

Я, Соколов Тимофій Олександрович, як здобувач вищої освіти ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Я не використовував штучний інтелект для підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

"27" червня 2025 р

Тимофій Соколов

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет _____ АКТ
Кафедра _____ КІТАР
Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський)
Спеціальність _____ 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми _____ Освітньо-професійна
Освітня програма _____ Системна інженерія
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« 28 » квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Здобувачеві _____ Соколову Тимофію Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи віддаленого керування маніпулятором
Затверджена наказом по університету від 19.05.2025 р. №391 Ст
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 25.06.2025
3. Вихідні дані до роботи ESP32 WiFi + BLE 4.2 DevKitC ESP-WROOM 32D, Servo SG90, Макетна плата, дроти Dupont, Arduino IDE.
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі
 - 4.1 Вступ
 - 4.2 Аналіз предметної області
 - 4.3 Архітектура та алгоритми симуляції IoT-Середовищ
 - 4.4 Розроблення систем автоматизації для контролю доступу до охоронюваної зони з використанням технології IoT
 - 4.5 Вибір апаратної платформи
 - 4.6 Розробка макетів Wokwi та C++ веб-застосунку
 - 4.7 Висновки та перелік джерел посилань

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій

Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації

PowerPoint (*.ppt) 12 с. формату А4

1. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз предметної області	28.04-04.05.2025	виконано
2	Постановка задачі	05.05-10.05.2025	виконано
3	Створення моделей та візуальних схем для системи моніторингу роботизованої виробничої ділянки	11.05-17.05.2025	виконано
4	Створення програмного забезпечення для системи моніторингу роботизованої виробничої ділянки	18.05-25.05.2025	виконано
5	Розробка бази даних для системи. Розробка SQL-запитів для сервісної частини системи	26.05-31.05.2025	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	04.06-11.06.2025	виконано
7	Висновки та перелік джерел, посилань	26.06-27.06	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки	26.06-27.06	виконано

Дата видачі завдання 28 квітня 2025 р.

Здобувач _____ Тимофій СОКОЛОВ
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____ ас. Ганна САМОЙЛЕНКО
(підпис) (посада, власне ім'я, прізвище)

Пояснювальна записка: 51 с., 26 рис., 2 дод., 21 джерело.

СИСТЕМА ВІДДАЛЕНОГО КЕРУВАННЯ МАНІПУЛЯТОРОМ, МІКРОКОНТРОЛЕР ESP32, ВБУДОВАНА СИСТЕМА, ВЕБІНТЕРФЕЙС, СЕРВОДВИГУНИ, ЖИВЛЕННЯ, PWM-СИГНАЛ, АСИНХРОННИЙ ВЕБСЕРВЕР, КОРИСТУВАЧ, C++ (Arduino), HTML/JS.

Мета роботи полягає в розробці функціональної, доступної та зручної системи віддаленого керування роботизованим маніпулятором, яка дозволить здійснювати точне позиціонування виконавчих механізмів у реальному часі через веб-інтерфейс із будь-якого пристрою, підключеного до мережі.

Об'єкт розробки – процес розроблення системи віддаленого керування.

Предмет розробки – вбудована мікроконтролерна система керування роботизованим маніпулятором на базі ESP32 із вебінтерфейсом доступу.

Результат роботи – розроблено прототип системи дистанційного керування маніпулятором, який складається з мікроконтролера ESP32, п'яти сервомоторів, вузла живлення та інтерактивного вебінтерфейсу, що дозволяє керувати маніпулятором безпосередньо через браузер. Система успішно пройшла тестування на точність, швидкодію та стабільність, забезпечуючи інтерактивне керування рухами без затримок та з високою надійністю.

Проведені дослідження відповідають цілям сталого розвитку (ЦСР) 9, оскільки спрямовані на розвиток інновацій у сфері автоматизації, розширення доступу до сучасних цифрових технологій у навчанні, дослідженнях та промислових застосуваннях.

Explanatory note: 67 pages, 16 pictures, 2 application, 21 sources.

REMOTE CONTROL SYSTEM FOR A MANIPULATOR, ESP32 MICROCONTROLLER, EMBEDDED SYSTEM, WEB INTERFACE, SERVO MOTORS, POWER SUPPLY, PWM SIGNAL, ASYNCHRONOUS WEB SERVER, USER, C++ (Arduino), HTML/JS.

The purpose of the study is to develop a functional, affordable, and user-friendly system for remotely controlling a robotic manipulator, which enables precise positioning of actuators in real time via a web interface from any network-connected device.

Object of the development – the process of developing a remote control system.

Subject of the development – an embedded microcontroller-based system for controlling a robotic manipulator using the ESP32 platform with a web interface for access.

The result of the work is the development of a prototype of a remote control system for a manipulator, which consists of an ESP32 microcontroller, five servomotors, a power supply unit, and an interactive web interface that allows controlling the manipulator directly through a browser. The system has successfully passed testing for accuracy, speed, and stability, providing interactive control of movements without delays and with high reliability.

The conducted research aligns with the goals of sustainable development (SDG) 9, as it is aimed at fostering innovation in the field of automation, expanding access to modern digital technologies in education, research, and industrial applications.

Перелік умовних скорочень	6
Вступ	7
1 Аналіз предметної області	9
1.1 Технології та принципи побудови системи віддаленого керування ...	9
1.2 Рішення з рухомою платформою	10
1.3 Огляд роботизованих систем на основі конвеєрів	10
1.4 Порівняння систем з рухомою і стаціонарною платформою	18
2 Розробка конструкції маніпулятора з дистанційним керуванням	21
2.1 Розробка структурної схеми маніпулятора	21
2.2 Вибір компонентної бази	23
2.3 Аналіз характеристик ESP32	25
2.4 Аналіз характеристик серводвигунів SG90	26
3 Розробка програми дистанційного керування маніпулятором	27
3.1 Розробка схеми під'єднання серводвигунів до ESP32	27
3.2 Розробка конструкції і під'єднання усіх елементів	28
3.3 Опис використаних бібліотек для роботи з Arduino IDE	31
3.4 Розробка програми дистанційного керування серводвигунами	31
3.5 Створення візуальної моделі маніпулятора	37
Висновки	41
Перелік посилань	44
Додаток А Код програми	47
Додаток Б Демонстраційний матеріал	51

ПЛК – програмований логістичний центр;

AP – access point;

DOF – degrees of freedom;

IDE – integrated development environment;

IoT – internet of things;

GPIO – general-purpose input/output;

GND – ground;

PWM – pulse-width modulation;

QR код – двовимірний штрих;

RPA – robotic process automation;

SCADA – supervisory control and data acquisition

VIN – voltage input;

WIFI – wireless fidelit;

VMS – video management system;

VS – code visual studio code.

В умовах стрімкого розвитку промисловості та зростання рівня автоматизації виробничих процесів, особливого значення набуває ефективний моніторинг та контроль за роботою складних технологічних систем, таких як роботизовані виробничі ділянки (РВД). Впровадження робототехніки дозволяє підвищити продуктивність, знизити витрати та покращити якість продукції, проте ефективне управління такими ділянками вимагає сучасних інструментів для візуалізації, аналізу та оперативного реагування на події, що відбуваються [1].

Традиційні підходи до моніторингу, що базуються на локальних системах відеоспостереження та ручному зборі даних, часто є недостатньо гнучкими, інформативними та оперативними. Існує нагальна потреба у створенні інтегрованих систем, які б поєднували можливості візуального контролю з даними про стан обладнання та виробничі процеси, забезпечуючи централізований доступ до інформації для різних категорій користувачів.

У цьому контексті перспективним напрямком є використання хмарних технологій відеоспостереження, які пропонують значні переваги щодо масштабованості, доступності та зниження витрат на інфраструктуру. Інтеграція таких систем з веб-додатками відкриває нові можливості для створення зручних та функціональних інструментів моніторингу, доступних з будь-якого підключеного до мережі пристрою [1].

Актуальність теми дослідження визначається зростаючою потребою підприємств у ефективних засобах контролю та управління роботизованими виробничими ділянками, а також потенціалом використання хмарних технологій для створення гнучких та масштабованих систем моніторингу.

Метою даної роботи є розробка концепції веб-додатку для моніторингу роботизованої виробничої ділянки, інтегрованого з хмарною системою відеоспостереження.

Для досягнення цієї мети були поставлені наступні завдання:

- провести аналіз предметної області моніторингу роботизованих виробничих ділянок та існуючих рішень;
- визначити функціональні та нефункціональні вимоги до веб-додатку;
- створити моделі та візуальні схеми системи моніторингу, включаючи діаграму прецедентів, модель предметної області та діаграму класів;
- розробити структуру бази даних для зберігання інформації, необхідної для функціонування веб-додатку;
- визначити засоби розробки та мову програмування для створення сервісної частини системи;
- розробити основні SQL-запити для забезпечення взаємодії сервісної частини з базою даних.

Об'єктом розробки є процес моніторингу роботизованої виробничої ділянки.

Предметом розробки є інформаційні технології для розробки компонентів інформаційної системи моніторингу роботизованої виробничої ділянки у складі бази даних та вебінтерфейсу доступу до неї з використанням хмарної системи відеоспостереження.

Практичне значення роботи полягає у розробці концепції веб-додатку, який може слугувати основою для створення реальної системи моніторингу, що дозволить підвищити ефективність управління роботизованими виробничими процесами на підприємствах.

Кваліфікаційну роботу виконано згідно вимог ДСТУ 3008 – 15 [2] та керуючись положенням про протидію плагіату [3] і методичними вказівками з написання кваліфікаційної роботи бакалавра [4].

