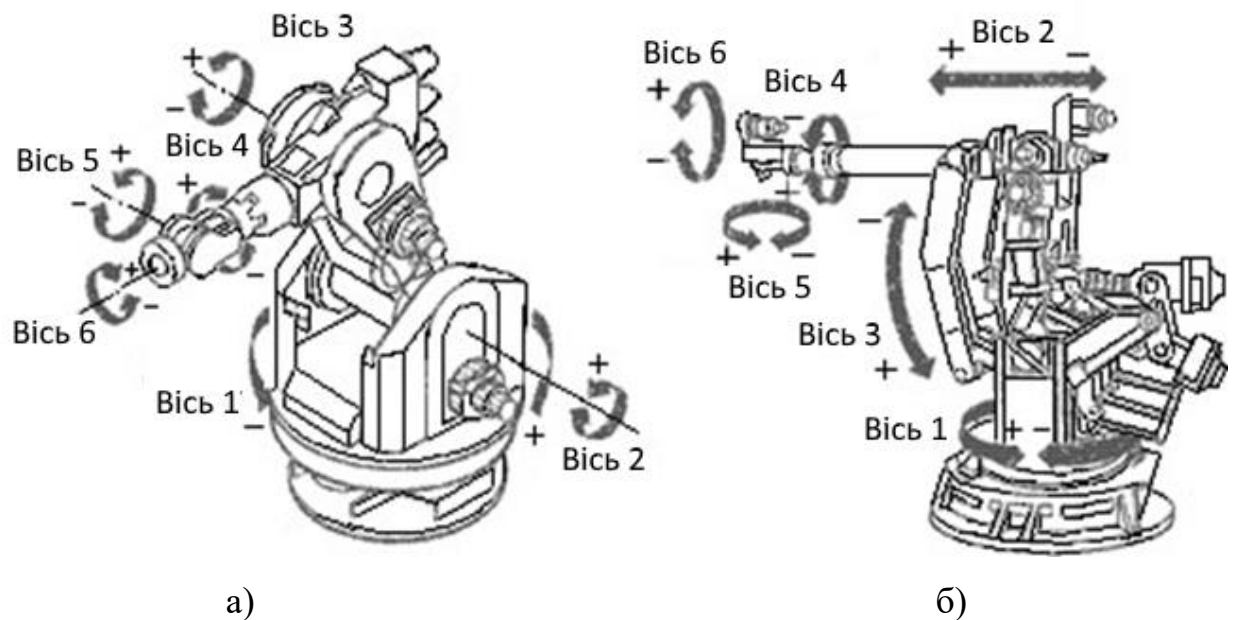


Рис. 2.11. Ступінь рухомості зварювального робота типу IR-160/60 (а) та IR-601/60 (б) німецької фірми "Кука"

Транспортування руху захоплення пристрою або інструменту в різних областях робочої зони визначається розміром посилення руки та пропорційно розміру водозабірної зони технологічного обладнання. Координати в таких портативних рухах можуть реалізовуватися на відстанях, що перевищують розміри та обслуговування обладнання або робочого місця.

Механічні системи можна розділити на чотири елементи конструкції, різного призначення і характеру рухів: база (фіксований зв'язок) - підтримка структури; корпус (стійка); механічні руки; захоплення. Кількість ступенів

мобільності: $W_0 = 0$; $W_k \geq 0$ (визначається мобільністю тощо); механічна рука $W_m \geq 1$ (визначається призначенням тощо); пристрій захоплення $W_z \geq 0$ (залежно від того, як утримується маніпуляційний об'єкт і його конструкція).

Основні координати рухів частин механічної системи маніпуляторів і промислових роботів та їх відповідні приклади структурних схем кінематики показані на рисунку 2.12.

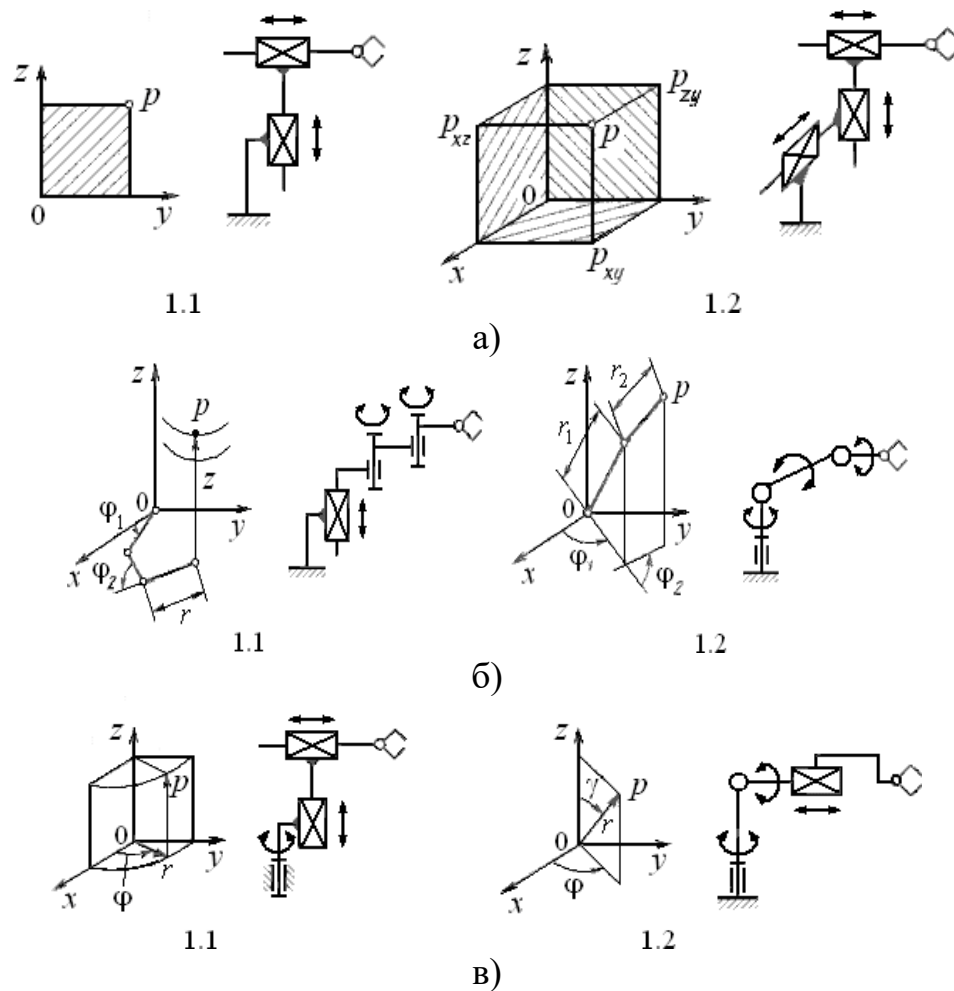


Рис. 2.12. Базова система координат рухів частин механічної системи маніпуляторами і промислових роботів і їх відповідні приклади структурних кінематичних схем:

- а – прямокутна система координат (1,1–1.2 плоскі, просторі);
- б – полярна система координат (1,1–1.2 циліндричні, сферичні);
- в – кутова система координат (1,1–1.2 циліндричні, сферичні).

Прямокутні системи координат (IC) дозволяють об'єкту переміщуватися в зазначених точках простору r по прямолінійному русі, паралельно осі маніпулятора: двома для плоскості і трьома для просторового руху (рис. 2.12). Полярні системи координат, представлені циліндричними і сферичними SC (рис. 2.12, б). Циліндрична SC характеризується рухом об'єкта в напрямку радіус-вектора r та кутів γ , θ , а також вздовж осі z . Сферична SC дозволяє об'єкту рухатися лінійно r і обертатися під кутами θ і γ в двох взаємно перпендикулярних площинах.

Циліндричні та сферичні системи координат – це потужні інструменти, які вимагають від користувача глибокого розуміння та високої експертності. Ці системи, в якості складових складних криволінійних систем координат, є серед найбільш високорівневих для освоєння. З іншого боку, ангулярна (кутова) система координат виявляється інструментом повної контрольної сили, необхідним для керування важкими шарнірними руками багатоланкових маніпуляторів (див. рис. 2.12, в). Відповідно до цієї ангулярної системи (яка не зображена на рис. 2.12, (в)), об'єкти рухаються в координатних площинах, забезпечуючи безперервну дію завдяки відносним обертанням ланок руки, що мають стійку довжину.

Ангулярно-циліндрична система, з її додатковим зміщенням уздовж осі z , надає більшу складність та гнучкість управління. Ангулярно-сферична система дозволяє переміщати об'єкти у просторі виключно через відносні кутові обертання ланок руки, що забезпечує максимальну ефективність та точність виконання завдань.

2.3. Моделювання динамічної взаємодії ПЗП з вантажем при його транспортуванні по прямолінійній траєкторії

Головне завдання моделювання полягає у визначенні оптимальної орієнтації пристрою захоплення, при якій енергетичні витрати на утримання вантажу будуть мінімальними. Вихідні дані включають технічні характеристики пристрою захоплення, параметри вантажу та траєкторії.

Моделювання буде проводитися для випадку, коли центр ваги вантажу зміщений відносно осі симетрії пристрою захоплення. Крім того, будуть враховані сили лобового опору повітря та інерційні сили, що виникають при переорієнтації.

Мінімізація витрат енергії під час стиснення повітря за допомогою струминного пристрою захоплення (див. рис. 2.13) передбачає зниження сили тяжіння. Це досягається за умови мінімізації реакцій в опорах пристрою захоплення під час транспортування вантажу без відшаровування. Забезпечення цього ефекту гарантує досягнення рівноваги всіх сил, що діють на вантаж. Розглянемо випадок переміщення вантажу вздовж прямої траєкторії (див. рис. 2.13). У цьому процесі пристрій захоплення тягне вантаж і стискає його до трьох фрикційних елементів. Така конфігурація забезпечує стабільність утримання габаритних вантажів, що відрізняється від розглянутої раніше схеми. Для моделювання руху використовується маніпулятор IRB 1200 від АВВ, а дані для перевірки моделі отримані за допомогою програмного забезпечення RobotStudio від АВВ.

Сила лобового опору в загальному вигляді обчислюється за формулою:

$$Q = k_{l0} \cdot S \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}, \quad (2.6)$$

де k_{l0} – коефіцієнт лобового опору тіла, який залежить від форми поверхні вантажу, ρ – густина повітря, v – швидкість руху вантажу, S – площа вантажа, перпендикулярна до напрямку руху тіла. Для пластини сила лобового опору рівна :

$$Q = \rho \cdot S \cdot v^2 \frac{\pi \sin \alpha}{4 + \pi \sin \alpha}, \quad (2.7)$$

де α – кут між напрямком руху вантажу і нормаллю до площини пластини.

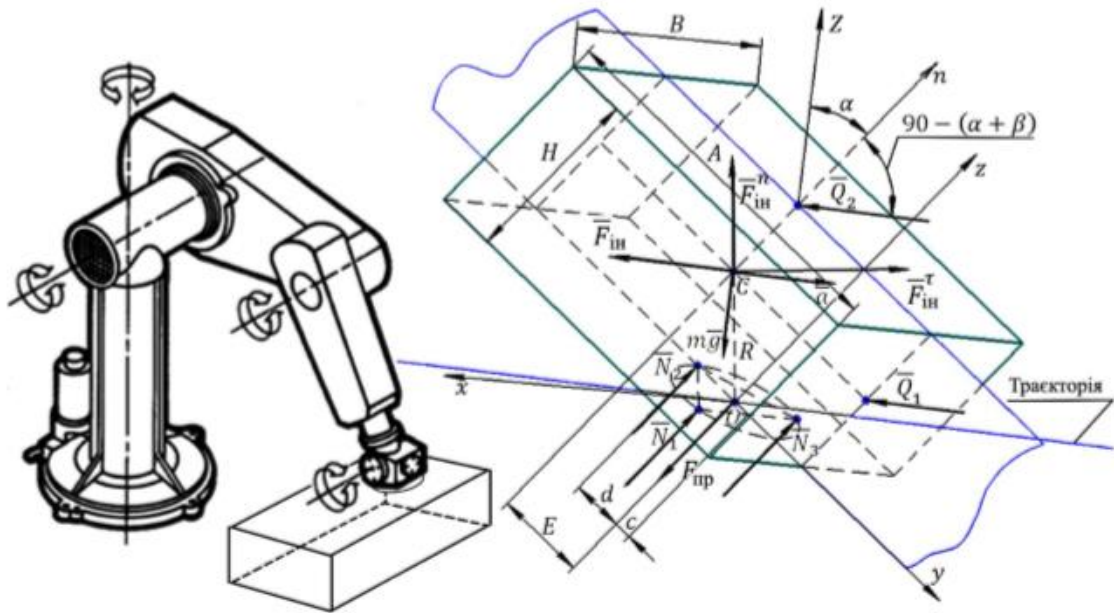


Рис. 2.13. Розрахункова схема сил, що діють на вантаж призматичної форми під час транспортування

В формулі (2.6), де коефіцієнт лобового опору позначений як k_{l0} , залежить від форми вантажу. У випадку паралелепіпеда, який має дві складові сили лобового опору Q_1 на площину PGTF та Q_2 на площину LNGP, формула буде наступною:

$$Q_1 = \rho B H v^2 \frac{\pi \cos \alpha}{4 + \pi \cos \alpha};$$

$$Q_2 = \rho A B v^2 \frac{\pi \sin \alpha}{4 + \pi \sin \alpha}.$$
(2.8)

На рисунку 2.15 наведено дані про графік швидкостей та прискорень під час транспортування вантажу вагою 1 кг протягом 1,9 секунд, зафіксовані за допомогою програмного забезпечення RobotStudio від компанії ABB.

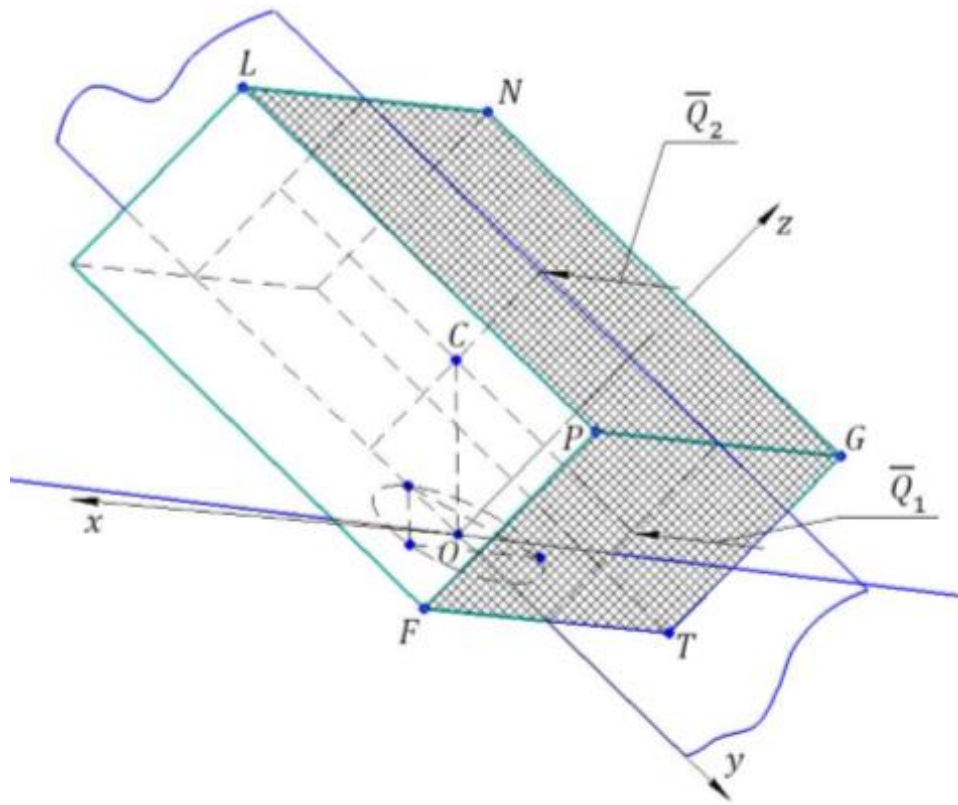


Рис. 2.14. Площини вантажу на які діють сили лобового опору

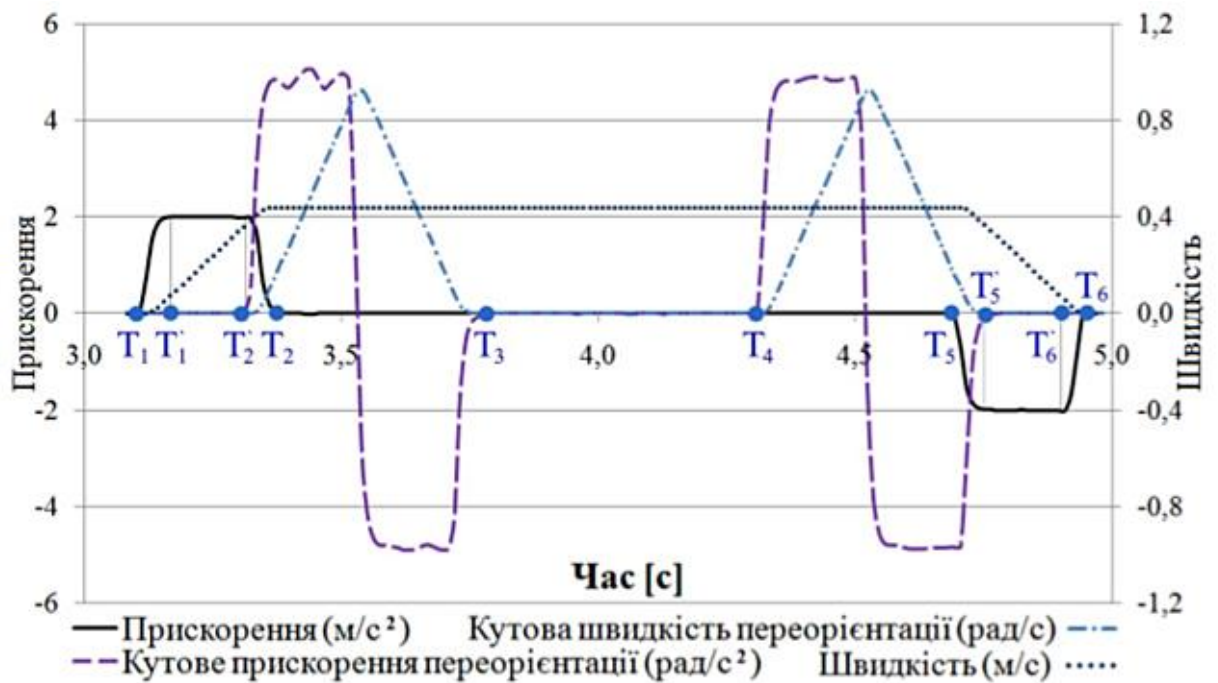


Рис. 2.15 Графік швидкостей і прискорень вантажу (T_1 -3,1 с, T_2 -3,3 с, T_3 -3,75 с, T_4 -4,3 с, T_5 -4,69 с, T_6 -4,95 с.)

Траекторію T_1-T_6 розділено на окремі відрізки: T_1-T_2 – розгін; T_2-T_3 – переорієнтація з попередньої орієнтації, яка була на відрізку T_1-T_2' , на орієнтацію, яка необхідна на відрізку T_3-T_4 ; T_3-T_4 – транспортування вантажу зі сталою швидкістю; T_4-T_5 – переорієнтація з попередньої орієнтації, яка була на відрізку T_3-T_4 , на орієнтацію необхідну на відрізку $T_5'-T_6'$; T_5-T_6 – уповільнення. Згідно запропонованої моделі безвідривне транспортування вантажу забезпечується на відрізках: T_1-T_1' , $T_2'-T_3$, T_4-T_5' , $T_6'-T_6$ за рахунок сили тяжіння пристрою захоплення (ЗП), $T_1'-T_2'$, T_3-T_4 , $T_5'-T_6'$ за рахунок оптимальної орієнтації і сили тяжіння ЗП.

