

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Методи та засоби оптимізації IoT систем для мікрокліматного контролю
вирощувальних систем

Виконав: студент
спеціальності

VI курсу, групи СІмд-61
123 Комп'ютерна інженерія
(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Микитишин А.Г.
(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Осухівська Г.М.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Луцик Н.С.
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.
(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Готович В. А.
(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2023

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Осухівська В.С., доцент, кандидат технічних наук, зав. кафедри КС		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Клепчик В.М., ст. викладач, проректор з адміністративно-господарської роботи та будівництва		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	25.11.2023	Виконано
2.	Підбір наукових джерел про аналіз системи мікрокліматичного контролю вирощувальним комплексом	26.11.2023-28.11.2023	Виконано
3.	Опрацювання наукових публікацій та збір даних по темі роботи	29.11.2023-1.12.2023	Виконано
4.	Виконання дослідження згідно мети кваліфікаційної роботи	2.12.2023-4.12.2023	Виконано
5.	Оформлення розділу «Аналіз системи мікрокліматичного контролю вирощувальним комплексом»	5.12.2023-7.12.2023	Виконано
6.	Оформлення розділу «Реалізація засобів контролю мікрокліматичних параметрів вирощувальних комплексів»	8.12.2023-10.12.2023	Виконано
7.	Оформлення розділу «Результати реалізації досліджень роботи системи керування параметрами мікроклімату»	11.12.2023-13.12.2023	Виконано
8.	Виконання завдання до підрозділу «Охорона праці»	14.12.2023-15.12.2023	Виконано
9.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека в надзвичайних ситуаціях»	16.12.2023-17.12.2023	Виконано
10.	Оформлення кваліфікаційної роботи	18.12.2023-19.12.2023	Виконано
11.	Нормоконтроль	19.12.2023-20.12.2023	Виконано
12.	Перевірка на плагіат	21.12.2023	Виконано
13.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	22.12.2023	Виконано
14.	Захист кваліфікаційної роботи	28.12.2023	

Студент

_____ (підпис)

Микитишин А.Г.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Осухівська Г.М.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Методи та засоби оптимізації IoT систем для мікрокліматного контролю вирощувальних систем // Кваліфікаційна робота магістра // Микитишин Андрій Григорович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних систем та мереж, група СІд-61 // Тернопіль, 2022 // с. – 72, рис. – __, табл. – __, аркушів А1 – __, додат. – 1, бібліогр. – 38.

Ключові слова: мікроклімат, теплиця, Інтернет речей, мікроконтролер, давач.

Кваліфікаційна робота присвячена питанню аналізу та синтезу методів, апаратних засобів та програмних комплексів для автоматизованого контролю мікрокліматичних параметрів вирощувальних комплексів з використанням інтернету речей.

Розроблено прототип такої системи, обрано апаратні засоби та проведено збір даних на об'єкті керування. Обґрунтовано вибір елементної бази для проєктованої системи. Та розроблено електричну схему.

Створено веб-орієнтоване програмне забезпечення для комп'ютеризованої системи енергоефективного управління параметрами мікроклімату в вирощувальних комплексах.

Впровадження такої системи забезпечить якісний моніторинг параметрів мікроклімату вирощувального комплексу в режимі реального часу, що дасть змогу економити енергоресурси та підвищити якість продукції.

ANNOTATION

Methods and tools of IoT system optimization for microclimate control of growing systems // Master's graduation thesis // Andriy Mykytyshyn // Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Faculty of Computer Information System and Software Engineering, Department of Computer Systems and Networks, group CIId-61 // Ternopil, 2022 // p. – 72, fig. – __, tabl. – __, sheets A1 – __, addit. – 1, bibliography – 38.

Keywords: microclimate, greenhouse, Internet of things, microcontroller, sensor.

The qualification work is devoted to the issue of analysis and synthesis of methods, hardware and software complexes for automated control of microclimatic parameters of growing complexes using the Internet of Things.

A prototype of such a system was developed, hardware was selected, and data collection was carried out at the control facility. The choice of the element base for the designed system is substantiated. But an electrical scheme has been developed.

Web-oriented software for a computerized system of energy-efficient management of microclimate parameters in growing complexes has been created.

The implementation of such a system will ensure high-quality monitoring of microclimate parameters of the growing complex in real time, which will make it possible to save energy resources and improve the quality of products.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СИСТЕМИ МІКРОКЛІМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ВИРОЩУВАЛЬНИМ КОМПЛЕКСОМ	10
1.1. Аналіз робіт у сфері комп'ютеризованих систем кервання мікрокліматичними параметрами.....	10
1.2. Аналіз апаратних та програмних засобів для реалізації прототипу системи контролю	15
РОЗДІЛ 2 РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ МІКРОКЛІМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИРОЩУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ.....	21
2.1. Програмні інструменти реалізації системи моніторингу	21
2.2. Використання алгоритмів динамічного та машинного навчання для оптимізації процесів керування мікрокліматом вирощувальних систем.	26
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ МІКРОКЛІМАТУ	30
3.1 Системна динаміка та методи машинного навчання при реалізації системи	30
3.2 Оптимізація процесу розпилення для забезпечення мікрокліматичних показників.....	39
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	52
4.1. Загальна характеристика приміщення і робочого місця	53
4.2. Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів на робочому місці	55

ВИСНОВКИ	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	64
Додаток А Тези конференцій.....	70

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ПК – Персональний комп'ютер;

IoT – Internet of Things;

DIY - Do-it-yourself;

ІСКМ - Інтелектуальна система контролю мікроклімату;

ДС - Динамічна система;

BPNN - back-propagation neural-network (нейронна мережа зворотного поширення);

ШНМ - Штучні нейронні мережі.

ВСТУП

Актуальність теми. Контроль над параметрами мікроклімату дуже важливий для росту рослин у вирощувальних комплексах, двома головними змінними при забезпеченні мікроклімату є температура та вологість. Цими параметрами можна керувати кількома методами. Одним із варіантів є використання системи охолодження туманом, але цей процес все ще виконується вручну.

Вирощувальні комплекси - це конструкційні будівлі з різними типами покривних матеріалів, таких як скляний або пластиковий дах і часто скляні або пластикові стіни. Отже, ці будівлі є контрольованою зоною – середовищем для вирощування рослин. Системи автоматизації вимагають тривалого дослідження, а їх встановлення вартість досить висока. Через ці факти системи автоматизації теплиць не використовуються широко. Крім того, для роботи автоматизованих комп'ютерних проектів потрібні кваліфіковані люди. Однак у наш час використання комп'ютера стає невимогливим, а системи контролю та моніторингу забезпечують налагодження за короткий проміжок часу.

В даний час, враховуючи, що більшість територій, які використовуються під вирощувальні комплекси, знаходяться в зоні покриття мережі GSM, встановити та керувати такими системами стає набагато простіше. У несприятливих умовах продукція в теплиці гине, що призводить до великих матеріальних збитків. Щоб уникнути марнотратства, фермери вживають запобіжних заходів проти морозів у системі вигонки за допомогою систем опалення в дні та ночі, коли очікується похолодання. Температурні значення, які контролюються за допомогою метеорологічних даних, є неадекватними для неочікуваних умов повітря.

Раптова зміна погодних умов викликає утворення конденсату, через те, що конденсат холодний, він може мати шоківий вплив на рослини, а також заважати людям, які працюють. Як запобіжний захід слід контролювати вологість у навколишньому середовищі та втручатися, коли значення досягають критичних меж.

Тому розробка методів та засобів для створення систем контролю параметрів мікроклімату для вирощувальних систем є актуальною задачею на сьогоднішній час.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності функціонування вирощувальних комплексів завдяки впровадженню комп'ютеризованих методів контролю в режимі реального часу параметрів мікроклімату.

Задачі дослідження:

- провести огляд літературних джерел та проаналізувати методи та засоби, які застосовуються для контролю мікрокліматичних параметрів вирощувальних комплексів;
- розробити апаратне забезпечення системи для дистанційного моніторингу мікрокліматичних параметрів вирощувальних комплексів;
- оптимізувати процес керування мікрокліматичними параметрами для підвищення енергоефективності процесу та покращення якості продукції.

Об'єкт дослідження – процес моніторингу мікрокліматичних параметрів вирощувальних комплексів.

Предмет дослідження – програмні та апаратні засоби та методи контролю мікрокліматичних параметрів вирощувальних комплексів.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Розроблено комп'ютерну систему моніторингу мікрокліматичних параметрів вирощувальних комплексів, яка дозволяє підвищити ефективність управління енергетичними ресурсами.

2. Розроблено метод дистанційного моніторингу мікрокліматичних параметрів вирощувальних комплексів, який надає можливість контролювати мікрокліматичні параметри в режимі реального часу, що дає змогу поєднати енергоефективність вирощувальних комплексів.

