

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**

**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Приладобудівний факультет**

**Кафедра комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Надія БУРАУ

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## **Дипломний проект**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**за освітньою програмою «Комп'ютерно - інтегровані системи та технології  
в приладобудуванні»**

**спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»**

**на тему: «Робот-маніпулятор»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ПГ-01

Струков Віталій Сергійович \_\_\_\_\_

Керівник:

Доцент кафедри КІОНС, к.т.н., доцент Півторак Д.О.

\_\_\_\_\_

Рецензент:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій дипломній роботі  
немає запозичень з праць інших авторів  
без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2024 року

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

**Кафедра комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем**  
Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)  
Спеціальність – 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
Освітня програма - Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Надія БУРАУ

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проект студенту**

**Струкову Віталію Сергійовичу**

1. Тема проекту «Робот маніпулятор», керівник роботи Півторак Діана Олександрівна, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_
2. Термін подання студентом роботи 5 червня 2024 р.
3. Вихідні дані до проекту система керування для робота-маніпулятора
4. Зміст роботи Огляд і аналіз існуючих роботів-маніпуляторів, розробка функціональної схеми, вибір елементної бази, розробка програмного забезпечення. \_\_\_\_\_

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) Структурна схеми, електрична, складальне креслення та деталювання, 3D модель, презентація \_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів проекту\*

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

7. Дата видачі завдання 9 лютого 2024 року \_\_\_\_\_

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд і аналіз літератури	17.04.2024 р.	
2.	Розробка структурної схеми	01.05.2024 р.	
3.	Вибір елементної бази прилади	08.05.2024 р.	
4.	Розробка програмного забезпечення	15.05.2024 р.	
5.	Створення прототипу макета робота-маніпулятора. Перевірка працездатності	24.05.2024 р.	
6.	Оформлення пояснювальної записки. Підготовка до захисту	05.06.2024 р.	

Студент

Віталій СТРУКОВ

Керівник

Діана ПІВТОРАК

## АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній роботі було модернізовано макет робота-маніпулятора та сконструйовано систему керування. Завданням модернізованого робота-маніпулятора є передача інформації з навколишнього середовища на Web-server: відеозйомка в реальному часі за допомогою Wi-Fi модуля ESP32-CAM з вбудованою камерою OV2640.

В ході виконання роботи були розглянуті приклади сучасних роботів-маніпуляторів, їхні основні функції та системи керування. Провівши аналіз на основі технічних характеристик компонентів системи керування робота-маніпулятора були підібрані такі компоненти: понижувач напруги 300W 9A 38V DC-DC, плата Arduino Uno на основі мікроконтролера Atmega 328P, потенціометри B250K, сервоприводи MG996R та блок живлення DELUX ATX-450W (P4).

На основі підібраних компонентів елементної бази, було розроблено електричну схему в середовищі Easy EDA.

Сконструйовано корпус системи керування робота-маніпулятора та системи керування в цілому в CAD - системі SolidWorks. Для керування сконструйованою системою, було розроблено програмне забезпечення в середовищі розробки Arduino IDE.

Продемонстровано роботу макета робота-маніпулятора з системою керування.

**Ключові слова:** робот-маніпулятор, кінцевий ефектор, Arduino UNO, система керування, модуль, сервопривід, сенсор.

## ABSTRACT

In the qualification work, the model of the robot manipulator was modernized and the control system was designed. The task of the modernized robot-manipulator is to transmit information from the environment to the Web-server: real-time video recording using the Wi-Fi module ESP32-CAM with a built-in camera OV2640.

In the course of the work, examples of modern robotic manipulators, their main functions and control systems were considered. After analyzing the technical characteristics of the components of the robot manipulator control system, the following components were selected: a 300W 9A 38V DC-DC voltage regulator, an Arduini Uno board based on the Atmega 328P microcontroller, B250K potentiometers, MG996R servos, and a DELUX ATX-450W (P4) power supply.

Based on the selected components of the element base, an electrical circuit was developed in the Easy EDA environment.

The housing of the control system of the robot manipulator and the control system as a whole was designed in the SolidWorks CAD system. To control the designed system, software was developed in the Arduino IDE development environment.

The operation of the robot manipulator model with the control system is demonstrated.

**Keywords:** robot-manipulator, end effector, Arduino UNO, control system, module, servo, sensor.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1.....	10
ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ТА ОГЛЯД СУЧАСНИХ РОБОТІВ –МАНІПУЛЯТОРІВ .....	10
1.1 Історія розвитку робототехніки .....	10
1.2 Класифікація роботів .....	11
1.3 Промислові роботи-маніпулятори .....	17
1.3.1 Класифікація промислових роботів-маніпуляторів .....	17
1.3.2. Оцінка промислових роботів-маніпуляторів за технічними показниками .....	18
1.4 Елементна база промислового робота-маніпулятора .....	21
1.4.1 Класифікація шарнірних з'єднань промислового робота маніпулятора. .....	22
1.4.2 Класифікація приводів промислового робота-маніпулятора.....	23
1.4.4 Системи керування промисловими роботами-маніпуляторами .....	25
1.5 Модифікація та оптимізація промислових роботів-маніпуляторів .....	28
РОЗДІЛ 2.....	30
КОНСТРУЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МАКЕТА ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА .....	30
2.2 Структурна схема системи керування промислового робота-маніпулятора .....	31
2.3 Вибір елементної бази системи керування макета робота-маніпулятора ..	32
2.3.1 Сервоприводи .....	32
2.3.2 Платформа Arduino. Плати Arduino .....	34
2.3.3 Потенціометри.....	39
2.3.4 Модулі на основі мікроконтролера ESP з камерою.....	40

2.3.5 Живлення системи. Блок живлення DELUX ATX-450W (P4).....	44
2.3.6 Понижуючі перетворювачі .....	46
2.4 Підключення елементної бази системи керування макету робота-маніпулятора .....	48
2.5 Модернізація готової 3D моделі макета робота-маніпулятора та конструювання системи керування середовищі SOLIDWORKS .....	51
2.5.1 Модернізація готові 3D моделі макета робота-маніпулятора в.....	51
2.5.2 Конструювання системи керування .....	54
2.5.3 Конструювання корпусу системи керування макета робота-маніпулятора .....	57
2.6 Написання програмного коду в середовищі Arduino IDE.....	58
2.6 Демонстрація виконання роботи макету робота-маніпулятора.....	62
ВИСНОВКИ .....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	67
ДОДАТОК А .....	72
ДОДАТОК Б.....	73
ДОДАТОК В.....	74
ДОДАТОК Г .....	75
ДОДАТОК Е.....	78

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- ПР – промисловий робот;
- ШІМ (PWM) – широтно-імпульсна модуляція;
- AVR - родина восьмибітових мікроконтролерів фірми Atmel;
- UART - тип асинхронного приймача-передавача;
- SPI – фактичний послідовний синхронний повнодуплексний стандарт передачі даних;
- I2C - послідовна шина даних для зв'язку інтегральних схем;
- GND – нульовий потенціал;
- SRAM – статична оперативна пам'ять;
- EEPROM - постійний запам'ятовувач, що програмується та очищується за допомогою електрики.

## ВСТУП

У сучасному світі роботи-маніпулятори широко застосовуються в різних сферах промисловості, науки та повсякденного життя. Вони стали важливою частиною виробничих процесів, де необхідні висока точність, швидкість і надійність. Завдяки можливості автоматизувати рутинні та небезпечні операції, роботи-маніпулятори підвищують ефективність виробництва та знижують витрати.

Розвиток робототехніки тісно пов'язаний з прогресом у галузях електроніки, механіки, програмування та систем керування. Використання мікроконтролерів, таких як AVR, дозволяє створювати високоточні та функціональні системи керування роботами-маніпуляторами. Ці мікроконтролери забезпечують швидку обробку команд і інтеграцію з різноманітними сенсорами та периферійними пристроями, що робить їх ідеальними для розробки робототехнічних систем.

Роботи-маніпулятори, які використовують різноманітні сенсори, дають змогу оцінювати стан та поведінку навколишнього середовища, на основі цього самостійно приймати рішення без участі користувача, тим самим робити процес автоматизованим.

# РОЗДІЛ 1

## ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ТА ОГЛЯД СУЧАСНИХ РОБОТІВ – МАНІПУЛЯТОРІВ

### 1.1 Історія розвитку робототехніки

**Робототехніка** — прикладна наука, що займається проєктуванням, розробкою, виготовленням та використанням роботів, а також комп'ютерних систем для керування ними, сенсорного зворотного зв'язку і обробки технічних систем [1].

**Робот** - це автоматичний пристрій, який має програмоване керування та інші технічні засоби для виконання різних завдань, схожих на ті, які здійснює людина під час праці [1].

**Маніпулятор** - це пристрій, який виконує рухові операції, схожі на ті, які здійснює рука людини при переміщенні предметів у просторі, і оснащений робочим інструментом [1].

**Робот-маніпулятор** - автоматична машина, обладнана пристроєм для виконання рухових функцій, аналогічних функціям руки людини при переміщенні об'єктів у просторі, яка включає перепрограмований пристрій керування та інші технічні засоби для виконання різних завдань, властивих людині в процесі його трудової діяльності [1].

Метою робототехніки є розроблення програмного забезпечення задля контрольованої співпраці електроніки і механіки роботів [1]. Термін «робототехніка» приписують письменнику-фантасту Айзеку Азімову у 1942 році, але концепції примітивних механічних пристроїв сходять до глибокої старовини. Відомо, що в Стародавньому Єгипті, Вавилоні та Китаї створювались статуї богів з рухливими частинами тіла. У середньовіччі активно розвивалися складні механізми, такі як автомати та годинники з різноманітними фігурками. З XI по XVII століття виготовлялися інженерні

творіння, відомі як «андроїди», які мали людиноподібну форму та виконували різноманітні функції. Сучасна робототехніка виникла у другій половині ХХ століття, коли потреба в автоматизованих механізмах, стійких та ефективних, стала дедалі актуальнішою. Прототипи сучасних роботів мали форму маніпуляторів, керованих як вручну, так і автоматично. Запит на автоматичні машини, які були б стійкими та ефективними, з часом збільшувався. Перші промислові роботи-маніпулятори, відомі як роботи 1-го покоління, мали програмне керування. Пізніше з'явилися роботи 2-го покоління з адаптивним керуванням та «відчуттями», оснащені сенсорними системами, зокрема системами технічного зору.

Цей розвиток призвів до того, що роботи широко застосовуються в різних галузях господарства, таких як гірська справа, металургія, будівництво, транспорт, легка та харчова промисловість, сільське господарство, медицина, обслуговування, дослідження океану та космосу, і військова справа. Останнім часом спостерігається стрімке зростання кількості роботів, які використовуються поза промисловістю, зокрема у побуті [2].

Перший сучасний робот-маніпулятор був створений у 1961 році в лабораторії компанії «General Motors» в США. Цей робот мав назву «Unimate» і був призначений для автоматизації виробничих процесів, зокрема, для роботи на лініях зі збирання автомобілів.

На рис. 1.1 наведений зовнішній вигляд робота-маніпулятора Unimate [3].



Рисунок 1.1 Зовнішній вигляд промислового робота-маніпулятора Unimate

## 1.2 Класифікація роботів

Роботи можна класифікувати за хронологією, мобільністю, функціями та сферою застосування. На сьогодні вони використовуються у багатьох галузях, таких як промисловість, освіта, охорона здоров'я та побутове використання [4].

На рис. 1.2 блок-схему класифікації роботів за хронологією [4].



Рисунок 1.2 Класифікація роботів за хронологією

В табл. 1.1 приведено класифікацію хронології роботів [4].

Таблиця 1.1

Класифікація роботів за хронологією

<b>Покоління</b>	<b>Опис</b>
<b>Перше покоління</b>	Роботи-маніпулятори, які можуть піднімати та переміщувати об'єкти, але їхні рухи обмежені.
<b>Друге покоління</b>	Роботи, що навчаються, вони збирають інформацію з навколишнього середовища для виконання складніших рухів.
<b>Третє покоління</b>	Перепрограмовані роботи, що мають датчики та використовують мови програмування для зміни своїх функцій за потреби.
<b>Четверте покоління</b>	Мобільні роботи, які інтерпретують навколишнє середовище в реальному часі.

<b>П'яте покоління</b>	П'яте покоління: роботи з штучним інтелектом, які розвиваються наразі та мають на меті імітувати людську поведінку, бути автономними.
------------------------	---

На рис.1.3 представлено приклади роботів п'яти поколінь.



а)



б)



в)



г)



д)

Рисунок 1.3 Приклади роботів п'яти поколінь:

кран-маніпулятор першого покоління ATLAS 100.1 A2 (а) [5],  
 промисловий робот-маніпулятор другого CRP-RA07A-07 (б) [6],  
 робот третього покоління Endo-training (в) [7],  
 робот четвертого покоління Boston Dynamics Atlas (г) [8],  
 робот з штучним інтелектом ЕМО четвертого покоління (д) [9]

Наступний підхід до класифікації роботів, який пов'язаний з їхньою рухливістю. Залежно від того, наскільки вони здатні до роботи та прийняття рішень під час руху, вони поділяються на декілька категорій.

В табл. 1.2 приведено класифікацію та опис роботів за їхньою рухливістю [4].

Таблиця 1.2

Класифікація та опис роботів за їхньою рухливістю

<b>Назва</b>	<b>Опис</b>
<b>Шарнірно-зчленовані роботи або роботи-маніпулятори</b>	Мають обмежену продуктивність, але вони ідеально підходять для переміщення товарів, роботи з інструментами, упаковки і т.д.
<b>Автоматизовані транспортні засоби (AGV)</b>	Слідкують за попередньо заданим маршрутом та зазвичай потребують нагляду людини.
<b>Мобільні автономні роботи(AMR)</b>	Самостійно рухаються та приймають рішення практично в реальному часі.
<b>Гуманоїди</b>	Мають людський зовнішній вигляд та можуть виконувати функції, характерні для людей.
<b>Коботи</b>	Спеціально розроблені для співпраці з людьми, допомагаючи виконувати небезпечні та повторювані завдання.

На рис.1.4 представлено приклади роботів за класифікацією рухливості.



а)



б)



в)



г)



д)

Рисунок 1.4 Приклади роботів за класифікацією рухливості: шарнірно-зчленований робот Vaugger-7 (а) [10], автоматизований транспортний засіб Jungheinrich (б)[11], мобільний автономний робот Dematic AMR D900 (в) [12], робот-гуманоїд Ameca Generation 1 (г) [13], кобот Baxter компанії Rethink Robotics (д) [14]

Наступна класифікація роботів базується на їх функціях та області застосування, або, іншими словами, на галузі, для якої вони призначені, наприклад, промисловість, тваринництво, освіта, охорона здоров'я, логістика і т. д. [4].

На рис. 1.5 приведено класифікацію роботів за областю застосування [4].

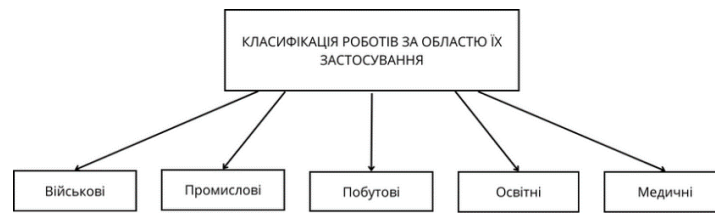


Рисунок 1.5 Класифікація роботів за областю застосування

Отже, можна виділити військових, промислових, сервісних, освітніх, медичних та побутових роботів. В табл.1.3 наведено класифікацію роботів за областю застосування.

Таблиця 1.3

Класифікація роботів за областю застосування

<b>Область застосування</b>	<b>Опис</b>
<b>Промислові</b>	Призначені для використання на виробничій лінії та виконують рутинні та повторювані завдання. Наприклад, їм можуть доручити класифікувати товари на складі або брати участь у роботі зі складальною лінією, переміщаючи продукцію вздовж неї.
<b>Медичні</b>	Забезпечують підтримку у сфері охорони здоров'я, наприклад, допомагають людям з обмеженою рухливістю, переміщують обладнання та ліки, а також беруть участь у хірургічних процедурах.
<b>Військові (або бойові)</b>	Виконують функції, пов'язані з підтримкою армій під час різних операцій, таких як транспортування обладнання та допомога у виявленні вибухових речовин.
<b>Побутові</b>	Допомагають прибирати та стежити за домом. До цієї групи входять роботи-пилососи, роботи-газонокосарки, кухонні роботи, які готують рецепти від початку до кінця, а також підключені камери відео нагляду.

### 1.3 Промислові роботи-маніпулятори

#### 1.3.1 Класифікація промислових роботів-маніпуляторів

**Промисловий робот-маніпулятор** - це автоматична машина з програмним керуванням, яка відтворює функції людини при виконанні виробничих процесів. Вони використовуються для автоматизації різних операцій, таких як зварювання, фарбування, складання та інші, що дозволяє підвищити продуктивність та точність виробничих процесів [15].

На рис. 1.6 приведено блок-діаграму класифікації промислових роботів-маніпуляторів [15].



Рисунок 1.6 Класифікація промислових роботів-маніпуляторів

На рис.1.7 представлено приклади промислових роботів-маніпуляторів.

