

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Приладобудівний факультет
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

«До захисту допущено»
в.о. зав. кафедри АСНК
_____ Галина БОГДАН

«___» _____ 2025 р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи
та технології в приладобудуванні»
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
на тему: «Роботизоване сортування об'єктів виробництва. Програмне
забезпечення»**

Виконав:
студент IV курсу, групи ПК-11
Алешкевич Михайло Юрійович _____

Керівник:
професор, д.т.н.
Черепанська Ірина Юріївна _____

Рецензент:
ст. викладач каф. КІТВП
Яковенко Ірина Олександрівна _____

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2025 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Пояснювальна записка		
2	A3		Схема робочої зони та система координат маніпулятора		
3	A3		Траєкторія руху схвату розроблюваного макету ПР		
4	A3		Схема послідовності дій при керуванні маніпулятором ПР		
5	A3	фуз - обертання ротація захвату фxz- коливання руки (поворот відносно осі YY); фxy- поворот корпусу маніпулятора навколо вертикальної осі	Структурна схема системи керування макетом маніпулятора ПР		
6	A3		Блок-схема алгоритму керування ПР		
7	A3		Структура програмного забезпечення системи керування маніпулятором ПР		
8			Натурний макет маніпулятора ПР		
9	A4		Презентація		

				ДП ПК11.010174.000ПЗ		
	ПІБ	Підп.	Дата	Відомість дипломного проекту		
Розробник	Алешкевич М.Ю.					
Керівник	Черепанська І.Ю.					
Консульт.						
Н/контр.						
в. о. зав. каф.	Богдан Г.А..			Лист 1 Листів 1 КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АСНН Гр. ПК-11		

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Роботизоване сортування об'єктів
виробництва. Програмне забезпечення»**

Київ – 2025 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

в.о. зав. кафедри АСНК

_____ Галина БОГДАН

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Алешкевич Михайло Юрійович

1. Тема проєкту «Роботизоване сортування об'єктів виробництва. Програмне забезпечення», керівник проєкту Черепанська Ірина Юріївна, професор, д.т.н., затверджені наказом по університету від «26» травня 2025 р. №1765-с.
2. Термін подання студентом проєкту «06» червня 2023
3. Зміст пояснювальної записки: вступ, аналітичний огляд сучасного стану проблеми роботизації сортування об'єктів виробництва у приладо- та машинобудуванні, структурна схема системи автоматизованого керування макетом промислового робота для сортування об'єктів виробництва, етапи формування траєкторії руху розроблюваного маніпулятора та визначення технологічної взаємодії сх вату макету промислового робота з об'єктами виробництва, алгоритмічно-програмне забезпечення для автоматизованого керування макетом промислового робота при реалізації процесу сортування об'єктів виробництва, комплекс заходів щодо організації роботи з макетом промислового робота при реалізації процесу сортування об'єктів виробництва, комплекс заходів щодо організації роботи з макетом промислового робота при реалізації процесу сортування об'єктів виробництва, експериментальні дослідження та апробацію виконаних розробок.
4. Перелік графічного матеріалу: схема робочої зони та система координат маніпулятора, траєкторія руху схвату розроблюваного макету ПР, схема послідовності дій при керуванні маніпулятором ПР, структурна схема системи

керування макетом маніпулятора ПР, блок-схема алгоритму керування ПР, структура програмного забезпечення системи керування маніпулятором ПР, презентація.

5. Дата видачі завдання «17» лютого 2025 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд сучасного стану проблеми роботизації сортування об'єктів виробництва у приладо- та машинобудуванні	19.03.2025	
2	Розробка структурної схеми системи автоматизованого керування макетом промислового робота для сортування об'єктів виробництва	11.04.2025	
3	Розробка етапів формування траєкторії руху розроблюваного маніпулятора та визначення технологічної взаємодії схвату макету промислового робота з об'єктами виробництва	21.04.2025	
4	Розробка алгоритмічно-програмного забезпечення для автоматизованого керування макетом ПР при реалізації процесу сортування ОВ	19.05.2025	
5	Розробка комплексу заходів щодо організації роботи з макетом ПР при реалізації процесу сортування ОВ	28.04.2025	
6	Проведення експериментальні дослідження та апробацію виконаних розробок.	05.05.2025	
7	Оцінка економічної ефективності впровадження виконаних розробок.	18.05.2025	
8	Вступ	22.05.2025	
9	Висновки	25.05.2025	
10	Оформлення списку літератури та додатків	01.06.2025	

Студент

Михайло АЛЕШКЕВИЧ

Керівник

Ірина ЧЕРЕПАНСЬКА

Анотація

Метою дипломного проєкту є розробка інформаційнокомп'ютерного та програмно-алгоритмічного забезпечення процесу роботизованого сортування об'єктів виробництва, на прикладі машино- та приладобудування.

В дипломному проєкті розроблено маніпулятор промислового робота для сортування об'єктів виробництва. Розроблений маніпулятор є альтернативою відомим зарубіжним аналогам. Він дозволяє здійснювати сортування об'єктів виробництва.

У дипломному проєкті проведено аналіз сучасних методів та засобів сортування, зокрема механічних, оптичних та інтелектуальних методів. Розроблено загальну структурну схему системи керування макетом, розроблено етапи формування траєкторії руху розроблюваного маніпулятора та визначено технологічної взаємодії схвату макету промислового робота з об'єктами виробництва.

Також розроблено алгоритмічно-програмне забезпечення для автоматизованого керування макетом промислового робота при реалізації процесу сортування об'єктів виробництва і розроблено комплекс заходів щодо організації роботи з макетом промислового робота при реалізації процесу сортування об'єктів виробництва.

Завершальними стали проведення експериментальних досліджень, апробація виконаних розробок та оцінка економічної ефективності впровадження виконаних розробок.

Ключові слова: промисловий робот, об'єкт виробництва, автоматизація сортування, роботизоване сортування, інформаційно-комп'ютерне забезпечення, гнучка виробнича система.

Annotation

The purpose of the diploma project is to develop information-computer and software-algorithmic support for the process of robotic sorting of production facilities, using the example of mechanical and instrument-making.

In the diploma project, an industrial robot manipulator for sorting production objects was developed. The developed manipulator is an alternative to well-known foreign analogues. It allows sorting production objects.

The diploma project analyzes modern methods and means of sorting, in particular mechanical, optical and intellectual methods. A general structural diagram of the layout control system has been developed, the stages of forming the trajectory of the developed manipulator have been developed, and the technological interaction of the layout of the industrial robot with production facilities has been determined.

Algorithmic software has also been developed for automated control of the industrial robot model during the process of sorting production objects, and a set of measures has been developed to organize work with the industrial robot model during the process of sorting production objects.

The final steps were conducting experimental research, testing the completed developments, and assessing the economic efficiency of implementing the completed developments.

Keywords: industrial robot, production facility, sorting automation, robotic sorting, information and computer support, flexible production system..

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	11
ВСТУП.....	12
1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ РОБОТИЗАЦІЇ СОРТУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ВИРОБНИЦТВА У ПРИЛАДО- ТА МАШИНОБУДУВАННІ.....	14
1.1.Зміст та структура задачі роботизованого сортування об'єктів виробництва на прикладі приладо- та машинобудування.....	14
1.2.Засоби роботизованого сортування об'єктів виробництва приладо- та машинобудування.....	16
1.2.1. Стаціонарні роботизовані маніпулятори з вакуумними присосками або механічними захоплювачами, які виконують сортування за допомогою систем зору та штучного інтелекту.....	17
1.2.2. Мобільні роботи (AMR/AGV), які можуть автономно переміщувати об'єкти на складських або виробничих ділянках.....	18
1.2.3. Системи комп'ютерного зору для ідентифікації об'єктів за формою, кольором, штрихкодами тощо.....	19
1.2.4. Інтелектуальне програмне забезпечення, яке аналізує потік об'єктів і оптимізує логіку сортування.....	21
1.3.Мехатроніка в електрозварювальній галузі.....	22
1.3.1. Приклад використання промислових роботів в технологічних процесах зварювання.....	23
1.4.Мета та задачі дипломного проєкту.....	24
2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА ОПИС ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ МАКЕТОМ ПР ДЛЯ СОРТУВАННЯ ОВ.....	26
2.1. Процес керування розроблюваним макетом маніпулятора промислового робота.....	26

					ПК01.210315.000ПЗ					
Змн.	Ар	№ до	Підпис	Дата						
Розробив		Алешкевич			Пояснювальна записка		Літ.	Арк.	Акрушів	
Перевір.реві		Черепанська							8	
Реценз.							ПБФ, ПК-11			
Н. Контр.										
Затверд.										

2.2. Основні компоненти та технічні характеристики макету маніпулятора ПР.....	29
2.3. Опис елементів системи автоматизованого керування макетом ПР для сортування ОВ.....	30
2.4. Висновки до розділу 2.....	35
3. РОЗРОБКА ТРАЕКТОРІЇ РУХУ РОЗРОБЛЮВАНОГО МАНІПУЛЯТОРА ПР ТА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ СХВАТУ З ОБ'ЄКТАМИ ВИРОБНИЦТВА.....	36
3.1. Етапи формування траекторії руху розроблюваного маніпулятора ПР.....	36
3.2. Визначення технологічної взаємодії схвату розроблюваного макету ПР з ОВ.....	40
3.3. Інформаційні моделі маніпуляційних систем промислових роботів.....	43
3.4. Висновки до розділу 3.....	47
4. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІЧНО-ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МАКЕТОМ ПР.....	48
4.1. Алгоритм роботи маніпулятора ПР.....	51
4.2. Структурна схема програмного забезпечення маніпулятора ПР.....	53
4.3. Розробка макету графічного інтерфейсу програмного забезпечення системи керування маніпулятором ПР.....	54
4.4. Висновки до розділу 4.....	56
5. РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ ЗАХОДІВ ЩОДО ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОТИ З МАКЕТОМ ПР ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ СОРТУВАННЯ ОВ.....	57
5.1. Базові знання, що необхідні для користування автоматизованим мехатронним маніпулятором ПР для сортування ОВ.....	58
5.2. Перелік дій перед користуванням мехатронним маніпулятором.....	59
5.3. Висновки до розділу 5.....	60
6. ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ВИКОНАНИХ РОЗРОБОК.....	61
6.1. Оцінка економічної ефективності сучасних автоматизованих мехатронних маніпуляторів ПР.....	61

6.2. Економічна оцінка розроблюваного макету автоматизованого мехатронного маніпулятора ПР.....	62
6.3. Висновки до розділу 6.....	63
ВИСНОВОК.....	64
НАПРЯМКИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	66
ДОДАТКИ.....	68

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

AGV - Automated Guided Vehicles (Автоматизовані керовані транспортні засоби)

AMR - Autonomous Mobile Robots (Автономні мобільні роботи)

АС – автоматизований синтез

АТСС - автоматизованими транспортно-складські системи

ІПЗ - інтелектуальне програмне забезпечення

ІС - інформаційна система

МС – маніпуляційна система

ОВ - об'єкт виробництва

ПЛК - програмований логічний контролер

Пр – пристосування

ПР - промисловий робот

РП – робоча позиція

Сх – схват

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

ВСТУП

У сучасному промисловому виробництві дедалі більшої актуальності набуває впровадження роботизованих систем для автоматизації трудомістких та рутинних процесів. Однією з таких задач є сортування об'єктів виробництва (ОВ), що є важливим етапом у технологічних процесах приладо- та машинобудування. Особливу складність становить необхідність швидкого й точного впорядкування деталей, складальних одиниць і заготовок, що відрізняються за формою, розміром та іншими параметрами.

Актуальність теми визначається зростаючим попитом на інтелектуальні мехатронні системи в таких галузях як електрозварювання, логістика, автомобілебудування, виробництво медичної та електронної техніки. У дипломному проєкті розглянуто приклади використання роботизованих систем, описано структуру й функціонування ключових компонентів, таких як маніпулятори, мобільні платформи (AMR/AGV), системи технічного зору та інтелектуальне програмне забезпечення.