Практичне значення одержаних результатів кваліфікаційної роботи полягає у тому, що запропоновані та реалізовані апаратні та програмні засоби забезпечують в режимі реального часу контролювати мікрокліматичні параметри вирощувальних комплексів, що є ефективним засобом для зменшення собівартості та підвищення якості виробництва.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СИСТЕМИ МІКРОКЛІМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ВИРОЩУВАЛЬНИМ КОМПЛЕКСОМ

1.1. Аналіз робіт у сфері комп'ютеризованих систем кервання мікрокліматичними параметрами

Для віддаленого моніторингу значення, які зчитуються в тепличному середовищі, також повинні зберігатися в базі даних і бути доступними в Інтернеті. Таким чином, зібрані дані не тільки корисні для моніторингу минулих подій, але й надають вихідний матеріал для аналізу даних для прогнозування майбутніх подій.

У наш час мобільні телефони та комп'ютери стали невід'ємною частиною життя людини. Завдяки поширенню використання Інтернету навіть у різних селах, все більше людей знайомляться з цією технологією. В останні роки мобільні та бездротові технології відіграють важливу роль у значній частині життя людини. Оскільки смартфони значно полегшують повсякденне життя, більшість людей користуються ними. Смартфони також можна використовувати як пульт дистанційного керування різними пристроями, такими як телевізори та кондиціонери.

Це свідчить про те, як люди пов'язані з бездротовими технологіями. Бездротові та мобільні технології постійно вдосконалюються. Отже, немає жодних перешкод для використання віддаленої системи для цільових спільнот користувачів системи щоразу, коли зручний інтерфейс пропонує та допомагає людству. В даний час проводяться численні дослідження комп'ютеризації теплиць. Ці дослідження відрізняються залежно від компонентів, які можна класифікувати як комунікаційну та контрольну інфраструктуру, вбудовану систему, що використовується в теплиці, давачі та перетворювачі, інтерфейс користувача.

Для інфраструктури системи сожна поділити залежно від протоколів зв'язку, таких як проводова передача даних на основі RS-485, CAN (мережа контролера), Bluetooth, GPRS (Загальна система пакетного радіозв'язку), GSM (Глобальна система мобільного зв'язку) та Інтернет [1], які залежать від вартості установки системи, відстані і швидкості передачі даних.

Використання Інтернету речей (IoT) у сільському господарстві є актуальною темою для досліджень, і очікується, що в майбутньому воно ставатиме все більш популярним. Таким чином, явною перспективою при розробці систем контролю за мікрокліматичними параметрами є використання IoT технологій, а підключення до Інтернету - як кономічний метод взаємозв'язку, оскільки не потребує прокладання кабельних мереж і підходить у нашому випадку, оскільки параметри змінюються відносно повільно.

Вбудована система — це поєднання апаратного та програмного забезпечення, що має фіксовані можливості або програмується, яка спеціально розроблена для конкретного типу прикладного пристрою. Для апаратного забезпечення можна знайти багато реалізацій на основі ПК, які висвітлені у роботі [2], або мікропроцесора [3]. Завдяки перевагам платформ DIY нещодавно з'явилися деякі інші конструкції [4] із картками DIY.

У роботі [5] запропонована конструкція системи, яка збирає дані (такі як температура та вологість) із середовищ (таких як теплиця, ферма) і надсилає їх на віддалений сервер через модем за допомогою підключення до Інтернету, а також може виконувати віддалені команди. Дані на віддаленому сервері можна переглядати як через Інтернет, так і через смартфон. Крім того, ці станції можуть бути центрами управління дистанційно.

Система складається з трьох різних компонентів: вбудованої системи, веб-сервера та додатку користувача смартфона. Для використання мікропроцесорів потрібні додаткові карти, і це може ускладнити використання та дизайн sbcntv. Проте платформи «do-it-yourself» (DIY)

пропонують деякі переваги, такі як недорогі, прості у використанні можливості, що дає змогу створити систему для кожного.

Arduino та Raspberry Pi є двома дуже популярними платформами DIY, які також мають довідкову підтримку та бібліотеку програмного забезпечення для датчиків.

Веб-сервер системи запускає базу даних, програму прослуховування HTTP та веб-сайт. Для бази даних використано SQL-сервер.

Програмне забезпечення прослуховувача HTTP записує значення (температура та вологість) у базу даних кожні 30 хвилин.

Кожен окремий пристрій, який розміщується в теплицях, має унікальний ідентифікаційний номер. За цим номером можна знайти власника цього пристрою, де він розміщений. Для розподілу користувачів створено унікальний ідентифікаційний номер для входу в систему, ім'я користувача та пароль. На рис. 1.1 зображено модель взаємозв'язку бази даних проекту.

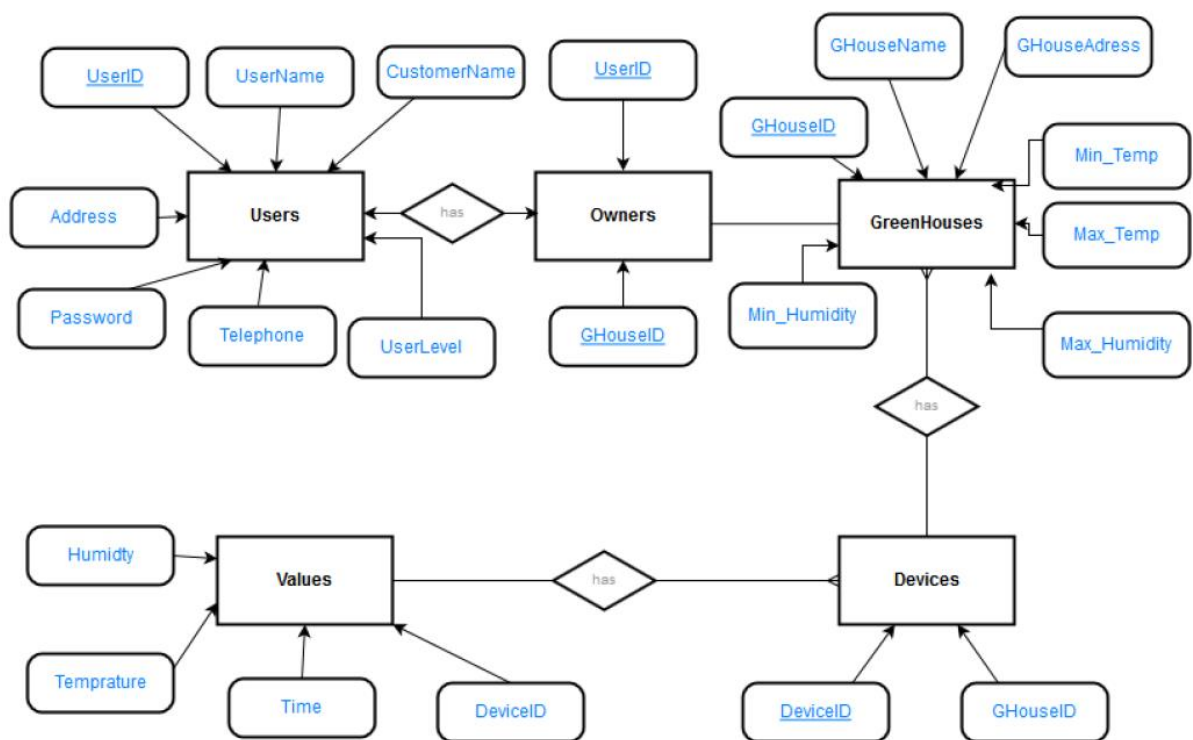


Рис. 1.1. База даних системи керування тепличним господарством [8]

Коли в систему додається новий датчик, який вимірює інший атрибут, у таблиці значень з новим стовпцем буде лише приналежність. Таким чином, оновлення можливостей моніторингу стає таким простим на стороні сервера.

Таблиця користувачів UserID: унікальний ідентифікаційний номер користувача для розпізнавання користувачів один від одного.

Ім'я користувача: унікальний рядок, який використовується для входу в систему.

Пароль: приховане значення для автентифікації користувача під час входу.

CustomerName: Повне ім'я клієнта.

Адреса та телефон: потрібні в екстрених випадках для зв'язку з клієнтом.

GHouseID : унікальний ідентифікаційний номер для розпізнавання теплиць один від одного.

GHouseName: назва теплиці, надана клієнтом.

GHouseAddress : адреса теплиці.

Min_Temp : мінімальне значення температури, яке активує тривогу, коли значення опуститься нижче цього значення.

Max_Temp : максимальне значення температури, яке буде активовано, якщо значення опуститься нижче цього значення.