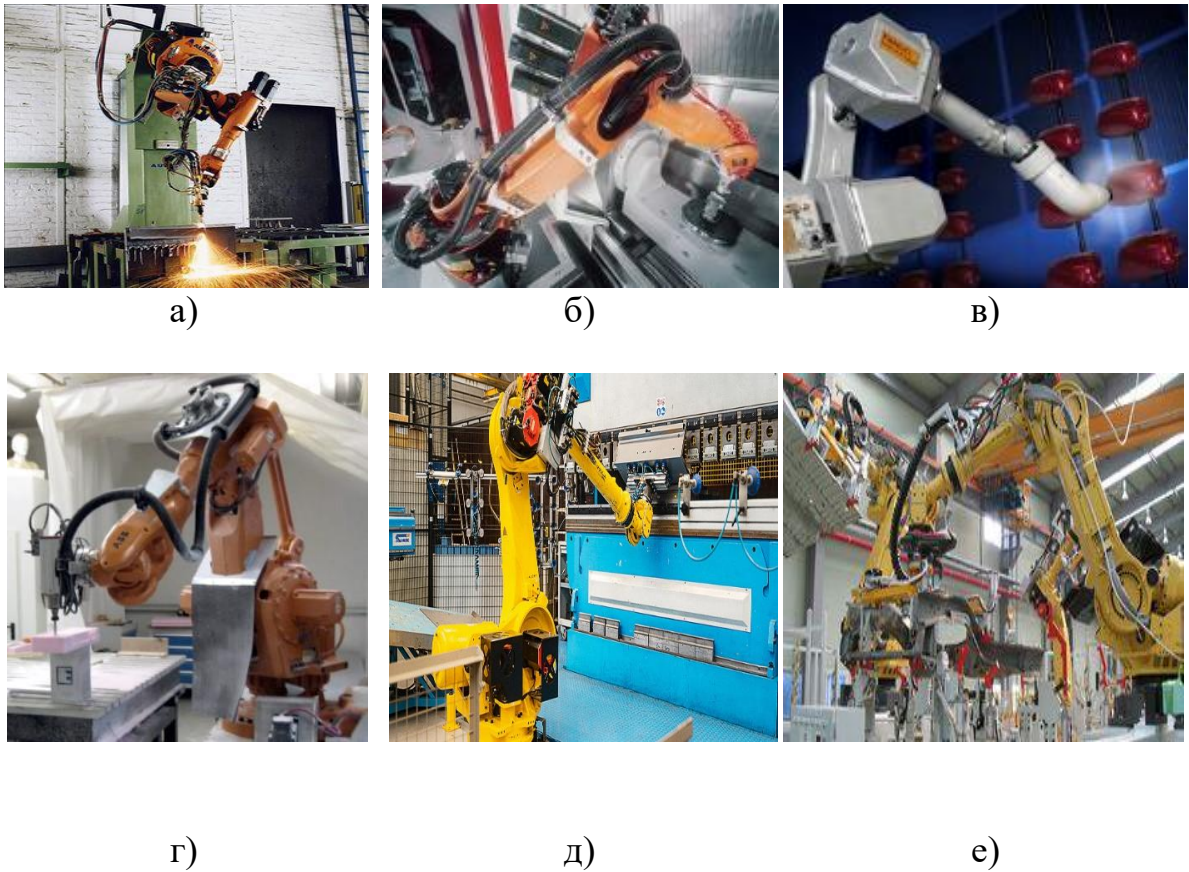


Рисунок 1.7 Приклади промислових роботів-маніпуляторів: робот-маніпулятор для вирізання з металу (а) [15], ковальсько-пресовий робот-маніпулятор (б) [15], лакувальний робот-маніпулятор (в) [15], деревооброблювальний робот-маніпулятор (г) [16], складальний робот-маніпулятор (д) [17], зварювальний робот-маніпулятор (е) [15]

### **1.3.2. Оцінка промислових роботів-маніпуляторів за технічними показниками**

Роботи-маніпулятори оцінюються за рядом технічних показників, які визначають його змугу виконання завдань, різного роду складності.

На рис. 1.8 представлено блок-схему основних технічних показників промислових роботів-маніпуляторів [15].



Рисунок 1.8 Блок-схема основних технічних показників промислових роботів

**Вантажопідйомність** - це максимальна маса об'єктів, яку може переміщувати промисловий робот-маніпулятор при певних умовах. Для роботів-маніпуляторів з багатьма «руками» вантажопідйомність визначається як сума вантажопідйомності всіх їх «рук». Крім того, важливими параметрами є зусилля та крутний момент, які розвиваються робочими механізмами, такі як захоплювальні пристрої та рухливі частини робота-маніпулятора [18].

На рис. 1.9 приведено блок-схему класифікації вантажопідйомності [18].



Рисунок 1.9 Блок-схема класифікації вантажопідйомності

**Число ступенів рухомості** визначається як сума можливих координатних рухів об'єкта маніпулювання щодо опорної системи. Число ступенів рухомості захоплювального пристрою, дорівнює числу ступенів вільності всіх його ланок відносно вузла кріплення до «руки» робота-маніпулятора. Окремо виділяють переносні та орієнтуючі ступені рухомості окремого робота-маніпулятора.

На рис. 1.11 представлено блок-схему класифікації промислових роботів-маніпуляторів за числом ступенів рухомості [19].



Рисунок 1.10 Блок-схема класифікації промислових роботів-маніпуляторів за числом ступенів рухомості

**Швидкість переміщення**, яка напряду впливає на час обслуговування технологічного процесу характеризується швидкістю переміщення ланок робота-маніпулятора. Зазвичай швидкості лінійного переміщення робочих органів роботів-маніпуляторів знаходяться в межах від 1,0 до 1,5 м/с, але існують також моделі зі значеннями до 9 м/с. Область коливання швидкості кутового переміщення становить від 15 до 360 градусів за секунду (від 0,25 до 6,3 рад/с) [19].

На рис.1.12 представлено опис робочої зони промислового робота-маніпулятора [19].



Рисунок 1.11 Опис робочого простору промислового робота-маніпулятора

Під час позиціонування робочого органу промислового робота-маніпулятора виникає похибка позиціонування.

На рис. 1.12 представлено похибки позиціонування [20].

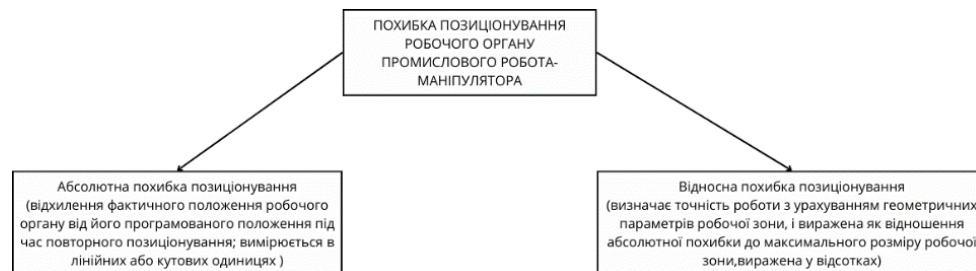


Рисунок 1.12 Опис похибки позиціонування

## 1.4 Елементна база промислового робота-маніпулятора

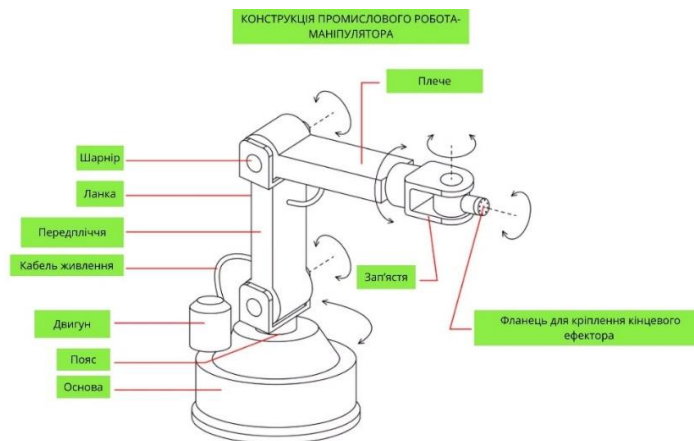


Рисунок 1.13 Конструкція промислового робота-маніпулятора

### 1.4.1 Класифікація шарнірних з'єднань промислового робота маніпулятора.

На рис. 1.13 представлено конструкцію промислового робота-маніпулятора [21].

Маніпулятор є складною механічною системою, що складається з ряду взаємопов'язаних компонентів. Основними складовими маніпулятора є ланки та з'єднання. **Ланки** - це жорсткі сегменти, які формують структуру механізму, тоді як **шарніри** - це з'єднання між двома ланками, що забезпечують рух. Компонент, прикріплений до маніпулятора, який взаємодіє з навколишнім середовищем для виконання завдань, називається **кінцевим ефектором** [22].

На рис.1.14 приведено 3D модель маніпулятора з вказаними ланками та шарнірами [22].

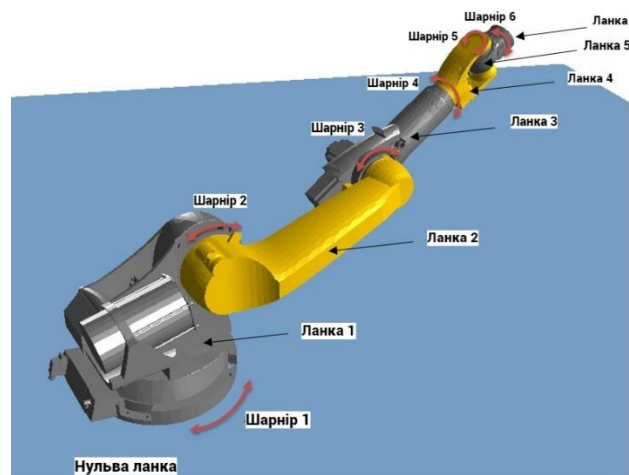





Рисунок 1.14 3D модель маніпулятора з вказаними ланками та шарнірами

Шарніри забезпечують обмежений відносний рух між двома ланками.

У табл. 1.4 приведено види шарнірних з'єднань [22].

## Види шарнірних з'єднань

Назва шарнірного з'єднання	Представлення	Опис
Вісовий		Дозволяє відносне обертання навколо однієї вісі.
Циліндричний		Дозволяє відносне обертання та зміщення вздовж однієї вісі.
Призматичний		Дозволяє відносне зміщення вздовж однієї вісі.
Сферичний		Дозволяє три ступені вільності обертання навколо центру шарніра. Також відомий як кульовий шарнір.

**1.4.2 Класифікація приводів промислового робота-маніпулятора**

**Привід** - це механізм, що застосовується для зниження кутових швидкостей веденого вала з метою збільшення обертального моменту. У приводах використовуються різні типи передач, такі як зубчасті, ланцюгові, черв'ячні, а також їх комбінації, наприклад, черв'ячно-зубчасті або ланцюгово-зубчасті. Іноді до приводів додають варіатори для зміни передавального відношення. Приводи використовуються в різних галузях, таких як транспорт,

підйом і переміщення вантажів, обробка матеріалів тощо. Основними характеристиками приводу є коефіцієнт корисної дії, потужність, передавальне відношення, кількість ступенів свободи та кількість передач [22].

На рис.1.16 представлено блок-схему класифікації приводів по виду енергії [23].

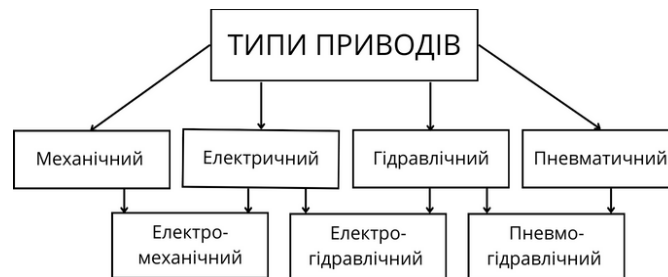


Рисунок 1.16 Схема класифікації приводів по виду енергії

### 1.4.3 Класифікація сенсорів промислових роботів-маніпуляторів

Сенсори та перемикачі забезпечують прості інтерфейси, які з'єднують ваші контролери, логічні системи та приводи [24].

**Перемикачі** - це електричні компоненти, які розривають, переривають або відводять струми. Вони складаються з двох провідних частин, які з'єднані з зовнішнім колом, з актуатором для розривання або завершення кола. Їх можливо використовувати безпосередньо, опосередковано або через елемент вимірювання. Зазвичай зустрічаються такі типи перемикачів:

- електрично-керований реле;
- ручний переключатель;
- витягувальний поворотний перемикач; [24].

**Сенсори** - це тип перетворювачів, які вимірюють температуру, тиск, щільність, колір, світло, силу, положення та інші параметри. Вхідні сигнали перетворюються в електричні або оптичні сигнали [24].

На рис.1.17 приведено блок-схему класифікації сенсорів [24].



Рисунок 1.17 Блок-схема класифікації сенсорів

На рис.1.18 представлено приклади сенсорів.

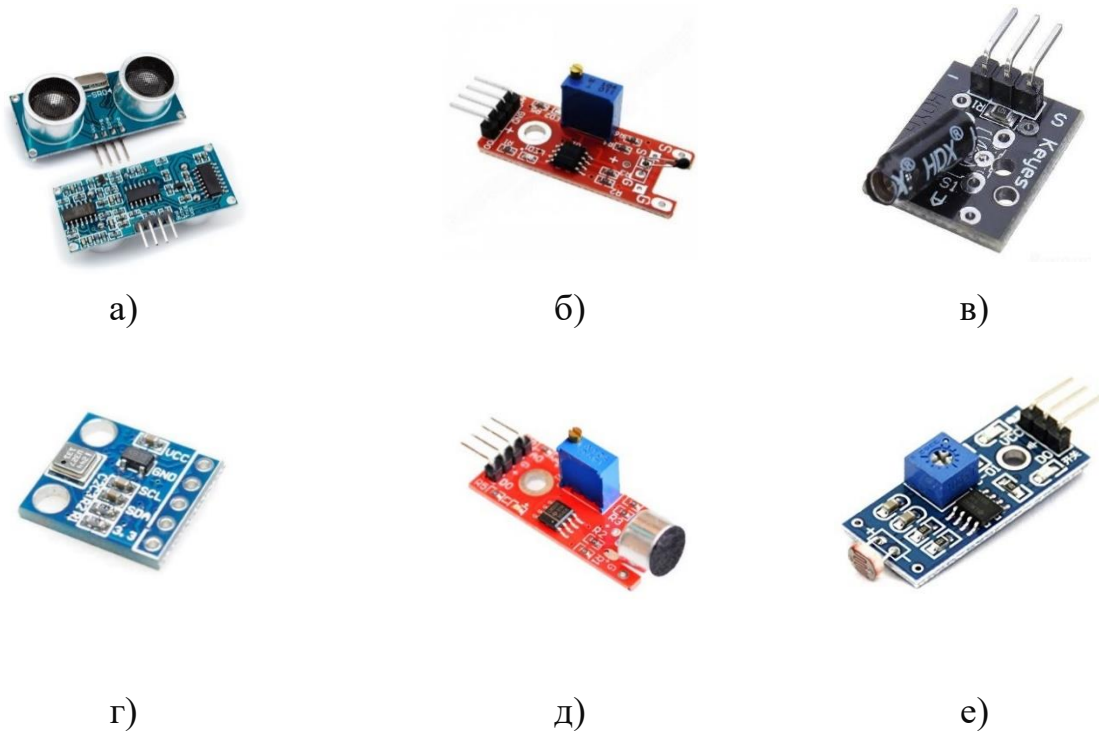


Рисунок 1.18 Приклади сенсорів: ультразвуковий сенсор відстані HC-SR04 (а) [25], сенсор температури KY-028(б) [26], сенсор вібрації KY-002(в) [27], сенсор тиску VMP180 (г) [28], сенсор звуку KY-038 (д) [29], сенсор світла Im393 (е) [30]

#### 1.4.4 Системи керування промисловими роботами-маніпуляторами

**Система керування** - це комплекс взаємопов'язаних елементів, призначений для керування та контролю над певним процесом або системою.

Вона включає в себе обладнання, програмне забезпечення, сенсори, актуатори та інші компоненти, які співпрацюють для досягнення певних цілей або виконання завдань.

Системи керування роботами-маніпуляторами включають різноманітні технології та методи для ефективного керування рухом та поведінкою робота.

На рис. 1.19 приведено схему найпоширеніших систем керування рухами та поведінкою роботів-маніпуляторів [31].



Рисунок 1.19 Схема найпоширеніших систем керування рухами та поведінкою роботів-маніпуляторів

До найпоширеніших систем керування відносяться [31]:

- програмоване керування: рухи робота програмуються заздалегідь за допомогою спеціальних мов програмування або графічних інтерфейсів;

- керування за допомогою сенсорів: роботи обладнані сенсорами, які забезпечують зворотний зв'язок про оточуюче середовище, що дозволяє їм адаптуватися до змін у реальному часі;

- керування за допомогою штучного інтелекту: використовуються алгоритми машинного навчання та інші методи штучного інтелекту для прийняття рішень та автоматизації процесів прийняття рішень;

- керування за допомогою віддалених операторів: оператори керують роботами за допомогою спеціальних інтерфейсів з віддаленої точки, використовуючи телекомунікаційні технології;

- гібридні системи керування: використовують комбінацію різних методів керування для досягнення оптимальної продуктивності та ефективності.

Системи керування також можуть бути класифіковані за рівнем автоматизації та інтелектуальної здатності.

На рис.1.20 представлено блок-схему класифікації систем керування промислових роботів-маніпуляторів [19].



Рисунок 1.20 Блок-схема класифікації систем керування промислових роботів-маніпуляторів

## **1.5 Модифікація та оптимізація промислових роботів-маніпуляторів**

На теперішній час виникає все більше питань як уникнути ряд недоліків сучасних роботів-маніпуляторів. Вирішенням цих питань може бути модифікація та оптимізація промислових роботів-маніпуляторів:

1. Низька точність позиціонування: можна встановити додаткові сенсори та використовувати вдосконалені алгоритми керування для поліпшення точності рухів.

2. Обмежена робоча зона: розширення робочої зони шляхом збільшення довжини ланцюгів або встановлення додаткових механізмів для збільшення радіусу дії.

3. Недостатня швидкість: використання потужніших приводів та вдосконалення механічних систем для підвищення швидкості переміщення [32].

Переваги:

1. Збільшення продуктивності: застосування автоматизованих систем та роботів-маніпуляторів забезпечує швидше та ефективніше виконання завдань.

2. Зниження витрат: автоматизація процесів дозволяє зменшити витрати на робочу силу та знизити ризик помилок.

3. Підвищення безпеки: використання роботів дозволяє уникнути небезпеки для працівників у небезпечних умовах та зменшити ризик травм [32].

Проведення оптимізації промислових роботів-маніпуляторів дозволить отримати легкі та міцні матеріали для зменшення ваги та підвищення швидкості руху. Також, використання передових алгоритмів та інтеграцію систем штучного інтелекту для автоматизації та оптимізації процесів вдосконалить системи керування. Використання сенсорів та IoT для збору даних про оточуюче середовище та робочі умови сприяє оптимізації роботи.

За допомогою покращення енергоефективності через використання енергоефективних приводів та систем рециркуляції енергії зменшить споживання електроенергії [32].

Наявність сенсорів в конструкції робота-маніпулятора, робить керування простішим та безпечнішим для користувача. Обрання такого сенсора як камера, надає користувачеві візуальний зворотний зв'язок, що значно полегшує керування роботом-маніпулятором. Користувач може бачити, що відбувається навколо робота, і коригувати його дії відповідно до потреб. Камера дозволить користувачеві стежити за роботом-маніпулятором та його оточенням у режимі реального часу. Це зменшує ризик аварій та пошкоджень як для самого робота-маніпулятора, так і для навколишніх об'єктів та людей. Додатковий спалах на камері, зробить краще освітлення, де це буде необхідно для покращення видимості об'єктів навколишнього середовища.

## РОЗДІЛ 2

### КОНСТРУЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МАКЕТА ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА

#### 2.1. Опис електро-механічної частини промислового робота-маніпулятора

На рис.2.1 представлено 3D модель макета промислового робота-маніпулятора з позначенням елементної бази.