Процес ручного сортування пов'язаний із високими ризиками помилок, втомою працівників та низькою продуктивністю, що зумовлює потребу у впровадженні роботизованих рішень. Сучасні промислові роботи, оснащені системами комп'ютерного зору, штучного інтелекту та програмованими логічними контролерами, дозволяють реалізувати ефективне, адаптивне та надійне автоматизоване сортування у тривимірному просторі. Актуальність теми визначається зростаючим попитом на інтелектуальні мехатронні системи в таких галузях як електрозварювання, логістика, автомобілебудування, виробництво медичної та електронної техніки.

Метою дипломного проєкту є розробка інформаційно-комп'ютерного та програмно-алгоритмічного забезпечення процесу роботизованого сортування об'єктів виробництва, на прикладі машино- та приладобудування.

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

1. Провести аналітичний огляд сучасного стану проблеми роботизації сортування об'єктів виробництва у приладо- та машинобудуванні;
2. Розробити структурну схему системи автоматизованого керування макетом ПР для сортування ОВ;
3. Розробити етапи формування траєкторії руху розроблюваного маніпулятора та визначення технологічної взаємодії схвату макету промислового робота з об'єктами виробництва;
4. Розробити алгоритмічно-програмне забезпечення для автоматизованого керування макетом ПР при реалізації процесу сортування ОВ;
5. Розробити комплекс заходів щодо організації роботи з макетом ПР при реалізації процесу сортування ОВ;
6. Провести експериментальні дослідження та апробацію виконаних розробок;
7. Оцінити економічну ефективність впровадження виконаних розробок.

					<i>ПК11.010174.000ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ РОБОТИЗАЦІЇ СОРТУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ВИРОБНИЦТВА У ПРИЛАДО- ТА МАШИНОБУДУВАННІ

1.1. Зміст та структура задачі роботизованого сортування об'єктів виробництва на прикладі приладо- та машинобудування

Відомо, що одним з найскладніших допоміжних процесів у сучасному машино- та приладобудівному виробництві є процес автоматичного впорядкування виробничого середовища, що утворюється деталями, складальними одиницями, заготовками, готовими виробами та ін. При цьому особливої уваги потребує автоматизація процесу сортування множини різноманітних об'єктів виробництва (ОВ) – деталей, складальних одиниць, заготовок, готових виробів тощо. Важливість автоматизації сортування ОВ полягає у тому, що власне процес сортування являє собою монотонну і трудомістку роботу, яку людина не може тривало виконувати без похибок і помилок. Відомо, що тривале виконання людиною монотонної праці призводить до психоемоційного виснаження, неуважності, травматизму, помилок. Помилки, які допускають робітники при ручному сортуванні ОВ, призводять до виникнення так званої /пересортиці, що в свою чергу, потребує додаткової перевірки та повторного сортування, і як наслідок вимагає додаткових фінансових, трудових та часових витрат. Саме тому необхідність застосування засобів автоматизованого сортування, зокрема промислових роботів (ПР) (рис 1.1) та роботизація процесу сортування є актуальною задачею. Успішне вирішення цієї задачі забезпечує не тільки підвищення продуктивності праці, але і дозволяє виключити суб'єктивний вплив людини, очевидно впливає на підвищення якості виконуваних технологічних процесів.

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сортування ОВ здійснюється на основі певних критеріїв, таких як: форма, розмір, маса. Для автоматизації сортування ОВ застосовують спеціальні засоби та методи:

- 1) Сенсорні технології – камери, лазери, датчики кольору або ваги;
- 2) Маніпулятори – елементи промислових роботів, фактично руки, що здатні захоплювати ОВ та переміщувати їх на певну позицію;
- 3) Системи штучного інтелекту – для автоматичного розпізнавання ОВ і прийняття рішень, щодо їх сортування.

Загалом сутність задачі роботизованого сортування ОВ полягає у забезпеченні їх автоматизованого впорядкування у тримірному просторі. Процес роботизованого сортування передбачає послідовне виконання наступних технологічних операцій:

- автоматичну ідентифікацію (розпізнавання) ОВ;
- автоматичну класифікацію ОВ за наперед визначеними ознаками;
- автоматичне захоплення та розміщення ОВ у наперед визначених відповідних зонах або накопичувачах.



Рис. 1.1. Приклад використання роботизованого маніпулятора у виробництві [7]

1.2. Засоби роботизованого сортування об'єктів виробництва приладо- та машинобудування

Засоби роботизованого сортування об'єктів у приладо- та машинобудуванні включають комплекс технічних та програмних елементів, які дозволяють автоматизувати процес класифікації й переміщення деталей.

Основні засоби:

1. *Роботизовані маніпулятори.* Це промислові роботи зі змінними захватами для переміщення деталей, вони можуть працювати з різними формами, ваговими категоріями та розмірами об'єктів. Вони бувають з вакуумними присосками або механічними захоплювачами. Крім того широко використовують різні мобільні роботи (AMR/AGV), які можуть автономно переміщувати об'єкти на складських або виробничих ділянках

2. Системи технічного зору

Камери роздільної здатності, програмне забезпечення для розпізнавання форм, кольору і дефектів. Ці системи невід'ємно важливі для ідентифікації та орієнтації об'єктів у просторі

3. Системи керування на базі штучного інтелекту (ШІ)

Використання алгоритмів машинного навчання для адаптивного сортування та визначення типу об'єкта та прийняття рішень у реальному часі.

4. Конвеєрні системи

Інтеграція з роботизованими лініями для транспортування сортуючихся елементів та забезпечення безперервного виробничого процесу

5. Спеціалізовані сенсори

Оптичні, магнітні, ультразвукові, вагові сенсори, вони дають змогу точно вимірювати параметри об'єктів для подальшого сортування.

Для автоматизованого сортування об'єктів виробництва у приладо- та машинобудуванні застосовуються різні технологічні засоби, опис яких наведено далі.

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2.1. Стационарні роботизовані маніпулятори з вакуумними присосками або механічними захоплювачами, які виконують сортування за допомогою систем зору та штучного інтелекту

За даними літератури [1] стаціонарні роботизовані маніпулятори з вакуумними присосками являють собою автоматизовані пристрої, які призначені для сортування деталей за заданими параметрами за допомогою вакуумних захоплювачів (рис.1.2, а). Такі захоплювачі є ефективними при роботі з плоскими або гладкими ОВ а механічні захоплювачі (рис.1.2, б) — з ОВ складної форми або важчими компонентами. Вони часто оснащені системами комп'ютерного зору та датчиками, що дозволяє точно позиціонувати та ідентифікувати об'єкти [1].

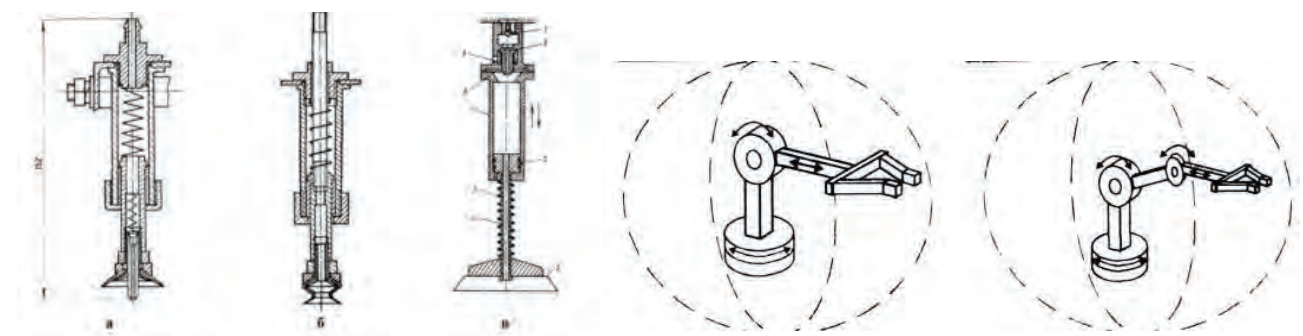


Рис. 1.2. Види захоплювачів ПР: а – вакуумний захоплювач; б – механічний захоплювач

Перевагами їх застосування є висока точність і швидкодія виконання операцій, мінімізація участі людини у небезпечних або монотонних процесах, підвищення продуктивності та якості праці, зокрема технологічної операції сортування, можливість швидкого переналагодження під нові типи сортувальних об'єктів [1].

Основними галузями їх застосування є автомобілебудування, електроніка, виробництво медичного обладнання. Зокрема застосовуються у таких сферах як автоматичне складання, сортування та контроль якості, наприклад, на

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробничих лініях для складання приладів, сортувальних станціях перед пакуванням, станціях автоматичного контролю якості, роботизованих комірках в автомобілебудуванні та електроніці [1].

1.2.2. Мобільні роботи (AMR/AGV), які можуть автономно переміщувати об'єкти на складських або виробничих ділянках

Мобільні роботи (AMR/AGV) відіграють одну з ключових ролей у сучасній логістиці, автоматизованих складських та виробничих системах. Вони розроблені для автономного транспортування об'єктів між певними зонами зберігання, обробки або складання, що значно підвищує ефективність логістичних процесів [2]. Існують різні типи мобільних роботів, зокрема:

– *AMR (Autonomous Mobile Robots)* — такі роботи здатні орієнтуватися в просторі за допомогою сенсорів, камер та штучного інтелекту, здатні самостійно прокладати маршрути, уникати перешкод і адаптуватися до змін у середовищі. Основними елементами у їх навігації є магнітні стрічки або направляючі рейки, оптичні лінії або QR-коди, програмовані маршрути [6].

– *AGV (Automated Guided Vehicles)* — такі роботи здатні рухатися за попередньо заданими маршрутами (по мітках, стрічках або лазерних напрямних), ефективні для повторюваних завдань у стаціонарному середовищі з незмінними умовами. Це більш технологічно розвинені пристрої, які використовують вбудовані сенсори, камери, лазерні сканер та алгоритми ШІ. Використовуються для побудови карти навколишнього середовища, прийняття рішень у реальному часі, об'їзду перешкод і динамічної зміни маршруту [5].

Основні можливості роботів AGV полягають у:

- автоматичному переміщенні деталей, сировини, інструментів або готової продукції;
- інтеграції з автоматизованими транспортно-складськими системами (АТСС) для оптимального управління запасами;

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

- підтримці безперервності виробництва шляхом заміни людського персоналу при виконанні монотонних видів робіт;
- можливість функціональної взаємодії з іншими роботизованими системами, зокрема маніпуляторами та сортувальними станціями.

Серед переваг можна виділити:

- гнучкість, адже AMR можуть самостійно адаптувати маршрути та траєкторії руху відповідно до змін у навколишньому середовищі;
- економію витрат на логістику та персонал;
- збільшення швидкості обробки замовлень або виробничих циклів;
- підвищення безпеки на підприємстві за рахунок усунення людського фактора.

Застосовують у складських комплексах (наприклад Amazon Robotics), заводах з виробництва електроніки або автомобілів, аптечних логістичних центрах [2].

1.2.3. Системи комп'ютерного зору для ідентифікації об'єктів за формою, кольором, штрихкодами тощо

Системи комп'ютерного зору — це технології, які дозволяють машинам "бачити" та аналізувати реальне або відео- та фотозображення для розпізнавання, класифікації й обробки об'єктів [3]. У контексті складських або виробничих процесів такі системи активно використовуються для ідентифікації об'єктів за формою, кольором, розміром, штрихкодами, QR-кодами та іншими ознаками [3].

Основні компоненти систем комп'ютерного зору:

1) Камери. Використовують наступні види камер для реалізації систем комп'ютерного зору:

- *цифрові або аналогові* камери з високою роздільною здатністю;
- *монохромні або кольорові*;

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

–2D або 3D-камери.

Усі ці камери мають можливість підключення до промислових контролерів або комп'ютерів.

2) Освітлення. Використовують наступні види освітлення:

– *світлодіодне* підсвічування. Використовується для підвищення контрастності зображення;

– *інфрачервоне* або *ультрафіолетове* освітлення. Використовується для виявлення невидимих дефектів або маркувань.