Для відрізків прямої T_1-T_1' , $T_1'-T_2'$, $T_2'-T_3$, T_3-T_4 , T_4-T_5' , $T_5'-T_6'$, $T_6'-T_6$ необхідно знайти максимально ефективну силу тяжіння для забезпечення безперешкодного переміщення вантажу. Для відрізків $T_1'-T_2'$, T_3-T_4 , $T_5'-T_6'$ необхідно знайти оптимальну орієнтацію, а саме кут α , при якому сила тяжіння, що забезпечує безвідривне транспортування вантажу, буде максимально знижена. Запишемо умови рівноваги сил, відносно координатної системи, що зв'язана з точкою закріплення ЗП.

$$\begin{aligned}
 \sum X = 0 &\Rightarrow 0 = 0, \\
 \sum Y = 0 &\Rightarrow mg \sin \alpha - (Q_1 + Q_2 + F_{in}) \cos(\alpha + \beta) - m\omega^2 E + \\
 &+ m\varepsilon \frac{H}{2} - f(N_1 + N_2 + N_3) = 0, \\
 \sum Z = 0 &\Rightarrow -mg \cos \alpha - (Q_1 + Q_2 + F_{in}) \sin(\alpha + \beta) - F_{np} + \\
 &+ N_1 + N_2 + N_3 + m\omega^2 \frac{H}{2} + m\varepsilon E = 0, \\
 \sum M_{ox} = 0 &\Rightarrow (N_1 + N_3)c - N_2d + mgE \cos \alpha - mg \frac{H}{2} \sin \alpha + \\
 &+ F_{in} E \sin(\alpha + \beta) + F_{in} \frac{H}{2} \cos(\alpha + \beta) + Q_1 \frac{A}{2} \cos(\alpha + \beta) - \\
 &- Q_1 \left(\frac{A}{2} - E \right) \sin(\alpha + \beta) + Q_2 H \cos(\alpha + \beta) + Q_2 E \sin(\alpha + \beta) - m\varepsilon R^2 = 0, \\
 \sum M_{oy} = 0 &\Rightarrow (N_1 - N_3)W = 0 \Rightarrow N_1 = N_3, \\
 \sum M_{oz} = 0 &\Rightarrow 0 = 0.
 \end{aligned} \tag{2.9}$$

З умови $\Sigma \quad Y = 0, \Sigma \quad M_{\alpha x} = 0$ знаходимо N_1 і N_2

$$\begin{aligned}
 N_1 = & \left(\frac{d}{2(c+d)f} \right) \left[mg \sin(\alpha) - (Q_1 + Q_2 + F_{in}) \cos(\alpha + \beta) - \right. \\
 & \left. -m \left(\omega^2 E - \varepsilon \frac{H}{2} \right) \right] - \\
 & - \frac{1}{2(c+d)} mgE \cos(\alpha) + \frac{1}{2(c+d)} mg \frac{H}{2} \sin(\alpha) - \frac{1}{2(c+d)} maE \sin(\alpha + \beta) \cdot \\
 & - \frac{1}{2(c+d)} ma \frac{H}{2} \cos(\alpha + \beta) - \frac{1}{2(c+d)} Q_1 \frac{A}{2} \cos(\alpha + \beta) + \\
 & + \frac{1}{2(c+d)} Q_1 \left(\frac{A}{2} - E \right) \sin(\alpha + \beta) - \frac{1}{2(c+d)} Q_2 H \cos(\alpha + \beta) - \\
 & - \frac{1}{2(c+d)} Q_2 E \sin(\alpha + \beta) + \frac{1}{2} m \varepsilon R^2,
 \end{aligned} \tag{2.10}$$

$$\begin{aligned}
 N_2 = & \frac{c}{(c+d)f} \left[mg \sin(\alpha) - (Q_1 + Q_2 + F_{in}) \cos(\alpha + \beta) - \right. \\
 & \left. -m \left(\omega^2 E - \varepsilon \frac{H}{2} \right) \right] + \\
 & + \frac{1}{(c+d)} mgE \cos(\alpha) - \frac{1}{(c+d)} mg \frac{H}{2} \sin(\alpha) + \frac{1}{(c+d)} maE \sin(\alpha + \beta) + \\
 & + \frac{1}{(c+d)} ma \frac{H}{2} \cos(\alpha + \beta) + \frac{1}{(c+d)} Q_1 \frac{A}{2} \cos(\alpha + \beta) - \\
 & - \frac{1}{(c+d)} Q_1 \left(\frac{A}{2} - E \right) \sin(\alpha + \beta) + \frac{1}{(c+d)} Q_2 H \cos(\alpha + \beta) + \\
 & + \frac{1}{(c+d)} Q_2 E \sin(\alpha + \beta) - m \varepsilon R^2.
 \end{aligned} \tag{2.11}$$

З (2.9, 2.10, 2.11) випливає, що $N_2 > N_1$, оскільки центр мас вантажу зміщується в сторону N_2 і коли задовільняються передумови перекидання вантажу $N_1 = N_3 = 0$, у такому випадку сила тяжіння буде мінімальною значенням. З цих умов, на основі (2.9) отримаємо рівняння для знаходження кута α :

$$\begin{aligned}
& m \left[\varepsilon \left(R^2 + \frac{Hd}{2f} \right) - \frac{d}{f} \omega^2 E \right] + \\
& + m \left\{ \begin{aligned} & \frac{d}{f} (g \sin(\alpha) - a \cos(\alpha + \beta)) - g \left(E \cos(\alpha) - \frac{H}{2} \sin(\alpha) \right) - \\ & - a \left(E \sin(\alpha + \beta) + \frac{H}{2} \cos(\alpha + \beta) \right) \end{aligned} \right\} - \\
& - Q_1 \left[\left(\frac{d}{f} + \frac{A}{2} \right) \cos(\alpha + \beta) + \left(E - \frac{A}{2} \right) \sin(\alpha + \beta) \right] + \\
& + Q_2 \left[\left(\frac{d}{f} + H \right) \cos(\alpha + \beta) + E \sin(\alpha + \beta) \right] = 0.
\end{aligned} \tag{2.12}$$

Для прикладу підставимо дані для ділянки $T'_1 - T'_2$:

$A = 0,25$ м, $B = 0,1$ м, $H = 0,1$ м, $E = 0,095$ м, $d = 0,03$ м, $c = 0,015$ м,

$\rho = 31,25 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $I = 0$ рад, $a = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, $m = 0,1$ м кг, $\omega = 0 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, $\varepsilon = 0 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, $f = 0,11$

при швидкості

$v = 0.44 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ оптимальний кут дорівнює $\alpha = 28.075$ град, а при швидкості

$v = 0.22 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ оптимальний кут дорівнює $\alpha = 27,96$ град .

З цього можна зробити висновок, що оптимальна орієнтація майже не буде змінювати своє значення при такій зміні швидкості, а буде змінювати значення лише при збільшенні прискорення (рис. 2.16), тому за найкращий кут будемо вважати α при максимальній швидкості. З третього рівняння (2.12) знайдемо мінімальну силу тяжіння F_{np} , яка необхідна при забезпеченні оптимальної орієнтації:

$$\begin{aligned}
F_{np} = m \left[g \left(\frac{\sin(\alpha)}{f} - \cos(\alpha) \right) - \omega^2 \left(\frac{E}{f} - \frac{H}{2} \right) + \varepsilon \left(\frac{H}{2f} + E \right) \right] - \\
- (Q_1 + Q_2 + F_{in}) \left(\frac{\cos(\alpha + \beta)}{f} + \sin(\alpha + \beta) \right).
\end{aligned} \tag{2.13}$$

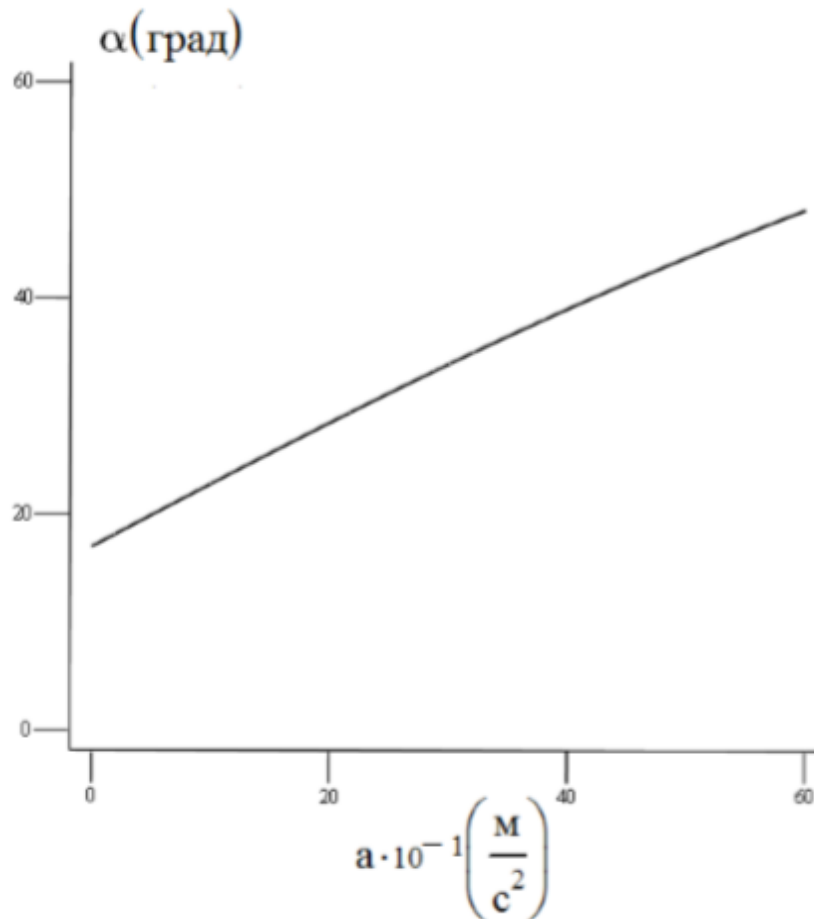


Рис. 2.16. Графік залежності кута оптимальної орієнтації від прискорення

В нашому випадку $\alpha = 28.075$ град , а мінімальна сила необхідна для $F_{\text{тп}} \geq 1.606$ Н безвідривного транспортування на цій ділянці

Аналогічно розраховуємо оптимальний кут орієнтації на ділянці $T_3 - T_4$ ($\alpha = 16.558$ град, $F_{\text{тп}} \geq 1.58$ Н), $T'_5 - T'_6$ ($\alpha = 4.985$ град, $F_{\text{тп}} \geq 1.613$ Н).

На відрізку $T_1 - T'_1$ Знайдемо мінімальну силу тяжіння. Вона відповідає найбільшому значенню сили тяжіння під час зміни швидкості на даному інтервалі $0 \leq v \leq 0.22 \frac{m}{c}$, та прискорення на цьому відрізку $0 \leq a \leq 2 \frac{m}{c^2}$, (рис. 2.17), а цьому відрізку та відповідає значенню, згідно з нашою інформацією $F_{\text{тп}} \geq 3.328$ Н.

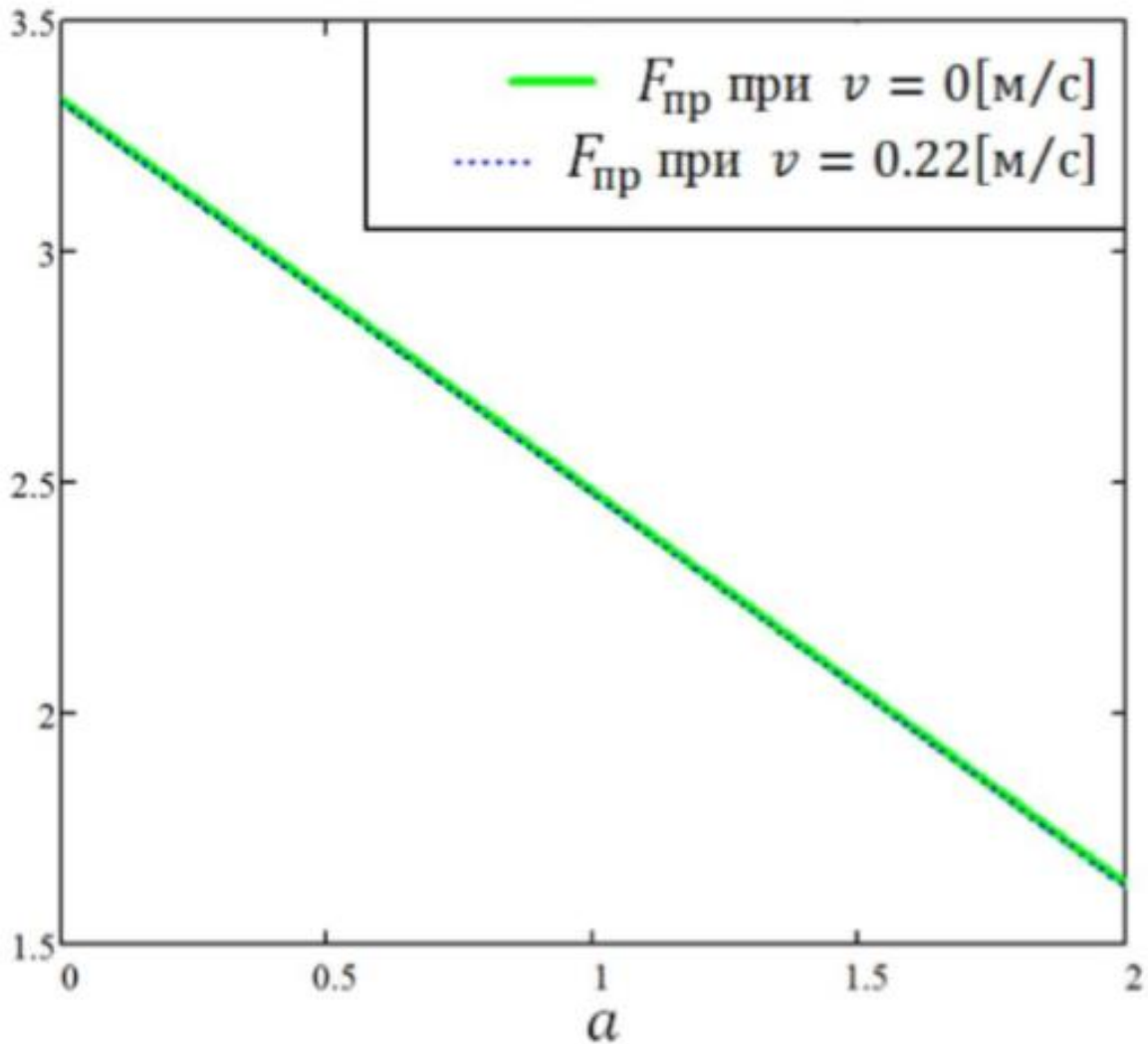


Рис. 2.17 Графік залежності мінімальної сили тяжіння від прискорення

Знайдемо необхідну силу тяжіння на цих інтервалах $T'_2-T_3, T_4-T'_5$ відносно зміни кута орієнтації $16.558 \leq a \leq 28.075$ град (рис. 2.18), $16.558 \leq a \leq 4.985$ град, прискорення переналаштування $-5 \leq \varepsilon \leq 5 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$ та швидкості переорієнтації $0 \leq \varepsilon \leq 1 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$.

Вона дорівнює максимальному значенню мінімальної сили тяжіння, необхідної для забезпечення безперервної переорієнтації вантажу на цих інтервалах. У нашому випадку для відрізка T'_2-T_3 сила тяжіння повинна відповідати умові $F_{пр} \geq 3.581 \text{ Н}$, а для інтервалу $T_4-T'_5$ $F_{пр} \geq 1.855 \text{ Н}$.

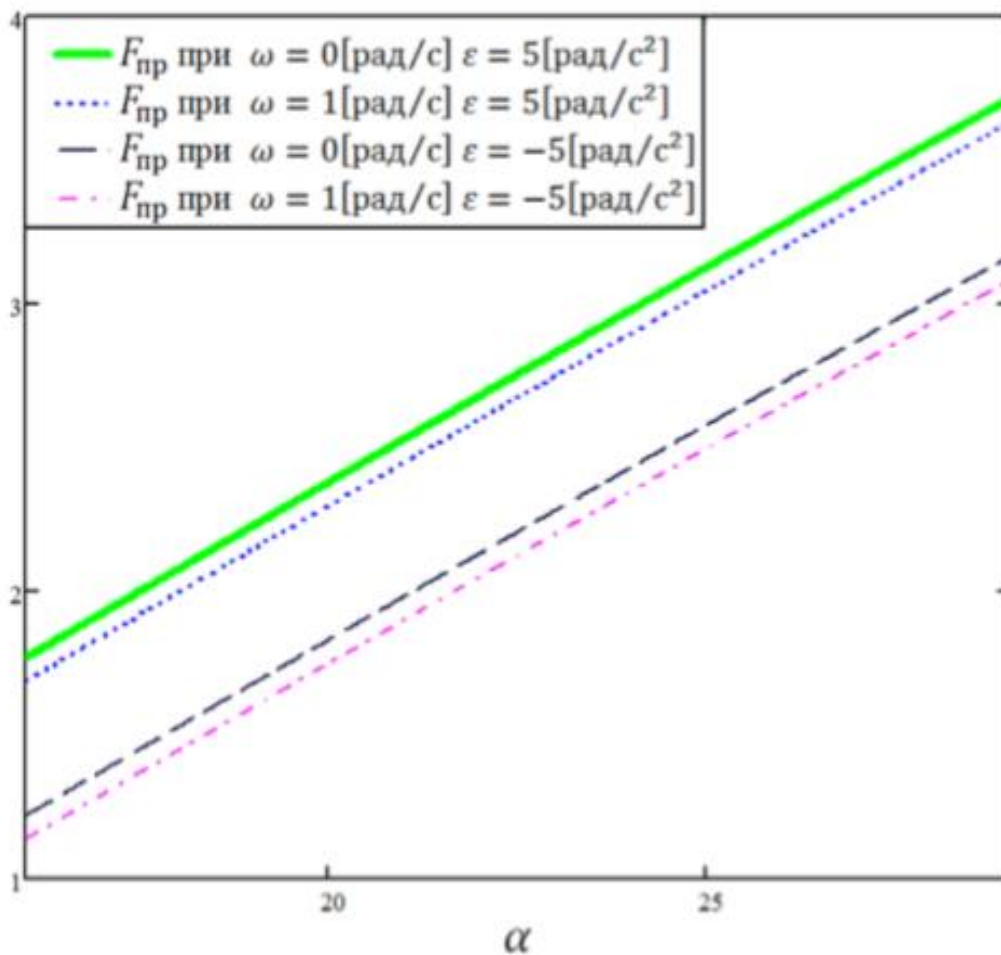


Рис. 2.18 Графік залежності мінімальної сили тяжіння від орієнтації
 $16.558 \leq \alpha \leq 28.075$ град

Мінімально необхідна сила тяжіння на цьому проміжку $T'_6 - T_6$ дорівнює максимальному значенню мінімальної сили тяжіння у відношенні до зміни швидкості $0 \leq v \leq 0.22 \frac{м}{с}$ та прискорення $0 \leq a \leq -2 \frac{м}{с^2}$ (рис. 2.18) за нашими даними $F_{пр} \geq 1.627$ Н.