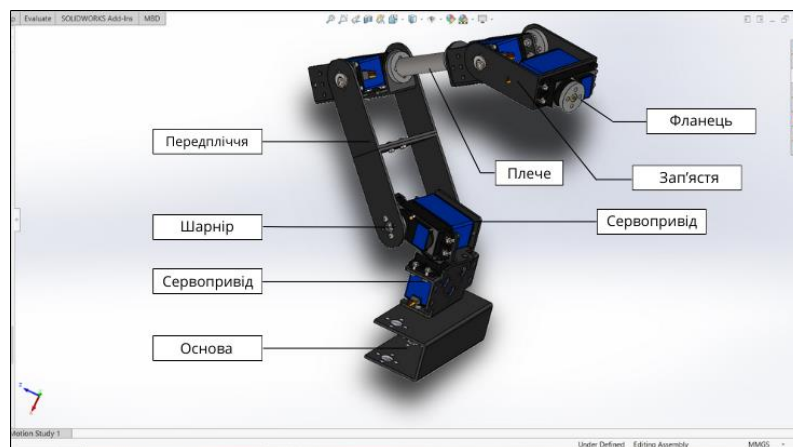


Рисунок 2.1 3D модель макета промислового робота-маніпулятора з позначенням елементної бази

На рис.2.1 сервісна частина та блок живлення не показано. В якості виконавчих елементів використовуються сервоприводи. Основу конструкції складає жорстка платформа, виготовлена з металу, яка забезпечує стабільність всієї системи. До основи кріпляться серії з'єднаних між собою передпліччя, плеча та зап'ястя, які утворюють робочу руку робота-маніпулятора. Частина руки, виконані з легких і міцних матеріалів, що забезпечують баланс між вагою та стійкістю конструкції. Кожна частина руки з'єднується між собою за допомогою сервоприводів, які дозволяють здійснювати точні та плавні рухи в різних напрямках.

Кріплення сервоприводів та частин руки робота-маніпулятора здійснюється з використанням стандартних монтажних отворів і гвинтів, що забезпечують надійність та легкість збирання конструкції. Усі механічні з'єднання робота-маніпулятора сконструйовані таким чином, щоб мінімізувати люфти та забезпечити максимальну жорсткість системи під час роботи.

## 2.2 Структурна схема системи керування промислового робота-маніпулятора

На рис.2.2 представлено структурну схему системи керування робота-маніпулятора.

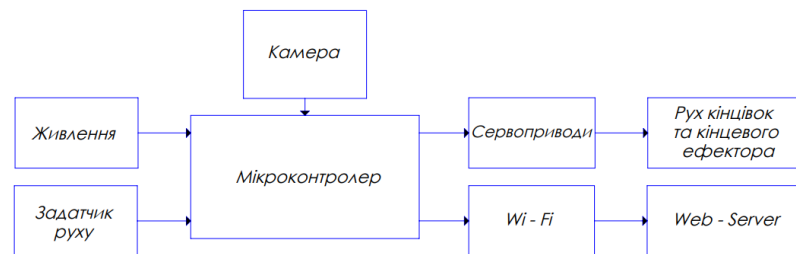


Рисунок 2.2 Структурна схема системи керування робота-маніпулятора

Дана структурна схема описує роботу даного робота-маніпулятора. Від блоку живлення подається напруга 12 В на понижуючий перетворювач. Даний перетворювач понижує напругу до 5 В і подає живлення на потенціометри, мікроконтролера та сервоприводи. Далі з потенціометрів передається сигнал на мікроконтролер, який в свою чергу передає сигнал на сервоприводи, які керують рухом кінцівок та кінцевого ефектора. Наступним кроком роботи системи є передача сигналу з мікроконтролера на Wi-Fi модуль. Для даного

модуля, живлення 3.3 В, надходить з мікроконтролера. Отриманий сигнал від мікроконтролера на модуль передається на WEB-Server.

## **2.3 Вибір елементної бази системи керування макета робота-маніпулятора**

### **2.3.1 Сервоприводи**

**Сервопривід** — це спеціалізований пристрій, що забезпечує контрольовану роботу двигунів відповідно до заданих параметрів. Він містить датчик, який відстежує необхідні дані, такі як положення, швидкість або прикладене зусилля, а блок керування сервоприводом гарантує підтримання цих параметрів на відповідному рівні [33].

Перелік сервоприводів, які приведені нижче, зазвичай використовуються саме в робототехніці. При виборі сервоприводів важливо враховувати такі параметри, як крутний момент, швидкість розмір, вага та максимальний струм [33].

HS-422 – це сервопривід середнього класу від компанії Hitec, відомий своєю надійністю та точністю. Він оснащений пластиковими шестернями та має стандартний розмір, що робить його сумісним з багатьма робототехнічними платформами. Цей сервопривід відрізняється високою стабільністю та доступною ціною, проте його пластикові шестерні можуть бути менш міцними у порівнянні з металевими, а середній крутний момент може бути недостатнім для важких задач [34].

MG996R – це сервопривід з металевими шестернями, що забезпечує високий крутний момент. Він часто використовується в проектах, що вимагають більшої потужності та надійності. Завдяки металевим шестерням, цей сервопривід має високу довговічність та стійкість до навантажень, однак відрізняється вищим енергоспоживанням та вартістю порівняно з моделями з пластиковими шестернями [35].

TowerPro MG995 – популярний сервопривід з металевими шестернями, подібний до MG996R, але з трохи нижчим крутним моментом. Він забезпечує додаткову міцність завдяки металевим шестерням та доступну ціну для сервопривода з такими характеристиками. Проте, відомі випадки нестабільної якості в різних партіях, що може вплинути на його продуктивність.

TowerPro SG90 – мініатюрний сервопривод з пластиковими шестернями, що ідеально підходить для легких проектів, де не потрібен великий крутний момент. Цей сервопривод вирізняється дуже низькою ціною, компактним розміром та малою вагою, що робить його популярним вибором для невеликих задач. Однак, через низький крутний момент та пластикові шестерні, його застосування обмежене до легких та менш критичних завдань [36].

На рис.2.3 представлено приклади сервоприводів.

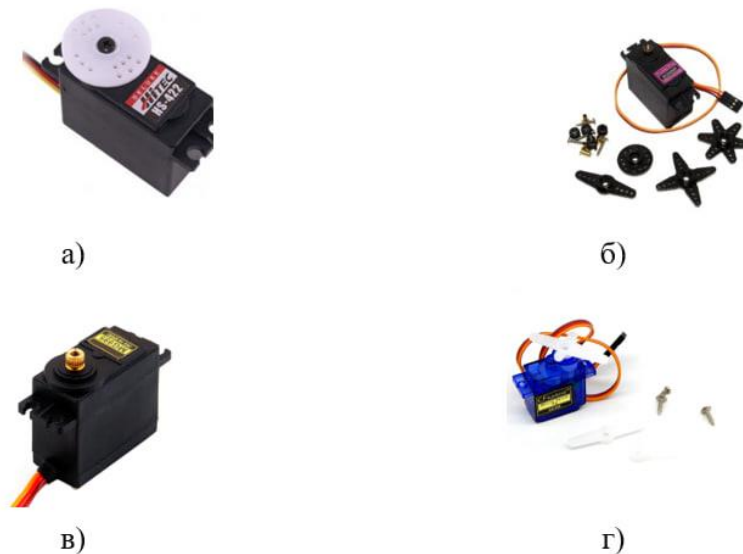


Рисунок 2.3 Приклади сервоприводів: HS-422 (а) [34], Megomoki MG996R (б) [35], TowerPro MG995 (в) [35], TowerPro SG90 (г) [36]

В табл.2.1 представлено технічні характеристики сервоприводів: HS-422 [34], Megomoki MG996R [35], Tower Pro MG995 [35], Tower Pro SG90 [36]

Таблиця 2.1

Таблиця технічних характеристик сервоприводів

Назва сервопривода	HS-422	Megomoki MG996R	TowerPro MG995	TowerPro SG90
Робоча напруга	4.8 - 6.0 В	4.8 - 7.2 В	4.8 - 7.2 В	4.8 - 6.0 В
Крутний момент	3.7 кг/см(4.8 В)	11 кг/см (4.8 В)	10 кг/см (4.8 В)	1.8 кг/см (4.8 В)
	4.1 кг/см (6 В)	12 кг/см (6.6 В)		2.5 кг/см (6.0 В)
Швидкість	0.21 с/60° (4.8 В)	0.17 с/60° (4.8 В)	0.20 с/60° (4.8 В)	0.12 с/60° (4.8 В)
	0.16 с/60° (6.0 В)	0.13 с/60° (6.6 В)	0.16 с/60° (6.6 В)	0.10 с/60° (6.0 В)
Розміри	39.8 x 19.8 x 36.3 мм	40.7 x 19.7 x 42.9 мм	40.7 x 19.7 x 42.9 мм	23 x 12.2 x 29 мм
Кут повороту	180°	120° - 180°	120° -180°	180°
Вага	45.5 г	55 г	55 г	9 г
Максимальний струм	180 мА (В)	1.2 А (В)	1.2 А (В)	750 мА (5 В)

Проаналізувавши дані характеристики сервоприводів, для роботаманіпулятора, краще обрати Megomoki MG996R завдяки його високому крутному моменту (до 12 кг/см) і достатній швидкості. Цей серводвигун забезпечить достатню потужність для складних маніпуляцій.

### 2.3.2 Платформа Arduino. Плати Arduino

**Arduino** – це електронна платформа з відкритим вихідним кодом, що поєднує просте у використанні апаратне та програмне забезпечення. Плати Arduino можуть зчитувати різні вхідні дані, такі як світло на датчику, натискання кнопки або повідомлення Instagram, і перетворювати їх на вихідні сигнали, наприклад, активувати двигун, вмикати світлодіод або публікувати інформацію в Інтернеті. Керування платою здійснюється заданням мікроконтролеру команд за допомогою мови програмування Arduino (на

основі Wiring) та програмного забезпечення Arduino (IDE), яке базується на Processing [37].

Arduino Due – це потужна плата на основі мікроконтролера AT91SAM3X8E. Вона має 54 цифрові входи/виходи, з яких 12 можуть бути використані як ШІМ-виходи, 12 аналогових входів, 4 UART (апаратні послідовні порти), а також USB OTG. Due працює на 3.3В, що робить його несумісним з 5В пристроями без відповідних перетворювачі [38].

Arduino Nano – це компактна плата на базі ATmega328P, аналогічна за функціональністю Arduino Uno, але в меншому форм-факторі. Вона має 14 цифрових входів/виходів, з яких 6 можуть бути використані як ШІМ-виходи, 8 аналогових входів і працює на 5В. Nano часто використовується в проектах з обмеженим простором [38].

Arduino Mega 2560 – це плата з великим числом входів/виходів, на основі мікроконтролера ATmega2560. Вона має 54 цифрові входи/виходи, 16 аналогових входів і 4 апаратні послідовні порти. Mega 2560 ідеально підходить для складних проектів, що потребують великої кількості підключень [38].

Arduino Leonardo – це плата на основі мікроконтролера ATmega32u4. Вона має 20 цифрових входів/виходів, з яких 7 можуть бути використані як ШІМ-виходи, і 12 аналогових входів. Відмінністю Leonardo є вбудований USB-контролер, що дозволяє йому емулювати USB-пристрої, такі як миша чи клавіатура [38].

Arduino Pro – це компактна і низькопрофільна плата, розроблена для встановлення в постійні проекти та вироби. Вона буває у версіях 3.3В та 5В, з використанням мікроконтролерів ATmega328 або ATmega168. Pro плата часто використовується у вбудованих системах завдяки своєму невеликому розміру та економічному енергоспоживанню [38].

Arduino Uno – це найпопулярніша плата в сімействі Arduino, заснована на мікроконтролері ATmega328P. Вона має 14 цифрових входів/виходів, з яких

6 можуть бути використані як ШІМ-виходи, 6 аналогових входів і працює на 5В. Уно часто використовується для навчання та простих проектів завдяки своїй доступності та широкій підтримці спільноти [38].

На рис.2.4 представлено приклади плат Arduino.

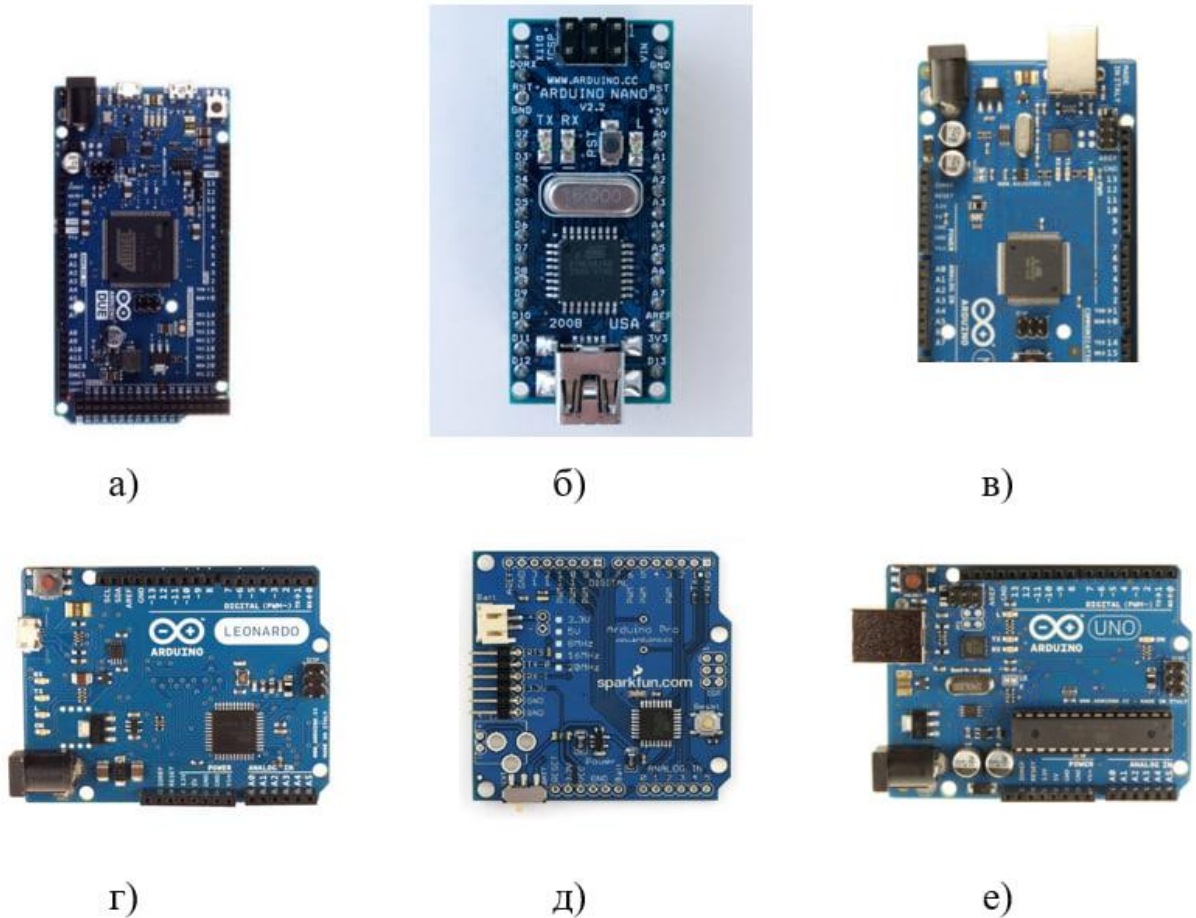


Рисунок 2.4 Приклади плат Arduino: Arduino Due (а) [38], Arduino Nano (б) [38], Arduino Mega 2560 (в), Arduino Leonardo (г), Arduino Pro (д) [38], Arduino UNO (е) [38]

В табл.2.2 представлено характеристики плат Arduino [38].

Таблиця 2.2

## Характеристики плат Arduino

Параметр	Arduino Due	Arduino Nano	Arduino Mega 2560	Arduino Leonardo	Arduino Pro	Arduino UNO
Мікроконтролер	AT91SAM3X8E	ATmega328P	ATmega2560	ATmega32u4	ATmega328P	ATmega328P
Архітектура	ARM Cortex-M3	AVR	AVR	AVR	AVR	AVR
Робоча напруга	3.3 В	5 В	5 В	5 В	3.3 або 5 В	5 В
Цифрові входи/виходи	54 (12 ШІМ)	14 (6 ШІМ)	54 (15 ШІМ)	20 (7 ШІМ)	14 (6 ШІМ)	14 (6 ШІМ)
Аналогові входи	12	8	16	12	6	6
Швидкість такту	84 МГц	16 МГц	16 МГц	16 МГц	16 МГц	16 МГц
Флеш-пам'ять	512 КБ	32 КБ	256 КБ	32 КБ	32 КБ	32 КБ
SRAM	96 КБ	2 КБ	8 КБ	2.5 КБ	2 КБ	2 КБ
EEPROM	Немає	1 КБ	4 КБ	1 КБ	1 КБ	1 КБ

USB	1x Native, 1x Progra mming	Mini USB	USB Type B	Micro USB	Mini USB	USB Type B
PWM виходи	12	6	15	7	6	6
UART	4	1	4	1	1	1
SPI	1	1	1	1	1	1
I2C	1	1	1	1	1	1
Розміри	101.5 x 53.3 мм	18 x 45 мм	101.2 x 53.3 мм	68.6 x 53.3мм	18 x 45 мм	68.6 x 53.4 мм

Опираючись на вище згадані характеристики, плата Arduino UNO є оптимальним вибором для розроблювального робота-маніпулятора завдяки своїй простоті, доступності, надійності та великій кількості підтримуваних периферійних пристроїв. Вона має 14 цифрових входів/виходів (6 з яких підтримують широтно-імпульсну модуляцію(ШИМ)), 6 аналогових входів, робочу напругу 5 В та частоту 16 МГц, що забезпечує достатню продуктивність для керування сервоприводами та іншими компонентами робота-маніпулятора. Крім того, її сумісність з багатьма модулями і велика спільнота розробників спрощують розробку та інтеграцію додаткових функцій.

### 2.3.3 Потенціометри

**Потенціометр** - це електронний компонент з трьома виводами, який дозволяє вручну регулювати опір. Він має рухомий контакт, який ковзає вздовж резистивного елемента, змінюючи опір між виводами [39].

Принцип роботи потенціометра полягає в зміні опору шляхом переміщення рухомого контакту вздовж резистивного елемента. Коли рухомий контакт переміщується, він змінює співвідношення опорів між середнім виводом і двома кінцевими виводами. Таким чином, можна отримати змінний опір або напругу, яка пропорційно залежить від положення рухомого контакту [39].

На рис.2.5 представлено приклади потенціометрів.

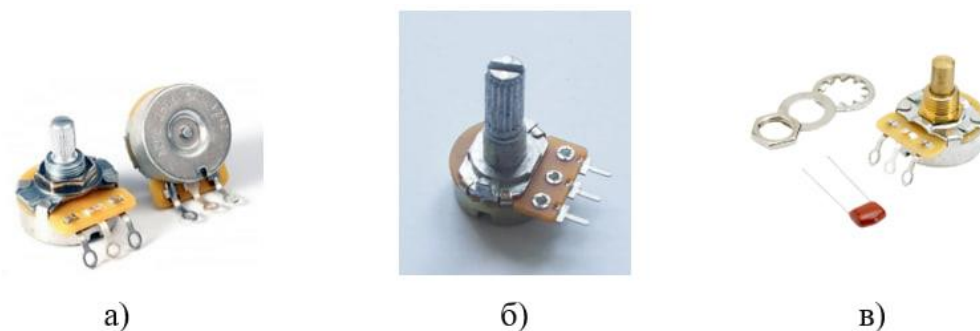


Рисунок 2.5 Приклади потенціометрів: CTS 450G 10k (а) [40], B250K (б) [41], Fender 099-0833-000 (в) [42]

В табл.2.3 представлено технічні характеристики потенціометрів CTS 450G [40], B250K [41], Fender 099-0833-000 [42].