3) Алгоритми обробки зображень. Використовують наступні алгоритми:

фільтрація, бінаризація, виділення контурів;

порівняння із зразками (шаблонне розпізнавання);

виявлення кольорів, форм, розмірів;

читання штрихкодів, QR-кодів, DataMatrix та інших типів маркування.

4) Штучний інтелект і машинне навчання:

використовуються нейронні мережі для класифікації зображень;

навчання системи на великій кількості прикладів об'єктів;

автоматичне виявлення відхилень або браку.

5) Інтерфейс взаємодії з іншими системами. Використовується для наступного:

передача результатів аналізу на програмовані логічні контролери (ПЛК), ERP-системи або безпосередньо до роботів;

інтеграція з базами даних (БД) для збереження та аналізу інформації.

ідентифікація форми (сортування деталей за геометрією),

розпізнавання кольору (поділ об'єктів за колірною гамою (наприклад, для маркування або підбору комплектуючих), зчитування штрихкодів та QR-кодів (для відстеження продукції у виробничому ланцюгу), контролю якості (виявлення тріщин, сколів, недоливів, відхилень у розмірах та ін.).

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До переваг цієї системи відносяться висока точність і швидкість ідентифікації, можливість роботи у реальному часі, надійність у складних виробничих умовах, зменшення помилок порівняно з ручним контролем.

1.2.4. Інтелектуальне програмне забезпечення, яке аналізує потік об'єктів і оптимізує логіку сортування

Інтелектуальне програмне забезпечення (ІПЗ) – це системи на базі штучного інтелекту, які в режимі реального часу відстежують рух об'єктів, аналізують їхні характеристики (тип, розмір, вага, штрихкод тощо) та автоматично приймають рішення щодо найефективнішого маршруту або способу сортування. ІПЗ здатні адаптуватися до змін у навантаженні, дозволяють зменшити помилки та підвищити швидкість і точність обробки замовлень у логістичних і виробничих процесах [4].

Основними функціями ІПЗ, що наводяться в літературі [4] є:

- аналіз потоку об'єктів: виявлення та облік об'єктів у реальному часі, моніторинг швидкості потоку, черговості, накопичення чи затримок, автоматичне виявлення "вузьких місць" або перевантажених ділянок лінії;
- оптимізація логіки сортування: використання алгоритмів машинного навчання для створення динамічних сценаріїв сортування, адаптація логіки під зміну умов: типу продукції, навантаження, режиму роботи, пріоритезація певних об'єктів (наприклад, термінових або бракованих);
- інтеграція з іншими системами: взаємодія з ERP-системами, MES-системами, базами даних. автоматична синхронізація з транспортними модулями, маніпуляторами, AGV/AMR;
- візуалізація та звітність: інтерфейс користувача для відображення у реальному часі інформації про хід сортування, генерація аналітичних звітів, графіків, прогнозів, можливість дистанційного моніторингу та налаштування.

Технології, що використовуються в ІПЗ:

					ПК11.010174.000ІПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- машинне навчання (ML) — для адаптації до нових ситуацій;
- штучний інтелект (AI) — для прийняття рішень;
- інтернет речей (IoT) — для збору даних з сенсорів і пристроїв;
- хмарні сервіси — для зберігання й обробки великих обсягів даних.

Переваги застосування ІІЗ для автоматизації сортування:

підвищення продуктивності технологічної операції сортування завдяки автоматичній оптимізації;

- зниження браку за рахунок точного контролю;
- гнучкість — здатність до швидкого переналагодження при необхідності вирішення нових завдань;
- аналітика — можливість стратегічного планування на основі зібраних даних.

Останнім часом ІІЗ використовують в автоматизованих лініях сортування товарів на логістичних складах [12], на виробничих лініях з багатоступеневим сортуванням [13], на фасувальних станціях в фармацевтиці і харчовій промисловості.

На даний момент, сучасні методи роботизованого сортування забезпечують значний рівень продуктивності та точності, що дозволяє зменшити використання ручної праці. При цьому підвищується швидкість і точність виробництва. Враховуючи зростаючі потреби автоматизації виробництва на різних підприємствах, таких як логістичні центри.

1.3. Мехатроніка в електрозварювальній галузі

Зв'язок електрозварювання з мехатронними системами є дуже тісним і актуальним у сучасному промисловому виробництві. Детальніше розглянемо цей зв'язок:

1. Автоматизовані зварювальні комплекси

- о Мехатроніка дозволяє створювати роботи-зварювальники, які точно позиціонують електроди та керують режимами зварювання.

					ПК11.010174.000ІІЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

- о Приклад: промислові зварювальні роботи на лініях складання автомобілів.
- 2. Сенсори та зворотний зв'язок**
 - о Мехатронні системи включають сенсори температури, струму, напруги, які контролюють якість зварного шва в режимі реального часу.
- 3. Програмоване керування**
 - о Мікроконтролери та ПЛК (програмовані логічні контролери) використовуються для точного керування зварювальними процесами.
- 4. Обробка даних та штучний інтелект**
 - о Сучасні мехатронні системи в зварюванні використовують алгоритми машинного навчання для виявлення дефектів та оптимізації процесу.
- 5. Безпека та ергономіка**
 - о Мехатроніка сприяє створенню безпечніших зварювальних станцій з автоматичним відключенням при аваріях або неправильних умовах.

1.3.1. Приклад використання промислових роботів в технологічних процесах зварювання

Промислові роботи для зварювання широко застосовуються на відомих підприємствах у різних галузях. Ось кілька прикладів компаній, де використовується ця технологія.

1. Caterpillar Inc. (США)

Один із найбільших у світі виробників будівельної та гірничої техніки. Компанія широко застосовує роботизоване дугове зварювання для виготовлення важких металевих конструкцій, що дозволяє підвищити точність і зменшити виробничі витрати [9].

2. KUKA (Німеччина)

Світовий лідер у галузі промислової автоматизації. Їхні зварювальні роботи використовуються в автомобільній промисловості (BMW, Volkswagen, Ford),

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

авіації (Airbus, Boeing) та залізничному машинобудуванні. KUKA пропонує рішення для дугового, точкового та лазерного зварювання [10].

3. Path Robotics (США)

Розробляє автономні зварювальні системи, які використовують штучний інтелект для адаптації до змін у виробничому процесі. Їхні рішення застосовуються в галузях транспорту, сільського господарства та будівництва [11].

4. HD Hyundai Robotics (Південна Корея)

Ця компанія виробляє багатофункціональні роботи для зварювання та складання, які використовуються в автомобільній, металургійній та електронній промисловості. Вони щорічно постачають близько 4 000 роботів [14].

5. Wolf Robotics (США)

Спеціалізується на розробці зварювальних систем для важкої промисловості, включаючи гірничу справу, будівництво та сільське господарство. Компанія також співпрацює з військовими підрядниками для створення зварювальних систем для бойових машин [15].

1.4. Мета та задачі дипломного проєкту

З огляду на вказане, **метою** дипломного проєкту є розробка інформаційно-комп'ютерного та програмно-алгоритмічного забезпечення процесу роботизованого сортування об'єктів виробництва, на прикладі машино- та приладобудування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

1. Провести аналітичний огляд сучасного стану проблеми роботизації сортування об'єктів виробництва у приладо- та машинобудуванні;

2. Розробити структурну схему системи автоматизованого керування макетом ПР для сортування ОБ;

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Розробити етапи формування траєкторії руху розроблюваного маніпулятора та визначення технологічної взаємодії схвату макету промислового робота з об'єктами виробництва;

4. Розробити алгоритмічно-програмне забезпечення для автоматизованого керування макетом ПР при реалізації процесу сортування ОВ;

5. Розробити комплекс заходів щодо організації роботи з макетом ПР при реалізації процесу сортування ОВ;

6. Провести експериментальні дослідження та апробацію виконаних розробок.

7. Оцінити економічну ефективність впровадження виконаних розробок.

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА ОПИС ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ МАКЕТОМ ПР ДЛЯ СОРТУВАННЯ ОВ

Основна задача автоматизованих мехатронних маніпуляторів полягає у автоматичному або напівавтоматичному виконанні технологічних або допоміжних операцій, котрі потребують точного, повторюваного, швидкого або безпечного переміщення об'єктів у просторі, як без участі людини, так і з мінімальними її втручаннями. Основними його призначеннями є:

1. Маніпуляція об'єктами – тобто їх переміщення, захоплення та встановлення об'єктів у задані позиції, наприклад укладання предметів на конвеєр, перекладання як з однієї позиції, так і з однієї зони в іншу;
2. Автоматизація рутинних процесів – заміна ручної праці при виконанні монотонних дій, наприклад сортування компонентів на складі чи лінії;
3. Підвищення точності і продуктивності на підприємстві – виконання завдань з високою точністю позиціювання, високою швидкодією;
4. Підвищення безпеки виробництва – виключення контакту оператора з небезпечними зонами або шкідливими речовинами, наприклад при роботі у хімічнонебезпечному середовищі, у зонах з підвищеною температурою тощо;
5. Гнучкість виробничих процесів, що полягає у швидкому переналагодженні, перепрограмуванні маніпулятора ПР для виконання нових задач без фізичних змін його конструкції.

2.1. Процес керування розроблюваним макетом маніпулятора промислового робота

Процес керування розроблюваним макетом промислового робота може складатись із декількох етапів на кожному з яких виконується певна низка задач.

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рис. 2.1 вказана схема програмно-керованого роботизованого маніпулятора ПР, що реалізує процес сортування ОВ. Основу системи складають апаратно-програмні засоби (Arduino Uno), виконавчі механізми та інформаційна система. До основних елементів конструкції входять: корпус, рука, захватний пристрій, основа. Щодо рухів, які реалізує ПР, це: XX – рух вздовж повздожньої осі; ZZ – рух руки вгору-вниз; φ_{yz} - обертання захвату для точного позиціонування ОВ; φ_{xz} – коливання руки, нахили вперед-назад відносно осі YY; φ_{xy} – поворот корпусу маніпулятора навколо вертикальної осі, у площині XY.

Принцип роботи маніпулятора ПР полягає у тому, що користувач завантажує алгоритм у Arduino Uno, аналізує характеристики ОВ і надсилає дані до контролера, Arduino приймає інформацію наданою ручним управлінням та формує команду руху маніпулятора відповідно до заданих критеріїв; клавіатура забезпечує ручне керування маніпулятором, задля того щоб користувач вручну задавав напрям руху і активував захват. Маніпулятор виконує необхідні переміщення по координатах та обертання:

- Розташовує захват у правильній позиції – рух руки по XX, ZZ;
- Повертає захват φ_{yz} та корпус φ_{xy}
- Здійснює захоплення ОВ і переміщає у потрібну позицію.

