

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Галузь знань _____ 12 – Інформаційні технології _____

Спеціальність _____ 123 – Комп'ютерна інженерія _____

на тему «Роботизована система по догляду за зимовим садом»

КвРКІП.2301168.24.02.02 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група КІ2м-23-1


Підпис Іван ШАВРОВ
Ім'я, прізвище

Керівник канд. техн. наук, доцент
Науковий ступінь, вчене звання


Підпис Катерина БЕРЕЗЬКА
Ім'я, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри КІС, доктор філософії, доцент

Ольгам ПАВЛОВА 

22 05 2025 р.

Хмельницький, 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень МАГІСТР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма ОСВІТНЬО-НАУКОВА ПРОГРАМА «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Ольга ПАВЛОВА



“ 01 ” 09 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Івану ШАВРОВУ

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Роботизована система по догляду за зимовим садом

Керівник проекту (роботи) Катерина БЕРЕЗЬКА, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 08.01.2025 №8

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.05.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналіз відомих методів та рішень в проектуванні систем по догляду за зимовим садом

Технології для роботизованої системи по догляду за зимовим садом

Моделювання роботизованої системи по догляду за зимовим садом

Метод збору даних про стан рослин у роботизованій системі по догляду за зимовим



садом

Проектування роботизованої системи по догляду за зимовим садом та вибір

компонентів

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання висув	завдання прийм
Нормоконтроль	Сергій ЛИСЕНКО, професор кафедри КПС		
Антиплагіат	Андрій НІЧЕПОРУК, доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання « 01 » 09 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Приміт
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики КвРМ з керівником	01.09.2024	викона
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.10.2024	викона
3	Робота над розділом 1 – аналіз відомих моделей, методів за темою; постановка задачі	01.11.2024	викона
4	Робота над розділом 2 – розробка моделей для вирішення поставленої задачі	01.12.2024	викона
5	Робота над науковою статтею	01.02.2025	викона
6	Робота над розділом 3 – розробка методів для вирішення поставленої задачі	15.02.2025	викона
7	Робота над розділом 4 – проектування та розробка ПЗ для вирішення поставленої задачі, експериментальна частина	01.04.2025	викона
8	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	18.04.2025	викона
9	Попередній захист ДРМ	29.04.2025	викона
10	Захист ДРМ на засіданні ЕК	До 15.05.2025	

Студент


Підпис

Іван ШАВРОВ
Ім'я, прізвище

Керівник роботи


Підпис

Катерина БЕРЕЗЬКА
Ім'я, прізвище

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи магістра: Роботизована система по догляду за зимовим садом

Автор роботи: Шавров Іван Сергійович

Керівник роботи: Березька Катерина Миколаївна

Пояснювальна записка: 100 с., 25 рис., 6 табл., 2 дод., 81 джерело.

РОБОТИЗОВАНА СИСТЕМА, СЕНСОРИ, ЗИМОВИЙ САД, МЕТОДИ ЗБОРУ ДАНИХ, ДАТЧИКИ.

Об'єкт дослідження – процес автоматизованого догляду за зимовим садом.

Предмет дослідження – роботизована система по догляду за зимовим садом.

Головна мета даного дослідження полягає в автоматизації догляду за зимовим садом за допомогою роботизованої системи.

Наукова новизна отриманих результатів:

- набув подальшого розвитку метод збору даних про стан рослин, який дозволяє відстежувати та опрацьовувати дані в режимі реального часу;
- запропоновано архітектуру роботизованої системи догляду за зимовим садом, що дозволяє автоматизувати процес догляду.

Практична значимість отриманих результатів полягає у розробленому програмному забезпеченні роботизованої системи догляду за зимовим садом в режимі реального часу та видачі відповідних рекомендацій.

У вступі подано об'єкт та предмет дослідження, мету, наукову новизну та практичну цінність роботи, а також характеристику структури роботи.

У першому розділі проведено аналіз відомих рішень щодо методів та засобів догляду за рослинами в зимовому саду, а також потенціал, обмеження та перспективи впровадження роботизованої системи по догляду за зимовим садом.

У другому розділі розглянуто технології для роботизованої системи по догляду за зимовим садом, проведено огляд датчиків необхідних для реалізації системи. **Ошибка! Закладка не определена.**

У третьому розділі проведено процес моделювання роботизованої системи по догляду за зимовим садом, проведено моделювання процесу догляду за зимовим садом, також представлена математична модель. Проведено проектування роботизованої системи по догляду за зимовим садом та розроблений метод збору даних про стан рослини роботизованій системі по догляду за зимовим садом.

У четвертому розділі здійснено вибір архітектури та компонентної бази роботизованої системи по догляду за зимовим садом.

У висновках підведено підсумки досягнення результатів з розв'язання завдань дослідження.

За темою кваліфікаційної роботи опубліковано одну публікацію [82] у Збірнику наукових праць за матеріалами Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Інтелектуальні комп'ютерні системи та мережі» (Тернопіль – 2024. – С. 77-78).

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	5
ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ТА РІШЕНЬ	9
1.1 Огляд та аналіз предметної галузі	9
1.2 Відомі методи та засоби догляду за рослинами в зимовому саду	12
1.3 Потенціал, обмеження та перспективи впровадження роботизованої системи по догляду за зимовим садом	20
1.4 Постановка задачі.....	23
1.5 Висновки до першого розділу.....	24
2 ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ РОБОТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПО ДОГЛЯДУ ЗА ЗИМОВИМ САДОМ.....	26
2.1 Автоматизація процесу догляду за зимовим садом.....	26
2.2 Огляд основних типів датчиків для зимового саду	31
2.2.1 Датчики вологості.....	32
2.2.2 Датчики освітлення	38
2.2.3 Датчики CO ₂	43
2.2.4 Датчики температури	46
2.4 Висновки	48
3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПО ДОГЛЯДУ ЗА ЗИМОВИМ САДОМ.....	50
3.1 Сфери використання розумного саду спільно з Інтернет речей.....	50
3.2 Моделювання процесу догляду за зимовим садом	52
3.3 Математична модель процесу догляду за зимовим садом	55
3.4 Проектування роботизованої системи по догляду за зимовим садом.....	61

3.5	Метод збору даних про стан рослин у роботизованій системі по догляду за зимовим садом.....	65
3.6	Висновки до третього розділу.....	67
4	ПРОЄКТУВАННЯ РОБОТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПО ДОГЛЯДУ ЗА ЗИМОВИМ САДОМ.....	69
4.1	Вибір типу архітектури	69
4.2	Розробка архітектури програмного забезпечення роботизованої системи по догляду за зимовим садом.....	72
4.3	Інтерфейс програмного забезпечення роботизовано системи по догляду за зимовим садом.....	78
4.4	Вибір компонентної бази для роботизованої системи по догляду за зимовим садом	82
4.5	Висновки.....	89
	ВИСНОВКИ	90
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	94
	ДОДАТОК А Наукова праця здобувача.....	103
	ДОДАТОК Б Презентація роботи.....	108

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

БП - база правил

ІКТ - інформаційно-комунікаційні технології

МПР - модуль прийняття рішень

ПЗ - програмне забезпечення

ШІ - штучний інтелект

ІоТ - інтернет речей

ВСТУП

Актуальність роботизованої системи по догляду за зимовим садом зумовлена сучасними тенденціями розвитку технологій, зростанням інтересу до автоматизації рутинних процесів, а також екологічними та економічними викликами. Зимовий сад вимагає постійного догляду, включаючи полив, контроль за температурою, вологістю, підрізку рослин, підсвічування, добриво тощо. В умовах сучасного ритму життя у людей часто не вистачає часу для виконання таких завдань, особливо якщо кількість рослин значна. Роботизовані системи дозволяють автоматизувати ці процеси, значно полегшуючи догляд за садом і підвищуючи ефективність управління ним. Роботизована система може підтримувати ідеальні умови для рослин без людського втручання. Стабільний контроль за температурою, вологістю, рівнем освітлення та іншими важливими параметрами сприяє кращому здоров'ю рослин, підвищенню їх врожайності та декоративної привабливості. Сучасні роботизовані системи використовують датчики та алгоритми штучного інтелекту для оптимального використання води, енергії та добрив. Це не лише знижує витрати на утримання зимового саду, але й мінімізує вплив на навколишнє середовище. Зменшення надмірного використання ресурсів є особливо актуальним в умовах глобальних екологічних викликів [1-3].

З огляду на сучасні глобальні виклики, такі як зміна клімату та зростання урбанізації, автоматизація садівництва сприяє сталому розвитку. Роботизовані системи допомагають створювати екологічно збалансовані простори в містах, де обмежено природні ресурси і простір. Роботизовані системи для догляду за зимовими садами актуальні в контексті сучасних викликів, пов'язаних із браком часу, необхідністю ефективного використання ресурсів, інтеграцією автоматизації в повсякденне життя та екологічними тенденціями. Вони значно полегшують догляд за рослинами, забезпечуючи їм оптимальні умови для зростання, і стають важливим інструментом для створення та підтримки сталого і комфортного середовища. Тому задача розроблення роботизованої системи по догляду за зимовим садом є наразі актуальною.

Метою цієї роботи є забезпечення автоматизованого догляду за зимовим садом, що дозволить організувати ефективне управління поливом, освітленням, температурою, вологістю та іншими важливими факторами, необхідними для оптимального зростання рослин.

Отже, для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз існуючих рішень догляду за зимовим садом.
2. Визначити наявні мікрокліматичні умови.
3. Провести аналіз сенсорів та датчиків, що використовуються в системі догляду за зимовим садом.
4. Змоделювати процес догляду за зимовим садом.
5. Сформулювати архітектуру роботизованої системи для догляду за зимовим садом.
6. Протестувати розроблену систему та визначити напрями її подальшого удосконалення та розвитку.

Об'єкт дослідження – процес автоматизованого догляду за зимовим садом.

Предмет дослідження – роботизована система по догляду за зимовим садом.

Головна мета даного дослідження полягає в автоматизації догляду за зимовим садом за допомогою роботизованої системи.

Наукова новизна отриманих результатів:

- набув подальшого розвитку метод збору даних про стан рослин, який дозволяє відстежувати та опрацьовувати дані в режимі реального часу;
- запропоновано архітектуру роботизованої системи догляду за зимовим садом, що дозволяє автоматизувати процес догляду.

Практична значимість отриманих результатів полягає у розробленому програмному забезпеченні роботизованої системи догляду за зимовим садом в режимі реального часу та видачі відповідних рекомендацій.

Така система забезпечує ефективне, автономне та інтелектуальне керування мікрокліматом і станом рослин, що значно підвищує комфорт власника та продуктивність самого середовища. Розроблена система дозволяє мінімізувати

людське втручання у процес догляду, забезпечуючи своєчасний полив, оптимальне освітлення, контроль температури, вологості повітря та ґрунту, а також концентрації CO₂.

За темою кваліфікаційної роботи опубліковано одну публікацію [82] у Збірнику наукових праць за матеріалами Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Інтелектуальні комп'ютерні системи та мережі» (Тернопіль – 2024. – С. 77-78).

1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ТА РІШЕНЬ

1.1 Огляд та аналіз предметної галузі

Понад 50% населення світу наразі проживає в містах [4]. Міська екологічна система є одним із найважливіших елементів виживання людини в містах. Зміни навколишнього середовища в міських районах є предметом багатьох видів досліджень протягом останніх кількох десятиліть. Нещодавні дослідження навколишнього середовища міських регіонів показують, що міські райони мають вищу температуру навколишнього середовища, як наслідок утворюється так званий тепловий острів, ніж інші. Тепловий стрес у міських громадах часто є більш шкідливим, що призводить до значних змін температури, відповідно, це суттєво впливає на здоров'я людини. Хоча існує безліч процедур, таких як зміна матеріалу покрівлі та використання холодних кольорів, для полегшення ефекту міського теплового острова, жодна з них не є суттєвою для боротьби з цим ефектом.

Міська зелена інфраструктура є невід'ємною частиною міського планування, і її значення є дуже важливим для підтримки природної якості та сталості міського середовища [5]. Біопарки, парки, сади, місця відпочинку, неформальні зелені простори, такі як водні фронти, зелені простори навколо історичних місць, залізничні та дорожні коридори, зимові сади, місцеві типи рослинності складають міські зелені простори міста. Такі об'єкти реалізують стратегії планування, починаючи від створення нових зелених насаджень та одночасного збереження існуючих зелених насаджень. Вони надають різноманітні переваги міським мешканцям, діючи як міські легені, затримуючи забруднення та виділяючи кисень. Вони також забезпечують чисте повітря, допомагають зберігати воду та ґрунт, а також збалансують природне міське середовище міста [6]. Також багато досліджень показують, що такі зелені зони допомагають людям оговтатися від фізичної та психічної тривоги, стресу та покращують людську поведінку та риси характеру [7].

Концепція розумних міст ідентифікує себе з роллю інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) у функціонуванні міст [8]. Концепції та політика розумних міст сприяють розвитку розумності, щоб зробити міста технологічно більш інтелектуальними. Огляд багатьох досліджень показує, що передові технології зумовили масштаби використання технологій, але не пояснили, як міста стають розумними, будучи зеленими та сталими. Міське планування відіграє вирішальну роль у проектуванні зеленої інфраструктури за допомогою політики та навчання населення важливості зелених насаджень у міських районах [9].

У контексті зростаючої урбанізації, обмеженого доступу до природного та зростання попиту на внутрішнє озеленення, зимові сади стали не лише естетичним, а й функціональним елементом житлових та комерційних просторів. Водночас утримання зимового саду вимагає постійного моніторингу великої кількості параметрів – видів рослин, вологості ґрунту, температури, освітлення, концентрації вуглекислого газу, тощо. Ці параметри впливають на ріст і здоров'я рослин. Ручне обслуговування такої системи вимагає багато часу. Догляд за декоративними рослинами, особливо в умовах коли для них відведена окрема територія або приміщення, вважається трудомістким процесом. Такі проблеми ще більш стають актуальними коли зростає площа та кількість рослин, які потрібно доглядати.

Зимові сади все частіше проєктуються як частина смарт-інтер'єрів і функціонують не лише як естетичний елемент, але й як простір для оздоровлення мікроклімату, підвищення вологості та як джерело кисню. Сучасне уявлення про житловий простір стрімко змінюється. Люди прагнуть не лише комфорту, а й гармонії з природою, функціонального та екологічно сталого середовища, яке підтримує фізичне й емоційне здоров'я. У цьому контексті зимові сади набувають нового значення вже не просто декоративного елемента інтер'єру, а складової комплексної системи «розумного» житлового простору.

Зимові сади сьогодні – це адаптовані багатофункціональні простори, які можуть виконувати як естетичну, так і оздоровчу роль. Завдяки розвитку

технологій скління, клімат-контролю та автоматизованих систем догляду, такі простори можна ефективно інтегрувати у квартири, приватні будинки, офіси, готелі чи навіть оздоровчі центри.

Однак не менш важливим аспектом є інтеграція зимових садів у систему смарт-інтер'єру, що забезпечує користувачам як зручність керування, так і енергоефективність. Ідея смарт-інтер'єру полягає в тому, що всі ключові елементи домашнього середовища освітлення, температура, вологість, повітрообмін, полив рослин, безпека можуть управлятися централізовано або автономно, з урахуванням поточних умов, уподобань мешканців, а також сезонних змін. У цьому аспекті зимовий сад виступає унікальним середовищем, що потребує особливої уваги. Рослини мають свої цикли росту, потребують різних умов освітлення, температури та вологості, а тому потребують системного підходу до моніторингу та догляду.

Інтеграція зимового саду у смарт-систему починається з базових сенсорних елементів. У спеціальних горщиках або в ґрунті встановлюються сенсори вологості, які сигналізують про необхідність поливу. Сенсори температури й освітлення дозволяють системі враховувати природні коливання клімату в приміщенні. На основі даних з сенсорів система може автоматично регулювати штучне освітлення, вмикати або вимикати підсвічування LED-ламп, а також керувати опалювальними або вентиляційними приладами.

Ключовою перевагою таких інтелектуальних систем є те, що вони не лише виконують команди, але й навчаються з часом. За допомогою алгоритмів машинного навчання система може аналізувати сезонні зміни, особливості кожної рослини, тип добрив, об'єми поливу, тривалість освітлення і створювати оптимальні сценарії догляду. Наприклад, якщо тропічна рослина в певний період року потребує підвищеної вологості повітря, то система зможе адаптувати роботу зволожувачів автоматично. Якщо виявляється стабільне падіння рівня вологості ґрунту, незважаючи на полив, інтелектуальний алгоритм згенерує повідомлення про ймовірне пошкодження кореневої системи або проблему з дренажем. Окремо варто згадати про роль інтерфейсу користувача в управлінні зимовим садом.

Сучасні системи використовують мобільні додатки або голосові асистенти, які дозволяють не лише моніторити поточний стан саду, але й отримувати рекомендації, створювати власні сценарії, переглядати історію змін, інтегрувати дані з прогнозами погоди. Візуалізація даних у вигляді діаграм, графіків або теплових карт робить управління інтуїтивно зрозумілим навіть для користувача без технічної підготовки.

Таким чином, зимові сади з суто декоративного або естетичного елементу трансформуються у функціональний модуль цифрового житлового простору. Вони не лише прикрашають оселю, але й активно взаємодіють із іншими елементами смарт-інтер'єру: вентиляцією, освітленням, системами очищення повітря, клімат-контролю. Цей підхід дозволяє досягти максимального комфорту, стабільного мікроклімату, покращення психологічного стану користувачів, а також скорочення витрат ресурсів.

З урахуванням глобальних трендів екологізації, підвищення вимог до енергоефективності та популярності автономних систем, можна з упевненістю сказати, що інтелектуалізація зимових садів стане однією з важливих ніш ринку побутової автоматизації. Їх інтеграція в концепцію «розумного дому» – це не лише технологічне досягнення, а й відповідь на потребу сучасної людини жити в гармонії з природою, не виходячи з дому.

1.2 Відомі методи та засоби догляду за рослинами в зимовому саду

Догляд за зимовим садом є комплексним процесом, що поєднує агрономічні знання, кліматичний моніторинг і розуміння фізіології рослин. Історично він базується на традиційних підходах, які поступово вдосконалюються за рахунок технологічних рішень. Основою догляду є підтримання стабільного мікроклімату, що передбачає контроль температурного режиму, рівня вологості повітря та ґрунту, освітлення й вентиляції. Температура в зимовому саду, як правило, підтримується на рівні 18 – 24°C, причому з урахуванням індивідуальних потреб

рослин. Наприклад, тропічні види потребують стабільного тепла, тоді як середземноморські можуть витримувати тимчасові коливання.

Не менш важливим є контроль освітленості. У зимовий період, коли природного світла недостатньо, активно застосовуються джерела штучного освітлення, зокрема світлодіодні лампи з широким спектром, що імітують сонячне випромінювання. Освітлення регулюється не лише за інтенсивністю, а й за тривалістю, щоб не порушити фотоперіод рослин. Ще одним ключовим фактором є полив, який має бути помірним та адаптованим до сезону. Надлишкова волога взимку може призвести до загнивання коренів, особливо у рослин, чутливих до застою води. В ідеалі вологість ґрунту контролюється або вручну через перевірку стану субстрату, або за допомогою сенсорів.

Важливо також забезпечувати належну вентиляцію. Періодичне провітрювання або встановлення автоматичних вентиляційних клапанів дозволяє уникнути конденсату, знижує ризик грибкових захворювань та сприяє рівномірному розподілу температури. Крім того, у практиці догляду велике значення має регулярне видалення сухого листя, санітарна обрізка, а також моніторинг шкідників і хвороб. Для профілактики застосовують як механічні, так і біологічні методи захисту.

Підживлення рослин у зимовий період зазвичай обмежене або здійснюється за індивідуальною схемою, з урахуванням уповільнення метаболічних процесів. Активне внесення добрив відновлюється лише наприкінці зими, перед початком нового вегетаційного циклу. Багато рослин мають свої фази спокою, і їх не варто стимулювати до зростання у цей період.

У сучасних умовах усе частіше застосовуються автоматизовані системи поливу, підсвічування й навіть моніторингу мікроклімату, що базуються на концепції розумного дому. Це дозволяє оптимізувати догляд, зменшити вплив людського фактора й забезпечити стабільні умови навіть за тривалої відсутності власника.

Загалом, методи догляду за зимовим садом є гнучкими й адаптивними. Вони змінюються в залежності від типу рослин, особливостей архітектури

приміщення, наявного обладнання та мети, наприклад, чи це декоративний, ботанічний, лікувальний або функціональний простір. Але в будь-якому випадку головним залишається збалансований підхід до створення сприятливих умов для життя рослин у штучному середовищі.

Якщо розглядати внесок науковців в створення систем догляду за зимовим садом, то слід зазначити, що більшість робіт спрямована на створення або вдосконалення процесу поливу.

Наприклад, система, представлена в роботі [10] розроблена на основі Інтернету речей (IoT), інтегрованого з мобільними пристроями. В Індії фермери постійно стикаються з проблемою частих відключень електроенергії, що призводить до великих втрат водних ресурсів. Щоб вирішити цю проблему, ця система використовує датчики температури та вологості, інтегровані з Raspberry Pi, для дистанційного керування водяним насосом.

Для правильного поливу саду представлена автором система [11] розробляється на основі прогнозу погоди та таймера. Система може автоматично шукати прогноз за допомогою попередньо визначеного API та виконувати дії з поливу. Крім того, в системі також можна враховувати минулі, поточні та прогнозовані погодні умови для складання належного плану поливу рослин.

Деякі роботи зосереджені на оцінці потреб у воді. Інтелектуальна система управління [12] розроблена на основі роботи бездротових датчиків та хмарних обчислень для вимірювання кількості поливу. У цій системі Zigbee використовується як міст між вузлами датчиків та базовими станціями. Крім того, для вимірювання потреби рослин у воді використовуються виконавчі механізми.

GSM-модуль вбудовано в інтелектуальну систему моніторингу для оцінки рівня води в резервуарі, і на основі оціненого показника визначається точна необхідна кількість води. Крім того, вологість і температура також можуть бути оцінені для росту рослин.

Додатки для смартфонів можуть не лише допомогти власникам рослин дистанційно спостерігати за станом рослин, але й проводити необхідні дії з поливу.

Зручний додаток авторів [13] призначений для того, щоб служити посередником між власниками рослин та віддаленими заводами. За допомогою програми користувачі можуть краще розуміти залишок води в резервуарі, вологість повітря та температуру. Додаток дозволяє користувачам встановлювати різні параметри для задоволення потреб різних рослин.

Інтелектуальна структура платформи моніторингу та систему для екосистеми сільськогосподарських угідь на основі Інтернету речей розглядається авторами в роботі [14]. У Китаї площа об'єктів сільського господарства розширюється. Однак відсутність точної інформації та комунікації призводить до втрат виробництва. Розроблена платформа може стати каталізатором переходу від традиційного землеробства до сучасного. Це також надає можливості для створення нових технологій та розвитку послуг у сфері застосування сільського господарства на основі Інтернету речей. Безпека мережі завжди є проблемою в Інтернеті речей, а також критично важлива для дистанційного керування системами поливу.

Блокчейн, яка в останні роки добре відома своєю простежуваністю, застосовується для забезпечення передачі даних у системах поливу. Система визначення походження сільськогосподарських культур [15] розроблено в поєднанні з технікою блокчейн. Інформація, така як добрива та зрошення, реєструється для вирішення кризи довіри в постачанні продукції. Застосування блокчейну створює надійну спільноту між різними зацікавленими сторонами (виробниками, фермерами та продавцями).

Оптимізація результатів рішень є ще одним аспектом інтелектуальних систем поливу. Як правило, параметри навколишнього середовища, такі як температура, вологість та вміст води в ґрунті, вводяться в систему для прийняття оптимального рішення. Однак, через наявність шуму датчика, у системі використовується фільтр Калмана [16], щоб зменшити вплив шуму на остаточне рішення. Автори роботи [17] пропонують імплантувати датчики в ґрунт для вимірювання рівня вологості та перевірки рівня води в резервуарі. Інтелектуальне програмне забезпечення на серверах використовується для аналізу отриманих

даних, і приймаються ефективні рішення для вжиття належних заходів щодо поливу.

Ці методи ефективні для забезпечення рішень для поливу в різних ситуаціях. Однак, коли справа доходить до одночасного поливу різних рослин в одному місці, ці методи нездійсненні через відсутність врахування численних обмежень під час процесу поливу. Наприклад, в одному саду є різні види рослин, і ці рослини можуть мати різні потреби в поливі. Деякі рослини можуть потребувати поливу багато разів відповідно до їхніх звичок життя, тоді як інші рослини можна поливати лише один раз. Очевидно, що звичайні системи крапельного зрошення не можуть задовольнити індивідуальні потреби. Крім того, зі збільшенням кількості рослин ефективність поливу також стає серйозною проблемою. Тому ефективна модель планування шляху для робота-поливу є дуже необхідною. По суті, ця проблема є проблемою планування шляху робота-поливу, але вона явно відрізняється від звичайних проблем планування шляху через існування різних потреб у поливі. Таким чином, для вирішення цієї проблеми в роботі [18] автори спочатку пропонують аналізувати загальну та базову моделі поливу; після цього, для покращення базової моделі поливу, спочатку пропонується розширена модель поливу, яка включає стратегію ковзного вікна в базову модель поливу.

Враховуючи потреби в динамічному поливі за особливих погодних умов, у статті [19] пропонується стратегія-заповнювач та включає її в розширену модель поливу.

Крім того, для роботи з вищезазначеними моделями поливу спеціально розроблено новий генетичний алгоритм. Дві запропоновані моделі поливу детально протестовані за допомогою спеціально розробленого генетичного алгоритму. Для оптимізації запропонованих моделей поливу спеціально розроблено оптимізатор на основі генетичного алгоритму, включаючи стратегію ініціалізації популяції, оператор кросовера та оператор мутації.