Таблиця 2.3

Технічні характеристики CTS 450G, B250K, Fender 099-0833-000

Параметр	CTS 450G	B250K	Fender 099-0833-00
Опір	10 kOm	250 kOm	250 kOm

Рівень напруги	750 В	230 В	250 В
Довжина валу	22.2 мм	20 мм	22 мм

Для керування сервоприводом робота-маніпулятора важливими параметрами будуть опір потенціометра і його рівень напруги. З урахуванням цих параметрів, потенціометр В250К, який має опір 250 кОм і рівень напруги 230 В, є найбільш відповідним варіантом серед наведених. Він має достатньо високий опір для керування і рівень напруги, який може бути безпечно застосований для керування сервоприводом.

#### **2.3.4 Модулі на основі мікроконтролера ESP з камерою**

Модуль ESP32 від компанії Espressif Systems - це потужний мікроконтролер з вбудованими Wi-Fi та Bluetooth можливостями, який широко використовується для різних проектів, включаючи IoT, автоматизацію, робототехніку та багато іншого [38].

ESP32-CAM – це компактний модуль на базі ESP32 з вбудованою камерою, що підтримує захоплення зображень та відео. Він має вбудований Wi-Fi і Bluetooth, а також слот для картки microSD для зберігання зображень та відео. Цей модуль ідеально підходить для проектів відеоспостереження, розпізнавання облич та віддаленого моніторингу. Переваги включають його низьку вартість і невеликий розмір, але недоліком є обмежений обсяг оперативної пам'яті, що може вплинути на продуктивність в складних задачах [43].

ESP-EYE – це просунутий модуль з камерою на базі ESP32, орієнтований на застосування в проектах штучного інтелекту, таких як

розпізнавання облич та голосові інтерфейси. Він оснащений 2-мегапіксельною камерою, мікрофоном, 8 МБ оперативної пам'яті PSRAM та 4 МБ флеш-пам'яті. Перевагами ESP-EYE є його потужність і можливості для AI, проте він має вищу вартість порівняно з іншими модулями, що може бути недоліком для бюджетних проєктів [44].

M5Stack ESP32 Camera Module – це модуль з камерою, що інтегрований у систему модулів M5Stack. Він має вбудований Wi-Fi і Bluetooth завдяки чіпу ESP32, а також, як і попередні модулі підтримує слот для картки microSD. Основні переваги включають зручність інтеграції з іншими модулями M5Stack та розширюваність. Однак, як і в інших ESP32-камерах, обмежений обсяг оперативної пам'яті [45].

TTGO T-Camera Plus ESP32 – це багатофункціональний модуль з камерою, який включає 1.3-дюймовий OLED-дисплей, датчик руху PIR, мікрофон і слот для картки microSD. Перевагами цього модуля є його багатофункціональність і наявність дисплея для відображення інформації, що робить його ідеальним для розумних домашніх проєктів. Недоліками можуть бути складність налаштування для новачків та вищий рівень енергоспоживання через додаткові компоненти [46].

На рис.2.6 представлено приклади модулів на основі мікроконтролера ESP з камерою.

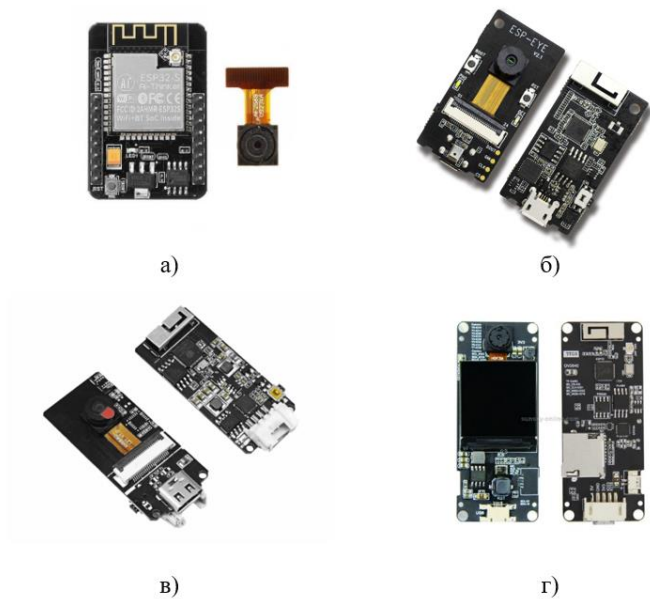


Рисунок 2.6 Приклади модулів на основі мікроконтролера ESP з камерою: ESP32-CAM (а) [43], ESP-EYE (б) [44], M5Stack ESP32 Camera Module (в) [45], TTGO T-Camera Plus ESP32 (г) [46].

В табл.2.4 представлено технічні характеристики модулів на базі ESP32: ESP32-CAM [43], ESP-EYE [44], M5Stack ESP32 Camera Module [45], TTGO T-Camera Plus ESP32 [46].

Таблиця 2.4

Технічні характеристики модулів на базі ESP32: ESP32-CAM, ESP-EYE, M5Stack ESP32 Camera Module, TTGO T-Camera Plus ESP32

Модуль	ESP32-CAM	ESP-EYE	M5Stack ESP32 Camera Module	TTGO T-Camera Plus ESP32

Мікроконтроле р	ESP32- D0WDQ6	ESP32- D0WD	ESP32	ESP32- D0WDQ6
Камера	OV2640, 2 Мп	OV2640, 2 Мп	OV2640, 2 Мп	OV2640, 2 Мп
Пам'ять	520 КБ SRAM, 4 МБ флеш- пам'яті	520 КБ SRAM, 4 МБ флеш- пам'яті	520 КБ SRAM, 4 МБ флеш- пам'яті	8 МБ PSRAM, 4 МБ флеш- пам'яті
Інтерфейси	Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth 4.2, UART, SPI, I2C, PWM	Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth 4.2, UART, SPI, I2C, PWM	Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth 4.0, UART, SPI, I2C	Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth 4.2, UART, SPI, I2C, OLED Display, BME280 Sensor
Гнізда для розширення	microSD (до 4 ГБ)	N/A	N/A	microSD (до 16 ГБ)
Живлення	5 В – 3.3 В	5 В – 3.3 В	5 В	5 В
Розміри	27 x 40.5 мм	41 x 21 мм	54 x 54 x 16 мм	50 x 25 мм

Оцінивши технічні характеристики модулів на базі ESP32, кращим вибором серед інших модулів є модуль ESP32-CAM завдяки своїм компактним розмірам (27 x 40.5 мм), що робить його ідеальним для даного проекту. Даний модуль відрізняється низькою вартістю, що робить її економічно вигідним варіантом. Важливою перевагою є наявність слоту для microSD картки до 4 ГБ, що дозволяє зберігати велику кількість даних безпосередньо на платі. ESP32-CAM підтримує різні інтерфейси, такі як Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth 4.2, UART, SPI, I2C, PWM, забезпечуючи гнучкість у підключенні до різних пристроїв та сенсорів. У порівнянні з іншими модулями, такими як ESP-EYE, M5Stack ESP32 Camera Module та TTGO T-Camera Plus ESP32, ESP32-CAM пропонує оптимальний баланс між функціональністю, ціною та компактністю, що робить його доцільним вибором для даної роботи.

### **2.3.5 Живлення системи. Блок живлення DELUX ATX-450W (P4)**

Даний блок живлення є типовим представником бюджетних блоків живлення, які використовуються для стандартних настільних ПК [47].

На рис.2.7 представлено блок живлення DELUX ATX-450W (P4) [48].



Рисунок 2.7 Блок живлення DELUX ATX-450W (P4)

В табл.2.5 представлено технічні характеристики блоку живлення DELUX ATX-450W (P4) [47].

Таблиця 2.5

Технічні характеристики блоку живлення DELUX ATX-450W (P4)

Характеристика	Значення
Модель	DELUX ATX-450W (P4)
Форм - фактор	ATX
Максимальна потужність	450 Вт
Вхідна напруга	230 В
Частота	50-60 Гц
Вхідний струм	4А
+3 В Лінія	20 А
+5 В Лінія	30 А
12 В Лінія	18 А
-12 В Лінія	2.5 А
Охолодження	Вбудований вентилятор
Коефіцієнт корисної дії (ККД)	Близько 70-75%
Габарити	158мм x 150 мм x 85 мм
Вага	1.45 кг

Це поєднання підходить для забезпечення надійного та ефективного живлення для робота-маніпулятора, що дозволяє йому працювати стабільно та виконувати складні завдання з високою точністю.

### 2.3.6 Понижуючі перетворювачі

Понижуючий перетворювач напруги призначений для зниження високої напруги до більш низької та стабілізованої. Він складається з ключового транзистора, діода, фільтра та навантаження. Перетворювач передає енергію від джерела живлення до навантаження невеликими порціями. Хоча такі перетворювачі мають більші розміри та вищий рівень пульсацій порівняно з лінійними стабілізаторами, їх головна перевага – високий коефіцієнт корисної дії (ККД) [48].

На рис.2.8 представлено приклади понижуючих перетворювачів напруги.

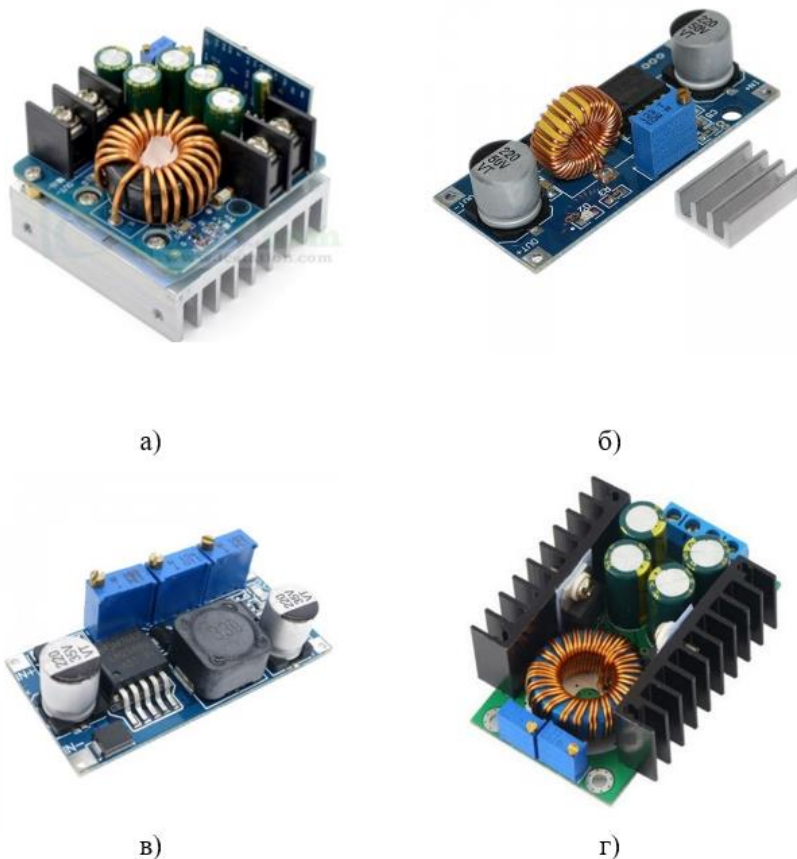


Рисунок 2.8 Приклади понижуючих перетворювачів: DC-DC 400W High Power Supply Step Down Module CVCC (a) [49], XL4015 5A (б) [50], LM2596S (в) [51], 300W 9A 38V DC-DC (г) [52]

В табл.2.6 представлено технічні характеристики понижуючих перетворювачів: DC-DC 400W High Power Supply Step Down Module CVCC [49], XL4015 5A [50], LM2596S [51], 300W 9A 38V DC-DC [52]

Таблиця 2.6

Технічні характеристики понижуючих перетворювачі

Характеристика	DC-DC 400W High Power Supply Step Down Module CVCC	XL4015 5A	LM2596S	300W 9A 38V DC-DC
Вхідна напруга	4.5 – 60 В	4 – 40 В	4 – 40 В	20 - 60 В
Вихідна напруга	0.8 – 60 В	0.8 – 38 В	0.5 – 37 В	0 – 38 В
Максимальний струм	40 А	5 А	3 А	9 А
ККД	>95%	>92%	>92%	>90%
Пульсації вихідної напруги	<50 мВ	<50 мВ	<30 мВ	<50 мВ
Частота перемикання	150 кГц	180 кГц	150 кГц	100 кГц
Вага	250 г	50 Г	30 Г	200 Г
Розміри	100 x 65 x 30 мм	60 x 30 x 18 мм	40 x 23 x 17 мм	100 x 60 x 30 мм

Провівши аналіз технічних характеристик було обрано понижуючий перетворювач 300W 9A 38V DC-DC. В даному випадку він є кращим вибором через фіксовану вихідну напругу, потужність 300 Вт. Для коректної роботи системи потрібно струм не менше 6 А і не більше 10 А, тому даний перетворювач входить в цей діапазон значень і задовільняє дані вимоги.

## 2.4 Підключення елементної бази системи керування макету робота-маніпулятора

Перед підключенням елементної бази було розроблено загальну електричну схему в середовищі розробки Easy EDA. Кресленник електричної схеми представлений у додатку Б.

На рис.2.9 представлено електричну схему підключення системи керування робота маніпулятора

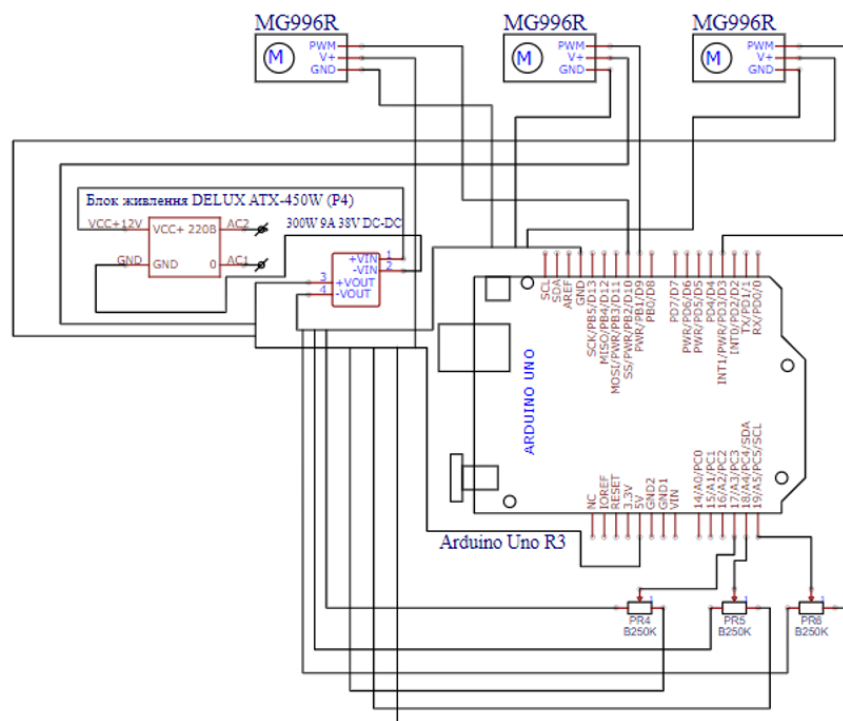


Рисунок 2.9 Електрична схема підключення системи керування робота-маніпулятора

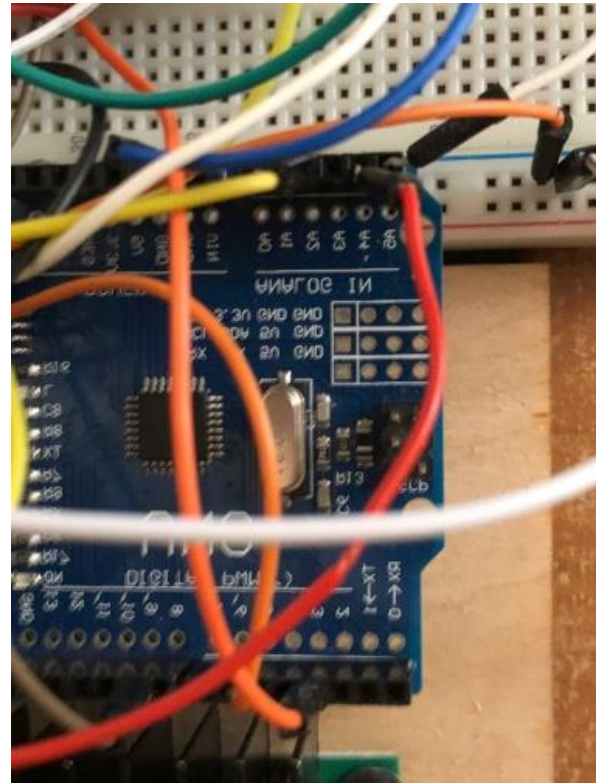
**Easy EDA** - інтегроване програмне забезпечення для електронного проектування (EDA), яке дозволяє користувачам створювати електронні схеми, проектувати друковані плати (PCB) і моделювати електронні схеми онлайн. Це рішення для спільного проектування, що підтримує командну роботу і обмін проектами [53].

На першому етапі від блоку живлення DELUX ATX-450W (P4), було подано живлення 12 В на понижувач напруги 300W 9A 38V DC-DC на входи V INPUT + V INPUT - . Далі від понижувача напруги на макетну плату, з виходів V OUTPUT + та V OUTPUT - подається 5 В та земля GND відповідно. Далі від макетної плати на плату Arduino Uno подається напруга 5 В та земля GND. Оскільки підключення живлення було виконано, наступним кроком було підключення потенціометрів B250k до плати Arduino Uno. Потенціометри закріплювались на макетній платі за допомогою вбудованих пінів, сигнальні піни потенціометрів було приєднано на аналогові входи плати Arduino Uno A3-A5.

На рис.2.10 представлено підключення сигнальних пінів потенціометрів B250k на аналогові входи плати Arduino Uno A3-A5.



а)



б)

Рисунок 2.10 Підключення сигнальних пінів потенціометрів B250k на аналогові входи плати Arduino Uno A3-A5: вигляд 1 (а), вигляд 2 (б)

Живлення та земля на потенціометри подавалась з макетної плати.

Після виконання даного кроку до плати Arduino UNO на цифрові піни D10, D6, D3, було підключено сигнальні піни сервоприводів MG996R, живлення 5 В та земля GND, була підключена до макетної плати на загальну землю GND та живлення 5В.

На рис.2.11 представлено підключення сигнальних пінів сервоприводів MG996R на цифрові піни D10, D6, D3 плати Arduino UNO.