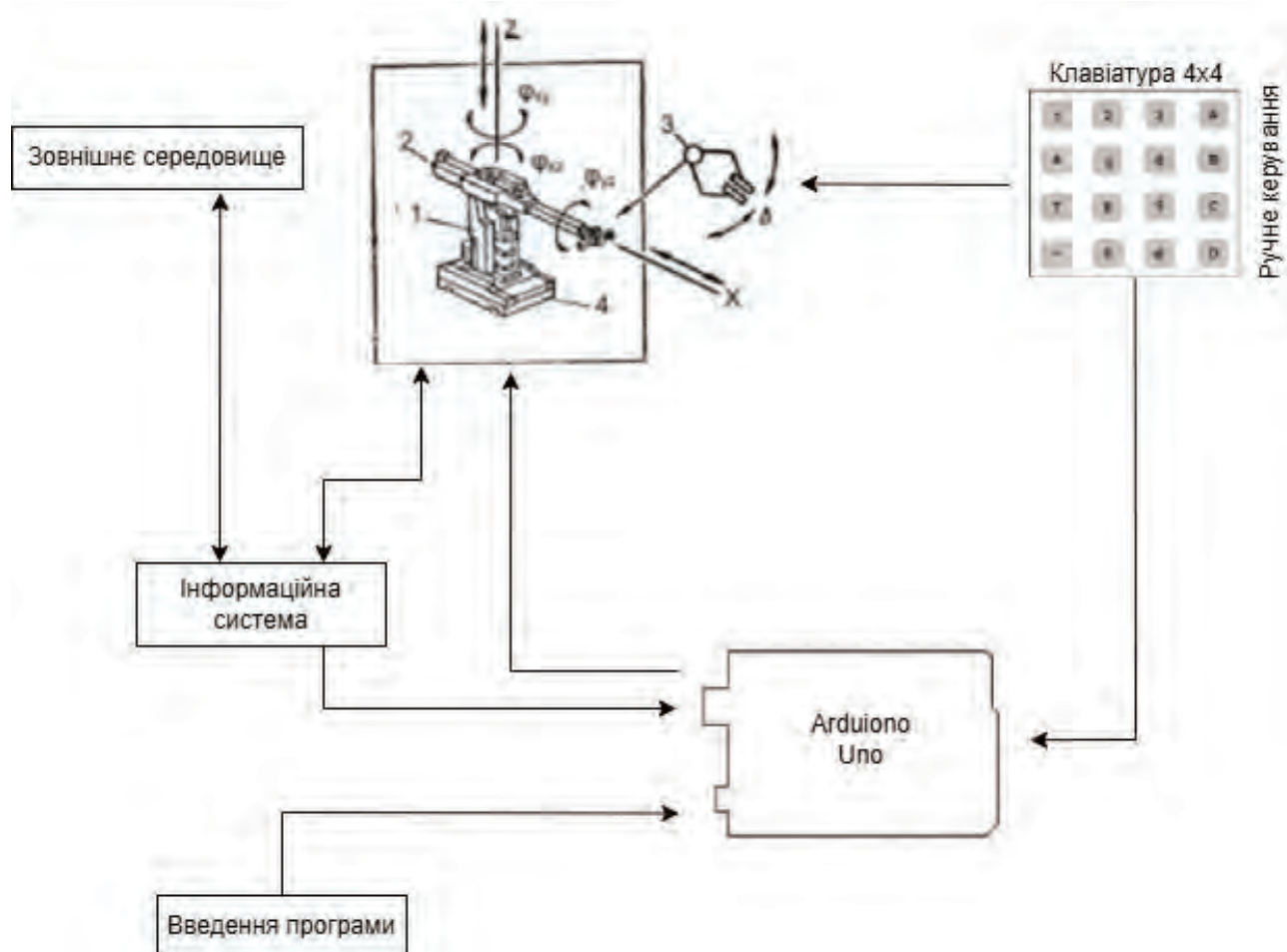


Рис. 2.1. Структурна схема системи керування макетом маніпулятора ПР, основні елементи конструкції і рухи робочих роботів: 1 – корпус; 2 – рука; 3 – захватний пристрій; 4 – основа; XX – рух руки вздовж повздожньої осі; ZZ – рух руки вверх-вниз; φ_{yz} - обертання ротація захвату φ_{xz} - коливання руки (поворот відносно осі YY); φ_{xy} - поворот корпусу маніпулятора навколо вертикальної осі

Така система дозволяє автоматизувати процес сортування ОВ, зменшуючи вплив людського фактора, та дає можливість у ручному управлінні керувати маніпуляторів, для виконання технічних задач.

2.2. Основні компоненти та технічні характеристики макету маніпулятора ПР

Автоматизований мехатронний маніпулятор складається з 5-ти основних компонентів (табл. 2.1), кожен з яких відповідає за рух у певному напрямку, що забезпечує успішне сортування ОВ, навіть якщо у робочій зоні маніпулятора є перешкоди.

Таблиця 2.1

Основні компоненти мехатронного маніпулятора ПР, та їх опис.

Компонент	Опис
База	Обертається на серво – забезпечує обертання по площині ХУ
Плече	Ланка що опускається/піднімається – керується другим сервоприводом
Лікоть	Друга ланка – забезпечує додатковий кут згину
Схват	Двопальцевий захоплювач що керується сервоприводом
Основа	Кріпиться до платформи для створення стабільності

Для виготовлення макету автоматизованого мехатронного маніпулятора використовуються елементи з обмеженими характеристиками (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Технічні характеристики макета автоматизованого мехатронного маніпулятора ПР

Характеристика	Значення
Ступінь свободи	5
Тип сервоприводів	SG90, TowerPro S3003 Futaba
Управління	Arduino Uno
Матеріали	Пластик PLA
Живлення сервоприводів	5В

Максимальне навантаження	350г
Точність позиціювання	Приблизно 1-2°
Клавіатура	4x4

Принцип роботи та цикл дій при керуванні автоматизованим мехатронним маніпулятором ПР:

1. Користувач надсилає команду через клавіатуру, яка з'єднана з центром управління (Arduino Uno) маніпулятора ПР;
2. Центр управління обробляє команду та в залежності від неї подає сигнали на сервоприводи;
3. Кожен сервопривод отримує кут повороту заданий користувачем;
4. Рухи сервоприводів виконуються поступово або синхронно, в залежності від команди поданої центром управління;
5. При досягненні цілі схват виконує дію захват об'єкту.
6. Кожен сервопривід отримує новий кут повороту, в залежності від заданої команди розташування ОВ;
7. При досягненні необхідного положення маніпулятора, схват виконує дію розтискання, та відпускає ОВ на його кінцеву позицію, задану користувачем.

2.3. Опис елементів системи автоматизованого керування макетом ПР для сортування ОВ

Елемент управління макетом мехатронного маніпулятора ПР:

Arduino Uno (рис. 2.2) — це широко використовувана плата мікроконтролерів з відкритим кодом на базі мікроконтролера ATmega328P. У його склад входить все необхідне для зручної роботи з мікроконтролером: 14 цифрових входів/виходів (з них 6 можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів), 6 аналогових входів, кварцовий резонатор на 16 МГц, роз'єм USB, роз'єм живлення, роз'єм для програмування всередині схеми (ICSP) і кнопка скидання. Для початку роботи з пристроєм необхідно подати живлення від

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

AC/DC-адаптера або батарейки, або підключити його до комп'ютера за допомогою USB-кабелю[12]. Основні характеристики та їх значення базового використання Arduino Uno зазначені у табл. 2.3.

Таблиця 2.3.

Основні критерії та їх значення елементу управління Arduino Uno

Основні критерії	Значення
Мікроконтролер	ATmega328
Робоча напруга	5В
Напруга живлення (рекомендований)	7-12В
Напруга живлення (граничне)	6-20В
Цифрові входи / виходи	14 (з них 6 можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів)
Аналогові входи	6
Максимальний струм одного виведення	40мА
Максимальний вихідний струм виводу 3.3V	50мА
Flash-пам'ять	32 КБ (ATmega328) з яких 0.5 КБ використовуються завантажувачем
SRAM	2 КБ (ATmega328)
EEPROM	1 КБ (ATmega328)
Тактова частота	16МГц



Рис. 2.2. Arduino Uno

Сервоприводи, що були використані у макеті маніпулятора ПР:

1. SG90 (Рис. 2.3.): мікросервопривід типу SG90 широко використовується для збирання, керування й переміщення будь-яких об'єктів, вага яких не

перевищує 2 кг. Сервопривід Arduino Uno може обертатися приблизно на 180 (90 у кожному напрямку) і працювати, так само як й інші розповсюджені сервоприводи (наприклад сервопривід TowerPro S3003 Futaba), але ні відміну від них має менші розміри. Для керування сервоприводами SG90, можна використовувати код, апаратне забезпечення[13].

Основні характеристики **SG90 Servo motor**:

- Вага сервоприводу Arduino: 9 г;
- Обертальний момент: досягає 2 кг/см;
- Температурний режим: від 0 С до 50 С;
- Живлення SG90: 3,5 В - 5,0 В;
- Робоча швидкість: 0,12 сек/60 градусів;
- Розмір: 22,2 x 11,8 x 31 мм;
-



Рис. 2.3. Сервопривід SG90

2. TowerPro S3003 Futaba (рис. 2.4.): популярний сервопривід із нейлоновими шестернями.

Характеристики:

- Матеріал приводу: нейлон;
- Тип підшипника: втулка;
- Крутний момент: 3.2 кг/см при напрузі живлення 4,8 В. (4,1 кг/см при напрузі 6 В);

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

- Швидкість позиціонування: 0,23 сек./60 при напрузі 4,8В. (0,19 сек./60 при напрузі 6В);
- Розміри: 41x20x36 мм;
- Довжина дроту 150 мм;
- Вага: 37 г.



Рис. 2.4. Сервопривід TowerPro S3003 Futaba

З'єднувальні провідники використані у макеті автоматизованого мехатронного маніпулятора ПР:

З'єднувальні провідники мама-тато, мама-мама, тато-тато (рис. 2.5.) - це універсальні провідники для макетування, що використовуються для швидкого та зручного з'єднання елементів електронних схем. Вони забезпечують безпечне підключення між роз'ємами нарізних платах розробки (у нашому випадку Arduino Uno) та іншими пристроями, такими як сенсори, модулі або додаткові електронні компоненти.

Характеристики:

Країна виробник: Китай

Тип: Дроти і перемички

Тип модуля: Комунікаційний

Довжина: 100 мм

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 2.5. Набір з'єднувальних провідників мама-тато, мама-мама, тато-тато
Основним елементом за допомогою якого були створені ланки, зачеп, та основа маніпулятора ПР є пластик PLA для друку на 3D принтері:

PLA: філамент PLA (рис2.5.) для 3D принтера - це найпопулярніший пластик для 3д друку. Він є біорозкладним і вважається екологічно чистим продуктом. Даний вид пластику найчастіше вибирають для друку будинку, в офісах, школах через його екологічність та чудові властивості. PLA Філамент дуже простий у друку, особливо для новачків, за допомогою нього можна легко отримати високу якість друку та хорошу точність.

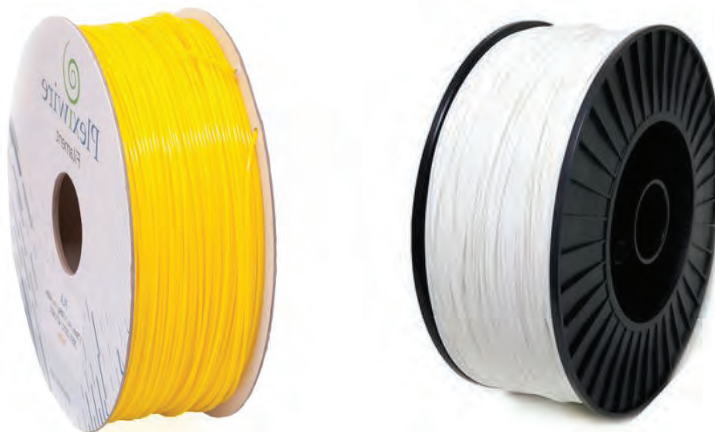


Рис.2.5. філамент PLA для 3D принтера

За допомогою саме цих елементів вдається створити автоматизований маніпулятор ПР, котрий буде бюджетним та зможе виконувати всі задачі по сортуванню ОВ.

2.4. Висновки до розділу 2

У розділі 2 було розроблено структурну схему та описано елементи системи автоматизованого керування макетом ПР для сортування ОВ. Розроблена послідовність дій процесу керування розроблюваним макетом маніпулятора промислового робота. Описані основні компоненти та технічні характеристики макету автоматизованого мехатронного маніпулятора ПР. А також описані елементи системи автоматизованого керування макетом ПР для сортування ОВ.

					<i>ПК11.010174.000ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

3. РОЗРОБКА ТРАЕКТОРІЇ РУХУ РОЗРОБЛЮВАНОГО МАНІПУЛЯТОРА ПР ТА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ СХВАТУ З ОБ'ЄКТАМИ ВИРОБНИЦТВА

3.1. Етапи формування траекторії руху розроблюваного маніпулятора ПР

При реалізації процесу роботизованого сортування функціонування мехатронного маніпулятора ПР охоплює весь цикл роботи – від очікування команди, до виконання захоплення ОВ і повернення до початкового стану. Цей процес складається з декількох послідовних етапів і охоплює як механічне, так і логічне функціонування системи, при цьому рух маніпулятора здійснюється по повній траекторії. На рис.3.1 наведена траекторія рухів маніпулятора на прикладі схеми маніпулятора шарнірного типу.