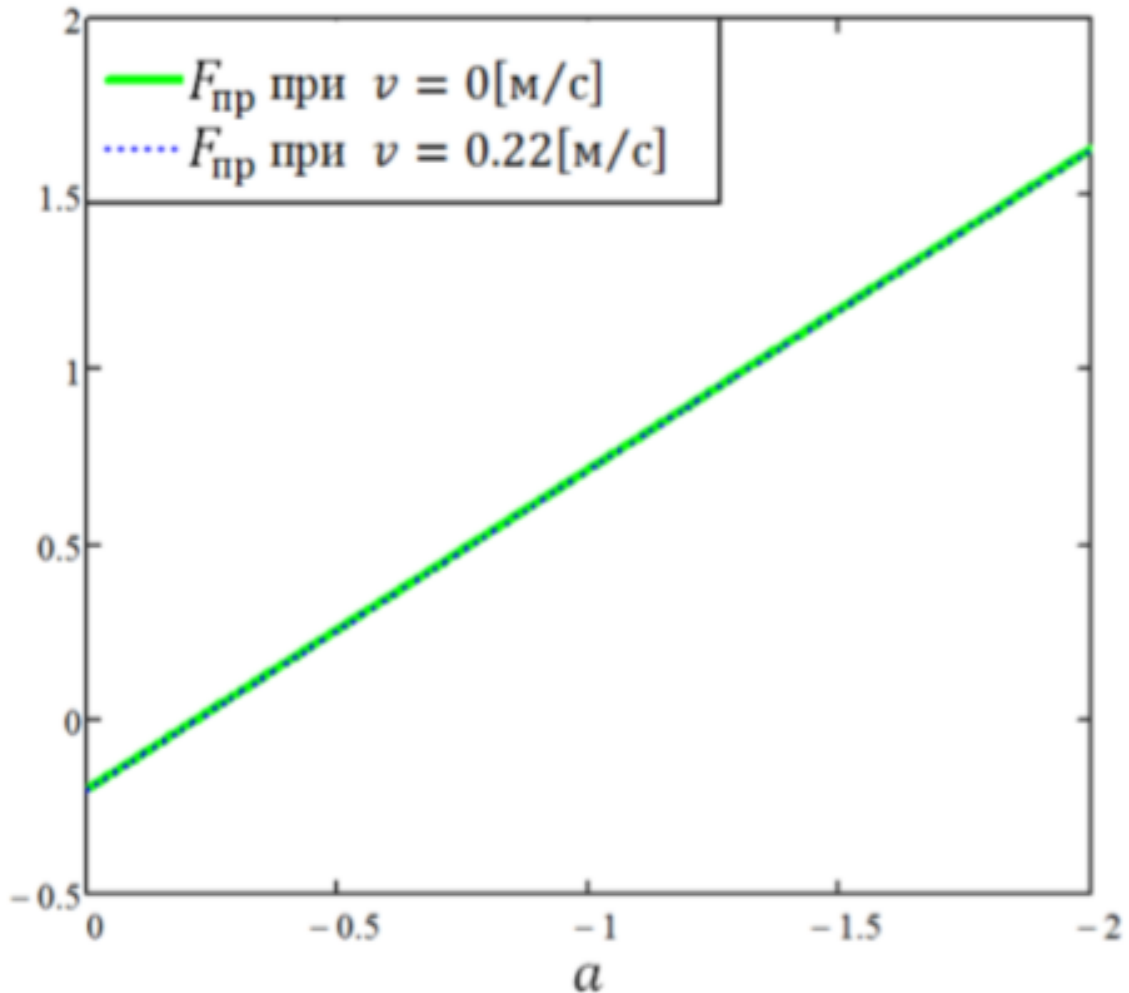


Рис. 2.19 Графік залежності мінімальної сили тяжіння від прискорення

Для оцінки впливу зміщення центру мас вантажу відносно осі симетрії ЗП буде створено графік, що відобразить залежність кута оптимальної орієнтації від цього зміщення центру мас вантажу (рис. 2.19). З рисунку 2.19 видно, що для $E = 0$ м, $F_{\text{пр}} \geq -0.978$ Н, це свідчить, що при таких параметрах реакції в опорах ЗП є позитивними, тому сила тяжіння не є необхідною для утримання вантажу. При $E=0.095$ м, сила тяжіння складе $F_{\text{пр}} = -1.58$ Н. Це безсумнівно, що мінімально необхідна сила тяжіння зростатиме зі збільшенням відстані центру мас вантажу від осі симетрії ЗП.

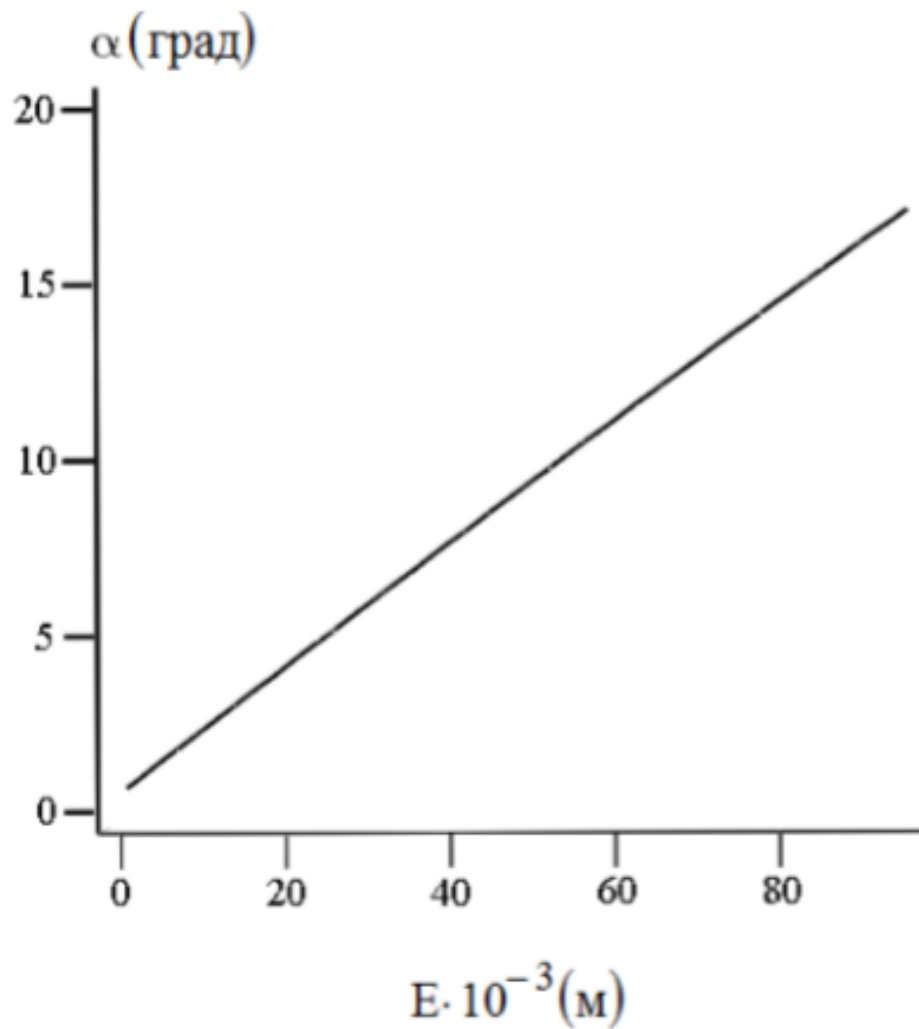


Рис. 2.20 Графік залежності кута оптимальної орієнтації від зміщення центра мас

Визначення впливу силового опору повітря на необхідну силу для транспортування вантажу проілюстровано у таблиці 2.1. Згідно із цими даними, урахування опору повітря є невід'ємною умовою для переміщення вантажів великих розмірів та при високих швидкостях.

Таблиця 2.1

Результати обчислень

	$v = 0.44 \text{ м/с}$		$v = 5 \text{ м/с}$	
	$A = 0.25 \text{ м}$ $B = 0.1 \text{ м}$ $H = 0.1 \text{ м}$	$A = 0.5 \text{ м}$ $B = 0.2 \text{ м}$ $H = 0.2 \text{ м}$	$A = 0.25 \text{ м}$ $B = 0.1 \text{ м}$ $H = 0.1 \text{ м}$	$A = 0.5 \text{ м}$ $B = 0.2 \text{ м}$ $H = 0.2 \text{ м}$
З врахування сил лобового опору	$\alpha = 16.558$ $F_{np} = 1.58 \text{ Н}$	$\alpha = 14.897$ $F_{np} = 1.269 \text{ Н}$	$\alpha = 38.617$ $F_{np} = 1.89 \text{ Н}$	$\alpha = 72.078$ $F_{np} = 2.259 \text{ Н}$
Без врахування сил лобового опору	$\alpha = 16.387$ $F_{np} = 1.573 \text{ Н}$	$\alpha = 14.324$ $F_{np} = 1.255 \text{ Н}$	$\alpha = 16.387$ $F_{np} = 1.577 \text{ Н}$	$\alpha = 14.324$ $F_{np} = 1.255 \text{ Н}$
Процент збільшення сили притягання при врахуванні сил лобового опору відносно без врахування	0.44 %	1.1 %	16.6 %	44.4 %

Висновки до розділу 2

Проведено аналіз структури, кінематики та компоновки маніпулятора. Також виконано моделювання динамічної взаємодії пристрою з програмованим засобом управління (ПЗП) під час переміщення вантажу вздовж прямолінійної траєкторії. Розроблено графік швидкостей і прискорень вантажу. Визначено відсоток збільшення сили тяжіння з урахуванням опору середовища та без такого урахування.

Розділ 3. КІНЕМАТИЧНІ ТА ДИНАМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИЗОВАНИХ ПРИСТРОЇВ ЗАХОПЛЕННЯ МАНІПУЛЯТОРА

3.1. Класифікація пристроїв захоплення

Пристрої захоплення (ЗП) або захватні належать до категорії компонентів, які використовуються в промислових роботах. За принципом їх дії всі пристрої захоплення зазвичай класифікують у три основні групи: механічні; вакуумні; магнітні (див. рис. 3.1).

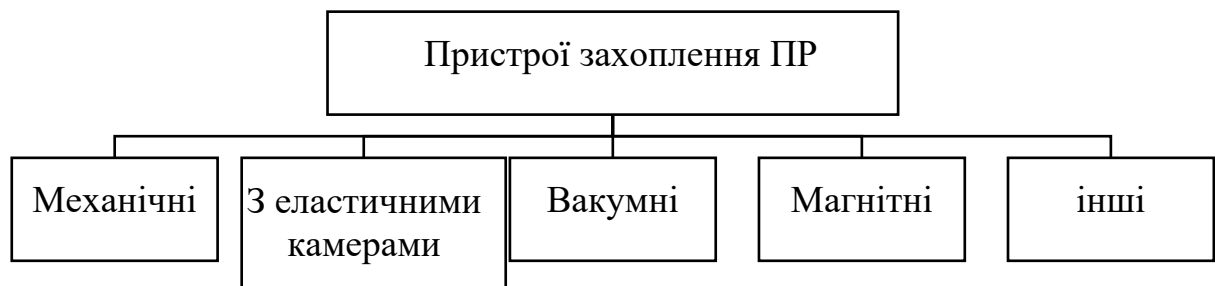


Рис. 3.1. Класифікація пристроїв захоплення ПР за принципом дії.

У даній класифікації додатково включено пристрої захоплення з еластичними камерами, які відносяться до категорії універсальних захоплень. Також розглядаються інші пристрої захоплення, такі як ті, що використовують безконтактну технологію, зокрема струменеві і електростатичні захоплення (детальніше про них буде розглянуто в подальших розділах). Розглянемо інші класифікації пристроїв захоплення за найважливішими ознаками.

Класифікація за способом утримання об'єкта (рис. 3.2.)



Рис. 3.2. Класифікація пристроїв захоплення ПР за способом утримання об'єкта

Пристрої захоплення (ЗП) здатні утримувати об'єкт за рахунок кінематичного впливу робочих елементів, таких як губки, пальці чи кліщі, використовуючи сили тертя або їх комбінацію з замикаючими зусиллями. Усі ці пристрої спроможні захоплювати об'єкти.

ЗУ активного типу поділяються на дві основні групи: механічні, такі як кліщі, лещата та шарнірні пальці, і ті, які використовують еластичні робочі камери, що деформуються під впливом стиснутого повітря або рідини.

У виробничому процесі для утримання предмета використовують нижню поверхню, виступаючі частини або отвори в корпусі. Серед таких пристроїв можуть бути кріпильні гачки, петлі, вилки, лопатки та захоплення, які не стискають заготовки.

ЗУ утримання забезпечують силовий вплив на об'єкт, використовуючи різні фізичні ефекти. Найпоширеніші серед них вакуумні та магнітні ЗП. Рідше зустрічаються пристрої, що використовують ефекти електростатичного тяжіння, адгезії тощо.

За способом дії ЗП поділяються на неприводні (наприклад, з використанням пружини) та приводні, обладнані приводом для активації захоплення.

Щодо поверхні об'єкта, захопленого пристроєм, вирізняють зовнішні (для захоплення валів, корпусів, пластин) та внутрішні (при захопленні втулок, кілець, шайб і т.п.).

Окрім того, класифікація ЗП може здійснюватися за видом управління, яке представлено на рисунку 3.3.

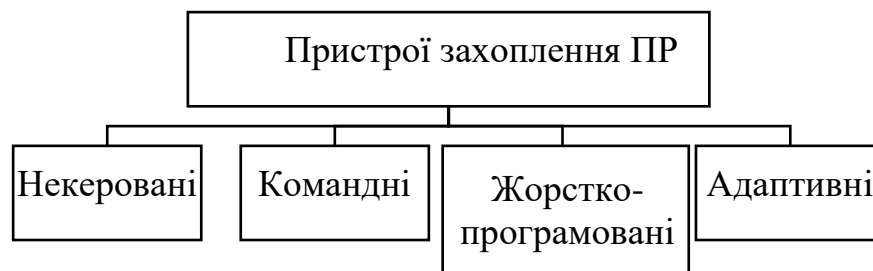


Рис. 3.3. Класифікація пристроїв захоплення ПР по виду управління

Некеровані – це пружинні механічні пристрої із постійними магнітами або вакуумними присосками без примусового розрідження. Для вилучення об'єкта із таких пристроїв потрібно зусилля, яке перевищує силу утримання об'єкта.

Командні пристрої захоплення керуються виключно командами на захоплення чи відпускання об'єкта. До цієї категорії входять пристрої із пружинним приводом, оснащені стопорними пристроями, і спрацьовують в такт. Губки пружинних пристроїв захоплення розходяться і затискаються завдяки взаємодії з об'єктом маніпулювання.

Жорсткопрограмовані пристрої захоплення керуються сигналами системи управління ПР. Розміщення робочих елементів, зусилля затиску в таких пристроях можуть змінюватися за програмою, яка може управляти також дією технологічних адаптацій.

Адаптивні пристрої захоплення – це програмовані пристрої, які обладнані різноманітними датчиками зовнішньої інформації, такими як визначення форми поверхні, маси об'єкта, сили затиску, або виявлення ковзання об'єкта щодо робочих елементів пристрою захоплення.

За характером кріплення пристроїв захоплення до руки маніпулятора (див. рис. 3.4).

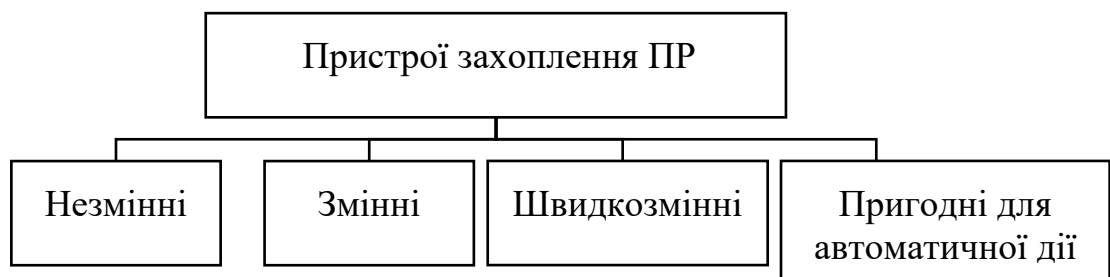


Рис. 3.4. Класифікація пристроїв захоплення ПР за характером кріплення ЗП до руки маніпулятора

Незмінні пристрої захоплення – це вузли, що не можуть бути від'єднані від конструкції руки маніпулятора і не передбачають можливості їх заміни.

Змінні пристрої захоплення – це самостійні вузли з базовими поверхнями для кріплення до руки маніпулятора, які можуть бути від'єднані та замінені.

Швидкозамінні пристрої захоплення – це змінні пристрої, у яких конструкція базових поверхонь для кріплення до маніпулятора забезпечує їх швидку зміну, наприклад, за допомогою байонетного замка.

Придатні для автоматичної зміни пристрої захоплення – це пристрої, у яких конструкція базових поверхонь дозволяє автоматичне закріплення на руці маніпулятора.

На рисунку 3.5 наведено приклади кінематичних схем одно-, дво- і трикоординатних пристроїв захоплення.

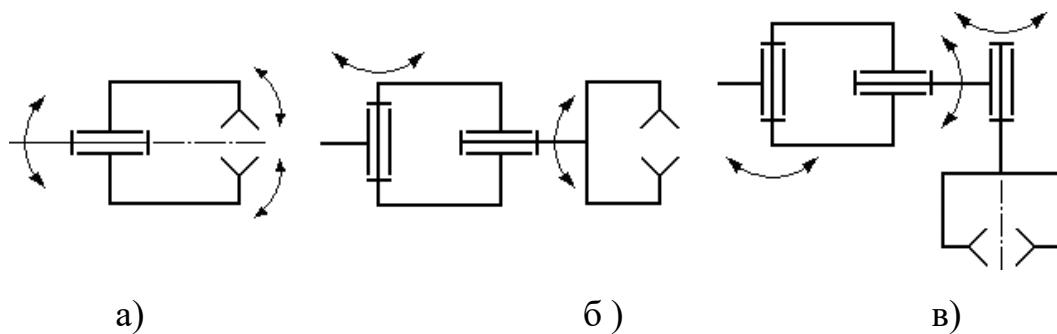


Рис. 3.5. Приклади кінематичних схем пристроїв захоплення:

а – однокоординатне ЗП; б – двокоординатне ЗП; в – трикоординатне ЗП

Оскільки в машинобудуванні широкого поширення набули пристрої ручного управління з механічними захопленнями, наведемо класифікацію механічних пристроїв захоплення за наявністю та типом приводу і передавального механізму (див. рис. 3.6). В цій класифікації виділено дві основні групи пристроїв захоплення: приводні та не приводні. За типом механізму, який передає зусилля від приводу до затискного органу, пристрої поділені на чотири групи.

У реальних умовах найбільш поширеними для захоплення є схеми плоских механізмів з одним двигуном та одним ступенем свободи. Ці механізми призначені для захоплення об'єктів з різними перетинами і формами на основі призм та плоских об'єктів (див. рис. 3.7).



Рис. 3.6. Класифікація механічних пристроїв захоплення ПР

У випадку довгомірних об'єктів такі схеми забезпечують захоплення лише одного перетину. Схеми з прямою передачею є найпростішими, де єдиний рухливий робочий елемент жорстко пов'язаний з штоком пневмоциліндра і, отже, переміщується по його осі. Об'єкт вводиться в зону між робочими елементами вздовж вертикальної осі.

З механізмів з декількома ступенями рухливості найпоширеніші механізми з двома вихідними ланками, симетрично розташованими і симетрично рухаються відносно середньої площини. У вказаній схемі, за допомогою простого шарнірно-важільного механізму, горизонтальний прямолінійний рух штока пневмоциліндра перетворюється на обертальний рух верхнього робочого елемента. Введення об'єкта між робочими елементами відбувається з максимальною силою вздовж горизонтальної осі, використовуючи висувну руку.