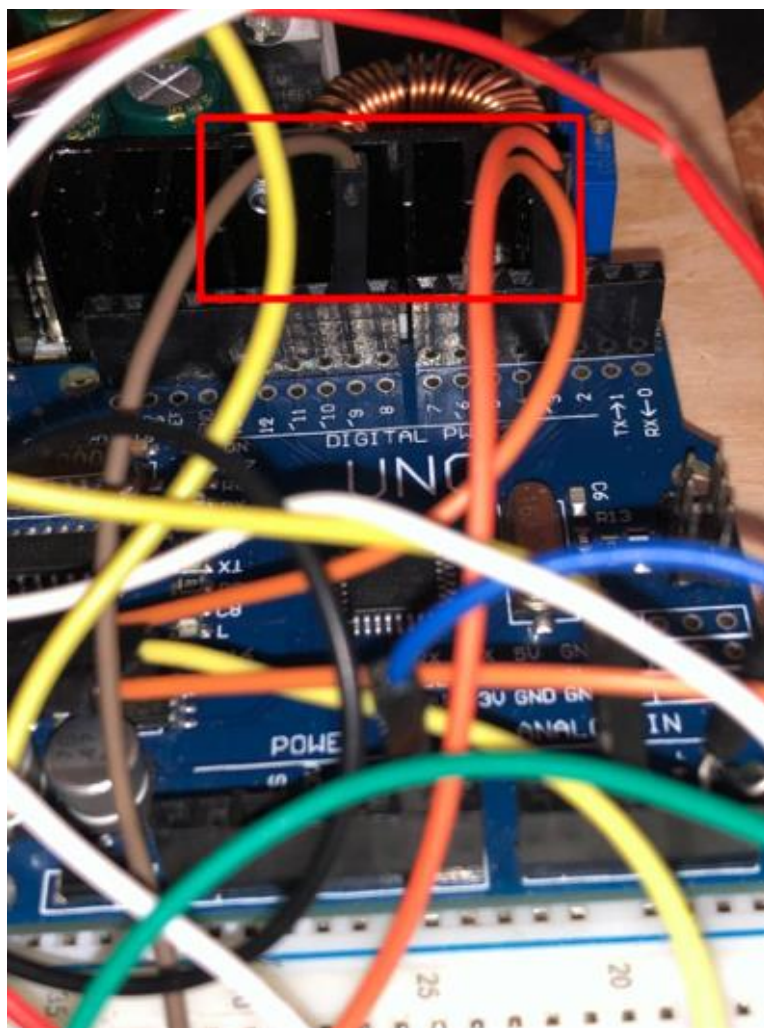


Рисунок 2.11 Підключення сигнальних пінів сервоприводів MG996R на цифрові піни D10, D6, D3 плати Arduino UNO

Після завершення підключення сервоприводів, було здійснено перевірку на коректність підключення всіх компонентів системи керування та переходження до конструювання макету робота-маніпулятора.

## **2.5 Модернізація готової 3D моделі макета робота-маніпулятора та конструювання системи керування в середовищі SOLIDWORKS**

### **2.5.1 Модернізація готової 3D моделі макета робота-маніпулятора**

SOLIDWORKS – це інноваційний інструмент, який використовують інженери для створення 3D-моделей, аналізу конструкцій та підготовки їх до

виробництва. Його можливості дозволяють пришвидшити процес конструювання, підвищити точність розробок та покращити співпрацю між фахівцями. SOLIDWORKS широко використовується в різних галузях, таких як машинобудування, авіаційна та космічна промисловість, автомобільна промисловість, дизайн та виробництво [54].

Модернізація 3D моделі макета робота-маніпулятора проводилась на основі вже готової конструкції [54].

На рис.2.12 представлено 3D модель макету робота-маніпулятора.

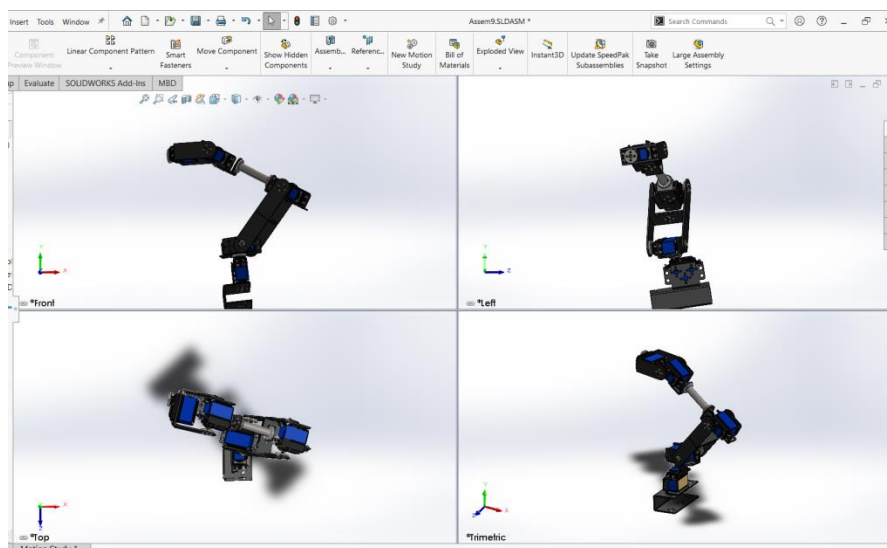


Рисунок 2.12 3D модель макету робота-маніпулятора

Першим кроком модернізації був аналіз уже існуючої елементної бази даної конструкції та перевірка правильності з'єднань компонентів. Другим кроком була сама модернізація даної конструкції: додавання модуля ESP32-CAM з кріпленням до кінцевого ефектора робота-маніпулятора.

На рис.2.13 представлено 3D модель кріплення до модуля ESP32-CAM.

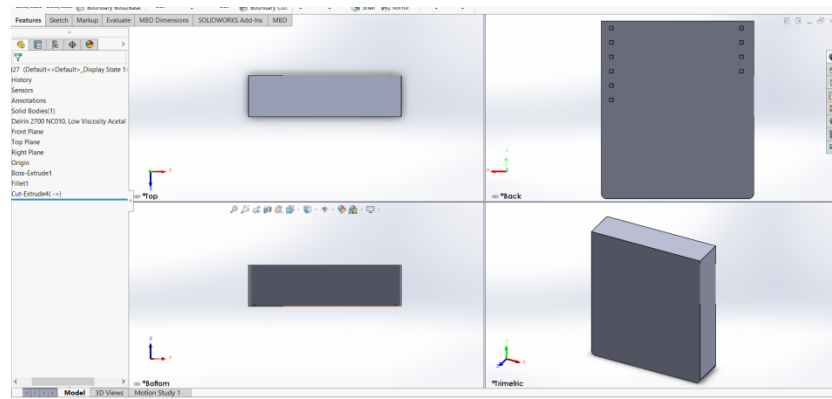


Рисунок 2.13 3D модель кріплення до модуля ESP32-CAM

Далі, було з'єднано модуль ESP32-CAM з кріпленням в одну конструкцію.

На рис.2.14 представлено результат з'єднання кріплення разом з модулем ESP32-CAM.

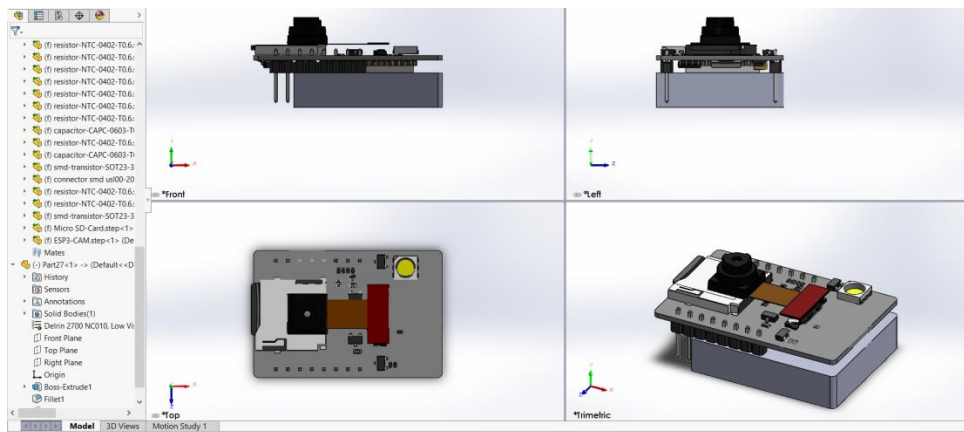


Рисунок 2.14 Результат з'єднання кріплення разом з модулем ESP32-CAM

Після з'єднання кріплення з модулем, цю конструкцію було прикріплено до кінцевого ефектору робота-маніпулятора. З'єднання було здійснено за допомогою вбудованих прив'язок в SolidWorks. В даному

випадку були використані паралельна прив'язка компонентів та прив'язка співпадіння.

На рис.2.15 представлено результат з'єднання ESP32-CAM з кінцевим ефектором робота-маніпулятора.

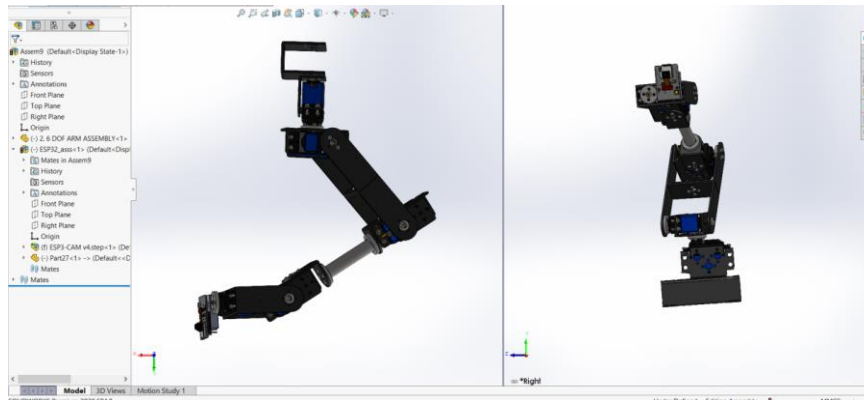


Рисунок 2.15 Результат з'єднання ESP32-CAM з кінцевим ефектором робота-маніпулятора

Після з'єднання була виконана перевірка на коректність збирання даної конструкції.

## 2.5.2 Конструювання системи керування

Перший компонент, який було сконструйовано це основа на якій встановлено макет.

На рис.2.16 представлено результат конструювання основи системи керування.

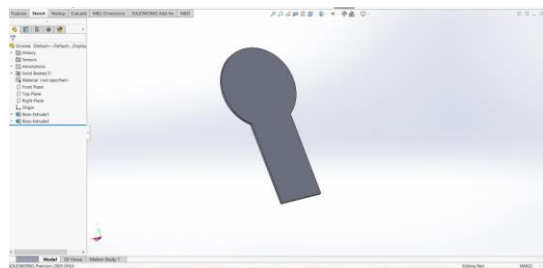


Рисунок 2.16 Результат конструювання 3D моделі основи системи керування

Далі на основу було сконструювано дерев'яну пластину, на яку було встановлено понижуючий перетворювач 300W 9A 38V DC-DC. Пластина необхідна для того, щоб уникнути короткого замикання перетворювача з основою.

На рис.2.17 представлено результат конструювання понижуючого перетворювача 300W 9A 38V DC-DC на основу.

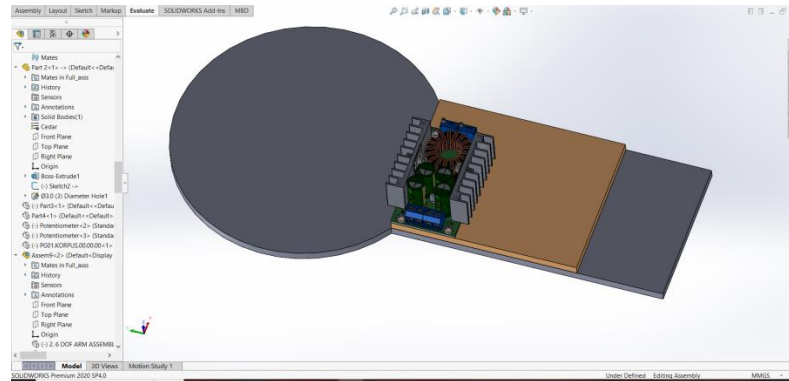


Рисунок 2.17 Результат конструювання понижаючого перетворювача 300W 9A 38V DC-DC на основу

Наступним кроком була сконструйована та додана на основу, пластмасова пластина кріплення плати Arduino Uno та саму плату. Пластмасова пластина потрібна для уникнення короткого замикання контактів плати Arduino Uno з основою.

На рис.2.18 представлено результат конструювання пластмасової пластини кріплення з платою Arduino Uno.

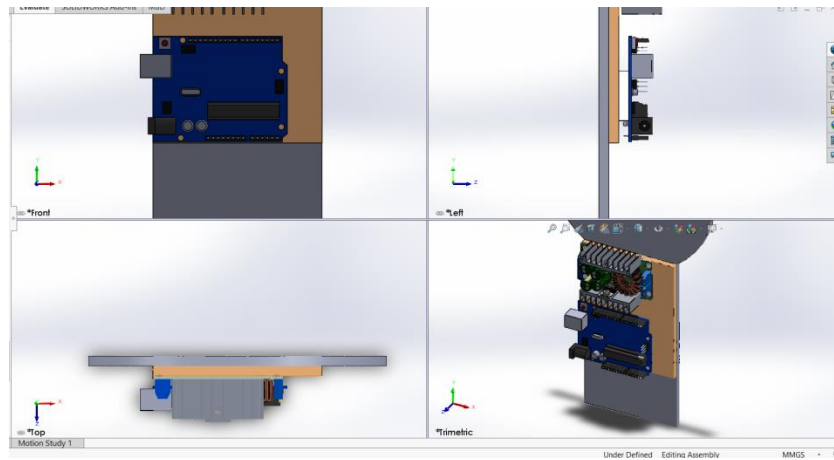


Рисунок 2.18 Результат конструювання пластмасової пластини кріплення з платою Arduino Uno

Наступний етап, який було здійснено це конструювання макетної плати та трьох потенціометрів В250к. Потенціометри було закріплено на макетній платі, а макетна плата відповідно була закріплена на основі макету робота-маніпулятора.

На рис.2.19 представлено результат конструювання макетної плати та трьох потенціометрів В250к і закріплення на основу системи керування.

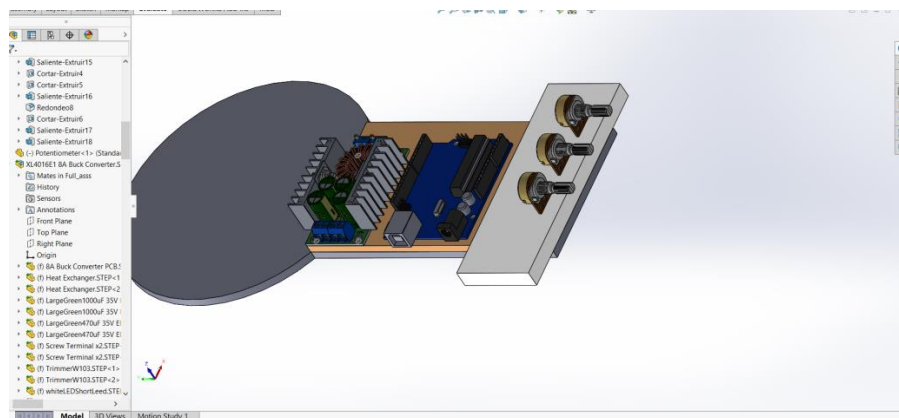


Рисунок 2.19 Результат конструювання макетної плати та трьох потенціометрів В250к і закріплення на основу системи керування

### 2.5.3 Конструювання корпусу системи керування макета робота-маніпулятора

На рис.2.20 представлено сконструйований корпус системи керування.

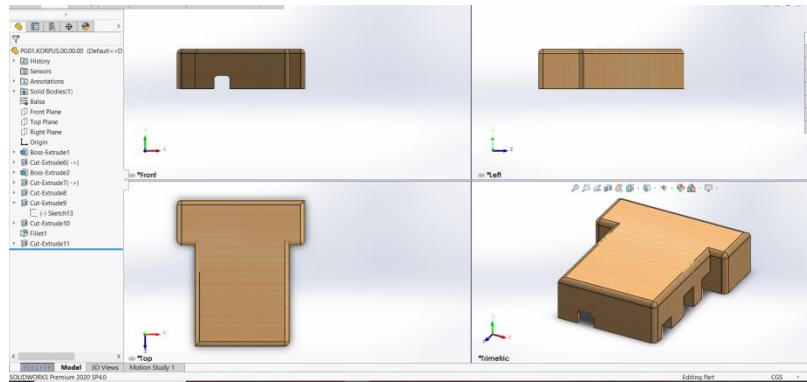


Рисунок 2.20 Сконструйований корпус в середовищі SOLIDWORKS

Для даного корпусу в якості матеріалу пропонується використовувати дерево, оскільки дерево простіше в обробці ніж метал. На першому етапі було створено ескіз на фронтальній площині і за допомогою функції «Витіснення деталі», було витіснено тверде тіло. Наступним етапом конструювання було створено загальний виріз для накладання корпусу на систему керування. Після цього за відповідними замірами було виконано вирізи отворів для живлення системи та елементів керування. На кінцевому етапі було створено скруглення гострих кутів корпусу для зручного та безпечного використання і створення кресленика деталі згідно вимог ДСТУ та ЕСКД. Кресленик представлено у додатку В.

На рис.2.21 представлено результат закріплення корпусу та макета робота-маніпулятора на основу.

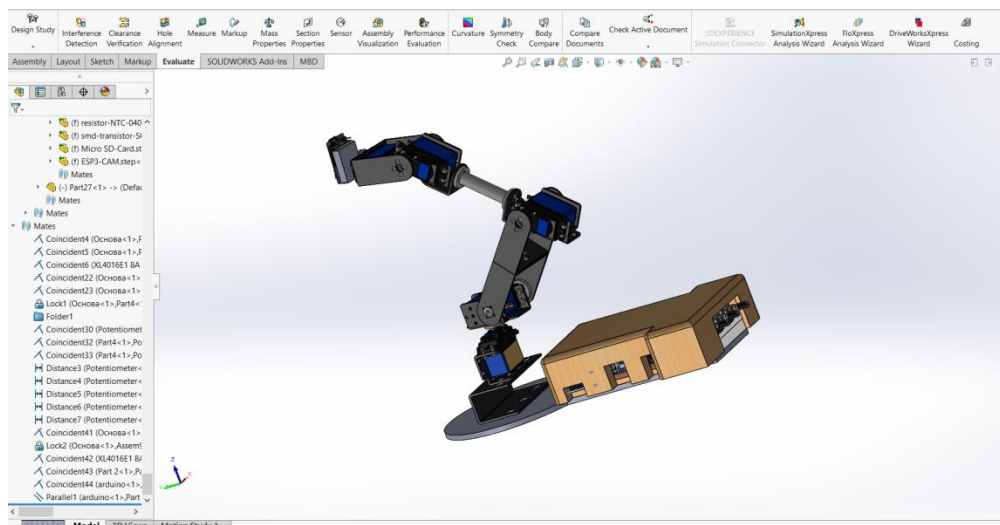


Рисунок 2.21 Результат закріплення корпусу та макета робота-маніпулятора на основу

Кресленик 3D моделі макета робота-маніпулятора з системою керування представлено у додатку Г.

