

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та роботехніки  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Розробка макету автоматизованої системи Smart Greenhouse  
(тема)

Виконала:  
студент 4 курсу, групи АКТАКІТ-20-3  
Світайло Д.М.  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(повна назва освітньої програми)

Керівник ст. викл. Гурін Д. В.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

Невлюдов І. Ш.  
(прізвище, ініціали)

2024 р.



Демонстраційний матеріал у вигляді презентації

---



---

6. Консультанти розділів роботи

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	Приміт- ка
1	Складання технологічного завдання	22.04 – 26.04.24	
2	Аналіз літературних джерел та аналогічних рішень	26.04 – 03.05.24	
3	Огляд та аналіз сучасних макетів автоматизованих систем	06.05 – 10.05.24	
4	Апаратна частина реалізації проекту	10.05 – 20.05.24	
5	Програмна частина реалізації проекту	20.05 – 24.06.24	
6	Експериментальне підтвердження...	25.06 – 26.06.22	
7	Подання роботи на перевірку на плагіат	29.05 – 06.06.22	
8	Оформлення пояснювальної записки	07.06 – 10.06.22	
	Подання роботи на рецензію	12.06	
9	Подання роботи на підпис зав. кафедри	12.06.24	
11	Подання атестаційної роботи в ЕК	13.06.24	

Дата видачі завдання 22.04.2024 р.

Студент \_\_\_\_\_ Світайло Д.М.  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ ст.викладач Гурін Д.В.  
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

Я, як студентка ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Дата 12.06.2024



Світайло Д.М.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 72 с., 1 табл., 43 рис., 2 дод., 27 джерел.

### АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, SMART GREENHOUSE, ПРОДУКТИВНІСТЬ НАСОСА.

Мета роботи – покращення мікрокліматичних умов вирощування культур шляхом розробки автоматизованої системи Smart Greenhouse.

Об'єкт розробки – процес вирощування рослин у закритому середовищі.

Предмет розробки – автоматизована система керування умовами вирощування рослин у закритому середовищі.

Для досягнення мети було проведено огляд та аналіз існуючих сучасних автоматизованих систем вирощування рослин у закритому середовищі; проведено аналіз методів контролю та керування параметрами; обрано компоненти для програмної реалізації проекту; розроблено макет, його моделювання та алгоритм роботи мікроконтролеру, розроблено схему підключення макету та програмний код для реалізації роботи алгоритму, проведено експериментальні дослідження на правильність виконання отриманої реалізації, оформлено роботу відповідно до стандартів та рекомендацій.

## ABSTRACT

The explanatory note contains: 72 p., 1 table, 43 figures, 2 pp., 27 sources.

AUTOMATED SYSTEM, SMART GREENHOUSE, PUMP  
PRODUCTIVITY.

The aim of the work is improvement of microclimatic conditions for growing crops by developing an automated Smart Greenhouse system.

The object of development is the process of growing plants in a closed environment.

The subject of development is an automated system for controlling the conditions of growing plants in a closed environment.

To achieve the goal, a review and analysis of existing modern automated systems for growing plants in a closed environment was conducted; an analysis of methods of control and management of parameters was carried out; selected components for software implementation of the project; the hardware and software part of the project was selected, the microcontroller operation algorithm was developed, the layout connection scheme and program code for the implementation of the algorithm were developed, experimental studies were carried out for the correctness of the implementation of the received implementation, the work was designed in accordance with standards and recommendations.

## ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень.....	9
Вступ.....	10
1 Огляд та аналіз сучасних макетів автоматизованих систем Smart Greenhouse	12
1.1 Аналіз автоматизованої система від фірми Ekotec .....	12
1.2 Аналіз автоматизованої системи від фірми Smart Soil.....	13
1.3 Аналіз автоматизованої системи від фірми GTconcept .....	14
1.4 Аналіз автоматизованої системи від фірми Muchen Agriculture .....	15
1.5 Аналіз автоматизованої системи від фірми AGREENHOUSE .....	16
1.6 Аналіз автоматизованої системи від фірми Sainpoly.....	17
1.7 Аналіз методів контролю та керування параметрами .....	17
2 Розробка апаратної реалізації проекту .....	26
2.1 Вибір компонентів для програмної реалізації проекту .....	26
2.2 Моделювання роботи автоматизованої системи.....	36
2.3 Засоби та результати механічної реалізації розробки .....	39
2.4 Розрахунок передавальної функції серводвигуна та перевірка його на стійкість.....	43
2.5 Збірка макету автоматизованої системи Smart Greenhouse.....	44
3 Розробка програми управління автоматизованою системою.....	48
3.1 Вибір середі розробки.....	48
3.2 Розробка загального алгоритму роботи .....	52

	8
3.3 Реалізація роботи автоматизованої системи.....	54
3.4 Компіляція та прошивання системи управління автоматизованої системи .....	56
3.5 Проведення експерименту.....	57
3.6 Розрахунок продуктивності насосу та необхідну потужність блоку живлення для системи .....	59
Висновки.....	62
Перелік джерел .....	63
ДОДАТОК А Лістинг програми для управління автоматизованою системою ..	66
ДОДАТОК Б Демонстраційний матеріал у вигляді презентації.....	71

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ**

СК – система керування;

ККД – коефіцієнт корисної дії.

## ВСТУП

На сьогоднішній день, необхідність автоматизації промисловості зростає. У нашому світі у людей немає багато часу та ресурсу, щоб повноцінно доглядати за рослинами, тому розроблення макету автоматизованої системи Smart Greenhouse є доволі актуальним. За допомогою розробки даного макету можна зменшити втручання людини у процес вирощування рослин та вкладати більше коштів у якість продукції через зменшену кількість робочих місць. Разом з необхідністю автоматизації промисловості зростає потреба у вдосконаленні уже існуючих макетів та випуску нових, більш сучасних автоматизованих систем керування (СК).

Розумні теплиці набувають все більшої популярності, оскільки це актуальна і прибуткова технологія. Часто можна зустріти промислові агрокомплекси, які використовують технології розумних теплиць. Навіть окремі підприємливі громадяни споруджують такі конструкції на своїх ділянках або підвіконнях. Використання таких теплиць дозволяє ефективніше використовувати площі, зайняті рослинами, забезпечуючи якісний продукт як для внутрішнього ринку, так і для експорту. Якщо система буде мати низьку вартість і буде легкою в управлінні, вона стане доступною для більшості потенційних користувачів, що дозволить застосовувати її не тільки у промислових масштабах, але й у приватних господарствах.

Розумна теплиця – це споруда, яка автоматично контролює та регулює умови вирощування рослин. Сучасні тепличні комплекси будуються за типовими проектами та обладнані інженерними системами для підтримки мікроклімату, такими як опалення, полив, вентиляція, циркуляція повітря, водостічні системи, водопостачання, каналізація та освітлення. Вони призначені переважно для великих підприємств, оскільки встановлення, експлуатація та вартість цих систем складніші. Для приватних або невеликих фермерських господарств доступні простіші варіанти автоматизації, які дозволяють контролювати умови в

теплиці для оптимального росту рослин.

Таким чином метою кваліфікаційної роботи є покращення мікрокліматичних умов вирощування культур шляхом розробки автоматизованої системи Smart Greenhouse.

Об'єкт розробки – процес вирощування рослин у закритому середовищі.

Предмет розробки – автоматизована система керування умовами вирощування рослин у закритому середовищі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- огляд та аналіз сучасних макетів автоматизованих систем;
- аналіз методів контролю та керування параметрами;
- вибір компонентів та моделювання роботи автоматизованої системи;
- збірка макету автоматизованої системи;
- розробка загального алгоритму роботи;
- розрахунок продуктивності насосу та необхідної потужності блоку живлення для системи.

Кваліфікаційна робота виконана згідно ДСТУ 3008 – 15 [1], використовуючи навчальний посібник з дипломного проекту [2] та методичні вказівки [3].

# 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МАКЕТІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ SMART GREENHOUSE

## 1.1 Аналіз автоматизованої система від фірми Ekotec

Автоматизована теплиця фірми Ekotec (зображена на рисунку 1.1) – нове покоління теплиць, яке починає бурхливо будуватися мають набагато вищий рівень автоматизації. І це дає змогу знизити витратну частину в теплиці на 20-40%.



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд теплиці від фірми Ekotec [4]

### Переваги:

- опалення теплиці: завдяки цій системі теплиця може працювати в холодний період, бувають різні типи та працювати на найрізноманітніших типах палива;
- освітлення теплиці: в холодний період завжди короткий день, і без додаткової досвітки особливо нічого рости не буде;
- полив в теплиці: це те, без чого рослини не проживуть і тижня в будь-який період року. Природного припливу води в теплиці немає, тому поливання дуже потрібна штука;
- наявність терморегулятора з WI-FI модулем для контролю температури в теплиці;
- наявність датчику вимірювання вологості ґрунту.

Недоліки:

- нездатність опалювання теплиці у холодний період, якщо на вулиці більше ніж  $-15^{\circ}\text{C}$ ;
- відсутність серводвигуна для провітрювання теплиці;
- відносно велика ціна;
- залежність від технологій.

## 1.2 Аналіз автоматизованої системи від фірми Smart Soil

Smart Garden 9 (зображена на рисунку 1.2) – це інноваційний сад для кожного дому та квартири, що самостійно росте та вирощується для будь-яких потреб.



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд Smart Garden 9 від фірми Smart Soil [5]

Переваги:

- автоматичний полив;
- ідеальна кількість світла завдяки лампам для росту;
- ідеальна кількість поживних речовин і кисню на рівні коренів;
- рівномірний розподіл води всередині наноструктури, тому коріння рослин мають постійний доступ до води.

Недоліки:

- не підходить для промислового використання;
- надвелике споживання енергії за годину використання;
- відносно велика ціна;
- залежність від технологій.

### 1.3 Аналіз автоматизованої системи від фірми GTconcept

Автоматизована теплиця фірми GTconcept (зображена на рисунку 1.3) – обладнана високотехнологічними методами для більш ефективного й стійкого вирощування сільськогосподарських культур.



Рисунк 1.3 – Зовнішній вигляд теплиці від фірми GTconcept [6]

Переваги:

- інфрочервоне опалення;
- автоматична вентиляція;
- крапельний полив;
- освітлення для рослин.

Недоліки:

- немає можливості автоматично виміряти вологість ґрунту;
- відсутність терморегулятора для вимірювання температури в теплиці;

– залежність від технологій.