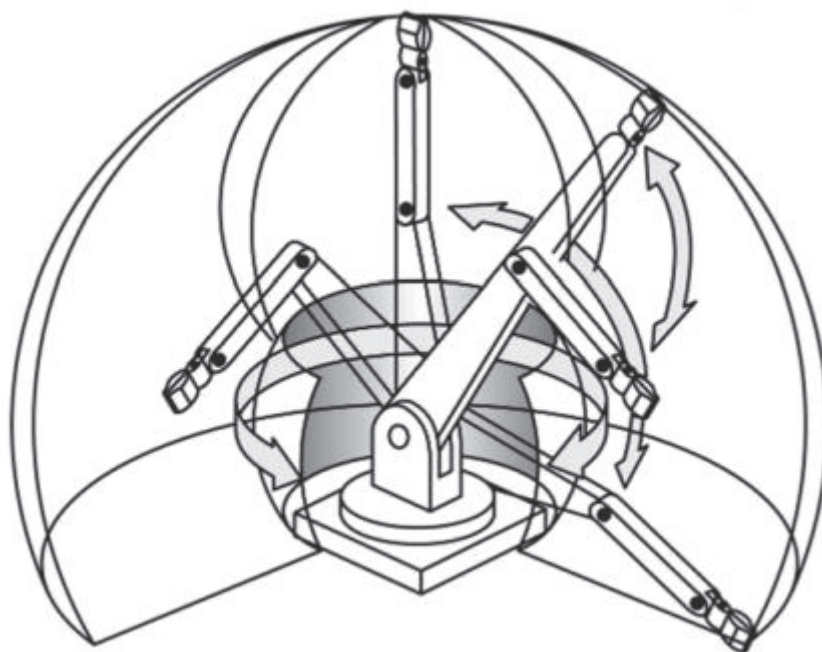


Рис.3.1 Схематичне зображення траекторії рухів маніпулятора шарнірного типу.

Процес формування траєкторії руху маніпулятора ПР складається з декількох етапів, що описані далі.

Етап 1. Ініціалізація системи.

Відбувається ініціалізація серводвигунів, датчиків та контролера; маніпулятор займає базову позицію; встановлюються початкові кути сервоприводів.

Етап 2. Очікування зовнішньої команди.

Система перебуває в режимі очікування, допоки не буде натиснута одна з кнопок керування сервоприводом.

Етап 3. Розрахунок та формування траєкторії.

Отримано координати об'єкта; виконується інверсна кінематика, тобто координати трансформуються у кути обертання кожного суглоба; створюється набір координат для поступового переміщення маніпулятора.

Етап 4. Переміщення до об'єкта.

Кожен сервопривод змінює своє положення поетапно, рух може бути лінійним, інтерпольованим або по заздалегідь заданим траєкторіям.

Етап 5. Захоплення об'єкта.

Коли маніпулятор досяг цільової позиції вмикається хват та вимірюється сила або підтверджується успішність захоплення. Можливе використання датчиків тиску.

Етап 6. Переміщення до цільової точки.

Повторний розрахунок траєкторії; сервоприводи синхронно переносять об'єкт.

Етап 7. Відпуск об'єкта.

Схват відкривається, можлива затримка для стабілізації об'єкта.

Етап 8. Повернення в початкову позицію.

Маніпулятор відновлює стартову конфігурацію та переходить у режим очікування

Послідовність виконання задач кожного етапу формування траєкторії маніпулятора наведено на рис. 3.2.

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Надається за запитом

Рис. 3.2. Послідовність дій у процесі керування маніпулятором (початок)

					<i>ПК11.010174.000ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Надається за запитом

Рис. 3.2. Послідовність дій у процесі керування маніпулятором
(закінчення)

Приведена послідовність дій підкреслює важливість кожного етапу роботи маніпулятора ПР та їх правильну послідовність задля правильного його використання.

					<i>ПК11.010174.000ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

3.2. Визначення технологічної взаємодії схвату розроблюваного макету ПР з ОВ

Технологічна взаємодія СхПР з ОВ в контексті формування траєкторії руху маніпулятора при сортуванні об'єктів розглядається як взаємодія між поверхнями ОМ, який попередньо встановлений (збазований та закріплений) або має бути таким, в ПР основного або допоміжного технологічного обладнання та затискними елементами СхПР [10].

Формування траєкторії руху маніпулятора ПР при роботизованому сортуванні виробництва – складний процес, який передбачає аналіз і обробку множини даних про складові гнучкої виробничої системи (ГВС), яка являє собою сукупність у різних поєднаннях устаткування з числовим програмним управлінням, ГВК, виробничих модулів (ГВМ), окремих одиниць ТО і систем забезпечення їх функціонування в автоматичному режимі протягом заданого інтервалу часу, що має властивість автоматизованого переналагодження при виробництві виробів довільної номенклатури у встановлених межах значень їх характеристик. Під ГВС розуміють виробничу структуру (лінію, дільницю, цех, завод), що функціонує на основі безлюдної/малолюдної технології, робота усіх виробничих компонентів якої координується як єдине ціле з багаторівневою системою управління, яка забезпечує швидку зміну програм функціонування компонентів ГВС при переході на випуск нової продукції [11].

Під час формування траєкторії руху маніпулятора ПР при роботизованому сортуванні ОВ необхідно знайти найкращу траєкторію переміщення із врахуванням умови мінімізації часу, що витрачається на сортування ОВ та витрати споживаної потужності.

При формування траєкторії руху маніпулятора ПР, необхідною є інформація щодо факторів, які безпосередньо впливають на технологічну взаємодію СхПР з ОВ та які необхідно враховувати при виборі оптимального варіанту положення, орієнтації, траєкторії переміщення Сх до ОВ для реалізації процесу роботизованого сортування.

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До таких факторів належать:

- параметри ОВ: розміри, форма, фізико-механічні властивості матеріалу, множина зовнішніх та внутрішніх конструктивних елементів;
- параметри схвату маніпулятора ПР: розміри, форма, поверхні контактування з ОВ даної РП, зона заборони, зона обслуговування, положення та орієнтація в системі координат схвату маніпулятора ПР, параметри вантажопідйомності при розвантаженні/завантаженні ПР;
- параметри ПР: зона заборони, зона обслуговування, робочий простір, геометричні параметри обладнання, що є ПР;
- параметри маніпулятора ПР: кількість ланок МС, розміри ланок МС, величини переміщень кожної з ланок, варіанти положень ланок МС, система координат, кількість ступенів рухомості;
- технологічний маршрут обробки ОВ у випадку виконання операції роботизованого сортування у складі всього технологічного процесу виробництва: кількість технологічних операцій в технологічному процесі (свердлування, точіння, шліфування тощо), час виконання технологічних операцій, розташування технологічного обладнання в робочій зоні ПР, послідовність обслуговування ПР технологічного обладнання.

Вказане вище представлено на рис. 3.3.

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

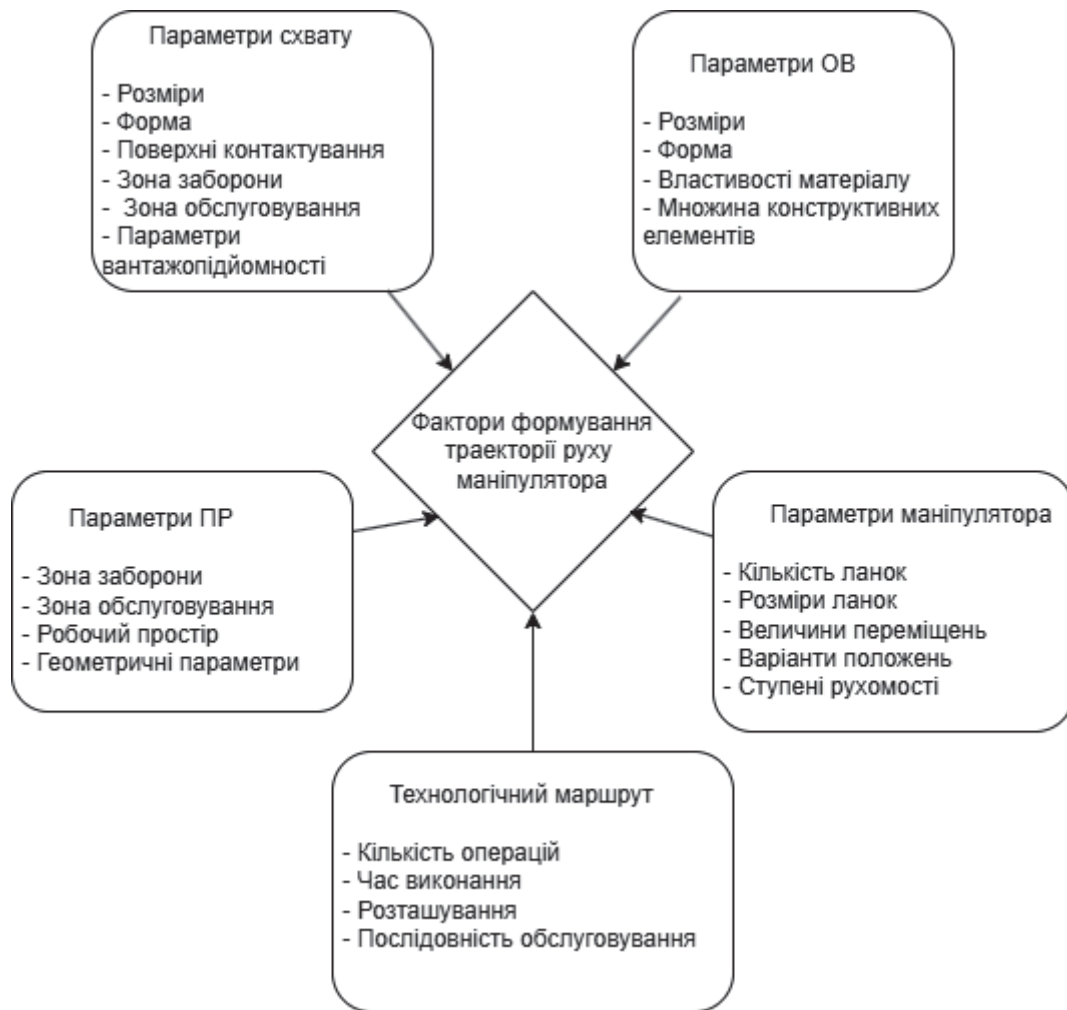


Рис. 3.3. Фактори, що впливають на формування траєкторії руху розроблюваного макету маніпулятора ПР

При роботизованому сортуванні ОВ ПР може взаємодіяти з ОВ шляхом виконання множини переміщень, зокрема, горизонтально зліва та справа вздовж осі ОВ. Очевидно, що відповідні рухи при роботизованому сортуванні ОВ маніпулятор може виконати різним шляхом. Такі шляхи наведені на рис. 3.4.

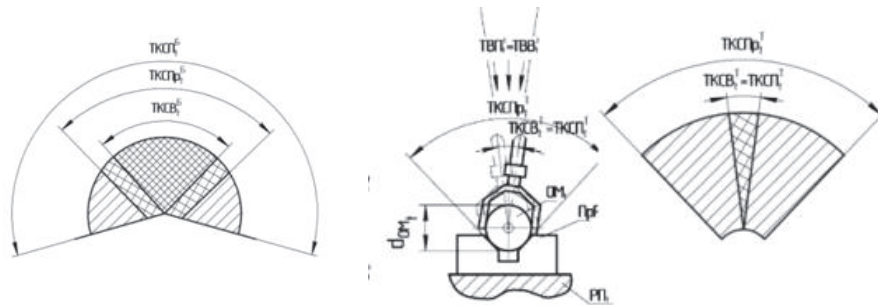


Рис. 3.4 Траекторія виконання руху схватом розроблюваного макету ПР

Відповідно до вище вказаної інформації, формуються робочі зони та зони обмеження роботи маніпулятора.