Складальне креслення та специфікація макету робота-маніпулятора з системою керування представлені у додатку Д.

## 2.6 Написання програмного коду в середовищі Arduino IDE

**Arduino IDE** – інтерфейс Arduino IDE складається з кількох основних елементів: текстовий редактор для створення коду, область для відображення повідомлень, текстова консоль, панель інструментів з традиційними кнопками і головне меню. Ця програма дозволяє комп'ютеру як обмінюватися даними з Arduino, так і завантажувати код в контролер [35]. Програмний код приведено у додатку Е.

Розроблювальний програмний код починається з підключення бібліотеки <Servo.h> для роботи з сервоприводами, створення об'єктів класу Servo та ініціалізації змінних для збереження початкових значень сервоприводів та початкових значень потенціометрів.

На рис.2.22 представлено частину програмного коду ініціалізації змінних для збереження початкових значень.

```
sketch_may19a.ino
1  #include <Servo.h>
2
3  // Створимо об'єкти для трьох сервоприводів
4  Servo servo1;
5  Servo servo2;
6  Servo servo3;
7
8  // Змінні для зберігання значень потенціометрів
9  int pot1Pin = A3;
10 int pot2Pin = A4;
11 int pot3Pin = A5;
12
13 // Змінні для зберігання поточних позицій сервоприводів
14 int currentPos1 = 0;
15 int currentPos2 = 0;
16 int currentPos3 = 0;
17
18 // Змінні для зберігання бажаних позицій сервоприводів
19 int targetPos1;
20 int targetPos2;
21 int targetPos3;
22
23 // Змінна для визначення швидкості руху сервоприводів
24 int stepDelay = 15; // Чим більше значення, тим повільніше рух
```

Рисунок 2.22 Частина програмного коду ініціалізації змінних для збереження початкових значень

Далі було створено дві змінні `lastPrintTime` та `printInterval` для збереження останнього часу виведення даних та інтервал у мілісекундах.

Наступним кроком було налаштування функції `Setup()`, в якій за допомогою методу `attach()`, відбувається налаштування сервоприводів і та запис початкових значень. `Serial.begin(9600)` відповідає за налаштування COM – порта.

На рис.2.23 представлено частину програмного коду, яка відповідає за налаштування функції `setup()`.

```
sketch_may19a.ino
27 unsigned long lastPrintTime = 0;
28 const unsigned long printInterval = 200; // Інтервал у мілісекундах
29
30 void setup() {
31     // Прикріплюємо серводвигуни до відповідних пінів
32     servo1.attach(9);
33     servo2.attach(3);
34     servo3.attach(6);
35
36     // Ініціалізація серводвигунів у початкове положення
37     servo1.write(currentPos1);
38     servo2.write(currentPos2);
39     servo3.write(currentPos3);
40
41     // Ініціалізація серійного з'єднання для налагодження
42     Serial.begin(9600);
43 }
44
```

Рисунок 2.23 Частина програмного коду яка відповідає за налаштування функції `setup()`

Наступна частина програмного коду містить в собі функцію loop(), в якій відбуваються основні моменти програми. За допомогою методу analogRead(), здійснюються зчитування значень з потенціометрів і записуються у змінні potValue1, potValue2, potValue3. Оскільки потрібно перетворити діапазон значень які видає потенціометр від 0 до 1023 у кутовий діапазон від 0 до 180 град, тому використовується функція map(), яка приймає діапазон значень потенціометра 0 – 1023 і кутовий діапазон 0 – 180 град. за допомогою якої здійснюється мапування значень.

На рис.2.24 представлено частину програмного коду, яка відповідає за зчитування даних з потенціометрів та мапування сигналу.

```
void loop() {  
    // Зчитуємо значення з потенціометрів  
    int potValue1 = analogRead(pot1Pin);  
    int potValue2 = analogRead(pot2Pin);  
    int potValue3 = analogRead(pot3Pin);  
  
    // Мапування зчитаних значень на діапазон 0-180  
    targetPos1 = map(potValue1, 0, 1023, 0, 180);  
    targetPos2 = map(potValue2, 0, 1023, 0, 180);  
    targetPos3 = map(potValue3, 0, 1023, 0, 180);  
}
```

Рисунок 2.24 Частину програмного коду, яка відповідає за зчитування даних з потенціометрів та мапування сигналу

На наступному етапі було створено функцію smoothServoMove(). Дана функція плавно переміщує сервопривід від поточної позиції до цільової. Вона приймає три параметри: посилання на об'єкт сервоприводу (Servo& servo), посилання на змінну з поточною позицією (int& currentPos) і цільову позицію (int targetPos). Функція перевіряє, чи поточна позиція менша або більша за цільову, і відповідно збільшує або зменшує її на одиницю, оновлюючи положення сервоприводу за допомогою методу write. Ця функція

викликається в циклі, що дозволяє сервоприводу поступово досягати цільової позиції, забезпечуючи плавний рух.

На рис.2.25 представлено частину програмного коду, в якому відбувається створення функції smoothServoMove().

```
84
85 void smoothServoMove(Servo& servo, int& currentPos, int targetPos) {
86     if (currentPos < targetPos) {
87         currentPos++;
88         servo.write(currentPos);
89     } else if (currentPos > targetPos) {
90         currentPos--;
91         servo.write(currentPos);
92     }
93 }
```

Рисунок 2.25 Частина програмного коду, в якому відбувається створення функції smoothServoMove()

Далі дана функція викликається для плавного керування сервоприводами.

На рис.2.26 представлено частину програмного коду в якому викликається функція smoothServoMove().

```
// Плавне оновлення позиції серводвигунів
smoothServoMove(servo1, currentPos1, targetPos1);
smoothServoMove(servo2, currentPos2, targetPos2);
smoothServoMove(servo3, currentPos3, targetPos3);
```

Рисунок 2.26 Частина програмного коду в якому викликається функція smoothServoMove()

На завершуючому етапі програми відбувається перевірка, чи минув заданий інтервал часу (printInterval) з моменту останнього виведення даних. Якщо інтервал минув, оновлюється час останнього виведення (lastPrintTime) і здійснюється виведення значень потенціометрів та цільових позицій сервоприводів у серійну консоль. Це дозволяє зменшити частоту виведення,

роблячи консоль менш перевантаженою і полегшуючи налагодження програми.

На рис.2.27 представлено кінцеву частину програмного коду, в якому виконується перевірка та виведення інформації в порт, чи минув заданий інтервал часу (printInterval) з моменту останнього виведення даних.

```
// Виведення значень через певний інтервал часу
if (millis() - lastPrintTime >= printInterval) {
  lastPrintTime = millis();
  // Виведення зчитаних значень для налагодження
  Serial.print("Pot1: ");
  Serial.print(potValue1);
  Serial.print(" | Pot2: ");
  Serial.print(potValue2);
  Serial.print(" | Pot3: ");
  Serial.println(potValue3);

  // Виведення мапованих значень для налагодження
  Serial.print("Target1: ");
  Serial.print(targetPos1);
  Serial.print(" | Target2: ");
  Serial.print(targetPos2);
  Serial.print(" | Target3: ");
  Serial.println(targetPos3);
}
```

Рисунок 2.27 кінцеву частину програмного коду, в якому виконується перевірка та виведення інформації в порт, чи минув заданий інтервал часу (printInterval) з моменту останнього виведення даних

На рис 2.28 представлено результат виводу значень в порт.

```
Target1: 27 | Target2: 0 | Target3: 91
Pot1: 156 | Pot2: 0 | Pot3: 520
Target1: 27 | Target2: 0 | Target3: 91
Pot1: 157 | Pot2: 0 | Pot3: 521
Target1: 27 | Target2: 0 | Target3: 91
Pot1: 158 | Pot2: 0 | Pot3: 521
Target1: 27 | Target2: 0 | Target3: 91
Pot1: 155 | Pot2: 0 | Pot3: 521
```

Рисунок 2.28 Результат виводу значень в порт

## 2.6 Демонстрація виконання роботи макету робота-маніпулятора

На рис. 2.29 представлено підключений макет робота-маніпулятора до блоку живлення.

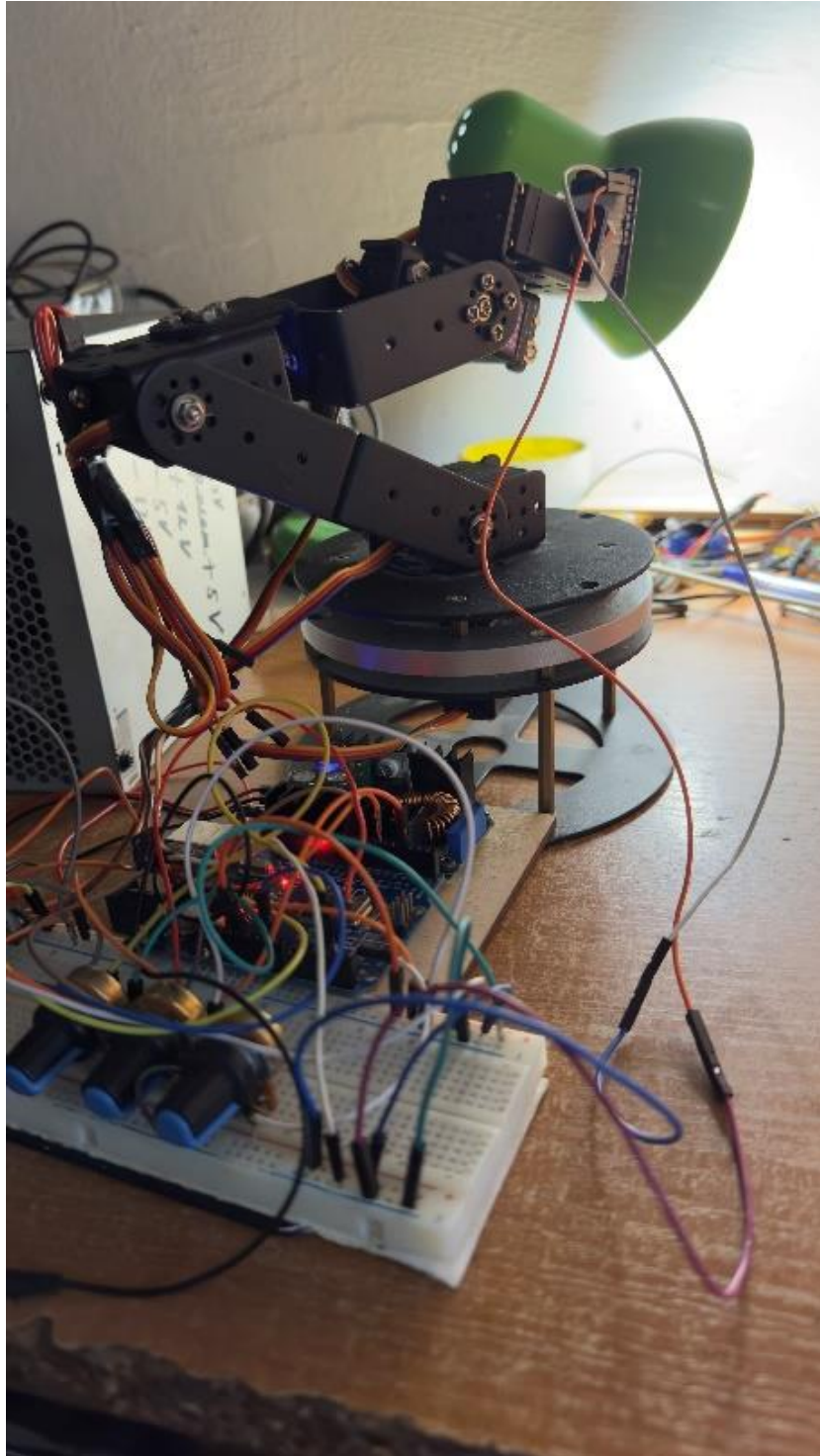


Рисунок 2.29 Підключений макет робота-маніпулятора до блоку живлення

Далі модуль ESP32-CAM, який закріплено на кінцевому ефекторі передає зйомку за допомогою камери OV2640 на стрімінговий WEB-Server через IP – адресу.

На рис.2.30 представлено результат передачі зйомки модуля ESP32 – CAM на стрімінговий WEB – Server.

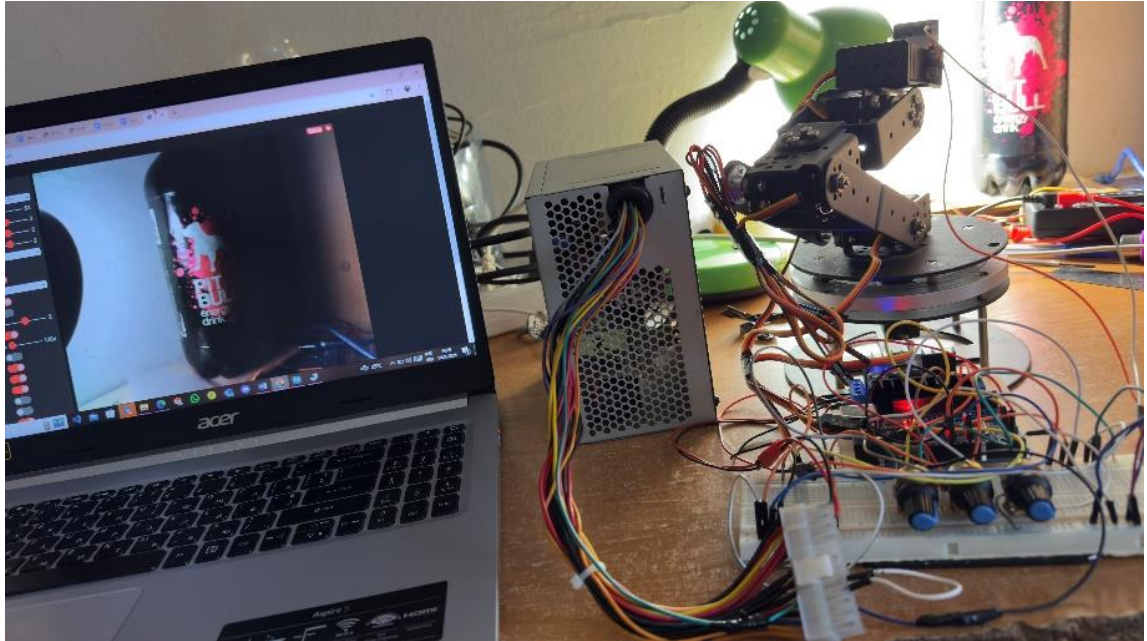
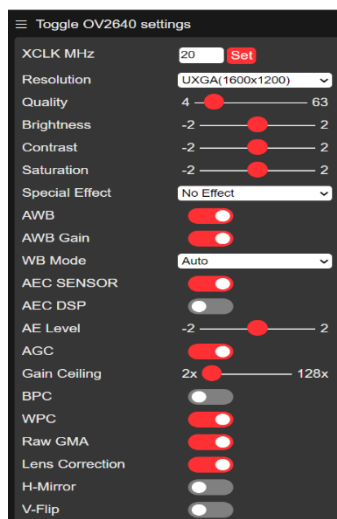


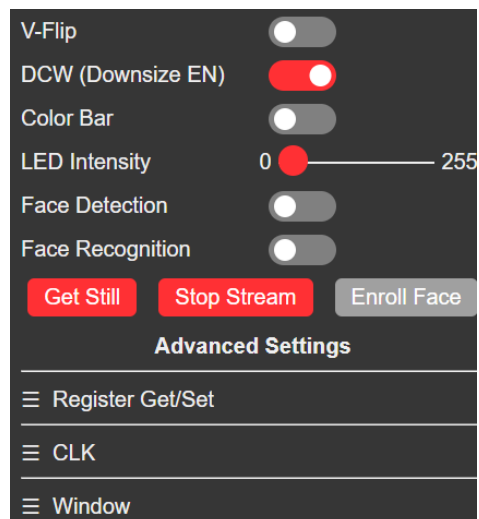
Рисунок 2.30 демонстрація передачі зйомки модуля ESP32 – CAM на стрімінговий WEB – Server

Для отримання якісного зображення на сервері, можна виконати налаштування на самому сервері за допомогою вбудованого інтерфейсу.

На рис.2.31 представлено інтерфейс керування зйомкою на сервері.



а)



б)

Рисунок 2.31 Інтерфейс керування зйомкою на сервері

Налаштування, які були використані при налаштуванні зйомки на сервері: Resolution, де змінювалось розширення камери; Contrast, де було налаштовано контраст і кнопка Start/Stop Stream для запуску та зупинки зйомки.

## ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було успішно здійснено конструювання макету промислового робота-маніпулятора. Розглянуто прототипи сучасних роботів-маніпуляторів, їх основні функції та характеристики. Проведений детальний аналіз існуючих рішень дозволив розробити оптимальну конструкцію макета робота-маніпулятора, яка забезпечує виконання поставленої задачі. Створена електрична схема в середовищі Easy EDA та програмне забезпечення розроблене в Arduino IDE для керування роботом-маніпулятором, засновані на використанні мікроконтролера Atmega 328P, забезпечили ефективне функціонування системи. Інтеграція різноманітних сенсорів дозволила підвищити точність та надійність роботи робота-маніпулятора, забезпечуючи зворотний зв'язок для коректної обробки даних.

Тестування підтвердило ефективність розробленого макету, який здатен виконувати поставлену задачу: здійснювати зйомку навколишнього середовища та передавати дані на сервер для подальшого аналізу. Це значно розширює функціональні можливості робота-маніпулятора, роблячи його корисним не лише у виробничих процесах, але й у дослідницьких та моніторингових завданнях.