#### 1.4 Аналіз автоматизованої системи від фірми Muchen Agriculture

Автоматизована теплиця фірми Muchen Agriculture (зображена на рисунку 1.4) – забезпечує стабільне зростання сільськогосподарських культур, і більше не залежить від зовнішнього дощового і снігового клімату, так що зростання посівів може бути досягнуто оптимально.



Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд теплиці від фірми Muchen Agriculture [7]

Переваги:

- система вентиляції;
- система теплоізоляції;
- система посівного ложа;
- система зрошення;
- система оповіщення;
- зовнішній сонячний захист;
- економія води на 85%;
- економія добрив на 80%;

– система охолодження.

Недоліки:

- залежність від технологій;
- відносно велика ціна.

### 1.5 Аналіз автоматизованої системи від фірми AGREENHOUSE

Автоматизована теплиця фірми AGREENHOUSE(зображена на рисунку 1.5) – в 3-5 разів зменшує споживання води та робочої сили.



Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд теплиці фірми AGREENHOUSE [8]

Переваги:

- система вентиляції;
- система охолодження;
- система опалення;
- система зрошення;
- система освітлення.

Недоліки:

- залежність від технологій;

- відносно велика ціна.

## 1.6 Аналіз автоматизованої системи від фірми Sainpoly

Автоматизована теплиця фірми Sainpoly (зображена на рисунку 1.6).



Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд теплиці фірми Sainpoly

Переваги:

- вентиляційна система;
- система охолодження;
- циркуляційний вентилятор.

Недоліки:

- залежність від технологій;
- відсутність системи теплоізоляції;
- відсутність терморегулятора для вимірювання температури в теплиці.

## 1.7 Аналіз методів контролю та керування параметрами

1. Система охолодження:

- охолоджуюча підставка (зображена на рисунку 1.7) – охолодження теплиці досягається за принципом випаровування та охолодження води.

Спеціально виготовлена охолоджувальна підставка гарантує, що вода рівномірно змочує всю стінку підставки, що охолоджує. Коли повітря проникає в середовище охолоджувальної підставки, воно обмінюється теплом з водяною парою на поверхні охолоджуючої підставки, забезпечуючи зволоження та охолодження повітря;



Рисунок 1.7 – Зовнішній вигляд охолоджуючої підставки [9]

– охолоджуючий вентилятор (зображений на рисунку 1.8) – розмір: 1380 мм x 1380 мм x 400 мм, потужність: 1100 Вт, напруга: 380 В, 50 Гц, РН1, об'єм повітря: 44000 м<sup>3</sup>/ч, шум 60 децибелів, рама з гарячеоцинкованої сталі, лопатя вентилятора з нержавіючої сталі.



Рисунок 1.8 – Зовнішній вигляд охолоджуючого вентилятора [9]

Система охолодження контролюється за допомогою різних технологій та методів, що забезпечують оптимальне охолодження повітря всередині теплиці.

Ось деякі з них:

– датчики температури: датчики температури можуть бути встановлені у різних точках теплиці для моніторингу поточної температури. Вони можуть передавати дані контролеру, який керує системою охолодження;

– системи вентиляції: в автоматизованих теплицях часто використовуються автоматичні системи вентиляції, які регулюють подачу свіжого повітря та виведення надлишкового тепла та вологи. Ці системи можуть бути керованими за допомогою контролера, який ґрунтується на даних із датчиків;

– автоматизовані системи кондиціювання повітря: деякі автоматизовані теплиці можуть бути оснащені системами кондиціювання повітря, які автоматично регулюють температуру та вологість повітря всередині теплиці.

## 2. Система поливу:

– крапельне зрошення (зображене на рисунку 1.9) – це один із найпоширеніших методів зрошення в промислових теплицях. Він дозволяє подавати воду безпосередньо до коріння рослин, мінімізуючи втрати води за рахунок випаровування та забезпечуючи ефективне використання вологи;



Рисунок 1.9 – Зовнішній вигляд крапельного зрошення [10]

– мікроспрінкельна система (зображена на рисунку 1.10) – ця система зрошення використовує розпилення води під тиском, створюючи область

рясного зрошення. Вона добре підходить для зрошення великих площ теплиць і може бути ефективним при використанні спеціальних насадок для подачі води у вигляді туману, що сприяє рівномірному покриттю рослин;



Рисунок 1.10 – Зовнішній вигляд мікроспрінкельної системи [10]

– метод туманоутворення (зображений на рисунку 1.11) – ці системи створюють туман усередині теплиці, що допомагає підтримувати високу вологість повітря. Це особливо корисно для рослин, які потребують високої вологості, наприклад, для тепличних овочів;



Рисунок 1.11 – Зовнішній вигляд методу туманоутворення [10]

– метод гідропоніки (зображений на рисунку 1.12) – у промислових

теплицях також часто застосовують системи гідропоніки, де рослини вирощуються без ґрунту, у спеціальних контейнерах із поживним розчином. У таких системах зрошення може здійснюватися безпосередньо через живильний розчин.



Рисунок 1.12 – Зовнішній вигляд методу гідропоніки [10]

Система поливу в теплицях контролюється за допомогою різних методів та технологій, які забезпечують оптимальне зволоження ґрунту та рослин. Ось основні способи контролю систем поливу в теплицях:

- таймери та програмовані контролери: для автоматизації поливу в теплицях часто використовуються таймери та програмовані контролери. Вони дозволяють встановити розклад поливу залежно від потреб рослин та умов навколишнього середовища;

- датчики вологості ґрунту: для визначення потреби поливу використовуються датчики вологості ґрунту. Вони можуть бути встановлені безпосередньо в ґрунті та передавати інформацію про рівень вологості контролеру системи поливу;

- датчики вологості повітря: Деякі системи поливу також можуть використовувати датчики вологості повітря для визначення загальної вологості

у теплиці та коригування поливу відповідно;

- датчики опадів: для запобігання надмірному поливу у разі дощу можуть бути встановлені датчики опадів, які автоматично відключають систему поливу;
- ручне управління: у деяких випадках оператори можуть керувати системою поливу вручну, ґрунтуючись на своєму досвіді та знаннях про потреби конкретних культур.

### 3. Система освітлення:

- метод LED-освітлення (зображен на рисунку 1.13) – світлодіодні лампи (LED) широко використовуються в промислових теплицях через їх ефективність, довговічність та можливість створення різних спектрів світла. LED лампи дозволяють точно контролювати спектр світла, що важливо для стимуляції росту рослин у різні періоди їхнього життєвого циклу;



Рисунок 1.13 – Зовнішній вигляд методу LED-освітлення

- метод спектрального освітлення (зображен на рисунку 1.14) – системи освітлення в автоматизованих теплицях можуть бути налаштовані певні спектральні характеристики світла залежно від фази зростання рослин. Наприклад, для стимуляції цвітіння використовуються лампи з великим вмістом червоного та синього світла.



Рисунок 1.14 – Зовнішній вигляд методу спектрального освітлення [11]

Система освітлення в автоматизованих теплицях контролюється за допомогою різних технологій та методів, що забезпечують оптимальне освітлення для рослин залежно від їх потреб. Ось деякі з них:

- датчики освітленості: датчики освітленості можуть бути встановлені у теплиці для моніторингу рівня природного світла. Вони можуть використовуватися для визначення необхідності вмикання та регулювання штучного освітлення;

- програмовані контролери: системи освітлення в автоматизованих теплицях часто керуються програмованими контролерами, які дозволяють налаштовувати тривалість та інтенсивність освітлення залежно від потреб культур;

- системи освітлення на основі датчиків росту рослин: деякі системи освітлення використовують датчики, які вимірюють фізіологічні параметри рослин, такі як рівень хлорофілу або структура листя для визначення оптимального рівня освітлення;

- використання штучного інтелекту та машинного навчання: деякі сучасні системи освітлення можуть використовувати штучний інтелект та алгоритми машинного навчання для аналізу даних та оптимізації освітлення у реальному часі;

- динамічне освітлення: системи освітлення можуть бути налаштовані на зміну колірної температури та спектру світла залежно від фази росту рослин та

часу доби.

#### 4. Система опалення:

– тепловий насос (зображен на рисунку 1.15) – може використовуватися для ефективного нагрівання теплиці за рахунок вилучення тепла з навколишнього середовища (повітря, ґрунту або води) та його передачі всередину теплиці;



Рисунок 1.15 – Зовнішній вигляд теплового насосу [11]

– інфрочервоне опалення (зображене на рисунку 1.16) – може бути встановлене всередині теплиці для спрямованого нагріву рослин та ґрунту. Воно може бути ефективними в зонах з високими втратами тепла;

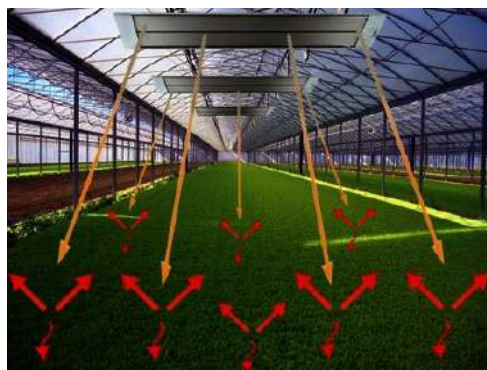


Рисунок 1.16 – Зовнішній вигляд інфрочервоного опалення [11]

– сонячний колектор (зображений на рисунку 1.17) – може використовуватися для збирання сонячної енергії та нагрівання повітря або води для опалення теплиці.



Рисунок 1.17 – Зовнішній вигляд сонячного колектора [11]

Система опалення контролюється з використанням різних технологій та методів, які забезпечують оптимальне теплопостачання залежно від потреб рослин та умов навколишнього середовища. Ось деякі з них:

- датчики температури: датчики температури можуть бути встановлені у різних зонах теплиці для моніторингу температури. Вони передають дані контролеру системи опалення, який регулює роботу опалювальних приладів;

- програмовані контролери: системи опалення в автоматизованих теплицях зазвичай управляються програмованими контролерами, які дозволяють налаштовувати температурні режими в залежності від часу доби та потреб культур;

- системи розподілу тепла: у теплиці можуть бути встановлені системи розподілу тепла, такі як труби з гарячою водою або повітряні канали, які рівномірно розподіляють тепло по всій теплиці;

- автоматичні клапани та насоси: для керування системою циркуляції теплоносія (наприклад, води або повітря) можуть використовуватись автоматичні клапани та насоси, які відкриваються або закриваються в залежності від температури.

Отже, згідно ТЗ, необхідно розробити макет автоматизованої системи Smart Greenhouse.