Порівняльна характеристика методів поливу представлена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика методів поливу

Критерій	Статичні моделі поливу	Динамічні моделі поливу
Принцип роботи	Використовують заздалегідь встановлений графік без зміни умов	Адаптуються до змін навколишнього середовища в режимі реального часу
Вхідні дані	Постійні параметри: час, обсяг поливу	Поточні показники з сенсорів: вологість, температура, освітлення
Гнучкість	Низька гнучкість. Графік не змінюється без втручання	Висока гнучкість. Система самостійно змінює режим поливу
Реакція на зміну умов	Відсутня. Працює однаково за будь-яких умов	Швидка реакція на дощ, спеку, вологість або стан ґрунту
Складність реалізації	Проста, налаштовується вручну	Складна, потребує IoT-сенсорів, алгоритмів аналізу, іноді ШІ
Ефективність використання води	Помірна або низька, можливе перевитрати	Висока, полив відбувається лише за потреби
Підходить для	Малих садів з типовими умовами	Теплиць, зимових садів, комерційного вирощування
Вартість впровадження	Низька, необхідне базове обладнання	Вища, потребує сенсорів, контролерів, аналітики
Приклад реалізації	Таймер поливу з ручним режимом	Система з датчиками вологи, що активує полив автоматично

Модель розширеного поливу аналізується та оцінюється за допомогою нового генетичного алгоритму, описаного вище. Після цього систематично тестується динамічна модель розширеного поливу.

Експериментальні результати та ретельний аналіз показують, що модель розширеного поливу здатна адаптуватися до садів різних розмірів. Крім того, подальші експериментальні результати показують, що динамічна модель розширеного поливу також здатна динамічно регулювати шлях поливу відповідно до різних вимог під час процесу поливу, а також досягати високої економії часу за різних умов випробування.

Автори роботи [20] працювали над автоматизованою системою домашнього садівництва, розробленою з використанням мікроконтролера NODE та датчиків для захисту садових рослин від надмірного поливу та прогнозування періодів сонячного освітлення.

В роботі [21] використали Інтернет речей, запропонувавши схему спостереження за примусовою вологістю ґрунту за допомогою Raspberry PI. Вони розробили схему, яка допомагає сільськогосподарському виробнику визначити місцезнаходження його землі вдома або ж його присутність у певній частині екосистеми.

Науковці в роботі [22] описують розумну схему поливу для екологічного запобігання виснаженню в Африці, де розумні схеми поливу, засновані на здатності до відновлення ґрунтів, залишаються встановленими для значного відновлення врожаю та ефективності обробітку, перш ніж зібрані дані використовуються для прогнозування умов погоди за допомогою мережі радіальних базисних функцій (RBFN).

Кіртан Джа в роботі [23] обговорюють різні види механізації, що застосовуються на практиці, такі як Інтернет речей, бездротові інфраструктури, машинне навчання та штучний інтелект, глибоке навчання, де можна вирішити різні проблеми, що стосуються сільського господарства. Також, ці ж автори в іншій роботі розглядають інтелектуальну схему поливу за допомогою робототехніки та прогновної аналітики.

Автори [24] описали автоматизацію моніторингу рослин та сільськогосподарських культур у садах за допомогою Інтернету речей та інтеграцію Raspberry Pi та його різних моделей, що безперервно контролює стан саду та повідомляє користувача про необхідність внесення змін, що вимагають негайних дій для саду.

В роботі [25] описано систему моніторингу розумного саду за допомогою Інтернету речей, де вони використовують вузловий мікроконтролер, датчики та базу даних для підтримки дикої природи флори шляхом постійної перевірки обмежень, перш за все, для збільшення тривалості життя як флори, так і фауни.

Автори [26] розповідають про вдосконалення хибної нейронної системи, спрямованої на прогнозування якості підземних вод. Завдяки меті більш чіткого показника якості води (WQI), чотири водні ліміти, такі як рН, хлорид (Cl), сульфат (SO₄) та загальна кількість розплавлених речовин (TMO), залишалися врахованими, але прогноз використання води не був зроблений.

В [27] описано систему домашнього автоматизованого садівництва за допомогою Raspberry Pi 3 та датчиків, де система мала змогу повідомляти оператору про підвищення рівня води в головному джерелі, а оператор також міг з'єднуватися за допомогою системи шляхом розсилки SMS або електронної пошти.

В роботі [28] автори описали, як розробити та впровадити схему розумного поливу, спрямовану на покращення водно-енергетичної компетентності, за допомогою датчиків, вбудованих систем та Bluetooth, де вода мала постачатися до спраглих ділянок землі.

Схема автоматичного поливу за допомогою кліматичного прогнозу для добре організованої практики водних столиць була представлена в роботі [29], де вони використовували крапельне зрошення для відновлення водних ресурсів.

Автоматичну схему поливу, засновану Brainy IoT розглядають в роботі [30], де система використовує промислові технології, зокрема механічну схему поливу, засновану Brainy IoT, в якій прилади вимірюють статистику пилу, вологості та високої температури.

Отже, проведений аналіз показує, що не дивлячись на те, що існує багато досліджень в напрямку догляду за рослинами, але комплексних рішень, які б задовольняли всі вимоги до освітленості, поливу, вентиляції, тощо, в залежності від виду рослин, наразі недостатньо.

1.3 Потенціал, обмеження та перспективи впровадження роботизованої системи по догляду за зимовим садом

SWOT-аналіз є важливим інструментом стратегічного планування, який дозволяє всебічно оцінити потенціал, обмеження та перспективи впровадження роботизованої системи догляду за зимовим садом. Його проведення необхідне для визначення сильних і слабких сторін проєкту, виявлення зовнішніх можливостей розвитку та потенційних загроз. Такий аналіз допомагає обґрунтовано приймати рішення щодо доцільності впровадження системи, оптимізувати ресурси та мінімізувати ризики на етапі розробки й експлуатації.

Розглянемо більш детально складові такого аналізу (таблиця 1.2).

Сильні сторони (Strengths). Роботизована система забезпечує повну автоматизацію процесів догляду за рослинами, включаючи полив, підсвічування, вентиляцію, моніторинг вологи, температури та концентрації CO₂. Це значно знижує потребу в ручному втручанні, економить час і дозволяє підтримувати стабільний мікроклімат навіть при відсутності власника. Система здатна працювати з високою точністю, реагуючи на зміну параметрів у реальному часі, що дозволяє запобігати пересиханню ґрунту, перегріванню або нестачі освітлення. Крім того, вона забезпечує індивідуальний підхід до різних типів рослин, адаптуючи умови під їх потреби, що неможливо реалізувати у традиційних системах. Ще однією перевагою є можливість збирання та аналізу великих обсягів даних, що дозволяє прогнозувати потреби рослин і виявляти відхилення в їх розвитку на ранніх етапах.

Таблиця 1.2 – SWOT-аналіз впровадження роботизованої системи по догляду за зимовим садом

Сильні сторони (Strengths)	Слабкі сторони (Weaknesses)
<p>Автоматизація догляду за рослинами</p> <p>Персоналізовані налаштування під тип рослин</p> <p>Зниження витрат води та добрив</p> <p>Можливість дистанційного контролю</p> <p>Виявлення відхилень в рості рослин і хвороб на ранньому етапі</p>	<p>Висока вартість впровадження на початковому етапі</p> <p>Потреба в технічному обслуговуванні сенсорів і роботів</p> <p>Залежність від інтернету/електроживлення</p> <p>Можливі складнощі інтеграції зі старими системами освітлення</p> <p>Високі вимоги до захисту даних (якщо є хмарна інфраструктура)</p>
Можливості (Opportunities)	Загрози (Threats)
<p>Інтеграція з «розумним будинком»</p> <p>Розширення функцій (наприклад, добрива, метеодані)</p> <p>Підвищення вартості майна/інтер'єру</p> <p>Комерціалізація як готове рішення для дизайнерів</p>	<p>Вихід обладнання з ладу під час критичних умов (зима, спека)</p> <p>Потенційні атаки на безпроводні мережі або витік даних</p> <p>Нестабільність цін на компоненти систем ІюТ</p> <p>Складність модернізації без професійного супроводу</p>

Слабкі сторони (Weaknesses). Незважаючи на значні переваги, така система потребує високих початкових інвестицій, зокрема для придбання роботів, сенсорів, контролерів, а також для налаштування аналітичного програмного забезпечення. Для ефективної роботи необхідно стабільне живлення, інтернет-зв'язок і періодичне технічне обслуговування. Також є ризик збоїв у роботі обладнання, що може призвести до загибелі рослин, якщо проблема не буде

вчасно виявлена. Ще одним викликом є складність налаштування. Для правильної адаптації системи до конкретного зимового саду можуть знадобитися спеціальні знання. Крім того, не всі користувачі мають технічну підготовку для повноцінного використання функціоналу таких систем.

Можливості (Opportunities). Ринок інтелектуальних систем догляду за рослинами є перспективним і таким, що динамічно зростає. Впровадження роботизованої системи дозволяє не лише підвищити комфорт у домогосподарствах, але й створює передумови для впровадження подібних технологій у тепличному господарстві, ботанічних садах, готельному бізнесі або навіть у медичних і освітніх установах. Інтеграція з іншими елементами смарт-будинку відкриває можливості для створення єдиного екосередовища, в якому автоматизовано керується мікроклімат усіх приміщень. Додатково, розвиток штучного інтелекту та машинного навчання дозволяє покращувати алгоритми обслуговування, а також робити систему самонавчальною, що підвищує її ефективність з часом. Такі рішення також сприяють екологічному стилю життя за рахунок оптимізації витрат води, електроенергії та зменшення кількості хімікатів, що робить систему привабливою з точки зору сталого розвитку.

Загрози (Threats). Попри позитивні перспективи, впровадження подібних технологій може бути обмежене внаслідок високої вартості, що знижує доступність для широкого кола споживачів. Крім того, можливі ризики, пов'язані з кібербезпекою. Системи, які обмінюються даними через Інтернет, можуть бути вразливими до зломів або витоків персональної інформації. Також слід враховувати ймовірність виходу з ладу ключових компонентів системи, що може спричинити втрату рослин у критичні моменти. У разі стрімкого оновлення технологій існує загроза морального застарівання системи або її несумісності з новими платформами й протоколами. Додатковим викликом може стати нестача кваліфікованих фахівців для монтажу та обслуговування таких систем, особливо в регіонах, де подібні технології ще не поширені.

1.4 Постановка задачі

У зв'язку з поширенням концепції сталого розвитку, інтелектуалізації побутового середовища та зростаючими вимогами до екологічного комфорту, все більше уваги приділяється внутрішньому озелененню, зокрема, створенню та обслуговуванню зимових садів у житлових і комерційних приміщеннях. Зимові сади виконують не лише естетичну та рекреаційну функції, а й значно впливають на мікроклімат простору, зволоження повітря, психологічний стан людини, створюючи біофільне середовище. Водночас, підтримка життєдіяльності рослин у таких умовах вимагає постійного моніторингу великої кількості параметрів: температури повітря, вологості ґрунту, освітленості, рівня вуглекислого газу та загального стану рослин.

У традиційній практиці догляд за рослинами в зимовому саду здійснюється вручну, що потребує часу, знань і постійної присутності людини. Це обмежує можливість утримання зимових садів для зайнятих осіб або в умовах динамічного міського способу життя. Тому постає актуальна задача – розробка автономної роботизованої системи, здатної забезпечувати повноцінний догляд за рослинами в умовах закритого простору на основі аналізу сенсорних даних та автоматизованого управління кліматичними параметрами.

У зв'язку з цим виникає потреба у розробці роботизованої системи, яка забезпечить:

1. Можливість автономної роботи, з можливістю ручного керування через інтерфейс користувача (мобільний застосунок або вебзастосунок).
2. Можливість навчання або самоналаштування на основі історичних даних (машинне навчання або експертна система).
3. Забезпечення адаптивності до різних типів рослин та сезонних коливань умов.
4. Можливість інтеграції в систему «розумний будинок», наприклад, як частина екосистеми смарт-контролю.

Метою цієї роботи є забезпечення автоматизованого догляду за зимовим садом, що дозволить організувати ефективне управління поливом, освітленням, температурою, вологістю та іншими важливими факторами, необхідними для оптимального зростання рослин.

Отже, для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз існуючих рішень догляду за зимовим садом.
2. Визначити наявні мікрокліматичні умови.
3. Провести аналіз сенсорів та датчиків, що використовуються в системі догляду за зимовим садом.
4. Змоделювати процес догляду за зимовим садом.
5. Сформулювати архітектуру роботизованої системи для догляду за зимовим садом.
6. Протестувати розроблену систему та визначити напрями її подальшого удосконалення та розвитку.

Таким чином, створення роботизованої системи догляду за зимовим садом дозволить зробити догляд за рослинами більш ефективним, екологічно сталим і доступним для широкого кола користувачів.

1.5 Висновки до першого розділу

Актуальність роботизованої системи для догляду за зимовим садом зумовлена сучасними тенденціями розвитку технологій, зростанням інтересу до автоматизації рутинних процесів, а також екологічними та економічними викликами. Зимовий сад вимагає постійного догляду, включаючи полив, контроль за температурою, вологістю, підрізку рослин, підсвічування, добриво тощо. В умовах сучасного ритму життя у людей часто не вистачає часу для виконання таких завдань, особливо якщо кількість рослин значна. Роботизовані системи дозволяють автоматизувати ці процеси, значно полегшуючи догляд за садом і підвищуючи ефективність управління ним. Роботизована система може

підтримувати ідеальні умови для рослин без людського втручання. Стабільний контроль за температурою, вологістю, рівнем освітлення та іншими важливими параметрами сприяє кращому здоров'ю рослин, підвищенню їх врожайності та декоративної привабливості. Сучасні роботизовані системи використовують датчики та алгоритми штучного інтелекту для оптимального використання води, енергії та добрив. Це не лише знижує витрати на утримання зимового саду, але й мінімізує вплив на навколишнє середовище. Зменшення надмірного використання ресурсів є особливо актуальним в умовах глобальних екологічних викликів.

З огляду на сучасні глобальні виклики, такі як зміна клімату та зростання урбанізації, автоматизація садівництва сприяє сталому розвитку. Роботизовані системи допомагають створювати екологічно збалансовані простори в містах, де обмежено природні ресурси і простір. Роботизовані системи для догляду за зимовими садами актуальні в контексті сучасних викликів, пов'язаних із браком часу, необхідністю ефективного використання ресурсів, інтеграцією автоматизації в повсякденне життя та екологічними тенденціями. Вони значно полегшують догляд за рослинами, забезпечуючи їм оптимальні умови для зростання, і стають важливим інструментом для створення та підтримки сталого і комфортного середовища. Тому задача розроблення роботизованої системи по догляду за зимовим садом є наразі актуальною.

У результаті проведеного дослідження розглянуто сучасний стан предметної галузі. Також розглянуті методи та засоби, які використовуються при проектуванні систем догляду за рослинами та опрацюванні даних, отриманих за допомогою різних датчиків.

Реалізація роботизованої системи догляду за зимовим садом дозволить автоматизувати процес догляду за рослинами, враховуючи різноманітні фактори.

2 ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ РОБОТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПО ДОГЛЯДУ ЗА ЗИМОВИМ САДОМ

2.1 Автоматизація процесу догляду за зимовим садом

Повсюдне використання інтернету докорінно змінило суспільство, оскільки кілька нових технологій зараз зливаються таким чином, що Інтернет знаходиться на межі суттєвого розширення, яке дозволяє об'єктам підключатися та набувати власної веб-ідентичності [40]. З різних розробок Інтернету комп'ютерів виник Інтернет речей, який може об'єднувати речі та керувати ними у віртуальному світі [41]. IoT дозволяє щодня підключатися та взаємодіяти між речами, що включає процеси автоматизації, які потребують малого втручання людини для виконання різних завдань за допомогою датчиків, RFID, виконавчих механізмів та мікроконтролерів, серед іншого. Еволюція Інтернету речей має потенціал змінити світ так само, як Інтернет, або навіть більше (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Сфери застосування Інтернету речей [42]

Зростаюча присутність бездротового доступу до Інтернету Wi-Fi та 4G-LTE у поєднанні з новітнім 5G, еволюція до універсальних інформаційно-комунікаційних мереж вже очевидна. Однак, для успішного розвитку концепції Інтернету речей, обчислювальна парадигма повинна вийти за рамки традиційних сценаріїв мобільних обчислень, які використовують смартфони та портативні пристрої, та еволюціонувати до об'єднання повсякденних існуючих об'єктів та вбудовування інтелекту в наше середовище. Інтернет речей вимагає спільного розуміння ситуації своїх користувачів та їхніх пристроїв, програмних архітектур та широко розповсюджених комунікаційних мереж для обробки та передачі контекстної інформації туди, де вона доречна, а також аналітичних інструментів в Інтернеті речей, які спрямовані на автономну та розумну поведінку. За наявності цих трьох фундаментальних основ можна досягти розумного підключення та контекстно-залежних обчислень.

Наприклад, автор [43] реалізував розумний автономний садівничий роботизований транспортний засіб з розпізнаванням рослин за допомогою нейронних мереж. У цій роботі було запропоновано автономний садівничий роботизований транспортний засіб для автоматичної ідентифікації класифікації видів рослин за допомогою алгоритму вилучення ознак (Scale Invariant Feature Transform (SIFT), Speeded-Up Robust Features (SURF), Oriented FAST та Rotated BRIEF (ORB)) у поєднанні з нейронними мережами. Цей набір процесів пов'язаний із хмарним сховищем, яке отримує дані, отримані з датчиків. Результати дослідження показують, що виявлення та ідентифікація рослин, навігація марсохода та сільськогосподарська допомога садівнику є важливими функціями точного садівництва. У дослідженні використовувалася статистика даних через додаток для Android під назвою ALIVE, який пов'язаний з датчиком для моніторингу вологості, прогнозу погоди, температури, напрямку вітру та GPS-місцезнаходження рослини в режимі реального часу.

Автори роботи [44] запропонували автоматизовану систему поливу рослин у режимі реального часу для розумного саду, яка демонструє ефективний спосіб впровадження розумного саду, що не потребує втручання людини. У роботі

розглядається проектування та розробка системи поливу рослин у режимі реального часу, автоматизованої системи поливу рослин з датчиком вологості ґрунту, керування садом за допомогою пульта дистанційного керування, датчика проникнення з камерою та функцією реле світла. У дослідженні використовувався пасивний інфрачервоний датчик (PIR) для виявлення присутності людини, який був використаний замість сонарного датчика, оскільки він охоплює набагато більшу площу.

Автори роботи [45], продемонстрували використання системи моніторингу розумного саду за допомогою Інтернету речей. У дослідженні мобільний додаток під назвою firebase використовується для отримання параметрів з датчиків, таких як вологість, температура, вологість та ультразвук, які підключені до мережі Wi-Fi.

NodeMCU – це апаратний концентратор, який має вбудовану технологію Wi-Fi з мікроконтролером, що зберігає дані, а також має платформу IoT з відкритим кодом для легкого програмування та створення прототипів. Набір компонентів, що використовуються тут, є недорогим і може бути легко впроваджений та керований дистанційно.

В роботі [46] було запропоновано систему розумного управління садом з інтелектуальним рішенням на основі датчиків, що керується даними, яке допомагає рослинам належним чином розподіляти поживні речовини та ресурси. Система автоматизації розумного саду була розроблена кількома способами з вбудованими можливостями Інтернету речей, що покращує її функціонування для більш адекватного перевищення необхідних специфікацій.

Інтернет речей складається з чотирьох елементів, таких як люди, речі, дані та процеси. Для розробки системи розумного саду на основі Інтернету речей існує кілька компонентів, які можна використовувати для цієї мети.

Інтернет речей (IoT) сприяє створенню розумного дому завдяки встановленим гаджетам і датчикам, підключеним до електроніки, якими користувач керує за допомогою кількох жестів. У розумному будинку розумний дверний замок працює з датчиком, підключеним до дверей, який автоматично

блокується, коли вони зачинені, і його можна відкрити за допомогою ключа дистанційного керування, пароля або розпізнавання обличчя, яке вже попередньо встановлено в системі керування дверима. Розумні лампочки також мають датчики, які керуються жестами користувача, що вимикає світло, якщо в кімнаті немає руху протягом кількох хвилин [47].

Датчики дуже важливі в середовищі Інтернету речей, оскільки це пристрої, які перетворюють електричні сигнали на цифрові сигнали, вбудовані в системи [48]. Можна використовувати різні типи датчиків, такі як:

- датчик вологості використовується для вимірювання вмісту вологи в ґрунті;
- датчик температури використовується для вимірювання температури ґрунту;
- датчик вологості використовується для вимірювання вологості ґрунту;
- ультразвуковий датчик – використовується для вимірювання рівня води.

NodeMCU діє як хаб, що існує як платформа Інтернету речей з відкритим кодом, що працює на Wi-Fi SoC ESP8266 від Espressif Systems та недорогому модулі ESP-12. Прошивку можна зібрати за допомогою хмарного сервісу збірки, образу Docker, середовища збірки Linux. Це одноплатний мікроконтролер, що складається зі 128 Кбайт пам'яті та 4 Мбайт сховища, що розроблено для легкого програмування та дозволяє розробникам легко створювати прототипи [48].

Програмне забезпечення Arduino забезпечує краще інтегроване середовище розробки (IDE) для програмування NodeMCU. Arduino – це кросплатформний додаток, написаний на Java. Це програмне забезпечення містить різні функції, включаючи редактор коду, вирізання та вставку тексту, заміну тексту та пошук, зіставлення дужок, автоматичні відступи та підсвічування синтаксису. Плату в програмному забезпеченні слід змінити з Arduino на NodeMCU, а бібліотеки для NodeMCU слід включити до програмного забезпечення. Плата тестується за допомогою програми з миготливим світлодіодом, а потім пишеться програма для розумного саду.

Мікроконтролер діє як блок керування, пов'язаний зі схемами, такими як конденсатори, схеми скидання, підтягуючі резистори та інші. Мікроконтролер керує пристроями, що підключаються, та взаємодіє з ними відповідно до запущеної та написаної для нього програми.

Мотивацією для інновації фармбот є потреба в автономній системі, яка б добре функціонувала за відсутності втручання людини, при цьому всі заходи були б впроваджені належним чином. Цей проект призвів до зміни залежності від великомасштабного сільського господарства, надаючи людям можливість вирощувати бажані рослини, поки farmbot виконує завдання визначення місця розташування кожної рослини, приділяючи особливу увагу подачі поживних речовин та води кожній рослині за потреби, використовуючи онлайн-базу даних для спеціалізованої функції. Функціональність farmbot була включена до можливості переміщення, використання різних інструментів, посадки насіння, підживлення рослин та вимірювання вологості ґрунту з додатковими запропонованими функціями, такими як видалення бур'янів, оранка та боротьба зі шкідниками.

Численні галузі промисловості та сільськогосподарський сектор замінюють людську працю автоматизацією, більшість аспектів сільського господарства є надзвичайно трудомісткими та складаються з повторюваних і стандартизованих завдань. Роботи, такі як AgBots, виконують такі завдання, як посадка, полив, збір врожаю та сортування, що дозволяє виробляти більше продуктів харчування вищої якості з меншими витратами людських ресурсів.

Трактор є основним сільськогосподарським обладнанням, яке використовується для виконання різних завдань залежно від типу ферми. Останні інновації ще більше розширили можливості створення тракторів без водія. Людські зусилля не можна повністю виключити, оскільки потрібно налаштовувати карти полів та меж, програмувати найкращі польові шляхи за допомогою програмного забезпечення для планування шляхів, серед інших експлуатаційних специфікацій, а також проводити ремонт та технічне обслуговування. Автономний трактор з часом стане самодостатнім завдяки

додатковим камерам та системам машинного зору, GPS для навігації, підключенню до Інтернету речей (IoT) для забезпечення дистанційного моніторингу та роботи, а також радару для виявлення та уникнення об'єктів [49]. Ці вдосконалення зменшать активне керування людиною. Трактор використовується для великомасштабних фермерських господарств, але вважається вдосконаленням завдяки винаходам IoT.

Автоматичний полив та зрошення можна розглядати як процес спрямування джерела води до рослинного ложа з належними кроками та запобіжними заходами. Підземне крапельне зрошення (ПКЗ) – це поширений метод зрошення, який дозволяє фермеру контролювати, коли та скільки води отримують його культури. Системи ПКЗ складаються з датчиків на базі Інтернету речей для постійного контролю рівня вологості та здоров'я рослин.

2.2 Огляд основних типів датчиків для зимового саду

Вибір основних типів датчиків для зимового саду є важливою складовою при проектуванні автоматизованої системи догляду за рослинами. Датчики дозволяють збирати критично важливу інформацію про стан середовища в реальному часі (рисунок 2.2).

Зокрема, сенсори вологості ґрунту забезпечують контроль рівня вологи, необхідної для нормального росту рослин.

Температурні датчики вимірюють поточні кліматичні умови, що дозволяє підтримувати стабільний мікроклімат у закритому просторі.

Сенсори освітленості регулюють інтенсивність штучного підсвічування залежно від потреб рослин.

Датчики CO₂ допомагають контролювати концентрацію вуглекислого газу, який відіграє ключову роль у фотосинтезі.

Датчики дощу та вологості повітря також можуть бути включені в систему для повнішого моніторингу.