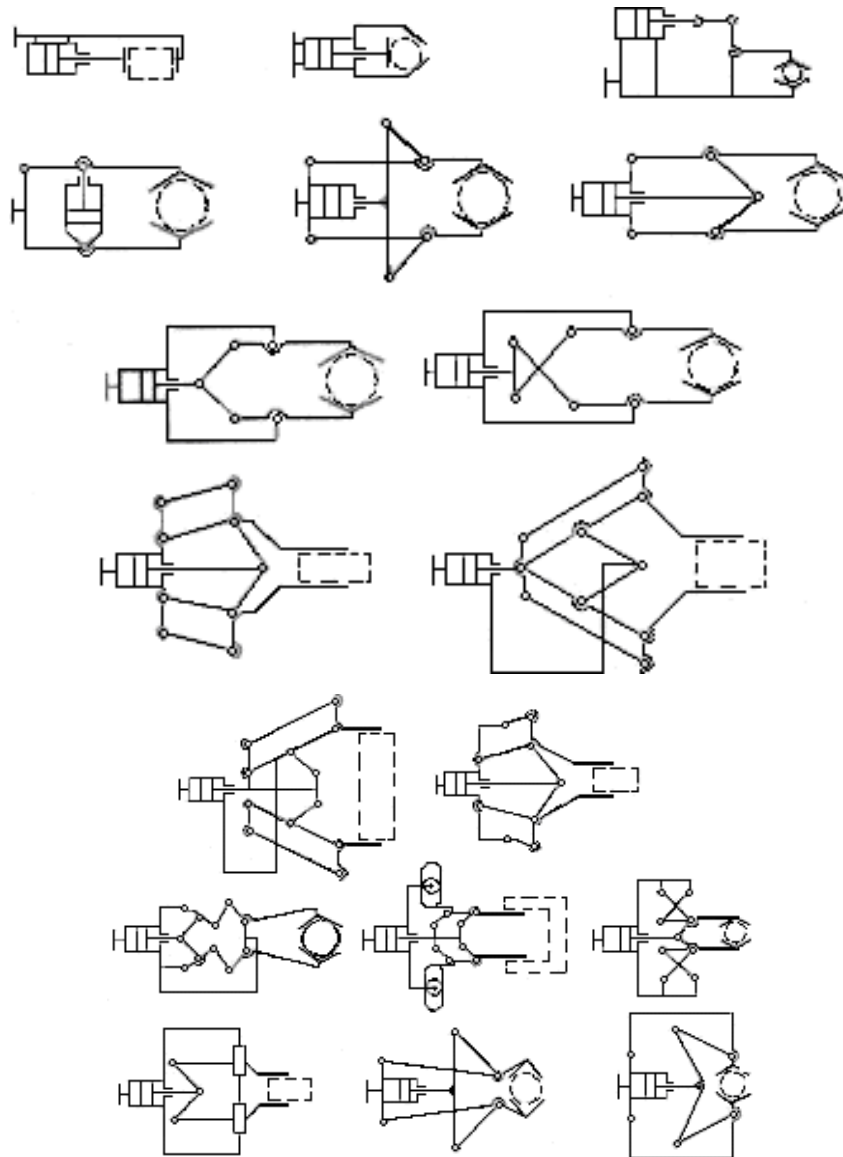


Рис. 3.7. Принципові схеми механічних пристроїв захоплення ПР

Більшість схем пристроїв захоплення мають нерухомі пневмоциліндри. Однак існують і схеми, в яких пневмоциліндр вбудований в механізм захоплення і виконаний як хиткий (див. рис. 3.7). Розташування пневмоциліндра всередині механізму дозволяє скоротити розмір повздовжньої осі при заданій довжині крутного важеля.

Використання ковзаючого циліндра робить схему більш простою, але обмежує можливості внесення змін у параметри під час конструювання і зазвичай призводить до зниження надійності через використання гнучких трубопроводів.

Дуже популярні кліщові захоплення використовують схеми, де вихідні ланки обертаються симетрично відносно горизонтальної осі в протилежних напрямках. Усі ці схеми виготовлені так, щоб стиск губок захоплення відбувався при подачі тиску в порожнину пневмоциліндра без штоку. Недоліком кліщових захоплень є можливість обертання важелів. При фіксації робочих елементів на них не можна забезпечити захоплення плоских предметів різної товщини, тому кліщі частіше використовуються для захоплення циліндричних об'єктів. У групі шарнірних механізмів особливий інтерес викликає конфігурація, де один механізм налаштований до взаємодії з іншим. Таке з'єднання може забезпечити широке розкриття робочих елементів при відповідному виборі параметрів.

Всі розглянуті шарнірні механізми мають лише обертальні пари, що робить їх простими у виготовленні і важливими при доведенні та модернізації захоплень у процесі експлуатації роботів. Розширеність проміжків та недосконалість взаємних поверхонь мають значний вплив на стабільність положення об'єкта. Під час захоплення ці проміжки вирівнюються в одному напрямку, що може призвести до небажаних наслідків. Однак при правильному підборі параметрів та обмеженні рухів та кутів повороту виключається можливість ущільнення та застрягання об'єкта, забезпечуючи безперервну роботу механізму.

Паралелограмні механізми забезпечують паралельність вихідних ланок, що дозволяє робочим елементам захоплення переміщуватися прямолінійно вздовж вертикальної осі при затискуванні об'єкта. Використовуються інші шарнірні чотиризвенніки, наприклад, схема з механізмом, який дозволяє отримати більше широке розкриття захоплення (див. рис. 3.7). Проте переваги використання схем з шарнірними чотиризвенниками порівняно з найпростішими схемами можуть бути неочевидними. Переміщення осей шарнірів дозволяє не лише оптимізувати розташування, змінювати передавальні співвідношення, але й розширювати або звужувати межі діапазону захоплення при однакових довжинах плечей важелів.

3.2. Розрахунок пристроїв захоплення

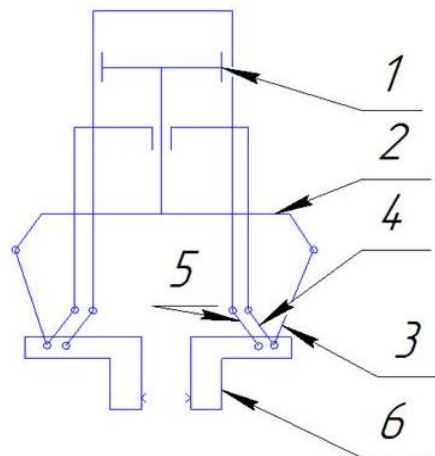


Рис.3.8. Пристрій захоплення

Опис захвату

Під час подачі повітря в верхню порожнину пневмоциліндра, поршень 1 різко опускається вниз разом із важелем 2, що жорстко закріплений із штоком пневмоциліндра. Важелі 4 і 5 ефективно передають зусилля від важеля 2 через важіль 3, обертаючись навколо нерухомих опор. Це інтенсивне обертання ефективно передається з пропорційним зусиллям на губки, які тепер стискаються з великою силою. При введенні повітря в нижню порожнину пневмоциліндра, губки захвату розпрямляються.

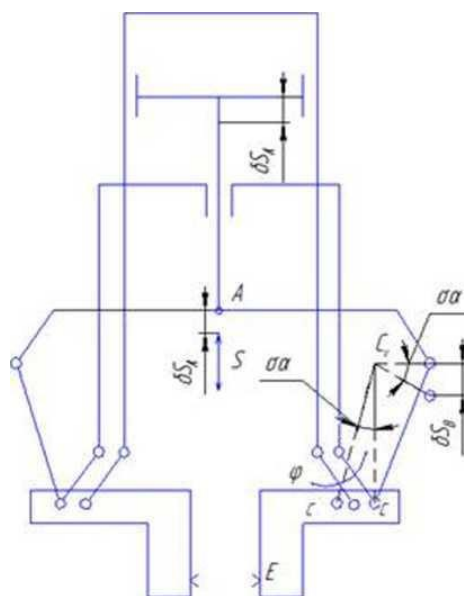


Рис.3.9. Кінематика пристрою захоплення

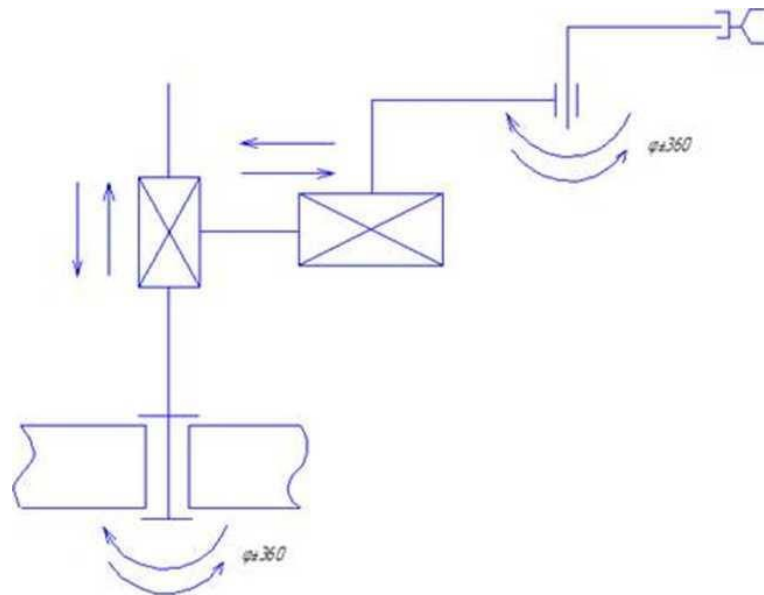


Рис.3.10. Кінематична схема робота маніпулятора

Розрахунок захвату

Припустимо, що рука робота рухається вниз з постійною швидкістю. Дослідимо умови надійного закріплення заготовки, щоб забезпечити максимальну стійкість та ефективність процесу. Необхідна умова закріплення заготовки:

$$F_{\text{тр}} > \sigma + F_{\text{ін}}$$

$$F_{\text{тр}} = N * f$$

$$F_{\text{ін}} = \frac{G}{g} * W_{\text{т}} = m * W_{\text{т}}$$

Так як вважаємо рух рівноприскореним

$$S = \frac{W_{\text{т}} * t}{2}; V = W_{\text{т}} * t; t = \frac{V}{W_{\text{т}}}; S = \frac{W_{\text{т}} * V^2}{2 * W_{\text{т}}^2} \rightarrow W_{\text{т}} = \frac{V^2}{2 * S}$$

Обчислимо силу стиску, необхідну для того, щоб забезпечити надійне утримання деталі в захваті, уникаючи її викидання або виривання.

$$N * f = k \left(\sigma + \frac{\sigma}{g} * \frac{V^2}{2 * S} \right), \text{ де } k = 1.5; f = 0.13$$

$$F_{\tau}^{\text{нн}} = \frac{G}{g} * W_{\tau} = m * W_{\tau}$$

Для забезпечення умови надійного утримання заготовки розрахуємо необхідний діаметр поршня пневмоциліндра.

$$\sum \delta A_j^e = 0$$

$$F_{\text{пц}} * \delta S + N \delta S_e = 0$$

$$\delta S = \delta S_a = \delta S_b$$

$$\delta S_b = \delta S_a * C_v * B$$

$$\delta a = \frac{\delta S_b}{C_v B}$$

$$\delta S_c = C_v C * S a = C_v C * \frac{\delta S_b}{C_v B} = DC * \delta \varphi$$

$$\delta S_e = \delta \varphi * D' E = \frac{C_v C * \delta S_b}{C_v B * DC} * D' E$$

$$[p] * \frac{\pi * D_{\text{п}}^2}{4} * \delta S + \frac{k}{f} \left(\sigma + \frac{\sigma}{g} * \frac{V^2}{2 * S} \right) * \frac{C_v C * \delta S}{C_v B * DC} * D' E = 0$$

$$D_{\text{п}} = \sqrt{\frac{\frac{k}{f} * \left(\sigma + \frac{\sigma}{g} * \frac{V^2}{2 * S} \right) * \frac{C_v C * \delta S}{C_v B * DC} * 4}{[p] * \pi}} =$$

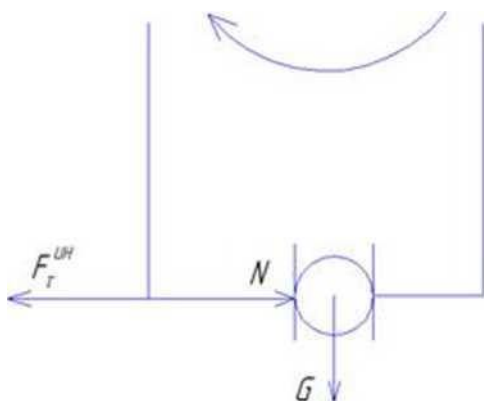
$$= \sqrt{\frac{1.5 * 4 \left(5.5 + \frac{5.5}{9.8} * \frac{0.5^2}{2 * 0.26} \right) * 0.0015 * 0.026}{0.13 * 0.5 * 10^5 * 3.14 * 0.005 * 0.02}} = 0,0793 \text{ м} = 79,3 \text{ мм}$$

Вибираємо за довідником $D_{\text{п}} = 80 \text{ мм}$

Нехай рука робота з захватом здійснює обертання навколо осі стійки.

Розглянемо два випадки:

1. Вплив відцентрової сили інерції на губку охоплення.



$$N > F_n^{ин}$$

$$F_n^{ин} = \omega^2 * R * \frac{G}{g}$$

R – відстань від центру мас заготовки до осі обертання стійки.

$$F_n^{ин} = 0,87^2 * 1 * \frac{5,5}{9,8} = 4,3 \rightarrow N = F_n^{ин}$$

2. В момент гальмування

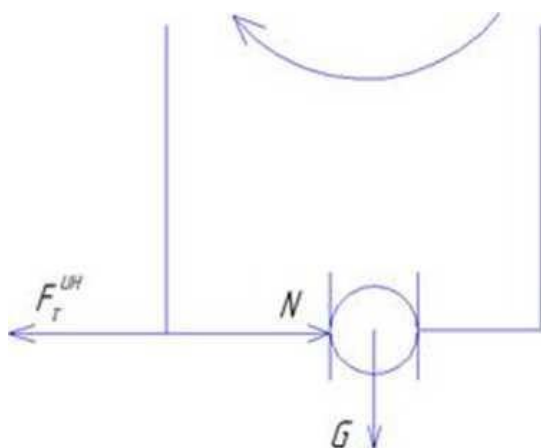
$$N > F_{\tau}^{ин}$$

$$F_{\tau}^{ин} = \frac{G}{g} * \varepsilon * r$$

$$\text{Где } \varepsilon = \frac{\omega^2}{2\varphi} = \frac{50^2}{2 * 15} = 83,3 \text{ рад/с}^2$$

$$F_{\tau}^{ин} = \frac{5,5}{9,8} * 83,3 * 1 = 46,75 \text{ Н}$$

$$N > F_{\tau}^{ин}$$



Розрахунок параметрів елементів охоплення.

За довідником знаходимо шток пневмоциліндра і співвідношення розмірів поршня.

Діаметр штоку дорівнює $d = 25\text{мм}$.

Тепер виявляємо відгуки в точках з'єднання компонентів.

Перевіряємо закріплення поршня і штока на витягання. , :

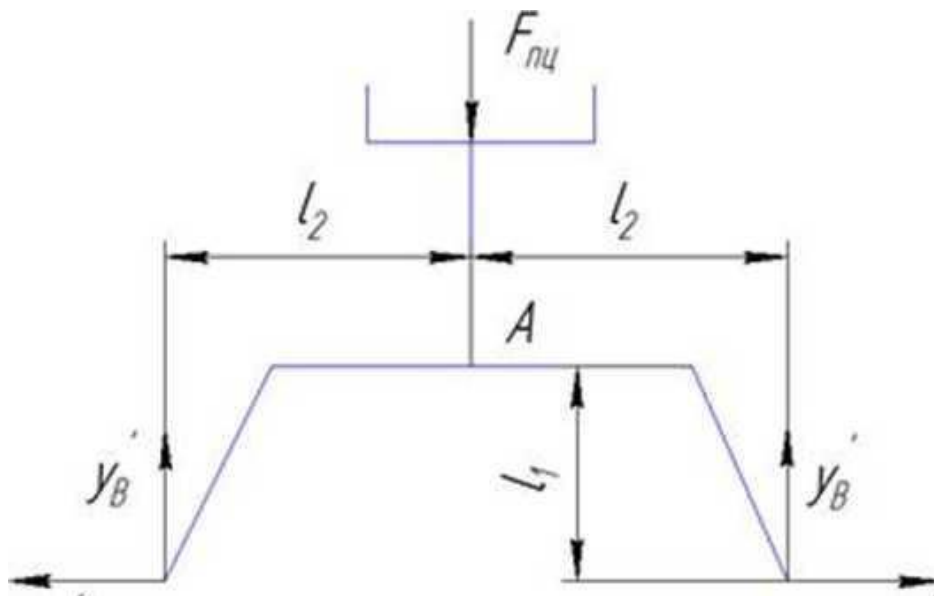
$$\frac{\pi d^2}{4} [\sigma_p] = P$$

де P – сила, що діє вздовж осі штока.

$$d = \sqrt{\frac{4P}{\pi[\sigma_p]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5000}{3.14 \cdot 1250}} = 2.2 \text{ см} = 22\text{мм}$$

Знайденого за довідником перетину штока досить.

Знайдемо реакції в опорах охоплення



$$\sum_{j=1}^n x_j = x_B - x'_B = 0 \rightarrow x_B = x'_B$$

$$\sum_{j=1}^n y_j = y_B + y'_B - F_{\text{пц}} = 0$$

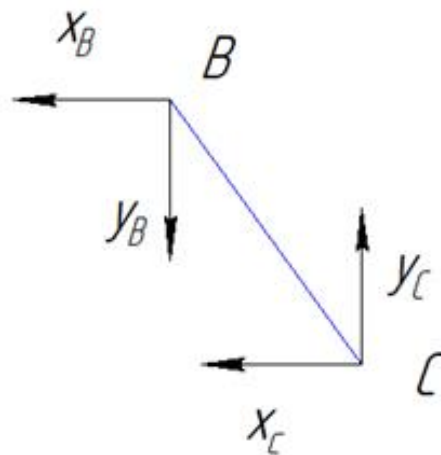
$$\sum_{j=1}^n M_{(A)j} = y'_B * l_2 - y_B * l_2 + x'_B * l_1 - x_B * l_1 = 0$$

$$y_B = y'_B = \frac{F_{\text{пц}}}{2} * \frac{[P]\pi D_{\text{п}}^2}{2} = \frac{0,5 * 10^5 * 3,14 * 0,08^2}{8} = 125\text{H}$$

$$x_B = x'_B = 45\text{H}$$

$$R_B = \sqrt{x_B^2 + y_B^2} = \sqrt{125^2 + 45^2} = 133\text{H}$$

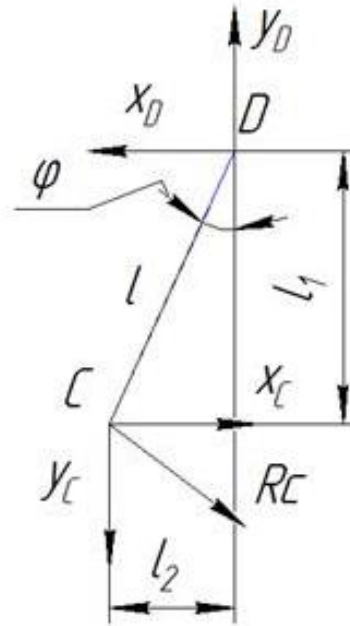
Розрахункова схема рівноваги наступного об'єкту



$$\sum_{j=1}^n x_j = x_B + x_C = 0 \rightarrow x_B = -x_C = -45\text{H}$$

$$\sum_{j=1}^n y_j = y_B - y_C = 0 \rightarrow y_B = y_C = 125\text{H}$$

Розрахункова схема рівноваги другого об'єкту:



$$\sum_{j=1}^n x_j = x_D - x_C = 0 \rightarrow x_D = x_C = 45H$$

$$\sum_{j=1}^n y_j = y_C - y_D = 0 \rightarrow x_D = x_C = 125H$$

$$\sum_{j=1}^n M_{(D)j} = x_C * l_1 + y_C * l_2 = 0$$

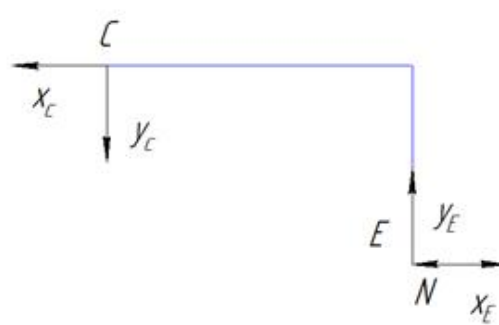
$$x_C = -\frac{y_C * l_2}{l_1} = -\frac{125 * 68}{18.8} = -45H$$

$$l_2 = l * \sin\varphi = 20 * \sin 20 = 6.8\text{mm}$$

$$l_1 = l * \cos 20 = 20 * \cos 20 = 18.8\text{mm}$$

$$R_C = \sqrt{45^2 + 125^2} = 133H$$

Розрахункова схема рівноваги останнього об'єкту:



$$\sum_{j=1}^n x_j = x_C + N + x_E = 0$$

$$\sum_{j=1}^n y_j = y_C - y_E = 0 \rightarrow y_C = y_E = 125H$$

$$x_E = N + x_C = 45 + 67 = 112H$$

$$Re = \sqrt{112^2 + 125^2} = 167H$$

Тепер необхідно знайти діаметр осей, за допомогою яких кріпляться між собою важелі, з умови міцності на зріз та зім'яття.

$$\frac{\pi d^2}{4} [\tau_{cp}] \geq P$$

де P – сила, яка діє перпендикулярно осі.

$$d = \sqrt{\frac{4P}{\pi[\tau_p]}} = \sqrt{\frac{4 * 1334}{3.14 * 212^5}} = 3,5\text{мм}$$

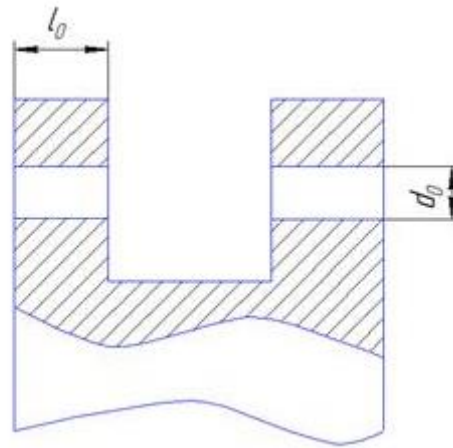
Умова міцності на зім'яття.

$$\sigma_{cm} = \frac{F_{cm}}{S_{cm}} = \frac{F_{cm}}{2 * l_0 * d_0} \leq [\sigma_{cm}]$$

$$\sigma_{cm} = \frac{133}{2 * 3 * 10^{-3} * 3.5 * 10^{-3}} = 6.3 * 10^6 \text{Н/м}^2 \leq [52 * 10^6] \text{Н/м}^2$$

За результатами перевірки на зріз і зім'яття обираємо осі $\varnothing 3,5$ мм.