Результати роботи можуть бути використані для подальшого розвитку робототехнічних систем, що сприятиме автоматизації виробничих процесів, підвищенню ефективності та зниженню витрат у промисловості. Виконана робота заклала основу для впровадження новітніх технологій у сфері робототехніки та підкреслила важливість інтеграції сучасних мікроконтролерів і сенсорних систем для створення високопродуктивних та надійних робототехнічних рішень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Конспект лекцій з дисципліни «Роботи та маніпуляції» [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [http://www.dgma.donetsk.ua/docs/kafedry/ptm/metod/rm/%D0%A0%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B8%20%D1%82%D0%B0%20%D0%9C%D0%B0%D0%BD%D1%96%D0%BF\\_%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/docs/kafedry/ptm/metod/rm/%D0%A0%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B8%20%D1%82%D0%B0%20%D0%9C%D0%B0%D0%BD%D1%96%D0%BF_%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82.pdf).
2. Історія розвитку робототехніки. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://nanitrobot.com/history-robotics/>.
3. Allison Marsh. In 1961, the First Robot Arm Punched In The era of industrial robots began with Unimate, at a GM plant in Trenton // *Appl.* **30 Aug 2022**; [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://spectrum.ieee.org/unimation-robot>.
4. Telefonica. Types of robots: classification, applications and examples [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.telefonica.com/en/communication-room/blog/types-of-robots-classification-applications-and-examples/>.
5. Truck Lutsk. Запчастини до вантажівок MAN, DAF, Renault Кран-маніпулятор ATLAS 100.1 A2 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://truck.lutsk.ua/1/index.php?productID=2988>.
6. Crobot. Промисловий робот маніпулятор CRP-RA07A-07 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://crobot.com.ua/promyslovyi-robot-manipulator-crp-ra07a-07/>.
7. ZoneTronik. Beginner's guide to key components in robotics projects // *Appl.* **November 22, 2023**. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.zonetronik.com/en/beginners-guide-to-key-components-in-robotics-projects/>.
8. Ahjané Forbes. Boston Dynamics' robot Atlas being billed as 'fully-electric humanoid': Watch it in action // *Published 3:15 p.m. ET April 18, 2024*. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.usatoday.com/story/tech/news/2024/04/18/boston-dynamics-atlas-robot/73369141007/>.
9. Bear Hugs. Emo Desktop AI Pet Robot. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://bearhugs.in/cdn/shop/files/emo-desktop-ai-pet-robot-bear-hugs-1.jpg?v=1714340595>.
10. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу . Лабораторія "Мікроконтролери" [Електронний ресурс]. - Режим доступу:

<https://nung.edu.ua/department/kafedra-avtomatizacii-ta-kompyuterno-integrovanikh-tehnologiy/laboratoriya-0>.

11. Автоматично керовані транспортні засоби (AGV) [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.jungheinrich.ua/системи/автоматично-керовані-транспортні-засоби/автоматично-керовані-транспортні-засоби-agv->.

12. Plant Automation Technology. Autonomous Mobile Robot (AMR) [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.plantautomation-technology.com/products/dematic/autonomous-mobile-robot-amr>.

13. Preetipadma K. Analytics Drift. Humanoid Robots: Hype for Economic Gains or Threat to Humans? // *Appl. November 9, 2022*; [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://analyticsdrift.com/humanoid-robots-hype-for-economic-gains-or-threat-to-humans/>.

14. James Temple.Vox. Putting a Friendlier Face on Robotics as Machines Learn to Do Your Job. The San Jose conference highlights the changing look and language of robotics // *Appl. Sep 30, 2014, 11:25 PM GMT+3*; [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.vox.com/2014/9/30/11631456/putting-a-friendlier-face-on-robotics-as-machines-learn-to-do-your>.

15. Тернопільський національний технічний університет. Промислові роботи [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://wiki.tntu.edu.ua/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D1%96\\_%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B8](https://wiki.tntu.edu.ua/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D1%96_%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B8).

16. Institute of Structural Design. Robotics Design Laboratory [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.tugraz.at/en/institutes/ite/robotics-design-laboratory/rdl-impressions>.

17. CLAAS Україна. Harsewinkel [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.claas.ua/pro-nas/many-places-one-passion/harsewinkel>.

18. Кемппі Україна. Промислові роботи. Класифікація промислових роботів [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://kemppi.in.ua/articles/promochlenie\\_roboti.htm](https://kemppi.in.ua/articles/promochlenie_roboti.htm).

19. Astra. Промислові роботи - тренди 2024 // *Опубл.27 лютого 2024 17:37*; [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://astra-s.com.ua/blog/promyshlennye-roboty-trendy-2024.html>

20. Ganesh Murugan. Slideshare. Robot manipulator. Robot, Manipulator, construction. parts, joints, principle, working // *Appl. Mar 26, 2018*; <https://www.slideshare.net/ganeshmrgn/robot-manipulator-91903399>.

21. Maplesoft. Position, Orientation and Coordinate Transformations [Електронний ресурс].-Режим доступу:

[https://www.maplesoft.com/content/EngineeringFundamentals/13/MapleDocument\\_13/Position,%20Orientation%20and%20Coordinate%20Transformations.pdf](https://www.maplesoft.com/content/EngineeringFundamentals/13/MapleDocument_13/Position,%20Orientation%20and%20Coordinate%20Transformations.pdf)

22. Л. К. Поліщук. Вінницький національний технічний університет. Верстатні комплекси. Проектування роботів та маніпуляторів Частина 1 [Електронний ресурс]. - Режим доступу:

[https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Polishchuk\\_P1\\_2018\\_132.pdf](https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Polishchuk_P1_2018_132.pdf)

23. Association for Advancing Automation.Sensors. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.automate.org/products/sensors>

24. Arduino Україна. Ультразвуковий дальномір HC-SR04 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://arduino.ua/art21-yltrazvykovoiv-dalnomer-hc-sr04>.

25. РадіоКухня. Модуль вимірювання температури KY-028 для Arduino.Детальніше [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://radiok.com.ua/ua/p910596462-modul-izmereniya-temperature.html>

26. GreenChip. KY-002 датчик вибрации для Arduino [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://radiok.com.ua/ua/p910596462-modul-izmereniya-temperature.html>.

27. Robotop.lv. Температура, Вологість, Тиск: BMP180 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.robotop.lv/temperatura-vlazhnost-davlenie/bmp180.html>.

28. Community Home Assistant. ESPHome Decibel Meter HW-484 KY-037 KY-038 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://community.home-assistant.io/t/esphome-decibel-meter-hw-484-ky-037-ky-038/487071>

29. РадіоТехПайка RT. Датчики та додаткові модулі. Датчик світла для Arduino lm393 Режим доступу: <https://rtp.com.ua/ru/catalog/arduino/datchyky-ta-dodatkovyi-moduli/lm393-datchyk-svitla-dlja-arduino>

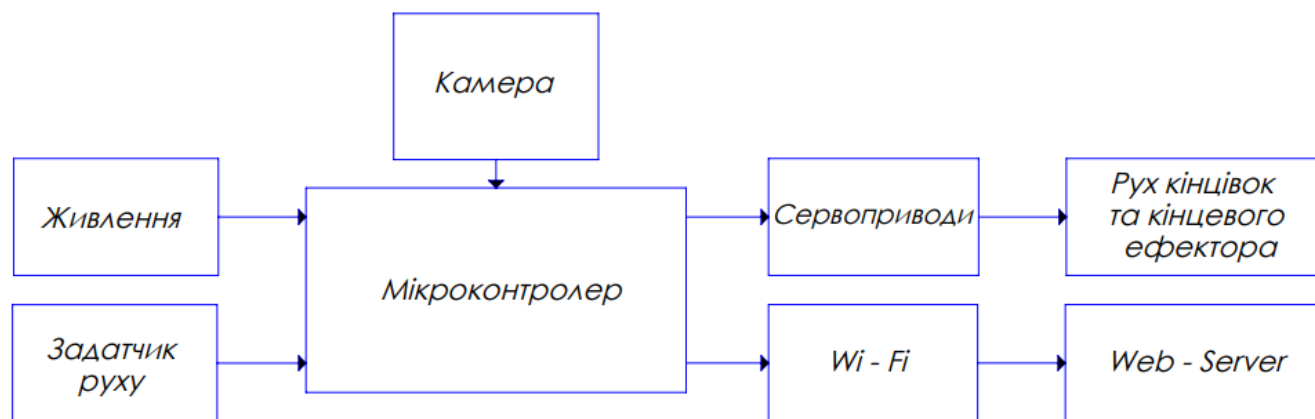
30. Janis Arents, Modris Greitans. Smart Industrial Robot Control Trends, Challenges and Opportunities within Manufacturing // *Appl. Sci.* **2022**, 12(2), 937; Arduino [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/app12020937>.

31. Kuan-Lin Li, Wu-Te Yang, Kuei-Yuan Chan & Pei-Chun Lin.SpringerPlus.SpringerOpen. An optimization technique for identifying robot manipulator parameters under uncertainty // *Received 08 June 2016, Accepted 28 September 2016, Published 12 October 2016*; Arduino [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3417-5>

32. RoboStore.Сервоприводи [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.robostore.com.ua/ua/detali-i-komplektuyushie-dlya-robototehniki/servoprivody/>
33. Arduino-Kit. Сервопривід Hitec HS422 Servo для Arduino. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://arduino-kit.com.ua/servoprivod-hitec-hs422-servo-dlya-arduino.html>
34. Arduino.ua. Сервопривід MG996R-180° [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://arduino.ua/ru/prod272-servoprivod-mg996r-180>
35. Mini-Tech. Сервопривід Tower Pro SG90 micro servo 9g. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.mini-tech.com.ua/servomotor-sg90>
36. Arduino.cc. Getting Started. What is Arduino? [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
37. Doc.Arduino.ua. Плати Arduino [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno>
38. Fmuser. Як працює потенціометр? Основи, символ, застосування, конус //Date:2021/10/18 21:55:3; Arduino [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://uk.fmuser.net/content/?14426.html>
39. EasyMusicCenter. Fender 099-0833-000 250K No Load Solid Shaft Potentiometer w/ .022mf Cap. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://easymusiccenter.com/products/fender-099-0833-000>
40. Mouser ELECTRONICS. 450T328C502A1A1 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://struny.com.ua/product/cts-a450g-250k-potenciometr/>
41. Інтернет-магазин "TRACKER-PI.COM.UA".Змінний резистор (потенціометр) 250кОм (WH148-B250K) моно L=20мм [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://tracker-pi.com.ua/ua/p576268205-peremennyj-rezistor-potentsiometr.html>
42. Мій проект. ESP32 CAM з камерою OV2640 Wi-Fi та Bluetooth [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://myproject.com.ua/esp32-cam-z-kameroju-ov2640-wifi-ta-bluetooth-ua.html>
43. DigiKey. ESP-EYE. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.digikey.lt/en/products/detail/espressif-systems/ESP-EYE/9838645>
44. M5STACK. HOME > STORE > [EOL] ESP32 Camera Module Development Board (OV2640). [Електронний ресурс]. - Режим доступу:<https://shop.m5stack.com/products/esp32-camera?variant=16804741316698>

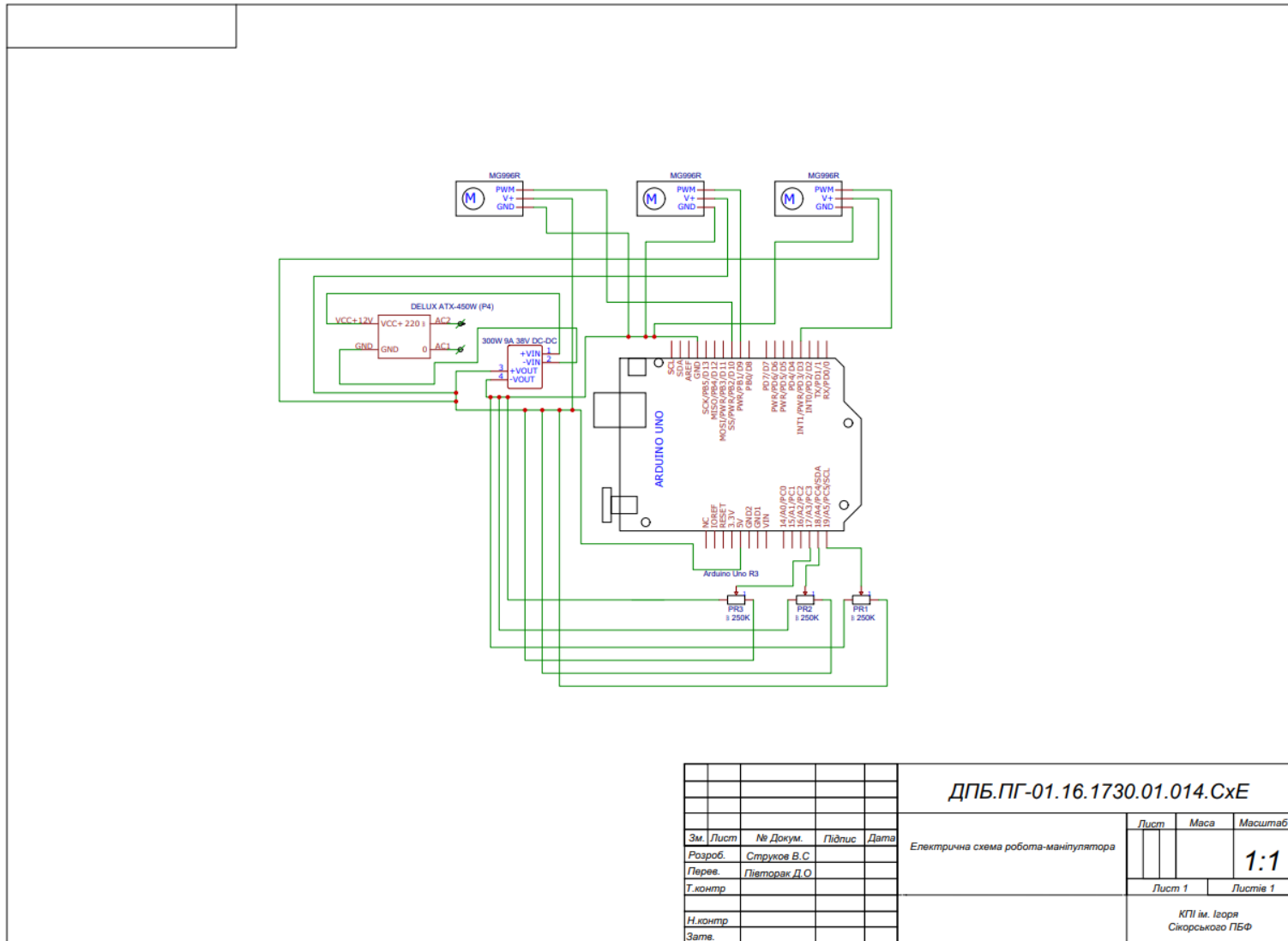
45. LILYGO. T-Camera Plus. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.lilygo.cc/products/t-camera-plus>
46. VikiWat. Блок живлення для ПК, АТХ-450W P4, 230 В змінного струму, 230 В [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://vikiwat.com/power-supply-for-pc-atx-450w-p4-230vac>
47. Вікіпедія. Понижуючий перетворювач напруги. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%B6%D1%83%D1%8E%D1%87%D0%B8%D0%B9\\_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D1%87\\_%D0%BD%D0%B0%D0%BF%D1%80%D1%83%D0%B3%D0%B8](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%B6%D1%83%D1%8E%D1%87%D0%B8%D0%B9_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D1%87_%D0%BD%D0%B0%D0%BF%D1%80%D1%83%D0%B3%D0%B8)
48. Ics&RobotGadgets.Step Down Module.DC-DC 400W High Power Supply Step Down Module CVCC 10.5V-60V to 0-45V Buck Voltage Converter [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.icstation.com/400w-high-power-supply-step-down-module-cvcc-105v-buck-voltage-converter-p-16074.html>
49. 3V3. Модуль XL4015 5A з радіатором buck step down DC-DC знижувальний перетворювач 8-36V / 1.25-32V [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://3v3.com.ua/product\\_8130.html](https://3v3.com.ua/product_8130.html)
50. Ardushop.Знижувальний DC-DC перетворювач LM2596S з регулюванням напруги та струму [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://ardushop.in.ua/arduino/lm2596s-dc-dc-buck-converter-with-adjustable-voltage-and-current>
51. Narazi.com.ua. 300Вт 9А 38В DC-DC перетворювач знижуючий [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://narazi.com.ua/product/300vt-9a-38v-dc-dc-preobrazovatel-ponizhayushhij/>
52. EasyEDA. About EasyEDA. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://easyeda.com/page/about>
53. 3Ddevice. Що таке SolidWorks та чим він цікавий [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://3ddevice.com.ua/ru/blog/3d-printer-obzory/obzor-programmy-solidworks/>
54. GrabCad.Library.Dof arm [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [https://grabcad.com/library?page=4&time=all\\_time&sort=recent&query=robot%20arm](https://grabcad.com/library?page=4&time=all_time&sort=recent&query=robot%20arm)

# ДОДАТОК А



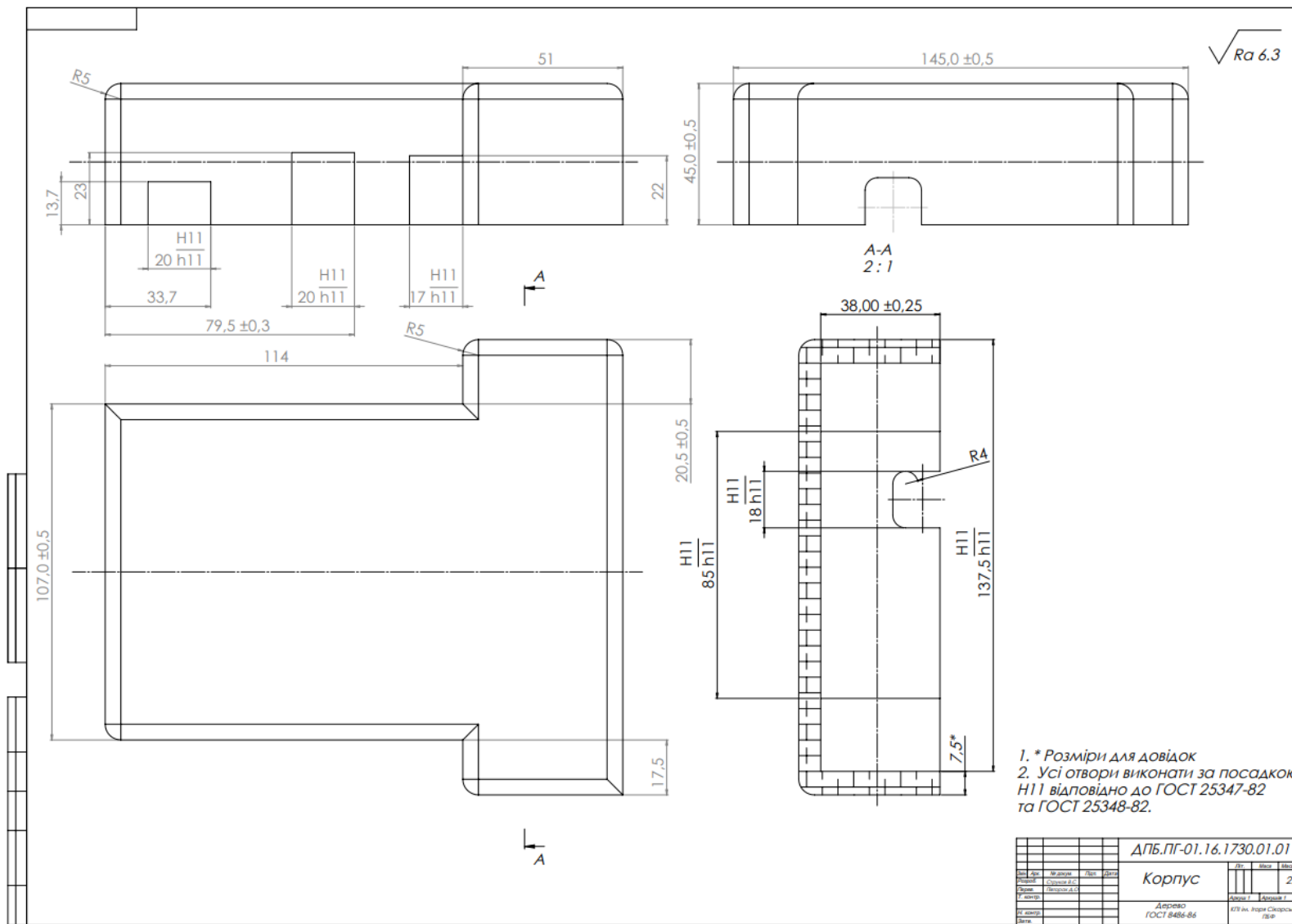
				ДБП.ПГ-01.16.1730.01.013.СхС			
Зам.Лист	№ докум.	Лист	Дата	Літ.		Маса	Масштаб
Розроб.	Струків В.С						1:1
Перев.	Піторак Д.О						
Т. контр.						Аркуш 1	Аркуше 1
Н. контр.						КПІ ім. Ігоря Сікорського ГБФ	
Затв.							