Min_Humidity Мінімальне значення вологості, яке буде ввімкнено, якщо значення опуститься нижче цього значення.

Max_Humidity Максимальне значення вологості, яке буде активовано, коли значення опуститься нижче цього значення.

Знімок екрана статті на веб-сторінці показано на рис. 1.2. Зареєстрований користувач може увійти на сторінку за допомогою форми, показаної на рис. 1.3.

Після входу авторизований користувач може побачити свої теплиці, як показано на рис. 1.3.



Рис. 1.2. Веб-сторінка проекту керування теплицею [5]

Hoş Geldin Ahmet

● Sera Kontrol
 ● Kullanıcı Ayarları

CihazId	SeraId	Zaman	KullaniciAdi	SeraIsmu	SeraAdresi	Sicaklik	Nem
1	1	5/20/2015 12:00:00 AM	Ahmet	Karakaya	Urkut Mevkii	24	22
1	1	5/20/2015 12:00:00 AM	Ahmet	Karakaya	Urkut Mevkii	22	22
2	2	5/20/2015 12:00:00 AM	Ahmet	Büyük Çayır	Büyük Çayır	21	22
2	2	5/20/2015 12:00:00 AM	Ahmet	Büyük Çayır	Büyük Çayır	21	25
2	2	5/20/2015 12:00:00 AM	Ahmet	Büyük Çayır	Büyük Çayır	21	30
1	1	5/20/2015 12:00:00 AM	Ahmet	Karakaya	Urkut Mevkii	21	30
1	1	5/20/2015 4:32:11 AM	Ahmet	Karakaya	Urkut Mevkii	21	19
1	1	5/20/2015 4:33:28 AM	Ahmet	Karakaya	Urkut Mevkii	21	25
1	1	5/20/2015 4:33:34 AM	Ahmet	Karakaya	Urkut Mevkii	21	25
2	2	5/20/2015 4:33:41 AM	Ahmet	Büyük Çayır	Büyük Çayır	21	25

Kullanıcı Adı:

Şifre:

Рис. 1.3. Форма входу та оновлені значення параметрів з різних об'єктів [5]

Таблиця пристроїв:

DeviceID : унікальний ідентифікаційний номер для розпізнавання вбудованої картки один від одного.

GHouseID : ідентифікаційний номер теплиці, де ми розміщуємо пристрій.

Таблиця значень:

DeviceID: ідентифікаційний номер пристрою, який надіслав дані.

Температура: значення температури, яке надсилається пристроєм.

Вологість: значення вологості, яке надсилається пристроєм.

Час: Фактичний час сервера, коли він отримує пакет даних.

Веб-сайт, який містить статті та навчальні відео про оранжереї, розроблено в ASP.NET.

1.2. Аналіз апаратних та програмних засобів для реалізації прототипу системи контролю

Формування мікроклімату всередині теплиці створює умови, необхідні для росту рослин. Тим не менше, у деяких випадках у вологих країнах температура та вологість повітря всередині теплиці іноді занадто високі, що викликає стрес у рослин і стимулює ріст грибків, які приносять захворювання рослинам.

Згідно аналізу в деяких випадках температура в теплиці досягла 44 °C і відносна вологість 30%, кліматичні умови не ідеальні для росту томатів, тому що максимальна температура для томатів відповідно до стадії росту становить 34 °C [6,7]. Температури в теплиці значно перевищують максимальну межу температури, таким чином пригнічуючи ріст і формування помідорів, які вирощуються всередині теплиці, навіть пошкоджуючи пилок і яйця, якщо вони відбуваються протягом 5-10 днів.

Крім того, температура від 10 °C до 30 °C збільшує діаметр помідорів на 5 мкм [8]. Кімната всередині теплиці має іншу обробку, ніж зовнішнє середовище, і деякі параметри повинні бути належним чином розроблені відповідно до потреб рослини для оптимального росту, ці параметри, але не обмежуються температурою, вологістю та інтенсивністю світла.

Цей контроль мікроклімату можна здійснити за допомогою системи охолодження. Система охолодження - це пристрій, який встановлюється в

теплиці для зниження температури повітря і підвищення вологості всередині, однією з систем охолодження, яку можна використовувати для теплиць, є система охолодження туманом.

Система охолодження туманом – це система охолодження, яка використовує воду як предмет охолодження, вода випускається через сопло з насосом високого тиску та утворює плавний бризок води (роса), це можна зробити вручну, але потрібен інструмент під контролем оператора протягом 24 годин.

Ця умова вимагає комп'ютеризованої системи керування, щоб інструмент працював самостійно без необхідності інтенсивного контролю. Вся система автоматичного керування буде керуватися Raspberry Pi як центром. Команди з Raspberry Pi будуть перенаправлятися на веб-сайт, щоб полегшити читання даних і завдання керування.

Raspberry Pi – це невеликий комп'ютер, його також можна назвати мікрокомп'ютером, і цей пристрій може працювати як звичайний настільний комп'ютер. Він має перевагу дротового або бездротового підключення до мережі, наявність операційної системи на базі Linux.

Використання Raspberry Pi при розробці прототипів є вигідним завдяки великому об'єму пам'яті та великій кількості програм, які функціонують як міні-сервер для веб-сайтів.

GPIO на цьому пристрої служить Raspberry Pi для роботи мікроконтролером. У роботі для прототипу використано датчі SHT11, GUVVA-S12SD і системи реле .

Датч SHT11 визначає температуру та вологість клімату вирощувального господарства. Дослідження показують, що датч SHT11 має найкращу продуктивність при температурі 25° C з рівнем допуску $\pm 0,5$ °C і RH (20-80)% з рівнем допуску $\pm 3\%$.

Датч GUVVA-S12SD призначений для визначення інтенсивності світла в теплиці в одиницях УФ-індексу. GUVVA-S12SD може працювати для

автоматизації освітлення розумного дому. Система реле функціонує як перемикач, який вмикає та вимикає пристрій відповідно до інструкцій Raspberry Pi.

Реле має дві основні частини, а саме електромагніт (котушку) і механіку (перемикач). Реле використовує електромагнітний принцип для переміщення контактів перемикача так, щоб невеликий електричний струм проходив через пристрій і проводив електрику вищої напруги.

В даному розділі буде розглянуто принципи створення прототипу для оптимізації роботи інтелектуальної системи контролю параметрами мікроклімату для вирощувальних господарств за допомогою веб-сайту. Під час реалізації система буде записувати дані мікроклімату щохвилини на щодня, а максимальне і мінімальне значення параметрів можна гнучко змінювати через Інтернет, щоб задовольнити широкий спектр потреб при вирощуванні різноманітних рослин у майбутньому.

Для об'єктивізації цієї автоматичної системи управління було використано мову програмування Python та інтегровано систему на веб-сайт за допомогою мов програмування HTML, MySQL та PHP.

Процес встановлення та тестування обладнання проводився в теплиці ТОВ «ЕДЕМ», Заліщики.

У табл. 1 наведено перелік обладнання, яке використовувалось для реалізації прототипу системи керування.

Нижче наведено схематичну конструкцію та схему розміщення системи охолодження туману, яку можна побачити на рис.1.3 та рис. 1.5.

Таблиця 1.1

Апаратне обладнання для прототипування інтелектуальної системи

№ п/п	Назва і функція	К-сть
1	ПВХ шланг 6x4 мм Водяний шланг до насадки	30 м
2	ПВХ шланг 8x11 мм, вхідний водяний шланг	2 м
3	Макетна плата Роз'єм електронних пристроїв	1
4	Роз'єм L Шланг до шлангового з'єднання	1
5	З'єднувач T Шланг до шлангового з'єднання	1
6	Водяний насос постійного струму, що перекачує воду для охолодження системи охолодження	1
7	Захисний чохол для інструменту Duradus Automation	1
8	Датчик GUVVA-S12SD для вимірювання УФ-ІНДЕКСУ сонячного світла	1
9	Перемичка Кабель підключення датчика до Raspberry Pi	24
10	Ноутбук, який отримує доступ до Raspberry Pi	1
11	Сопло хвилерізу 0,3 мм Вода в росу	18
12	Шланг швидкого з'єднання та роз'єм водяного насоса	2
13	Центр керування автоматизацією Raspberry Pi 3b+	1
14	SD-карта (16 ГБ) Пам'ять Raspberry Pi	
15	Датчик SHT11 для вимірювання температури та вологост	i 1
16	Заглушки водяного насоса терміналу та інструменти автоматизації	2
17	Дерев'яна коробка Захист водяного насоса	1