1.1 Технології та принципи побудови системи віддаленого керування

У галузі агропромислового комплексу активно розвиваються технології автоматизації та роботизації, зокрема з використанням маніпуляторів для посадки та догляду за рослинами. Існують як великогабаритні сільськогосподарські машини, так і настільні автоматизовані установки для лабораторного застосування. Більшість комерційних рішень мають обмежену гнучкість і вимагають складної налаштування. Водночас індивідуальні розробки на базі Arduino та Raspberry Pi, ESP32, дають змогу створити доступні пристрої, що адаптуються під конкретні потреби. Дистанційне керування (через Wi-Fi, Bluetooth або радіоканал) дає змогу оператору здійснювати контроль над процесом без необхідності фізичної присутності у полі, що особливо важливо в умовах теплиць або важкодоступних ділянок.

Сучасне сільське господарство вимагає ефективних рішень для автоматизації трудомістких процесів, зокрема пересаджування рослин. Ручне виконання цієї операції потребує багато часу та фізичних зусиль, що знижує продуктивність праці.

Використання роботизованих маніпуляторів з дистанційним керуванням дозволяє значно підвищити ефективність пересадки, зменшити людський фактор і підвищити точність виконання операцій.

Особливо актуальним є застосування таких систем у тепличних господарствах, дослідницьких агролабораторіях, а також на невеликих фермах, де автоматизація має вирішальне значення для конкурентоспроможності.

Таким чином, розробка маніпулятора з дистанційним керуванням для пересаджування рослин є актуальним завданням, яке поєднує робототехніку, агротехнології та системи керування, підвищити загальну ефективність виробництва.

При розробці системи віддаленого керування ключовим завданням є

забезпечення надійного каналу зв'язку між оператором і виконавчим¹⁰ механізмом. Для цього можуть бути використані різноманітні технології – Wi-Fi, Bluetooth, LoRa, ZigBee або мобільні мережі (4G/5G), вибір яких залежить від умов експлуатації, відстані та потреб у швидкості обміну даними.

Програмно-апаратна архітектура системи передбачає наявність мікроконтролера (наприклад, ESP32 чи STM32), який приймає команди з інтерфейсу керування, обробляє їх та передає на серводвигуни або інші приводи маніпулятора. Такий підхід дозволяє реалізувати як пряме ручне керування, так і запрограмовані сценарії дій.

Користувацький інтерфейс, реалізований у вигляді мобільного додатку або вебдодатку, забезпечує зручний доступ до управління пристроєм з будь-якої точки, де є інтернет. Він може містити функціонал для ручного керування, налаштування параметрів маніпулятора, відображення телеметрії та відео з камери в режимі реального часу.

Особливу увагу також слід приділити механізмам безпеки – шифрування даних, автентифікація користувача, захист від втрати зв'язку, що забезпечує стабільну та безпечну роботу системи навіть у складних умовах.

1.2 Огляд роботизованих систем із рухомою основою

Деякі системи для пересаджування рослин базуються на мобільних платформах, які можуть автономно переміщатися між рядами рослин. Такі системи мають перевагу в стабільності роботи, завдяки своїй конструкції і мобільність завдяки можливості переміщення по напрямних рейсах, або наявності декількох колес. Однією з важливих переваг є кількість оброблених рослин.

Розглянемо для прикладу таку систему, як Agrobot SW6010 (рис. 1.1) створена з алюмінієвого каркасу, напрямних рейок, колес і електроприводом. Ця система дозволяє виконувати різні маніпуляції з рослинами, пересаджування рослин, розміщення саженців і лотків. Керування відбувається за допомогою пульта або панелі, з можливістю корегування швидкості переміщення.



Рисунок 1.1 – Agrobot SW6010

Оцінка розроблення системи віддаленого керування, зокрема на прикладі Agrobot SW6010, дозволяє виявити як переваги, так і потенційні обмеження такого підходу.

Визначимо переваги:

- гнучкість управління – оператор може керувати маніпулятором з безпечної або зручної відстані, зменшуючи потребу в постійній фізичній присутності;
- підвищення продуктивності – автоматизація процесу пересадки дозволяє виконувати більше дій за одиницю часу;
- зменшення впливу людського фактора – мінімізується ризик помилок, пов'язаних із втомою чи неуважністю оператора;
- можливість інтеграції з іншими технологіями – наприклад, з комп'ютерним зором, сенсорами середовища або аналітичними модулями;
- комфорт оператора – можливість керування через панель або пульт із налаштуванням швидкості додає зручності та контролю.

Тепер визначимо недоліки:

- складність налаштування та технічного обслуговування – вимагає відповідних знань і навичок, особливо у частині підключення, прошивки та

калібрування;

- залежність від якості зв'язку – при нестабільному з'єднанні може втрачатися сигнал, що потенційно впливає на безпеку процесу;

- вартість компонентів – хоча загалом рішення є доступними, повноцінна система може містити дорогі елементи, наприклад приводи, датчики чи модулі зв'язку;

- обмеження в масштабуванні – не всі системи легко адаптуються до більших площ або змінених агротехнологічних сценаріїв;

- енергоспоживання – при тривалому автономному використанні виникає потреба в ефективних джерелах живлення.

Також, однією з існуючих систем для пересадки, також для збору плодів рослин є Ostinion Rubion (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Ostinion Rubion

Робота Ostinion Rubion полягає в ідентифікації і зборі спілих плодів, а також переміщення в задані місця такі об'єкти як горщик з рослинами. Є повністю автономною системою, котра складається з рухомої платформи і руки-маніпулятора. Здійснює навігацію по робочій зоні за допомогою камери та вбудованої системи GPS. Одним із його мінусів є важливість розміщення

рослин на оптимальній висоті для роботи, котра буде дозволяти коректну роботу¹³ руці маніпулятора.

Визначено переваги Ostinion Rubion:

– високоспеціалізована функціональність – Rubion розроблено спеціально для делікатного збору полуниці, з урахуванням її стиглості, положення та розміру, що значно знижує пошкодження врожаю;

– інтелектуальне керування – система оснащена комп'ютерним зором і алгоритмами машинного навчання, що дозволяє розпізнавати стиглі плоди та визначати траєкторію маніпулятора;

– повна автоматизація процесу – керування здійснюється не лише віддалено, а й в автономному режимі, що мінімізує участь людини;

– точність і повторюваність дій – завдяки прецизійним сервоприводам робот може працювати стабільно, незалежно від умов навколишнього середовища;

– можливість масштабування – модульність системи дозволяє налаштувати її під різні сорти ягід та умови культивування.

Визначимо недоліки Ostinion Rubion:

– вузька спеціалізація – пристрій оптимізовано саме для збору ягід, що обмежує його універсальність у загальному агровиробництві (наприклад, він не підходить для пересаджування рослин або догляду за ними);

– висока вартість впровадження – складна апаратна частина і програмне забезпечення з комп'ютерним зором робить систему дорогою для дрібних фермерів;

– складність у техобслуговуванні – через складну електроніку та софт, обслуговування потребує висококваліфікованого персоналу;

– чутливість до зовнішніх факторів – робот найефективніший у тепличних умовах; у відкритому полі з непередбачуваними умовами його точність може знижуватись;

– обмежена гнучкість у зміні культури – налаштування під інші типи плодів або маніпуляцій вимагають серйозного переоснащення чи перепрограмування.

Тож, мобільні роботизовані системи відіграють важливу роль у розвитку сучасних агротехнологій. Вони дозволяють зменшити залежність від ручної праці, підвищити продуктивність завдяки точності виконання операцій і дають змогу інтегрувати новітні технології штучного інтелекту та автономної навігації.

1.3 Огляд роботизованих систем на основі конвеєрів

Інший підхід базується на використанні стаціонарних маніпуляторів, розташованих вздовж рухомих конвеєрних стрічок. Рослини переміщуються по конвеєру, а маніпулятор здійснює їх пересадку або обробку у визначених точках. Такі системи часто застосовуються у великих тепличних господарствах для обробки великої кількості рослин одночасно. Переваги стаціонарних систем:

- висока продуктивність за рахунок безперервного потоку рослин;
- простота обслуговування та налаштування;
- можливість масштабування системи за рахунок збільшення кількості маніпуляторів або довжини конвеєра. Існують як великогабаритні сільськогосподарські машини, так і настільні автоматизовані установки для лабораторного застосування;

Більшість комерційних рішень мають обмежену гнучкість і вимагають складної налаштування. Водночас індивідуальні розробки на базі Arduino та Raspberry Pi дають змогу створити доступні пристрої, що адаптуються під конкретні потреби. Дистанційне керування (через Wi-Fi, Bluetooth або радіоканал) дає змогу оператору здійснювати контроль над процесом без необхідності фізичної присутності у полі, що особливо важливо в умовах теплиць або важкодоступних ділянок.

Одним із прикладів подібних рішень є Urbinati RW32 (рис. 1.3), система котра складається з великої кількості невеличких маніпуляторів котрі за допомогою захватів здатні пересаджувати велику кількість рослин в спеціальні підготовлені лотки з ячейками



Рисунок 1.3 – Urbinati RW32

Такий принцип роботи, як в Urbinati RW32 надає можливість обробленню великої кількості рослин, близько 40 000 на годину, також відкриває можливості модульності системи і адаптації під різні види і розміри рослин.

Має обмежену гнучкість, і навіть завдяки своїй модульності все ще має обмеження в варіативності і сценаріях роботи, корисний в обробленні замовлень з великою кількістю рослин.

Визначено переваги Urbinati RW32:

Висока швидкість роботи – пристрій здатен пересаджувати десятки тисяч рослин на годину, що значно скорочує час на операції.

– точність і повторюваність – механізм працює з високою точністю, забезпечуючи однакову глибину та положення саджанців;

– надійність і довговічність конструкції – італійська якість збірки та використання міцних матеріалів забезпечують стабільну роботу пристрою протягом тривалого часу;

– легке налаштування – машина має зручні регулювання для адаптації під різні типи касет, ґрунтів і розсади;

– підтримка автоматизації виробничої лінії – легко інтегрується з іншими машинами (ґрунтозаповнювачами, поливальними системами тощо);

– зменшення ручної праці – оператору потрібно лише подавати касети й контролювати процес, що знижує навантаження на персонал.