Перевіримо на напругу розтягнення перетин важелів.



$$\sigma_{\text{раст}} = \frac{F_{\text{раст}}}{S_{\text{раст}}} \leq [\sigma_{\text{раст}}]$$

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{133}{28 * 15 * 10^5} = 11 * 10^6 \text{ Н/м}^2 \leq [125 * 10^6] \text{ Н/м}^2$$

Тепер необхідно знайти похибку сили притиснення, в залежності від зміни тиску і точності виготовлення захвату в полості пневмоциліндра від: $(0,3 \dots 0,5 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2})$

$$N = f(P, d, l, v)$$

Скористаємося методом лінійних помилок

$$\Delta N = \frac{\partial f}{\partial p} \Delta P + \frac{\partial f}{\partial D} \Delta D + \frac{\partial f}{\partial l_1} \Delta l_1 + \frac{\partial f}{\partial l_2} \Delta l_2$$

Δp — допустима зміна тиску в пневмоциліндрі

$$\Delta N = \frac{\pi [P] D_{\text{II}}^2 * C_V B * DC}{4 * C_V C * D' E}$$

$$\frac{\partial N}{\partial P} = \frac{\pi D_{\text{II}}^2 * C_V B * DC}{4 * C_V C * D' E} = \frac{3.14 * 0.08^2 * 0.005 * 0.02}{4 * 0.015 * 0.026} = 0.00129$$

$$\frac{\partial N}{\partial D} = \frac{2\pi D_{\text{II}}^2 * C_V B * DC [P]}{4 * C_V C * D' E} = \frac{3.14 * 0.5 * 0.08^2 * 0.005 * 0.02 * 0.5 * 10^5}{4 * 0.015 * 0.026} = 1610$$

$$\frac{\partial N}{\partial l_1} = \frac{\pi[P]D_{II}^2 * C_V B}{4 * C_V C * D' E} = \frac{3.14 * 0.5 * 10^5 * 0.08^2 * 0.005}{4 * 0.015 * 0.026} = 3220$$

$$\frac{\partial N}{\partial l_2} = - \frac{\pi[P]D_{II}^2 * C_V B * DC}{4 * C_V C * D' E} = - \frac{3.14 * [0.5 * 10^5] * 0.08^2 * 0.005 * 0.02}{4 * 0.015 * 0.026^2} = 2477.3$$

$$\Delta N = 0,00129 + 0,2 * 10^5 + 1610 * 0,07 * 10^{-3} + 3220 * 0,052 * 10^{-3} +$$

$$+ 2477,3 * 0,062 * 10^{-3} = 19,9H$$

$$N' = \frac{(\sigma + \frac{\sigma}{g} * \frac{V^2}{2S})}{f} = \frac{1}{0.13} * \left(5.5 + \frac{5.5}{9.8} * \frac{0.5^2}{2 * 0.26} \right) = 44.6H$$

$$N - \Delta N > N' \rightarrow 67 - 19.9 = 47.1 > 44.6$$

3.3 Синтез пристрою захоплення на базі існуючих моделей

3.3.1 Важільний захват серії CGSN



Рис.3.11. Захват важільний з розкриттям на 180° серії CGSN

Забезпечивши розкриття пальців захвату до 180°, можливо ефективно захоплювати різноманітні об'єкти, уникаючи зіткнень губок з іншими елементами. Використання багатоланкового механізму захвату дозволяє значно збільшити зусилля захоплення. Встановлення магнітних датчиків положення безпосередньо в пази на корпусі захвату забезпечує точне визначення положення.

Монтажні отвори в корпусі захвату забезпечують гнучкість при установці, а можливість встановлення додаткових монтажних адаптерів, таких як Мод. L-CGP (охоплюється) або C-CGP (охоплює), полегшує процес монтажу.

Для вибору відповідної моделі захвату з урахуванням навантаження важливо враховувати, що сила захоплення повинна перевищувати вагу захоплюваного предмета принаймні в 20 разів. У випадках, коли можливі додаткові навантаження, прискорення та зіткнення при переміщенні предмета, рекомендується збільшити запас по зусиллю захоплення для надійності та безпеки операцій.

3.3.2. Розробка конструкції елементів захоплення для серії CGPT

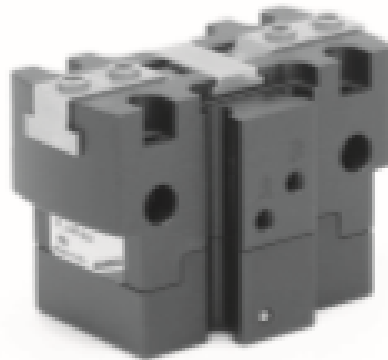


Рис 3.12. Захват з паралельними губками і напрямною серії CGPT

Використання високопродуктивної і точної системи передачі зусилля дозволяє захватам серії CGPT забезпечувати вражаючі зусилля захоплення, при цьому гарантуючи високу повторюваність операцій. Захвати комплектуються центруючими втулками (допуск H8), що забезпечує високу взаємозамінність між губками та насадками захвату при обслуговуванні. Серія пневматичних захватів CGPT ідеально підходить для різноманітних застосувань, таких як захоплення та позиціонування деталей, обробка матеріалу та операції завантаження/розвантаження в верстатних лініях.

Для забезпечення оптимальної ефективності системи рекомендується поступово підвищувати тиск в системі, уникати неконтрольованих спрацьовувань та забезпечити безперебійну роботу захвату.

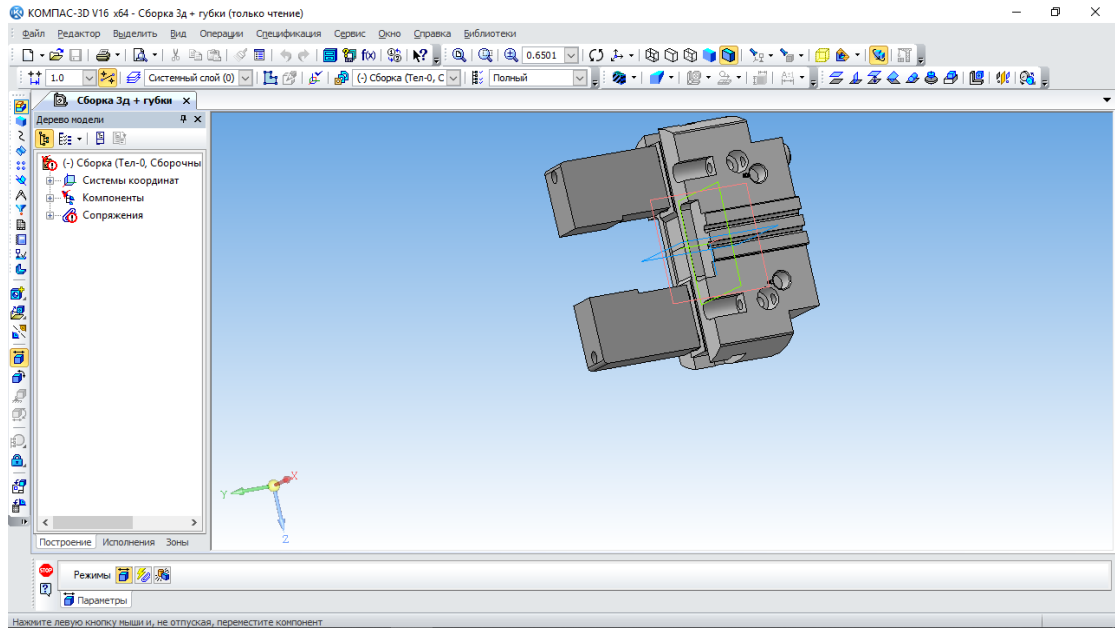


Рис.3.13. Модель 3D губок пристрою захоплення

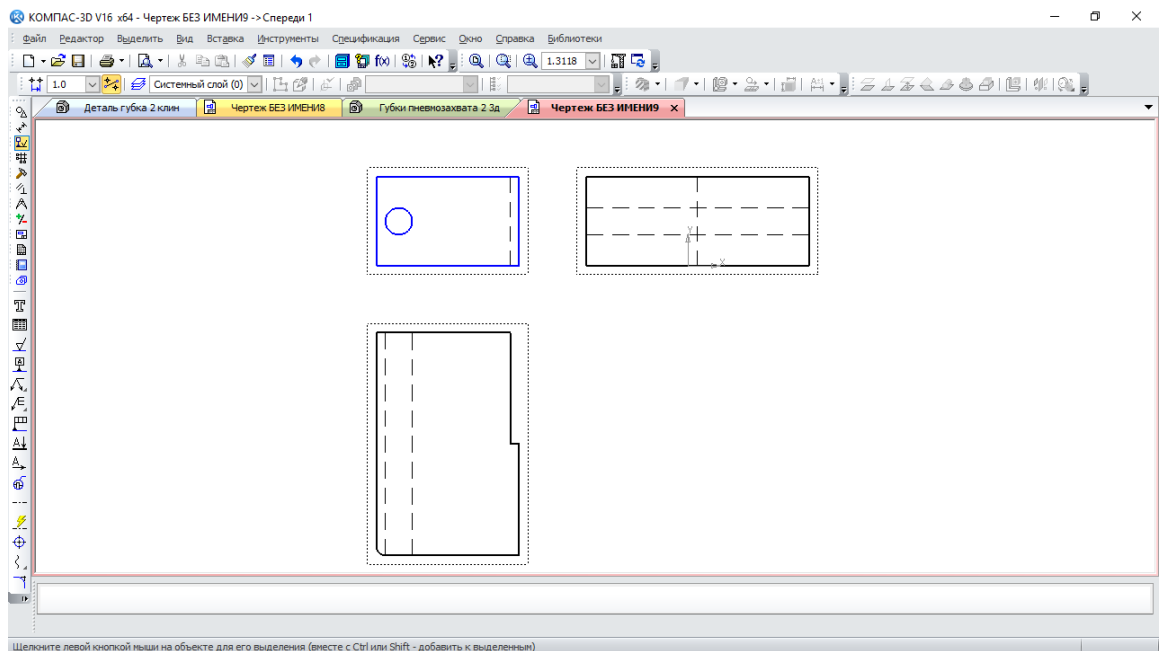


Рис.3.14. Модель 2D губок пристрою захоплення

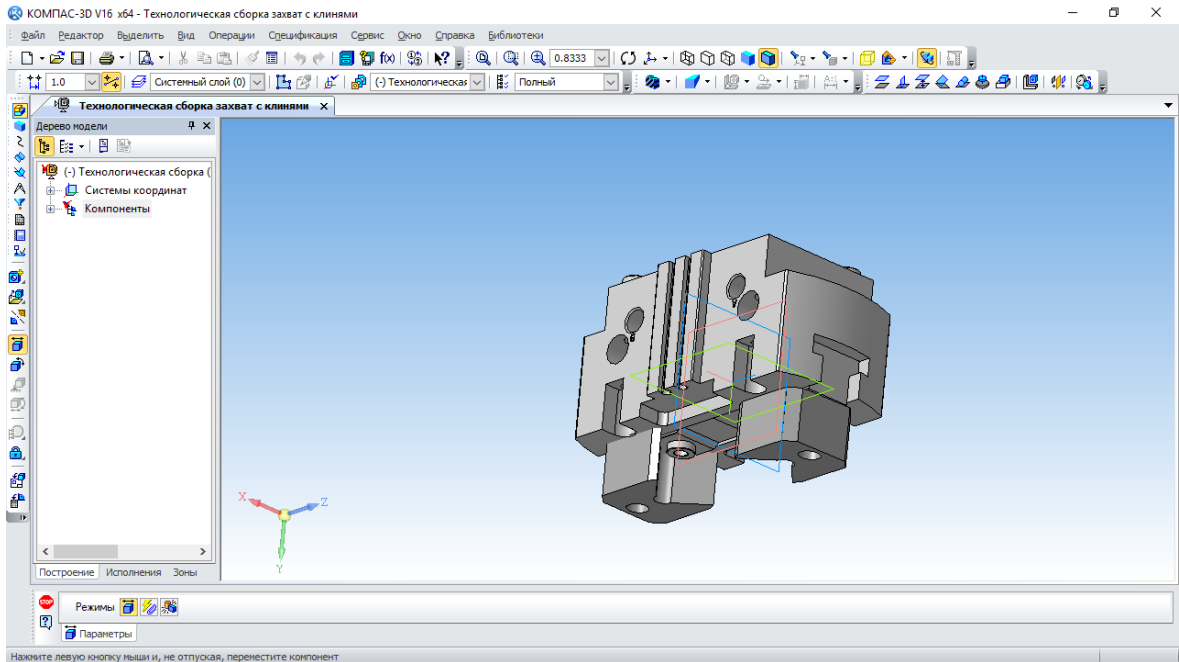


Рис.3.15. Модель 3D губок пристрою захоплення типу клин

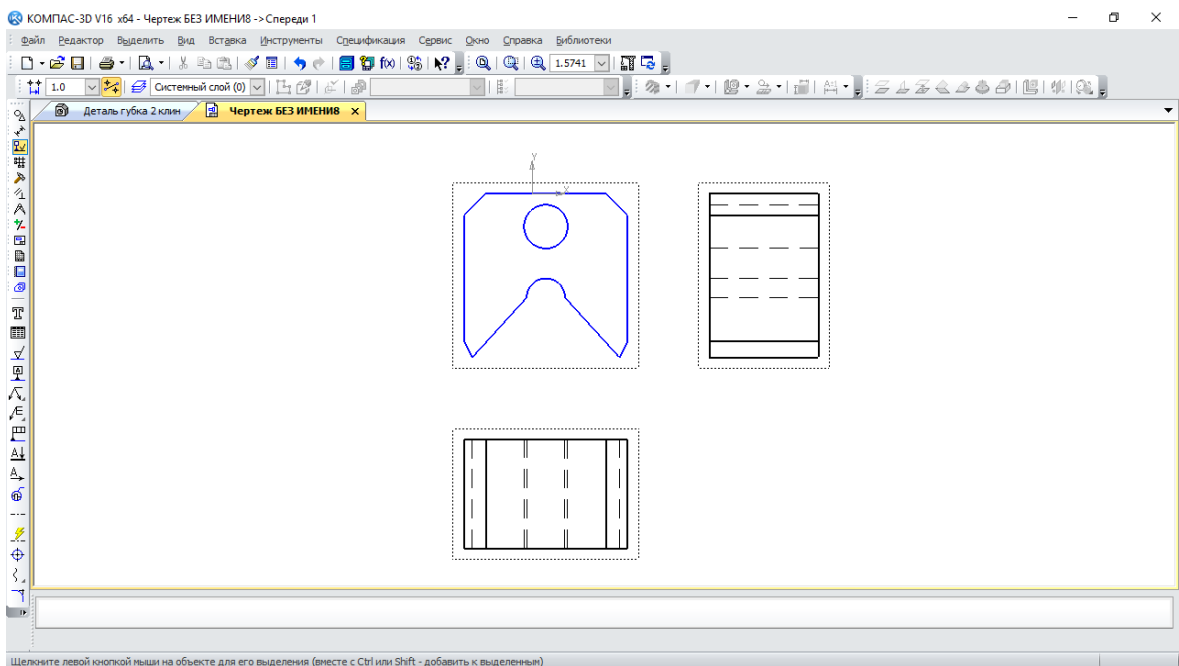


Рис.3.16. Модель 2D губок пристрою захоплення типу клин

3.3.3. Розробка схеми керування пневмопристроєм захоплення серії CGPT

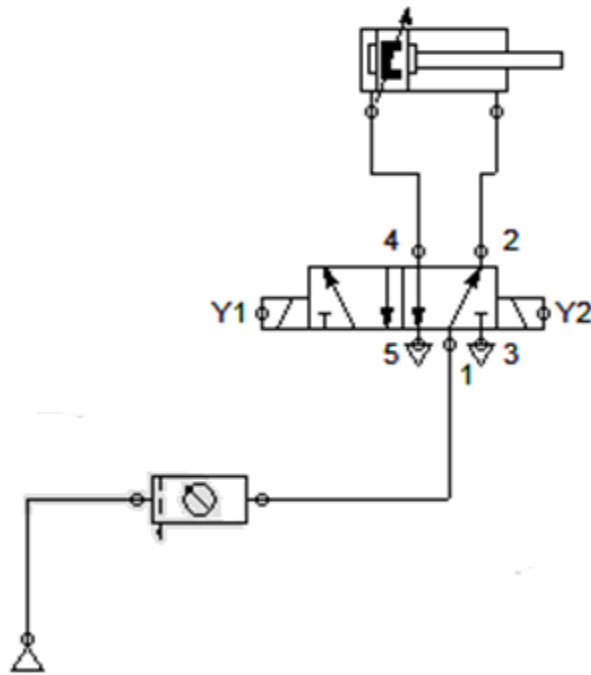


Рис.3.17. Принципова пневматична схема

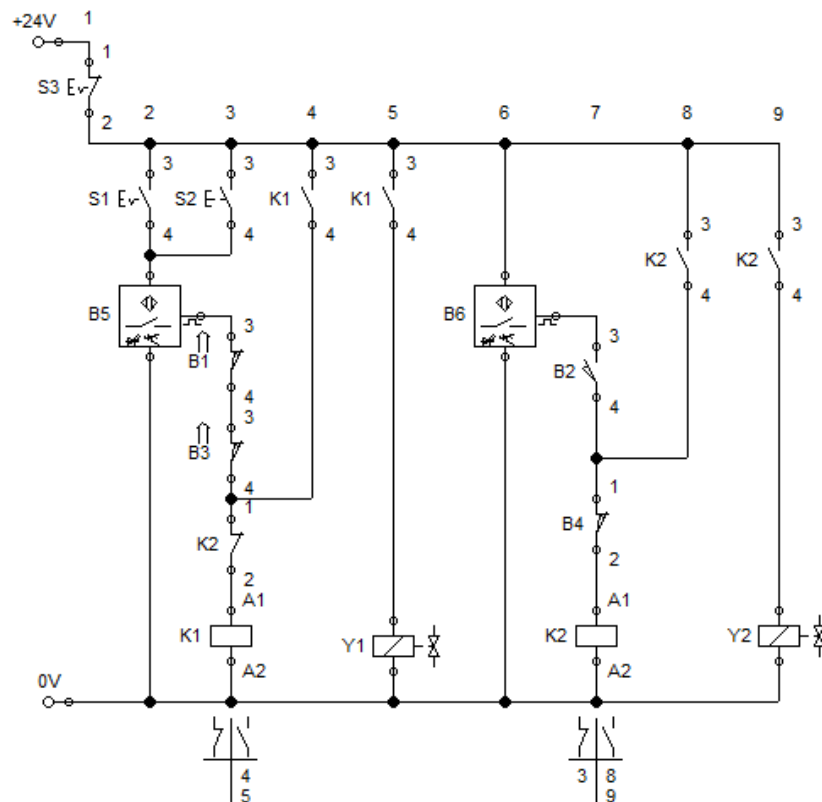


Рис.3.18. Електрична схема, автоматичний та напівавтоматичний режим, пряме управління