Програмне забезпечення для автоматичного контролю мікроклімату

№ п/п	Назва	Функція
1	Advanced IP Scanner Finder	IP Address Finder
2	Balena Etcher Raspberry Pi	Завантажувальна ОС
3	Framework Bootstrap 4.4	HTML
4	HTML 5	Мова веб-програмування
5	MySQL	Web і мова програмування баз даних
6	PHP	Мова веб-програмування
7	Putty	SSH
8	Python 3.0	Мова програмування Raspberry Pi
9	Raspbian Raspberry Pi	Операційна система
10	Windows 10	Операційна система для ноутбука

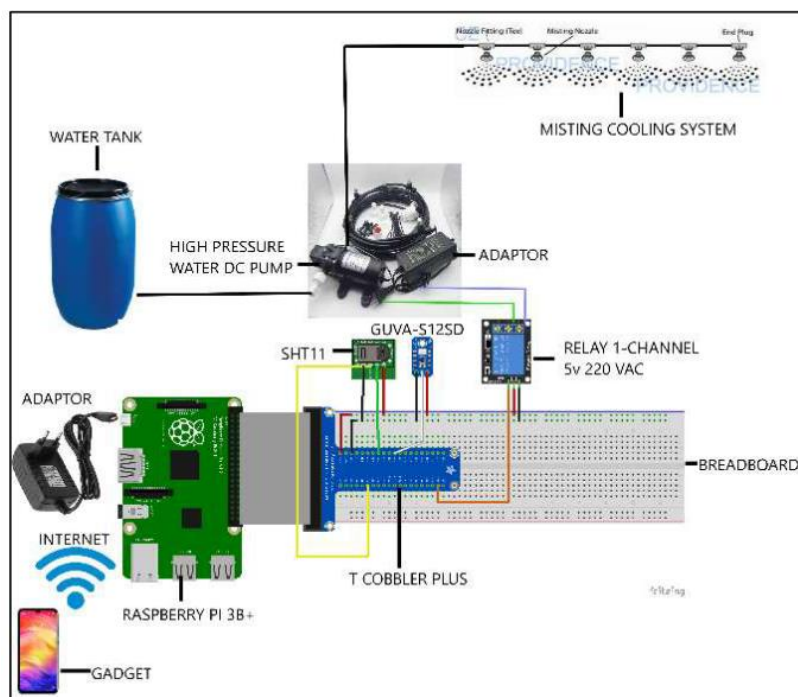


Рис. 1.4. Схема прототипу системи автоматичного контролю
мікроклімату

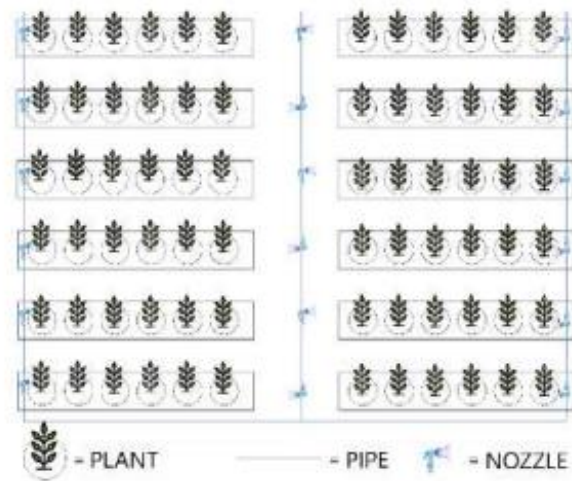


Рис. 1.5. Конструкція розміщення системи охолодження туманом

Механічну частину автоматичної системи керування розділено на два рівні, а саме інформаційне середовище та технічне середовище. технічне середовище – це місце, де система обробляє дані мікроклімату та виконує команди, які будуть надсилатися на пристрій, тоді як інформаційне середовище – це місце, де система відображає інформацію про мікроклімат і визначає температуру або вологість у теплиці, рис. 1.6.

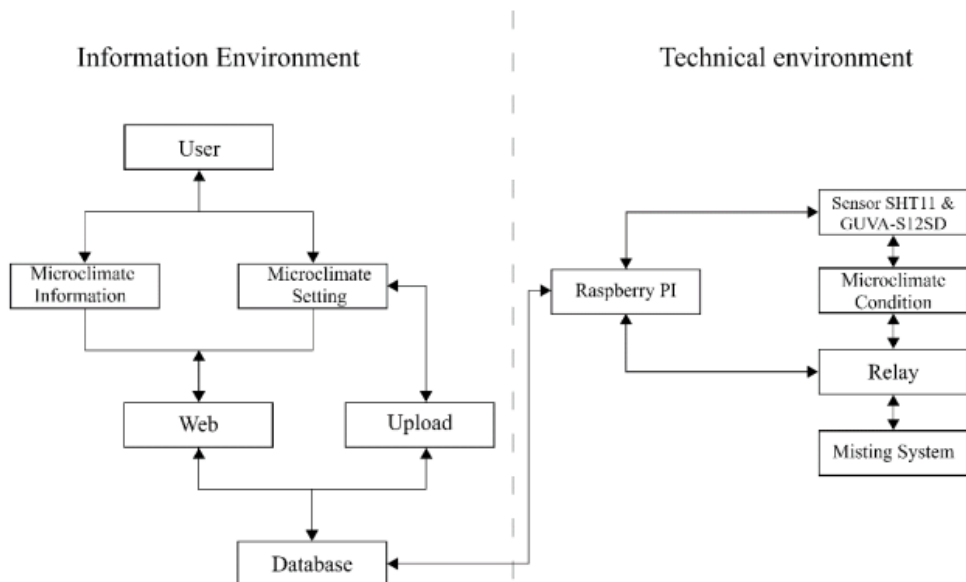


Рис. 1.6. Рівні інтелектуальної системи автоматичного регулювання мікроклімату

РОЗДІЛ 2 РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАСОБІВ КОІТРОЛЮ МІКРОКЛІМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИРОЩУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

2.1. Програмні інструменти реалізації системи моніторингу

Програмування виконується згідно з плануванням, виконаним на попередніх етапах. Кожен компонент було виконано в такому вигляді, щоб він мав інструментальну реалізацію, яка забезпечить автоматичне функціонування функціонування.

Програмування виконували за допомогою Python і Raspberry Pi з доступом до ноутбука з через додаок Putty. Час роботи системи охолодження туману визначається психометричними розрахунками.

Перший етап реалізації проводили починаючи з визначення температури змоченого термометра за наступним рівнянням [9].

$$T_w = T \operatorname{atan} [0,15197 \cdot (RH\% + 8,313659)^{(1/2)}] + \operatorname{atan} (T + RH\%) - \operatorname{atan} (RH\% - 1,676331) + 0,00391838 \cdot (RH\%)^{(3/2)} \cdot \operatorname{atan} (0,023101 \cdot RH\%) - 4,686035 \quad (2.1)$$

де, T_w - температура за вологим термометром (°C);

T - температура сухого термометра (°C);

RH - Відносна вологість (%).

Це наступне рівняння використовується для розрахунку тиску температури насиченої водяної пари вологого термометра в теплиці.

$$T_{wi} = T_w + 273.15 \quad (2.2)$$

$$e_{stwi} = (-5,8002206) \cdot (1000/T_{wi}) + 1,3914993 + (-4,8640239/100) \cdot T_{wi} + 4,1764768/100000 \cdot T_{wi}^2 + (-1,4452093/100000000 \cdot) T_{wi}^3 + 6,5459673 \cdot \log T_{wi}$$

$$e_{stwi} = \exp(e_{stwi}/100) \quad (2.3)$$

де, T_{wi} - температура за вологим термометром (K);

e_{stwi} - тиск водяної пари насичує температуру змоченого термометра в теплиці (кПа).

Наступне рівняння використовували для розрахунку тиску водяної пари в теплиці.

$$e_i = e_{stwi} - 0,000662 \cdot P_o \cdot (T - T_w) \quad (2.4)$$

де, e_i - Тиск водяної пари в теплиці (кПа);

P_o = Атмосферний тиск (кПа).

Наступне рівняння використовували для розрахунку абсолютної вологості в теплиці.

$$X_i = (\varepsilon \cdot e_i) / (P_o - e_i) \quad (2.5)$$

де, X_i - абсолютна вологість у теплиці (кг.кгук-1);

ε - відношення молекулярної маси води до молекул повітря (0,6222).

Наступне рівняння використовували для розрахунку потоку води, що розпилюється системою охолодження туману.

$$m_f = V \cdot A \cdot [((RH_{it}/100) \cdot X_{si}) - X_i] / R \quad (2.6)$$

де, m_f - викид води для розпилення;

V - швидкість вентиляції на основі маси;

A - площа поверхні теплиці (m^2);

X_{si} = насичена абсолютна вологість;

RH_{it} - очікувана відносна вологість теплиці (%);

R - співвідношення маси, що випаровується, до води (0 – 1).