Визначено недоліки Urbinati RW32:

- обмежена гнучкість у завданнях – призначена переважно для пересадки, не підходить для догляду чи збору плодів;
- потребує підготовки субстрату та розсади певної якості – неякісна розсада може призвести до помилок при пересаджуванні;
- фіксовані робочі параметри – хоча налаштування можливе, автоматична адаптація до різних умов обмежена (на відміну від роботів з II);
- висока вартість для малих виробництв – потребує інвестицій, що не завжди доступно дрібним фермерам;
- не підтримує віддалене керування чи дистанційний моніторинг – керування здійснюється на місці, через фізичний інтерфейс.

Далі в якості прикладу наведено машини Viscon Transplanting Machines (рис. 1.4). Більш детальною розробкою є машини Viscon Transplanting Machines, це лінійки автоматизованих систем для пересадки сіянців та заповнення лотків. В більшості випадків працюють як цілісна система котра складається з окремих машин, такі машини дозволяють, автоматичну пересадку з можливістю оцінки якості сіянців і відсіювання непридатних, також є гарним рішенням в випадку пересаджування великої кількості рослин за короткий час.

Обробляє до 20 000 рослин на годину, є більш компактні моделі і моделі з мануальним пересаджуванням за допомогою QR-кодів.

Мають модульну структуру, з можливістю додавання модулів під різні задачі.

Складається з великої кількості маніпуляторів котрі виконують пересадку рослин, камери котра пристосована для оцінки якості насіння, сенсорних ПЛК, має можливість до зміни програми пересадки, вбудовано близько 100 комбінацій.



Рисунок 1.4 – Viscon Transplanting Machines

Найбільшою особливістю цього проекту є можливість поєднання з іншими системами для виконання різних задач, таких як, посадка, пересадка і транспортування.

Визначимо переваги Viscon Transplanting Machines:

- висока продуктивність – здатні пересаджувати до кількох тисяч рослин на годину, що ідеально підходить для масштабного виробництва;
- модульна конструкція – легко адаптуються під різні типи касет, розсади та упаковок без повного переобладнання;
- гнучке програмування – сучасні моделі мають інтерфейси для налаштування швидкості, глибини пересадки, циклічності роботи;
- інтеграція в автоматизовані лінії – чудово поєднуються з іншими машинами Viscon (наповнювачі, поливальні системи, пакувальні модулі);
- мінімізація ручної праці – операції з подачею та сортуванням можуть бути повністю автоматизовані, що знижує людський фактор;
- стабільна якість пересадки – точне позиціонування та рівномірна обробка забезпечують високий відсоток приживлюваності.

Недоліки Viscon Transplanting Machines:

- висока вартість впровадження – професійне обладнання призначене для

великих підприємств, малим господарствам доступ обмежений;

– великі габарити та потреба у виробничих площах – установка потребує достатньо простору для ефективної роботи та обслуговування;

– залежність від стандартизованої розсади – нестандартні розміри рослин або касет можуть вимагати додаткових налаштувань або змін конфігурації;

– необхідність навчання персоналу – хоча керування інтуїтивне, обслуговування і діагностика систем вимагають технічної підготовки;

– обмежена мобільність – пристрої стаціонарні, тому не підходять для польових умов або невеликих ферм.

Огляд стаціонарних роботизованих систем на базі конвеєрів демонструє їх високу ефективність у вирішенні завдань масової пересадки рослин в умовах промислового або тепличного виробництва. Завдяки безперервному потоку обробки, ці системи забезпечують значну продуктивність при збереженні точності і повторюваності дій.

Загалом, конвеєрні пересаджувальні платформи є доцільним вибором для підприємств із великими обсягами виробництва, де на перший план виходять швидкість, надійність і узгоджена інтеграція в єдиний технологічний цикл.

1.4 Порівняння систем з рухомою і стаціонарною платформою

Стаціонарні системи для пересадки, найкраще підходять для великих підприємств із стандартизованим об'ємом роботи і робочим циклом, там де критично важлива швидкість і точністю. У свою чергу, системи з рухомою платформою надають більшу гнучкість, особливо в обмеженому просторі або комбінації роботи людини і автоматизованої системи.

Стаціонарні системи надають свою перевагу в високій продуктивності, точності швидкості і кількості. Застосовуються в масовому вирощуванні і пересадці рослин. ми без залучення зовнішніх хмарних сервісів. В той самий час мають суттєві недоліки, такі як, висока вартість обладнання і робочої інфраструктури, необхідність стандартизації робочого процесу, часто чітко визначених розмірів рослин і контейнерів для пересадки, великі обмеження в

мобільності під поглядом повного фіксування системи на конкретній точці¹⁹ робочого простору.

Конструкція таких стаціонарних систем полягає в несучій частині установки, її каркасі котра виконується з металевих профілів на якій кріпляться функціональні вузли, створюється з можливістю додавання змінних модулів, це полегшує модернізацію та обслуговування. Транспортна система базується на використанні конвеєрів, підготовлених спеціальних лотків або контейнерів для розсади. Найважливішу частину роботи виконує спеціальний модуль-маніпулятор, котрий складається з захватів котрий виконує підйомно-переміщувальні роботи, робить вертикальні і горизонтальні рухи, керується за допомогою серводвигунів або пневмоциліндрів котрі потребують насосів для своєї роботи. Мають оптичні датчики для визначення позиції рослини для пересадки, не рідко мають камери для аналізу якості рослин, і більш точного керування. Дозволяють віддалене діагностування системи за допомогою під'єданого до мережі або дроту комп'ютера. Можуть включати в собі щітки або повітряні механізми для очищення контейнерів, для видалення залишків ґрунту і повторного використання.

Їх принцип роботи полягає в автоматичному подаванні розсадних касет, контейнерів, до зони захвату де захватна установка опускається і одночасно схоплює сіянці і подає до наступного контейнера, котрий автоматично замінюється на інший. Порожні контейнери повертаються до циклу після очищення від ґрунту.

Натомість системи з рухомою платформою пропонують можливість переміщення по робочій площині і можуть мати вбудовані акумулятори котрі дають змогу такій системі знаходитись в роботі годинами, і дозволяє можливість автоматичного зарядження на певних станціях. Їх основною перевагою є гнучкість в роботі і обслуговуванні, на відмінну від стаціонарних систем є більш дешевим варіантом. Не потребують багато місця, а навпаки гарно справляються в обмеженому просторі. Їх найбільший мінус це менша кількість і швидкість оброблення рослин. І їх стабільність роботи.

Типова конструкція системи з рухомою платформою складається з

основних модулів, таких як ходова частина, котра складається з привідних колес²⁰ з електродвигунами або гідромоторами, напрямних роликів для платформ рух котрих обмежується рейками. Можуть мати гусеничну ходову частину, котра дає змогу краще пересуватись на непідготовлених ділянках роботи. Живлення найчастіше становить акумуляторна батарея котра забезпечує автономну роботу протягом від кількох годин до цілого дня. Мають раму платформи котра виконана з різних металів, найчастіше алюмінії для достатньої жорсткості і несучої здатності системи.

Вибір оптимального рішення залежить від багатьох факторів таких як, масштаби виробництва, тип рослин, бюджету і в площі приділеного на них простору. Основну частину роботи виконує механізм пересадки котрий найчастіше має спеціальний маніпулятор з захватом керованим серводвигунами, часто обладнаний камерами для більш точної обробки росли, модулем контролю глибини для кращої пересадки рослини. Окремо можуть мати зарядні станції для більш автономної роботи без допомоги зі сторони людини.

Принцип роботи полягає в самостійній обробці завдяки віддаленому або автоматичному керуванню за допомогою системи GPS, та датчиків руху і розташування в просторі. Такий маніпулятор автоматично визначає розмір і положення рослини для подальших маніпуляцій, пересаджує в необхідну зону і рухається далі, може робити прості можливості поливу що збільшують його можливості, додаткова модульність самого маніпулятора може дозволяти відрізати не якісні, пересушенні кінцівки рослини, поливати в разі потреби.

2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ МАНІПУЛЯТОРА З ДИСТАНЦІЙНИМ КЕРУВАННЯМ

2.1 Розробка структурної схеми маніпулятора

Розробка структурної схеми (рис. 2.1) залежить від визначення призначення проекту, призначення полягає в розробці автоматичного маніпулятора для віддаленого керування пересадкою рослин і розробці призначеного для цього модуля.