3.3. Інформаційні моделі маніпуляційних систем промислових роботів

При формуванні інформаційної моделі маніпуляційної системи розроблюваного макету ПР використовується відома методика складання інформаційних моделей промислових роботів, яка наведена в літературі [10]. Відповідно до цієї методики, необхідно виконати 3 кроки:

К. 1. Аналіз конфігурації МС ПР, визначення кількості активних (рухомих) і неактивних (нерухомих) ланок, якими можна відобразити форму описуваних ланок при моделюванні (рис 3.5).

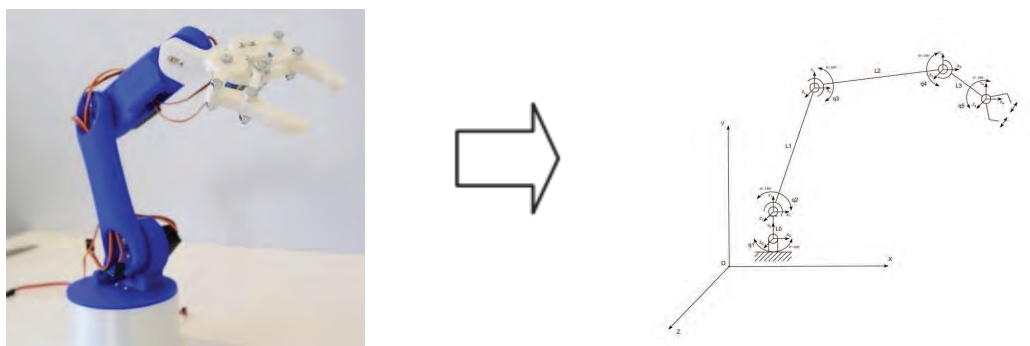


Рис. 3.5. Визначення кількості активних, неактивних ланок для макету ПР

К. 2. Формування кінематичної схеми МС (рис. 3.7.). Опис розташування та орієнтації МС в глобальній СК. Визначення орієнтації та довжин ланок.

Таблиця 3.1.

Опис ланок та їх характеристики

№ Ланки	Розмір ланки	Опис ланки
L-0	56 мм	Схематично у формі циліндра, який закріплений до поверхні. Виконує функцію лопатки маніпулятора та пов'язана з першою ланкою(q1) (рис.3.6.) Рухається площиною XZ
L-1	120 мм	Схематично стержень. Виконує функцію плеча маніпулятора. З обох сторін з'єднана обертовими кінематичними парами. Може обертатися (q2) (рис. 3.6.) площиною ХУ. У верхній точці ланка пов'язана з наступною ланкою(q3) (рис. 3.6.)
L-2	96 мм	Схематично стержень. Виконує функцію передпліччя маніпулятора. З обох сторін пов'язана з першою та третьою ланками. Рухається площиною YZ (q3) (Рис. 3.6.)

L-3	30 мм	Схематично стержень. Виконує функцію зап'ястя маніпулятора. З однієї сторони пов'язана з другою ланкою, а з іншого кінця знаходиться захват. Здійснює обертові рухи на площині XY(q4) (рис. 3.6.)
Захват	80-125 мм	Прикріплений до кінця третьої ланки. Виконує функцію захватного пристрою.

Кінематичні пари утворюються з обох сторін нульової (L-0), першої (L-1), другої (L-2) та третьої (L-3) ланок. Тож, маніпулятор має 5 кінематичних пар, кожна з яких має одну ступінь свободи.

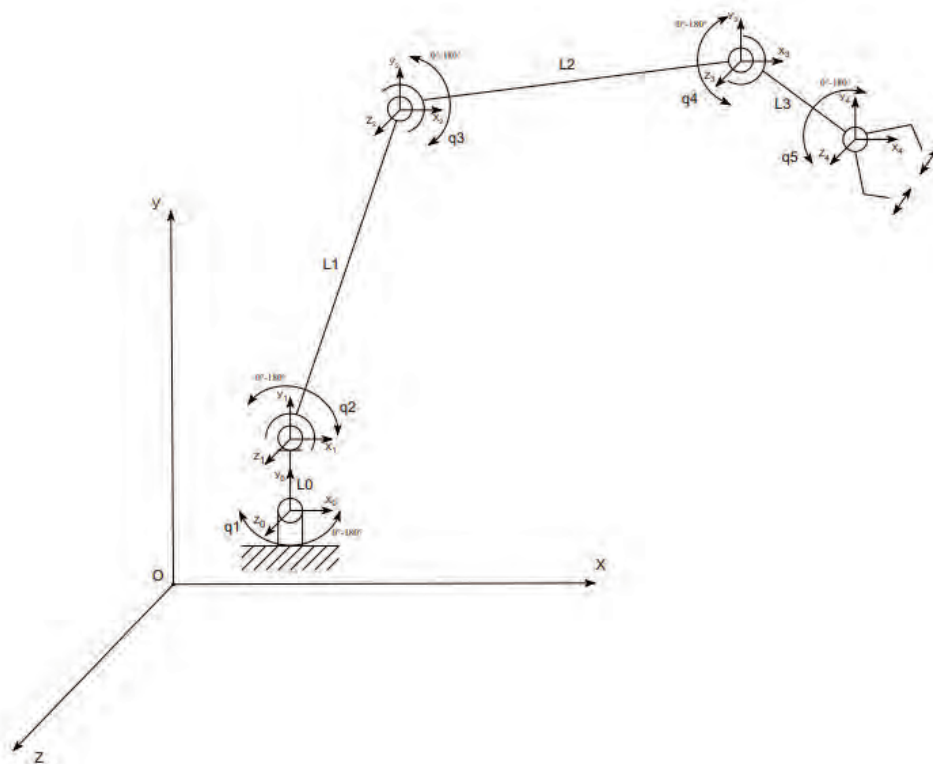


Рис. 3.6. Кінематична схема МС

К. 3. Опис обмежень для активних ланок МС.

Активні ланки МС являють собою компоненти, забезпечуючі привідну функцію в роботизовних механізмах або автоматизованих маніпуляторів. Для їх безпечної та довговічної праці необхідно дотримуватись певних обмежень, таких як:

1. Максимальна вагопідйомність.

Кожна ланка має обмежену вантажопідйомність та обмеження на крутний момент. Перевищення призводить до зносу, деформації або відмови приладу.

2. Діапазон руху.

Обмеження на кут повороту, лінійне переміщення або ступінь свободи, в межах яких механізм може безпечно працювати.

3. Швидкість і прискорення.

Кожен сервопривід має граничні значення швидкості та прискорення руху. Їх перевищення викликає нестабільність, вібрації, порушення точності позиціонування.

4. Теплові обмеження.

Тривала робота під навантаженням викликає нагрів під'ємних елементів. Необхідно контролювати температуру, щоб уникнути критичного нагрівання елементів.

5. Споживана потужність.

Активні елементи мають межі енергоспоживання. Надмірна витрата енергії може перенавантажити джерело живлення.

6. Умови експлуатації.

Активні ланки є чутливими до зовнішніх умов. Робота в середовищах з високим вмістом вологості, пилу, вібрацій вимагає спеціального захисту або герметизації.

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

3.4. Висновки до розділу 3.

У розділі 3 були розроблені етапи формування траєкторії руху розроблюваного маніпулятора ПР та визначення технологічну взаємодію схвату макету промислового робота з об'єктами виробництва. Наведено інформаційні моделі маніпуляційних систем промислових роботів.

					<i>ПК11.010174.000ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

4. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІЧНО-ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МАКЕТОМ ПР

Алгоритмізація завдання роботизованого сортування ОВ, наприклад, машино- та приладобудування, що наведені на рис. 4.1 передбачає розробку алгоритму автоматизованого керування маніпулятором для виконання множини рушійних функцій аналогічних до функцій людини з переміщення певних ОВ, що відрізняються за множиною показників, у наперед визначені позиції.



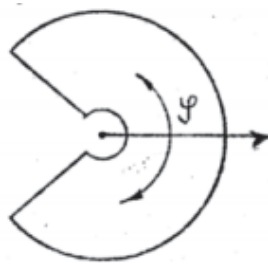
а



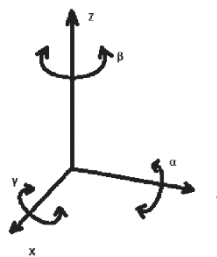
б

Рис. 4.1 а – Автоматизований мехатронний маніпулятор. б – ОВ для маніпулювання

Відповідно до цього, маніпулятор ПР повинен здійснювати лінійні та кутові рухи у абсолютній правій тримірній декартовій системі координат $OXYZ$ (рис. 4.2. б). Так лінійні рухи маніпулятора ПР здійснюються відносно осей OX , OY , OZ . Кутові рухи здійснюються навколо осей OX , OY , OZ на відповідні кути α , β , γ в інтервалі значень від 0° до 180° . При цьому маніпулятором створюється певна робоча зона, яка має форму частини кулі (рис. 2.2. а). Відомо, що ПР, які мають такі робочі зони, працюють у власній сферичній системі координат.



а



б

Рис 4.2. Робоча зона та система координат маніпулятора: а – робоча зона маніпулятора; б – система координат руху маніпулятора ПР

Блок-схема алгоритму керування автоматизованим мехатронним маніпулятором ПР (рис 4.3), ілюструє повну логічну послідовність дій, що виконуються у процесі роботи системи. Вона створена з урахуванням можливості корекції кожного з етапів, що дозволяє краще зрозуміти принципи функціонування автоматизованого маніпулятора. Такий підхід значно полегшує перше ознайомлення та впровадження користувача у процес роботи з даним пристроєм.

У разі виникнення збоїв або непередбачених ситуацій у процесі експлуатації, дана блок-схема забезпечує зручну основу для діагностики. Завдяки можливості простежити шлях виконання команд на всіх стадіях, користувач має змогу оперативно виявити причину несправності та вжити відповідних заходів ще на ранніх етапах роботи. Це суттєво підвищує ефективність технічного обслуговування і сприяє зменшенню часу простою обладнання.

Надається за запитом

Рис.4.3 Блок-схема алгоритму керування ПР

					<i>ПК11.010174.000ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Приведений алгоритм підкреслює трудоемкість вирішення задач з сортування ОВ. Крім того, враховуючи те, що після виконання початково встановленої задачі є змога відновити атнову задачу, час роботи маніпулятора за цим алгоритмом може бути необмеженим однією задачею.

4.1. Алгоритм роботи маніпулятора ПР

На першому етапі мікроконтролер запускає та налаштовує підключені сервоприводи. Кожен із чотирьох сервоприводів підключається до відповідного PWM-виходу. Встановлюються початкові положення для: основи, плеча, передпліччя та схвата (затиснутий або відкритий). Також може бути коротка пауза, щоб сервоприводи стабілізувалися.

Після ініціалізації система переходить у режим очікування. Вона може отримувати команди від користувача по USB або Bluetooth з комп'ютера, команда включає координати точки, куди потрібно перемістити маніпулятор (наприклад, X, Y, Z) та інформацію про необхідність захоплення об'єкта (так/ні). Якщо координати задані в просторі, мікроконтролер повинен обчислити, які кути повинні прийняти сервоприводи плеча, передпліччя і підстави, щоб кінець маніпулятора досяг заданої точки. Це називається зворотною кінематикою.

Мікроконтролер передає розраховані кути на сервоприводи та основа повертається у потрібний напрямок, плечо та передпліччя піднімаються або опускаються, переміщуючи маніпулятор до об'єкта, переміщення може бути реалізовано плавно (наприклад, покроковою подачею кутів) або одночасно переходом до потрібного значення. Коли кінець маніпулятора досяг потрібної позиції, виконується операція схвату, якщо об'єкт потрібно захопити - сервопривід стискається (кут зменшується, наприклад, до 45°), якщо об'єкт потрібно відпустити, схват відкривається (кут повертається до 0°).

Після виконання основного завдання маніпулятор повертається у стан "очікування" та готовий до виконання нової команди, якщо користувач не вирішить завершити роботу.