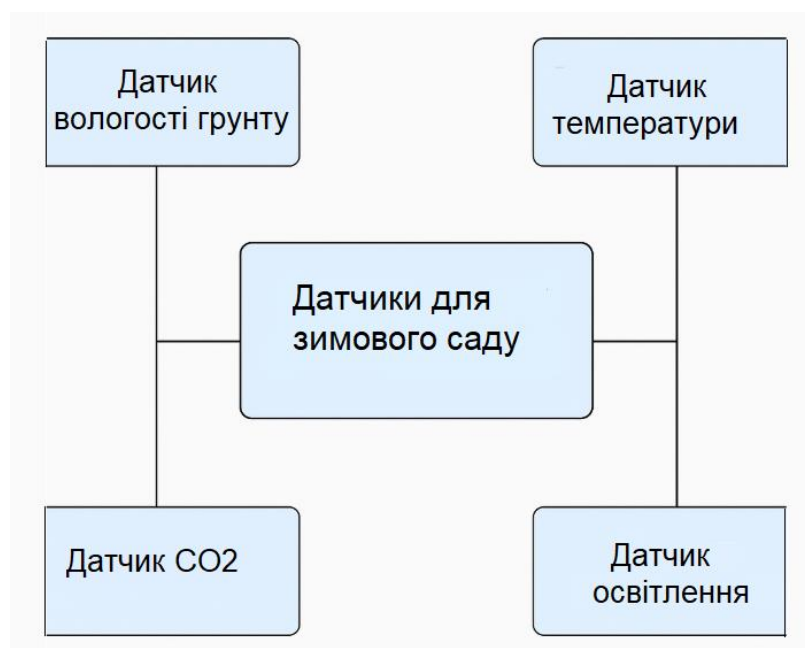


Рисунок 2.2 – Типи датчиків для зимового саду

Інформація від усіх сенсорів передається до центрального контролера або інтелектуального модуля для подальшого аналізу. Завдяки цим даним система може адаптивно реагувати на зміну умов у середовищі. Це дозволяє забезпечити точний, ефективний і ресурсозберігаючий догляд за рослинами в зимовому саду.

Розглянемо типи датчиків більш детально.

2.2.1 Датчики вологості

Сенсори вологості ґрунту є ключовими елементами системи автоматичного поливу. Вони вимірюють рівень вологості в ґрунті та передають дані до контролера, який, у свою чергу, регулює подачу води.

Сенсор GARDENA Soil Moisture Sensor (рисунок 2.3) вставляється в ґрунт поруч із рослинами та надійно вимірює вологість, дозволяючи системі автоматично припинити полив, коли ґрунт достатньо вологий. Працює від двох батарейок AA, забезпечуючи приблизно рік автономної роботи .



Рисунок 2.3 – Датчик вологості ґрунту [50]

Сенсор Chirp Plant Watering Alarm – це бюджетний варіант сенсора, який використовує ємнісне вимірювання вологості (рисунок 2.4). Коли ґрунт стає сухим, пристрій видає звуковий сигнал, нагадуючи про необхідність поливу. Він також визначає день чи ніч, щоб уникнути небажаних звуків у темний час доби.



Рисунок 2.4 – Датчик вологості [51]

Датчики дощу запобігають надмірному зволоженню, вимикаючи систему поливу під час опадів.

Aqualin 21103 компактний пристрій, який легко інтегрується в існуючі системи поливу (рисунок 2.5). Не потребує батарейок та має міцну конструкцію, що забезпечує довговічність. Його основна функція полягає в тому, щоб тимчасово вимикати систему поливу під час опадів, запобігаючи надмірному

зволоженню ґрунту. Завдяки своїй простій конструкції, пристрій легко встановлюється та інтегрується з більшістю існуючих контролерів поливу. Він не потребує джерела живлення, оскільки працює на механічному принципі. Волога накопичується в спеціальній камері та активує вимикач. Aqualin 21103 має надійний захист від атмосферних впливів і стійкий до перепадів температур, що дозволяє використовувати його впродовж усього року. Корпус пристрою виготовлений з міцного пластику, що забезпечує тривалий термін служби навіть за інтенсивного використання. Наявність можливості регулювання чутливості до кількості опадів дозволяє адаптувати роботу сенсора до специфіки конкретної місцевості. Це особливо корисно для зимових садів, де баланс вологи має вирішальне значення. Завдяки використанню цього датчика зменшується витрата води та знижується навантаження на систему поливу.



Рисунок 2.5 – Датчик дощу [52]

Сенсор Rain Bird RSD Series автоматично вимикає систему поливу під час дощу, забезпечуючи економію води та запобігаючи перенасиченню ґрунту (рисунок 2.6). Цей сенсор реагує на опади вже з мінімального рівня, регулюючи роботу поливу в реальному часі, що особливо важливо для екологічного підходу до догляду за рослинами. Rain Bird RSD Series має компактний та міцний корпус, стійкий до зовнішніх впливів, що дозволяє використовувати його як у відкритому

ґрунті, так і в умовах зимових садів. Його легко інтегрувати з більшістю сучасних контролерів поливу, включаючи моделі з підтримкою сенсорів. Пристрій працює без потреби у постійному джерелі живлення, завдяки простому механічному принципу. Монтаж займає мінімум часу, а налаштування параметрів вологи, при якій спрацьовує вимкнення, може виконуватися вручну. Цей сенсор особливо корисний у регіонах з нестабільними погодними умовами, де раптові опади можуть призвести до перезволоження рослин. Rain Bird RSD забезпечує стабільність і надійність роботи системи поливу, зменшуючи ризики та покращуючи загальну ефективність автоматизованого догляду.

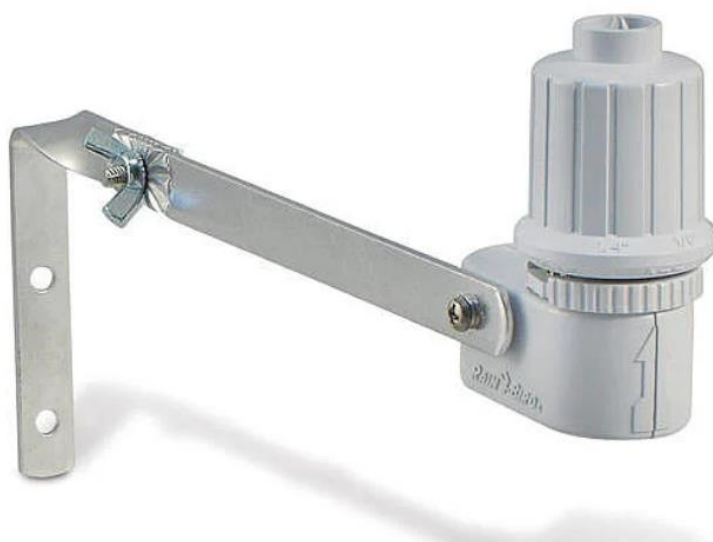


Рисунок 2.6 – Сенсор Rain Bird [53]

Контролери поливу з підтримкою сенсорів – це ключові елементи автоматизованої системи догляду за рослинами в зимовому саду. Вони виконують функцію «мозку» системи, приймаючи рішення про подачу води на основі даних, отриманих від сенсорів. Контролери зчитують показники вологості ґрунту, температури повітря, рівня освітлення та інших параметрів. На основі аналізу цих даних вони автоматично регулюють час, тривалість та інтенсивність поливу. Такі пристрої дозволяють уникнути надмірного або недостатнього зволоження, що особливо важливо для різних типів рослин. Більшість сучасних контролерів підтримують підключення декількох сенсорів одночасно, що дає змогу керувати

кількома зонами поливу. Вони можуть бути як стаціонарними, так і мобільними, із можливістю дистанційного налаштування. Деякі моделі мають вбудовані алгоритми адаптації до сезонних змін або прогнозу погоди. Інтеграція контролерів у систему «розумного дому» дозволяє автоматизувати догляд за рослинами навіть за відсутності користувача. Такий підхід значно підвищує ефективність управління ресурсами та покращує умови росту рослин. Контролери поливу керують роботою системи, отримуючи дані від сенсорів та регулюючи подачу води відповідно до потреб рослин.

Hunter RSC1200I – професійний контролер, призначений для великих систем поливу з підтримкою до 12 зон (рисунок 2.7). Має вбудовані функції, такі як програмування затримки між зонами, обчислення загального часу роботи та можливість підключення датчиків дощу. Пристрій оснащений LCD-дисплеєм із зручним меню для програмування та контролю. Його інтерфейс дозволяє задавати графіки поливу з урахуванням часу доби, тривалості, а також днів тижня. Контролер підтримує підключення до датчиків дощу, ґрунтової вологості та температури, що забезпечує адаптивну роботу залежно від погодних умов. Завдяки функціям «затримки між зонами» та «сезонного налаштування», пристрій дозволяє оптимізувати використання води.

Hunter RSC1200I також має захист від перенапруг та внутрішню пам'ять, яка зберігає налаштування при відключенні електроенергії. Контролер може працювати як у ручному, так і в повністю автоматичному режимі. Його корпус стійкий до впливу навколишнього середовища, що дозволяє розміщення як у приміщенні, так і зовні. Це рішення є надійним варіантом для комплексного управління поливом у складних умовах.

Aqualin 21026 – компактний контролер з електронним управлінням та таймером, ідеальний для невеликих зимових садів (рисунок 2.8). Оснащений LCD-дисплеєм та підтримує до 8 програм поливу.



Рисунок 2.7 – Контролер Hunter PCC1200I [54]

Також має можливість підключення датчика дощу для автоматичного регулювання поливу під час опадів. Завдяки вбудованому таймеру пристрій дозволяє точно запрограмувати час початку, тривалість і частоту поливу. Його інтерфейс простий у використанні, тому налаштування можуть виконуватися навіть недосвідченими користувачами.

Пристрій працює від батарейок, що дозволяє розміщувати його в будь-якому зручному місці без потреби у стаціонарному живленні.

Його водонепроникний корпус робить контролер надійним у використанні навіть за підвищеної вологості. Компактні розміри та простота монтажу роблять його привабливим рішенням для автоматизації поливу в домашніх умовах.

Це економічне та ефективне рішення для підтримання стабільних умов зволоження в індивідуальному зимовому саду.

При виборі сенсорів та датчиків для поливу необхідно враховувати багато параметрів.

Наприклад, для невеликих зимових садів рекомендується використовувати Chipr у поєднанні з Aqualin 21026 для ефективного та економного поливу.

Для середніх та великих зимових садів оптимальним буде поєднання GARDENA з Hunter PCC1200I для точного контролю вологості та автоматизації поливу.

Існують також поради з встановлення та обслуговування датчиків.



Рисунок 2.8 – Контролер Aqualin 21026 [55]

При розміщенні датчиків вологості необхідно встановлювати їх на глибину, де знаходиться коренева система рослин, щоб отримувати точні дані.

При технічному обслуговуванні необхідно регулярно перевіряти та очищувати датчики від бруду та залишків ґрунту для забезпечення їхньої точності. Під час підготовки до зимового догляду, перед настанням морозів необхідно обов'язково зливати воду з системи поливу та зберігати датчики в сухому місці, щоб уникнути пошкоджень.

2.2.2 Датчики освітлення

Освітлення є ключовими елементами для підтримки здорового мікроклімату в зимовому саду.

У зимовому саду освітлення виконує не лише естетичну функцію, але й забезпечує життєдіяльність рослин, особливо в періоди недостатнього природного світла.

Основні типи освітлення, які можуть використовуватись це загальне освітлення, локальне освітлення та декоративне освітлення.

Загальне освітлення забезпечує рівномірне освітлення всього простору.

Локальне освітлення підсвічує окремі зони або рослини, акцентуючи на них увагу.

Декоративне освітлення створює атмосферу та підкреслює дизайн інтер'єру.

Для підтримання оптимального рівня фотосинтезу необхідно постійно контролювати інтенсивність світла та в разі потреби вмикати штучне підсвічування. Саме для цього в автоматизованих системах догляду використовуються спеціалізовані датчики освітленості. Вони дозволяють відстежувати поточний рівень освітлення в режимі реального часу та керувати LED-лампами або іншими джерелами світла. Ось приклади датчиків освітленості, які найчастіше застосовуються у таких системах.

BH1750 (GY-30) один з найпопулярніших цифрових датчиків освітленості, що вимірює освітленість у люксах (lux) та забезпечує високу точність (рисунок 2.9). Має інтерфейс I2C, легко інтегрується з мікроконтролерами (наприклад, Arduino або Raspberry Pi). Ідеально підходить для моніторингу денного та штучного світла в зимових садах. Датчик має високу чутливість, працює в широкому діапазоні від 1 до 65 535 люкс, що охоплює як слабоосвітлені зони, так і яскраве денне світло. Його споживання енергії є дуже низьким, що дозволяє використовувати його в автономних пристроях. BH1750 працює стабільно навіть при зміні температури та вологості, що важливо для умов зимового саду. У поєднанні з LED-підсвіткою датчик допомагає автоматично регулювати інтенсивність штучного освітлення. Його невеликий розмір та доступна вартість роблять BH1750 популярним вибором серед розробників автоматизованих систем догляду за рослинами.

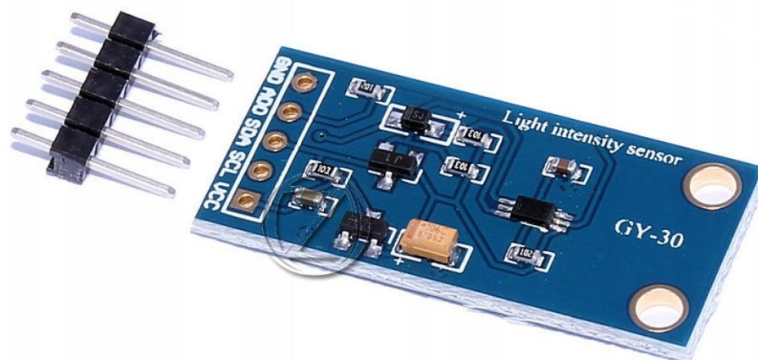


Рисунок 2.9 – Цифровий датчик освітленості BH1750 (GY-30) [56]

TSL2561 високоточний сенсор, який працює в широкому діапазоні освітленості (від 0,1 до 40 000 lux). Має два фотодіоди для інфрачервоного та видимого спектра, що дозволяє проводити більш детальний аналіз освітлення (рисунок 2.10). Добре підходить для точного контролю рівня освітлення, що важливо при використанні LED-підсвітки. Завдяки здатності окремо вимірювати інфрачервоне та видиме світло, він дозволяє точніше оцінювати ефективність освітлення, яке сприймають рослини. Сенсор автоматично змінює діапазон вимірювання залежно від умов освітлення, забезпечуючи високу точність у різних сценаріях. Низьке енергоспоживання TSL2561 робить його ідеальним для систем з живленням від батарей. Він часто використовується у проектах, де потрібно враховувати як природне світло, так і штучне, особливо при інтенсивному використанні LED-ламп. В умовах зимового саду TSL2561 допомагає підтримувати стабільний рівень освітлення протягом усього світлового дня.

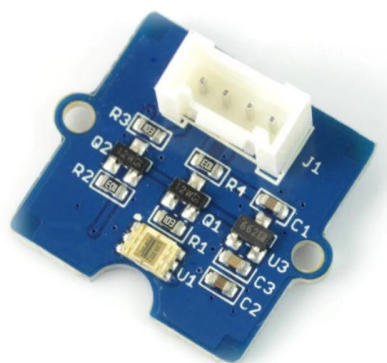


Рисунок 2.10 – Сенсор TSL2561 [57]

MAX44009 наднизькоспоживчий цифровий датчик освітленості з I2C-інтерфейсом. Має високу чутливість у діапазоні від 0,045 до 188 000 lux, що робить його дуже ефективним для зимових садів із різними джерелами освітлення.



Рисунок 2.11 – Датчик MAX44009 [58]

LDR (Light Dependent Resistor) прості аналогові фоторезистори, які змінюють опір залежно від інтенсивності світла (рисунок 2.12). Це найдешевше і найпростіше рішення для базового контролю освітленості, хоча точність і стабільність у таких датчиків нижча, ніж у цифрових аналогів.

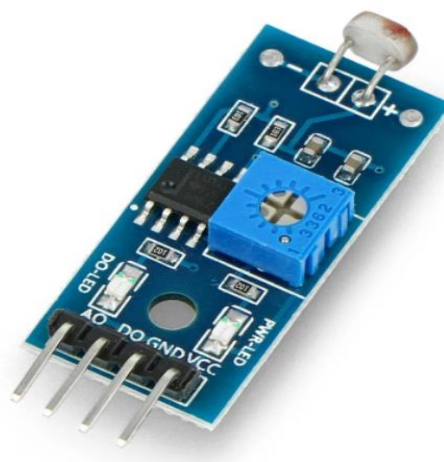


Рисунок 2.13 – Аналоговий фоторезистор [59]

Apogee SQ-520 USB Quantum Sensor професійний сенсор для вимірювання фотосинтетично активного випромінювання (PAR), що використовується у тепличному господарстві (рисунок 2.14). Дозволяє точно оцінити кількість світла, яке рослини можуть використати для фотосинтезу. На відміну від звичайних датчиків люксів, він враховує тільки ті довжини хвиль, які реально використовуються рослинами в процесі фотосинтезу. Сенсор підключається через USB-інтерфейс і може працювати як автономно, так і в складі складних систем моніторингу. Його висока точність і калібрування дозволяють використовувати пристрій у наукових дослідженнях і професійному агровиробництві. В умовах зимового саду датчик забезпечує точну інформацію про ефективність підсвічування, особливо при використанні LED-ламп з вузьким спектром. Apogee SQ-520 дозволяє оптимізувати освітлення відповідно до потреб конкретних видів рослин, покращуючи їх ріст та енергоспоживання системи.



Рисунок 2.14 – Сенсор Apogee SQ-520 USB Quantum Sensor [60]

Ці сенсори можуть функціонувати як самостійні пристрої для контролю освітлення в окремих зонах, так і як частина комплексної системи моніторингу мікроклімату в зимовому саду. У складі інтегрованої системи вони взаємодіють із контролерами, виконавчими механізмами та програмним забезпеченням для

автоматичного керування штучним освітленням. Завдяки цьому вдається забезпечити оптимальний фотоперіод і стабільну інтенсивність світла, необхідну для фотосинтезу навіть у похмурі або короткі зимові дні. Система автоматично вмикає підсвічування у разі недостатньої природної освітленості або вночі, адаптуючись до потреб конкретних видів рослин. Це дозволяє уникнути стресу від різких змін освітлення та створює стабільні умови для росту й розвитку. Такий підхід підвищує ефективність енергоспоживання та забезпечує екологічно збалансований догляд за рослинами.

При виборі освітлення варто враховувати наступні рекомендації. Світлодіодні (LED) лампи – це енергоефективні, довговічні та не перегріваються, що важливо для рослин. При виборі колірної температури необхідно враховувати, що для більшості рослин оптимально використовувати лампи з температурою 4000–6000 К, яке імітує денне світло. Використання таймерів або систем «розумного дому» дозволяє регулювати тривалість освітлення відповідно до потреб рослин.

2.2.3 Датчики CO₂

Датчики CO₂ застосовуються для контролю концентрації вуглекислого газу, необхідної для фотосинтезу. При перевищенні або зниженні оптимального рівня активується вентиляція для провітрювання. Датчики CO₂ є важливою складовою автоматизованих систем кліматичного контролю в зимових садах, адже рівень вуглекислого газу безпосередньо впливає на ефективність фотосинтезу.

У замкнених приміщеннях концентрація CO₂ може як знижуватись через інтенсивне поглинання рослинами, так і підвищуватись у разі поганої вентиляції. Оптимальний діапазон для фотосинтезу зазвичай становить 400–800 ppm. Якщо рівень падає нижче цієї межі, процес поглинання світла рослинами сповільнюється, що призводить до зниження росту. Водночас перевищення

допустимих значень може бути шкідливим як для рослин, так і для людей, які перебувають у приміщенні.

Саме тому CO₂ датчики часто інтегруються з вентиляційними системами, які автоматично активуються при фіксації надмірної концентрації. Вони також можуть слугувати тригером для запуску подачі додаткового CO₂ (у промислових теплицях), якщо рівень вуглецю є занадто низьким. У більш просунутих системах, дані з таких сенсорів надсилаються до центрального контролера, де аналізуються разом із температурою, вологістю та освітленістю. Це дає змогу створювати повноцінну динамічну картину мікроклімату зимового саду. Таким чином, датчики CO₂ відіграють критичну роль у підтриманні біологічної рівноваги в закритих середовищах.

MH-Z19 компактний ІЧ-датчик (інфрачервоний), що працює за принципом NDIR (Non-Dispersive Infrared), тобто недисперсійної інфрачервоної абсорбції (рисунок 2.15). Це дозволяє точно вимірювати концентрацію CO₂ без зовнішніх реагентів. Легко інтегрується з Arduino, ESP32 та Raspberry Pi. Використовується в розумних системах вентиляції, теплицях, зимових садах, для моніторингу якості повітря.

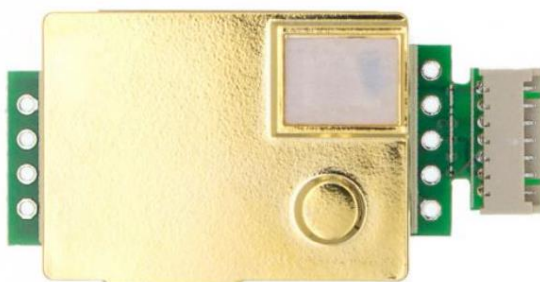


Рисунок 2.15 – Інфрачервоний датчик MH-Z19 [61]

До переваг використання MH-Z19 можна віднести високу стабільність, відносну дешевизну та наявність калібрування.

Його зручно використовувати для постійного моніторингу CO₂ у домашніх і напівпрофесійних системах.

Senseair S88 – це високоточний інфрачервоний CO₂-датчик, створений для довготривалого використання у професійних системах моніторингу повітря (рисунок 2.16). Він базується на технології NDIR (недисперсійна інфрачервона абсорбція), що забезпечує стабільні та точні вимірювання концентрації вуглекислого газу. Датчик має широкий діапазон вимірювання від 400 до 5000 ppm, що покриває більшість потреб для зимових садів і тепличних господарств. Завдяки автоматичному калібруванню ABC (Automatic Baseline Correction), він не потребує частого ручного калібрування. Senseair S88 має низьке енергоспоживання, що робить його ідеальним для інтеграції в системи з живленням від батарей або сонячних панелей. Пристрій легко інтегрується з популярними контролерами, такими як Arduino або ESP32, через UART або I2C інтерфейс. Він має компактний форм-фактор і захищений корпус, що дозволяє використовувати його навіть у вологому середовищі. У зимовому саду S88 допомагає підтримувати оптимальний рівень CO₂ для активного фотосинтезу та росту рослин. Його також можна використовувати для активації вентиляційних систем при виявленні перевищення порогового значення. Senseair S88 вважається одним із найкращих рішень для точного й надійного контролю вуглекислого газу у складних екосистемах.



Рисунок 2.16 – Датчик Senseair S88 [62]

Усі ці датчики зазвичай підключаються до контролера або мікрокомп'ютера (наприклад, Arduino, Raspberry Pi або ESP32), який аналізує значення в реальному

часі та приймає рішення про включення чи вимкнення вентиляції. Такий підхід дозволяє автоматизувати контроль мікроклімату, забезпечити ефективну циркуляцію повітря та створити оптимальні умови для росту рослин у зимовому саду.

2.2.4 Датчики температури

Датчики температури – це ключові елементи роботизованих систем догляду за зимовим садом, які забезпечують постійний контроль за мікрокліматом і дозволяють підтримувати оптимальні умови для росту рослин. Температура повітря та ґрунту безпосередньо впливає на фотосинтез, водообмін, цвітіння та плодоношення, тому її стабільність є критично важливою.

Найчастіше використовуються цифрові сенсори, такі як DHT22, DS18B20 або VME280.

DHT22 – це комбінований цифровий датчик, який вимірює як температуру, так і вологість повітря, що робить його універсальним і зручним рішенням для створення автоматизованих кліматичних систем у зимових садах (рисунок 2.17).

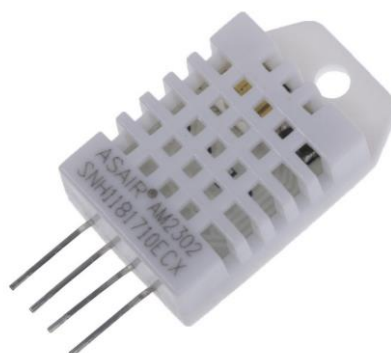


Рисунок 2.17 – Датчик температури DHT22 [63]

DHT22 має цифровий вихід, що значно спрощує його інтеграцію з мікроконтролерами, такими як Arduino, ESP32 або Raspberry Pi. Він потребує всього одного GPIO-виводу для зв'язку, а бібліотеки для роботи з ним є широко

доступними та простими у використанні. Частота оновлення даних становить приблизно 1 раз на 2 секунди, що є цілком прийнятним для моніторингу клімату в реальному часі. DHT22 можна розміщувати як усередині теплиць або зимових садів, так і безпосередньо біля кореневої зони для контролю мікроклімату поблизу рослин.

Датчик DS18B20 – це цифровий температурний датчик з високою точністю, який широко використовується для вимірювання температури ґрунту або повітря в автоматизованих системах (рисунок 2.18). Він підтримує інтерфейс OneWire, що дозволяє підключати кілька датчиків до одного входу мікроконтролера. Завдяки водонепроникному корпусу (в окремих версіях) він ідеально підходить для використання у вологих середовищах, зокрема в зимових садах.

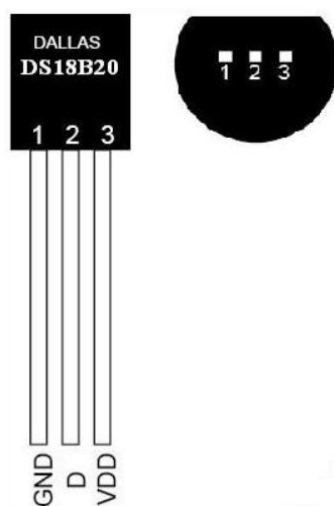


Рисунок 2.18 – Датчик DS18B20 [64]

Датчик BME280 – багатоцільовий цифровий сенсор, який вимірює температуру, вологість та атмосферний тиск, забезпечуючи комплексний моніторинг мікроклімату (рисунок 2.19). Завдяки високій точності та стабільності він ідеально підходить для використання в зимових садах, де важливо враховувати взаємозв'язок між кліматичними параметрами. Сенсор підтримує інтерфейси I2C і SPI, що полегшує його інтеграцію з Arduino, Raspberry Pi та іншими платформами. Дані з BME280 можна використовувати не лише для

контролю температури, але й для передбачення змін погоди всередині приміщення. Це робить його цінним компонентом у системах інтелектуального управління середовищем і дає змогу створити комплексну модель клімату.