## 2 РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЄКТУ

### 2.1 Вибір компонентів для програмної реалізації проекту

Для розробки макету автоматизованої системи було обрано наступні компоненти:

- arduino UNO R3 (CHR 340);
- серводвигун SG90 2 кг;
- мініатюрний водяний насос-помпа RS-360SH;
- 2 датчики вологості ґрунту (гігрометр);
- датчик освітленості аналогово-цифровий;
- вентилятор 12 В;
- датчик вологості та температури DHT11;
- 3 1-канальних реле 12 В;
- фіто-стрічка 12 В;
- датчик Real Time Clock (RTC) DS3231;
- блок живлення Prolum 12 В.

Arduino UNO R3 (CHR 340): плата на базі мікроконтролера ATmega328p. Використовується студентами для проектів, професіоналами в розробках та виробництві. Платформа має 14 цифрових вводів/виходів (6 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ), 6 аналогових входів, кварцовий генератор 16 МГц, роз'єм USB, силовий роз'єм, роз'єм ICSP і кнопку перезавантаження. Для роботи необхідно підключити платформу до комп'ютера за допомогою кабелю USB або подати живлення за допомогою адаптера AC/DC або акумуляторною батареєю (зображена на рисунку 2.1).



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд Arduino UNO R3 [12]

Характеристики та особливості:

- вхідна напруга (рекомендована): 7-12 В;
- конектор живлення: роз'єм 2,1 мм;
- контролер: АТmega325р;
- програмна пам'ять: 32кБ;
- оперативна пам'ять: 2кБ;
- енергозалежна пам'ять: 1кБ;
- цифрові піни: 14 (з них 6 можуть використовуватися для ШІМ);
- аналогові піни: 6;
- частота 16 МГц і 12 МГц для чіпу CH340;
- інтерфейси: USB-UART, RS232, SPI;
- розмір: 69 мм x 54мм;
- вага: 25,8 г;
- ціна ~ 198 грн.

Серводвигун SG90: широко використовується для збирання, керування й пересування будь-яких об'єктів, тягова маса яких не перевищує 2 кг. Сервопривід Arduino може обертатися приблизно на 180 градусів (90 у кожному напрямку) і працювати, так само як стандартні сервоприводи, але тільки розмірами (зображений на рисунку 2.2).



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд SG90 [13]

Характеристики та особливості:

- обертальний момент: досягає 2 кг / см;
- температурний режим: від 0 °С до 50 °С;
- робоча напруга: 3,5 В – 5 В;
- робочий струм: 5 мА;
- робоча швидкість: 0,12 с / 60 °С;
- розмір: 22,2 мм x 11,8 мм x 31 мм;
- вага: 9 г;
- ціна ~ 69 грн.

Мініатюрний водяний насос-помпа RS-360SH: це невеликий електричний насос, який використовується для перекачування води. Він може бути застосований у різних проектах, включаючи автоматичні системи поливу, акваріуми, фонтани та інші системи, де потрібне перекачування рідини (зображений на рисунку 2.3).



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд мініатюрного водяного насосу-помпи RS-360SH [14]

Характеристики та особливості:

- напруга живлення: 3-12 В;
- продуктивність: 1-1,5 л / хв;
- діаметр: 27 мм;
- довжина: 52 мм;
- діаметр водяних трубок, що підключаються: 4 мм;
- вага: 70 г;
- ціна ~ 139 грн.

Датчик вологості ґрунту (гігрометр): простий пристрій датчик для визначення вологості землі, в яку він занурений. Він дозволить дізнатися про недостатнє або надмірне поливання ваших домашніх рослин або в саду. Між двома електродами створюється невелика напруга. Якщо ґрунт сухий, опір великий і струм буде меншим. Якщо земля волога – опір менший, струм трохи більше. За підсумковим аналоговим сигналом можна судити про рівень вологості. Датчик підключається до керуючої електроніки через 3 дроти (зображений на рисунку 2.4).

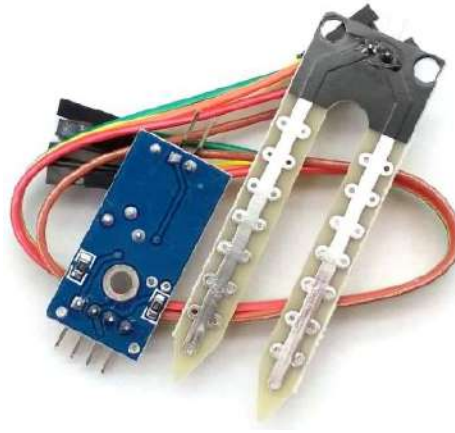


Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд датчика вологості ґрунту [15]

Характеристики та особливості:

- вимірювальний елемент: металізований щуп (окремий);
- виходи датчика: цифровий та аналоговий;
- напруга живлення датчика: 3,3 – 5 В;
- габарити модуля: 38 мм x 15,6 мм x 8 мм;
- габарити датчика: 63,8 мм x 20 мм x 8 мм;
- довжина кабелю: 20 см;
- вага комплекту: 1 г;
- ціна ~ 29 грн.

Модуль датчика освітленості аналогово-цифровий: використовується для вимірювання рівня освітленості та перетворення аналогового сигналу в цифровий для подальшого оброблення мікроконтролером. Основний компонент цього модуля -фототранзистор для виявлення світла, операційний підсилювач для підсилення сигналу, а також аналогово-цифровий перетворювач (ADC) для перетворення аналогового сигналу у цифровий (зображений на рисунку 2.5).



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд датчику освітленості [16]

Характеристики та особливості:

- чутливий елемент – фоторезистор;
- вихід компаратора більш ніж 15 мА;
- регулювання порога спрацьовування змінним резистором;
- робоча напруга: від 3,3 В до 5 В;
- цифровий вихід компаратора (0 та 1);
- аналоговий вихід датчика освітлення;
- зручний отвір для кріплення;
- розміри: 3,2 см x 1,4 см;
- використаний компаратор LM393;
- ціна ~ 16 грн.

Вентилятор: це пристрій, яким можна керувати за допомогою мікроконтролера Arduino для створення різних проектів, таких як охолодження електронних компонентів, вентиляція приміщень, або частина більш складних систем, таких як автоматизовані теплиці. Вентилятор зазвичай підключають до Arduino через транзистор або реле, щоб забезпечити необхідну потужність, оскільки виводи Arduino можуть постачати лише невеликий струм (зображений на рисунку 2.6).



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд вентилятору [17]

Характеристики та особливості:

- номінальна напруга: 12 В;
- номінальний струм: 0,08 А;
- номінальна швидкість обертання:  $9000 \pm 10\%$  об/хв;
- повітряний потік: 0,05 м.куб/хв. (2,75 CFM);
- рівень шуму:  $26 \pm 10\%$  dBA;
- тип підшипника: підшипник ковзання;
- ресурс: 35000 годин;
- довжина кабелю: 15 см;
- розміри 30 мм х 30 мм х 10 мм;
- вага: 8 г;
- ціна ~ 57 грн.

Датчик вологості та температури DHT11: це простий у використанні цифровий датчик, який вимірює як відносну вологість, так і температуру. Він ідеально підходить для різних DIY проєктів, особливо у сферах автоматизації, систем контролю клімату та систем моніторингу (зображений на рисунку 2.7).



Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд датчику вологості та температури DHT11

Характеристики та особливості:

- діапазон вимірювання вологості: 20-90% RH (відносна вологість);
- точність вимірювання вологості:  $\pm 5\%$  RH;
- діапазон вимірювання температури: 0-50 °C;
- точність вимірювання температури:  $\pm 2$  °C;
- напруга живлення: від 3,3 В до 5,5 В;
- розміри: 15,5 мм x 12 мм x 5,5 мм;
- ціна ~ 48 грн.

Реле: електронний компонент, який дозволяє контролювати високовольтні та високоструміві навантаження за допомогою низьковольтних сигналів, наприклад, від мікроконтролера Arduino. Він працює як перемикач, який включає або вимикає підключене навантаження у відповідь на сигнал керування (зображено на рисунку 2.8).



Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд реле [19]

Фіто-стрічка: це світлодіодна лампа, спеціально розроблена для підтримки

росту рослин у внутрішніх приміщеннях. Вона випромінює спеціальний спектральний склад світла, який оптимізований для фотосинтезу і росту рослин. Фіто-стрічки використовуються для освітлення рослин у горщиках, теплицях, акваріумах та інших місцях, де не вистачає природного світла (зображена на рисунку 2.9).



Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд фіто-стрічки [20]

Характеристики та особливості:

- напруга живлення 12 В;
- колір свічення стрічки: синій-червоний;
- кількість діодів 60 led/м;
- електрична потужність стрічки (шнура) 12 Вт/м;
- світловий потік 1000 – 1500 Лм;
- ступінь захисту IP65;
- ціна ~ 300 грн.

Блок живлення: це спеціалізоване обладнання, яке застосовується для безпечної та надійної роботи світлодіодних стрічок, систем безпеки та іншого обладнання, потребує стабільної напруги в 12 В (зображений на рисунку 2.10).



Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд блоку живлення [21]

Характеристики та особливості:

- тип джерела живлення: імпульсний;
- тип охолодження: пасивне;
- корпус: блоки живлення в захисному кожусі;
- потужність: 60 Вт;
- вхідна напруга: 200 В - 240 В;
- вихідна напруга: 12 В;
- сила струму: 5 А;
- коефіцієнт потужності: 84%;
- ступінь захисту: IP20 (Негерметичний);
- робоча температура: -25 °С до 40 °С;
- додатково: захист від короткого замикання, захист від перевантаження;
- розміри: 110 мм × 78 мм × 35 мм;
- ціна ~ 300 грн.

Модуль годинника реального часу DS3231SN: він використовується для зберігання і відстеження часу з високою точністю, що робить його ідеальним для проектів, де потрібен точний облік часу (зображений на рисунку 2.11).



Рисунок 2.11 – Зовнішній вигляд DS3231 Real Time Clock (RTC) [22]

Характеристики та особливості:

- точність: дуже висока;
- інтерфейс зв'язку I2C;
- діапазон напруги: від 3,0 В до 5,5 В;
- вбудована температура: так;
- вбудований календар: так;
- робоча температура: -40 °С до 85 °С;
- імпульс збіжності: ні;
- внутрішній регулятор: так;
- ціна ~ 120 грн.

## 2.2 Моделювання роботи автоматизованої системи

Підсумовуючи попередній розділ з підбором компонентів, на цьому етапі роботи була розроблена схема підключення. Ця схема є важливим кроком для реалізації проєкту, оскільки вона визначає спосіб взаємодії між різними компонентами системи та забезпечує їх правильну роботу.