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Це програмне керування забезпечене для користувача і дозволяє йому керувати окремими ланками маніпулятора, змінювати положення кожного сервопривода вручну з клавіатури, а також відновлювати початкову позицію всіх сервомоторів натисканням однієї кнопки.

Кожна кнопка відповідає за зміну положення одного сервопривода. Також дозволяє точно налаштовувати позиції маніпулятора, що підходить для калібрування або пошуку координат для автоматизації. Передбачено повернення до нуля, що дозволяє натисканням однієї кнопки повернути всі серво у початкову позицію.

					<i>ПК11.010174.000ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

4.2. Структурна схема програмного забезпечення маніпулятора ПР

Структурна схема на рис. 4.4 відображає послідовність роботи програмного забезпечення маніпулятора ПР

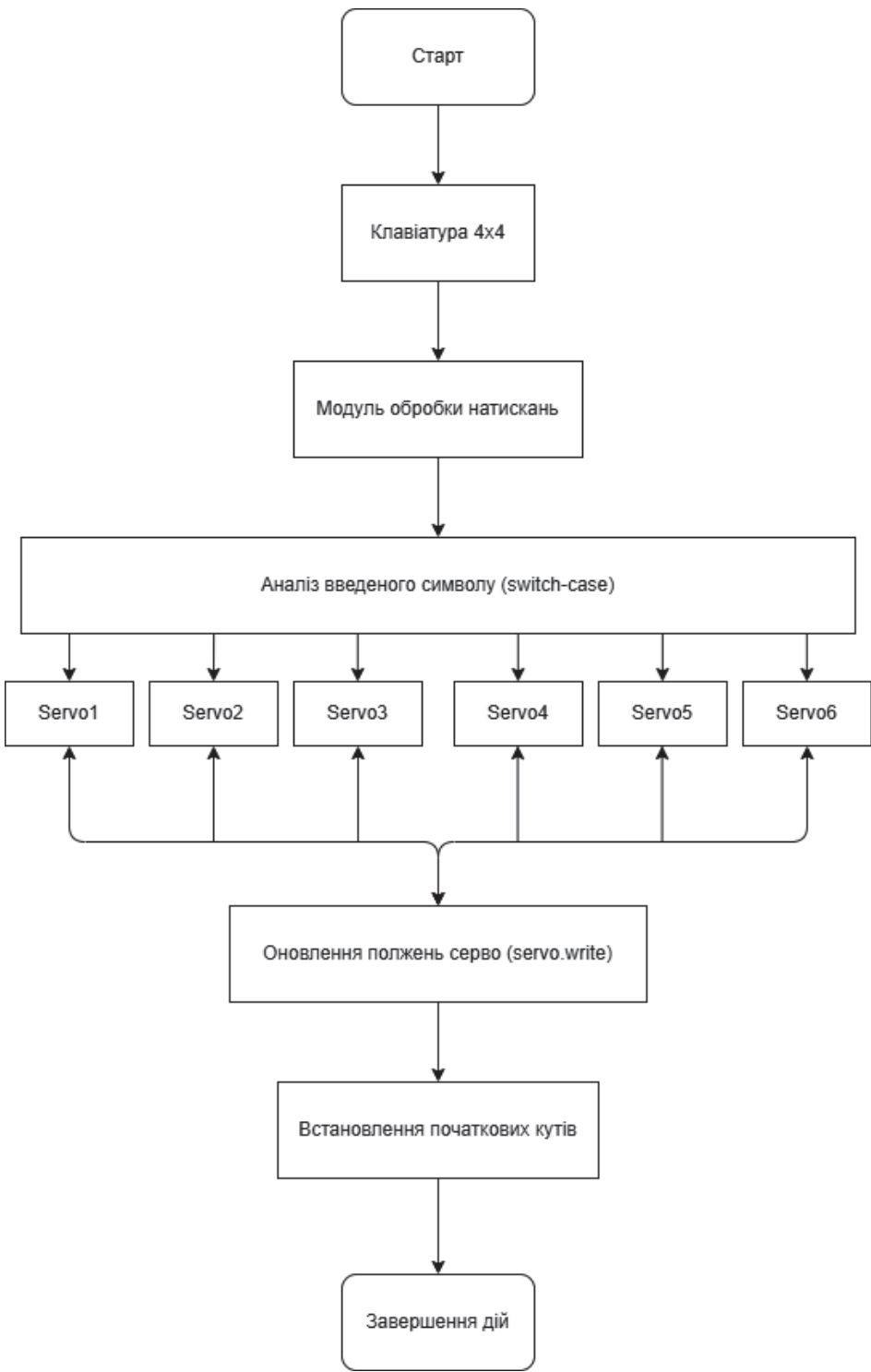


Рис.4.4. Структурна схема програмного забезпечення маніпулятора ПР

Принцип функціонування циклу роботи маніпулятора ґрунтується на інтерактивній взаємодії користувача з керуючою системою за допомогою клавіатури. Основна послідовність дій починається з того, що оператор натискає певну клавішу на клавіатурі, яка виконує роль інтерфейсу керування. Система одразу зчитує введений символ і проводить його аналіз, тобто визначає, яку саме команду потрібно виконати.

На основі отриманого символу система обчислює, який саме сервопривід необхідно активувати та в якому напрямку його потрібно обертати — за годинниковою стрілкою або проти неї. Після цього внутрішні змінні, що відповідають за координати або кути положення виконавчих ланок, оновлюються відповідно до нових параметрів. Потім розраховане значення кута передається на відповідний сервопривід, який виконує механічне переміщення частини маніпулятора у вказаному напрямку.

У випадку, якщо користувач натискає спеціальну клавішу, призначену для завершення поточного циклу або зупинки роботи, система реагує миттєво: усі сервоприводи повертаються у свої вихідні, тобто початкові, положення. Це забезпечує приведення маніпулятора до стандартного стану очікування, в якому він перебуває доти, поки не надійде наступна команда з клавіатури. Такий підхід дозволяє реалізувати зручне, наочне й ефективне керування автоматизованою системою у режимі реального часу.

4.3. Розробка макету графічного інтерфейсу програмного забезпечення системи керування маніпулятором ПР

Макет графічного інтерфейсу представляє собою програмне вікно з інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом (рис 4.5.) для спрощення користування маніпулятором ПР.

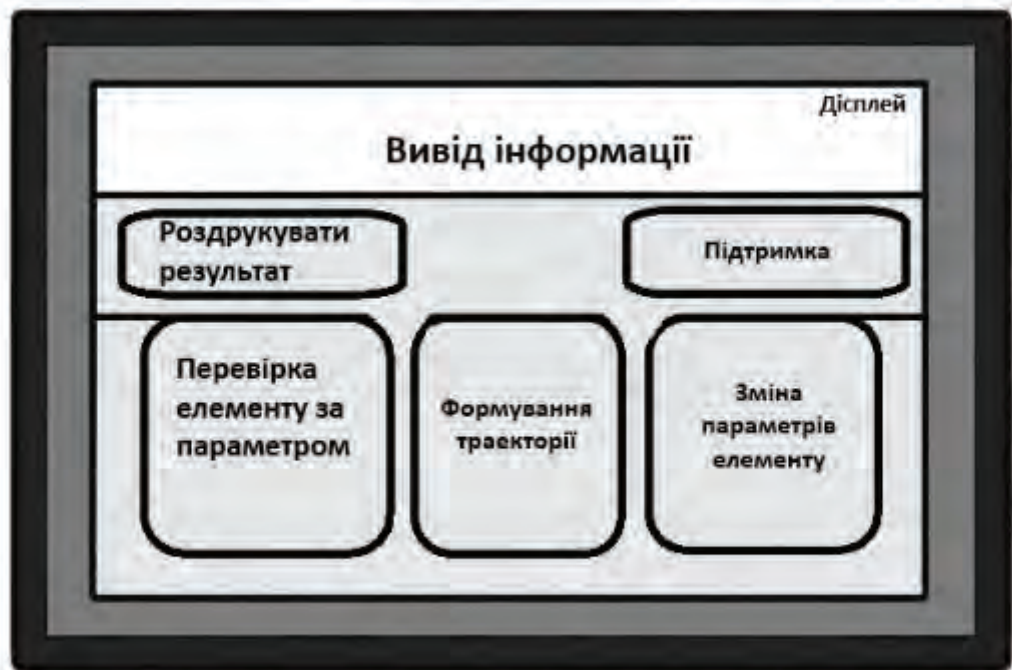


Рис. 4.5. Макет графічного інтерфейсу маніпулятора ПР

Основні елементи макету графічного інтерфейсу:

1. Дисплей (вивід інформації) – відповідає за вивід необхідної інформації, заздалегідь запрограмованої кодом (кут повороту, остання дія маніпулятора, етап роботи маніпулятора).
2. Формування траєкторії – кнопка, відповідає за формування траєкторії, необхідної для виконання дії, задається користувачем.
3. Роздрукувати результат – кнопка, відповідає за вивід інформації про всі минулі дії маніпулятора у текстовий документ або на дисплей (в залежності від запрограмованої команди).
4. Зміна параметрів елемента – кнопка, відповідає за виставлення значень елемента, для ідентифікації елемента маніпулятором з ціллю наступних дій сортування пов'язаним з цим об'єктом.
5. Перевірка елемента за параметром – кнопка, відповідає за ініціалізацію об'єкту сортування згідно заздалегідь заданим параметрам.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ПК11.010174.000ПЗ

Арк.

55

4.4. Висновки до розділу 4.

Розроблено алгоритмічно-програмне забезпечення для автоматизованого керування макетом ПР при реалізації процесу сортування ОВ. Розроблено алгоритм програмного забезпечення маніпулятора ПР. Створена структурна схема програмного забезпечення маніпулятора ПР. Розроблено макет графічного інтерфейсу керування маніпулятором ПР

					<i>ПК11.010174.000ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

5. РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ ЗАХОДІВ ЩОДО ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОТИ З МАКЕТОМ ПР ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ СОРТУВАННЯ ОВ

5.1. Базові знання, що необхідні для користування автоматизованим мехатронним маніпулятором ПР для сортування ОВ

1. Основні технічні знання.

Мехатронний маніпулятор — це складна система, що поєднує механіку, електроніку та програмне забезпечення. Його конструкція включає:

Механічні компоненти: ланки, з'єднані шарнірними або поступальними приводами, які забезпечують рухливість і позиціонування захватного пристрою.

Приводи: можуть бути електричні (серводвигуни), пневматичні або гідравлічні, що забезпечують рух і силу.

Сенсори: оптичні, тактильні, ультразвукові тощо для визначення положення, присутності та характеристик об'єктів.

Кінематика: розуміння ступенів свободи маніпулятора і систем координат (Декартова, полярна) необхідне для точного керування рухами

2. Програмування та керування.

Для управління маніпулятором використовують різні мови програмування (G-код, Python, Arduino тощо) та середовища (Simulink, RobotStudio, ROS). Режими керування поділяються на:

Ручний: оператор керує рухами через джойстик або пульт.

Автоматичний: маніпулятор виконує заздалегідь задані алгоритми або реагує на сигнали сенсорів.

Знання інтерфейсів і програмного забезпечення є обов'язковим для налаштування і відлагодження системи

3. Робота із системами розпізнавання

Маніпулятор для сортування повинен мати інтегровані сенсори або камери для ідентифікації об'єктів за формою, кольором, розміром. Важливо вміти: Підключати і калібрувати датчики; Обробляти сигнали для виділення

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контурів і характеристик; Налаштовувати зони сортування, щоб система коректно класифікувала об'єкти і направляла їх у відповідні секції

4. Безпека та технічне обслуговування.

- Перед початком роботи необхідно:
- Ознайомитись із зоною дії маніпулятора, уникати перебування у цій зоні під час роботи.

- Перевірити наявність аварійного вимкнення.
- Регулярно проводити технічне обслуговування: перевірка кріплень, мастило, калібрування сенсорів.