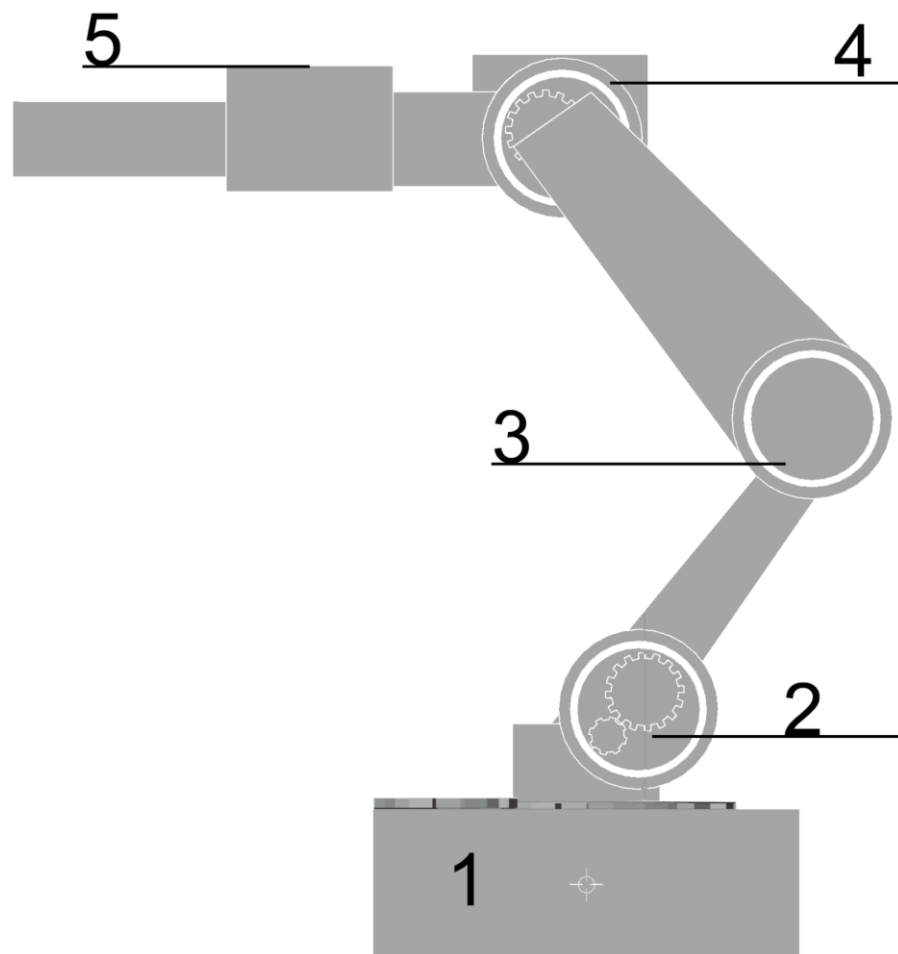


Рисунок 2.1 – Розроблена структурна схема маніпулятора

Структурна схема буде складатися з елементів кожен з котрих відповідає конкретній частині механізму.

Перший елемент схеми під номером 1 відповідає несучій конструкції,

платформі всередині котрої знаходиться серводвигун і плата котра відповідає за логіку керування маніпулятором і забезпечує дистанційний зв'язок за допомогою мережі, також на цій платформі знаходиться шестерня котра передає рух до маніпулятора, створює змогу обертам коло своєї осі.

Під номерами 2, 3 і 4 знаходяться елементи котрі поєднують рухомі частини конструкції і забезпечують DOF, також під кожним із них знаходиться по одному серводвигуну котрі під'єднанні до плати.

Під номером 5 знаходиться спеціальний модуль для пересадки рослин і серводвигун котрий забезпечує горизонтально-вертикальні рухи для вибору більш кращого куту перед зануренням в ґрунт.

Розроблена структурна схема роботи програми наведена на рис. 2.2.

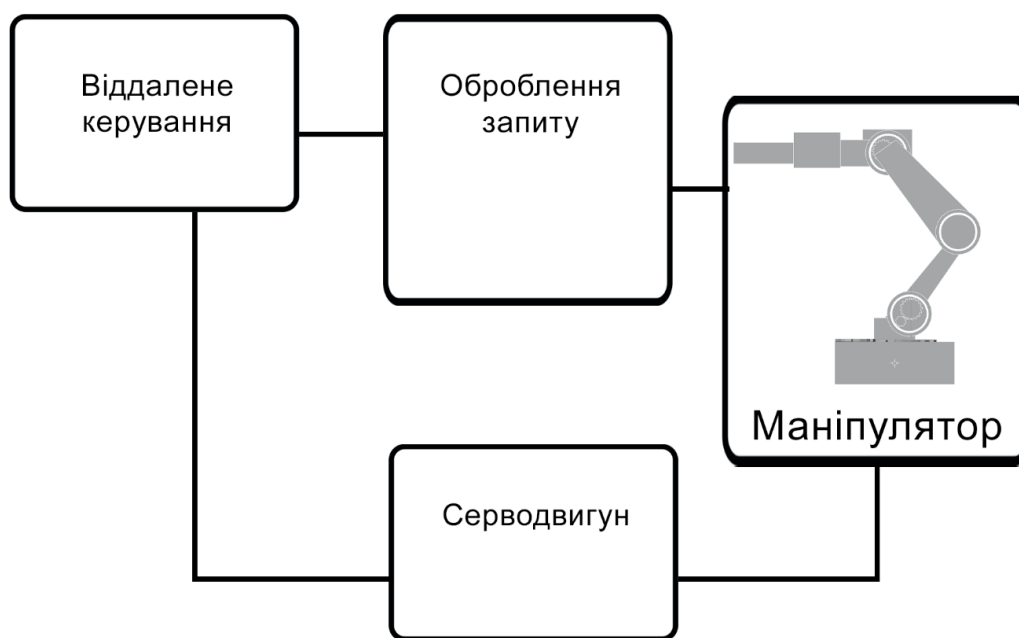


Рисунок 2.2 – Розроблена структурна схема роботи програми

Дистанційне керування буде інтерфейсом з котрого користувач надсилає запит, в даному випадку через веб сервер, надсилає команду котра попадає в оброблення запиту на плату ESP32, котра під час оброблення передає сигнал серводвигунам, приводить їх в дію, вони змінюють свою позицію і відправляють результат на самий до користувача, показуючи йому актуальний кут нахилу, після чого серводвигуни очікують наступних команд користувача, особливість асинхронного керування дозволяє керувати декількома серводвигунами

водночас.

У структурі також передбачена зворотна передача даних – після виконання команди, модуль ESP32 відправляє оновлену інформацію через веб-інтерфейс до користувача. Це дозволяє оператору бачити в режимі реального часу, чи успішно виконано переміщення, і в разі потреби оперативно вносити коригування.

На стороні веб-клієнта реалізовано графічний інтерфейс, який надає можливість не лише подавати команди (наприклад, «поворот на 30°»), а й візуалізувати поточне положення кожного серводвигуна. Такий підхід значно підвищує зручність керування та дозволяє краще контролювати процес.

Асинхронна логіка обміну повідомленнями, реалізована з використанням WebSocket або HTTP-запитів, гарантує швидкий обмін інформацією без перевантаження каналу зв'язку. Це особливо важливо при одночасному керуванні кількома приводами, оскільки дозволяє кожному з них працювати незалежно, реагуючи лише на свої команди.

У випадку використання сенсорів (наприклад, енкодерів або датчиків положення), схема може бути доповнена блоком зчитування телеметрії, що дозволяє відстежувати фізичні параметри руху: точне положення, швидкість та зусилля. Також доцільно передбачити блок обробки помилок, який фіксує збої в роботі або перевищення параметрів і відправляє повідомлення користувачу.

2.2 Вибір компонентної бази

Центральним елементом системи було обрана плата ESP32-WROOM-32 (рис. 2.3), яка забезпечує логіку програми, передачу сигналу до серводвигунів і під'єднання до мережі та сумісність з Arduino IDE, що і було найбільшою перевагою при виборі плати.

Другим елементом по важливості є серводвигуни котрі будуть здатні привести в рух маніпулятор, для розробки проекту було обрано серводвигуни SG90, 5 штук для забезпечення більшого функціоналу маніпулятора. Мають широку підтримку бібліотек Arduino і обраною платою, мають низьку вартість, легкі і компактні.

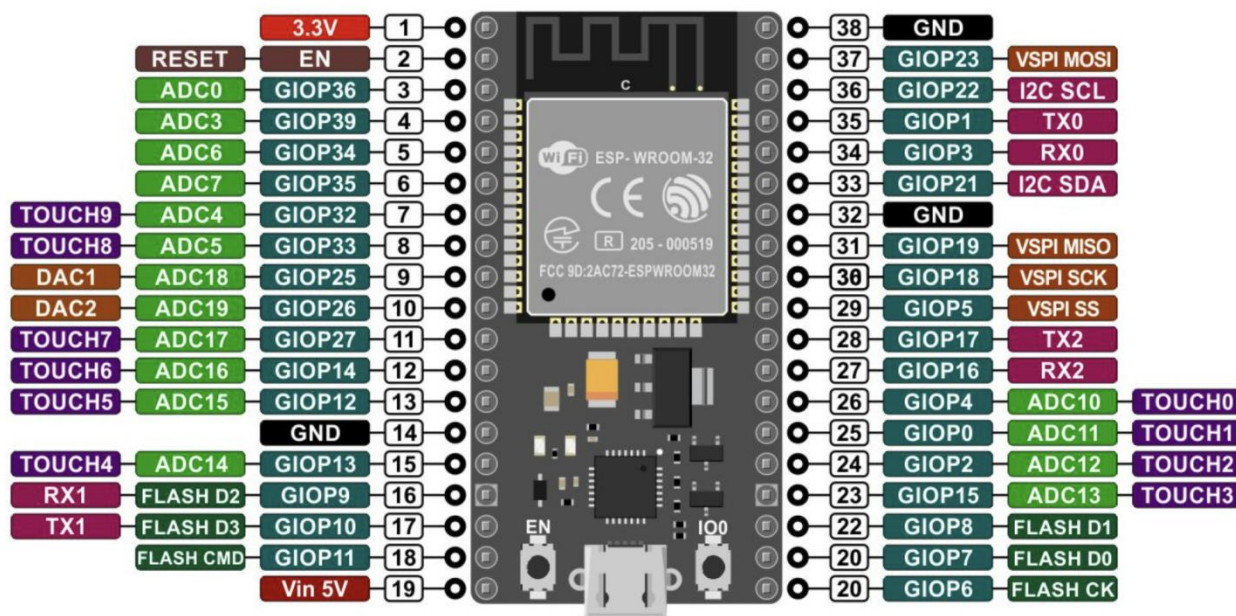


Рисунок 2.3 – Плата ESP32-WROOM-32

Джерелом живлення для стабільної роботи серводвигунів було обрано адаптер 5V 3A зі стандартним роз'ємом. Гарне рішення без потреби регулювання напруги і має повну сумісність з серводвигунами.

Для стабілізації напруги в схемі використано декілька конденсаторів з ємністю 1000 μF і напругою в 16 В. Забезпечать захист плати та знижують ризик перенавантаження.

Також для прототипування даного проекту було обрано макетну плату на 830 отворів, має повноцінні шини живлення, дає можливість зручно розміщувати елементи системи без пайки.