Наступне рівняння використовували для розрахунку тривалості системи охолодження туманом.

$$t_f = t_{fs} \cdot (m_f / m_r) \quad (2.7)$$

де, t_f - час роботи водяного насоса (с);

t_{fs} - тривалість циклу (с);

m_r - розряд форсунки

Після визначення всіх параметрів, які підлягали регулюванню необхідно було розробити веб-додаток, на якогму можна побачити результати вимірювань параметрів.

Було використано мови програмування: HTML, MySQL і PHP.

Налаштування системи можна виконати через веб-сайт.

Дизайн веб-сайту спочатку був виконаний як орієнтир для візуалізації зовнішнього вигляду після його завершення. Остаточний вигляд веб-додатку чичтеми приведено на рис. 2.1.

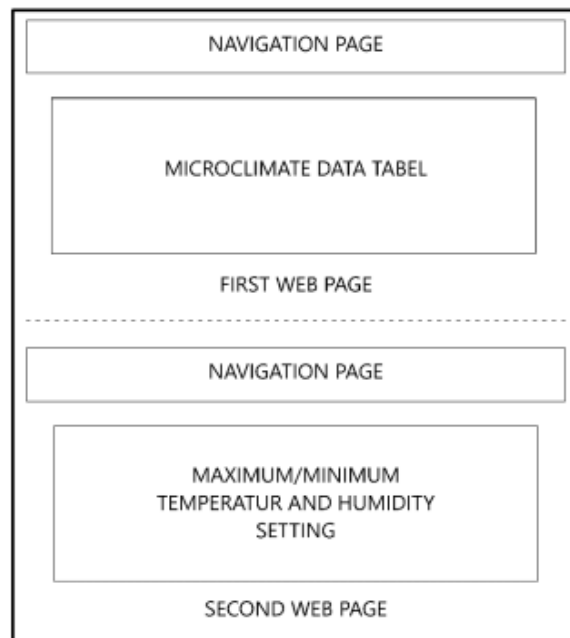


Рис. 2.1. Структура веб-додатку системи моніторингу

Програмування пристрою автоматичного контролю мікроклімату виконували за допомогою мови програмування Python, процес контролю мікроклімату змінює температуру та відносну вологість у теплиці шляхом активації насоса системи охолодження, який має на меті знизити температуру та підвищити відносну вологість у теплиці та процес періодичного контролю кожну хвилину мікроклімату в теплиці.

Програмування починається з отримання даних про максимальну температуру та мінімальну відносну вологість, які містяться в базі даних веб-сайту теплиць. Мета збору цих даних полягає в тому, щоб інструмент знав межі температури та відносну вологість, що активує насос системи охолодження туману.

Максимальна температура і мінімальна відносна вологість теплиці в становлять 30 °C і 80%. Процес вмикання насоса використовує логіку «І», де насос запускається, коли температура теплиці вище максимальної температури (30 °C), а відносна вологість нижче мінімальної відносної вологості (80%), якщо одна з цих умов не виконується то насос не працюватиме. При реалізації прототипу також використовували циклічна логіка WHILE, коли результати зчитування даних датчиками SHT11 і GUVAS12SD будуть відображатися на сайті кожні 1 хвилину у вигляді таблиці тепличного мікроклімату.

На додаток до цього було проведено, розрахунок тривалості системи охолодження насоса туману за допомогою психометричної формули, дотримуючись фрагмента програмування Raspberry Pi, який можна побачити на рис. 2.2.

Дані, отримані з Raspberry Pi, зберігалися в базі даних. Після цього дані були відображені на сайті за допомогою мови програмування HTML, MySQL і PHP.

Веб-сайт містить дві сторінки, на першій сторінці відображаються дані мікроклімату у вигляді таблиці, яка містить дату, час, температуру, вологість, УФ-індекс та стан насоса.

Ці дані сортуються за останньою датою і часом, використовуючи спадний запит у MySQL, щоб операторам теплиць не доводилося прокручувати багато контенту, для того, щоб побачити останні дані, тоді як на другій сторінці є форма, яка використовується для визначення максимальної/мінімальної температури та відносної вологості. Дані, що

відображаються на цій сторінці взяті з бази даних, і коли відбудуться зміни в максимальній/мінімальній температурі та відносній вологості, дані будуть надіслані назад до бази даних, а потім прийняті назад Raspberry Pi як довідкові дані про максимальну температуру та мінімальну відносну вологість.

```

pi@raspberrypi: ~/penelitian
GNU nano 3.2

        hum2 = row[0]
        print(hum2)

except mysql.connector.Error as error:
    print("Failed to insert into MySQL table {}".format(error))

c = c-1
no = no+1
wm = 0
ket1 = 'Non Aktif'
print(c)
print(no)
print(now_time_wib)
print(date)
print(ket1)

CLK = 11
MISO = 9
MOSI = 10
CS = 8
mcp = Adafruit_MCP3008.MCP3008(clk=CLK, cs=CS, miso=MISO, mosi=MOSI)

def ConvertVolts(data,place):
    volts = (data * 3.3) / float(1023)
    volts = round(volts,place)
    volts = int(volts * 1000)
    return volts

uv = 0

GPIO.setmode(GPIO.BCM)

uv_value = mcp.read_adc(uv)
uv_volts = ConvertVolts(uv_value,4)

with SHT1x(18,23, gpio_mode=GPIO.BCM) as sensor:
    temp = sensor.read_temperature()
    humidity = sensor.read_humidity(temp)
    sensor.calculate_dew_point(temp, humidity)
    print(sensor)
    print("-----")
    print("UV Voltase = {}mV".format(uv_volts))
    print("UV-Index ="),
    if 0<=uv_volts<=50:
        h = 0

```

Рис. 2.2. Програмування Python на raspberry pi

2.2. Використання алгоритмів динамічного та машинного навчання для оптимізації процесів керування мікрокліматом вирощувальних систем.

Систему оцінювали за даними *in situ*, зібраними з вирощувальних теплиць. Результати демонструють, що запропонована система ІСКМ може заощадити 66,8% води та енергії (електроенергії), що використовуються для раннього обприскування протягом усього періоду вирощування, порівняно з традиційною системою обприскування в теплицях, в основному на основі досвіду операторів. Запропонована ІСКМ пропонує практичну нішу в автоматизації теплиць із підтримкою машинного навчання з покращеною продуктивністю врожаю та ефективністю використання ресурсів. Це підвищить стійкість сільського господарства до гідрокліматичної невизначеності та сприятиме збереженню ресурсів, що відкриває шлях до пом'якшення викидів вуглецю та сталого зв'язку між водою, енергією та їжею.

Цілі сталого розвитку вимагають невідкладних дій для забезпечення продовольчої безпеки, одночасно зберігаючи природні ресурси та підтримуючи екологічну стійкість, особливо в епоху зміни клімату. Суттєві зміни в кліматі Землі в останні десятиліття сприяли більш екстремальним погодним явищам і дедалі більше вплинули на глобальне сільське господарство, глибоко вплинувши на долю продовольчих систем і безпосередньо впливаючи на майбутнє «харчування» людей.

Зміни температури та режиму опадів можуть збільшити неврожаї та падіння виробництва. Сільськогосподарські системи вразливі до змін не лише клімату, але й інших змінних факторів, таких як методи ведення сільського господарства та технології. Вплив зміни клімату на сільськогосподарські системи в усьому світі досліджувався в останні десятиліття [10,11]. Теплиці є дорогим і технологічним рішенням для вирішення проблем, які ставить перед сільським господарством зміна

клімату. Однак вони не є універсальним засобом, який вирішить усі проблеми, оскільки вирощувати всі культури в закритому ґрунті неможливо.

Для конкретних високоцінних культур це має сенс. Кліматично розумне сільське господарство – це інтегрований підхід, спрямований на управління ландшафтами шляхом оцінки взаємопов'язаних продовольчої безпеки та зміни клімату для одночасного покращення продуктивності сільськогосподарських культур, а також зменшення вразливості сільського господарства до шкідників і ризиків, пов'язаних із кліматом.

Тепличне вирощування, яке створює контрольоване та стабільне середовище, сприяючи зростанню культур і врожайності, може бути кліматично розумною практикою. Хеммінга та ін. [12] зазначив, що можливості та проблеми для майбутнього впровадження сенсорних систем у теплицях можуть бути досліджені за допомогою методів штучного інтелекту. Тепличне землеробство визнано багатообіцяючим заходом для боротьби зі зміною клімату, оскільки ця фізична практика може сприяти росту та продуктивності культур шляхом адекватного контролю мікроклімату для підвищення продовольчої безпеки.