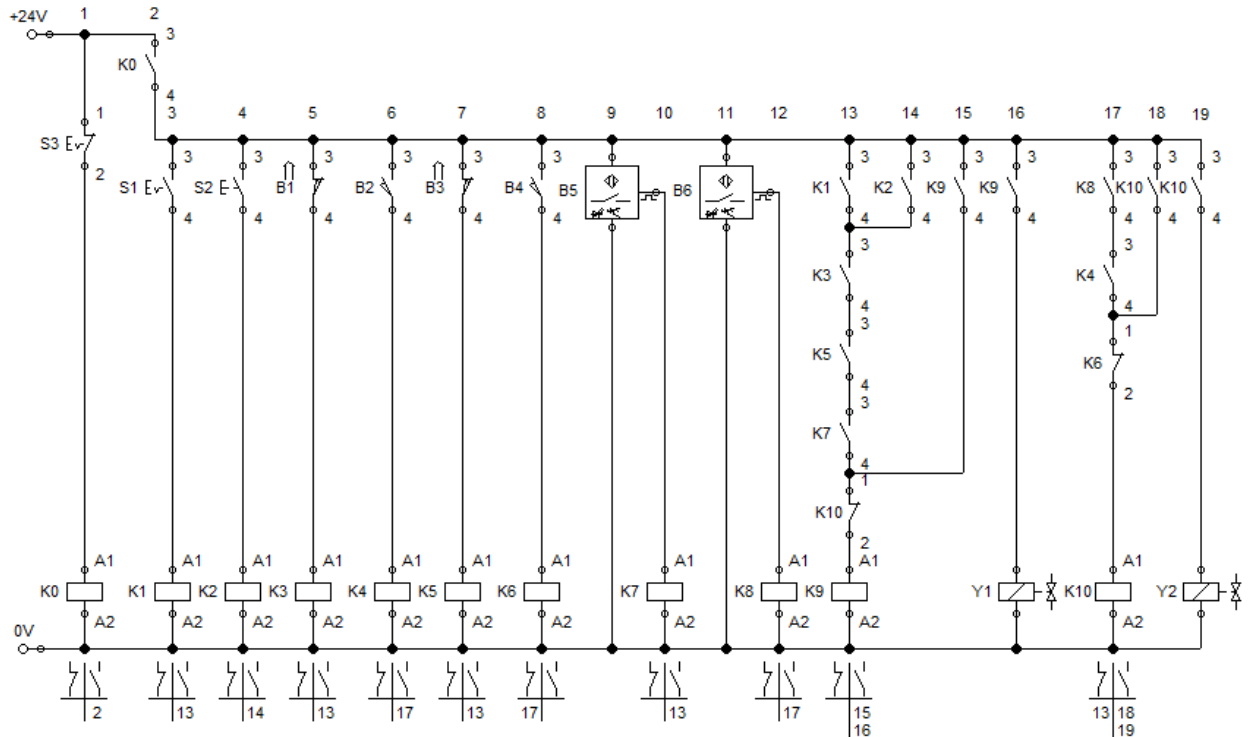


Рис.3.19. Електрична схема, автоматичний та напіваавтоматичний режим, непряме управління

При проведенні інженерного розрахунку для вибору елементів пневмоприводу важливо врахувати кілька ключових аспектів:

1. Аналіз технологічної задачі та побудова розрахункової схеми:

- ретельний аналіз технологічного завдання і побудова циклограми роботи приводу;
- визначення принципової схеми приводу та встановлення вихідних даних.

2. Вибір пневмоциліндра (ПЦ):

- з урахуванням статичних та динамічних навантажень обираємо відповідний пц;
- розглядаємо можливості та вибираємо засоби гальмування, які відповідають технічним вимогам.

3. Вибір дроселів: з урахуванням необхідної кількості об'ємних витрат повітря на виході з ПЦ обираємо підходящі дроселі.

4. Вибір пневморозподільвача: вибираємо пневморозподільвач з урахуванням того, що номінальні витрати повітря не перевищують 15...30 % витрат на виході із ПЦ.

5. Розрахунок гнучких трубопроводів і фітінгів: проводимо розрахунок гнучких трубопроводів і фітінгів, враховуючи потрібні технічні параметри та вимоги.

Після визначення цих етапів можна використовувати каталог для вибору пневмозахвату, враховуючи вже визначені технічні параметри та вимоги до приводу.

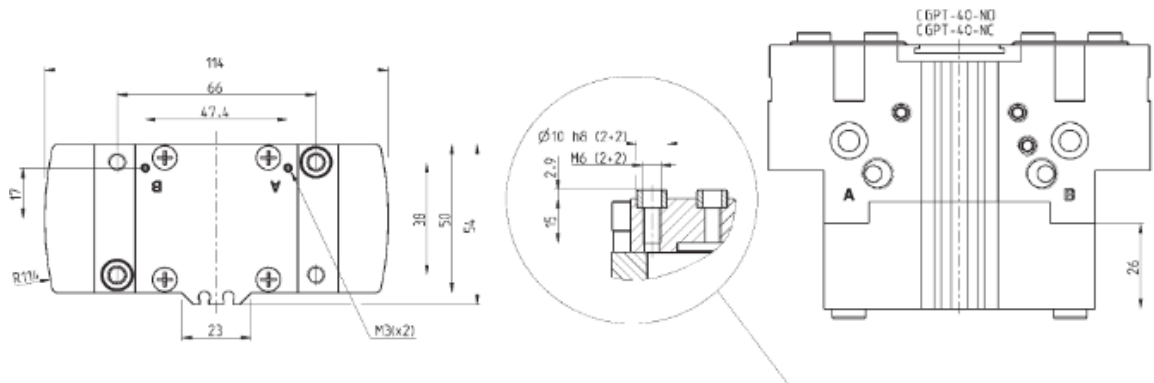
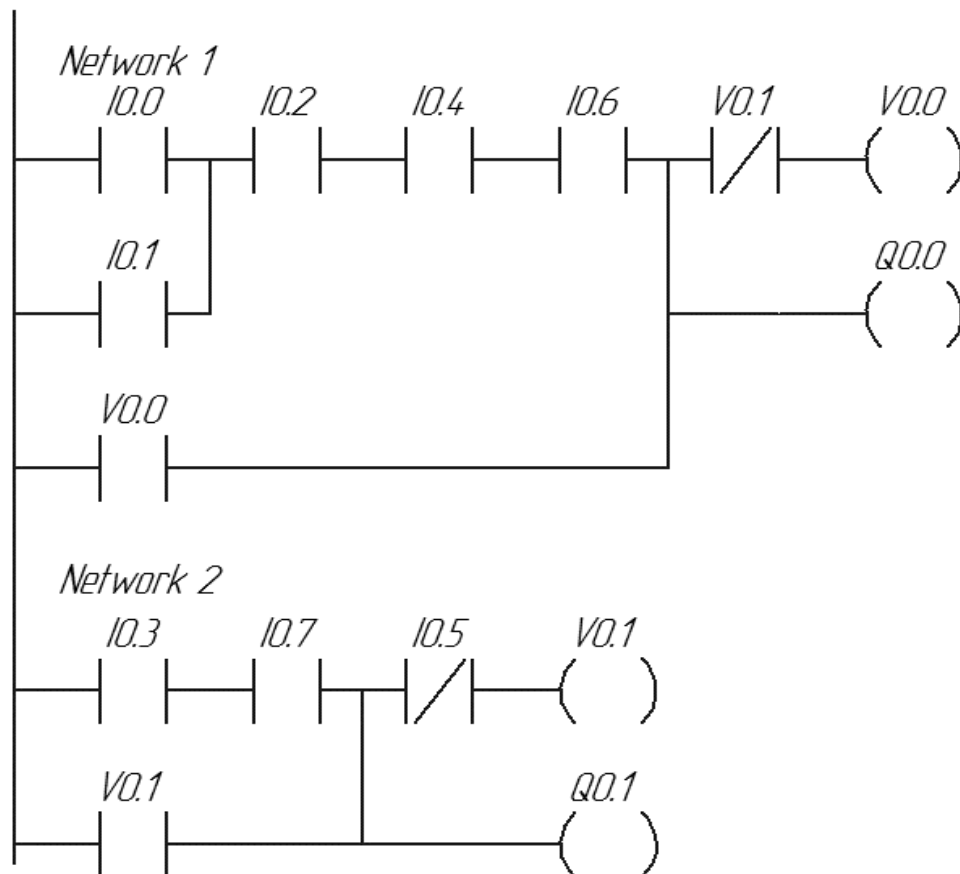


Рис.3.20. Загальний вигляд пневмозахвату

Розробка програми ПЛК модуля S7-200 у ПІІ STEP 7

Підключені до контролера зовнішні пристрої			
Входи		Виходи	
I0.0	Кнопка пуск/стоп (з фіксацією)	Q0.0	Котушка ПЦ1 (Y1)
I0.1	Кнопка пуск/стоп (без фіксації)	Q0.1	Котушка ПЦ1 (Y2)
I0.2	ПЦ1 в початковому положенні		
I0.3	ПЦ1 в робочому положенні		
I0.4	ПЦ1 в початковому положенні		
I0.5	ПЦ1 в робочому положенні		
I0.6	Датчик картонної коробки		
I0.7	Датчик штучних виробів		



Розробка програми ПЛК модуля у ПП FluidSim

Підключені до контролера зовнішні пристрої			
Входи		Виходи	
I1	Кнопка пуск/стоп (з фіксацією)	Q1	Котушка ПЦ1 (Y1)
I2	Кнопка пуск/стоп (без фіксації)	Q2	Котушка ПЦ1 (Y2)
I3	ПЦ1 в початковому положенні		
I4	ПЦ1 в робочому положенні		
I5	ПЦ1 в початковому положенні		
I6	ПЦ1 в робочому положенні		
I7	Датчик картонної коробки (імітується кнопкою)		
I8	Датчик штучних виробів (імітується кнопкою)		

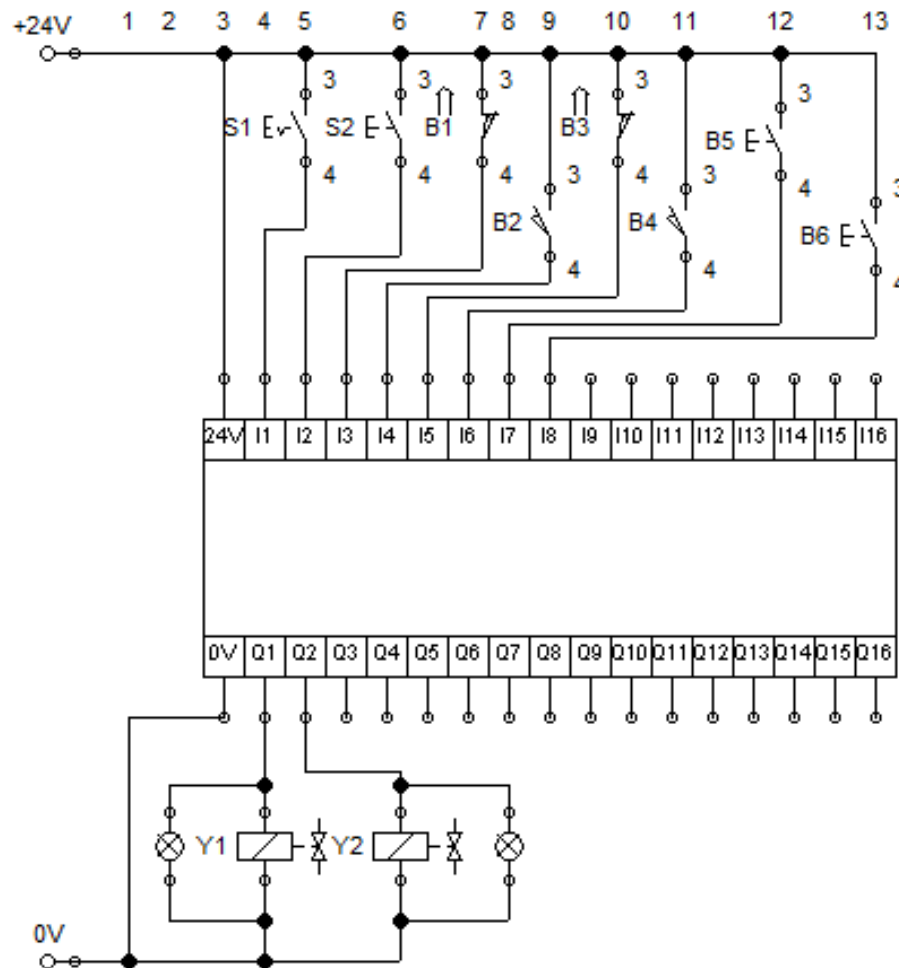


Рис.3.21. Зовнішні підключення до ПЛК модуля

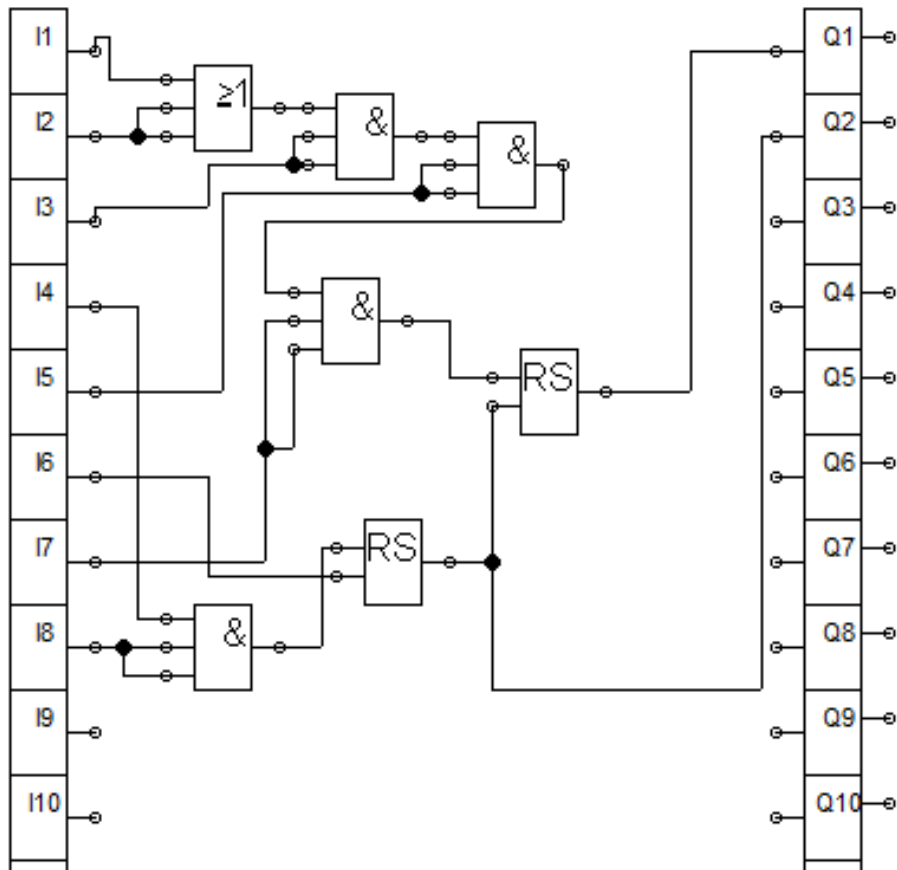


Рис.3.22. Програма ПЛК модуля

Висновки до розділу 3

В розділі 3 було успішно розроблено та апробовано пневматичний захват з накладними елементами, включаючи роздрукування та тестування 3D елементів за допомогою 3D принтера з використанням матеріалів ABS PLA. Також були розроблені 2D моделі накладних елементів у трьох проекціях для більш детального аналізу та використання.

Для забезпечення ефективності та надійності захвату були проведені розрахунки, включаючи силу затиску та діаметр поршня пневмоциліндра. Ці параметри були розраховані таким чином, щоб забезпечити надійне утримання заготовки під час роботи пристрою.

Отримана 3D модель вважається адекватною та придатною для подібних розрахунків і досліджень. Крім того, була розроблена схема керування пневмопристроєм захоплення, використовуючи програмований логічний контролер в системі «FluidSIM», що дозволяє точне та програмоване управління захватом для вирішення різних завдань.

Результати даного розділу підтверджують готовність та ефективність розробленого пневматичного захвату для використання в практичних застосуваннях та робочих умовах.

Розділ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПНЕВМАТИЧНИХ ПРИСТРОЇВ ЗАХОПЛЕННЯ У СКЛАДІ МАНІПУЛЯТОРА

4.1. Аналіз існуючих конструкцій



Рис.4.1. Електронні реле вакууму / тиску серія SWCN

Опис:

Малі розміри та легка вага роблять це електронне реле вакууму/тиску ідеальним вибором для широкого спектру застосувань. За допомогою цифрового індикатора, оснащеного високоточною електронною схемою та двома незалежними дискретними виходами, ви можете легко налаштувати тиск спрацьовування і гістерезис з клавіатури.

З двома програмованими виходами PNP для установки верхнього і нижнього граничних значень, це реле ідеально підходить для систем безпеки, оптимізації часу циклу або в енергозберігаючих пристроях. Може бути встановлене безпосередньо на захопленнях маніпуляторів, де важливий постійний контроль за встановленим значенням вакууму.

Це електронне реле постачається з кабелем довжиною 2 метри або роз'ємом M8. Воно має маленькі розміри і вагу, а також високоточний цифровий індикатор, що робить його оптимальним для вимог багатьох застосувань.

Основні характеристики включають в себе можливість налаштування тиску спрацьовування і гістерезису, два програмовані виходи PNP, а також функцію датчика тиску вакууму з аналоговим виходом. Загальна надійність та оптимальні параметри роблять це електронне реле відмінним вибором для різних сценаріїв використання.

Таблиця 4.1. Технічні характеристики SWCN

Модель	SWCN-V01-...	SWCN-P10-...
Діапазон вимірювання тиску	-1 ÷ 1 бар	0 ÷ 10 бар
Максимальний тиск	3 бар	15 бар
Робоче середовище	повітря, некородуючі гази, негорючі гази	повітря, некородуючі гази, негорючі гази
Напруга живлення	12-24 V DC ± 10%, пульсація (P-P) 10% або менше	12-24 V DC ± 10%, пульсація (P-P) 10% або менше
Споживаний струм	≤ 55 мА	≤ 55 мА
PNP-вихід датчика	2 виходи з відкритим колектором максимальний струм навантаження 80 мА максимальна напруга живлення 24 V DC залишкову напругу ≤ 1 V (при струмі навантаження 80 мА)	2 виходи з відкритим колектором максимальний струм навантаження 80 мА максимальна напруга живлення 24 V DC залишкову напругу ≤ 1 V (при струмі навантаження 80 мА)
Точність індикатора	≤ ± 2% від повного діапазону ± 1 знак (Температура навколишнього середовища: 25 ± 3 ° C)	≤ ± 2% від повного діапазону ± 1 знак (Температура навколишнього середовища: 25 ± 3 ° C)



Рис.4.2. Цифровий динамометр стиснення ДІН-1.С (5 кН)

Опис:

Система контролю та реєстрації навантажень силового обладнання надає широкий спектр можливостей для вимірювання статичних та динамічних сил стиснення у різних застосуваннях. Метрологічне забезпечення охоплює перевірку та калібрування, які проводяться метрологічними службами та калібрувальними лабораторіями підприємств, а також центрами стандартизації та метрології. Основні переваги цієї системи включають:

1. Високоточний вимірювальний тракт: Забезпечує точні та достовірні вимірювання сил.
2. Реєстрація динамічних процесів: Здатність реєструвати динамічні навантаження з високою частотою оцифровки до 46 кГц.
3. Програмна настройка діапазону вимірювань: Дозволяє користувачеві налаштувати систему під будь-який тип датчика сили.
4. Підтримка різних діапазонів вимірювання: Забезпечує гнучкість в залежності від конкретних вимог вимірювань.
5. Сервісна комп'ютерна програма: Дозволяє зручне управління та аналіз результатів вимірювань.