Розроблена схема підключення враховує всі необхідні компоненти та їх взаємозв'язок, що дозволяє системі ефективно функціонувати та досягати поставлених задач.

Для створення моделі управління автоматизованою системою використано середовище Tinkercad.

По-перше, це онлайн платформа, що означає, що ви можете працювати над своїми проектами з будь-якого пристрою, який має доступ до Інтернету, без необхідності встановлення додаткових програм або налаштувань.

По-друге, Tinkercad має інтуїтивний і простий у використанні інтерфейс, що дозволяє навіть початківцям швидко оволодіти основами моделювання та програмування. Він надає зручні інструменти для створення 3D-моделей, проектування електричних схем та програмування мікроконтролерів.

По-третє, Tinkercad має широку базу даних електронних компонентів і сенсорів, що дозволяє легко вибирати та додавати потрібні компоненти до проекту. Це зробить процес моделювання більш приємним та ефективним.

Нарешті, Tinkercad підтримує спільноту користувачів, де можливо знайти відповіді на свої питання, поділитися своїми проектами та отримати поради від інших ентузіастів. Це створює стимулююче середовище для навчання та співпраці.

Отже, Tinkercad вибраний як ідеальне середовище для розробки, оскільки він поєднує в собі простоту використання, багатий функціонал та можливість співпраці з іншими користувачами.

Розроблена блок-схема (зображена на рисунку 2.12).

Змодельована схема (зображена на рисунку 2.13).

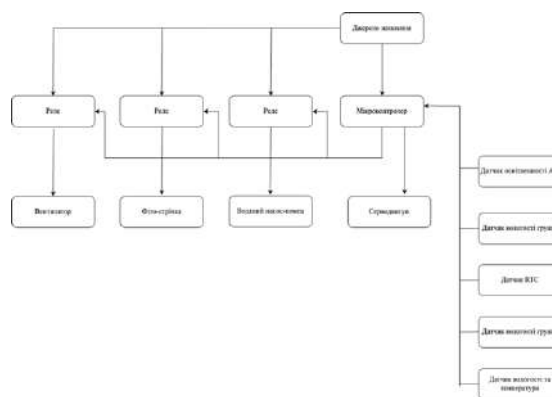


Рисунок 2.12 – Блок-схема автоматизованої системи

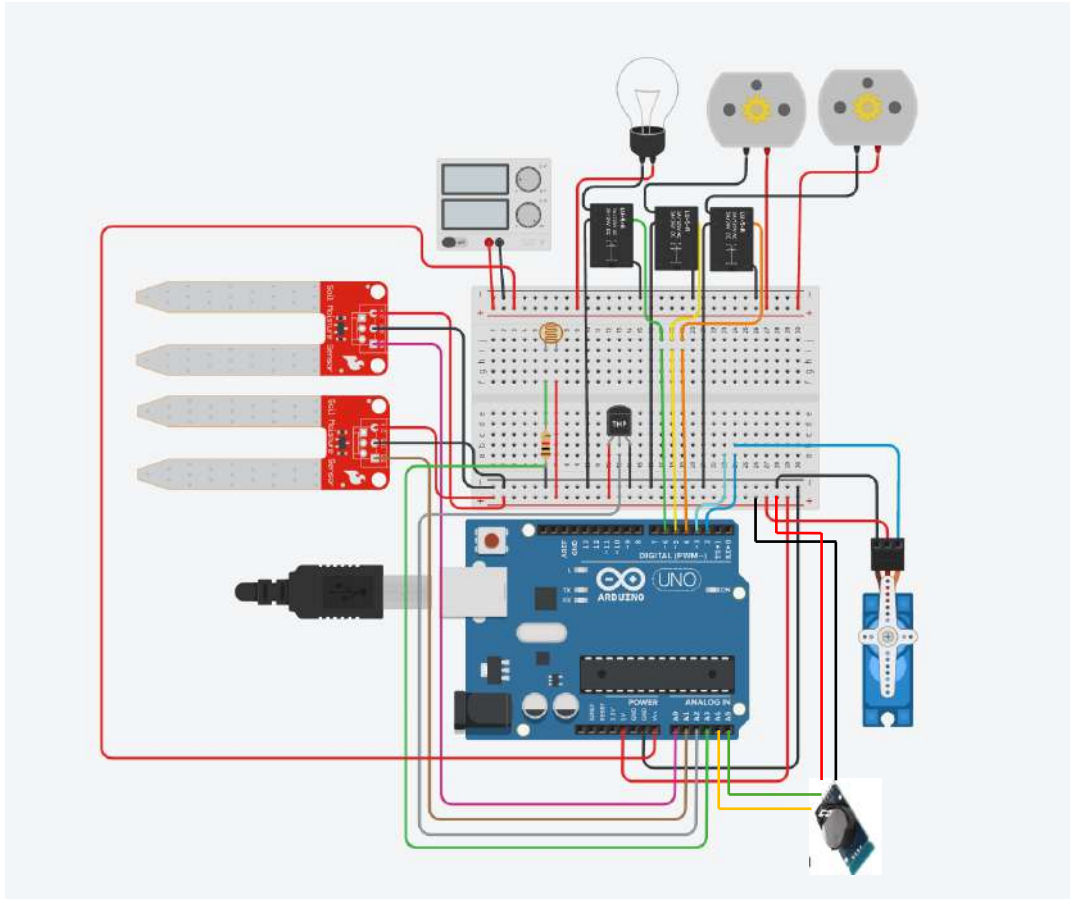


Рисунок 2.13 – Схема підключення електричних компонентів автоматизованої системи

Принцип роботи розробленої автоматизованої системи Smart Greenhouse з вказаними елементами базується на зборі та аналізі даних з датчиків для забезпечення сприятливих умов для росту рослин. Датчик освітленості вимірює рівень освітленості та дозволяє контролювати тривалість та інтенсивність освітлення в теплиці. Штучне світло вмикається за допомогою фіто-стрічки. Датчик вологості ґрунту дозволить дізнатися про недостатнє або надмірне поливання рослин. Датчик вимірювання вологості та температури DHT11 вимірює температуру та вологість повітря, що також є важливим для росту рослин.

Мініатюрний водяний насос-помпа RS-260SH використовується для крапельного поливу рослин. Вентилятор використовується для циркуляції повітря навколо рослин і також керується реле. Плата Arduino R3 UNO

використовується для керування всією системою та збору даних з датчиків та для управління серводвигуном.

Вся система живиться від блоку живлення 12 В. Мікроконтролер, Arduino Uno, який було обрано в якості системи керування всіма компонентами автоматизованої системи. Він отримує дані від датчиків, аналізує їх та відправляє відповідні команди до серводвигунів, вентилятору, насосу, постійно моніторить джерело освітленості та час за для подальшої конфігурації.

### 2.3 Засоби та результати механічної реалізації розробки

Розглядання компонентів, що були обрані для забезпечення функціоналу автоматизованої системи надало приблизних уявлень щодо кінцевого зовнішнього вигляду та властивостей автоматизованої системи.

Під час планування та виконання моделювання були враховані такі фактори та потреби для автоматизованої системи, як:

- компактність;
- використання доступних та надійних компонентів для забезпечення довготривалої роботи системи без значних витрат на обслуговування;
- вибір відповідного місця для розміщення датчиків температури для точного моніторингу;
- розташування вентиляційної системи для рівномірного розподілу тепла;
- інсталяція датчиків вологості на рівні рослин для точних показників;
- розташування зволожувачів та вентиляційних систем для підтримання оптимальної вологості;
- розміщення фіто-стрічки таким чином, щоб забезпечити рівномірне освітлення всіх рослин;
- встановлення датчиків освітлення на висоті листя рослин для точного вимірювання освітленості;
- розташування мікроконтролера (Arduino) у захищеному місці з легким

доступом для обслуговування;

- інтеграція контролера з датчиками та акторами через аналогові та цифрові порти;

- розташування теплиці в захищеному від вітрів місці для зменшення впливу зовнішніх кліматичних умов.

Каркас автоматизованої системи зображений на рисунку 2.14.

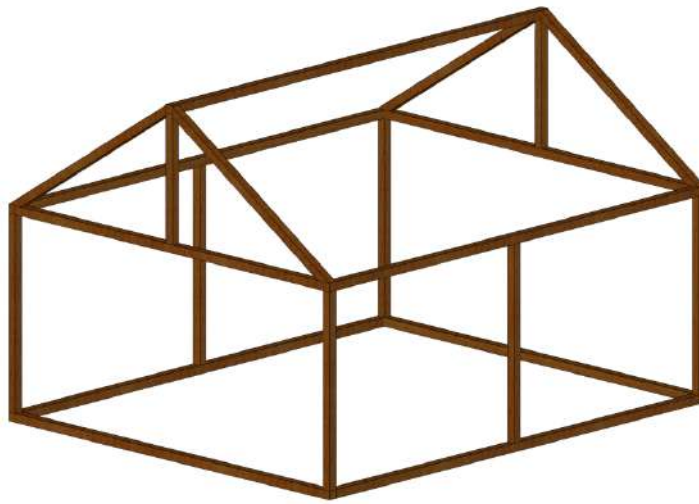


Рисунок 2.14 – Каркас автоматизованої системи

На рисунку 2.15 зображена модель автоматизованої системи. Теплиця побудована на міцному дерев'яному каркасі, що забезпечує стійкість і довговічність. Прозорий поліетилен забезпечує хорошу ізоляцію та пропускає достатню кількість природного світла.

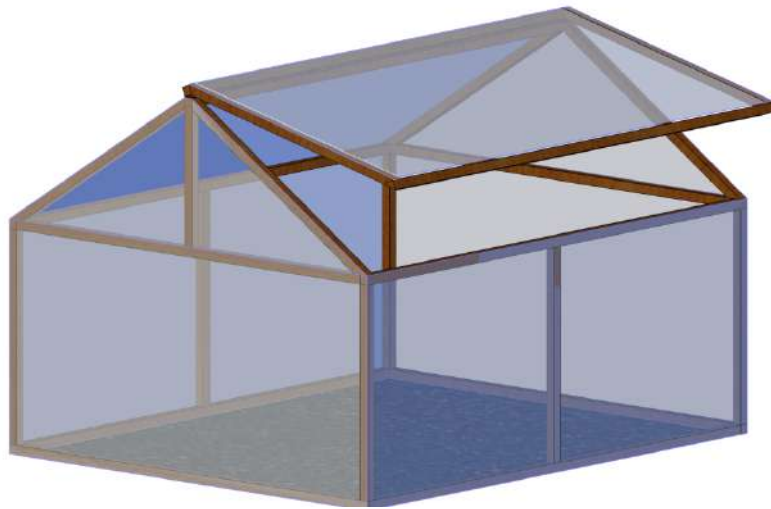


Рисунок 2.15– Модель автоматизованої системи Smart Greenhouse

На рисунку 2.16 зображено схему розташування компонентів автоматизованої системи.