Серед обмежених управлінських інструментів обприскування відіграє ключову роль у контролі охолодження навколишнього середовища в теплицях, особливо в місцях із спекотною та вологою погодою, де в теплицях можуть виникати екологічні негаразди. Наприклад, Wambale та ін. [13] провели огляд інтелектуальних стратегій моніторингу та контролю зрошення, спрямованих на підвищення ефективності використання води в точному землеробстві.

Тона та ін. [14] провели техніко-економічний аналіз обладнання для обприскування спеціальних культур і вказали, що закупівельна ціна зробить роботизовану платформу прибутковою. Системи обприскування, очевидно, є однією з ключових стратегій контролю навколишнього середовища для тепличного вирощування. Тим не менш, більшість попередніх досліджень,

пов'язані з розпиленням для охолодження навколишнього середовища, зосереджені в основному на ефектах охолодження, без урахування споживання ресурсів.

Для збереження ресурсів необхідно враховувати ефективність використання ресурсів розпиленням для охолодження середовища. Природа тепличного вирощування значною мірою залежить від контролю навколишнього середовища для стабілізації продуктивності сільськогосподарських культур. Точне прогнозування або моделювання внутрішнього середовища теплиці необхідне для оцінки стратегій контролю середовища для росту культур. Крім того, короткострокове прогнозування мікроклімату є складним, оскільки метеорологічні змінні тісно взаємопов'язані зі значеннями, які швидко змінюються під час різних подій.

ІСКМ була розроблена для автоматичної активації раннього обприскування для охолодження навколишнього середовища, споживаючи менше води та енергії.

Вона бездоганно інтегрує модель системної динаміки у поєднанні з моделлю оцінки фізичної динаміки (тобто, гідрометеорологічного процесу), моделлю прогнозування машинного навчання та механізмом розпилення.

Традиційна теплична система обприскування, заснована на фізичній моделі оцінки та механізмі розпилення в поєднанні з досвідом операторів, послужила еталоном для вивчення корисності та застосовності запропонованої система. Теплиця для томатів, сформувала тематичне дослідження, де набори даних на місці для використання в цьому дослідженні були зібрані пристроями Інтернету речей (IoT). Очікується, що система підвищить автоматизацію теплиць і підвищить ефективність використання ресурсів, що може прокласти шлях до скорочення викидів вуглецю та сприяння синергії водно-енергетичного, харчового та тепличного господарства.

У цій роботі для оптимізації пропонується водноцентрична ІСКМ, яка поєднує системну динаміку та методи машинного навчання для регулювання тепличного мікросередовища всередині навісу з покращеною ефективністю використання ресурсів.

Схема дослідження показана на рис 2.3.

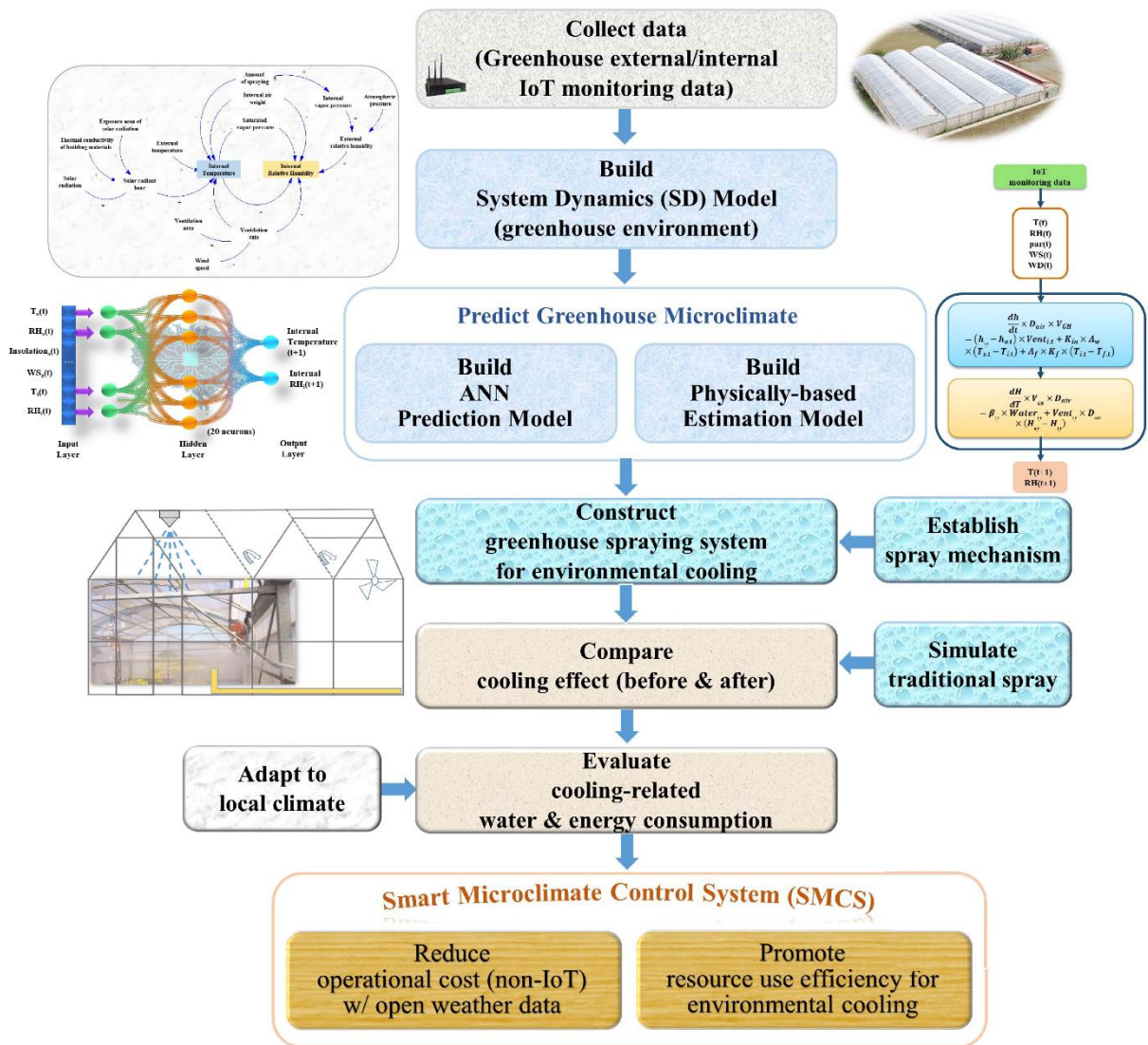


Рис. 2.3. Схема постановки досліджень

РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ МІКРОКЛІМАТУ

3.1 Системна динаміка та методи машинного навчання при реалізації системи

Спочатку було зібрано тривалі дані моніторингу давачів Інтернету речей досліджуваної теплиці. На основі даних IoT динамічна модель змоделювала мікроклімат теплиці всередині до та після обприскування для охолодження навколишнього середовища. Модель нейронної мережі зворотного поширення (BPNN) передбачила внутрішню температуру та відносну вологість теплиці на одну годину вперед, де початковими вхідними даними були дані IoT.

На основі результатів прогнозування було розроблено механізм розпилення, щоб визначити необхідність раннього розпилення для охолодження навколишнього середовища. Таким чином, було досліджено вплив розпилення на внутрішнє середовище та споживання ресурсів.

Далі порівнювали ефект розпилення між розробленою системою і традиційною системою обприскування теплиць (еталон), з основним акцентом на споживанні ресурсів обприскування для охолодження навколишнього середовища.

Зрештою, було проаналізовано потенціал ІСКМ для пом'якшення втрат сільського господарства з точки зору синергії водно-енергетичного та харчового зв'язку.

Розмір теплиці становить близько 52 м × 30 м × 6 м (довжина × ширина × висота), що свідчить про те, що площа теплиці становить близько 1560 м². Елементи моніторингу склалися з внутрішньої/зовнішньої температури, внутрішньої/зовнішньої відносної вологості, зовнішньої інсоляції, швидкості

та напрямку вітру (табл. 3.1). Це дослідження використовувало набори даних IoT лише для побудови моделі та оцінки.

Таблиця 3.1

Вимірювані показники для моделювання ІСКМ

Показник	Позначення	Одиниця вимірювання
Зовнішня температура	T_o	$^{\circ}\text{C}$
Зовнішня відносна вологість	RH_o	%
Зовнішня інсоляція	par_o	$\text{Вт}/\text{м}^2$
Швидкість вітру	WS	м/с
Напрямок вітру	WD	$^{\circ}$
Внутрішня температура	T_i	$^{\circ}\text{C}$
Внутрішня відносна вологість	RH_i	%

Динамічна система (ДС) для моделювання парникового середовища.