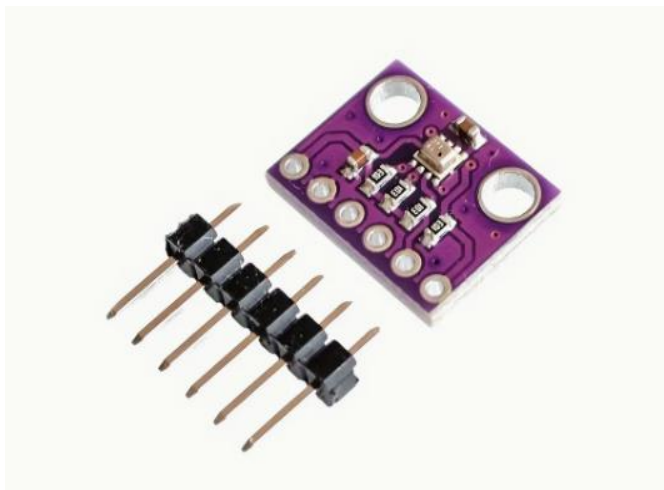


Рисунок 2.19 – Датчик VME280 [65]

Дані, отримані з датчиків, дозволяють системі автоматично вмикати або вимикати опалення, вентиляцію чи охолодження. Якщо температура перевищує встановлений поріг, активується вентилятор або відкривається кватирка. У разі похолодання вмикається обігрівач. Завдяки цьому рослини перебувають у стабільному середовищі, яке максимально відповідає їх біологічним потребам.

Такі сенсори можуть бути як дротовими, так і бездротовими, залежно від конструкції системи. У сучасних системах дані температури відображаються в реальному часі на мобільному застосунку або веб-інтерфейсі, а також використовуються в алгоритмах прогнозування змін кліматичних умов.

2.4 Висновки

У другому розділі, розглянуто основні типи датчиків для автоматизованої системи по догляду за зимовим садом. Було детально проаналізовано функціональні можливості сенсорів, що забезпечують комплексний моніторинг мікроклімату.

Розглянуті датчики вологості ґрунту, температури, освітленості, вмісту CO₂, а також сенсори дощу та вентиляції демонструють високу ефективність у підтриманні стабільного середовища для росту рослин. Використання цифрових сенсорів з інтерфейсами I2C або UART дозволяє легко інтегрувати їх у сучасні платформи керування, забезпечуючи оперативний збір та обробку даних.

Професійні сенсори типу BH1750, TSL2561, MH-Z19, Senseair S88 та Aropree SQ-520 значно розширюють функціональність системи, дозволяючи з високою точністю вимірювати параметри, критичні для фотосинтезу та водного балансу рослин. Окрему увагу слід звернути на здатність цих сенсорів працювати в умовах обмеженого простору, змінного освітлення та вологості, що є типовими для зимових садів.

Інтеграція сенсорів у єдину роботизовану систему дає змогу автоматизувати процеси керування поливом, освітленням, вентиляцією та подачею добрив, що не лише полегшує догляд, але й підвищує ефективність росту рослин. Такий підхід сприяє ресурсозбереженню, зниженню втручання з боку людини та забезпеченню сталої якості середовища. У результаті, вибір і правильне комбінування датчиків є критичним чинником у створенні надійної, розумної системи управління мікрокліматом зимового саду. Отже, розглянуті технології можуть бути рекомендовані як для побутових, так і для напівпрофесійних систем автоматизації.

3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПО ДОГЛЯДУ ЗА ЗИМОВИМ САДОМ

3.1 Сфери використання розумного саду спільно з Інтернет речей

Впровадження системи «розумного саду» з використанням Інтернету речей виявилось ефективним завдяки підключенню різних параметрів, таких як рослина та ґрунт, до хмарного сховища та дистанційному керуванню за допомогою мобільного застосунку для моніторингу статистики в деяких випадках.

Розглянемо томатний сад. Помідори – це швидкопсувні культури, які потребують дуже належного догляду з достатнім живленням, щоб забезпечити їх швидке зростання та багаторазовий врожай. Автономний сад – це ефективний підхід до отримання продуктивного врожаю томатів, який допоможе контролювати вологість ґрунту та поливати його вчасно з достатнім інтервалом. Система розумного саду забезпечить моніторинг у режимі реального часу з аналізом стану рослин.

Наступний варіант, де може бути корисною система розумного саду є овочевий город. Наприклад, Овочі варіюються від шпинату до інших листових овочів, яким потрібна достатня кількість поживних речовин та відстані для гарного росту в саду. Автономна система саду забезпечить моніторинг овочів у режимі реального часу для кращого врожаю.

Ще одним напрямком використання розумного саду є облаштування теплиці. Теплиці встановлюються у вигляді намету з повітропроникними сітками, що використовуються як щит для кутів, та брезентом, що використовується як дах, та зведеними зі стовпами по краях. Ідея теплиці полягає в тому, щоб захистити швидкопсувні рослини, такі як помідори, від зараження шкідниками, щозавжди діє як стримуючий фактор для росту та врожаю. Автоматизація саду буде ідеальним впровадженням для кожної теплиці, оскільки вона поєднує в собі фактичну концепцію моніторингу та аналізу рослин з покращенням врожаю, таким як інтелектуальні зрошувачі та датчики ґрунту.

Розумні спринклери можуть зробити рослини зеленими та квітучими завдяки швидкому постачанню води та достатньому постачанню поживних речовин, отриманих з ґрунту, за допомогою автономної садової системи, яка має електронні таймери. Розумний спринклер можна ідентифікувати за допомогою надійних функцій, таких як система зрошення з таймером, яка має запланований час для поливу рослин водою, яким можна дистанційно керувати на вашому пристрої за вашої відсутності. Контролер спринклерної системи має здатність утримувати 8000 літрів води протягом року. Суттєвою перевагою є сумісність інтелектуального контролера спринклерів з іншими системами, такими як димова сигналізація та камера, які також використовують метеорологічні звіти та інформацію, отриману з саду, щоб виробляти необхідну кількість води, яку потребує та чи інша рослина.

Метеостанції, які іноді називають датчиками, дають більше інформації про сад. Корисний зворотний зв'язок, отриманий шляхом моніторингу та аналізу даних, таких як температура, вода та вітер, забезпечує ріст рослин у саду та за його межами.

Використання розумних датчиків ґрунту дає можливість оптимально розподіляти вологу та добрива. Вода є ключовим фактором для правильного росту будь-якої рослини, як і правильний ґрунт. Щоб визначити правильний рівень вологи та добрив, потрібно використовувати розумні датчики для аналізу даних за різними показниками, які виявляють, коли рослинам потрібен полив, і перевіряють, чи температура не спричиняє затримку розвитку.

Використання роботизованих газонокосарок дає можливість економити час та енергію, оскільки можна безперервно використовувати цей пристрій без участі людини.

Отже, основна концепція впровадження автономної робототехніки в сільське господарство та будь-які елементи ландшафту, полягає в зменшенні залежності від ручної праці, одночасно підвищуючи ефективність, врожайність та якість продукції. Таке удосконалення дійсно усунуло фактор важкої праці,

завдяки чому користувачі/фермери витрачають більше часу на роботу, налагоджуючи код роботів, аналізуючи дані та ремонтуючи техніку.

Проблеми, що виникають при використанні традиційних методів, полягають у відсутності нагляду, втраті часу, догляді відповідно до забезпечення водою та належного управління через виснажливі щоденні графіки користувачів/фермерів, що перешкоджає швидкому росту рослин, які можуть бути захоплені шкідниками та бур'янами. Система автоматизації «Розумний сад» дає можливість користувачу отримати необхідні йому сервіси в догляді за рослинами, оскільки вона пропонує пропозиції та покращення щодо впроваджених методів та інструкцій, що надаються автоматизованій машині дистанційно або запрограмовано для кожного завдання. Поява Інтернету речей дає можливість використовувати технології більш масштабно, наприклад, дрони, такі як Precision Hawk Lancaster, для отримання зображень для моніторингу стану сільськогосподарських культур та стану ґрунту в режимі реального часу на великій відстані.

Подальші використання систем «Розумного саду» можуть включати посадку рослин з повітря, розпилення пестицидів, яке можна ефективно здійснювати за допомогою дронів, тощо. У стаціонарному саду можна отримати більше інструментів для прополювання та боротьби зі шкідниками.

3.2 Моделювання процесу догляду за зимовим садом

Процес догляду за зимовим садом у межах автоматизованої роботизованої системи передбачає побудову динамічної моделі, яка враховує зміни зовнішніх і внутрішніх факторів, вплив людини, стан рослин і поведінку системи в режимі реального часу. Така модель дає змогу не лише візуалізувати та оптимізувати дії виконавчих пристроїв, але й формалізувати логіку прийняття рішень системою.

Така модель базується на взаємодії між сенсорними даними, алгоритмами прийняття рішень і виконавчими механізмами, які разом формують замкнутий цикл керування.

У динамічній моделі всі процеси поділяються на вхідні змінні (впливи), стан системи та вихідні дії (реакції). До вхідних змінних належать температурні коливання, зміни вологості повітря й ґрунту, рівень освітлення, концентрація CO₂, погодні умови (якщо доступна інформація про зовнішнє середовище). Стан системи формується на основі поточних значень з датчиків і історичних даних, які зберігаються у базі даних або пам'яті контролера. Вихідні дії – це активація або вимкнення поливу, вентиляції, опалення, підсвітки чи подачі добрив.

Математично така модель може бути описана системами диференціальних рівнянь або скінченних автоматів, де кожна зміна в параметрах середовища викликає зміну стану системи. Наприклад, якщо температура повітря перевищує 26 °C, активується вентилятор; якщо рівень CO₂ падає нижче 400 ppm – відкриваються вентиляційні клапани. У більш складних варіантах можуть застосовуватись нейронні мережі або методи нечіткої логіки для адаптивного керування.

Динамічна модель також може включати запізнення у відповідях (наприклад, реакція ґрунту на полив через певний час), а також модель накопичення стресу рослин, коли система фіксує тривалі відхилення від норми. Для візуалізації таких процесів застосовуються діаграми станів, графіки змін параметрів у часі, петлі зворотного зв'язку, які показують взаємозв'язки між кліматичними факторами та керуючими діями.

У результаті, динамічна модель дозволяє не лише реагувати на зміну умов, а й прогнозувати подальші зміни, формуючи адаптивний цикл керування, який є основою для інтелектуальної автономної системи догляду за рослинами в умовах зимового саду (рисунок 3.1).

Умовно весь процес можна поділити на п'ять взаємопов'язаних етапів.

Перший етап, етап моніторингу параметрів середовища. Система постійно зчитує дані з сенсорів температури, вологості ґрунту та повітря, рівня CO₂, а також освітленості. Дані передаються до локального або хмарного обчислювального модуля. У цей момент фіксуються будь-які відхилення від заданих оптимальних значень для кожної зони саду.



Рисунок 3.1 – Динамічна модель системи догляду за зимовим садом

Другий етап, це етап аналізу стану рослин і умов середовища. Алгоритми машинного навчання або логічного аналізу визначають, чи потребують рослини втручання: поливу, підсвічування, підживлення або вентиляції. Якщо відхилення незначні, система ігнорує їх або відтерміновує дію. У разі фіксації критичних параметрів (наприклад, пересушений ґрунт або різке падіння температури), система генерує команду для виконавчих модулів.

Третій етап – це виконання дій виконавчими пристроями. Мобільний поливальний модуль або стаціонарні клапани вмикаються лише у зонах, де рівень вологості нижче норми. Роботи з підсвічування активують LED-лампи з певною інтенсивністю. У разі перевищення концентрації CO₂ або вологості в повітрі запускається вентиляція або зволоження.

Четвертим етапом є зворотний зв'язок і самонавчання системи. Після виконання дії система знову зчитує показники, аналізує ефективність своєї реакції та коригує алгоритми для наступних подібних ситуацій. Це дозволяє зменшити кількість помилкових спрацювань і покращити енергоефективність системи.

На п'ятому етапі відбувається інформування користувача. Через мобільний додаток або веб-інтерфейс користувач отримує повідомлення про виконані дії, поточний стан системи та рекомендації щодо змін у догляді за окремими рослинами. У випадку незвичних ситуацій (наприклад, збою в сенсорі) система надсилає сповіщення з проханням про ручну перевірку.

3.3 Математична модель процесу догляду за зимовим садом

Математична модель процесу догляду за зимовим садом необхідна для кількісного опису змін параметрів середовища під впливом природних факторів і керуючих дій системи. Вона дозволяє моделювати температуру, вологість повітря і ґрунту, освітленість, концентрацію CO₂ тощо, як змінні, що залежать від часу. Такі моделі базуються на системах диференціальних рівнянь, які описують фізичні закономірності теплопередачі, випаровування, фотосинтезу та вентиляції. Використання моделі дає змогу не лише передбачати поведінку середовища, а й оптимізувати керування, наприклад, зменшити кількість поливів або скоротити енерговитрати на обігрів. Вона також дає змогу створювати симуляції, що використовуються для налаштування системи без реального впливу на рослини.

На основі такої моделі можна тестувати вплив різних сценаріїв, змінювати порогові значення, графіки дій та виявляти неефективність у логіці керування. Поєднання математичної моделі з використанням правил або машинним аналізом дозволяє побудувати гібридну інтелектуальну систему. Це особливо важливо в середовищах зі складною динамікою, де одна дія може мати тривалий відкладений ефект. Таким чином, математична модель виступає основою для прогнозування, адаптації та вдосконалення автономної системи догляду за зимовим садом. Вона є важливим інструментом як на етапі проектування, так і в подальшій експлуатації. Найчастіше модель будується у вигляді системи диференціальних рівнянь, що описують динаміку станів, та логічних правил або функцій керування, які визначають, як система реагує на зміни.

Розглянемо детальніше таку модель. В цій моделі є змінні стану та вхідні дії системи, які є керованими параметрами.

До змінних стану, згідно рисунку 3.1, відносяться:

- температура (T);
- вологість (V);
- освітленість (O_s);
- концентрація CO₂ (C).

До вхідних дій системи (керовані параметри) відносяться:

- полив (Pl);
- вентиляція (W);
- підсвічування (P);
- нагрів або охолодження (Op).

Диференціальне рівняння виглядатиме наступним чином, для температури (формула 3.1):

$$\frac{dT}{dt} = \alpha_1(T_{zov} - T) + \beta_1 U_T(t), \quad (3.1)$$

де α_1 – коефіцієнт теплообміну між внутрішнім та зовнішнім середовищем,

β_1 - ефективність дій обігрівача чи охолодження;

T_{zov} – зовнішня температура, °C;

$U_T(t)$ – керування температурою: +1 – нагрівання, -1 – охолодження, 0 – без змін.

Диференціальне рівняння виглядатиме наступним чином для вологості (формула 3.2):

$$\frac{dV}{dt} = \beta_2 U_V(t) - \gamma_2 V(t), \quad (3.2)$$

де β_2 – ефективність поливу;

γ_2 – інтенсивність випаровування, залежна від температури і освітлення;

$U_V(t)$ – керування поливом: 1 – увімкнений, 0 – вимкнений;

$V(t)$ – функція втрати вологи.

Диференційне рівняння для концентрації CO₂ (формула 3.3):

$$\frac{dC}{dt} = -\sigma_1 P(O_s) + \beta_3 U_C(t), \quad (3.3)$$

де σ_1 – швидкість поглинання CO₂ рослинами (фотосинтез);

$P(O_s)$ – швидкість фотосинтезу, прямо пропорційна освітленості;

β_3 – керована подача або вентиляція CO₂;

$U_C(t)$ – керування вентиляцією або подачею CO₂.

Диференційне рівняння для освітленості (формула 3.4):

$$\square\square O_s(t) = O_{s_{pr}}(t) + U_{O_s}(t), \quad (3.4)$$

де $O_s(t)$ – рівень освітленості;

$O_{s_{pr}}(t)$ – природне освітлення;

$U_{O_s}(t)$ – інтенсивність штучного освітлення, lux.

Усі ці елементи разом утворюють динамічну систему, де керовані сигнали U визначаються на основі логічних правил, а зміни параметрів описуються безперервними рівняннями. Це дозволяє моделювати та прогнозувати поведінку системи в часі з високою точністю. Усі ці елементи, сенсорні дані, логічні правила, керувальні сигнали та рівняння динаміки в сукупності формують гібридну динамічну систему, в якій поточний стан середовища постійно змінюється під впливом як природних, так і техногенних факторів.

Математична модель, що включає диференціальні рівняння, описує безперервні процеси, такі як нагрівання повітря, випаровування вологи, засвоєння CO₂ рослинами чи зміна освітленості протягом доби. Ці рівняння дозволяють прогнозувати майбутній стан середовища, що особливо важливо для підтримання стабільних умов у зимовому саду.

Однак самі по собі рівняння не керують процесами, вони лише описують зміну змінних. Керування забезпечується за рахунок логічних правил, що працюють за принципом «Якщо–То». Наприклад, якщо параметр виходить за межі допустимих значень, то система ініціює відповідну дію.

Наприклад, якщо температура падає нижче 18°C , то вмикається обігрів; якщо вологість ґрунту знижується нижче 55 %, то активується полив.

У цьому полягає взаємозв'язок між дискретною логікою і безперервною фізичною моделлю: правила генерують сигнали керування $U(t)$, які в свою чергу змінюють вхідні величини у рівняннях, і відповідно, змінюють стан системи.

Таким чином, цикл повторюється: сенсори фіксують стан, правила аналізують ситуацію, дії запускаються, і потім математична модель прогнозує результат дії. Такий підхід дозволяє реалізувати адаптивне інтелектуальне керування, яке не лише реагує на зміну стану, а й передбачає його наперед. Це особливо важливо у зимових садах, де параметри мікроклімату мають бути підтримані у вузьких межах, а рослини можуть бути чутливими до відхилень.

Розглянемо систему правил керування, яка формує поведінку роботизованої системи в залежності від параметрів середовища.

Правила керування (логічні умови) виглядають наступним чином:

Якщо $V(t) < 55\%$, то $U_V(t) = 1$ (увімкнути полив).

Якщо $T(t) < 18^{\circ}\text{C}$, то $U_T(t) = +1$ (увімкнути нагрів).

Якщо $T(t) > 26^{\circ}\text{C}$, то $U_T(t) = -1$ (вентиляція або охолодження).

Якщо $C(t) > 800$, то $U_C(t) = -1$ (вентиляція).

Якщо $Os(t) < 10000$, то $U_{Os}(t) = 1$ (включити підсвітку).

Для того щоб узгодити математичну модель (із диференціальними рівняннями) з логічною системою правил "якщо – то", використовується гібридний підхід, де поєднуються безперервна частина та дискретна логічна частина.

Безперервна частина (динаміка середовища) використовується для моделювання фізичних процесів, а саме:

- зміна температури;

- вологості;
- CO₂;
- освітлення.

Ці параметри змінюються плавно, відповідно до природних та технічних впливів.

Дискретна логічна частина (правила керування) – це набір умов, які активують керуючі дії, наприклад:

- якщо $V(t) < 55\%$ → увімкнути полив;
- якщо $T(t) > 26^{\circ}\text{C}$ → увімкнути охолодження.

Разом це працює наступним чином:

1. Система зчитує поточні значення сенсорів (температура, вологість тощо).
2. Порівнює ці значення з умовами правил.
3. Активує відповідні дії $U(t)$ залежно від спрацювання правил. Ці дії підставляються у диференціальні рівняння і система розраховує, як змінюються фізичні параметри.
4. Цикл повторюється з новими значеннями (кожну хвилину, годину, тощо).

Вхідна дія (наприклад, полив) визначається логічним правилом, але її фізичний вплив обчислюється згідно з математичною моделлю.

Розглянемо приклад правил для керування температурою.

Якщо $T(t) < 18^{\circ}\text{C}$, то $U_T(t) = +1$ (увімкнути обігрівач).

Якщо $T(t) > 26^{\circ}\text{C}$, то $U_T(t) = -1$ (увімкнути вентиляцію/охолодження).

Якщо $18^{\circ}\text{C} \leq T(t) \leq 26^{\circ}\text{C}$, то $U_T(t) = 0$ (нічого не вмикати).

Якщо $T(t) > T_{\text{зовн}}(t) + 5$, то відкрити вікна (пасивна вентиляція).

Якщо $T(t) < T_{\text{зовн}}(t) - 3$, то закрити вікна і активувати обігрів.

Розглянемо правила для керування вологістю. Вологість можна розглядати в двох аспектах: вологість повітря та вологість ґрунту. Вологість повітря визначає здатність рослин ефективно транспірувати, тобто випаровувати воду через листя. Надто сухе повітря призводить до зневоднення, в'янення й уповільнення росту,

особливо у тропічних видів, які потребують високої вологості на рівні 60–80%. Водночас надлишок вологи в повітрі може спричинити появу плісняви, грибкових захворювань, а також конденсат на вікнах, що шкодить як самим рослинам, так і конструктивним елементам зимового саду. З цієї причини система вентиляції й контроль рівня вологості за допомогою гігрометрів або автоматизованих кліматичних систем є важливими елементами догляду. У зимовий період, коли працює опалення, вологість повітря стрімко знижується, тому її необхідно штучно підвищувати, наприклад, за допомогою зволожувачів повітря або розміщення водяних поверхонь, таких як декоративні фонтани.

Вологість ґрунту так само критична для рослин, адже саме з ґрунту вони отримують воду, поживні речовини й кисень. Залежно від виду рослин, потреби в зволоженні різняться: тропічні рослини потребують постійно вологого субстрату, тоді як сукуленти або кактуси потребують періодичного висихання. Надмірна вологість ґрунту призводить до застою води, гниття коренів і загибелі рослини.

Недостатній полив викликає пересихання кореневої системи, що також призводить до зниження життєздатності. Щоб уникнути таких проблем, у зимовому саду необхідно використовувати дренажні системи, правильні субстрати з хорошою повітропроникністю, а також, для більшої зручності, датчики вологості та автоматизовані системи поливу.

Таким чином, ефективний догляд за зимовим садом вимагає постійного моніторингу та регулювання вологості як повітря, так і ґрунту. Їхній баланс є умовою здорового росту рослин і стабільного мікроклімату. І хоча обидва аспекти взаємопов'язані, регулюються вони окремо – через вентиляцію, зволоження або осушення повітря, з одного боку, і через полив, дренаж та якість субстрату з іншого.

Якщо $V(t) < 55\%$, то $U_V(t) = 1$ (полив увімкнути).

Якщо $V(t) < 75\%$, то $U_V(t) = 0$ (полив вимкнути).

Якщо за останні 3 години V не змінилось після поливу, то надіслати попередження.

Якщо прогноз дощу, та $V(t) > 60\%$, то відкласти полив.

Якщо $V(t) < 40\%$, то активувати екстрений режим поливу на 15 хв.

Правила для вологості повітря (H):

Якщо $H(t) < 40\%$, то $U_H(t) = +1$ (включити зволожувач).

Якщо $H(t) > 70\%$, то $U_V(t) = -1$ (включити осушувач).

Якщо $H(t) > 80\%$ і $T(t) < 20^{\circ}\text{C}$, то відкрити вентиляцію для осушення.

Якщо $H(t) < 30\%$, то скоротити вентиляцію на 50%.

Якщо зміна H протягом 1 год $> 20\%$, то стабілізувати мікроклімат.

Розглянемо правила для CO_2 (C):

Якщо $C(t) > 800$ ppm, то $U_C(t) = -1$ (увімкнути вентиляцію).

Якщо $C(t) < 400$ ppm, то $U_C(t) = +1$ (увімкнути подачу CO_2).

Якщо CO_2 змінюється < 10 ppm за 2 год, то перевірити сенсор.

Якщо $\text{CO}_2 > 1000$ ppm і вентиляція не працює, то активувати аварійний режим.

Якщо $\text{CO}_2 > 800$ ppm і рослини не ростуть, то збільшити фотосинтетичне освітлення.

Правила для освітленості (O_s) виглядають наступним чином:

Якщо $O_s(t) < 10000$ lux, то $U_{O_s}(t) = 1$ (включити підсвітку).

Якщо $O_s(t) > 20000$ lux $U_{O_s}(t) = 0$ (вимкнути підсвітку).

Якщо $O_s(t) < 8000$ lux зранку > 30 хв, то активувати ранкову підсвітку.

Якщо $O_s(t) > 25000$ lux і температура висока, то затінити рослини.

Якщо денне світло < 10 годин, то продовжити підсвітку на 2 години ввечері.

3.4 Проектування роботизованої системи по догляду за зимовим садом

Роботизована система по догляду за зимовим садом – це інтелектуальна автоматизована система, яка поєднує сучасні технології робототехніки, штучного інтелекту і датчиків для автоматичного догляду за рослинами в закритому середовищі зимового саду. Вона забезпечує ефективне управління поливом, освітленням, температурою, вологістю та іншими важливими факторами, необхідними для оптимального зростання рослин.

Архітектура роботизованої системи для догляду за зимовим садом:

1. Сенсорний модуль забезпечує збирання даних про стан середовища в зимовому саду:

- сенсори вологості ґрунту вимірюють рівень вологості в ґрунті і передають дані системі для управління поливом;
- температурні датчики вимірюють температуру повітря та ґрунту, щоб забезпечити оптимальні умови для рослин;
- сенсори освітленості вимірюють інтенсивність природного та штучного освітлення для коригування режимів підсвічування;
- датчики вуглецю (CO₂) контролюють рівень CO₂, необхідний для фотосинтезу, особливо важливий в умовах закритого простору.