З'єднувальні кабелі Dupont, типу тато-тато. Зручно в комбінації з макетною платою.

Усі обрані компоненти забезпечують функціональність, надійність і масштабованість проекту. Система легко відтворюється, не потребує складного обладнання та може бути адаптована до більш складних завдань (використання датчиків, зворотний зв'язок, Bluetooth тощо).

2.3 Аналіз характеристик ESP32

ESP32 (рис. 2.4) потужний, малогабаритний мікроконтролер від компанії Espressif Systems, який поєднує в собі обчислювальні можливості, інтерфейси введення/виведення та бездротову комунікацію (Wi-Fi, Bluetooth), що робить його ідеальним рішенням для інтелектуальних вбудованих систем, включаючи роботи, автоматизовані пристрої та системи IoT [5].

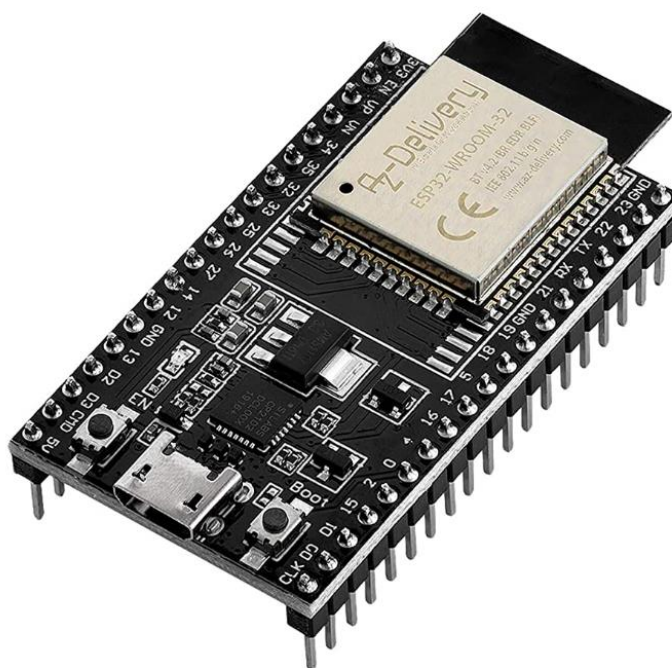


Рисунок 2.4 – ESP32 WROOM

Особливістю ESP32 є поєднання низької вартості та високої функціональності, що дозволяє будувати автономні пристрої без потреби в зовнішньому мікрокомп'ютері чи маршрутизаторі. Має на стані 2 мікропроцесори Tensilica Xtensa LX6, його тактова частота до 240МГц, має 520КБ SRAM, має WIFI модуль IEE 802.11 2.4ГГц, також Bluetooth v4.2 , до 34 універсальних входів GPIO, також до 16 каналів PWM, 12 бітний АЦП до 18 каналів, живиться 3.3 В, і живлення VIN 5В.

2.4 Аналіз характеристик серводвигунів SG90

Серводвигун SG90 (рис. 2.5) – це компактний, легкий та недорогий позиційний сервомотор, який є одним із найпоширеніших виконавчих механізмів у аматорських робототехнічних проєктах. Його використовують для створення роботизованих маніпуляторів, рухомих платформ, роботів з ходовими ногами, гіростабілізаторів тощо.

SG90 виготовлений компанією Tower Pro та має стандартні інтерфейси керування, що сумісні з Arduino, ESP32 та іншими мікроконтролерами.



Рисунок 2.5 – Серводвигун SG90

Основними технічними параметрами є:

- тип сервоприводу аналоговий позиційний;
- живлення від 4,8 В до 6,0 В (номінально 5 В);
- максимальний крутний момент близько 1,8 кг;
- куб обертання 0-180 градусів;
- швидкість 0,12 с;
- тип керування PWM;
- вага 9 грам;
- має 3 дроти, GND, VCC, Signal;
- розміри довжина 23 мм, ширина 12 мм, висота 28 мм;

Принцип роботи полягає в вбудованій системі зв'язку, яка дозволяє точно встановлювати вал на заданий кут, однак можуть споживати від 250 мА до 300 мА кожен. Пристрій складається з плати керування, і змінного резистору.

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ МАНІПУЛЯТОРОМ

3.1 Розробка схеми під'єднання серводвигунів до ESP32

Для реалізації системи управління серводвигунами необхідно розробити ефективну схему підключення, яка забезпечить надійну взаємодію між мікроконтролером ESP32 та виконавчими механізмами. Правильне проектування електричної схеми є критично важливим етапом, оскільки від неї залежить стабільність роботи всієї системи, точність позиціонування та довговічність компонентів.

При розробці схеми підключення серводвигунів до ESP32 необхідно врахувати наступні ключові аспекти:

- електричні характеристики: напруга живлення серводвигунів (зазвичай від 4,8 В до 6 В); споживаний струм кожного серводвигуна (до 2 А при навантаженні); рівні логічних сигналів ESP32 (3,3 В); сумарне споживання струму системи;

- сигнальні вимоги: частота PWM сигналу 50 Гц для стандартних серво; ширина імпульсу для управління від 1 мс до 2 мс; кількість незалежних каналів управління; швидкість реакції на команди;

- конструктивні обмеження: фізичні розміри компонентів; ДОВЖИНА сигнальних ліній; електромагнітна сумісність; доступність GPIO портів ESP32.

Враховуючи ці вимоги, була розроблена схема підключення (рис. 3.1), яка забезпечує оптимальне співвідношення між функціональністю, надійністю та простотою реалізації [6].

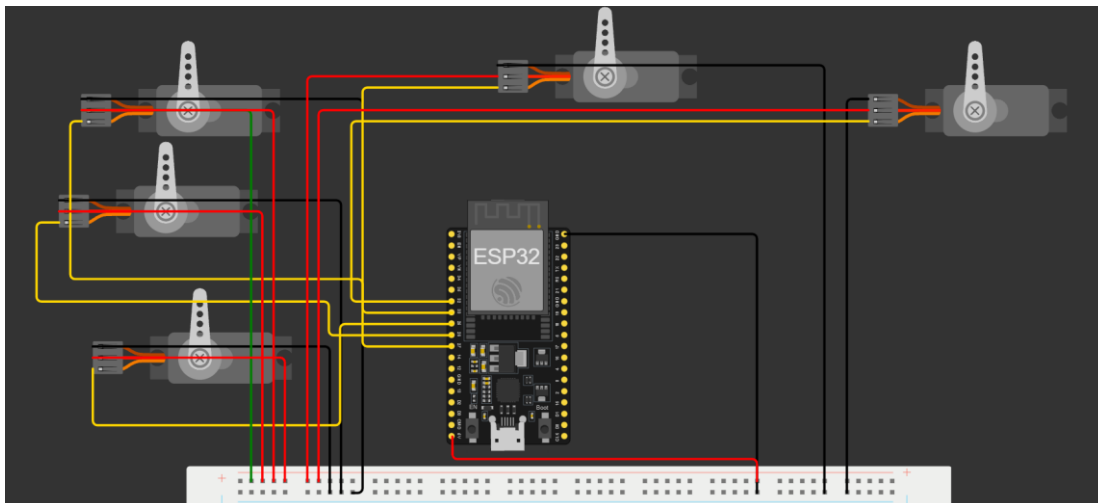


Рисунок 3.1 – Схема під'єднання серводвигунів до ESP32

Для розроблення проекту було використано макетну плату. Для підключення дроту сигналу серводвигунів було використано GPIO піни на платі ESP32, піни від 27 до 32, Живлення було подано на позитивну і негативну шину відповідно через адаптер 5V, до негативної шини було під'єднано GND від плати і від серводвигунів, червоний дріт живлення серводвигунів на плюс. Живлення для плати було під'єднано до позитивної шини. Також поміж кожним серводвигуном було поставлено по одному конденсатору [7].

3.2 Розробка конструкції і під'єднання усіх елементів

Розроблена конструкція системи управління серводвигунами (рис. 3.2) представляє собою інтегровану платформу, що складається з мікроконтролера ESP32, чотирьох серводвигунів типу SG90, макетної плати та зовнішнього джерела живлення.

Конструкція спроектована з урахуванням принципів модульності, що дозволяє легко модифікувати систему та додавати нові компоненти[8].

Основні компоненти:

- мікроконтролер ESP32 DevKit v1;
- 4 серводвигуна SG90 (9g micro servo);
- макетна плата 830 точок;
- зовнішнє джерело живлення 5В / 3 А;

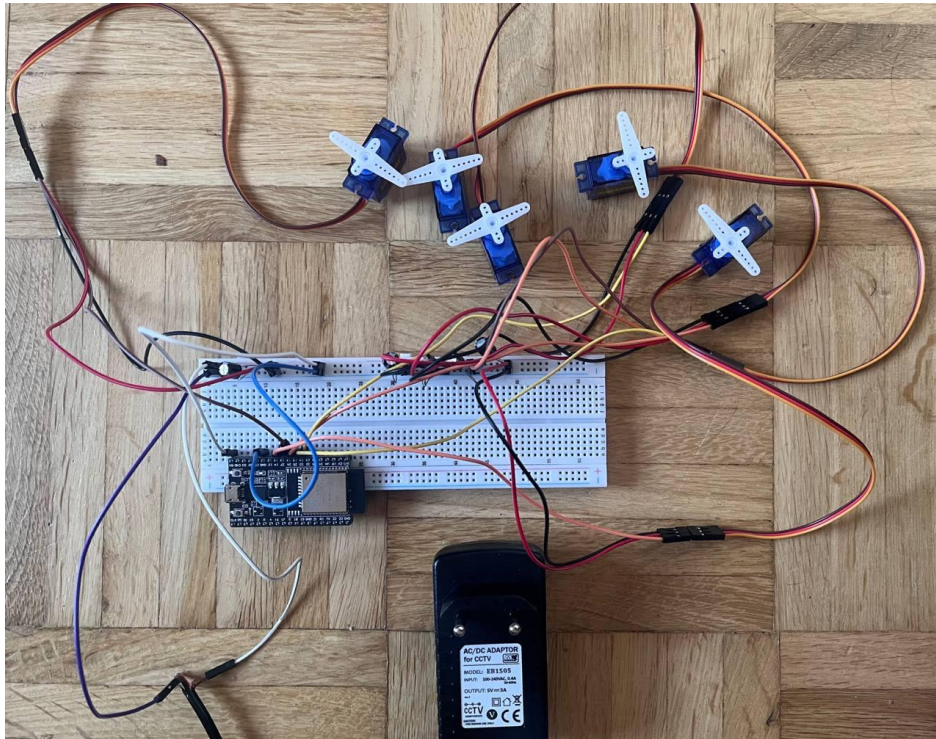


Рисунок 3.2 – Підключення елементів до плати

Центральний модуль: ESP32 розміщений на лівій частині макетної плати, що забезпечує зручний доступ до GPIO портів та мінімізує довжину сигнальних з'єднань. Така позиція дозволяє оптимально розподілити простір на breadboard для розводки живлення та сигнальних ліній [9].