6. Можливість моніторингу динамічних і статичних навантажень: Система підходить для використання в різних умовах навантаження.

7. USB інтерфейс, вбудований зарядний пристрій, акумуляторне харчування: Забезпечує зручність використання та підтримку електроживлення.

8. Силовідтворювальні датчики від світових виробників: Можливість замовлення датчиків відповідно до специфікацій користувача.

Основні функції системи включають реєстрацію статичних і динамічних процесів, вимірювання сили стиснення, визначення екстремальних навантажень, а також зручне управління та налаштування через систему меню. Це ідеальне рішення для вимірювань силових параметрів в різноманітних областях застосування.

Таблиця 4.2. Технічні характеристики динамометра стиснення ДН-1С

Межі вимірювань, кН	Значення
верхні межі шкали	1,0 ... 2000 *
нижні межі шкали	0,1 ... 200 *
Межі похибки вимірювання сили, %	± 0,3
Кількість каналів вимірювання	1 ... 16
Ресурс пам'яті	до 8 Г
Споживання, Вт	0,05
Габаритні розміри електронного блоку, мм	150×76×27
Маса електронного блоку, кг	0,15
Максимальна частота реєстрації, Гц	10

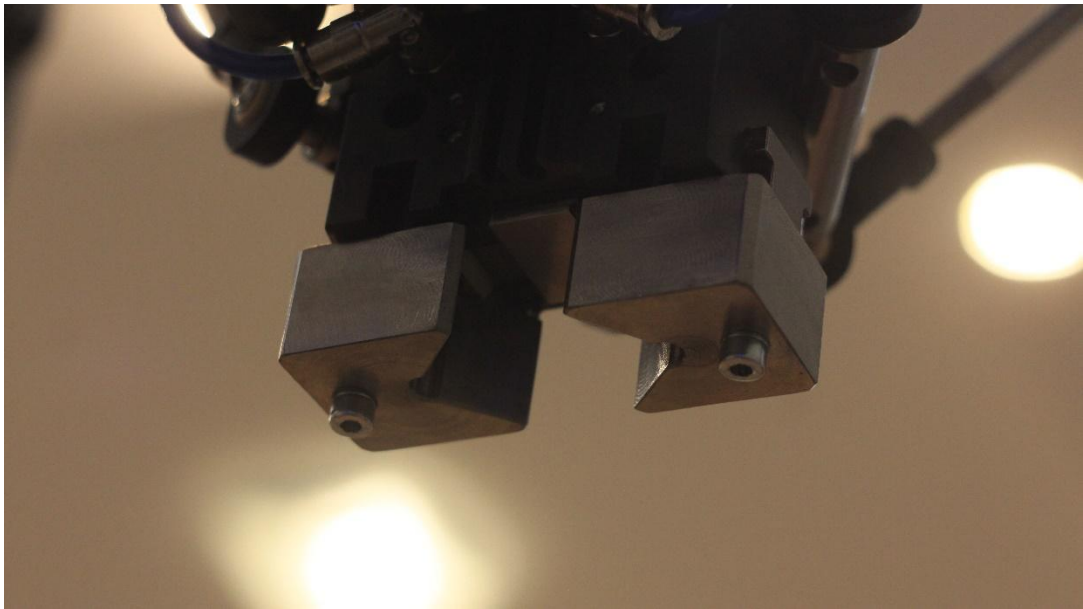


Рис.4.3. Губки типу клин на установці пристрою захоплення

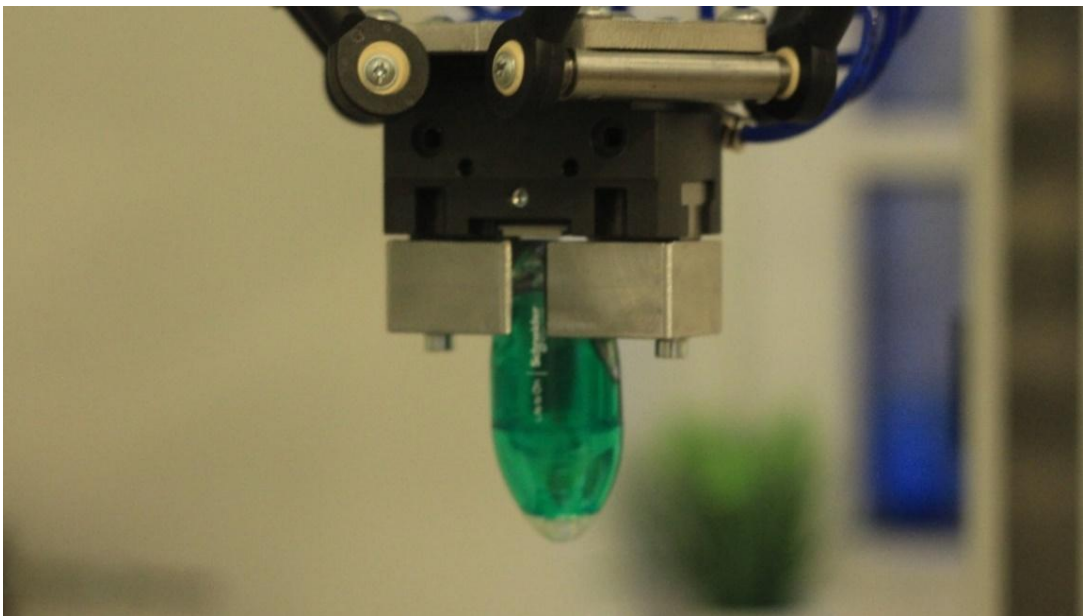


Рис.4.4. Захоплення овального об'єкта

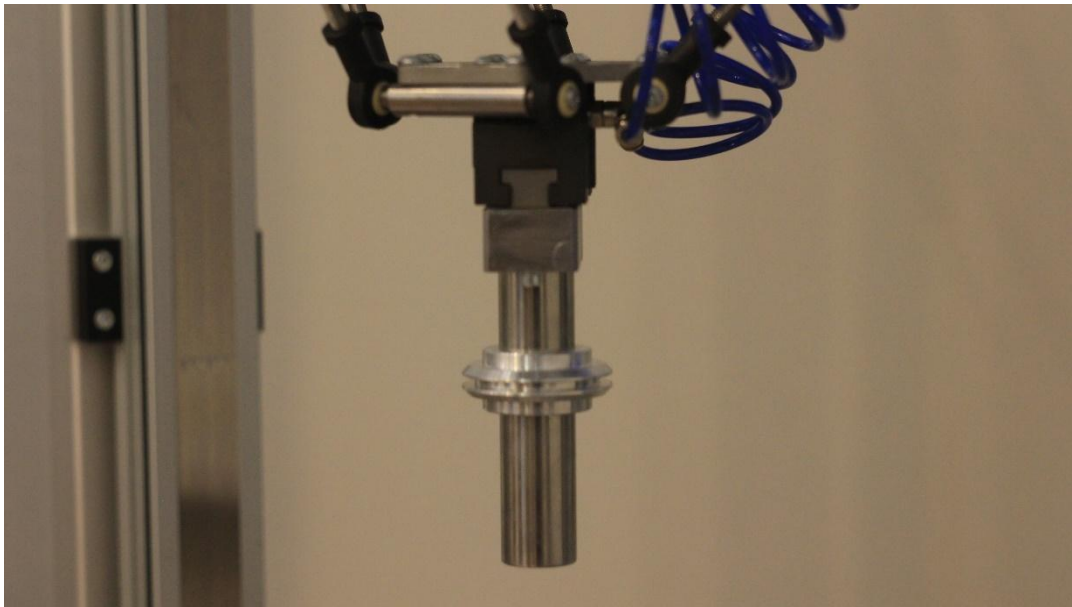


Рис.4.5. Захоплення циліндричного об'єкта

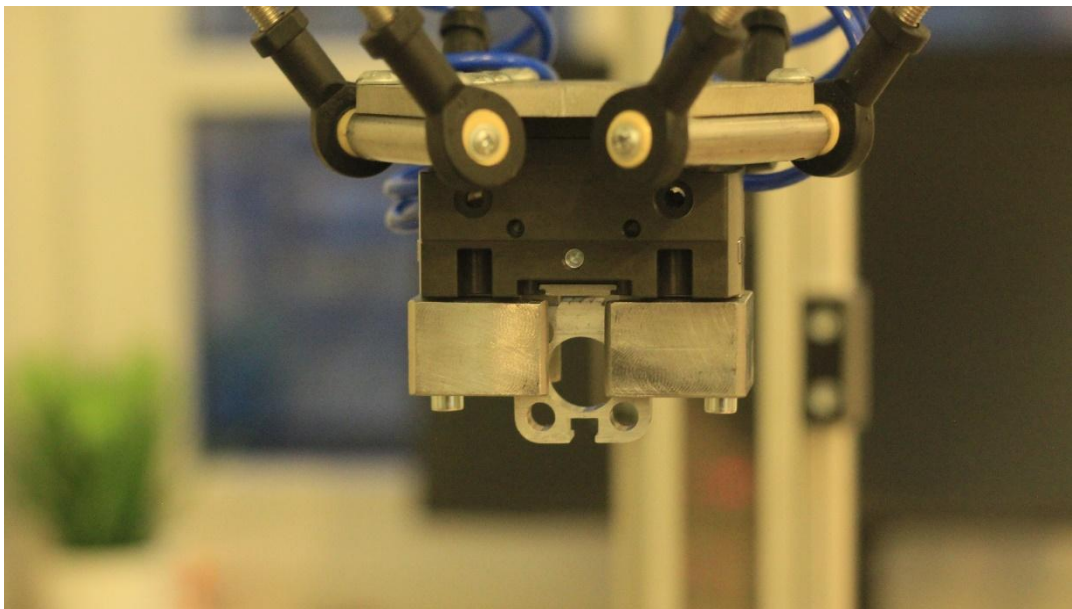


Рис.4.6. Захоплення квадратного об'єкта

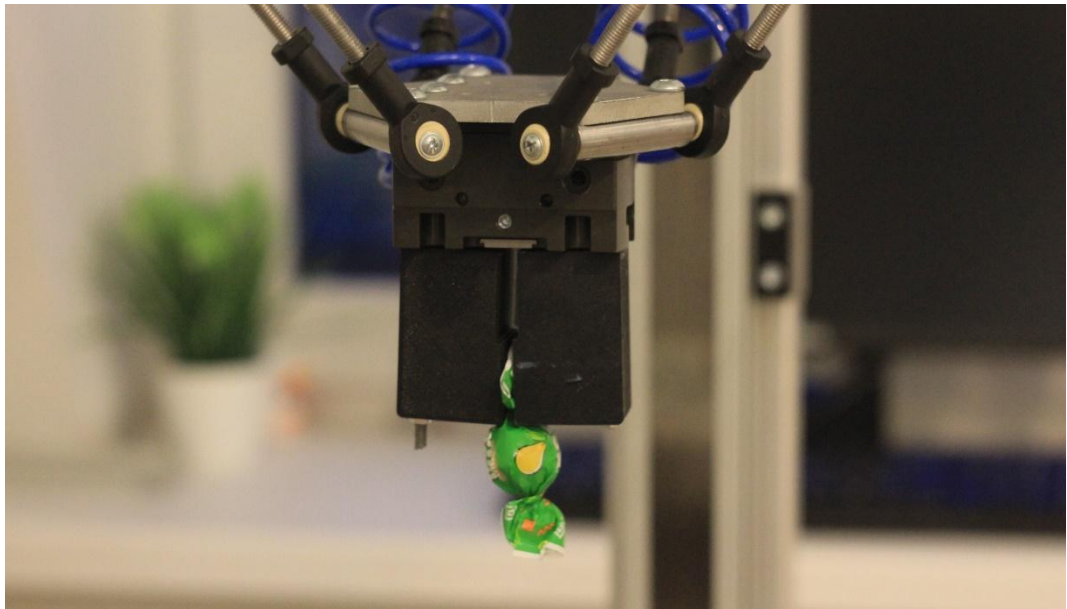


Рис.4.7. Захоплення цукерки

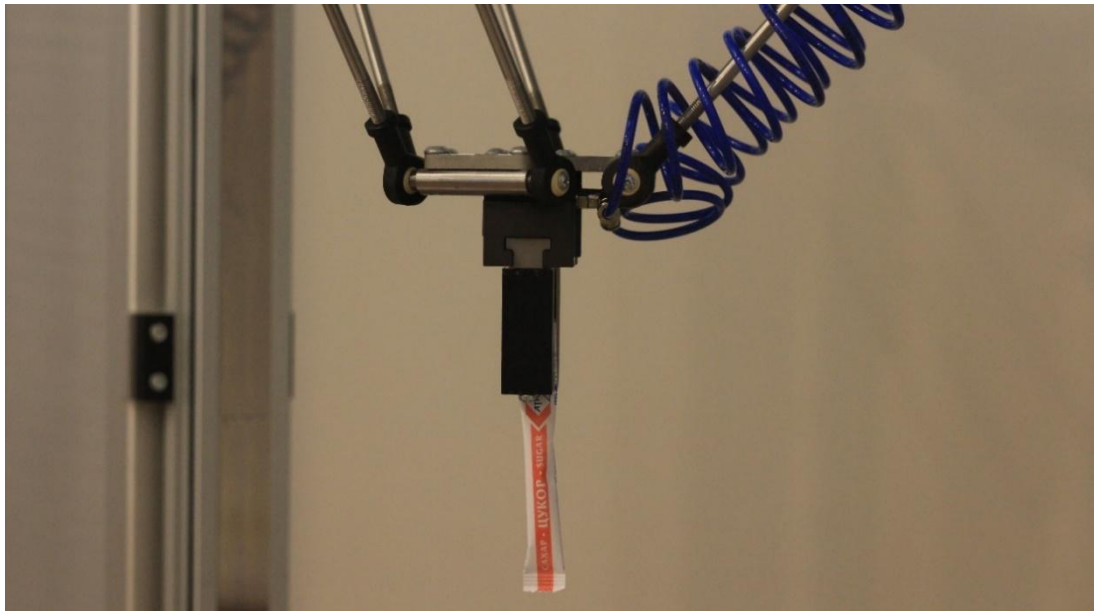


Рис.4.8. Захоплення упаковки вертикально

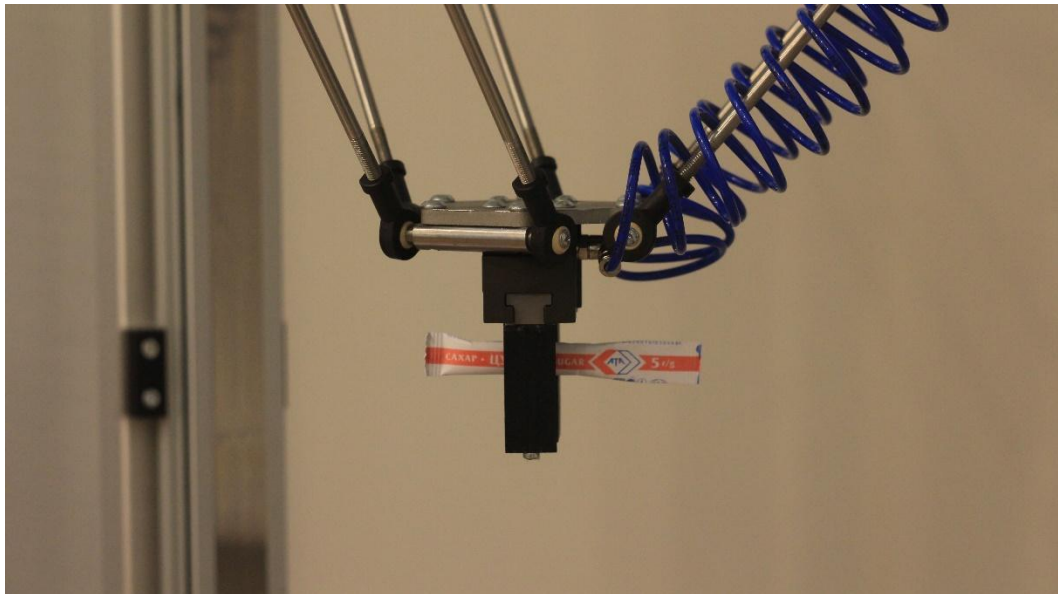


Рис.4.9. Захоплення упаковки горизонтально

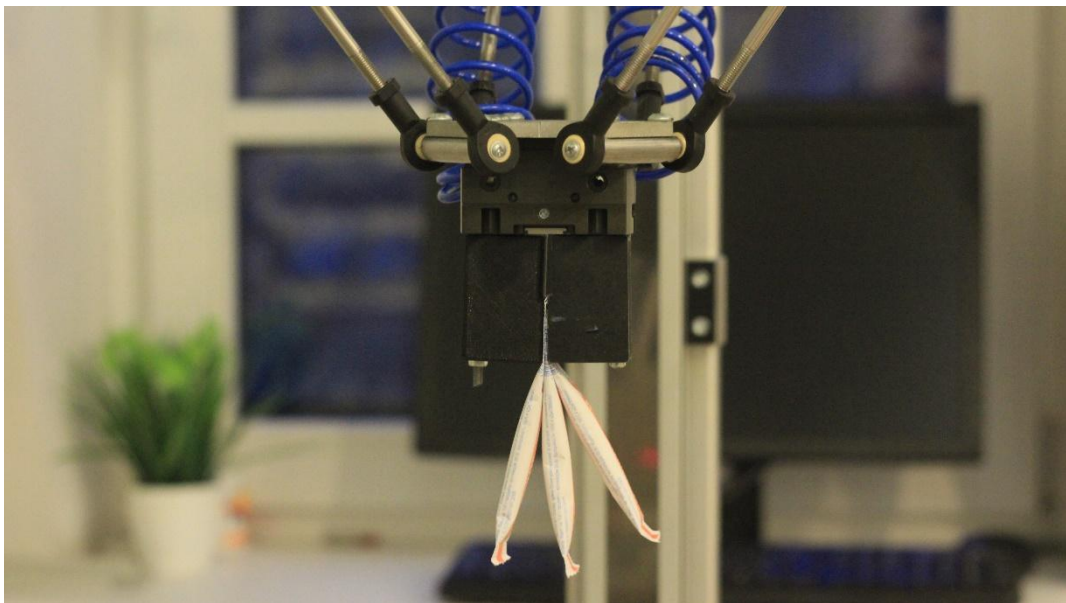


Рис.4.10. Обробка групових упаковок

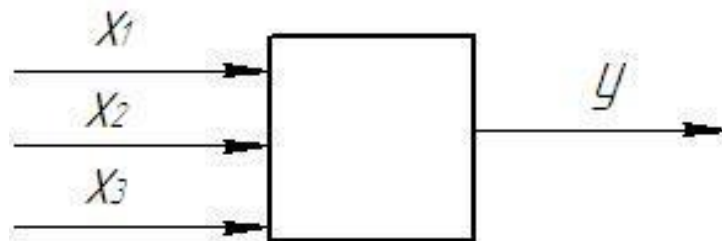
4.2. Розроблення математично-статистичної моделі дослідження

Основні вхідні параметри впливу на досліджуваний процес:

x_1 – вага одиниці вантажу, г ;

x_2 – час, с;

x_3 – характерний розмір, м.



Вид поліноміальної функції:

$$y = f(x_1, x_2, x_3) = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1x_2 + b_5x_1x_3 + b_6x_2x_3 + b_7x_1x_2x_3; \quad (4.1)$$

1. Визначення кількості активних ПФ експериментів:

$$N = 2^n = 2^3 = 8,$$

де 2 – два рівні варіювання, n – кількість незалежних вхідних факторів.