2. Роботизовані пристрої:

- поливальний робот, тобто мобільний робот, оснащений системою поливу, здатний автоматично поливати рослини в залежності від показників сенсорів вологості ґрунту; він може переміщатися по саду або використовувати фіксовану систему подачі води для конкретних рослин;
- робот для підрізання та догляду з інструментами для обрізки листя, стебел та квітів; він може виконувати точну роботу з догляду за рослинами, зокрема, видаляти сухе листя або підтримувати форму дерев та кущів;
- робот для підсвічування вмикає та вимикає автоматизовані лампи або мобільні світлодіодні системи, які підлаштовуються під потреби рослин, забезпечуючи їх додатковим світлом у похмурі дні або вночі.

3. Система управління кліматом контролює основні параметри клімату:

- управління опаленням та охолодженням, тобто автоматичне регулювання температури повітря за допомогою вентиляторів, обігрівачів або кондиціонерів;
- вентиляційна система для контролю рівня свіжого повітря в закритому просторі зимового саду, що допомагає підтримувати оптимальний рівень вологості та температури;

– зволожувачі та осушувачі повітря для контролю вологості в середовищі, де різні рослини можуть потребувати різних умов.

4. Інтелектуальний модуль використовується для аналізу даних з сенсорів та прогнозування потреб рослин; він може навчатися на основі історичних даних про рослини і середовище, щоб забезпечувати оптимальний догляд; допомагає системі адаптуватися до змін у довкіллі та коригувати дії роботів на основі аналізу зібраних даних; система може планувати завдання, такі як полив, обрізка та підсвічування, на основі погодних прогнозів або сезонних змін.

5. Інтерфейс користувача:

– мобільні застосунки, де користувач може контролювати та налаштовувати систему через смартфон або планшет; застосунок відображає реальні дані про стан зимового саду, показники клімату і дає змогу вручну регулювати параметри;

– голосові асистенти дають можливість інтеграції з голосовими помічниками (Google Assistant, Alexa) для керування роботою системи за допомогою голосових команд;

– візуалізація даних дає можливість сформувати графіки та діаграми, що показують стан рослин і їхнє зростання, а також ефективність системи догляду.

6. Автоматизована система живлення до складу якої входить розподіл добрив та поживних речовин:

– роботизовані системи для автоматичної подачі добрив у ґрунт в залежності від потреб кожної рослини;

– розподіл поживних речовин, де система розподіляє необхідні мікроелементи рівномірно та з урахуванням особливостей окремих видів рослин.

Розглянемо більш детально інтелектуальний модуль такої системи, оскільки він є головним в такій системі. Через нього здійснюється аналіз та керування всією роботизованою системою догляду за зимовим садом.

1. Якщо вологість ґрунту $< 55\%$, то увімкнути полив на 10 хв.
2. Якщо температура повітря $< 18\text{ }^{\circ}\text{C}$, то увімкнути обігрівач.

3. Якщо температура повітря $> 26^{\circ}\text{C}$, то увімкнути вентиляцію.
4. Якщо $\text{CO}_2 > 800$ ppm, то відкрити вентиляційні отвори на 5 хв.
5. Якщо освітленість < 8000 lux, то активувати LED-підсвітку.
6. Якщо освітленість $> 20\,000$ lux, то вимкнути підсвітку.
7. Якщо вологість повітря $< 40\%$, то включити зволожувач повітря.
8. Якщо вологість повітря $> 70\%$, то увімкнути осушувач.
9. Якщо температура ґрунту $< 15^{\circ}\text{C}$, то включити обігрів під ґрунтом.
10. Якщо $\text{CO}_2 < 350$ ppm, то ввести додатковий CO_2 або вимкнути вентиляцію.
11. Якщо день похмурий (дані з метеосервісу), то підсвітка працює з 07:00 до 17:00.
12. Якщо нічна температура прогнозується $< 5^{\circ}\text{C}$, то заздалегідь увімкнути нічне опалення.
13. Якщо вологість ґрунту $> 80\%$, то заблокувати запуск поливу.
14. Якщо світловий день < 10 годин, то додати підсвітку протягом 2 годин.
15. Якщо не було поливу протягом 48 годин, то виконати перевірку системи з тестовим зрошенням.
16. Якщо температура стабільно $< 16^{\circ}\text{C}$ протягом 6 годин, то надіслати повідомлення користувачу.
17. Якщо вологість повітря коливається понад 15% за годину, то увімкнути режим стабілізації.
18. Якщо датчик CO_2 вийшов з ладу (дані не оновлюються > 5 хв), то увімкнути провітрювання на 10 хв.
19. Якщо полив тривав більше 30 хвилин, то зупинити його та створити звіт.
20. Якщо різниця температур між повітрям і ґрунтом $> 8^{\circ}\text{C}$, то активувати вентиляцію для балансування.
21. Якщо виявлено значне зниження освітленості за 15 хв, то включити аварійне освітлення.

22. Якщо концентрація CO₂ > 1000 ppm більше 10 хв, то зупинити подачу добрив.

23. Якщо за останні 3 дні не проводилась обрізка, і є повідомлення про ріст, то виконати обрізку.

24. Якщо вологість повітря < 30% і ґрунт сухий, то дати комбінований сигнал для поливу і зволоження.

25. Якщо всі параметри в нормі > 2 год, то перевести систему в енергозберігаючий режим.

До переваг роботизованої системи по догляду за зимовим садом можна віднести економію часу за рахунок автоматизації рутинних процесів, оптимізацію умов для рослин, зниження витрат на утримання, постійний моніторинг та коригування, індивідуальний підхід.

Недоліками роботизованої системи по догляду за зимовим садом є вартість, потреба у технічному обслуговуванні та несумісність з різними видами рослин.

3.5 Метод збору даних про стан рослин у роботизованій системі по догляду за зимовим садом

Метод збору даних про стан рослин у роботизованій системі по догляду за зимовим садом базується на мережі сенсорів, об'єднаних за допомогою технологій Інтернету речей (IoT). Ця система дозволяє відстежувати стан середовища та самих рослин у режимі реального часу, забезпечуючи своєчасну реакцію на будь-які зміни. В основі методу лежить безперервний моніторинг ключових параметрів за допомогою цифрових сенсорів, зокрема температури, вологості повітря та ґрунту, освітленості, концентрації CO₂, а також додаткових показників, таких як рівень фотосинтетично активного випромінювання (PAR), електропровідність ґрунту чи навіть кольорові індекси листя (NDVI), якщо використовується камера.

Ці сенсори з'єднуються через мікроконтролери (наприклад, ESP32 або Raspberry Pi), які виступають у ролі вузлів збору даних. Вони агрегують

інформацію й передають її на центральний сервер або хмарну платформу за допомогою Wi-Fi, LoRa або Zigbee. Завдяки цьому користувач отримує візуалізацію стану системи у застосунку або веб-інтерфейсі, а сама система може автоматично приймати рішення на основі заданих алгоритмів.

У разі виявлення відхилень, наприклад, різке зниження вологості, система відразу ж активує необхідні механізми: полив, зволоження повітря чи вентиляцію.

Такий метод є високоінформативним, масштабованим і адаптивним, адже дозволяє не тільки проводити оперативний аналіз у реальному часі, а й накопичувати історичні дані для трендової аналітики, машинного навчання та прогнозування. Він забезпечує персоналізований підхід до кожної рослини, якщо сенсори розміщуються диференційовано, і дозволяє уникнути людських помилок у догляді. Таким чином, цей метод стає основою інтелектуального керування середовищем зимового саду.

Розглянемо основні етапи методу збору та обробки даних у режимі реального часу для роботизованої системи по догляду за зимовим садом більш детально.

Метод складається з семи кроків.

Крок 1 – встановлення сенсорної мережі. У зимовому саду розміщуються цифрові сенсори, які вимірюють ключові параметри середовища (температура, вологість повітря і ґрунту, CO₂, освітленість) та стану рослин (NDVI, візуальний аналіз).

Крок 2 – збір та попередня обробка даних на рівні edge-пристроїв. Сенсори передають дані на мікроконтролери (ESP32, Raspberry Pi), де відбувається попередня обробка, фільтрація шумів і тимчасова агрегація.

Крок 3 – передача даних до хмари або локального сервера. Використовуючи бездротові протоколи (Wi-Fi, Zigbee, LoRa), дані передаються до центральної обчислювальної системи, це може бути хмарна платформа або локальний сервер.

Крок 4 – зберігання та реєстрація. Вся інформація фіксується у базі даних, із часовими мітками та геолокацією, якщо потрібно. Вона накопичується для подальшого аналізу та формування історичних трендів

Крок 5 – аналітика та машинне навчання. На основі отриманих даних працюють модулі прогнозування, які виявляють аномалії, будують прогнози (наприклад, потребу в поливі) і дають системі рекомендації або автоматизовані вказівки.

Крок 6 - інтерфейс користувача. Через мобільний застосунок чи вебпанель користувач бачить усі показники в режимі реального часу, отримує попередження та має змогу редагувати налаштування або вводити власні правила.

Крок 7 – зворотний зв'язок і керування. Система на основі аналізу даних активує відповідні механізми (полив, підсвітка, вентиляція), що формує повний цикл автоматичного керування з мінімальним втручанням людини.

3.6 Висновки до третього розділу

У процесі моделювання роботизованої системи по догляду за зимовим садом було створено структурну та функціональну модель, яка дозволяє візуалізувати роботу всіх її основних підсистем. На основі блок-схем і принципів з'єднань вдалося логічно поєднати сенсорну частину, керуючий контролер та виконавчі механізми, що забезпечують полив, освітлення й клімат-контроль. Моделювання допомогло краще зрозуміти взаємозв'язки між окремими модулями та визначити критичні точки системи, які потребують додаткової уваги під час проєктування та монтажу.

У результаті побудови динамічної математичної моделі вдалося встановити залежності між змінними середовища та їх еволюцію в часі під впливом керувальних дій. Це дозволило формалізувати цикл «вимірювання – оцінка – дія», що лежить в основі автоматизованої роботи системи.

Додатково було запропоновано модель у вигляді скінченного автомата, що спрощує логіку переходів між станами системи, залежно від змін параметрів навколишнього середовища.

Важливою частиною моделювання стало використання правил типу «якщо–то», які дозволяють системі приймати рішення у реальному часі, базуючись на даних із сенсорів. Поєднання логічних правил з математичною моделлю дає змогу побудувати гібридну систему, яка є не лише реактивною, а й прогнозною, здатною адаптуватись до змін навколишнього середовища.

Результати моделювання показали, що система може ефективно реагувати на зміну кліматичних параметрів у режимі реального часу, а також працювати автономно завдяки попередньо заданим алгоритмам. Візуалізація процесів дала змогу проаналізувати логіку роботи контролера та виявити можливі помилки ще до етапу фізичної реалізації. Модель також підтвердила, що обрана архітектура є гнучкою і допускає масштабування або модернізацію без необхідності повної перебудови системи.

Результати моделювання підтвердили технічну та концептуальну доцільність впровадження роботизованої системи в умовах зимового саду. Створена модель слугує надійною основою для подальшої реалізації фізичного прототипу системи, оптимізації алгоритмів керування та вдосконалення інтерфейсів користувача.

Таким чином, моделювання стало важливим етапом у перевірці працездатності концепції, зменшило ризики проєктних помилок і дозволило підготуватися до наступного етапу фізичної реалізації та тестування автоматизованої системи догляду за зимовим садом.

4 ПРОЄКТУВАННЯ РОБОТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПО ДОГЛЯДУ ЗА ЗИМОВИМ САДОМ

4.1 Вибір типу архітектури

Вибір типу архітектури зимового саду має безпосередній вплив на простоту догляду за ним. Правильний вибір допоможе зменшити витрати часу, енергії та ресурсів на підтримку рослин і конструкції в належному стані. Ключові аспекти, які варто врахувати при виборі архітектури з точки зору догляду представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Порівняльна таблиця типів архітектури зимового саду

Критерій	Прибудований зимовий сад	Окремостоячий зимовий сад	Атріум (внутрішній зимовий сад)
Доступ до комунікацій	Простий доступ до води, електрики, тепла з будинку. Не потребує окремих систем.	Потрібно прокласти окремі комунікації.	Доступ до комунікацій можливий, але обмежений та конструктивно залежить від конфігурації будівлі.
Температурний контроль	Можна легко підтримувати стабільну температуру за допомогою опалення з дому.	Потрібна окрема система опалення й автоматичного клімату.	Температурний режим регулюється мікрокліматом всередині будівлі, відносно стабільний.
Освітлення	Добре освітлюється за умов правильного скління (особливо південна орієнтація).	Можна розташувати в оптимальному місці з максимумом світла.	Обмежене природне освітлення (залежить від вікон, поверховості). Часто потребує додаткового штучного світла.

Продовження таблиці 4.1

Критерій	Прибудований зимовий сад	Окремостоячий зимовий сад	Атріум (внутрішній зимовий сад)
Вентиляція	Можна інтегрувати автоматичну вентиляцію.	Вентиляція потребує додаткових технічних рішень.	Природна вентиляція можлива завдяки об'єму будівлі або відкритому даху, але не завжди достатня.
Прибирання, миття скла	Зазвичай легкий доступ до поверхонь для миття (невеликі габарити, поруч із будинком).	Великі скляні поверхні, складний доступ, особливо на даху. Потрібні додаткові інструменти або професійний догляд.	Скляних поверхонь менше, часто можна обійтися локальним прибиранням.
Обслуговування рослин	Зручне розміщення рослин, можна швидко доглядати, поливати, обрізати.	Потрібен систематичний догляд із виїздом (якщо сад далеко від дому).	Догляд може ускладнюватися через недоступні зони або недостатнє освітлення для деяких культур.
Автоматизація	Легко інтегрується з «розумним будинком» – автополив, клімат-контроль, освітлення.	Потребує окремої системи керування. Дорожче й складніше в обслуговуванні.	Можна частково автоматизувати освітлення й вентиляцію, але є конструктивні обмеження.

Кінець таблиці 4.1.

Критерій	Прибудований зимовий сад	Окремостоячий зимовий сад	Атріум (внутрішній зимовий сад)
Вартість догляду	Низька: завдяки близькості до дому, централізованим комунікаціям та доступності.	Висока: через автономність, потребу в окремих системах і частий професійний догляд.	Середня: залежить від архітектурного рішення, але потенційно потребує спеціального обладнання.
Гнучкість дизайну та зонування	Обмежений простір, але можна ефективно зонувати з урахуванням домашніх умов.	Повна свобода створення зон з різними мікрокліматами, теплицями, фонтанами тощо.	Дизайн залежить від загальної структури будівлі; зонування обмежене внутрішнім простором.

Прибудований зимовий сад – найзручніший з точки зору догляду. Він безпосередньо з'єднаний із житловим приміщенням, тому всі системи (вода, електрика, опалення) легко інтегруються. Це знижує вартість утримання та дає можливість швидко реагувати на потреби рослин.

Окремостоячий зимовий сад підходить тим, хто прагне мати масштабний ботанічний куточок із власною екосистемою. Але такий варіант потребує окремих інженерних рішень: опалення, автополив, вентиляція, освітлення. Догляд тут трудомісткий, особливо в зимовий період, тому автоматизація майже обов'язкова.

Атріум або внутрішній зимовий сад – це компроміс між комфортом і дизайном. До його переваг відноситься стабільний мікроклімат за рахунок розміщення всередині будівлі. Такий тип саду зручний для вирощування менш вибагливих рослин, не потребує складних систем догляду. Але освітлення й

вентиляція обмежені, і це треба враховувати під час планування. Підійде для сучасних будинків, офісів, готелів або приватних просторів із хорошою ізоляцією.

4.2 Розробка архітектури програмного забезпечення роботизованої системи по догляду за зимовим садом

Роботизовані системи догляду дозволяють значно підвищити ефективність, точність і зручність обслуговування таких об'єктів. Проте перед початком проєктування подібної системи необхідно обрати відповідну архітектуру, яка відповідатиме технічним, економічним і функціональним вимогам.

Типи архітектури роботизованої системи по догляду за зимовим садом формуються залежно від рівня автоматизації, структури керування, а також способу взаємодії між датчиками, виконавчими механізмами та центральним контролером. З точки зору апаратного забезпечення, можна виділити кілька основних типів архітектури, кожна з яких має свої особливості, переваги та обмеження в контексті догляду за зимовим садом.

Перший тип – це централізована архітектура (рисунок 4.1).

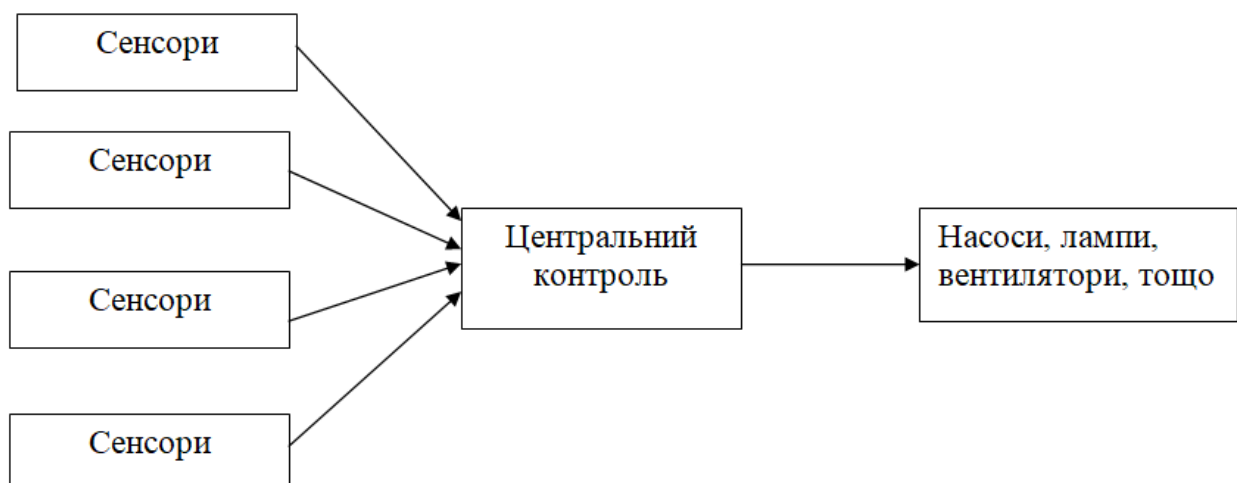


Рисунок 4.1 – Централізована архітектура роботизованої системи по догляду за зимовим садом

У такій системі всі сенсори (вологості повітря, вологості ґрунту, температури, освітленості, рівня CO₂) передають дані на один центральний контролер, найчастіше це мікроконтролер або мінікомп'ютер типу Raspberry Pi чи Arduino Mega. Саме він приймає рішення про вмикання або вимикання виконавчих пристроїв – насосів для поливу, зволожувачів повітря, вентиляторів, нагрівачів, ламп досвітки тощо.

Перевагою такої архітектури є її відносна простота в налаштуванні та контролі, оскільки всі компоненти зосереджені навколо однієї точки керування. Проте така система має обмежену масштабованість. При збільшенні площі саду або кількості пристроїв центральний контролер може стати «вузьким місцем», і будь-який збій у ньому виводить з ладу всю систему.

Другий тип – децентралізована або розподілена архітектура (рисунок 4.2). У цьому випадку в кожній зоні зимового саду встановлюється власний мікроконтролер або плата керування, яка обробляє локальні дані з сенсорів і керує виконавчими пристроями незалежно від інших зон. Наприклад, одна зона може зволожуватись, тоді як інша – вентилюватись або підсвічуватись.

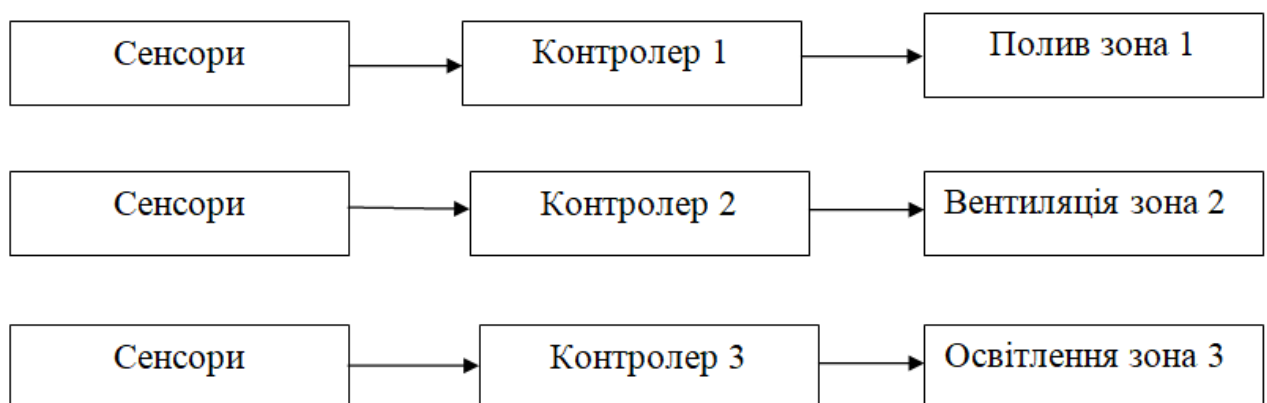


Рисунок 4.2 – Розподілена архітектура роботизованої системи по догляду за зимовим садом

Комунікація між зонами, а також із центральним сервером, зазвичай здійснюється через бездротові протоколи, такі як Wi-Fi, Zigbee або LoRa. Такий підхід забезпечує високу надійність і масштабованість, оскільки відмова однієї

зони не паралізує систему загалом. Проте, реалізація такої архітектури вимагає більших витрат на апаратуру та складнішого програмного забезпечення.

Третій тип – гібридна архітектура, яка поєднує елементи централізованої і децентралізованої систем (рисунок 4.3). У цьому випадку локальні мікроконтролери відповідають за миттєве реагування на умови в своїй зоні, але водночас усі дані передаються на центральний сервер, де відбувається загальний аналіз і довгострокове планування (наприклад, прогнозування поливу за погодними умовами чи поведінкою рослин).

Гібридні системи зазвичай використовують у професійних або комерційних зимових садах, де потрібна гнучкість, адаптивність і високий рівень автономності. Апаратура тут може включати цілу мережу мікроконтролерів, керованих через мобільний застосунок або веб-інтерфейс.

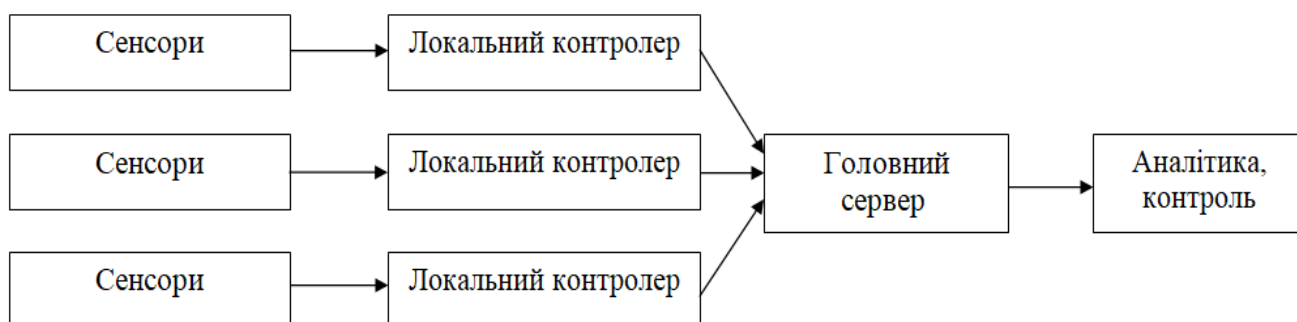
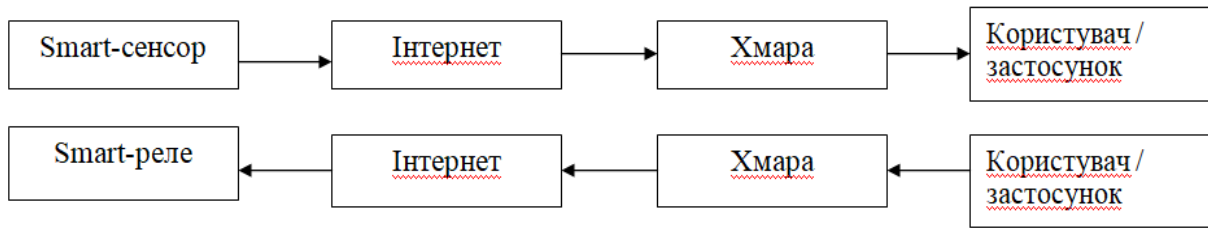


Рисунок 4.3 – Гібридна архітектура роботизованої системи по догляду за зимовим садом

Окремо варто згадати тип архітектури, орієнтований на Інтернет речей (рисунок 4.4). У таких системах кожен пристрій, включно з датчиками й виконавчими модулями, під'єднаний до хмари або локального сервера через інтернет. Уся апаратура має вбудовані мережеві модулі, що дозволяє дистанційно керувати зимовим садом з будь-якої точки світу.

Ця архітектура найзручніша для користувача, однак має високу залежність від стабільного інтернет-з'єднання і вимагає ретельного захисту даних.



[Усі присторої самостійно зв'язуються з хмарою.]

Рисунок 4.4 – Тип архітектури, орієнтований на Інтернет речей

Отже, з погляду апаратного забезпечення, вибір архітектури роботизованої системи для зимового саду залежить від розміру саду, бюджету, бажаного рівня автоматизації та потреб у гнучкості. Централізовані системи підійдуть для невеликих домашніх садів з обмеженою кількістю пристроїв. Децентралізовані та гібридні підійдуть для складніших рішень, де важливі надійність і модульність. IoT-архітектура – це сучасний варіант для користувачів, які цінують мобільність і контроль у реальному часі.