- Вміти розпізнавати індикацію помилок і усувати типові збої

5. Практичні навички передбачають здатність користувача до:

- Налаштування макету маніпулятора ПР перед початком роботи.
- Перепрограмування макету маніпулятора ПР та тестування алгоритмів сортування на різних типах об'єктів.

- Аналізу продуктивності: часу виконання операцій, точності сортування, стабільності роботи.

- Поступового навчання: спочатку ручне керування, потім автоматичні режими після впевненого володіння.

Ці знання та навички дозволяють не лише ефективно працювати з маніпулятором, а й удосконалювати його систему керування й адаптувати під конкретні виробничі задачі.

5.2. Перелік дій перед користуванням мехатронним маніпулятором

Перед початком роботи з мехатронним маніпулятором інженер виконує наступний комплекс підготовчих дій для забезпечення безпеки, коректності та стабільності роботи системи:

1. Візуальний огляд та перевірка обладнання.

- Оглядання механічної цілісності маніпулятора: перевірка кріплень, стану рухомих вузлів, цілісності кабелів і з'єднань.

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

- Перевірка на відсутність сторонніх предметів або людей у робочій зоні маніпулятора.

- Перевірка підключення до джерела живлення та стабільність електроживлення.

2. Перевірка комунікацій та підключень.

- Тестування зв'язку між контролером і апаратною частиною (наприклад, Arduino, PLC, ROS).

- Запуск програмного забезпечення керування, перевірка коректності його роботи.

- Контроль підключення і працездатності усіх сенсорів (датчики кольору, ваги, відстані тощо).

3. Калібрування системи.

- Встановлення початкової (нульової) позиції маніпулятора (home position).

- Виконання тестового переміщення всіх ланок без навантаження для перевірки плавності та точності рухів.

- Виставлення початкових координат робочого простору відповідно до виробничих вимог.

4. Завантаження керуючих програм та налаштування режимів управління.

- Завантаження алгоритмів сортування або інших керуючих сценаріїв.

- Перевірка роботи ручного режиму управління (джойстик, пульт, клавіатура).

- Тестування базових операцій: захоплення, переміщення, розміщення об'єктів.

5. Підготовка об'єктів для сортування

- Підготовка тестових об'єктів з відомими характеристиками (розмір, колір, форма).

- Розміщення їх у визначеній зоні для захоплення або на вхідному конвеєрі.

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Інструктаж з техніки безпеки.

- Ознайомлення з розташуванням та принципом роботи кнопки аварійної зупинки.

- Повідомлення співробітників про початок роботи маніпулятора.

- Забезпечення перебування в безпечній зоні під час роботи обладнання.

7. Запуск та моніторинг роботи.

- Запуск програми сортування.

- Контроль процесу роботи, звертаючи увагу на відхилення від нормальної роботи, своєчасне реагування на помилки.

5.3. Висновки до розділу 5.

Було розроблено комплекс заходів щодо організації роботи з макетом ПР при реалізації процесу сортування ОВ та описано перелік дій перед користуванням мехатронним маніпулятором

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ВИКОНАНИХ РОЗРОБОК

6.1. Оцінка економічної ефективності сучасних автоматизованих мехатронних маніпуляторів ПР

Вартість автоматизованих мехатронних маніпуляторів для сортування на великих підприємствах коливається в залежності від технічних параметрів, складності системи та масштабу виробництва. Ось ключові аспекти ціноутворення:

Діапазон цін:

Промислові роботи.

- Базові моделі з 3-ма ступенями свободи (наприклад, пневматичні або електричні) коштують від 15 000 до 25 000 євро[15].

- Складні системи з інтеграцією машинного зору, IoT або штучного інтелекту можуть досягати 50 000–100 000+ євро[16].

Навчальні/лабораторні зразки.

- Спрощені версії для навчання (наприклад, стенди з Arduino або PLC) доступні за 3 000–10 000 євро[15].

Чинники, впливаючі на вартість автоматизованих мехатронних маніпуляторів наведені у табл. 6.1.

Таблиця 6.1.

Чинники, що впливають на ціну маніпулятора ПР

Чинник	Вплив на вартість	Приклад
Тип приводу	Пневматичні системи дешевші, електричні серводвигуни - дорожчі	Пневматичний маніпулятор — від 15 000 €
Складність кінематики	Додаткові ступені свободи збільшують ціну на 20–30%	4-осьовий робот — +25% до базової вартості
Система керування	Використання ПЛК (PLC) або ROS підвищує	Інтеграція з ROS — +15 000 €

	вартість через ліцензії та розробку ПЗ	
Сенсори та машинне бачення	Оптичні/тактивні датчики, камери з AI-аналітикою додають 10 000–30 000 €	Система розпізнавання кольору — +12 000 €
Масштаб виробництва	Серійне виробництво знижує собівартість на 15–25% порівняно з індивідуальними замовленнями	

Економічне обґрунтування

1. Витрати на компоненти:

- Електричні серводвигуни: 2 000–5 000 € за одиницю.
- Контролери (наприклад, Siemens PLC): 1 500–4 000 €.
- Датчики (оптичні, тактильні): 200–1 000 € за одиницю.

2. Витрати на інтеграцію:

- Налаштування програмного забезпечення: 5 000–20 000 €.
- Тестування та калібрування: до 10% від загальної вартості.

3. Ринкові фактори:

- Попит на автоматизацію зростає, що дозволяє виробникам підтримувати високі ціни.

- Конкуренція між європейськими та азійськими виробниками (наприклад, KUKA vs Unitree) зменшує маржу на 10–15%

6.2. Економічна оцінка розроблюваного макету автоматизованого мехатронного маніпулятора ПР

Для виготовлення макету маніпулятора ПР в умовах написання дипломного проекту були обрані елементи з бюджетного сегменту. Використані елементи та їх економічна цінність наведені у табл. 6.2.

Таблиця 6.2.

Технічна складова макету маніпулятора ПР

Елемент	Назва елементу	Кількість	Економічна цінність
Елемент управління	Arduino Uno	1	390 грн
Сервопривід	SG90	4	1 - 70 грн (суммарно 4 – 280 грн)
Сервопривід	TowerPro S3003 Futaba	2	1 – 185 грн (суммарно 2 – 370 грн)
З'єднувальні провідники	Мама-тато, мама-мама, тато-тато	3 (набір – 40 шт.)	1 - 40 грн (суммарно 3 – 120 грн)
Пластик для друку	Філамент PLA	1	450 грн

Розробка макету за допомогою елементів указаних вище, не враховуючи витрати на шурупи та процес друку елементів маніпулятора ПР, суммарна економічна цінність макету складає 1 610 гривень.

6.3. Висновки до розділу 6.

У розділі 6 була проведена оцінка економічної ефективності впровадження виконаної роботи та середня оцінка сучасних автоматизованих мехатронних маніпуляторів ПР, котрі використовують на підприємствах.

ВИСНОВОК

1. У дипломному проекті було проведено аналітичний огляд сучасного стану проблеми роботизації сортування об'єктів виробництва у приладо- та машинобудуванні. Зокерма проаналізовано засоби роботизованого сортування об'єктів виробництва приладо- та машинобудування та мехатроніка в електрозварювальній галузі.

2. Розроблено структурну схему та описано елементи системи автоматизованого керування макетом ПР для сортування ОВ. Розроблений процес керування макетом маніпулятора промислового робота. Описані основні компоненти та технічні характеристики макету автоматизованого мехатронного маніпулятора ПР. А також описані елементи системи автоматизованого керування макетом ПР для сортування ОВ.

3. Розроблено етапи формування траєкторії руху маніпулятора та визначення технологічної взаємодії схвату макету промислового робота з об'єктами виробництва.

4. Розроблено алгоритмічно-програмне забезпечення для автоматизованого керування макетом ПР при реалізації процесу сортування ОВ. Розроблено алгоритм програмного забезпечення маніпулятора ПР. Створена структурна схема програмного забезпечення маніпулятора ПР. Розроблено макет графічного інтерфейсу програмного забезпечення для керування маніпулятором ПР.

5. Розроблено комплекс заходів щодо організації роботи з макетом ПР при реалізації процесу сортування ОВ та описано перелік дій перед користуванням мехатронним маніпулятором.

6. Проведена оцінка економічної ефективності впровадження виконаної роботи та середня оцінка сучасних автоматизованих мехатронних маніпуляторів ПР, які використовують на підприємствах.

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

НАПРЯМКИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Вдосконалення алгоритму керування маніпулятором ПР для сортування різних ОВ.
2. Розробка графічного інтерфейсу програмного забезпечення маніпулятора ПР.
3. Вдосконалення маніпулятора шляхом розробки системи комп'ютерного зору та штучних нейронних мереж для автоматичного розпізнавання різних ОВ.
4. Впровадження штучного інтелекту для підвищення рівня автоматизації роботи мехатронного маніпулятора.
5. Дослідження роботи маніпулятора ПР у лабораторії та покращення точності його роботи.

					<i>ПК11.010174.000ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ResearchGate[Електронний ресурс] Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/347957368_A_Deep_Learning-Based_Autonomous_Robot_Manipulator_for_Sorting_Application 30.04.2025
2. Dynamsoft[Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.dynamsoft.com/codepool/object-detection-and-barcode-reading.html> 30.04.2025
3. EVSRobot[Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.avsint.com/uk/industrial-applications-of-robots-in-material-handling-and-assembly/?utm_source=chatgpt.com 30.04.2025
4. ModernLogisticsOptimizationwithAI [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://springsapps.com/knowledge/modern-logistics-optimization-with-ai> 30.04.2025
5. Cyngn Inc.: [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.cyngn.com/blog/fundamentals-of-automated-guided-vehicles> 30.04.2025
6. AGVNetwork [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.agvnetwork.com/autonomous-mobile-robots-explained-amr> 30.04.2025
7. openPR [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.openpr.com/news/1430291/logistics-robots-market-development-and-growth-analysis-by-fanuc-schaffer-dematic-kuka-swisslog-amazon-robotics-vanderlande-cim-corp-vecna-grenzebach-amd-others.html> 30.04.2025
8. Освіта.UA [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://osvita.ua/vnz/reports/logika/25322/> 30.04.2025
9. Мельничук П. П. Задачі технологічної взаємодії схватів промислових роботів з об'єктами маніпулювання в механоскладальних гнучких виробничих комірках / П. П. Мельничук, В. А. Кирилович, Р. С. Моргунов //

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Збірник наукових праць Житомирського державного технологічного університету “Процеси механічної обробки в машинобудуванні”. – Житомир. – 2011. – вип. №10. – С.24–41.

10. Передові технології в автоматизованому виробництві. Практикум: навч.-метод. посібник / В.А. Кирилович, Р.С. Моргунов, Л.В.Дімітров, П.П.Мельничук ; за заг. ред. В.А. Кириловича. – Житомир :ЖДТУ, 2016. – 132 с

11. Планування, моделювання та верифікація процесів в гнучких виробничих системах: практикум. Навчально-методичний посібник до виконання практичних, лабораторних і самостійних занять студентів спеціальності 7.05020201, 8.05020201 "Автоматизоване управління технологічними процесами" всіх форм навчання / І. Ю. Черепанська, В. А. Кирилович, А. Ю. Сазонов, Б. Б. Самотокін / [під. заг. ред. В. А. Кириловича] – Житомир, ЖДТУ 2015. – 274 с

12. wikipedia [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Arduino_Uno 30.04.2025

13. Arduinokit [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://arduinokit.com.ua/ua/p1111355106-servoprivod-arduino-sg90.html> 30.04.2025

14. Arduino.ua [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://arduino.ua/ru/prod668-servoprivod-futaba-s3003> 30.04.2025

15. <https://ye.ua> [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ye.ua/sypilstvo/59613_Nadrukuvali_na_3D_printeri_Yak_u_Hmelnickom_u_stvoryiyit_robotiv.html 30.05.2025

16. elprivod.nmu.org.ua [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://elprivod.nmu.org.ua/files/mehatronics/1loveykin_v_s_romasevich_yu_o_c_hovnyuk_yu_v_mekhatronika.pdf 30.05.2025

					ПК11.010174.000ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		