2. Нормалізуємо вихідне рівняння регресії, тобто перетворюємо незалежні змінні x_i у безрозмірні змінні z_i , а b_i на статичні оцінки β_i :

$$z_i = \frac{x_i - x_{i(0)}}{\Delta x_i}$$

$$y = \beta_0 + \beta_1z_1 + \beta_2z_2 + \beta_3z_3 + \beta_4z_1z_2 + \beta_5z_1z_3 + \beta_6z_2z_3 + \beta_7z_1z_2z_3 \quad (4.2)$$

3. Складаємо матрицю плану та план проведення дослідів:

Таблиця 4.3. Фактори і інтервали їх варіювання

	Нижній рівень (-1)	Основний рівень (0)	Верхній рівень (+1)	Інтервал варіювання	Найменування фактору
x_1 :	40,1	42,3	44,5	2,2	вага
x_2 :	1	1,2	1,4	0,2	час
x_3 :	0,01	0,02	0,03	0,1	розмір

Таблиця 4.4. План експерименту і вихідні параметри дослідження

Номер досліджу(у)	Матриця планування			Натуральне значення змінних			Вихідні параметри (Вихід 1)		
	x_1	x_2	x_3	вага	час	розмір	$y(u, 1)$		
1	-1	-1	-1	40,1	1	0,01	50		
2	+1	-1	-1	44,3	1	0,012	52		
3	-1	+1	-1	40,3	1,4	0,011	48		
4	-1	-1	+1	40,5	1	0,027	51		
5	-1	0,19	0,19	40,2	1,238	0,028	49		
6	0,19	-1	0,19	41,2	1	0,034	50		
7	0,19	0,19	-1	41,8	1,238	0,013	51		
8	-0,29	+1	+1	41,5	1,4	0,018	52		
9	+1	-0,29	+1	43,9	1,142	0,022	48		
10	+1	+1	-0,29	44,3	1,4	0,025	47		

Таблиця 4.5. Коефіцієнти рівняння математичної моделі

b_0	b_1	b_2	b_3	b_{11}	b_{12}	b_{12}	b_{22}	b_{23}	b_{33}
49,629	-0,648	-0,645	-0,057	-1,568	-0,37	-1,278	-0,043	0,725	1,505

Рівняння математичної моделі:

$$y = (49,629) + (-0,648) \times x_1 + (-0,645) \times x_2 + (-0,057) \times x_3 + (-1,568) \times x_1^2 + (-0,043) \times x_2^2 + (1,505) \times x_3^2 + (-0,37) \times x_1 \times x_2 + (-1,278) \times x_1 \times x_3 + (0,725) \times x_2 \times x_3 \quad (4.3)$$

Висновки до розділу 4

Виконаний аналіз існуючих конструкцій, які використовувалися в проведенні експерименту, дозволив здійснити вивчення різних підходів і пневматичних рішень, що застосовувались на різних етапах захоплення упаковки. Зроблені фотографії пневматичного захвату під час захоплення упаковки важливі для визначення динаміки та конструктивних особливостей захвату.

Розроблена математично-статистична модель, отримана на основі експериментальних досліджень, дозволяє кількісно оцінювати та передбачати параметри захоплення упаковки. Ця модель враховує різноманітні фактори, які впливають на ефективність захоплення.

Розділ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Основний напрямок державної стратегії ґрунтується на ідеї створення здорових та безпечних робочих умов за допомогою елімінації виснажливої фізичної праці та впровадження передових технічних та технологічних інновацій.

Поліпшення умов праці та зведення до мінімуму ризику травматизму та професійних захворювань є найзначущим завданням у сфері забезпечення безпеки праці.

Інструктажі

Під час прийому на роботу і під час роботи кожен працівник, відповідно до положень статті 18 Закону України "Про охорону праці", зобов'язаний пройти інструктаж та навчання з питань забезпечення безпеки праці за рахунок роботодавця. Інструктажі з охорони праці класифікуються залежно від характеру і тривалості на вступні, початкові, періодичні, непланові та спеціалізовані. Додатковий інструктаж може бути проведений за запитанням працівника. У випадку виявлення недостатніх знань з питань охорони праці, працівник має обов'язок пройти повторне навчання і перевірку знань протягом одного місяця.

Стан умов праці на даному підприємстві. Аналіз виробничого травматизму:

Рівень травматизму та професійних захворювань на підприємстві обумовлений організацією охорони праці та пожежної безпеки, а також рівнем трудової дисципліни. Надточний стан фінансування на охорону праці та фаховість працівників відіграють важливу роль у створенні безпечних і здорових умов праці.

Дослідження нещасних випадків, аварій та професійних захворювань в підприємствах, установах і організаціях України проводяться відповідно до "Положення про розслідування та облік нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на підприємстві в установах і організаціях" (ДНАОП 0-00-4.03- 98).

Отже, для зменшення рівня виробничого травматизму в сфері необхідно, по-перше, впроваджувати організаційні заходи та акцентувати увагу на поліпшенні трудової і виробничої дисципліни.

Ключовими напрямками у ліквідації виробничого травматизму є:

1. Підготовка спеціалістів з охорони праці та пожежної безпеки, а також підвищення рівня знань з охорони праці серед інженерно-технічних працівників на всіх рівнях;
2. Забезпечення працівників підприємства всіма чинними нормативами в галузі охорони праці та пожежної безпеки;
3. Утримання обладнання та споруд у відповідності із законодавчими вимогами, уникання експлуатації несправного обладнання;
4. Підвищення якості навчання та інструктажу з техніки безпеки працівників, запобігання роботі без проінструктованих осіб;
5. Забезпечення працівників ефективними засобами захисту, враховуючи специфіку виробничих процесів.

Організація робіт з охорони праці

На підприємстві із меншою кількістю працівників, не перевищуючою 50 осіб, можливе виконання функцій служби охорони праці особами, які мають відповідну підготовку у порядку сумісництва. Служба охорони праці підпорядковується безпосередньо роботодавцеві.

Спеціалісти служби охорони праці, у випадку виявлення порушень охорони праці, мають наступні повноваження:

1. Видавати обов'язкові для виконання приписи керівникам структурних підрозділів щодо усунення виявлених недоліків, а також отримувати від них необхідні відомості та документацію з питань охорони праці.
2. Вимагати відсторонення від роботи осіб, які не пройшли обов'язковий медичний огляд, навчання, інструктаж, перевірку знань, або не мають допуску до відповідних видів робіт чи не виконують вимог нормативно-правових актів з охорони праці.

3. Зупиняти роботу виробництва, дільниць, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва у випадках порушень, що створюють загрозу для життя чи здоров'я працівників.

4. Подавати роботодавцеві подання про притягнення до відповідальності працівників, які порушують вимоги щодо охорони праці.

5. Припис служби охорони праці може бути скасований лише роботодавцем.

Ліквідація служби охорони праці можлива лише у випадку ліквідації підприємства або припинення використання найманої праці фізичною особою, відповідно до положень Закону України "Про охорону праці" (Стаття 15).

Фінансування заходів з охорони праці:

Забезпечення фінансування заходів з охорони праці покладено на роботодавця. Фінансування профілактичних заходів з охорони праці, виконання загальнодержавних, галузевих та регіональних програм щодо покращення безпеки, гігієни праці та виробничого середовища, а також інших державних програм, спрямованих на запобігання нещасним випадкам та професійним захворюванням, передбачено для фінансування з рахунку коштів державного та місцевого бюджетів, виділених окремим рядком, а також з інших джерел фінансування, визначених відповідно до законодавства.

Підприємства, що здійснюють утримання за рахунок бюджету, повинні розраховувати витрати на охорону праці, які визначаються в державних або місцевих бюджетах, і становлять не менше 0,2% від фонду оплати праці.

Санітарні умови

Система санітарно-гігієнічного обслуговування в охороні праці включає ряд основних завдань, серед яких зокрема важливі: регулярний контроль умов праці та стану здоров'я працівників, створення умов для їх збереження, запобігання передчасній втомі, підвищення опору організму людини впливу шкідливих виробничих факторів, а також надання першої допомоги.

З метою забезпечення здорових та безпечних умов праці важливо, щоб навколишнє середовище відповідало встановленим санітарно-гігієнічним

нормам. Нормативи метеорологічних умов регламентуються санітарними стандартами. Оптимальні та припустимі метеорологічні умови в зачинених виробничих приміщеннях визначаються такими показниками, як температура, відносна вологість, швидкість руху повітря, інтенсивність теплового випромінення, а також температура поверхонь, що оточують робочу зону.

Оптимальні значення для температури (22...24°C), відносної вологості (40-60%) та швидкості руху повітря менше 0,1 м/с. У виробничому цеху, де встановлено наше обладнання, відповідно до характеристик належить до першої групи, тобто виробничий процес відбувається за нормальних метеорологічних умов та відсутності шкідливих газо- і тепловиділень.

Освітлення

Освітлення є важливим компонентом умов праці, а раціональне організоване природне освітлення на робочих місцях є ключовою умовою для нормальної діяльності людини. Недостатнє освітлення на робочому місці може призвести до професійних захворювань та виробничого травматизму. Штучне освітлення поділяється за призначенням на робоче, чергове, аварійне, евакуаційне та охоронне.

У контексті освітлення приміщення особливу увагу слід приділяти використанню газорозрядних ламп низького та високого тиску. З гігієнічної точки зору настійно рекомендується використовувати люмінесцентні лампи.

Джерела штучного освітлення повинні бути розташовані у відповідній освітлювальній арматурі. Освітлювачі забезпечують необхідний напрямок світлового потоку на робочих поверхнях, захищають очі від засліплюючої дії лампи, а також захищають їх від забруднення та механічних ушкоджень.

У нашому випадку застосовується комбіноване штучне освітлення, включаючи місцеве освітлення, яке дозволяє концентрувати світловий потік безпосередньо на робочій поверхні. При цьому освітлення освітлювачами загального освітлення повинно становити не менше 10% від нормативу, встановленого для комбінованого освітлення.

Протипожежна безпека

Пожежна безпека технологічного обладнання суттєво залежить від характеру технологічних процесів. При ретельному виборі конструкції та матеріалів для виготовлення, а також при нормальній експлуатації, технологічне обладнання не повинно представляти пожежо- та вибухонебезпеку.

Основні заходи щодо пожежної безпеки при експлуатації технологічного обладнання включають:

1. Режим роботи обладнання повинен відповідати паспортним даним та технологічному регламенту.
2. Забезпечення теплоізоляції нагрітих поверхонь.
3. Попередження накопичення зарядів статичної електрики.
4. Дотримання правил безпеки при зупинці обладнання на огляд та ремонт.
5. Систематичний контроль ступеня натягу приводних пасів для виключення їх пробуксовування.
6. Використання систем автоматизації, блокування та засобів контролю.
7. Своєчасне проведення оглядів, профілактичних випробувань та виконання вимог професійного відбору персоналу, який обслуговує обладнання.

Електробезпека

Електричні установки представляють значну потенційну небезпеку, оскільки органи відчуття людини не реагують на електричну напругу на відстані. Таким чином, захисна реакція на струм проявляється лише при безпосередньому контакті з частинами обладнання, що перебувають під напругою.

Забезпечення електробезпеки в умовах виробництва вимагає використання відповідної конструкції електроустановок, технічних засобів та заходів захисту, а також організаційних та технічних заходів.

Досягнення електробезпеки включає в себе наступні заходи:

1. Встановлення захисних оболонок та огорож (як тимчасових, так і стаціонарних).
2. Безпечне розташування частин обладнання, що знаходяться під напругою.
3. Ізоляція робочого місця.
4. Захисне відключення або блокування, а також захисне заземлення.

У нашому випадку ці заходи включають покриття струмопровідних частин та їх відокремлення від інших шаром діелектрика, застосування захисного заземлення, розташування відкритих струмопровідних частин на висоті, недоступній для дотику, і закриття їх суцільними огорожами у вигляді кришок, кожухів та шаф.

Технічна безпека

До експлуатації машини допускаються особи (оператори), які успішно пройшли навчання для роботи з даною установкою. Вони повинні вивчити технічну документацію та пройти інструктаж з техніки безпеки. Все обладнання повинно бути заземлене відповідно до відомчих технічних умов і інструкцій. Під час роботи заборонено проводити наладку, змазку, чищення та ремонт.

Освітлення робочого місця повинно відповідати вимогам санітарії харчових виробництв. Під час роботи заборонено торкатися рухомих частин робочих органів.

Усі ремонтні роботи та регулювання машини слід виконувати тільки в непрацюючому стані. Ремонт електрообладнання може виконувати лише електрик.

Категорично заборонено виймати блоки з робочої зони руками чи скребками під час роботи машини. Живлення ланцюгів управління виконано пониженою напругою 36 В, і всі струмоприймачі заземлені.

Наявність аварійних кнопок СТОП з грибовидним штовхачем дозволяє зупинити машину в зоні обслуговування з усіх сторін.

Висновки до розділу 5

Розглянуті питання охоплюють широкий спектр аспектів, включаючи організаційні аспекти, навчання та інструктажі, профілактичні заходи, фінансування, санітарно-гігієнічне обслуговування, освітлення робочих місць, пожежну безпеку, електробезпеку та інші. Зауважено, що важливо дотримуватися не лише технічних стандартів, але і організаційних процедур, щоб максимально знизити ризики нещасних випадків та професійних захворювань.

ВИСНОВКИ

Дипломна робота присвячена аналізу та дослідженню функціонального мехатронного модуля, зокрема, його пневматичних механізмів. Результати аналізу дозволяють підтвердити енергоефективність пневматичних механізмів та їхню спроможність виконувати різноманітні технічні процеси, включаючи транспортування, складання та пакування. Загальні висновки є наступними:

1. Аналіз існуючих робототехнічних комплексів і систем маніпуляторів у складі пакувального обладнання доводить актуальність та доцільність їх використання для розвитку галузі.

2. Проведено аналіз структури, кінематики та компоновки маніпулятора. Виконано моделювання динамічної взаємодії пристрою з програмованим засобом управління під час переміщення вантажу вздовж прямолінійної траєкторії. Розроблено графік швидкостей і прискорень вантажу. Урахування опору повітря є невід'ємною умовою для переміщення вантажів великих розмірів та при високих швидкостях.

3. Запропоновано модернізовану конструкцію пневматичного захвату з різними накладними елементами, визначено параметри сили затиску та діаметр поршня пневмоциліндра для ефективного утримання вантажу.

4. Розроблено схему керування пневмопристроєм захоплення на основі програмованого логічного контролера в системі «FluidSIM» та STEP 7.

5. Розроблена математично-статистична модель, отримана на основі експериментальних досліджень, дозволяє кількісно оцінювати та передбачати параметри захоплення одиниці продукції.

6. ідентифіковані потенційні ризики та небезпеки, пов'язані з експлуатацією функціонального мехатронного модуля та робота маніпулятора та розроблені рекомендації щодо заходів безпеки.

Отже, отримані результати роботи вказують на значний практичний потенціал застосування розглянутих мехатронних модулів у виробництві, що може сприяти підвищенню технологічної та економічної ефективності процесів харчової галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кузнецов Ю.М. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: у 3-х част.: навч. посіб. для ВНЗ / Ю.М. Кузнецов (ред.). Київ: НУХТ, 820 с.
2. Беспалько А.П., Гавва О.М., Токарчук С.В. Гігієнічні аспекти проектування пакувального обладнання. Київ: НУХТ, 467 с.
3. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. Пакувальне обладнання. Обладнання для групового пакування. Київ: НУХТ, 691 с.
4. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. Пакувальне обладнання. Обладнання для пакування продукції у споживчу тару. Київ: НУХТ, 586 с.
5. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. Пакувальне обладнання. Обладнання для обробки транспортних пакетів. Київ: НУХТ, 365 с.
6. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: підручник. 5е вид. Київ: НУХТ, 1102 с.
7. Губарев О.П., Ганпанцурова О.С. Мехатроніка: циклічно-методичний підхід до вирішення практичних задач автоматизації. Київ: НУХТ, 782 с.
8. Малащенко В.О., Павлице В. Деталі машин: зб. завдань та прикладів розрахунків. Київ: НУХТ, 932 с.
9. Соколенко А.І., Мазаракі А.А., Піддубний В.А. та ін. Енергетичні трансформації і енергозбереження в харчових технологіях: монографія. Київ: НУХТ, 1137 с.
10. Соколенко А.І., Піддубний В.А., Васильківський К.В. та ін. Енергоматеріальні потоки харчових і мікробіологічних виробництв: монографія. Київ: НУХТ, 885 с.
11. Соколенко А.І., Піддубний В.А., Чагайда А.О. Енергоматеріальні трансформації в харчових технологіях на основі замкнутих контурів: монографія. Київ: НУХТ, 1001 с.
12. Соколенко А.І., Шевченко О.Ю., Піддубний В.А. Інтенсифікація масообмінних процесів в харчових і мікробіологічних технологіях. Київ: НУХТ, 247 с.

13. Кривопляс Володіна Л.О., Гавва О.М., Яровий В.Л., Токарчук С.В. Основи наукових досліджень у прикладних задачах: навч. посіб. для студ. вищ.навч.зак. Київ: НУХТ, 781 с.

14. Кривопляс Володіна Л.О., Якимчук М.В. Мехатроніка: конспект лекцій для студ. спец. 7.05050206 «Машини і технологія пакування» та 7.05050207 «Машини і ресурсозберігаючі технології переробки упаковки» денної форми навч. Київ: НУХТ, 956 с.

15. Мікульонок І.О., Радченко Л.Б. Переробка вторинної сировини екструзією. Київ: НУХТ, 647 с.

16. Соколенко А.І., Яровий В.Л., Піддубний В.А., Васильківський К.В. Моделювання процесів пакування: підручник. Київ: НУХТ, 1158 с.

17. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: підручник. Київ: НУХТ, 736 с.

18. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І., Кохан О.О. Пакувальне обладнання: підручник. Київ: НУХТ, 1023 с.

19. Соколенко А.І., Костюк В.С., Васильківський К.В. та ін. Пакувальні матеріали та їх фізикохімічні властивості: підручник. Київ: НУХТ, 803 с.

20. Пальчевський Б.О. Автоматизація технологічних процесів (виготовлення і пакування виробів): навч. посіб. Київ: НУХТ, 911 с.

21. Пальчевський Б.О. Дослідження технологічних систем (модернізація, проектування, оптимізація): навч. посібник. Київ: НУХТ, 1055 с.

22. Якимчук М.В., Гавва О.М., Беспалько А.П. та ін. Проектування пакувального обладнання із мехатронних модулів. Київ: НУХТ, 888 с.

23. Гавва О.М., Беспалько А.П., Токарчук С.В. Сертифікація, гігієнічне забезпечення та метрологічна атестація пакувального обладнання: навч. посіб. Київ: НУХТ, 942 с.

24. Таланчук П.М., Ярема С.Я., Коровайченко Ю.М. та ін. Норми української науковотехнічної мови. Тлумачний словник термінів з видавничої, поліграфічної та пакувальної справи. Київ: НУХТ, 777 с.

25. Соколенко А.І., Іванов С.В., Піддубний В.А. та ін. Теорія тертя у взаємодії твердих тіл: монографія. Київ: НУХТ, 1189 с.
26. Сторіжко Й.І., Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. Термінологічний словник пакувальника. Київ: НУХТ, 1124 с.
27. Соколенко А.І., Мацко О.П., Піддубний В.А. та ін. Тертя в машинах і системах транспортування вантажів: монографія. Київ: НУХТ, 994 с.
28. Соколенко А.І., Українець А.І., Піддубний В.А. Транспортотехнологічні системи пивзаводів. Київ: НУХТ, 669 с.
29. Соколенко А.І., Шевченко О.Ю., Піддубний В.А. та ін. Фізикохімічні методи обробки сировини і стабілізація харчових продуктів: монографія. Київ: НУХТ, 1035 с.
30. Соколенко А.І., Піддубний В.А., Гіджеліцький В.М. та ін. Фізикохімічні методи обробки сировини і харчових продуктів: підруч. для студ. ВНЗ. Київ: НУХТ, 678 с.
31. Гавва О.М., Кривопляс Володіна Л.О., Токарчук С.В. та ін. Функціонально-модульне проектування пакувальних машин: монографія. Київ: НУХТ, 849 с.
32. Якимчук М.В., Беспалько А.П. Обладнання для переробки використаної упаковки: конспект лекцій. Київ: НУХТ, 1109 с.