Кожен з цих варіантів має свої переваги та недоліки, які варто враховувати на етапі планування. Централізована модель є простою у реалізації, але вразливою до збоїв. Децентралізована забезпечує високу надійність, проте складніша у синхронізації. Гібридна система дозволяє поєднати кращі риси двох підходів. У свою чергу, IoT-архітектура орієнтована на максимальну автономність і віддалене керування. Крім технічних параметрів, важливим критерієм є вартість реалізації та підтримки кожного типу. Універсального рішення не існує, оптимальний вибір залежить від розміру зимового саду, кількості зон, бюджету, потреб користувача та перспектив масштабування.

Таблиця 4.2 узагальнює інформацію про контрольні елементи, типи комунікацій, надійність, масштабованість, складність налаштування та інші важливі аспекти. Такий аналітичний підхід допомагає прийняти зважене технічне рішення ще до початку монтажу апаратури.

Таблиця 4.2 – Порівняння архітектур

Критерій	Централізована архітектура	Децентралізована архітектура	Гібридна архітектура	IoT-архітектура
Основний контролер	Один (наприклад, Arduino, Raspberry Pi)	Кілька локальних контролерів	Локальні контролери + головний сервер	Відсутній як центральний, все в хмарі
Комунікація між модулями	Пряма або через дроти	Бездротова (Wi-Fi, ZigBee, LoRa)	Змішана: локальна + мережева	Через інтернет (MQTT, HTTP, REST API)
Тип сенсорів	Підключені до єдиного вузла	Розподілені, під'єднані до локальних контролерів	Комбінація локальних та глобальних	Smart-сенсори з Wi-Fi/LoRa/BLE
Виконавчі пристрої	Керує централізовано	Керуються незалежно в кожній зоні	Локальне керування + загальне планування	Керуються через хмару або застосунок
Надійність	Низька при відмові контролера	Висока (відмова однієї зони не впливає на інші)	Висока (є резервування функцій)	Залежить від інтернету
Масштабованість	Обмежена	Висока	Висока	Дуже висока
Вартість апаратури	Низька	Середня або висока (через дублювання контролерів)	Висока	Середня (залежить від кількості smart-пристроїв)

Кінець таблиці 4.2

Критерій	Централізована архітектура	Децентралізована архітектура	Гібридна архітектура	IoT-архітектура
Приклад системи	Arduino + датчики + реле	Кілька ESP32 з локальними сенсорами і приводами	ESP32/Arduino + центральний сервер на Raspberry Pi	Shelly, Tuya, ESPHome, Blynk, Home Assistant + хмара

Централізована архітектура передбачає наявність одного основного контролера, до якого підключено всі датчики й виконавчі пристрої. Такий підхід простий у реалізації, вимагає мінімальної кількості апаратних елементів і зручний для невеликих теплиць або домашніх зимових садів. Проте при збільшенні кількості елементів навантаження на контролер зростає, і він може не впоратись з обробкою великого обсягу даних. Крім того, відмова одного елемента, наприклад, центрального, призводить до повного припинення роботи системи.

У децентралізованій архітектурі, навпаки, кожна зона зимового саду має свій окремий контролер, що дозволяє уникнути перенавантаження на один пристрій. Локальні контролери отримують дані від своїх сенсорів і одразу керують пристроями. Це збільшує надійність і забезпечує безперервну роботу окремих зон навіть у разі виходу з ладу однієї з них. Така архітектура дуже добре підходить для великих або розділених на секції теплиць. Однак вона потребує складнішої організації зв'язку між контролерами, особливо якщо передбачено централізовану аналітику.

Гібридна архітектура поєднує в собі обидва підходи – локальні контролери забезпечують швидке реагування, а центральний сервер виконує загальну координацію, збір статистики та формування стратегій. Це забезпечує високу гнучкість і адаптивність, особливо в системах, які мають змінювані умови (наприклад, сезонне переміщення рослин або розширення площі). Гібридна

модель вимагає більше ресурсів як в апаратному, так і в програмному плані, але забезпечує найкращий баланс між автономністю і керованістю.

Архітектура типу IoT виводить керування на новий рівень. Тут кожен пристрій (сенсор, реле або мотор) має вбудований модуль зв'язку і самостійно під'єднується до хмарного сервера. Це дозволяє керувати системою з будь-якої точки світу, використовуючи мобільний застосунок або веб-інтерфейс. Користувач отримує повідомлення, має змогу налаштовувати автоматичні сценарії, бачити історію даних тощо. Однак така система залежить від стабільного інтернет-з'єднання та потребує уваги до безпеки даних і конфіденційності.

З погляду вартості, централізована архітектура є найдешевшою, тоді як гібридна й IoT є найдорожчими. Децентралізована займає проміжне положення. Водночас гібридна та IoT-моделі дають більше можливостей для масштабування та автоматизації.

Кожен тип архітектури має власну область ефективного застосування. Централізовану доцільно використовувати в невеликих приватних проектах. Децентралізована та гібридна підходять для напівпрофесійного або комерційного використання. IoT – це перспективний вибір для розумних садів, які орієнтовані на гнучкість, дистанційний моніторинг і взаємодію з іншими системами "розумного дому".

4.3 Інтерфейс програмного забезпечення роботизовано системи по догляду за зимовим садом

Інтерфейс програмного забезпечення роботизованої системи по догляду за зимовим садом виконує ключову роль у зручності керування, моніторингу та налаштування автоматичних дій. Його структура залежить від обраної архітектури системи, але загалом має інтуїтивну логіку: спостерігати → аналізувати → діяти.

Розглянемо основні розділи інтерфейсу:

1. Головна панель (Dashboard). Центральна частина інтерфейсу, яка показує поточний стан зимового саду:

- температура повітря в різних зонах;
- вологість повітря та ґрунту;
- освітленість;
- стан CO₂;
- системні повідомлення (наприклад, “Полив увімкнено у зоні 3”).

Інформація може відображатися у вигляді графіків, кругових діаграм або піктограм.

2. Карта зон (Zone map) – це візуальна схема зимового саду з поділом на логічні зони. При натисканні на зону користувач отримує детальні параметри, включаючи історію змін, графіки вологості, температури, кількість поливів тощо.

3. Режими роботи. Користувач може перемикає наступні режими:

- автоматичний, система керує усім самостійно за алгоритмами;
- ручний, користувач вмикає/вимикає окремі пристрої;
- напівавтоматичний, користувач задає правила та обмеження (наприклад: не поливати при вологості вище 60%).

4. Налаштування пристроїв дозволяє додавати, змінювати або видаляти сенсори, реле, приводи. Можна задавати порогові значення, при яких має спрацювати виконавчий модуль.

5. Аналітика та звіти містить розділ з графіками за добу, тиждень, місяць. Відображення змін клімату в саду, динаміка поливу, середня вологість та інші показники.

6. Система надсилає повідомлення у вигляді push-сповіщень або e-mail (наприклад: «Температура у зоні 2 впала нижче 10°C»).

7. Мобільний доступ можливий через застосунок або веб-інтерфейс з адаптивною версткою. Підтримка мобільного керування через Android/iOS.

На рисунку 4.4 наведений приклад інтерфейсного вікна мобільного застосунку роботизованої системи по догляду за зимовим садом.

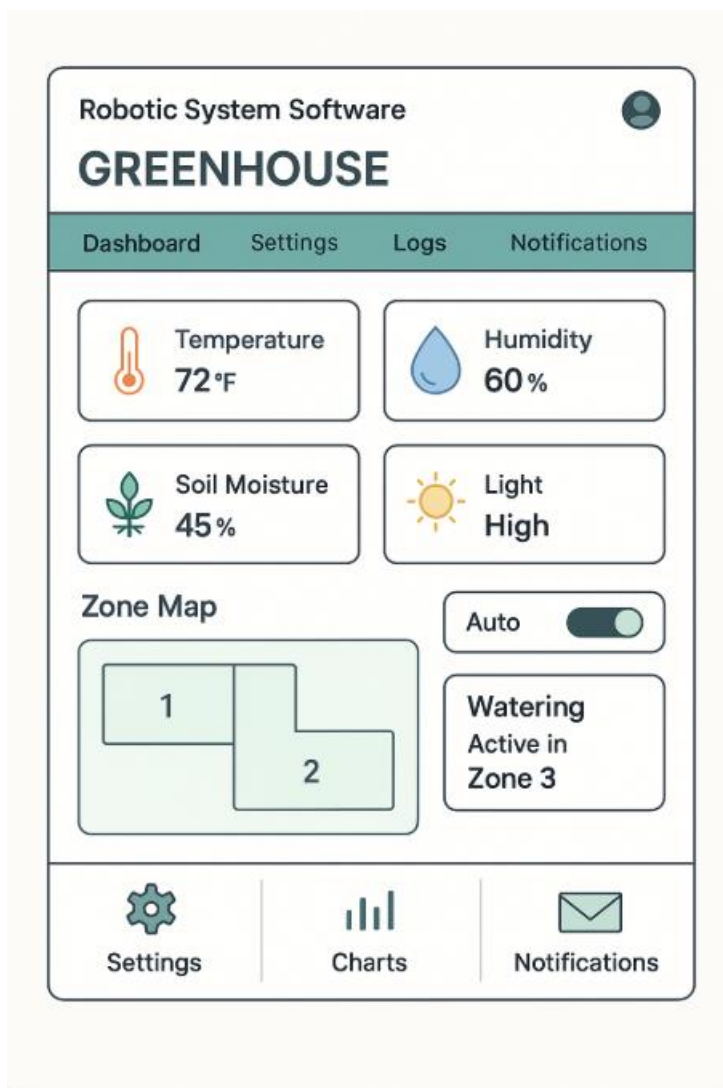


Рисунок 4.4 – Приклад інтерфейсу мобільного застосунку роботизованої системи по догляду за зимовим садом

Різниця між мобільним застосунком і десктопною версією (риснок 4.5) для управління роботизованою системою догляду за зимовим садом полягає як у технічних особливостях, так і в сценаріях використання.

Мобільний застосунок – це зручний інтерфейс, розроблений для смартфонів або планшетів. Основна його перевага це портативність і доступність у будь-який момент, навіть поза межами дому. За допомогою мобільного застосунку користувач може швидко переглядати показники датчиків, отримувати push-сповіщення (наприклад, «низька вологість ґрунту») та керувати пристроями в один клік, наприклад, увімкнути полив чи змінити яскравість освітлення. Часто

такі застосунки мають простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс із мінімалістичним дизайном. До найпопулярніших платформ для створення таких застосунків належать Blynk, MQTT Dashboard або Home Assistant Mobile.

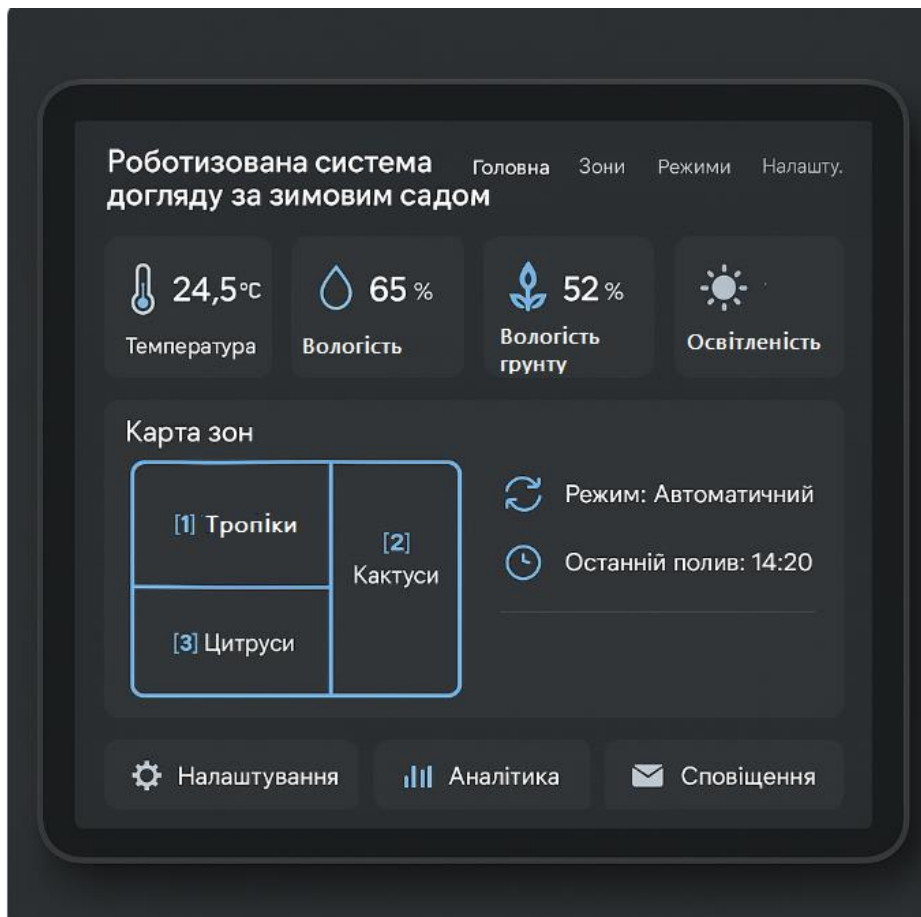


Рисунок 4.5 – Приклад інтерфейсу десктопного застосунку роботизованої системи по догляду за зимовим садом

Натомість десктопна версія – це вебінтерфейс або окрема програма, що запускається на комп'ютері або ноутбуці. Вона зручна для детального моніторингу та налаштування системи, оскільки дозволяє виводити більше інформації одночасно: графіки температури, журнал подій, історію поливу, статистику освітленості тощо. Користувач може мати повний доступ до всієї логіки автоматизації, редагування правил, таймерів, скриптів. Десктопна версія краще підходить для початкової конфігурації системи або технічного обслуговування.

У мобільному застосунку важливою є швидкодія, тоді як десктоп дозволяє глибшу аналітику і конфігурування. Також десктопна версія часто працює через локальну мережу або VPN, тоді як мобільна працює через хмарні сервіси чи GSM.

Таким чином, мобільний застосунок зручний для оперативного керування в реальному часі, а десктопна версія використовується для глибокого аналізу, діагностики і конфігурації системи. Обидва інтерфейси доповнюють один одного і можуть використовуватися паралельно залежно від потреб користувача.

4.4 Вибір компонентної бази для роботизованої системи по догляду за зимовим садом

Вибір компонентної бази для роботизованої системи по догляду за зимовим садом є критично важливим етапом проєктування, який визначає надійність, функціональність і розширюваність усієї системи. У центрі системи зазвичай використовується мікроконтролер ESP32 через наявність вбудованого Wi-Fi та Bluetooth, достатньої кількості входів/виходів і високої продуктивності. Для менш складних систем можна також застосовувати Arduino Uno або Mega, хоча вони мають обмежені ресурси.

Для моніторингу навколишнього середовища використовуються сенсори температури та вологості (наприклад, DHT22 або BME280), які забезпечують точні вимірювання та працюють у широкому діапазоні.

Датчики вологості ґрунту вибирають через їхню довговічність та стійкість до корозії, на відміну від резистивних аналогів.

Для визначення освітленості підійдуть цифрові датчики, такі як BH1750, які дозволяють автоматично регулювати освітлення в залежності від часу доби та погодних умов.

Керування освітленням реалізується через PWM-сигнал або реле, що дозволяє вмикати/вимикати або регулювати яскравість LED-фітоламп. У системах поливу використовуються електромагнітні клапани або міні-помпи, які вмикаються за допомогою твердотільних реле або транзисторів (MOSFET).

Надійність поливу важлива для підтримки сталого зволоження рослин без надмірного зрошення.

Клімат-контроль реалізується за допомогою вентиляторів, нагрівачів, а також за потреби CO₂-датчиків типу MH-Z19B, які дозволяють оптимізувати газовий склад повітря для росту рослин.

Живлення системи організовується через адаптери 5V і 12V, а для живлення мікроконтролера та чутливих модулів рекомендується використовувати стабілізатори напруги, наприклад AMS1117.

Важливо передбачити резервне живлення (UPS), особливо якщо система використовується в теплицях або віддалених приміщеннях, де перебої електропостачання можуть призвести до загибелі рослин. Для передачі даних на відстані або керування з мобільного пристрою використовуються Wi-Fi (через ESP32) або GSM-модулі (наприклад, SIM800L), які дозволяють надсилати повідомлення або синхронізувати дані з хмарними сервісами.

Користувацький інтерфейс реалізується через Blynk, MQTT Dashboard або вебсервер, що дозволяє контролювати систему в режимі реального часу. Окрім основного функціоналу, до системи можна додати OLED-дисплей (I2C, 0.96"), який відображає поточні параметри середовища.

Усі компоненти повинні мати сумісність по напрузі, бути енергоефективними, а їх вибір має враховувати умови експлуатації (вологість, температура, пил). Такий підхід дозволяє створити надійну, масштабовану й автоматизовану систему, яка значно спрощує догляд за зимовим садом.

Розглянемо вибір більш детально.

Основним тут є центральний контролер (ESP32 / Arduino). До його функцій належить збирання даних з сенсорів, керування виконавчими модулями (реле, MOSFET, димери) та забезпечення зв'язку із зовнішніми інтерфейсами. До його можливостей відносяться:

- зчитування аналогових/цифрових сигналів;
- PWM-управління яскравістю;
- підключення через Wi-Fi / GSM;

– автоматичне прийняття рішень за заданими алгоритмами (вологість менше 30% , то увімкнути полив).

Сенсори грають важливу роль у такій системі, оскільки через них відбувається збір та аналіз даних. Сюда відносяться датчики навколишнього середовища та датчики ґрунту.

Датчики навколишнього середовища дозволяють вимірювати кліматичні умови всередині оранжереї, наприклад, температура та вологість (DHT22, BME280) – вимірюють кліматичні умови всередині оранжереї. Освітленість (BH1750 або аналог) – контролює рівень світла для автоматичного вмикання фітоламп.

Датчики ґрунту можуть вимірювати вологість ґрунту (капацитивний) – визначає потребу в поливі та ЕС/рН датчики – оцінюють якість води/ґрунту.

Наступна компонентна складова – це система поливу. До її компонентів відносяться помпа або електроклапан (для подачі води) та крапельна система (для рівномірного розподілу вологи). Управління здійснюється через реле або транзистор, активується автоматично за вхідними даними від датчика вологості.

Для освітлення обираємо LED-фітолампи, які забезпечують необхідне спектральне освітлення для росту рослин. Датчики PWM-регулювання виконують плавну зміну яскравості та контроль добових ритмів.

Клімат-контроль має всьому складі наступні компоненти:

- вентилятори, які забезпечують циркуляцію повітря;
- обігрівачі, які підтримують мінімальну температуру;
- CO₂-датчики + вентиляція, що забезпечують контроль якості повітря.

Управління клімат-контролем залежить від температури, вологості та рівня CO₂.

Блок живлення містить джерела живлення: 5V / 3.3V для логіки та сенсорів та 12V для потужного навантаження (лампи, помпа, вентилятори).

В якості систем захисту використовують стабілізатори, запобіжники, джерела безперебійного живлення (UPS) за потреби.

Віддалений інтерфейс забезпечується через інтерфейс управління з Wi-Fi модулем (вбудований у ESP32) або GSM модулем (SIM800L).

Застосунки можуть бути як у вигляді мобільного додатку (Blynk, MQTT Dashboard) або як вебінтерфейс для керування та моніторингу з ПК або смартфона.

До функцій відноситься

- перевірка стану рослин;
- дистанційне вмикання/вимикання поливу, освітлення, вентиляції;
- повідомлення про аварії (висока температура, сухий ґрунт тощо).

Отже, система працює за замкненим циклом:

1. Сенсори надсилають дані до контролера.
2. Контролер аналізує показники та активує відповідні виконавчі елементи (полив, світло, вентиляція).
3. Користувач має змогу керувати та моніторити процеси через дистанційний інтерфейс.

Схема з'єднань для роботизованої системи по догляду за зимовим садом представлена на рисунку 4.6.

Схема демонструє, як контролер (ESP32 або Arduino) з'єднується з основними модулями:

- сенсори (температура, вологість, волога ґрунту, EC/pH, CO₂);
- система поливу (через реле);
- освітлення (через PWM);
- кліматичні пристрої (вентилятор, обігрівач);
- блок живлення (5V/12V);
- модуль зв'язку (Wi-Fi або GSM).

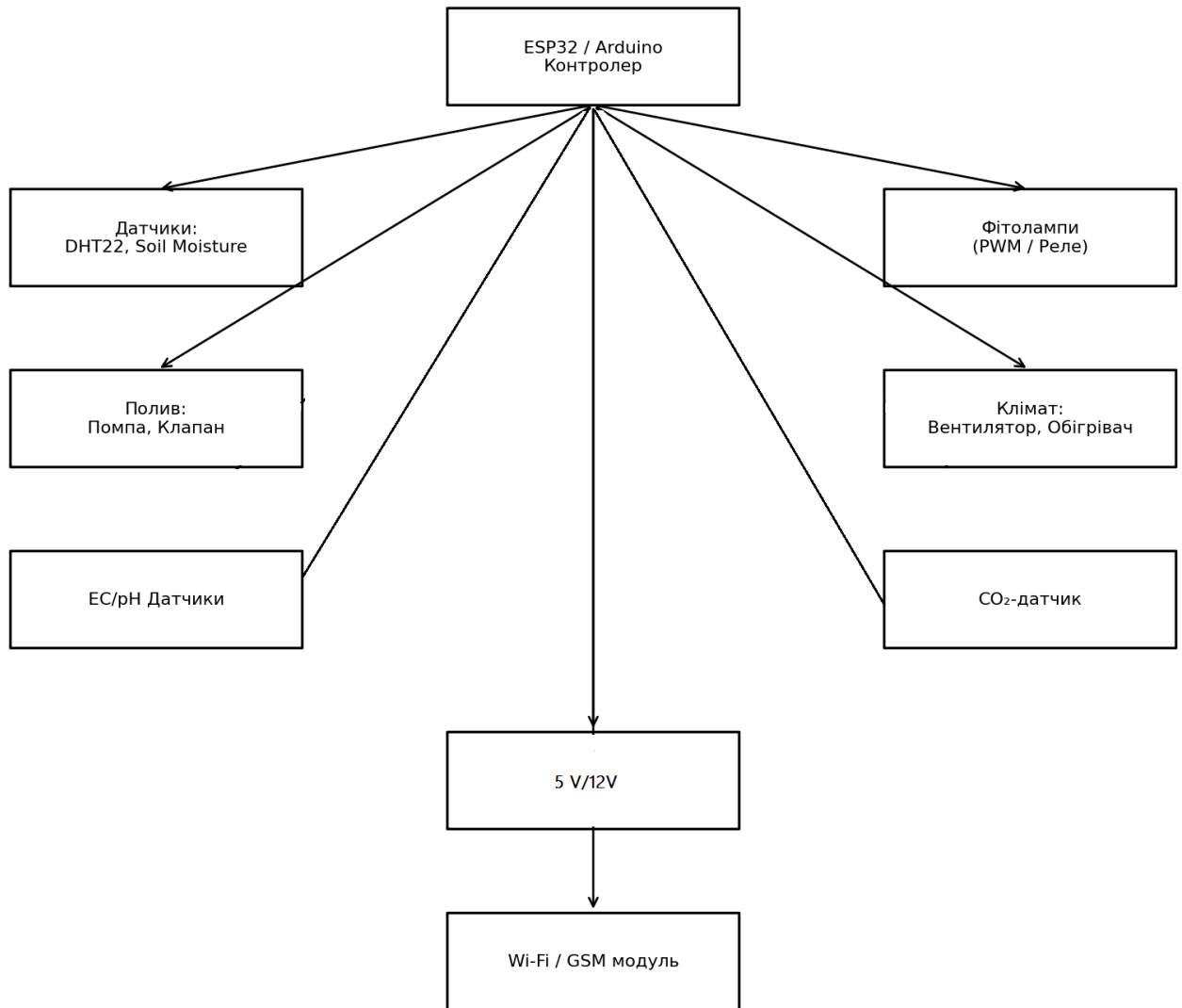


Рисунок 4.6 – Схема з'єднань для роботизованої системи по догляду за зимовим садом

Вибір компонентної бази є надзвичайно важливим етапом при розробці роботизованої системи догляду за зимовим садом, оскільки надійність системи безпосередньо залежить від якості та сумісності обраних компонентів (таблиця 4.3). Правильно підібрані модулі забезпечують стабільну роботу в умовах підвищеної вологості, перепадів температур і пилу.

Таблиця 4.3 – Вибір компонентної бази

Компонент	Призначення
ESP32 / Arduino Mega	Центральний контролер (обробка даних і керування)
Raspberry Pi (опційно)	Для більш складних задач (керування камерою, інтерфейсом, мережею)
Плата розширення (реле або MOSFET)	Для керування помпами, освітленням, вентиляторами
Електромагнітні клапани (12V)	Відкривають/закривають подачу води
Насос (якщо немає тиску)	Для подачі води в крапельну систему
Датчики вологості ґрунту (типу Capacitive YL-69 або більш точні цифрові)	Вимірювання рівня вологості
Крапельна система / мікроспреї	Точковий полив рослин
Дозатор добрив (дозуючий насос, перистальтичний насос)	Автоматичне змішування добрив з водою
Ємності для добрив	Резервуари з різними рідинами
pH/EC-датчики (опційно)	Для контролю кислотності та електропровідності води
ІЧ-обігрівачі / тепловентилятори	Автоматичний обігрів приміщення
CO ₂ -датчик (NDIR типу MH-Z19B)	Контроль вмісту вуглекислого газу
Температурний і вологісний датчик (DHT22 або SHT31)	Моніторинг мікроклімату

Кінець таблиці 4.3

Компонент	Призначення
Вентилятори / витяжки / серводвигуни	Для провітрювання або відкриття вентиляційних люків
Фітолампи (LED із червоним/синім спектром)	Штучне освітлення рослин
Світлореле або фотодатчик (люксметр)	Автоматичне вмикання при низькому освітленні
Димери або PWM-регулятори	Керування яскравістю ламп
Камера (USB або Raspberry Pi Camera Module)	Відеонагляд або розпізнавання стану рослин
OpenCV / TensorFlow Lite (на Raspberry Pi)	Аналіз зображень: в'янення, шкідники тощо
Wi-Fi або GSM-модуль (ESP32 або SIM800L)	Дистанційне керування через інтернет
Екран OLED / LCD (для локального моніторингу)	Відображення параметрів системи
Мобільний застосунок (наприклад, через Blynk, MQTT, Home Assistant)	Дистанційне керування і сповіщення
Блок живлення 12V / 5V	Живлення електромагнітних клапанів, pomp, мікроконтролерів
Акумулятор / UPS (опціонально)	Безперебійна робота при відключенні світла

Додатковим обладнанням є корпуси для електроніки (вологозахисчені), кріплення для сенсорів, проводи, клемники, конектори, труби / шланги для поливу.