Розташування – чотири серводвигуни SG90 розміщені навколо макетної плати у вільному просторі. Така конфігурація:

- мінімізує взаємний вплив електромагнітних полів;
- забезпечує достатню довжину кабелів для підключення;
- дозволяє незалежне механічне позиціонування кожного серво.

Система живлення:

- зовнішнє джерело живлення 5 В підключене до позитивної шини макетної плати (червона лінія);
- негативна шина (синя лінія) з'єднана з землею джерела живлення;
- ESP32 отримує живлення 3,3 В від вбудованого стабілізатора через USB або Vin пін;
- всі серводвигуни живляться від 5V шини через червоні дроти.

Сигнальні з'єднання: Кожен серводвигун підключений до окремого GPIO³⁰ порту ESP32:

- серво №1: GPIO 18 (жовтий сигнальний дріт);
- серво №2: GPIO 19 (жовтий сигнальний дріт);
- серво №3: GPIO 21 (жовтий сигнальний дріт);
- серво №4: GPIO 22 (жовтий сигнальний дріт).

Земляні з'єднання:

- коричневі дроти всіх серводвигунів підключені до негативної шини;
- ESP32 також з'єднаний з загальною землею через GND пін;
- це забезпечує єдиний потенціал землі для всієї системи.

Кабельна система використовуються стандартні з'єднувальні дроти Dupont довжиною від 20 см до 30 см, що забезпечує:

- гнучкість у позиціонуванні компонентів;
- надійність електричного контакту;
- можливість швидкого демонтажу для модифікацій.

Механічне кріплення:

- ESP32 встановлений безпосередньо в отвори макетної плати;
- серводвигуни розміщені вільно, що дозволяє їх переорієнтацію;
- зовнішнє джерело живлення розташоване окремо для безпеки.

Технічні переваги розробленої конструкції:

- модульність конструкції дозволяє легко замінювати компоненти;
- роздільне живлення логічної та силової частин підвищує стабільність;
- мінімальна кількість з'єднань знижує ймовірність відмов.

Така конструкція забезпечує оптимальне співвідношення між функціональністю, надійністю та економічністю, що робить її придатною як для навчальних проектів, так і для промислових прототипів систем управління багатьма серводвигунами.

Відповідно до схеми було підключено всі елементи до макетної плати, і перевірено чи працює.

Для роботи з ESP32 в програмному середовищі IDE, було встановлено драйвери відповідні до даної моделі ESP, обрано і встановлено бібліотеки для роботи:

- <Wifi.h>, стандартна бібліотека для роботи з ESP32, дозволяє створювати підключення до Wi-Fi мереж, створювати веб-сервер, або AP;
- <ESP32Servo.h>, бібліотека створена для контролю над серводвигунами виключно для ESP32, так як стандартна бібліотека Ардуіно не підходить. Використовує PWM сигнал;
- <ESPAsyncWebServer.h>, дозволяє можливість надіслання асинхронного сигналу на веб сервер, котрий дає змогу оброблення декількох сигналів водночас на відмінну від WebServer. Також не блокує функцію loop();

3.4 Розробка програми дистанційного керування серводвигунами

Програмне забезпечення для дистанційного керування серводвигунами є ключовим компонентом системи, що забезпечує взаємодію між користувачем та апаратними засобами. Розробка програми включає створення мікропрограми для ESP32, веб-інтерфейсу користувача та протоколів обміну даними через Wi-Fi з'єднання. Під'єднання бібліотек наведено на рис. 3.3.

```
#include <WiFi.h>
#include <ESPAsyncWebServer.h>
#include <ESP32Servo.h>
```

Рисунок 3.3 – Під'єднання бібліотек

Під'єднуємо бібліотеки для керування серводвигунами ESP32Servo.h, WiFi.h для зв'язку з мережею, ESP32Servo.h для керування серводвигунами.

Фрагмент коду для того, щоб задати змінні для паролю і логіну до інтернету наведено на рис. 3.4.

Код для зазначення під'єднання серводвигунів до GPIO наведено на рис.

3.8.

```
servo1.attach(26);  
servo2.attach(32);  
servo3.attach(25);  
servo4.attach(33); // 4-й серво  
servo5.attach(27); // 5-й серво
```

Рисунок 3.8 – Код для зазначення під'єднання серводвигунів до GPIO

Фрагмент коду для вирівнювання серводвигунів до 90 градусів наведено на рис. 3.9.

```
// Початкові позиції  
servo1.write(angle1);  
servo2.write(angle2);  
servo3.write(angle3);  
servo4.write(angle4);  
servo5.write(angle5);
```

Рисунок 3.8 – Вирівнювання серводвигунів до 90 градусів

Призначення кожної команди:

- `servo1.write(angle1)` – встановлює позицію першого серводвигуна згідно значення змінної `angle1`;
- `servo2.write(angle2)` – керує положенням другого серводвигуна через параметр `angle2`;
- `servo3.write(angle3)` – позиціонує третій серводвигун відповідно до `angle3`;
- `servo4.write(angle4)` – управляє четвертим серво через змінну `angle4`;
- `servo5.write(angle5)` – встановлює кут повороту п'ятого серводвигуна.

Фрагмент коду для створення веб сторінки і слайдерів для керування наведено на рис. 3.9.

```
// Головна сторінка
server.on("/", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest *request){
  String html = "<html><body><h1>Robotic Arm Control</h1>";

  for (int i = 1; i <= 5; i++) {
    int angle = (i==1)?angle1:(i==2)?angle2:(i==3)?angle3:(i==4)?
angle4:angle5;
    html += "<h3>Servo " + String(i) + "</h3>";
    html += "<input type='range' id='servo" + String(i) + "' min='0'
max='180' value='" + String(angle) + "' step='1'
onchange='updateAngle(" + String(i) + ")'>";
    html += "<p><span id='value" + String(i) + "'>Angle: " +
String(angle) + "°</span></p>";
  }

  html += "<script>";
  html += "function updateAngle(servoNum) {";
  html += "  var slider = document.getElementById('servo' +
servoNum);";
  html += "  var angle = slider.value;";
  html += "  document.getElementById('value' +
servoNum).innerHTML = 'Angle: ' + angle + '°';";
  html += "  fetch('/move?servo=' + servoNum + '&angle=' + angle);";
  html += "};";
  html += "</script>";

  html += "</body></html>";
  request->send(200, "text/html", html);
});
```

Рисунок 3.9 – Створення веб сторінки і слайдерів для керування

Представлений код демонструє створення динамічної веб-сторінки для дистанційного управління роботизованою рукою через HTTP-сервер ESP32. Веб-інтерфейс генерується програмно у відповідь на GET-запит до кореневого URL "/".

Створюється базова HTML структура з заголовком "Robotic Arm Control", що ідентифікує призначення веб-додатку:

```
String html = "<html><body><h1>Robotic Arm Control</h1>";
```

Оброблення запиту на рух серводвигунів від користувача наведено на рис. 3.10.

```

// Обробка зміни кута
server.on("/move", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest
*request){
  if (request->hasParam("servo") && request->hasParam("angle")) {
    int servoNum = request->getParam("servo")->value().toInt();
    int angle = constrain(request->getParam("angle")->value().toInt(),
0, 180);

    switch (servoNum) {
      case 1:
        angle1 = angle; servo1.write(angle1); break;
      case 2:
        angle2 = angle; servo2.write(angle2); break;
      case 3:
        angle3 = angle; servo3.write(angle3); break;
      case 4:
        angle4 = angle; servo4.write(angle4); break;
      case 5:
        angle5 = angle; servo5.write(angle5); break;
    }

    Serial.printf("Moved servo %d to angle: %d\n", servoNum, angle);
    request->send(200, "text/plain", "OK");
  } else {
    request->send(400, "text/plain", "Missing parameters");
  }
});

server.begin();
Serial.println("Web server started!");

```

Рисунок 3.10 – Оброблення запиту на рух серводвигунів від користувача

Візуалізація Serial Monitor представлена на рис. 3.11.



```

Output Serial Monitor X
Message (Enter to send message to 'ESP32 De
Starting...
Connecting to WiFi...
..
Connected to WiFi
IP Address: 192.168.0.102
Web server started!