# ДОДАТОК Б

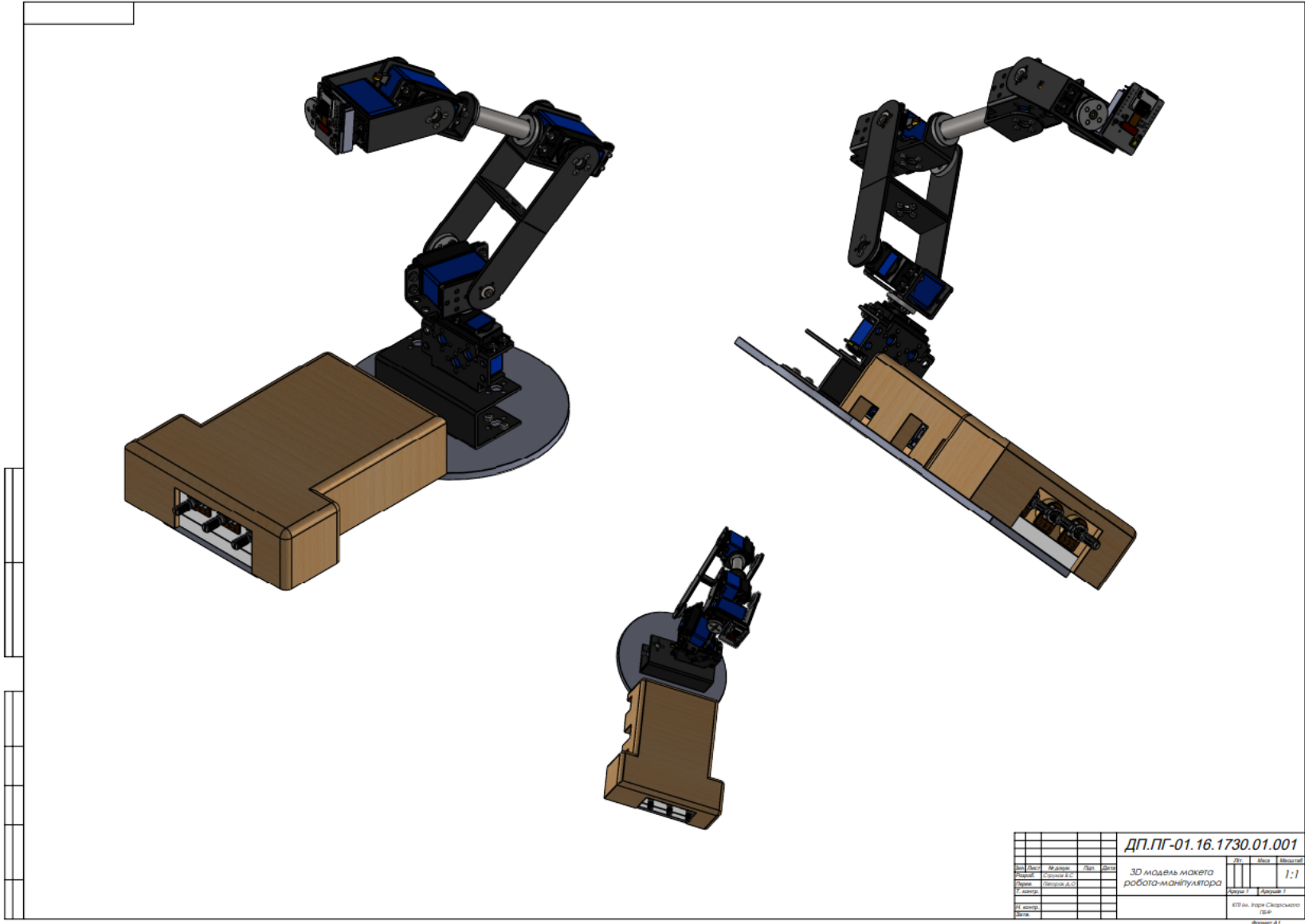


				<b>ДПБ.ПГ-01.16.1730.01.014.СхЕ</b>		
				Електрична схема робота-маніпулятора		
Зм. Лист	№ Докум.	Підпис	Дата	Лист	Маса	Масштаб
Розроб.	Струків В.С					<b>1:1</b>
Перев.	Пітєрчак Д.О					
Т.контр				Лист 1		Листів 1
Н.контр				КПІ ім. Ігоря Сікорського ПБФ		
Зам.						

# ДОДАТОК В

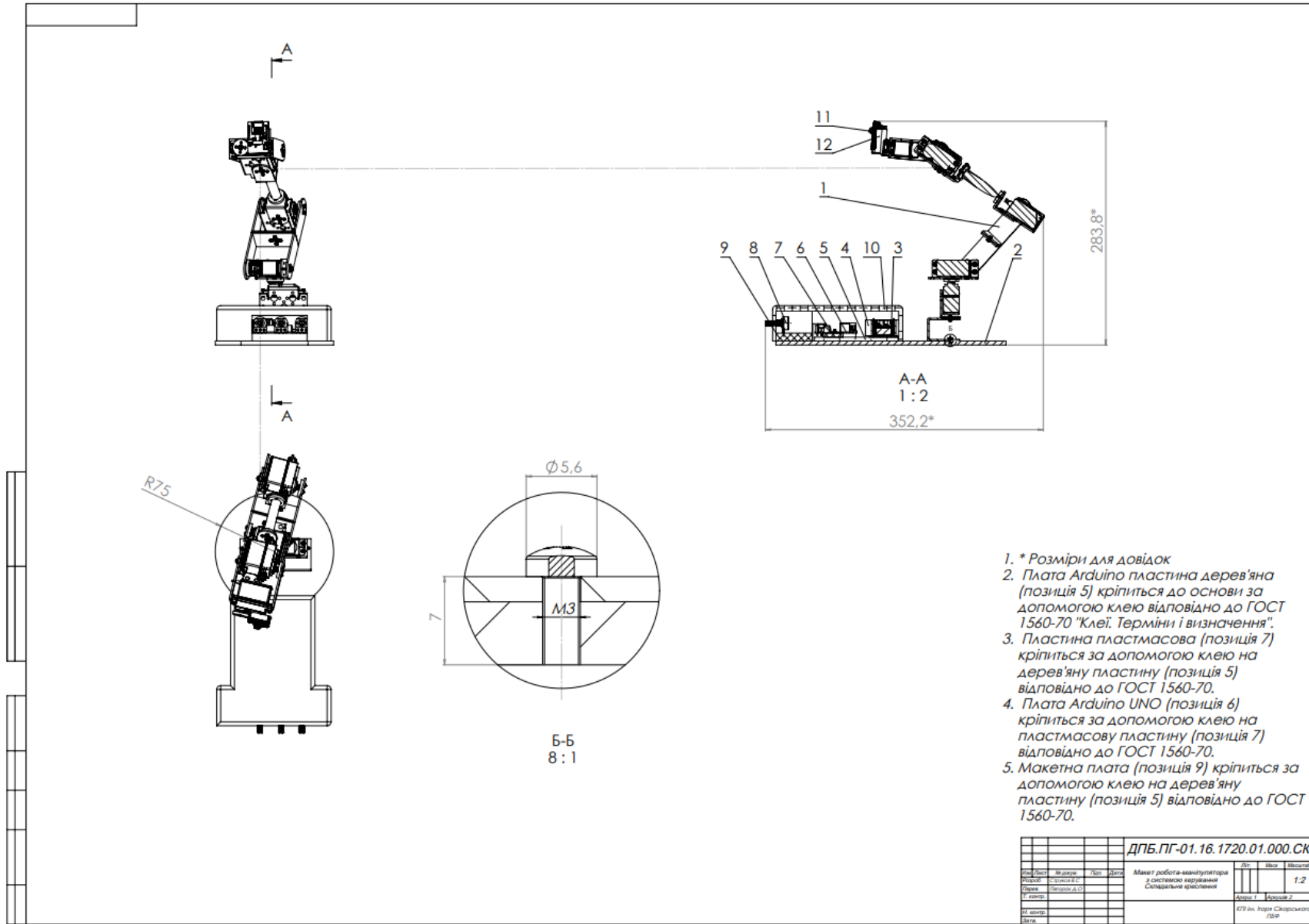


# ДОДАТОК Г



		<b>ДП.ПГ-01.16.1730.01.001</b>					
№ п/п	№ документа	Дата	Действ.	Дет.	Внес.	Масштаб	
1	01.16.1730.01.001	2016	1			1:1	
2	01.16.1730.01.001	2016	1				
3	01.16.1730.01.001	2016	1				
4	01.16.1730.01.001	2016	1				
5	01.16.1730.01.001	2016	1				
6	01.16.1730.01.001	2016	1				
7	01.16.1730.01.001	2016	1				
8	01.16.1730.01.001	2016	1				
9	01.16.1730.01.001	2016	1				
10	01.16.1730.01.001	2016	1				
11	01.16.1730.01.001	2016	1				
12	01.16.1730.01.001	2016	1				
13	01.16.1730.01.001	2016	1				
14	01.16.1730.01.001	2016	1				
15	01.16.1730.01.001	2016	1				
16	01.16.1730.01.001	2016	1				
17	01.16.1730.01.001	2016	1				
18	01.16.1730.01.001	2016	1				
19	01.16.1730.01.001	2016	1				
20	01.16.1730.01.001	2016	1				
21	01.16.1730.01.001	2016	1				
22	01.16.1730.01.001	2016	1				
23	01.16.1730.01.001	2016	1				
24	01.16.1730.01.001	2016	1				
25	01.16.1730.01.001	2016	1				
26	01.16.1730.01.001	2016	1				
27	01.16.1730.01.001	2016	1				
28	01.16.1730.01.001	2016	1				
29	01.16.1730.01.001	2016	1				
30	01.16.1730.01.001	2016	1				
31	01.16.1730.01.001	2016	1				
32	01.16.1730.01.001	2016	1				
33	01.16.1730.01.001	2016	1				
34	01.16.1730.01.001	2016	1				
35	01.16.1730.01.001	2016	1				
36	01.16.1730.01.001	2016	1				
37	01.16.1730.01.001	2016	1				
38	01.16.1730.01.001	2016	1				
39	01.16.1730.01.001	2016	1				
40	01.16.1730.01.001	2016	1				
41	01.16.1730.01.001	2016	1				
42	01.16.1730.01.001	2016	1				
43	01.16.1730.01.001	2016	1				
44	01.16.1730.01.001	2016	1				
45	01.16.1730.01.001	2016	1				
46	01.16.1730.01.001	2016	1				
47	01.16.1730.01.001	2016	1				
48	01.16.1730.01.001	2016	1				
49	01.16.1730.01.001	2016	1				
50	01.16.1730.01.001	2016	1				
51	01.16.1730.01.001	2016	1				
52	01.16.1730.01.001	2016	1				
53	01.16.1730.01.001	2016	1				
54	01.16.1730.01.001	2016	1				
55	01.16.1730.01.001	2016	1				
56	01.16.1730.01.001	2016	1				
57	01.16.1730.01.001	2016	1				
58	01.16.1730.01.001	2016	1				
59	01.16.1730.01.001	2016	1				
60	01.16.1730.01.001	2016	1				
61	01.16.1730.01.001	2016	1				
62	01.16.1730.01.001	2016	1				
63	01.16.1730.01.001	2016	1				
64	01.16.1730.01.001	2016	1				
65	01.16.1730.01.001	2016	1				
66	01.16.1730.01.001	2016	1				
67	01.16.1730.01.001	2016	1				
68	01.16.1730.01.001	2016	1				
69	01.16.1730.01.001	2016	1				
70	01.16.1730.01.001	2016	1				
71	01.16.1730.01.001	2016	1				
72	01.16.1730.01.001	2016	1				
73	01.16.1730.01.001	2016	1				
74	01.16.1730.01.001	2016	1				
75	01.16.1730.01.001	2016	1				
76	01.16.1730.01.001	2016	1				
77	01.16.1730.01.001	2016	1				
78	01.16.1730.01.001	2016	1				
79	01.16.1730.01.001	2016	1				
80	01.16.1730.01.001	2016	1				
81	01.16.1730.01.001	2016	1				
82	01.16.1730.01.001	2016	1				
83	01.16.1730.01.001	2016	1				
84	01.16.1730.01.001	2016	1				
85	01.16.1730.01.001	2016	1				
86	01.16.1730.01.001	2016	1				
87	01.16.1730.01.001	2016	1				
88	01.16.1730.01.001	2016	1				
89	01.16.1730.01.001	2016	1				
90	01.16.1730.01.001	2016	1				
91	01.16.1730.01.001	2016	1				
92	01.16.1730.01.001	2016	1				
93	01.16.1730.01.001	2016	1				
94	01.16.1730.01.001	2016	1				
95	01.16.1730.01.001	2016	1				
96	01.16.1730.01.001	2016	1				
97	01.16.1730.01.001	2016	1				
98	01.16.1730.01.001	2016	1				
99	01.16.1730.01.001	2016	1				
100	01.16.1730.01.001	2016	1				

# ДОДАТОК Д



Форм.	Зона	Поз.	Позначка	Найменування	Кіл.	Приміт.
				<u>Документація</u>		
A1			ДПБ.ПГ-01.16.1730.01..000.СК	Складальний кресленик	1	
				<u>Деталі</u>		
A1	20		ДПБ.ПГ-01.16.1730.01.011	Корпус	1	
	5		ДПБ.ПГ-01.16.1730.01.007	Пластина 1	1	
	22		ДПБ.ПГ-01.16.1730.01.010	Кріплення модуля ESP32-CAM	1	
	7		ДБП.ПГ-01.16.1730.01.008	<u>Пластина 2</u>	1	
	2		ДПБ.ПГ-01.16.1730.01.006	Основа	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
				Гвинт	12	
	3			ГОСТ ISO 7045 – М3 - 2013		
				<u>Покупні деталі</u>		
A1	1		ДПБ.ПГ-01.16.1730.01.001	Макет робота-маніпулятора	1	
	21		ДПБ.ПГ-01.16.1730.01.011	Модуль ESP32-CAM	1	
	4		ДПБ.ПГ-01.16.1730.01.002	Перетворювач 300W 9A 38V DC-DC	1	
	6		ДПБ.ПГ-01.16.1730.01.004	Плата Arduino UNO	1	
	8		ДПБ.ПГ-01.16.1730.01.005	Потенціометр B250K	3	
	9		ДПБ.ПГ-01.16.1730.01.009	Макетна плата	1	
<b>ДПБ.ПГ-01.16.1730.01.000.СП</b>						
Зм.	Лист	№докум.	Підп.	Дата		
Розроб.	Струков Р.І.				Літ.	Лист
Перев.	Півторак Д.О.					Листів
						1
<b>Макет робота-маніпулятора з системою керування</b>					КПІ ім. Ігоря Сікорського ПБФ	

## Програмний код

```
#include <Servo.h>

// Створюємо об'єкти для трьох сервоприводів
Servo servo1;
Servo servo2;
Servo servo3;

// Змінні для зберігання значень потенціометрів
int pot1Pin = A3;
int pot2Pin = A4;
int pot3Pin = A5;

// Змінні для зберігання поточних позицій сервоприводів
int currentPos1 = 0;
int currentPos2 = 0;
int currentPos3 = 0;

// Змінні для зберігання бажаних позицій сервоприводів
int targetPos1;
int targetPos2;
int targetPos3;

// Змінна для визначення швидкості руху сервоприводів
int stepDelay = 15; // Чим більше значення, тим повільніше рух

// Змінні для зберігання останнього часу виведення даних
unsigned long lastPrintTime = 0;
const unsigned long printInterval = 200; // Інтервал у мілісекундах
void setup() {
    // Прикріплюємо серводвигуни до відповідних пінів
    servo1.attach(9);
    servo2.attach(3);
```

```

servo3.attach(6);
// Ініціалізація серводвигунів у початкове положення
servo1.write(currentPos1);
servo2.write(currentPos2);
servo3.write(currentPos3);

// Ініціалізація серійного з'єднання для налагодження
Serial.begin(9600);
}
void loop() {
// Зчитуємо значення з потенціометрів
int potValue1 = analogRead(pot1Pin);
int potValue2 = analogRead(pot2Pin);
int potValue3 = analogRead(pot3Pin);
// Мапування зчитаних значень на діапазон 0-180
targetPos1 = map(potValue1, 0, 1023, 0, 180);
targetPos2 = map(potValue2, 0, 1023, 0, 180);
targetPos3 = map(potValue3, 0, 1023, 0, 180);

// Плавне оновлення позиції серводвигунів
smoothServoMove(servo1, currentPos1, targetPos1);
smoothServoMove(servo2, currentPos2, targetPos2);
smoothServoMove(servo3, currentPos3, targetPos3);
// Виведення значень через певний інтервал часу
if (millis() - lastPrintTime >= printInterval) {
    lastPrintTime = millis();
    // Виведення зчитаних значень для налагодження
    Serial.print("Pot1: ");

```

```

Serial.print(potValue1);
Serial.print(" | Pot2: ");
Serial.print(potValue2);
Serial.print(" | Pot3: ");
Serial.println(potValue3);
// Виведення мапованих значень для налагодження
Serial.print("Target1: ");
Serial.print(targetPos1);
Serial.print(" | Target2: ");
Serial.print(targetPos2);
Serial.print(" | Target3: ");
Serial.println(targetPos3);
}
// Невелика затримка для плавного руху
delay(stepDelay);
}

void smoothServoMove(Servo& servo, int& currentPos, int targetPos) {
  if (currentPos < targetPos) {
    currentPos++;
    servo.write(currentPos);
  } else if (currentPos > targetPos) {
    currentPos--;
    servo.write(currentPos);
  }
}
}

```