Готові стартові набори також можна знайти на платформах типу Arduino Starter Kits, але для зимового саду краще купувати окремі компоненти під свій проєкт.

4.5 Висновки

Ефективна автоматизація процесу догляду за зимовим садом можлива завдяки чітко структурованій системі, що складається з взаємопов'язаних модулів: контролера, сенсорів, виконавчих пристроїв, блоку живлення та інтерфейсів користувача. Центральну роль у системі відіграє мікроконтролер (найчастіше ESP32), який забезпечує не лише обробку даних, а й гнучке керування всіма підсистемами.

Функціонально система працює за принципом зворотного зв'язку: сенсори постійно фіксують параметри середовища (температуру, вологість, освітлення, стан ґрунту), на основі яких контролер приймає рішення та активує виконавчі елементи, такі як полив, освітлення або вентиляцію. Такий підхід дозволяє мінімізувати людське втручання та забезпечити стабільний мікроклімат для рослин.

Ретельний підбір компонентної бази є критично важливим для надійності та довговічності системи. Вибір здійснюється з урахуванням точності, енергоефективності, стійкості до зовнішніх умов та сумісності між модулями. Враховувалися як технічні характеристики компонентів, так і можливість масштабування системи в майбутньому.

Усі обрані пристрої забезпечують стабільну роботу в умовах теплиці або домашнього зимового саду, а використання хмарних технологій або мобільних застосунків значно спрощує керування системою. Така архітектура дозволяє створити гнучке, адаптивне та надійне рішення для автоматизованого догляду за рослинами в закритому середовищі.

ВИСНОВКИ

Актуальність роботизованої системи по догляду за зимовим садом зумовлена сучасними тенденціями розвитку технологій, зростанням інтересу до автоматизації рутинних процесів, а також екологічними та економічними викликами. Зимовий сад вимагає постійного догляду, включаючи полив, контроль за температурою, вологістю, підрізку рослин, підсвічування, добриво тощо. В умовах сучасного ритму життя у людей часто не вистачає часу для виконання таких завдань, особливо якщо кількість рослин значна. Роботизовані системи дозволяють автоматизувати ці процеси, значно полегшуючи догляд за садом і підвищуючи ефективність управління ним. Роботизована система може підтримувати ідеальні умови для рослин без людського втручання. Стабільний контроль за температурою, вологістю, рівнем освітлення та іншими важливими параметрами сприяє кращому здоров'ю рослин, підвищенню їх врожайності та декоративної привабливості. Сучасні роботизовані системи використовують датчики та алгоритми штучного інтелекту для оптимального використання води, енергії та добрив. Це не лише знижує витрати на утримання зимового саду, але й мінімізує вплив на навколишнє середовище. Зменшення надмірного використання ресурсів є особливо актуальним в умовах глобальних екологічних викликів.

З огляду на сучасні глобальні виклики, такі як зміна клімату та зростання урбанізації, автоматизація садівництва сприяє сталому розвитку. Роботизовані системи допомагають створювати екологічно збалансовані простори в містах, де обмежено природні ресурси і простір. Роботизовані системи для догляду за зимовими садами актуальні в контексті сучасних викликів, пов'язаних із браком часу, необхідністю ефективного використання ресурсів, інтеграцією автоматизації в повсякденне життя та екологічними тенденціями. Вони значно полегшують догляд за рослинами, забезпечуючи їм оптимальні умови для зростання, і стають важливим інструментом для створення та підтримки сталого і комфортного середовища. Тому задача розроблення роботизованої системи по догляду за зимовим садом є наразі актуальною.

У результаті проведеного дослідження розглянуто сучасний стан предметної галузі. Також розглянуті методи та засоби, які використовуються при проектуванні систем догляду за рослинами та опрацюванні даних, отриманих за допомогою різних датчиків. Реалізація роботизованої системи догляду за зимовим садом дозволить автоматизувати процес догляду за рослинами, враховуючи різноманітні фактори.

У другому розділі, розглянуто основні типи датчиків для автоматизованої системи по догляду за зимовим садом. Було детально проаналізовано функціональні можливості сенсорів, що забезпечують комплексний моніторинг мікроклімату.

Розглянуті датчики вологості ґрунту, температури, освітленості, вмісту CO₂, а також сенсори дощу та вентиляції демонструють високу ефективність у підтриманні стабільного середовища для росту рослин. Використання цифрових сенсорів з інтерфейсами I2C або UART дозволяє легко інтегрувати їх у сучасні платформи керування, забезпечуючи оперативний збір та обробку даних.

Професійні сенсори типу BH1750, TSL2561, MH-Z19, Senseair S88 та Aropree SQ-520 значно розширюють функціональність системи, дозволяючи з високою точністю вимірювати параметри, критичні для фотосинтезу та водного балансу рослин. Окрему увагу слід звернути на здатність цих сенсорів працювати в умовах обмеженого простору, змінного освітлення та вологості, що є типовими для зимових садів.

Інтеграція сенсорів у єдину роботизовану систему дає змогу автоматизувати процеси керування поливом, освітленням, вентиляцією та подачею добрив, що не лише полегшує догляд, але й підвищує ефективність росту рослин. Такий підхід сприяє ресурсозбереженню, зниженню втручання з боку людини та забезпеченню сталої якості середовища. У результаті, вибір і правильне комбінування датчиків є критичним чинником у створенні надійної, розумної системи управління мікрокліматом зимового саду. Отже, розглянуті технології можуть бути рекомендовані як для побутових, так і для напівпрофесійних систем автоматизації.

У третьому розділі було створено структурну та функціональну модель роботизованої системи по догляду за зимовим садом, яка дозволяє візуалізувати роботу всіх її основних підсистем. На основі блок-схем і принципів з'єднань вдалося логічно поєднати сенсорну частину, керуючий контролер та виконавчі механізми, що забезпечують полив, освітлення й клімат-контроль. Моделювання допомогло краще зрозуміти взаємозв'язки між окремими модулями та визначити критичні точки системи, які потребують додаткової уваги під час проектування та монтажу.

У результаті побудови динамічної математичної моделі вдалося встановити залежності між змінними середовища та їх еволюцію в часі під впливом керувальних дій. Це дозволило формалізувати цикл «вимірювання – оцінка – дія», що лежить в основі автоматизованої роботи системи. Додатково було запропоновано модель у вигляді скінченного автомата, що спрощує логіку переходів між станами системи, залежно від змін параметрів навколишнього середовища.

Важливою частиною моделювання стало використання правил типу «якщо–то», які дозволяють системі приймати рішення у реальному часі, базуючись на даних із сенсорів. Поєднання логічних правил з математичною моделлю дає змогу побудувати гібридну систему, яка є не лише реактивною, а й прогновною, здатною адаптуватись до змін навколишнього середовища.

Результати моделювання показали, що система може ефективно реагувати на зміну кліматичних параметрів у режимі реального часу, а також працювати автономно завдяки попередньо заданим алгоритмам. Візуалізація процесів дала змогу проаналізувати логіку роботи контролера та виявити можливі помилки ще до етапу фізичної реалізації. Модель також підтвердила, що обрана архітектура є гнучкою і допускає масштабування або модернізацію без необхідності повної перебудови системи.

У четвертому розділі було запропоновано структуру системи, що складається з взаємопов'язаних модулів: контролера, сенсорів, виконавчих пристроїв, блоку живлення та інтерфейсів користувача. Центральну роль у

системі відіграє мікроконтролер (найчастіше ESP32), який забезпечує не лише обробку даних, а й гнучке керування всіма підсистемами.

Функціонально система працює за принципом зворотного зв'язку: сенсори постійно фіксують параметри середовища (температуру, вологість, освітлення, стан ґрунту), на основі яких контролер приймає рішення та активує виконавчі елементи, такі як полив, освітлення або вентиляцію. Такий підхід дозволяє мінімізувати людське втручання та забезпечити стабільний мікроклімат для рослин.

Був здійснений підбір компонентної бази з урахуванням точності, енергоефективності, стійкості до зовнішніх умов та сумісності між модулями. Враховувалися як технічні характеристики компонентів, так і можливість масштабування системи в майбутньому.

Усі обрані пристрої забезпечують стабільну роботу в умовах теплиці або домашнього зимового саду, а використання хмарних технологій або мобільних застосунків значно спрощує керування системою. Така архітектура дозволяє створити гнучке, адаптивне та надійне рішення для автоматизованого догляду за рослинами в закритому середовищі.

За темою кваліфікаційної роботи магістра опубліковані тези доповідей.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Sportelli M. et al. Autonomous Mower Management Systems Efficiency Improvement: Analysis of Greenspace Features and Planning Suggestions. *Agriculture*. 2019. Vol. 9. № 6. p. 115.
2. Filippov R., D. Khort, Multifunctional Robotic Device with Intelligent Positioning System. *E3S Web Conf.* 2024. Vol. 493. P. 01003.
3. Pitowarno E., Darmawan A., Ali Fikri El Munba B, Pramuditya Affandy. Multi-Agro: Design and Development of a Cartesian-based Self Plantation Robot for Home-Scale Gardens with Mobile App. *BIO Web Conf.* 2023. Vol. 80, p. 06006.
4. Urban Development. URL: <https://www.rwe.com/en/https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview#:~:text=Today%2C%20more%20than%20half%20of,of%20economic%20growth%20and%20development>
(дата звернення: 13.01.2025).
5. Sustainable cities platform. URL: <https://sustainablecities.eu/local-green-deals/about-lgds/> (дата звернення: 13.01.2025).
6. Anguluri R., Narayanan P. Role of green space in urban planning: Outlook towards smart cities. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2017. Vol. 25. Pp.58-65.
7. Rasoulpour H., Charehjo F. The Effect of the Built Environment on the Human Psyche Promote Relaxation. *Architecture Research*. 2017. Vol. 7(1). Pp.16-23.
8. Batty M., Axhausen K. W., Giannotti F., Pozdnoukhov A., Bazzani A., Wachowicz M., Portugali Y. Smart cities of the future. *The European Physical Journal Special Topics*. 2012. Vol. 214. Pp. 481-518.
9. Harada N., Kitazaki M., Tasaki R. (2024, March). Robotic VR Massage System: Physical Care Robot with Out-of-Body Experience in Virtual Karesansui. In *2024 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*. 2024. pp. 1039-1040.
10. Rajalakshmi P., Dhivya K., Anitha D., Sandhya P., Gnanavel N., Muthulekshmi M. (2024, October). Smart Home Gardening with Robotic Assistance using Cloud-Connected Plant Care and Neural Networks Growth Analysis. In *2024*

First International Conference on Innovations in Communications, Electrical and Computer Engineering (ICICEC). 2024. pp. 1-6.

11. Gravalos I., Avgousti A., Gialamas T., Alfieris N., Paschalidis, G. A robotic irrigation system for urban gardening and agriculture. *Journal of Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 50(4). Pp.198-207.

12. Gubbi J., Buyya R., Marusic S., Palaniswami, M. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*. 2013. Vol. 29(7), 1645-1660.

13. Tangtisanon P. Small Gardening Robot with Decision-making Watering System. *Sensors & Materials*. 2019. T. 31.

14. Cheng C., Fu J., Su H., Ren L. Recent advancements in agriculture robots: Benefits and challenges. *Machines*. 2023. Vol. 11(1). Pp. 48.

15. Polash M. A. S., Sakil M. A., Sazia S., Rahman, M. A., Hossain, M. A. Production time and nutritional assessment of garden cress (*Lepidium sativum* L.) leaves for ethno-botanical uses in Bangladesh. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*. 2020. Vol. 12(4). P. 20-22.

16. Pienaar J. P., Fisher R. M., Hancke, G. P. (2015, July). Smartphone: The key to your connected smart home. In *2015 IEEE 13th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*. 2015. pp. 999-1004.

17. Sportelli M., Martelloni L., Orlandi A., Pirchio M., Fontanelli M., Frasconi C., Vernieri, P. Autonomous mower management systems efficiency improvement: Analysis of greenspace features and planning suggestions. *Agriculture*. 2019. Vol. 9(6). P.115.

18. Rajalakshmi T. S., Panikulam P., Sharad P. K., Nair R. R. (2021, July). Development of a small scale cartesian coordinate farming robot with deep learning based weed detection. In *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1969. No. 1. p. 012007.

19. Al-Beeshi B., Al-Mesbah B., Al-Dosari S., El-Abd, M. (2015, May). iplant: The greenhouse robot. In *2015 IEEE 28th Canadian conference on electrical and computer engineering (CCECE)*. 2015. pp. 1489-1494.

20. Wang B., Ding Y., Wang C., Li D., Wang H., Bie Z., Xu S. G-ROBOT: An Intelligent Greenhouse Seedling Height Inspection Robot. *Journal of robotics*. 2022(1). P. 9355234.
21. Thomopoulos V., Bitas D., Papastavros K. N., Tsiplanitis D., Kavga A. Development of an integrated IoT-based greenhouse control three-device robotic system. *Agronomy*. 2021. Vol.11(2). Pp. 405.
22. Sánchez-Molina J. A., Rodríguez F., Moreno J. C., Sánchez-Hermosilla J., Giménez A. Robotics in greenhouses. Scoping review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024. Vol. 219. P.108750.
23. Jha K., Doshi A., Patel P., Shah M. A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *Artificial Intelligence in Agriculture*. 2019. Vol. 2. Pp.1-12.
24. Tangarife H. I., Díaz A. E. Robotic applications in the automation of agricultural production under greenhouse: A review. In *2017 IEEE 3rd Colombian Conference on Automatic Control (CCAC)*. 2017. pp. 1-6.
25. Shiri N., Shiri J., Yaseen Z. M., Kim S., Chung I. M., Nourani V., Development of artificial intelligence models for well groundwater quality simulation: Different modeling scenarios. *Plos one*. 2021. Vol. 16(5). e0251510.
26. Maiti S., Tiwari R. K. A comparative study of artificial neural networks, Bayesian neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system in groundwater level prediction. *Environmental earth sciences*. 2014. Vol. 71. Pp.3147-3160.
27. Lakshmi G. P., Asha P. N., Sandhya G., Sharma S. V., Shilpashree S., Subramanya, S. G. An intelligent IOT sensor coupled precision irrigation model for agriculture. *Measurement: Sensors*. 2023. Vol. 25. P. 100608.
28. Al Rasyid M. U. H., Ahsan A. S., Najaa M. F. (2020, October). Fuzzy Logic for Automatic Watering System of Smart Agriculture with IoT. In *2020 International Conference on Applied Science and Technology (iCAST)*. 2020. pp. 1-7.
29. Kulkarni M., Thopate K., Deshpande A., Dadmal J. A., Chule B., Bhamare P. T. (2023, December). Automatic Plant Watering System for Smart Water

Management. In *International Conference on Advancements in Smart Computing and Information Security*. 2023. pp. 3-15. Cham: Springer Nature Switzerland.

30. Goap A., Sharma D., Shukla A. K., Krishna C. R. An IoT based smart irrigation management system using Machine learning and open source technologies. *Computers and electronics in agriculture*. 2018. Vol. 155. Pp.41-49.

31. Ruhnke I., Boshoff J., Cristiani I. V., Schneider D., Welch M., Sibanda T. Z., Kolakshyapati M. Free-range laying hens: using technology to show the dynamics and impact of hen movement. *Animal Production Science*. 2019. Vol. 59(11). pp. 2046-2056.

32. Aravind K. R., Raja P., Pérez-Ruiz M. Task-based agricultural mobile robots in arable farming: A review. *Spanish journal of agricultural research*. 2017. Vol.15(1), e02R01-e02R01.

33. Zhang X., Andreyev A., Zumpf C., Negri M. C., Guha S., Ghosh M. (2017, May). Thoreau: A subterranean wireless sensing network for agriculture and the environment. In *2017 IEEE conference on computer communications workshops (INFOCOM WKSHPs)*. 2017. pp. 78-84.

34. Aladin D. V., Aladina E. V., Chuvikov D. A., Varlamov O. O., Adamova L. E. Creating a «Logical intelligent plant care system» in digital agriculture based on Mivar approach. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 954. No. 1. p. 012004. IOP Publishing.

35. Guerrero-Ulloa G., Méndez-García A., Torres-Lindao V., Zamora-Mecías V., Rodríguez-Domínguez C., Hornos M. J. Internet of Things (IoT)-based indoor plant care system. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*. 2023. Vol. 15(1). pp.47-62.

36. Maramara S. A., Pisos J. G., Ras F. J. F., Centeno C. J., Sison A. A. R. C., Abando D. S. (2024, December). PLANTery: an IoT-based automated plant watering system and pest detection using Convolutional Neural Network (CNN). In *IET Conference Proceedings CP908*. 2024. Vol. 2024. No. 30. Pp. 359-365.

37. Su W. H., Fennimore S. A., Slaughter D. C. Development of a systemic crop signalling system for automated real-time plant care in vegetable crops. *Biosystems engineering*. 2020. Vol.193. Pp. 62-74.
38. Gota D. I., Misaros, M., Stan, O. P., Miclea L. (2024, December). Optimizing Indoor Plant Care: Monitoring Systems and Reliability Assessment. In *2024 International Conference on Electrical and Computer Engineering Researches (ICECER)*. 2024. pp. 1-6.
39. Wu T. H., Chang C. H., Lin Y. W., Van L. D., Lin Y. B. (2016, December). Intelligent plant care hydroponic box using IoTtalk. In *2016 IEEE international conference on internet of things (iThings) and IEEE green computing and communications (GreenCom) and IEEE cyber, physical and social computing (CPSCom) and IEEE smart data (SmartData)*. 2016. pp. 398-401.
40. Simon J. Internet of Things and Fuzzy Logic based Smart Balcony Plant Care System from a Renewable Resources. *Interdisciplinary Description of Complex Systems: INDECS*. 2024. Vol. 22(3). pp.317-328.
41. Що таке Інтернет речей. URL: <https://hub.kyivstar.ua/articles/shho-take-iiot-platforma-i-yake-ii-priznachennya> (дата звернення: 16.02.2025).
42. Інтернет речей IoT. Перспектива в Україні. URL: <https://shop-gsm.ua/blog/internet-veschej-iiot-perspektiva-v-ukraine/> (дата звернення: 16.02.2025).
43. Jahan M. S., Niittyviita S., Moberg S., Ahmad M., Hossain N. Iot Solution For Winter Survival Of Indoor Plants. 2021. *arXiv preprint arXiv:2106.05130*.
44. Carrión G., Huerta M., Barzallo B. (2018, August). Internet of things (IoT) applied to an urban garden. In *2018 IEEE 6th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)*. 2018. Pp. 155-161.
45. Kim H. H., Kwak M. J., Kim K. J., Gwak Y. K., Lee J. H., Yang H. H. Evaluation of IaQ management using an iot-based indoor garden. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol.17(6). P.1867.
46. Ray Partha Pratim. Internet of things for smart agriculture: Technologies, practices and future direction. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*. 2017. Pp. 395-420.

47. Vella K., Esteban M., Ploderer B., Brereton M. (2022, June). Networked gardens: Remediating local nature data through the Internet of Things. In *Proceedings of the 2022 ACM Designing Interactive Systems Conference*. 2022. pp. 1597-1611.

48. NODEMCU ESP8266 – what is it? Advantages and disadvantages and how to get started programming? URL: <https://sklep.msalamon.pl/tag-produktu/new-product/> (дата звернення: 20.02.2025).

49. Ayaz Muhammad et al. Internet-of-Things (IoT)-based smart agriculture: Toward making the fields talk. *IEEE access*. 2019. Vol.7. Pp.129551-129583.

50. Гардена. URL: <https://www.gardena.com/ua> (дата звернення: 20.02.2025).

51. Aqualin Official Store. URL: <https://www.aqualinstore.com/products/mini-rain-sensor-automatically-interrupt-watering-system-for-garden-water-timer-home-irrigation-21103> (дата звернення: 20.02.2025).

52. Chirp! - the plant watering alarm. URL: <https://wemakethings.net/chirp/> (дата звернення: 20.02.2025).

53. RSD Series Rain Shut Off. URL: <https://www.rainbird.com/products/rsd-series-rain-shut> (дата звернення: 20.02.2025).

54. Контролер Hunter PCC-1201i-E. URL: <https://hunter.org.ua/kontrollery/hunter-pcc-1201i-e.html> (дата звернення: 20.02.2025).

55. Aqualin Official Store. URL: <https://www.aqualinstore.com/products/automatic-lcd-display-watering-timer-electronic-ball-valve-irrigation-controller-21026> (дата звернення: 20.02.2025).

56. Microchipcompany. URL: https://microchipcompany.pl/produkt/czujnik-natezenia-swiatla-gy-30-bh1750-arduino-raspberry-esp-fv/?srsltid=AfmBOoqRfO-X4OMBdsRIHiMXLguqAQ9Q61AFJ_194gPvjcmnlTCPVKjx (дата звернення: 20.02.2025).

57. Kamami. URL: <https://kamami.pl/czujniki-swiatla-i-koloru/587464-modul-z-czujnikiem-natezenia-swiatla-max44009-5906623475421.html> (дата звернення: 20.02.2025).

58. LED. URL: <https://ua.led-diode.com/sensor-module/gy-49-max44009-light-intensity-sensor-module.html> (дата звернення: 20.02.2025).
59. Botland store. URL: <https://botland.store/sensors-of-light-and-color/16560-light-sensor-ldr-resistive-for-arduino-okystar-5904422378202.html> (дата звернення: 20.02.2025).
60. Botland store. URL: <https://botland.store/stick-series/20881-m5stickc-hat-dlight-ambient-light-sensor-bh1750fvi-tr-6972934173386.html> (дата звернення: 20.02.2025).
61. Arduino. URL: https://arduino.ua/prod1532-datchik-co2-mh-z19?srsId=AfmBOoqaQ8xMpbA9dC8fSXAyP_CHXY_hUUBR_g7oCFkllfbfCIYFKII (дата звернення: 20.02.2025).
62. Senseair. URL: <https://senseair.com/product/s8/> (дата звернення: 20.02.2025).
63. Goodall G., Taraldsen K., Granbo R., Serrano, J. A. Towards personalized dementia care through meaningful activities supported by technology: A multisite qualitative study with care professionals. *BMC geriatrics*, 2021. Vol.21(1). Pp.468.
64. Mohammed A. S., Barkovska O., Suganthi S. T., Rosinskiy D., Oleg B. (2020, January). Automated Gardening System with Frost Prediction for Small Land Parcels. In *2020 International Conference on Computation, Automation and Knowledge Management (ICCAKM)*. 2020. Pp. 416-420.
65. Shrivastava A., Nayak C. K., Dilip R., Samal S. R., Rout S., Ashfaque S. M. Automatic robotic system design and development for vertical hydroponic farming using IoT and big data analysis. *Materials Today: Proceedings*. 2023. Vol. 80. Pp.3546-3553.
66. Zhang C., Di L., Lin, L., Li H., Guo L., Yang, Z., Yang, A. Towards automation of in-season crop type mapping using spatiotemporal crop information and remote sensing data. *Agricultural Systems*. 2022. Vol. 201. P.103462.
67. Morota G., Ventura R. V., Silva F., Koyama M., Fernando, S. C. Big data analytics and precision animal agriculture symposium: Machine learning and data

mining advance predictive big data analysis in precision animal agriculture. *Journal of animal science*. 2018. Vol. 96(4). Pp.1540-1550.

68. Behrisch M., Streeb D., Stoffel F., Seebacher D., Matejek B., Webe, S. H., Keim D. Commercial visual analytics systems—advances in the big data analytics field. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*. 2018. Vol. 25(10). Pp. 3011-3031.

69. Nguyen A., Gardner L., Sheridan D. Data analytics in higher education: An integrated view. *Journal of Information Systems Education*. 2020. Vol.31(1). Pp.61-71.

70. Danita M., Mathew B., Shereen N., Sharon N., Paul J. J. (2018, June). IoT based automated greenhouse monitoring system. In *2018 Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*. 2018. pp. 1933-1937.

71. Shamshiri R., Kalantari F., Ting K. C., Thorp K. R., Hameed I. A., Weltzien C., Shad Z. M. Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2018. Vol.11(1). Pp.1-22.

72. Omia E., Bae H., Park E., Kim M. S., Baek I., Kabenge I., Cho B. K. Remote sensing in field crop monitoring: A comprehensive review of sensor systems, data analyses and recent advances. *Remote Sensing*. 2023. Vol. 15(2), 354.

73. Seyedan M., Mafakheri F. Predictive big data analytics for supply chain demand forecasting: methods, applications, and research opportunities. *Journal of Big Data*, 2020. Vol. 7(1), P. 53.

74. Chiesa G., Di Vita, D., Ghadirzadeh A., Herrera A. H. M., Rodriguez J. C. L. A fuzzy-logic IoT lighting and shading control system for smart buildings. *Automation in construction*. 2020. Vol. 120. P.103397.

75. Thomas S., Behmann J., Steier A., Kraska T., Muller O., Rascher U., Mahlein A. K. Quantitative assessment of disease severity and rating of barley cultivars based on hyperspectral imaging in a non-invasive, automated phenotyping platform. *Plant methods*. 2018. Vol. 14. Pp.1-12.