Датчики ґрунту встановлюються безпосередньо в ґрунт на глибині, де розташовані корені рослин. Це дозволяє отримувати точні дані про вологість саме в зоні коренів, що є критично важливим для здорового росту рослин.

Датчик вологості та температури DHT11 є важливим компонентом для моніторингу мікроклімату в теплиці. Розташування цього датчика має бути стратегічним для забезпечення точного вимірювання параметрів навколишнього середовища. Датчики встановлюються на висоті, яка відповідає середній висоті рослин. Це забезпечує точне вимірювання умов безпосередньо у зоні росту рослин.

Датчики освітленості в теплиці розташовують так, щоб забезпечити точне вимірювання рівня освітленості для оптимального росту рослин. Датчики встановлюються на висоті, де знаходяться верхні листки рослин, щоб вимірювати рівень світла, який вони отримують. Це допомагає забезпечити достатнє освітлення для фотосинтезу.

Вентилятори в теплиці встановлюються для забезпечення ефективної вентиляції, що необхідно для підтримання оптимальних умов для росту рослин. Встановлюються на стелі теплиці для циркуляції повітря зверху вниз. Це

допомагає уникнути утворення гарячих зон під дахом і забезпечує рівномірний розподіл температури.

Серводвигуни використовуються для автоматичного відкривання та закривання вікон для забезпечення додаткової вентиляції.

Насоси в теплиці використовуються для забезпечення ефективного поливу рослин, циркуляції води та поживних речовин. Встановлюється поблизу резервуара з водою або системи водопостачання. Він забезпечує тиск і подачу води до крапельниць, розпилювачів або інших зрошувальних пристроїв.

Використання Arduino в теплиці дозволяє автоматизувати та контролювати різні аспекти клімату і управління рослинами, такі як полив, освітлення, вентиляція та інші процеси. Контрольний центр Arduino та блоку живлення може бути розміщений у спеціальному контрольному ящику або панелі, яка розташована поблизу входу в теплицю або в приміщенні поруч. Це забезпечує зручний доступ для програмування та моніторингу.

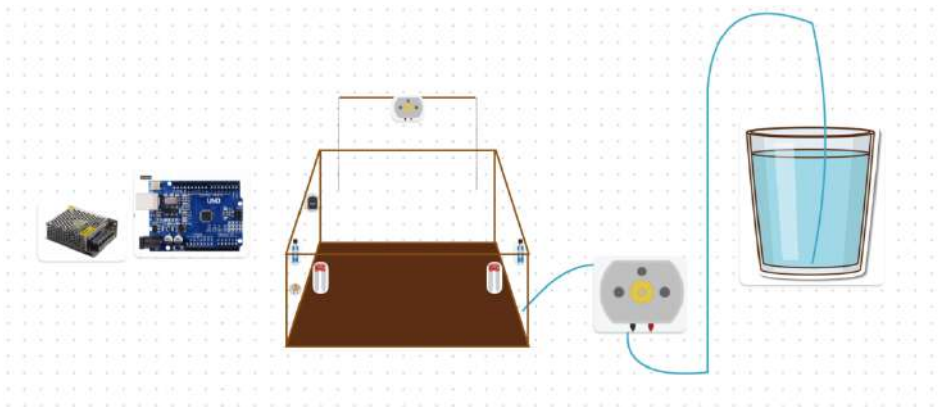


Рисунок 2.16 – Схема розташування компонентів автоматизованої системи

Врахування всіх цих факторів допоможе створити ефективну, надійну та економічну автоматизовану систему Smart Greenhouse, яка забезпечить оптимальні умови для вирощування рослин та ефективного управління ресурсами.

## 2.4 Розрахунок передавальної функції серводвигуна та перевірка його на стійкість

Для розрахунку передавальної функції серводвигуна SG90, потрібно визначити математичну модель його динамічної поведінки. Серводвигун SG90 є керованим за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШИМ), і його динамічна поведінка може бути описана як система другого порядку.

Передавальна функція системи другого порядку має вигляд (2.1):

$$H(s) = \frac{Kw_n^2}{s^2 + 2\zeta w_n s + w_n^2}, \quad (2.1)$$

де  $K$  – коефіцієнт підсилення;

$w_n$  – природна частота системи;

$\zeta$  – коефіцієнт загасання;

$s$  – комплексна змінна Лапласового перетворення.

Щоб визначити параметри  $K$ ,  $w_n$ ,  $\zeta$  потрібно провести експериментальні вимірювання або отримати дані від виробника. Для SG90 можемо використовувати типові значення на основі характеристик сервомоторів.

Для розрахунку візьмемо наступні значення параметрів  $K$ ,  $w_n$ ,  $\zeta$  (табл. 2.1)

Таблиця 2.1 – Параметри SG90, необхідні для розрахунків

Параметр	Значення
$K$	1
$w_n$ ,	10 рад/с
$\zeta$	0,7

Підставимо в наведені табл. 2.1 дані до формули передавальної функції (2.1):

$$H(s) = \frac{100}{s^2 + 14s + 100}.$$

Далі проведемо розрахунки критеріїв стійкості системи.

Система є стійкою, якщо всі корені характеристичного рівняння мають від'ємні дійсні частини. Характеристичне рівняння для нашої передавальної функції (2.2):

$$s^2 + 2\zeta w_n s + w_n^2 = 0. \quad (2.2)$$

Підставляємо значення  $w_n$  та  $\zeta$ :

$$s^2 + 14s + 100 = 0.$$

Розв'язуємо квадратне рівняння за формулою (2.3):

$$s = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \quad (2.3)$$

де  $a = 1$ ,  $b = 14$ ,  $c = 100$ .

Підставляємо всі значення в формулу (2.3) та отримуємо:

$$s = -7 \pm 7,14i. \quad (2.3)$$

Корені мають від'ємні дійсні частини, отже, система є стійкою.

## 2.5 Збірка макету автоматизованої системи Smart Greenhouse

Основаючись на перегляді проектної документації, було підготовлено всі необхідні компоненти для зборки автоматизованої системи. Процес зборки було розділено на кілька етапів, щоб краще організувати роботу.

Підготовка компонентів, у цьому етапі було перевірено наявність всіх необхідних компонентів та їх коректність. Після цього компоненти було розділено на групи відповідно до їх функціонального призначення (зображений на рисунку 2.17).



Рисунок 2.17 – Зовнішній вигляд зібраного макету автоматизованої системи  
Smart Greenhouse

Спочатку було зібрано каркас нашої системи, де будуть розміщені всі компоненти.

Наступним кроком було прикріплення всіх компонентів нашої системи, а саме датчик освітленості, вентилятор разом з реле, 2 датчики вологості ґрунту, датчик вологості та температури, насос для поливу, фіто-стрічка, серводвигун та датчик RTC.

Датчик освітленості відповідає за вимірювання рівню освітленості в теплиці та керує фіто-стрічкою для забезпечення оптимальних умов освітлення.

Вентилятор використовується для забезпечення циркуляції повітря в теплиці, щоб підтримувати оптимальні умови для рослин.

Датчики вологості ґрунту вимірюють вологість ґрунту та автоматизують полив.

Датчик вологості та температури вимірює температуру та вологість теплиці. Якщо температура більше 25 °С, то серводвигун відкриває вікно на провітрювання, якщо менше 25 °С тоді вікно закривається. Якщо вологість більше 60%, тоді вмикається вентилятор.

Наступним кроком йде підключення всіх наших компонентів до центрального контролера системи, а саме до Arduino R3 UNO. Після підключення всіх компонентів до живлення, заземлення та фази, можна підключати блок живлення до Arduino та інших компонентів, що потребують стабільного живлення, а також завантажувати код на Arduino, який зчитує дані з датчиків, керує реле, серводвигуном, насосом та вентилятором на основі отриманих даних (зображений на рисунку 2.18).



Рисунок 2.18 – Макет зібраної автоматизованої системи Smart Greenhouse

Після завершення збірки системи було проведено тестування всіх компонентів та їх взаємодію для перевірки правильності роботи.

Під час цього тестування було виявлено ряд проблем, які були негайно виправлені для забезпечення оптимального функціонування системи.

Після виправлення виявлених проблем було проведено фінальну збірку всіх компонентів та здійснено останні налаштування. Система, яка представлена на рисунку 2.18, була готова до використання після завершення цього етапу.

Цей заключний етап гарантує, що всі компоненти працюють правильно і що система готова до виконання своїх завдань. Тестування та остаточна збірка є критичними кроками у процесі розробки, оскільки вони дозволяють ереконатися, що система працює належним чином та відповідає всім вимогам.

## 3 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ УПРАВЛІННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

### 3.1 Вибір серед розробки

Для того щоб обрати середовище для розробки було проведено аналіз трьох найпопулярніших: Visual Studio Code [28] з розширенням Arduino, Arduino [29] та PlatformIO [30].

Visual Studio Code (VS Code) – це легкий та потужний текстовий редактор (зображений на рисунку 3.1), який став дуже популярним серед розробників завдяки своїм багатими можливостями та розширюваній архітектурі. Розширення для Arduino додає підтримку для програмування та відлагодження мікроконтролерів Arduino безпосередньо у VS Code.