ДС — це набір процесно-орієнтованих методів дослідження, що спеціалізуються на причинно-наслідкових зв'язках між багатьма змінними та нелінійними системами високого порядку. Вона також спеціалізується на поясненні результатів поведінки системи через структурні причини, що стоять за поведінкою. ДС широко використовується для моделювання нелінійної поведінки складних систем з плином часу в різних сферах, включаючи управління теплицями, прогнозування та експериментування, сільське господарство на даху та взаємозв'язок вода–харчування–енергія [15,16].

У цьому дослідженні досліджувалися причинно-наслідкові зв'язки ДС для вирощування в теплицях, враховуючи ефект розпилення (рис. 3.1,а).

Структура моделі ДС у поєднанні з фізичною моделлю оцінки показана на рис. 3.1.

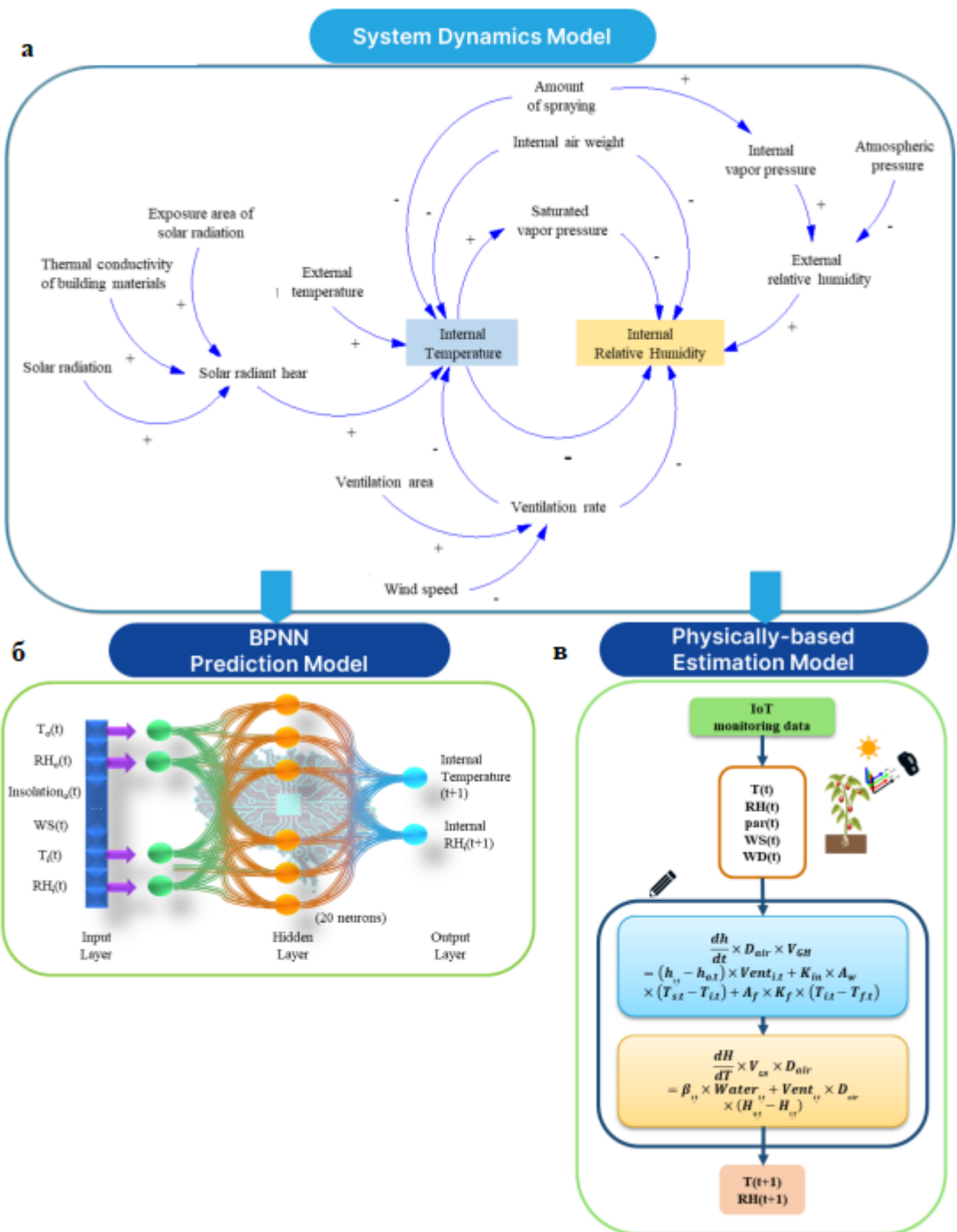


Рис. 3.1. Конструкція моделі запропонованої інтелектуальної системи контролю мікроклімату (ІСКМ) для тепличного вирощування з урахуванням ефекту розпилення: а - Модель ДС; б - Модель прогнозування BPNN; в - Фізична модель оцінки

Фізична модель була побудована на основі моделі ДС для оцінки внутрішньої температури теплиці та відносної вологості до та після обприскування.

ІСКМ було сконструйовано для зниження внутрішньої температури та збільшення внутрішньої відносної вологості шляхом підвищення парціального тиску водяної пари для досягнення ефекту охолодження та зволоження.

Формулювання внутрішньої відносної вологості теплиці.

Фізично заснована модель оцінки внутрішньої відносної вологості була побудована за рівняннями збереження маси та збереження енергії (3.1).

$$\frac{dH}{dt} \times V_{GH} \times D_{air} = \beta_{i,t} \times Water_{i,t} + Vent_{i,t} \times D_{air} \times (H_{o,t} - H_{i,t}) \quad (3.1)$$

де, dH/dt – швидкість зміни абсолютної вологості в приміщенні за період часу ($кг/м^3$ год);

$\beta_{i,t}$ – ефективність розпилення (%);

$Water_{i,t}$ – кількість розпилення (кг);

$Vent_{i,t}$ - внутрішня вентиляція (кг/год);

$H_{i,t}$ ($H_{o,t}$) - внутрішня (зовнішня) абсолютна вологість ($кг/м^3$);

V_{GH} - загальна місткість теплиці ($м^3$);

D_{air} - щільність повітря ($1,2$ $кг/м^3$).

$$H_{i,t} = 0.62198 \times \frac{RH_{i,t} \times esi_{i,t}}{(P_{atm} - RH_{i,t} \times esi_{i,t})} \quad (3.2)$$

$$H_{o,t} = 0.62198 \times \frac{RH_{o,t} \times esi_{o,t}}{(P_{atm} - RH_{o,t} \times esi_{o,t})} \quad (3.3)$$

де, $RH_{i,t}$ ($RH_{o,t}$) - внутрішня (зовнішня) відносна вологість (%);

$esi_{i,t}$ ($esi_{o,t}$) - внутрішній (зовнішній) тиск насиченої пари (кПа);

P_{atm} позначає атмосферний тиск (101 кПа).

$$esi_{i,t} = 0.6178 \times e^{\frac{17.2694 \times T_{i,t}}{(T_{i,t} + 237.3)}} \quad (3.4)$$

$$esi_{o,t} = 0.6178 \times e^{\frac{17.2694 \times T_{o,t}}{(T_{o,t} + 237.3)}} \quad (3.5)$$

де, $T_{i,t}$ ($T_{o,t}$) - внутрішня (зовнішня) температура ($^{\circ}\text{C}$).

$$\beta_{i,t} = 1.1906 - 0.09077 \times RH_{i,t} \quad (3.6)$$

$$Vent_{i,t} = C_{i,t} \times WS_t \times A_{GH} \quad (3.7)$$

де, $C_{i,t}$ – коефіцієнт використання вентиляції;

A_{GH} – площа вентиляції теплиці (m^2);

WS_t - швидкість вітру (м/год).

$$H_{i,t+1} = H_{i,t} + \frac{dH}{dt} \quad (3.8)$$

де, $H_{i,t+1}$ і $H_{i,t}$ позначають абсолютну вологість у приміщенні при $t+1$ і t (кг/м^3), відповідно.

$$ei_{i,t+1} = \frac{H_{i,t+1} \times P_{atm}}{H_{i,t+1} + 0.62198} \quad (3.9)$$

де, $ei_{i,t+1}$ - парціальний тиск водяної пари в приміщенні (кПа) при $t+1$.

Отже, внутрішню відносну вологість ($RH_{i,t+1}$) при $t+1$ можна розрахувати за рівнянням (10).

$$RH_{i,t+1} = \frac{ei_{i,t+1}}{esi_{i,t+1}} \quad (3.10)$$

Формулювання внутрішньої температури теплиці.