76. Soheli S. J., Jahan N., Hossain M. B., Adhikary A., Khan A. R., Wahiduzzaman M. Smart greenhouse monitoring system using internet of things and artificial intelligence. *Wireless Personal Communications*. 2022. Vol. 124(4). Pp. 3603-3634.
77. Soussi A., Zero E., Sacile, R., Trincherо D., Fossa M. Smart sensors and smart data for precision agriculture: a review. *Sensors*. 2024. Vol.24(8). P. 2647.
78. Namazi E., Li J., Lu C. Intelligent intersection management systems considering autonomous vehicles: A systematic literature review. *Ieee Access*. 2019. Vol.7. Pp.91946-91965.
79. Kumar M., Kumar A., Palaparthу V. S. Soil sensors-based prediction system for plant diseases using exploratory data analysis and machine learning. *IEEE Sensors Journal*. 2020. Vol. 21(16). Pp.17455-17468.
80. Magidi J., Nhamo L., Mpandeli, S., Mabhaudhi T. Application of the random forest classifier to map irrigated areas using google earth engine. *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13(5). P.876.
81. Шавров І.С. Архітектура роботизованої системи по догляду за зимовим садом. Збірник наукових праць за матеріалами Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Інтелектуальні комп'ютерні системи та мережі» (Тернопіль – 2024. – С. 77-78).

ДОДАТОК А
(обов'язковий)

НАУКОВА ПРАЦЯ ЗДОБУВАЧА

Шавров І.С. Архітектура роботизованої системи по догляду за зимовим садом. Збірник наукових праць за матеріалами Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Інтелектуальні комп'ютерні системи та мережі» (Тернопіль – 2024. – С. 77-78).

ЗАХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ



**ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА
КОНФЕРЕНЦІЯ СТУДЕНТІВ, АСПІРАНТІВ ТА
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ
«ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ ТА
МЕРЕЖІ»**

5 ЛИСТОПАДА 2024



KI.WUNU.EDU.UA/CONFERENCE/

ТЕРНОПІЛЬ

2024

Активі
Перейди
Wind

Горидний алгоритм для формування ефективних рекомендацій навчальних курсів.....	57
<i>Лучишин Б.А.</i> Розробка бота Discord для аналізу фондового ринку з використанням методів машинного навчання.....	59
<i>Мамчур Т. Б.</i> Вдосконалення вибору елементної бази для реалізації інтелектуальних компонентів мобільних робототехнічних систем.....	61
<i>Мірута М. Ю., Богатирчук В.О.</i> Аналіз сучасних систем охорони «розумного» будинку.....	63
<i>Наконечний Т. М.</i> Моделі і засоби системи автоматизованого підбору альтернативних джерел живлення.....	65
<i>Опалінський І.Ю.</i> Ідентифікація вільних та зайнятих паркомісць за допомогою глибоких нейронних мереж.....	67
<i>Остапчук Є.В.</i> Концепція кіберфізичної системи управління складом на основі машинного зору.....	69
<i>Островський А.П.</i> Автоматизація збору та обробки даних смарт-контрактів для відстеження винагород у децентралізованих системах.....	71
<i>Патра В.М., Шпак В.О.</i> Алгоритм обробки та аналізу біомедичного зображення.....	73
<i>Рибанчук Д.М.</i> Концепція кіберфізичної системи енергетичного моніторингу житлових будівель на основі комп'ютерного зору.....	75
<i>Шавров І.С.</i> Архітектура роботизованої системи по догляду за зимовим садом.....	77
<i>Шпак В.О., Патра В.М.</i> Аналіз алгоритмів сегментації цифрових зображень.....	79
<i>Сворінь К.Г.</i> Концепція мобільно-орієнтованої інформаційної системи моніторингу чистоти довкілля.....	81
<i>Ткалич Д.С.</i> Архітектура мобільно-орієнтованої інформаційної системи вибору місця для відпочинку.....	84
<i>Тропак О.Ю., Жеребний О.В.</i> Аналітичний огляд технологій розпізнавання рукописних текстів.....	87
<i>Яворівський В.А., Партика П.М.</i> Функції активації та архітектури нейронних мереж для розпізнавання обличчя і аналізу емоцій.....	89
<i>Жеребний О.В., Тропак О.Ю.</i> Алгоритми контурного аналізу для опису та кодування об'єктів цифрових зображень.....	91
<i>Рябий В.В.</i> Використання нейромережевих моделей для створення персоналізованих гороскопів у вебзастосунках.....	93

Шавров І.С.
 магістрант 2 курсу ФІТ ХНУ
 Науковий керівник к.т.н., доцент Березька К.М., кафедра КПС ХНУ

АРХІТЕКТУРА РОБОТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПО ДОГЛЯДУ ЗА ЗИМОВИМ САДОМ

Вступ. Актуальність роботизованої системи для догляду за зимовим садом зумовлена сучасними тенденціями розвитку технологій, зростанням інтересу до автоматизації рутинних процесів, а також екологічними та економічними викликами. Зимовий сад вимагає постійного догляду, включаючи полив, контроль за температурою, вологістю, підрізку рослин, підсвічування, добриво тощо. В умовах сучасного ритму життя у людей часто не вистачає часу для виконання таких завдань, особливо якщо кількість рослин значна. Роботизовані системи дозволяють автоматизувати ці процеси, значно полегшуючи догляд за садом і підвищуючи ефективність управління ним. Роботизована система може підтримувати ідеальні умови для рослин без людського втручання. Стабільний контроль за температурою, вологістю, рівнем освітлення та іншими важливими параметрами сприяє кращому здоров'ю рослин, підвищенню їх врожайності та декоративної привабливості. Сучасні роботизовані системи використовують датчики та алгоритми штучного інтелекту для оптимального використання води, енергії та добрив. Це не лише знижує витрати на утримання зимового саду, але й мінімізує вплив на навколишнє середовище. Зменшення надмірного використання ресурсів є особливо актуальним в умовах глобальних екологічних викликів [1-3]. З огляду на сучасні глобальні виклики, такі як зміна клімату та зростання урбанізації, автоматизація садівництва сприяє сталому розвитку. Роботизовані системи допомагають створювати екологічно збалансовані простори в містах, де обмежено природні ресурси і простір. Роботизовані системи для догляду за зимовими садами актуальні в контексті сучасних викликів, пов'язаних із браком часу, необхідністю ефективного використання ресурсів, інтеграцією автоматизації в повсякденне життя та екологічними тенденціями. Вони значно полегшують догляд за рослинами, забезпечуючи їм оптимальні умови для зростання, і стають важливим інструментом для створення та підтримки сталого і комфортного середовища. Тому задача розроблення роботизованої системи по догляду за зимовим садом є наразі актуальною.

Постановка задачі. Об'єкт дослідження – процес автоматизованого догляду за зимовим садом. Предмет дослідження – роботизована система по догляду за зимовим садом. Головна мета даного дослідження полягає в автоматизації догляду за зимовим садом за допомогою роботизованої системи.

Основний матеріал. Роботизована система по догляду за зимовим садом – це інтелектуальна автоматизована система, яка поєднує сучасні технології робототехніки, штучного інтелекту і датчиків для автоматичного догляду за рослинами в закритому середовищі зимового саду. Вона забезпечує ефективне управління поливом, освітленням, температурою, вологістю та іншими важливими факторами, необхідними для оптимального зростання рослин.

Архітектура роботизованої системи для догляду за зимовим садом:

1) сенсорний модуль – цей модуль забезпечує збирання даних про стан середовища в зимовому саду:

- сенсори вологості ґрунту вимірюють рівень вологості в ґрунті і передають дані системі для управління поливом;
- температурні датчики вимірюють температуру повітря та ґрунту, щоб забезпечити оптимальні умови для рослин;
- сенсори освітленості вимірюють інтенсивність природного та штучного освітлення для коригування режимів підсвічування;
- датчики вуглецю (CO₂) контролюють рівень CO₂, необхідний для фотосинтезу, особливо важливий в умовах закритого простору;

2) роботизовані пристрої:

- поливальний робот – мобільний робот, оснащений системою поливу, здатний автоматично поливати рослини в залежності від показників сенсорів вологості ґрунту; він може переміщатися по саду або використовувати фіксовану систему подачі води для конкретних рослин;

- робот для підрізання та догляду – робот з інструментами для обрізки листя, стебел та квітів; він може виконувати точну роботу з догляду за рослинами, зокрема, видаляти сухе листя або підтримувати форму дерев та кущів;

- робот для підсвічування – робот, який вмикає та вимикає автоматизовані лампи або мобільні світлодіодні системи, які підлаштовуються під потреби рослин, забезпечуючи їх додатковим світлом у похмурі дні або ночі;

3) система управління кліматом – ця система контролює основні параметри клімату:

- управління опаленням та охолодженням – автоматичне регулювання температури повітря за допомогою вентиляторів, обігрівачів або кондиціонерів;

- вентиляційна система – механізм для контролю рівня свіжого повітря в закритому просторі зимового саду, що допомагає підтримувати оптимальний рівень вологості та температури;

- зволожувачі та осушувачі повітря – механізм для контролю вологості в середовищі, де різні рослини можуть потребувати різних умов;

4. інтелектуальний модуль використовується для аналізу даних з сенсорів та прогнозування потреб рослин; він може навчатися на основі історичних даних про рослини і середовище, щоб забезпечувати оптимальний догляд; допомагає системі адаптуватися до змін у довкіллі та коригувати дії роботів на основі аналізу зібраних даних; система може планувати завдання, такі як полив, обрізка та підсвічування, на основі погодних прогнозів або сезонних змін;

5) інтерфейс користувача:

- мобільні застосунки – користувач може контролювати та налаштовувати систему через смартфон або планшет; застосунок відображає реальні дані про стан зимового саду, показники клімату і дає змогу вручну регулювати параметри;

- голосові асистенти – інтеграція з голосовими помічниками (Google Assistant, Alexa) для керування роботою системи за допомогою голосових команд;

- візуалізація даних – графіки та діаграми показують стан рослин і їхнє зростання, а також ефективність системи догляду.

б) автоматизована система живлення:

- добрива – роботизовані системи для автоматичної подачі добрив у ґрунт в залежності від потреб кожної рослини;

- розподіл поживних речовин – система розподіляє необхідні мікроелементи рівномірно та з урахуванням особливостей окремих видів рослин.

Переваги роботизованої системи для догляду за зимовим садом: економія часу за рахунок автоматизації рутинних процесів, оптимізація умов для рослин, зниження витрат на утримання, постійний моніторинг та коригування, індивідуальний підхід.

Недоліки роботизованої системи по догляду за зимовим садом: вартість, потреба у технічному обслуговуванні, несумісність з різними видами рослин.

Висновки. Розроблено архітектуру роботизованої системи догляду за зимовим садом, яка дозволяє автоматизувати ключові процеси вирощування рослин у контрольованому середовищі. Завдяки поєднанню робототехніки, датчиків та штучного інтелекту, така система створює оптимальні умови для рослин, забезпечуючи максимальну ефективність і зручність для користувачів.

Список літератури

1. R. Filippov and D. Khort, "Multifunctional Robotic Device with Intelligent Positioning System", *E3S Web Conf.*, vol. 493, p. 01003, 2024.
2. M. Sportelli et al., "Autonomous Mower Management Systems Efficiency Improvement: Analysis of Greenspace Features and Planning Suggestions", *Agriculture*, vol. 9, № 6, p. 115, June 2019.
3. E. Pitowarno, A. Damawan, F. Ali Fikri El Munba'its and B. Pramuditya Affandy, "Multi-Agro: Design and Development of a Cartesian-based Self-Plantation Robot for Home-Scale Gardens with Mobile App", *BIO Web Conf.*, vol. 80, p. 06006, 2023.

ДОДАТОК Б ПРЕЗЕНТАЦІЯ РОБОТИ

Роботизована система по догляду за зимовим садом

Виконав: магістр гр. KI2M-23-1
Шавров І.С.

Керівник: к.т.н., доцент Березька К.М.

Актуальність

Актуальність роботизованої системи по догляду за зимовим садом зумовлена сучасними тенденціями розвитку технологій, зростанням інтересу до автоматизації рутинних процесів, а також екологічними та економічними викликами. Зимовий сад вимагає постійного догляду, включаючи полив, контроль за температурою, вологістю, підрізку рослин, підсвічування, добриво тощо. В умовах сучасного ритму життя у людей часто не вистачає часу для виконання таких завдань, особливо якщо кількість рослин значна. Роботизовані системи дозволяють автоматизувати ці процеси, значно полегшуючи догляд за садом і підвищуючи ефективність управління ним. Роботизована система може підтримувати ідеальні умови для рослин без людського втручання.

- ▶ Мета дослідження полягає в автоматизації догляду за зимовим садом за допомогою роботизованої системи.
- ▶ Об'єктом дослідження є процес автоматизованого догляду за зимовим садом.
- ▶ Предметом дослідження є роботизована система по догляду за зимовим садом.



Активация Wind

Задачі дослідження

- ▶ Провести аналіз існуючих рішень догляду за зимовим садом.
- ▶ Визначити наявні мікрокліматичні умови.
- ▶ Провести аналіз сенсорів та датчиків, що використовуються в системі догляду за зимовим садом.
- ▶ Змоделювати процес догляду за зимовим садом.
- ▶ Сформулювати архітектуру роботизованої системи для догляду за зимовим садом.
- ▶ Протестувати розроблену систему та визначити напрями її подальшого удосконалення та розвитку.



Активация Wind

Наукова новизна

- ▶ набув подальшого розвитку метод збору даних про стан рослин, який дозволяє відстежувати та опрацьовувати дані в режимі реального часу;
- ▶ запропоновано архітектуру роботизованої системи догляду за зимовим садом, що дозволяє автоматизувати процес догляду.



Активация Wi-Fi

▶ Практична цінність отриманих результатів

Практична значимість отриманих результатів полягає у розробленому програмному забезпеченні роботизованої системи догляду за зимовим садом в режимі реального часу та видачі відповідних рекомендацій.

Така система забезпечує ефективне, автономне та інтелектуальне керування мікрокліматом і станом рослин, що значно підвищує комфорт власника та продуктивність самого середовища. Розроблена система дозволяє мінімізувати людське втручання у процес догляду, забезпечуючи своєчасний полив, оптимальне освітлення, контроль температури, вологості повітря та ґрунту, а також концентрації CO₂.



Активация Wi-Fi

SWOT-аналіз впровадження роботизованої системи по догляду за зимовим садом

Сильні сторони (Strengths)	Слабкі сторони (Weaknesses)
<p>Автоматизація догляду за рослинами</p> <p>Персоналізовані налаштування під тип рослин</p> <p>Зниження витрат води та добрив</p> <p>Можливість дистанційного контролю</p> <p>Виявлення відхилень в рості рослин і хвороб на ранньому етапі</p>	<p>Висока вартість впровадження на початковому етапі</p> <p>Потреба в технічному обслуговуванні сенсорів і роботів</p> <p>Залежність від інтернету/електроживлення</p> <p>Можливі складнощі інтеграції зі старими системами освітлення</p> <p>Високі вимоги до захисту даних (якщо є хмарна інфраструктура)</p>
Можливості (Opportunities)	Загрози (Threats)
<p>Інтеграція з «розумним будинком»</p> <p>Розширення функцій (наприклад, добрива, метеодані)</p> <p>Підвищення вартості майна/інтер'єру</p> <p>Комерціалізація як готове рішення для дизайнерів</p>	<p>Вихід обладнання з ладу під час критичних умов (зима, спека)</p> <p>Потенційні атаки на безпроводні мережі або витік даних</p> <p>Нестабільність цін на компоненти систем IoT</p> <p>Складність модернізації без професійного супроводу</p>

Основні типи датчиків для зимового саду



Моделювання процесу догляду за зимовим садом



Активация Wind

Моделювання процесу догляду за зимовим садом

До змінних стану

- температура (T);
- вологість (V);
- освітленість (Os);
- концентрація CO_2 (C).

До вхідних дій системи (керовані параметри) відносяться:

- полив (Pl);
- вентиляція (W);
- підсвічування (P);
- нагрів або охолодження (Op).

Диференційне рівняння виглядатиме наступним чином, для температури

$$\frac{dT}{dt} = \alpha_1(T_{zov} - T) + \beta_1 U_T(t),$$

де α_1 – коефіцієнт теплообміну між внутрішнім та зовнішнім середовищем,

β_1 - ефективність дій обігрівача чи охолодження;

T_{zov} – зовнішня температура, °C;

$U_T(t)$ – керування температурою: +1 – нагрівання, -1 – охолодження, 0 – без змін.

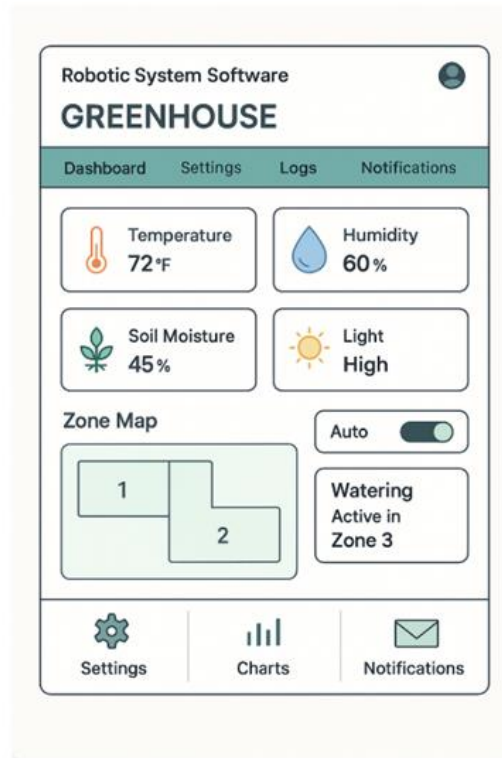
- ▶ Усі ці елементи разом утворюють динамічну систему, де керовані сигнали U визначаються на основі логічних правил, а зміни параметрів описуються безперервними рівняннями. Це дозволяє моделювати та прогнозувати поведінку системи в часі з високою точністю. Усі ці елементи, сенсорні дані, логічні правила, керувальні сигнали та рівняння динаміки в сукупності формують гібридну динамічну систему, в якій поточний стан середовища постійно змінюється під впливом як природних, так і техногенних факторів.
- ▶ Математична модель, що включає диференціальні рівняння, описує безперервні процеси, такі як нагрівання повітря, випаровування вологи, засвоєння CO₂ рослинами чи зміна освітленості протягом доби. Ці рівняння дозволяють прогнозувати майбутній стан середовища, що особливо важливо для підтримання стабільних умов у зимовому саду.

Активация Win

- ▶ Однак самі по собі рівняння не керують процесами, вони лише описують зміну змінних. Керування забезпечується за рахунок логічних правил, що працюють за принципом «Якщо–То».
- ▶ Наприклад, якщо параметр виходить за межі допустимих значень, то система ініціює відповідну дію.
- ▶ Наприклад, якщо температура падає нижче 18 °С, то вмикається обігрів; якщо вологість ґрунту знижується нижче 55 %, то активується полив.

Активация Win

Приклад інтерфейсу мобільного застосунку роботизованої системи по догляду за зимовим садом

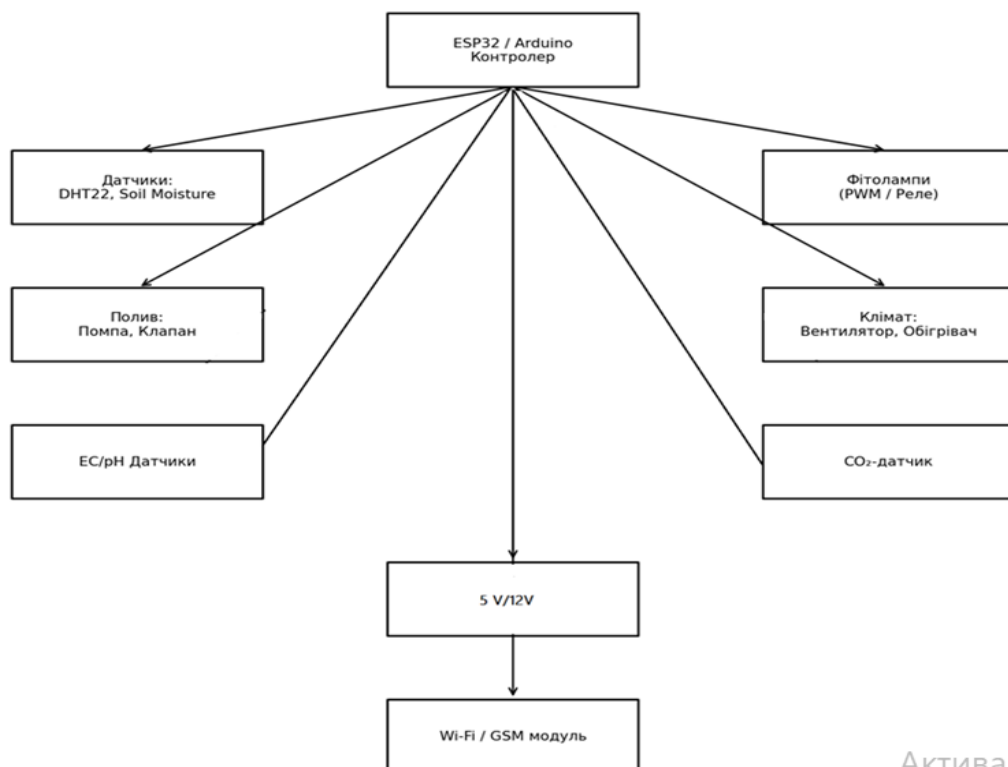


Приклад інтерфейсу десктопного застосунку роботизованої системи по догляду за зимовим садом



Активація Wi-Fi

Схема з'єднань для роботизованої системи по догляду за зимовим садом



Активація Wi-Fi

Дякую за увагу!



Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Іван ШАВРОВ

Співавтор:

Назва: Шавров_Роботизована система по догляду за зимовим садом

Експерт:

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1:6.4%

Коефіцієнт подібності 2:3.2%

Мікропробіли: 112

Заміна букв: 6

Інтервали: 0

Білі знаки: 1

Дата створення звіту: 2025-05-21 20:41:52.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2025-05-22

Дата

Доцент Андрій Нічепорук

експерт

27.05.25, 20:05


ШАВРОВ.html

Wed May 21 18:11:50 EEST 2025, Медзатий Дмитро Миколайович, Хмельницький національний університет, ХНУ

Anti-Plagiarism v-15.274 Educational

The maximum coincidence with one document 1.0%

Dictionary check: en_US, ru_RU, ua_UA. **Errors in the documents: 8%**

ID: 241643 Title: МКР Роботизована система по догляду за зимовим садом Added in a DB: 2025-05-21  Authors: Іван ШАВРОВ Heads: Катерина БЕРЕЗЬКА Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	140556	1090	1838 (1%)	21 (2%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

Завідувачці кафедри КПС
доктору філософії, доценту
Ользі ПАВЛОВІЙ

Шаврова Івана Сергійовича

ІІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курсу, групи КІЗМ-23-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

12.05.25

дата


підпис

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Роботизована система по догляду за зимовим садом

Автор: Шавров Іван Сергійович

Спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-наукова

Науковий керівник: Березька К.М., к.т.н, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 2) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;
- 3) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів із латинськомовними позначеннями в математичних формулах, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 6.38% і адресується до 35 першоджерел; та системою Anti-Plagiarism складає 1%.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС





Катерина БЕРЕЗЬКА

Олег САВЕНКО

Ольга ПАВЛОВА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Дипломник: Шавров Іван Сергійович

Тема: Роботизована система по догляду за зимовим садом

Спеціальність: 123 «Комп'ютерної інженерія»

Обсяг дипломної роботи:

Кількість листів креслень —; кількість сторінок записки 98

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень набув подальшого розвитку метод збору даних про стан рослин у роботизованій системі по догляду за зимовим садом, який дозволяє відстежувати та опрацьовувати дані в режимі реального часу на різних локаціях; запропоновано архітектуру роботизованої системи по догляду за зимовим садом, яка працює в реальному часі. На основі проведених досліджень розроблений метод та роботизована система і компоненти програмного забезпечення цієї системи. Практична значимість отриманих результатів полягає у розробленому програмному забезпеченні роботизовано системи в режимі реального часу.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню Дипломна робота відповідає виданому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У вступі подано об'єкт та предмет дослідження, мету, наукову новизну та практичну цінність роботи, а також характеристику структури роботи.

У першому розділі проведено аналіз відомих рішень щодо методів та засобів догляду за рослинами в зимовому саду, а також потенціал, обмеження та перспективи впровадження роботизованої системи по догляду за зимовим садом.

У другому розділі розглянуто технології для роботизованої системи по догляду за зимовим садом, проведено огляд датчиків необхідних для реалізації системи. **Ошибка! Закладка не определена.**

У третьому розділі проведено процес моделювання роботизованої системи по догляду за зимовим садом, проведено моделювання процесу догляду за зимовим садом, також представлена математична модель. Проведено проектування роботизовано системи по догляду за зимовим садом та розроблений метод збору даних про стан рослин у роботизованій системі по догляду за зимовим садом.

У четвертому розділі здійснено вибір архітектури та компонентної бази роботизованої системи по догляду за зимовим садом.

У висновках підведено підсумки досягнення результатів з розв'язання завдань дослідження.

4. Позитивні сторони роботи: Розроблена роботизована система по догляду за зимовим садом є корисним інструментом для користувачів, оскільки дозволяє ефективно та в автоматичному режимі керувати процесом догляду за зимовим садом.

Система має потенціал до масштабування

5. Негативні сторони роботи: В роботі не приділено достатньої уваги застосуванню методам опрацювання даних.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: =

7. Відгук про роботу в цілому: В загальному робота виконана на достатньому професійному рівні

8. Інші зауваження: =

9. Оцінка дипломної роботи:

Розглянувши позитивні та негативні сторони предтавленої дипломної роботи вважаю, що робота заслуговує оцінки «добре» 4,00 (С)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи)

Баршак Олександр Володимирович д.м.н. проф. зав. каф. Комп'ютерних наук

"22" травня 2025р.