```

Рисунок 3.11 – Візуалізація Serial Monitor

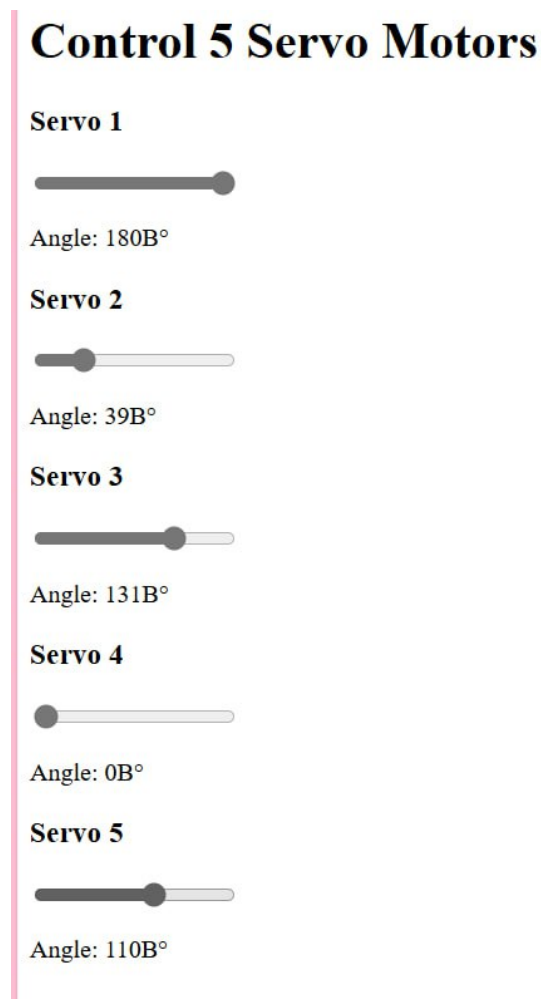


Рисунок 3.12 – Відображення браузеру з ПК

Веб-сторінка «Control 5 Servo Motor» з п'ятьма інтерактивними слайдерами для індивідуального керування кожним серводвигуном.

Поточні позиції – кожен слайдер показує різні кути повороту (180°, 39°, 131°, 0°, 110°) та дозволяє користувачу змінювати позицію серво в реальному часі через веб-браузер.

Відображення браузеру з смартфона наведено на рис. 3.12.

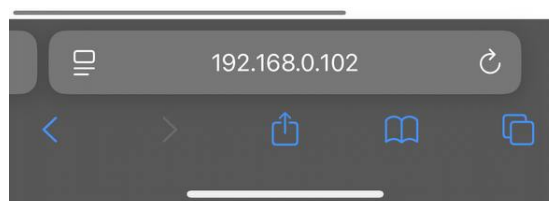
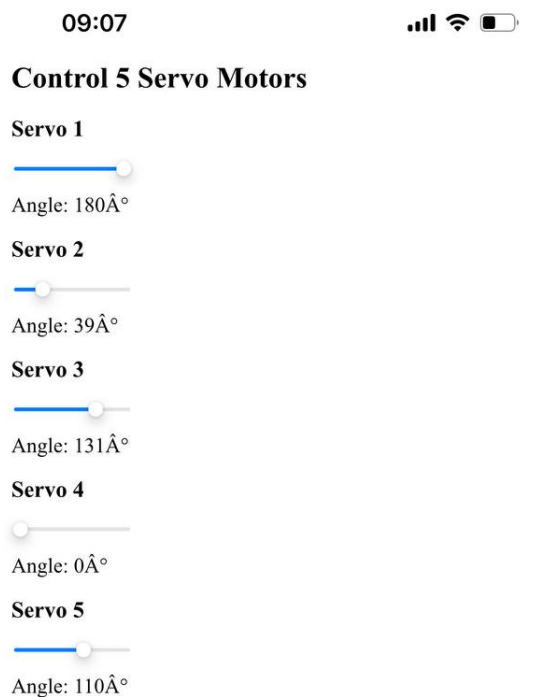


Рисунок 3.13 – Відображення браузера з смартфона

3.5 Створення візуальної моделі маніпулятора

Розроблено тривимірну візуальну модель багатоланкового робота-маніпулятора (рис. 3.14), яка демонструє кінематичну структуру системи.

Ключові елементи моделі:

- базова платформа – стаціонарна основа циліндричної форми для кріплення маніпулятора;
- поворотна база – обертальний механізм для горизонтального позиціонування;
- система суглобів – кілька з'єднувальних вузлів з обмеженнями руху;

- ланки маніпулятора – прямолінійні сегменти різної довжини;
- робочий орган – кінцевий елемент для виконання технологічних операцій.

Технічні особливості – модель виконана у монохромній гамі з реалістичними пропорціями, що дозволяє чітко візуалізувати механічну структуру та ступені свободи майбутнього фізичного прототипу роботизованої системи.

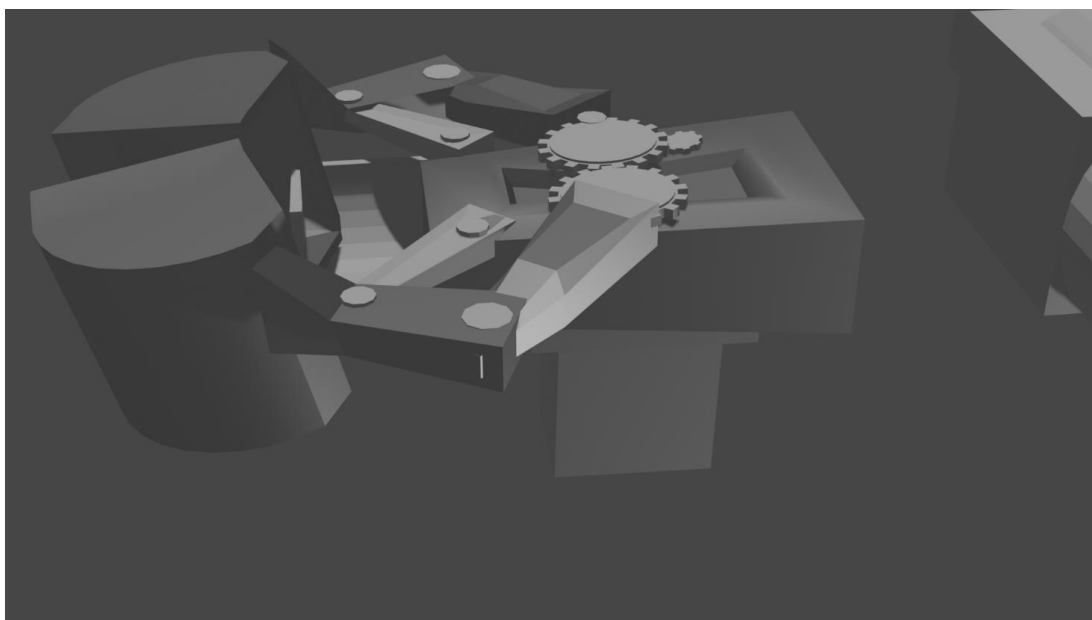


Рисунок 3.14 – Створення 3D моделі ковша для пересадки рослин

Подібний ковш дозволяє переносити рослини з певною кількістю ґрунту, також дає можливість перевозити воду для поливу рослин.

Візуальна модель з'єднання серводвигуна з елементами конструкції наведена на рис. 3.15.

Створена 3D модель платформи з вбудованою платою і серводвигуном представлена на рис. 3.16.

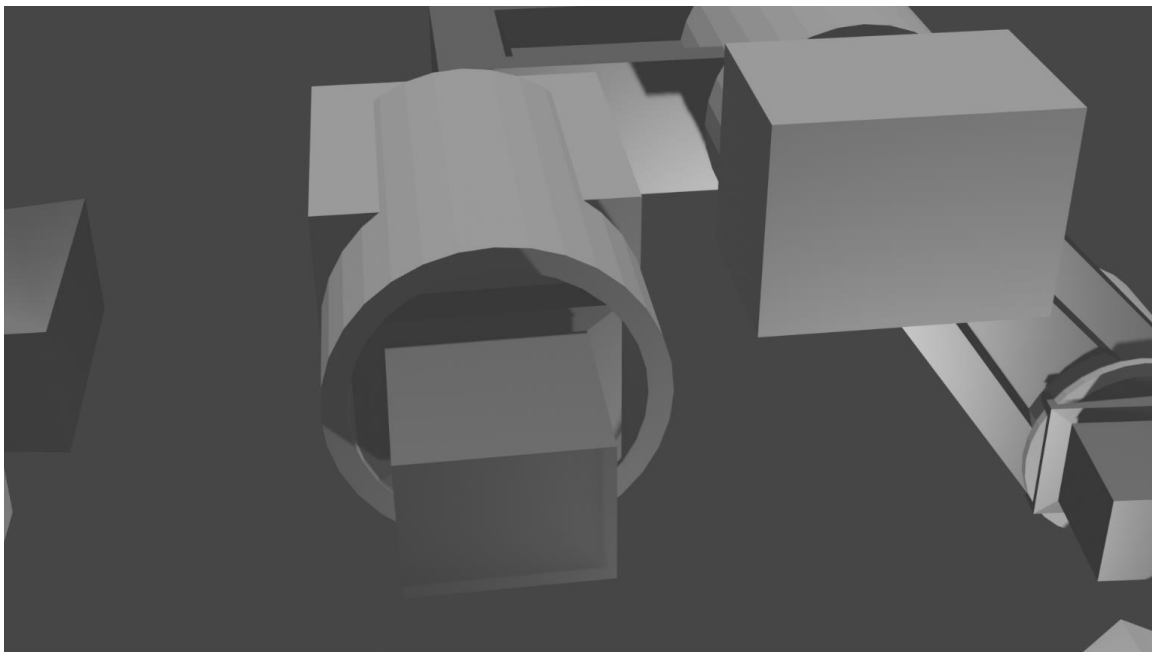


Рисунок 3.15 – Візуальна модель з'єднання серводвигуна з елементами конструкції

Місце з'єднання серводвигуна з конструкцію, серводвигун приводить конструкцію до руху змінюючи її положення в залежності від потрібного куту.