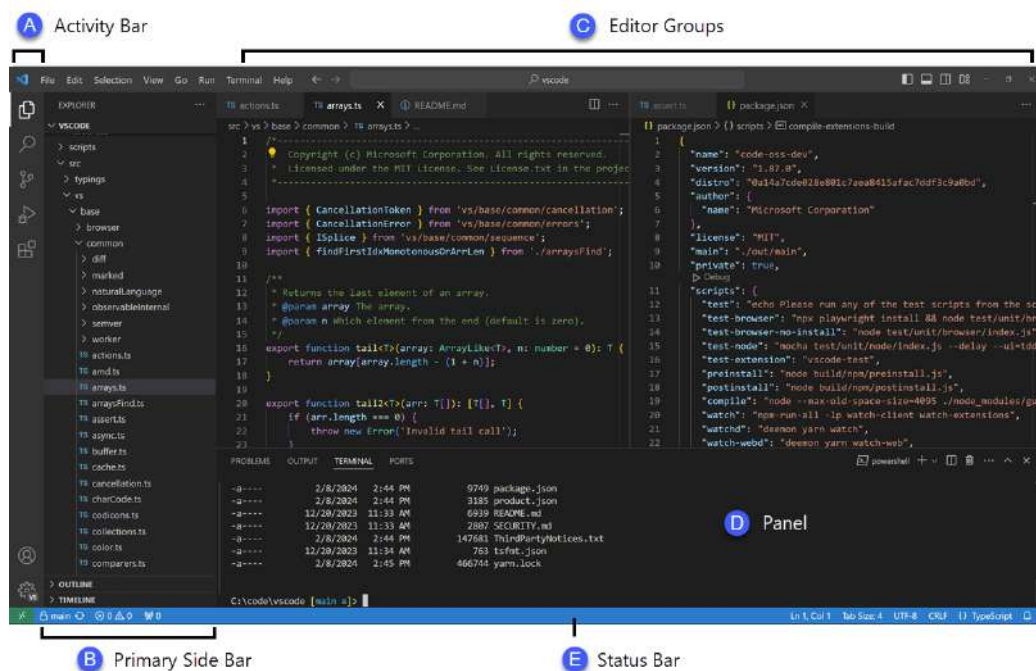


Рисунок 3.1 – Інтерфейс Visual Studio Code [23]

VS Code має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та широкий набір функцій, які роблять роботу з ним приємною та ефективною. Розширення для Arduino надає

всі необхідні функції для програмування, відлагодження та керування проектами Arduino безпосередньо у VS Code.

VS Code має потужну систему автодоповнення, яка значно полегшує написання коду та зменшує кількість помилок. Крім розширення для Arduino, у VS Code є багато інших корисних розширень для програмістів, що дозволяє розширити його функціональність. VS Code підтримує роботу на різних операційних системах, таких як Windows, macOS та Linux.

Хоча VS Code є легким в порівнянні з багатьма іншими інтегрованими середовищами розробки, він може вимагати більше ресурсів системи, ніж деякі прості текстові редактори. Хоча розширення для Arduino дуже популярне та стабільне, можуть виникати проблеми з іншими розширеннями, особливо з менш популярними або недавно розробленими. Для повного використання VS Code разом з розширенням Arduino може знадобитися деякий час, щоб ознайомитися з інтерфейсом та функціональністю редактора.

Arduino IDE – це відкрите апаратне та програмне забезпечення (зображено на рисунку 3.2), яке дозволяє створювати різноманітні електронні пристрої та проекти, навіть для тих, хто не має глибоких знань у програмуванні та електроніці.



Рисунок 3.2 – Інтерфейс Arduino IDE [24]

Простота використання: Arduino має простий інтерфейс та легку установку, що робить його доступним навіть для початківців. Arduino має широке співтовариство користувачів та розробників, що означає, що завжди можна

знайти підтримку, поради та різноманітні проекти для навчання. Існує багато моделей Arduino та додаткових модулів, що дозволяє вибрати платформу, яка найкраще відповідає вашим потребам. Arduino базується на відкритому програмному забезпеченні, що означає, що ви можете модифікувати та пристосовувати код для своїх потреб. Існує велика кількість бібліотек для Arduino, які спрощують взаємодію з різними пристроями та датчиками.

Arduino може бути обмеженим для деяких складних проектів або великих систем. Деякі моделі Arduino мають обмежені ресурси (наприклад, пам'ять, швидкість процесора), що може бути проблемою для великих або обчислювально-інтенсивних проектів. Хоча Arduino добре підходить для прототипування та експериментів, він може бути менш практичним для масштабування та виробництва великих кількостей пристроїв. За замовчуванням, Arduino не має вбудованих заходів безпеки, тому вам потрібно дбати про захист ваших пристроїв від зловмисників. Іноді можуть виникати проблеми зі з'єднанням між Arduino та комп'ютером, особливо при використанні певних моделей чи кабелів.

PlatformIO – це відкрите середовище розробки для вбудованих систем (зображено на рисунку 3.3), яке надає можливості для програмування мікроконтролерів, таких як Arduino, ESP8266, ESP32, STM32 та багатьох інших.

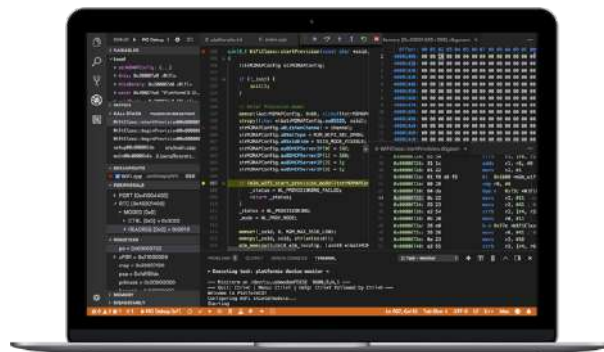


Рисунок 3.3 – Інтерфейс Platform IO [25]

Проводячи аналіз було виявлено такі переваги перед іншими, кросплатформеність підтримується Windows, macOS та Linux, що робить його доступним для користувачів різних операційних систем. Підтримка різних мов програмування, таких як C++, Python тощо. Великої кількості мікроконтролерів та платформ, що дозволяє розробникам вибирати найбільш підходящий для їх потреб. Автоматичне керування бібліотеками та залежностями, що спрощує роботу зі сторонніми ресурсами.

PlatformIO інтегрується з такими популярними редакторами, як Visual Studio Code, Atom, Sublime Text, що дозволяє розробникам користуватися улюбленим середовищем розробки. PlatformIO має активну спільноту користувачів і швидку технічну підтримку, що допомагає вирішувати проблеми та отримувати відповіді на питання.

Мінуси ж були наступними, для новачків PlatformIO може здаватися складним у використанні порівняно з традиційним середовищем розробки Arduino IDE. PlatformIO може вимагати більше ресурсів системи порівняно з легковаговими IDE, що може вплинути на продуктивність настільного комп'ютера. Хоча PlatformIO підтримує велику кількість мікроконтролерів, деякі екзотичні або менш популярні пристрої можуть мати обмежену підтримку. Деякі функції PlatformIO можуть вимагати підключення до Інтернету, що може бути недоцільним для розробки в умовах обмеженого Інтернет-з'єднання.

Підсумовуючи аналіз трьох найпопулярніших середовищ для розробки - PlatformIO, Arduino та Visual Studio Code з розширенням Arduino, можна зробити висновок про переваги Arduino перед іншими.

Arduino – це добре відоме та широко використовуване середовище для розробки електронних пристроїв, особливо в середовищі вбудованих систем. Хоча інші середовища, такі як PlatformIO та Visual Studio Code, можуть мати свої переваги, особливо для досвідчених розробників та професіоналів, Arduino залишається найкращим вибором для нашого проекту через звою простоту та достатній функціонал.

### 3.2 Розробка загального алгоритму роботи

Згідно з головним принципом існування Smart Greenhouse, її мета – оптимізувати умови для вирощування рослин шляхом автоматизованого контролю та регулювання мікроклімату.

Це досягається через інтеграцію різних датчиків та механізмів, що дозволяють автоматично підтримувати необхідні параметри навколишнього середовища. Програмний алгоритм, розроблений для управління теплицею, використовує різні компоненти і датчики для аналізу і взаємодії з навколишнім середовищем (зображено на рисунку 3.4).



Рисунок 3.4 – Загальний алгоритм роботи автоматизованої системи Smart Greenhouse

Цей алгоритм дозволяє забезпечити автоматизований контроль над основними параметрами в теплиці, підтримуючи оптимальні умови для росту рослин.

### 3.3 Реалізація роботи автоматизованої системи

Алгоритм роботи автоматизованої системи було створено під мету нашої роботи.

Розглянемо декілька прикладів написання команд для виконання поставлених задач.

```
if (temperature > 25) {
  servo.write(90);
  Serial.println("Вікно відкрито");
} else {
  servo.write(0);
  Serial.println("Вікно закрито");
}
```

Якщо температура  $> 25$  °C, то серводвигун повертає на 90 °C й тим самим відкриває вікно на провітрювання, але якщо температура  $< 25$  °C, тоді серводвигун залишається в нульовому положенні та вікно залишається закритим.

```
if (humidity > 60) {
  digitalWrite(RELAY_PIN4, HIGH); // Увімкнути вентилятор
  Serial.println("Вентилятор: увімкнено");
} else {
  digitalWrite(RELAY_PIN4, LOW); // Вимкнути вентилятор
  Serial.println("Вентилятор: вимкнено");
}
```

Якщо вологість  $> 60\%$ , то вентилятор вмикається, але якщо вологість  $< 60\%$ , тоді вентилятор залишається вимкненим.

```
int threshold = 500; //Порогове значення вологості ґрунту
```

```

if (avgSoilMoistureValue < threshold) {
digitalWrite(RELAY_PIN5, HIGH);
Serial.println;
} else {
digitalWrite(RELAY_PIN5, LOW);
Serial.println;
}

```

Якщо середнє значення вологості ґрунту менше ніж порогове значення, тоді вмикається насос для крапельного поливу рослин, але якщо середнє значення вологості ґрунту більше або дорівнює, тоді насос вмикати не треба.

```

DateTime now = rtc.now();
int lightLevel = analogRead(LIGHT_SENSOR_PIN);
int threshold = 300;
if (lightlevel < 300; && (now.hour() >= 6 && now.hour() <= 18 && lightLevel <
threshold) {
digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
Serial.println
} else {
digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
Serial.println;
}

```

Якщо значення освітленості менше ніж порогове значення або на годиннику більше 19 години, тоді вмикаємо фіто-стрічку, але якщо значення освітленості більше ніж порогове значення або на годиннику з 6 ранку до 19, тоді стрічку не вмикаємо.

Цей алгоритм дозволяє нашій системі справно та ефективно працювати у будь-який час доби.