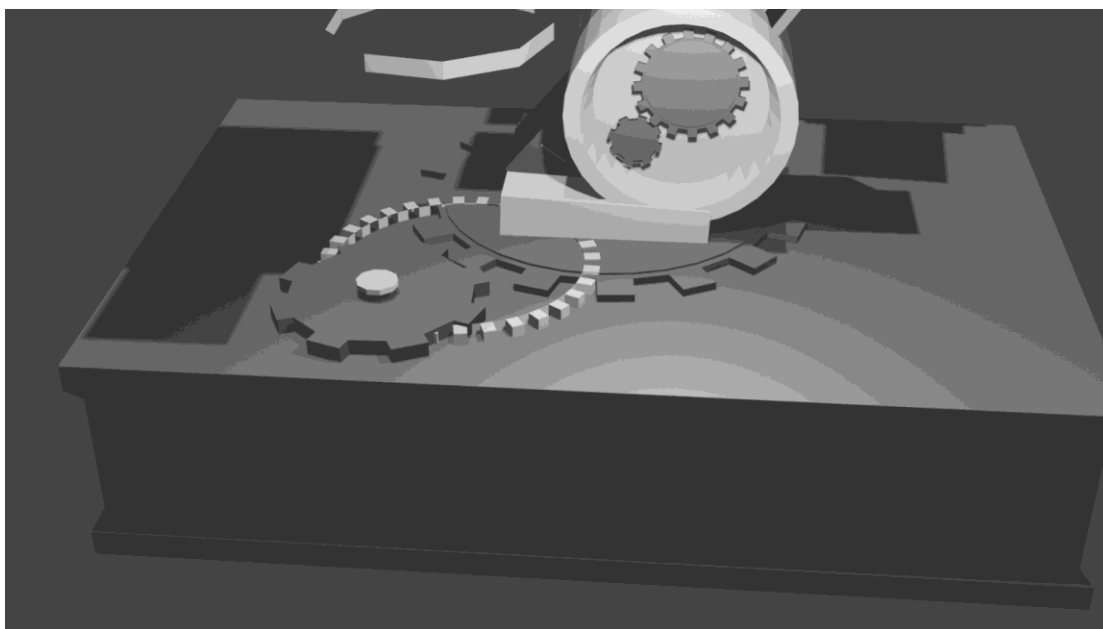


Рисунок 3.16 – 3D модель платформи з вбудованою платою і серводвигуном

Платформа в середині якої знаходиться ESP32, і серводвигун котрий створює можливість руху по своїй осі, тільки 180 градусів, враховуючи специфікацію SG90.

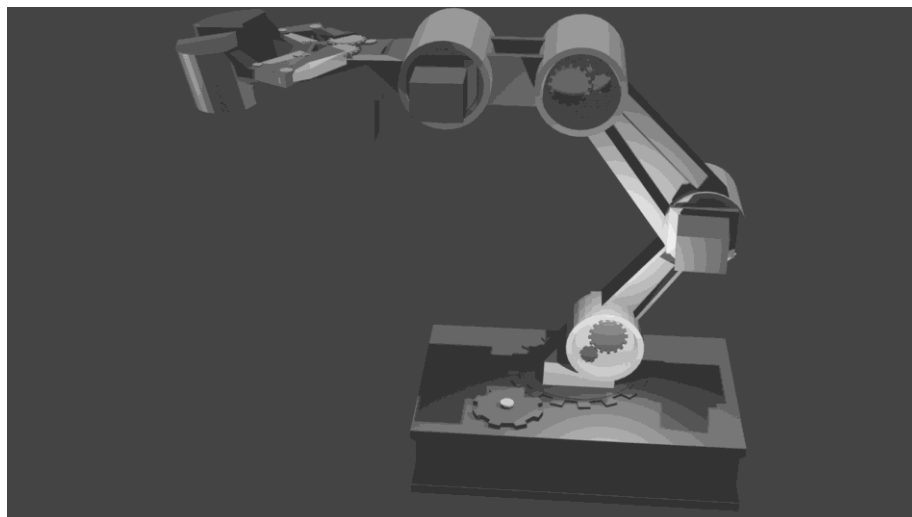


Рисунок 3.17 – Візуальна модель повністю

ВИСНОВКИ

В першому розділі було розглянуто приклади роботизованих систем із рухомою основою, на базі аналізу можна стверджувати, що Agrobot SW6010 та Octinion Rubion, демонструє, що автоматизовані рішення успішно справляються з завданнями, які потребують високої делікатності або повторюваних дій. Водночас існує необхідність у балансі між функціональністю, вартістю, гнучкістю налаштування та вимогами до експлуатаційного середовища. Це підкреслює актуальність подальшого вдосконалення технічних і програмних компонентів, з урахуванням реальних потреб аграрного виробництва різного масштабу. Також, проаналізовано приклади таких рішень, як Urbinati RW32 та Viscon Transplanting Machines, ілюструють технологічне різноманіття та глибоку автоматизацію процесів. Обидві системи дозволяють інтегруватися з іншими технологічними модулями, зменшують залучення ручної праці та покращують якість посадки. Однак водночас вони мають обмеження у гнучкості, потребують специфічного технічного обслуговування та значних початкових інвестицій.

У другому розділі проведено комплексну розробку та обґрунтування архітектури роботизованого маніпулятора для дистанційного керування пересадкою рослин. Створено детальну структурну схему механічної частини маніпулятора, яка включає п'ять основних елементів: несучу платформу з інтегрованою системою управління, три проміжні з'єднувальні елементи для забезпечення ступенів свободи та спеціалізований модуль для роботи з рослинами. Розроблена структурна схема програмного забезпечення демонструє ефективну архітектуру дистанційного керування через веб-інтерфейс з асинхронною обробкою команд та зворотним зв'язком у режимі реального часу. Така організація системи забезпечує одночасне управління всіма серводвигунами та миттєву візуалізацію їх поточного стану для оператора. Проведений аналіз та вибір компонентної бази показав оптимальність використання мікроконтролера ESP32-WROOM-32 як центрального елемента системи завдяки його потужним обчислювальним можливостям, вбудованим

модулям бездротового зв'язку та повній сумісності з середовищем розробки Arduino IDE. Серводвигуни SG90 виявились ідеальним рішенням для створення компактного та економічного маніпулятора завдяки своїм габаритам, достатньому крутному моменту та надійності позиціонування в діапазоні 180 градусів. Детальний технічний аналіз характеристик обраних компонентів підтвердив їх повну функціональну сумісність та здатність забезпечити стабільну роботу системи. Мікроконтролер ESP32 з двоядерною архітектурою та тактовою частотою до 240 МГц гарантує швидку обробку команд управління, а серводвигуни SG90 з швидкістю позиціонування 0,12 секунди забезпечують достатню динаміку для точного маніпулювання об'єктами. Запропонована архітектура системи та обрана компонентна база створюють надійну основу для реалізації функціонального прототипу роботизованого маніпулятора з можливістю подальшого масштабування та інтеграції додаткових сенсорів чи виконавчих механізмів.

Розроблено та реалізовано структурну та принципову схеми системи, де всі компоненти – мікроконтролер, серводвигуни, блок живлення та конденсатори – були підібрані з урахуванням технічної сумісності, енергетичних характеристик та практичної реалізації на макетній платі. За допомогою бібліотек ESP32Servo.h та ESPAsyncWebServer.h реалізовано вебінтерфейс, який дозволяє користувачу у зручній формі керувати маніпулятором у реальному часі, без необхідності додаткового програмного забезпечення чи фізичного пульта. Усі апаратні й програмні елементи успішно інтегровані в єдину систему, яка працює стабільно, реагує на команди миттєво та має потенціал для подальшого розширення. Було перевірено функціональність усіх вузлів: сервомотори відпрацьовують задані кути, керування через вебінтерфейс працює коректно, ESP32 забезпечує обчислення та зв'язок без помилок.

У третьому розділі розроблено програма дистанційного керування маніпулятором, розроблено схему під'єднання серводвигунів до ESP32 та представлені фрагменти коду для: підключення елементів до плати; під'єднання бібліотек; задавання змінні для паролю і логіну до інтернету; створення змінних для серводвигуни тощо.

Головна унікальність полягає в створенні комплексної системи⁴³ дистанційного керування через веб-інтерфейс з асинхронною обробкою команд та зворотним зв'язком у режимі реального часу. На відміну від традиційних рішень, що потребують спеціалізованого програмного забезпечення або фізичних пультів, ця система дозволяє керувати маніпулятором через звичайний веб-браузер.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАННЯ

1. Невлюдов І. Ш. Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва технічних засобів автоматизації. Частина 1: Підручник Харків: ФОП Панов А. М., 2021., 604 с.
2. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. 29 с.
3. Положення про академічну доброчесність [Електронний ресурс]: Наказ ХНУРЕ від 02 лютого 2021 р. № 50. – Режим доступу: https://nure.ua/wpcontent/uploads/Main_Docs_NURE/polozhennja-pro-akademichnu-dobrochesnist.pdf.
4. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Системна інженерія» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.М. Цимбал, О.В. Токарєва, А.І. Бронніков. Харків: ХНУРЕ, 2023. 65 с.
5. Lowenberg-DeBoer, J., Huang, I. Y., Grigoriadis, V., & Blackmore, S. (2020). Economics of robots and automation in field crop production. *Precision Agriculture*, 21(2), 278-299.
6. Chen, W. (2020). Intelligent manufacturing production line data monitoring system for industrial internet of things. *Computer communications*, 151, 31-41.
7. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень в інтелектуальному виробництві: підручник / І. Ш. Невлюдов. Кривий Ріг: Чернявський Д. О., 2024. 388 с.
8. Song, J., & Nang, J. (2024). Pedestrian Abnormal Behavior Detection System Using Edge–Server Architecture for Large–Scale CCTV Environments. *Applied Sciences*, 14(11), 4615.
9. Alsayfi, M. S., Dahab, M. Y., Eassa, F. E., Salama, R., Haridi, S., & Al-Ghamdi, A. S. (2022). Securing real-time video surveillance data in vehicular cloud computing: A survey. *IEEE Access*, 10, 51525-51547.