### 3.4 Компіляція та прошивання системи управління автоматизованої системи

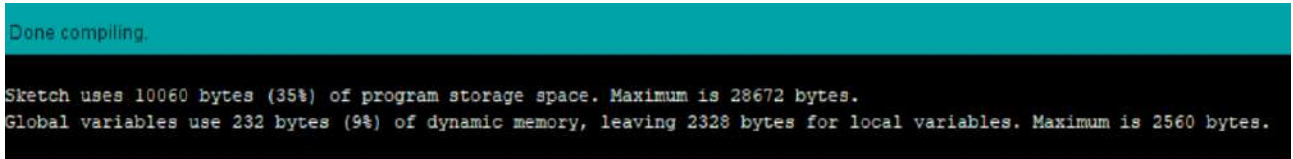
Вибір мови програмування є критично важливим етапом у розробці системи управління на платі Arduino UNO. Оскільки для проекту було обрано Arduino UNO, найкращим варіантом є використання мови програмування Arduino, яка спеціально адаптована для роботи з платами Arduino і базується на мові програмування C. Мова Arduino має простий синтаксис та велику кількість вбудованих функцій і бібліотек, що полегшує розробку програмного забезпечення для системи управління (зображено на рисунку 3.5).



Рисунок 3.5 – Вибір менеджера плат в середовищі Arduino

Після вибору плати необхідно обрати порт, через який плата буде з'єднуватись з комп'ютером. Це може бути USB-порт або інший порт, який буде з'єднувати ардуіно з комп'ютером.

На рисунку 3.6 можна побачити процес компіляції проекту. Після написання коду треба скомпілювати його, щоб перетворити вихідний код на машинний, який може виконуватись на обраній платі Arduino UNO.



```
Done compiling.  
Sketch uses 10060 bytes (35%) of program storage space. Maximum is 28672 bytes.  
Global variables use 232 bytes (9%) of dynamic memory, leaving 2328 bytes for local variables. Maximum is 2560 bytes.
```

Рисунок 3.6 – Компіляція проекту

Під час компіляції програмне забезпечення перевіряє код на наявність синтаксичних та логічних помилок. Якщо в коді є помилки, компіляція завершиться з помилкою, і програміст повинен буде виправити їх перед наступною спробою компіляції.

Після успішної компіляції коду генерується вихідний файл, який містить машинний код для виконання на мікроконтролері Arduino UNO. Цей файл готовий для завантаження на плату та виконання програми.

Остаточний крок – завантаження скомпільованої програми на плату Arduino UNO за допомогою USB-порту або іншого доступного з'єднання.

Після завантаження програма почне виконуватися на мікроконтролері, реалізуючи визначену функціональність.

### 3.5 Проведення експерименту

Проведення експерименту включало в себе ретельне вимірювання температурного режиму, рівня вологості ґрунту, вимірювання частоти поливу та вологості повітря. Основна мета полягала в тому, щоб визначити оптимальний рівень вологості ґрунту та температури для вирощування гороху.

Для докладного аналізу оптимальної температури вирощування гороху було здійснено заміри температури та висоти рослини протягом двох тижнів, кожні 3 дні й побудовано графік (рис. 3.7).

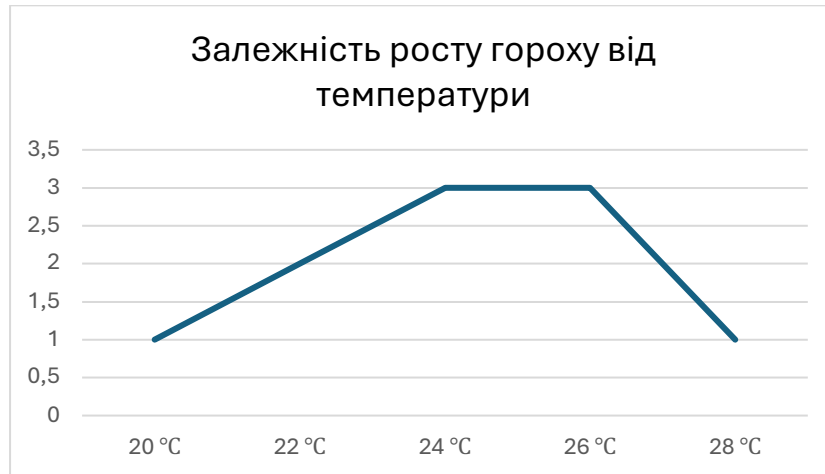


Рисунок 3.7 – Графік залежності росту рослини від температури в теплиці

Побудувавши графік залежності росту гороха від значення температури можна зробити висновок, що при температурі від 20 °C до 26 °C рослина стрімко росте, максимальне значення росту було зафіксовано при температурі 26 °C. Від 28 °C до 32 °C ріст рослини йде на спад.

Це означає, що якщо в теплиці буде більше 26 °C, то треба за допомогою серводвигуна відкривати вікно для провітрювання приміщення.

Для докладного аналізу оптимальної вологості вирощування гороху було здійснено заміри відсотку вологості та росту рослини протягом двох тижнів кожні 3 дні й побудовано графік (рисунок 3.8).

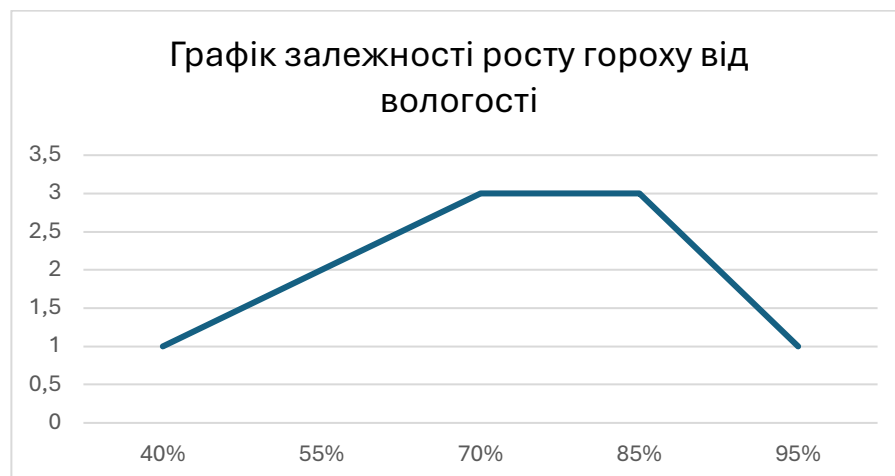


Рисунок 3.8 – Графік залежності росту рослини від вологості в теплиці

Побудувавши графік залежності росту гороха від значення вологості можна зробити висновок, що при вологості від 40% й до 85% рослина стрімко росте, максимальне значення росту було зафіксовано при вологості 70-85%. Від 86% вологості ріст рослини йде на спад.

Це означає, що якщо в теплиці буде більше 85%, то буде вмикатися вентилятор.

### 3.6 Розрахунок продуктивності насосу та необхідну потужність блоку живлення для системи

Для розрахунку продуктивності насосу RS-360SH потрібно знати декілька параметрів, таких як потужність, тиск та витрати води через насос в літрах на хвилину.

Спочатку розрахуємо потужність насосу за формулою (3.1):

$$P = V \cdot I, \quad (3.1)$$

де  $V$  – напруга;

$I$  – струм

Підставляємо значення  $V$  та  $I$ :

$$12 \cdot 0,5 = 6 \text{ Вт.}$$

Розрахуємо витрати води в кубічних метрах за секунду:

$$Q = \frac{1}{1000} \cdot \frac{1}{60} = 0,0167 = \frac{0,0167}{60} = 0,000278 \text{ м}^3.$$

Розрахуємо гідравлічну потужність за формулою (3.2):

$$P_{\text{гид}} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H, \quad (3.2)$$

де  $\rho$  – густина рідини (для води  $\rho \approx 1000 \text{ кг/м}^3$ );

$g$  – прискорення вільного падіння;

$Q$  – витрати води;

$H$  – висота підйому води.

Підставляємо значення для визначення гідравлічної потужності:

$$P_{\text{гид}} = 1000 \cdot \frac{9,81}{1} \cdot 0,000278 \cdot 2 = 5,45 \text{ Вт.}$$

Розрахуємо ККД:

$$\eta = \frac{P_{\text{гид}}}{P} = \frac{5,45}{6} \approx 0,908 \text{ (або 90,8\%).}$$

Продуктивність насоса RS-360SH залежить від багатьох факторів, включаючи його конструкцію, умови роботи та параметри живлення. Проведений розрахунок показує, що насос ефективно перетворює електричну енергію в механічну роботу з ККД приблизно 90,8 %. Це є гарним показником для невеликого насоса такого типу.

Розрахуємо необхідну потужність блоку живлення для моєї системи

Для цього розрахуємо загальну споживну потужність:

$$0,5 + 1,25 + 6 + 0,2 + 0,05 + 2,4 + 0,0125 + 1,05 + 12 + 0,01 = 23,4725 \text{ Вт.}$$

Так як рекомендується використовувати блок живлення з запасом потужності для забезпечення стабільної роботи. Припустимо, що запас становить 20 %.

Необхідна потужність блоку живлення:

$$23,4725 \cdot 1,2 \approx 28,167 \text{ Вт.}$$

Отже, для даної системи підійде блок живлення потужністю 30 Вт або більше ( наприклад 12 В 5А).

## ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи було проведено аналіз сучасних автоматизованих систем Smart Greenhouse, а саме аналіз їх недоліків та переваг. Також проаналізовані методи контролю та керування параметрами.

Було обрано компоненти для програмної реалізації та розроблено схему підключення всієї компонентів. Для перевірки функціональності та демонстрації роботи апаратних модулів в автономному режимі було використано середовище Tinkercad. Це дозволило виявити можливі проблеми та уточнити параметри перед виготовленням реального пристрою.

На основі підготовленої структурної схеми та апаратної бази було створено макет автоматизованої системи. Розроблено алгоритм роботи та програмне забезпечення для керування системою.

Проведені експериментальні дослідження дали зробити висновок яка температура та вологість найбільше підходить для обраної рослини.

У результаті було досягнуто мету роботи, а саме розроблений макет автоматизованої системи Smart Greenhouse для покращення мікрокліматичних умов вирощування культур.

Ці результати підкреслюють важливість подальших досліджень у цьому напрямку – оптимізації роботи автоматизованої системи.

Крім того, важливим напрямком є розробка більш ефективного програмного забезпечення та підбір нових компонентів для покращення мікрокліматичних умов вирощування рослин.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 3008: 2015 Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 31 с.
2. Невлюдов І. Ш. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [Текст]: навч. посіб. / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, О. В. Токарева, Г. В. Пономарьова. – Київ: НАУ, – 2016. – 320 с.
3. Методичні вказівки до Підготовки атестаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми: «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / упоряд.: І. Ш. Невлюдов, О. В. Токарева, Г. В. Пономарьова. – Харків: ХНУРЕ, – 2019. – 36 с.
4. Автоматизована теплиця EKOTEC. [teplitca.kiev.ua](http://teplitca.kiev.ua). URL: <https://teplitca.kiev.ua/ua/p631717548-avtomaticheskaya-teplitsa.html> (дата звернення 18.03.2024).
5. Стартовий набір Click and Go. [kashpo.com.ua](http://kashpo.com.ua) URL: <https://kashpo.com.ua/sg9-startovyi-nabir-click-grow-obmezheni-seriia-miatno-zelenyi/> (дата звернення 18.03.2024).
6. Автоматизована теплиця GTconcept. [gtconcept.com.ua](http://gtconcept.com.ua) URL: <https://gtconcept.com.ua/greenhouses/nashi-teplicity/304-kruglogodichnaya-avtomaticheskaya-teplica.html> (дата звернення 18.03.2024).
7. Dwc Aquaponics Farm Greenhouses Hydroponics Interlocking Raft Hydroponic Grow Bed Floating Raft Systems. URL: [https://www.alibaba.com/product-detail/Dwc-Aquaponics-Farm-Greenhouses-Hydroponics-Interlocking\\_1600968401557.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Dwc-Aquaponics-Farm-Greenhouses-Hydroponics-Interlocking_1600968401557.html) (дата звернення 18.03.2024).

8. Agricultural Tunnel Fully Automated Light Deprivation Greenhouse Single-span Blackout Greenhouse. URL: [https://www.alibaba.com/product-detail/Agricultural-Tunnel-Fully-Automated-Light-Deprivation\\_62036045316.html?spm=a2700.7724857.0.0.760eec9ayshK1G](https://www.alibaba.com/product-detail/Agricultural-Tunnel-Fully-Automated-Light-Deprivation_62036045316.html?spm=a2700.7724857.0.0.760eec9ayshK1G) (дата звернення 18.03.2024).

9. Методи охолодження теплиць. greenhousevendor. URL: <https://ua.greenhousevendor.com/info/intelligent-multi-span-greenhouse-cooling-meth-60227837.html> (дата звернення 17.04.2024).

10. Системи поливу. klioma-servise.in.ua. URL: <https://klioma-servise.in.ua/ua/a487097-kaquyu-sistemu-poliva.html> (дата звернення 17.04.2024).

11. Вентиляція теплиць. teplitca.kiev.ua. URL: <https://teplitca.kiev.ua/ua/a84469-ventilyatsiya-teplits-estestvennaya.html> (дата звернення 18.04.2024).

12. Arduino UNO R3. arduino.ua. URL: <https://arduino.ua/ru/prod2610-arduino-uno-r3-ch340> (дата звернення 25.04.2024).

13. Сервопривід SG90. arduino.ua. URL: <https://arduino.ua/ru/prod416-servoprivod-sg90-2kg> (дата звернення 25.04.2024).

14. Мініатюрний водяний насос-помпа RS-360SH. arduino.ua. URL: <https://arduino.ua/ru/prod633-miniaturnii-vodyanoi-nasos-pompa-rs-360sh> (дата звернення: 25.04.2024).

15. Датчик вологості ґрунту. arduino.ua. URL: <https://arduino.ua/ru/prod521-datchik-vlajnosti-pochvi-gigrometr> (дата звернення 25.04.2024).

16. Модуль датчика освітленості. arduino ua. URL: <https://arduino.ua/prod1558-modyl-datchika-osveshhenosti-analogovo-cifrovoi> (дата звернення 25.04.2024).

17. Вентилятор 12В. arduino.ua. URL: <https://arduino.ua/ru/prod1715-ventilyator-30h30h10mm-12v> (дата звернення 25.04.2024).

18. Модуль датчика температури та вологості DHT11. robostore.com.ua. URL: <https://www.robostore.com.ua/moduli-i-datchiki/datchiki-temperature-i->

vlazhnosti/modul-datchika-vlazhnosti-i-temperatury-dht11/ (дата звернення 25.04.2024).

19. Реле 1-канальне. 1wire.com.ua. URL: <https://1wire.com.ua/relejnij-modul-12-volt-1-kanal.html> (дата звернення 25.04.2024).

20. Фіто-стрічка. led-story.ua. URL: [https://led-story.ua/ru/svetodiodnaya-fitolenta-smd-5050-12v-60d-m-ip65-5-krasnyh-1-siniy-cena-1m/?gclid=CjwKCAjwyJqzBhBaEiwAWDRJVIhdEeyLyTTP1E1tlw2EgJEzjXUSc6IUHdhy3ND1Zgj24CF1x1NL8RoCTioQAvD\\_BwE&utm\\_source=Google&utm\\_medium=Merchant&utm\\_campaign=PR\\_Hamster](https://led-story.ua/ru/svetodiodnaya-fitolenta-smd-5050-12v-60d-m-ip65-5-krasnyh-1-siniy-cena-1m/?gclid=CjwKCAjwyJqzBhBaEiwAWDRJVIhdEeyLyTTP1E1tlw2EgJEzjXUSc6IUHdhy3ND1Zgj24CF1x1NL8RoCTioQAvD_BwE&utm_source=Google&utm_medium=Merchant&utm_campaign=PR_Hamster) (дата звернення 25.04.2024).

21. Блок живлення Prolum 12В. prolum.com.ua. URL: <https://prolum.com.ua/blok-pitaniya-impulsnyy-prolum-negermetichnyy-60w-12v-ip205a-standart/> (дата звернення 25.04.2024).

22. Real Time Clock DS3231SN. arduino.ua. URL: <https://arduino.ua/prod1142-real-time-clock-modyl-na-ds3231sn-bez-batareiki> (дата звернення 25.04.2024).

23. Visualstudio. URL: <https://code.visualstudio.com/> (дата звернення: 01.05.2024).

24. Arduino. URL: <https://www.arduino.cc/en/software> (дата звернення: 01.05.2024).

25. Platformio. URL: <https://platformio.org/> (дата звернення: 01.05.2024).

26. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» у випускних роботах ОКР «бакалавр» усіх форм навчання [Текст] / упоряд.: Б. В. Дзюнзюк, В. А. Айвазов, Т. Є. Стищенко. – Харків: ХНУРЕ, 2012. – 28 с.

27. Моделі та методи кіберфізичних виробничих систем в концепції Industry 4.0 : монографія / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, А. О. Андрусевич, С. С. Максимова ; – Oktan Print – Prague. 2023. – 321 с.

## ДОДАТОК А

### Лістинг програми для управління автоматизованою системою Smart Greenhouse

```
#include <Wire.h>
#include <iarduino_DHT.h>
#include <Servo.h>
#include <DS3231.h>

#define DHTPIN A2
#define DHTTYPE DHT11
#define SERVO_PIN 2
#define SOIL_MOISTURE_PIN1 A0
#define SOIL_MOISTURE_PIN2 A1
#define LIGHT_SENSOR_PIN A3
#define RELAY_PIN1 5
#define RELAY_PIN2 4
#define RELAY_PIN3 6

RTC_DS3231 RTC;
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
Servo servo;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin ();
  dht.begin();
```

```
if (!rtc.begin()) {
  Serial.println("Помилка ініціалізації RTC!");
  while (1);
}

if (rtc.lostPower()) {
  Serial.println("RTC втратив живлення, налаштовуємо час!");
  rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
}

pinMode(RELAY_PIN1, OUTPUT);
pinMode(SOIL_MOISTURE_PIN1, INPUT);
pinMode(SOIL_MOISTURE_PIN2, INPUT);
pinMode(LIGHT_SENSOR_PIN, INPUT);
pinMode(RELAY_PIN1, OUTPUT);
pinMode(RELAY_PIN2, OUTPUT);
pinMode(RELAY_PIN3, OUTPUT);

servoOne.attach(SERVO_PIN);

}

void loop() {

  float temperature = dht.readTemperature();
  float humidity = dht.readHumidity();
```

```
float temperature = dht.readHumidity);
if (isnan(temperature) || isnan(humidity)) {
    Serial.println("Помилка зчитування з DHT11!");
    return;
}

if (temperature > 25) {
    servo.write(90);
    Serial.println("Вікно відкрито");
} else {
    servo.write(0);
    Serial.println("Вікно закрито");
}

if (humidity > 60) {
    digitalWrite(RELAY_PIN1, HIGH); // Увімкнути вентилятор
    Serial.println("Вентилятор: увімкнено");
} else {
    digitalWrite(RELAY_PIN1, LOW); // Вимкнути вентилятор
    Serial.println("Вентилятор: вимкнено");
}

int soilMoistureValue1 = analogRead(SOIL_MOISTURE_PIN1);
int soilMoistureValue2 = analogRead(SOIL_MOISTURE_PIN2);
int avgSoilMoistureValue = (soilMoistureValue1 + soilMoistureValue2) / 2;
//Визначення середнього значення вологості ґрунту

int threshold = 500; //Порогове значення вологості ґрунту
```

```

if (avgSoilMoistureValue < threshold) {
    digitalWrite(RELAY_PIN2, HIGH); // Увімкнути насос
    Serial.println("Насос увімкнено");
} else {
    digitalWrite(RELAY_PIN2, LOW); // Вимкнути насос
    Serial.println("Насос вимкнено");
}

DateTime now = rtc.now(); //Зчитування поточного часу

int lightLevel = analogRead(LIGHT_SENSOR_PIN); //Зчитування датчика
освітленості

// Порогове значення для освітленості
int threshold = 500; // Порогове значення, яке потрібно налаштувати залежно від
умов

// Керування фіто-стрічкою
if (now.hour() >= 6 && now.hour() <= 18 && lightLevel < threshold) {
    digitalWrite(RELAY_PIN3, HIGH); // Увімкнути фіто-стрічку
    Serial.println("Фіто-стрічка: увімкнено");
} else {
    digitalWrite(RELAY_PIN3, LOW); // Вимкнути фіто-стрічку
    Serial.println("Фіто-стрічка: вимкнено");
}

Serial.print("Температура: ");
Serial.print(temperature);

```

```
Serial.println(" °C");
Serial.print("Вологість: ");
Serial.print(humidity);
Serial.println(" %")
Serial.print(" %, Вологість ґрунту 1: ");
Serial.print(soilMoisture1);
Serial.print(", Вологість ґрунту 2: ");
Serial.print(soilMoisture2);
Serial.print(", Освітленість: ");
Serial.println(lightLevel);
Serial.print("Час: ");
Serial.print(now.hour());
Serial.print(":");
Serial.print(now.minute());
Serial.print(":");
Serial.print(now.second())

delay(2000); // Затримка між зчитуваннями
}
```

## **ДОДАТОК Б**

**Демонстраційний матеріал у вигляді презентації**