Внутрішню температуру також було побудовано за рівняннями збереження маси та збереження енергії.

$$\frac{dh}{dt} \times D_{\text{air}} \times V_{\text{GH}} = (h_{i,t} - h_{o,t}) \times \text{Vent}_{i,t} + K_{\text{in}} \times A_w \times (T_{s,t} - T_{i,t}) + A_f \times K_f \times (T_{i,t} - T_{f,t}) \quad (3.11)$$

де, dh/dt - швидкість зміни ентальпії в приміщенні за період часу (кДж/кг·год);

$h_{i,t}$ і $h_{o,t}$ - внутрішня та зовнішня ентальпії (кДж/кг) у повітрі при часі t відповідно;

$\text{Vent}_{i,t}$ позначає швидкість вентиляції (м³/год) при часі t ;

V_{GH} - загальна місткість теплиці (м³);

D_{air} - щільність повітря (1,2 кг/м³);

K_{in} - теплоконвекційний параметр матеріалу покриття в повітрі (6,4 Вт/м² °С);

A_w - площа матеріалу покриття (м²);

$T_{s,t}$, $T_{i,t}$ і $T_{f,t}$ - температура в приміщенні (°С) матеріалу покриття, температура в приміщенні (°С) і температура ґрунту в приміщенні (°С) при часі t відповідно;

A_f - загальна площа теплиці (м²);

K_f - параметр конвекції тепла земля-повітря в приміщенні (4,65 Вт/м² °С).

$$h_{i,t} = 1.006 \times T_{i,t} + H_{i,t} \times (2501 + 1.085 \times T_{i,t}) \quad (3.12)$$

де $H_{i,t}$ - абсолютна вологість у приміщенні (кг/м³) при часі t .

$$h_{o,t} = 1.006 \times T_{o,t} + H_{o,t} \times (2501 + 1.085 \times T_{o,t}) \quad (3.13)$$

де, $T_{o,t}$ - зовнішня температура (°С) при t ;

$H_{o,t}$ - зовнішня абсолютна вологість (кг/м³) при t .

$$T_{s,t} = T_{o,t} + a \times \left(\frac{Rn_{o,t}}{K_{out}} \right) \quad (3.14)$$

де, a — коефіцієнт сонячного поглинання на поверхні матеріалу (0,65%);

$Rn_{o,t}$ - зовнішнє сонячне випромінювання (Вт/м²) при часі t ;

K_{out} - теплопровідність на поверхні матеріалу (6,3 Вт /м² °С).

$$Rn_{o,t} = (1 - ref) \times par_{o,t} + Rn_{lon} \quad (3.15)$$

де, ref - коефіцієнт відбиття землі (0,2);

$par_{o,t}$ позначає зовнішню інсоляцію при часі t (Вт/м²);

Rn_{lon} - атмосферне довгохвильове випромінювання (343 Вт/м²).

$$T_{f,t} = T_{o,t} + \frac{Rn_{o,t} - B \times (T_{o,t} + 273.15)^4}{(4 \times B \times (T_{o,t} + 273.15)^3)} \quad (3.16)$$

де, B – постійна Больцмана.

Оскільки в цій роботі спрей розглядався як засіб зволоження та охолодження, було потрібно розрахувати внутрішнє тепло, що відходить через бризки.

$$Q_t = \beta_{i,t} \times Water_{i,t} \times H_{fg} \quad (3.17)$$

де, Q_t - тепло, що відходить через розпилення (кДж/год);

$\beta_{i,t}$ - ефективність розпилення в приміщенні (%) в часі t ;

$Water_{i,t}$ - кількість розпилення в приміщенні (кг/год) при часі t ;

H_{fg} - прихована теплота випаровування води (2256,6 кДж/кг).

$$dT = \frac{\frac{dh}{dt} \times V_{GH} \times D_{air} - Q_t}{4.186 \times C_p \times V_{GH} \times D_{air}} \quad (3.18)$$

де, dT - зміна температури в приміщенні за період часу (°С/год);

C_p - питома теплоємність повітря (1,0052 кДж/кг °С).

Отже, внутрішню температуру при $t+1$ можна отримати з рівняння (19). де $T_{i,t+1}$ і $T_{i,t}$ позначають температуру в приміщенні ($^{\circ}\text{C}$) при $t+1$ і t відповідно.

Деталі формулювання відносної вологості теплиці і внутрішньої температури можна знайти в Додатковому матеріалі.

Машинне навчання для прогнозування внутрішнього середовища теплиці.

Штучні нейронні мережі (ШНМ) у машинному навчанні — це сімейство методів обчислення, які імітують роботу та навчання нервової системи людини. ШНМ широко використовуються для вирішення різноманітних проблем навколишнього середовища, таких як прогнозування кількості опадів, прогнозування випаровування, прогнозування повеней, гідрологічний аналіз, аналіз екологічного середовища, оцінка якості повітря, автоматизація сільського господарства та контроль навколишнього середовища в теплиці.

BPNN є однією з найбільш широко використовуваних ШНМ. У цій роботі використано BPNN для прогнозування внутрішньої температури теплиці на одну годину вперед ($T_i(t + 1)$) і відносної вологості ($RH_i(t + 1)$) на основі поточної інформації про шість метеорологічних факторів, включаючи зовнішню температуру (T_o), зовнішню відносна вологість (RH_o), зовнішню інсоляція (pa_{go}) і швидкість вітру (WS), внутрішню температуру (T_i) і внутрішню відносну вологість (RH_i) (рис. 3.1, б).

Побудова моделі прогнозування BPNN базувалася на загальній кількості 1488 щогодинних даних IoT, де 64, 16 і 20% даних були перемішані та випадковим чином розподілені на етапах навчання, перевірки та тестування відповідно. Архітектура моделі BPNN, побудованої в цьому дослідженні, проілюстрована на рис. 3.1, б.

Налаштування параметрів моделі BPNN показано в таблиці 3.2, де кількість нейронів у прихованому положенні eg і розмір партії були визначені

як 20 і 64, відповідно, за допомогою процесів проб і помилок. Відповідні результати методом проб і помилок представлені в таблицях 3.3 і 3.4

Таблиця 3.1

Налаштування параметрів моделі BPNN.

Назва	BPNN
Кількість прихованих нейронів	10, 20, 40
Кількість епох	200
Рання зупинка	20
Розмір партії	8, 16, 32, 64
Швидкість навчання	0,001
Функція активації	Масштабована експоненціальна лінійна одиниця (SELU)
Оптимізатор	Адам

Таблиця 3.2

Результати методом проб і помилок кількості прихованих нейронів у моделі BPNN

Число прихованих нейронів	Температура		Вологість	
	R ²	RMSE	R ²	RMSE
10	0.80	1.61 °C	0.87	4.45%
20	0.82	1.55 °C	0.88	4.19%
40	0.81	2.42 °C	0.87	4.40%

Таблиця 3.3

Результати проб і помилок номера партії в моделі BPNN

Номер партії	Температура		Вологість	
	R ²	RMSE	R ²	RMSE
8	0.83	2.08 °C	0.88	4.28%
16	0.81	1.56 °C	0.87	4.53%
32	0.82	1.67 °C	0.88	4.35%
64	0.83	1.55 °C	0.88	4.19%

3.2 Оптимізація процесу розпилення для забезпечення мікрокліматичних показників.

На рис. 3.2 представлена блок-схема моделювання розпилення SMCS. Згідно з прогнозами на годину вперед ($t + 1$) внутрішньої температури та відносної вологості теплиці, отриманими з моделі BPNN, механізм розпилення з критеріями розпилення був розроблений для визначення часу розпилення, який вводиться наступним чином.

За даними Хуе при тепличному вирощуванні чиста швидкість фотосинтезу та кумулятивний фотосинтез листя томатів може бути значно покращений, коли внутрішня відносна вологість досягає 70%. Liou та ін. вказали, що утворення лікопіну в томатах буде знижено, якщо внутрішня температура теплиці перевищить 28 °C.

Тому в цій рообті вдалося активувати розпилювачі для охолодження навколишнього середовища за двох умов: коли внутрішня відносна вологість впала нижче 70%, і коли внутрішня відносна вологість і внутрішня температура перевищили 90% і 28 °C відповідно. Щоб уникнути надмірного споживання ресурсів, розпилювачі не будуть активовані, якщо внутрішня відносна вологість перевищує 90% або внутрішня температура падає нижче 25 °C. Крім того, увімкнення/вимкнення розпилювачів здійснюватиметься на основі прогнозованих значень внутрішньої відносної вологості та температури.

Таким чином, механізм розпилення активував би розпилювачі для охолодження навколишнього середовища за наявності двох критеріїв: (1) передбачена внутрішня відносна вологість на одну годину вперед буде менше ніж 70%, а прогнозована внутрішня температура на одну годину вперед буде вищою ніж 25 °C, і (2) передбачена внутрішня відносна вологість

на одну годину вперед буде менше 90%, а прогнозована внутрішня температура на одну годину буде вищою за 28 °С.

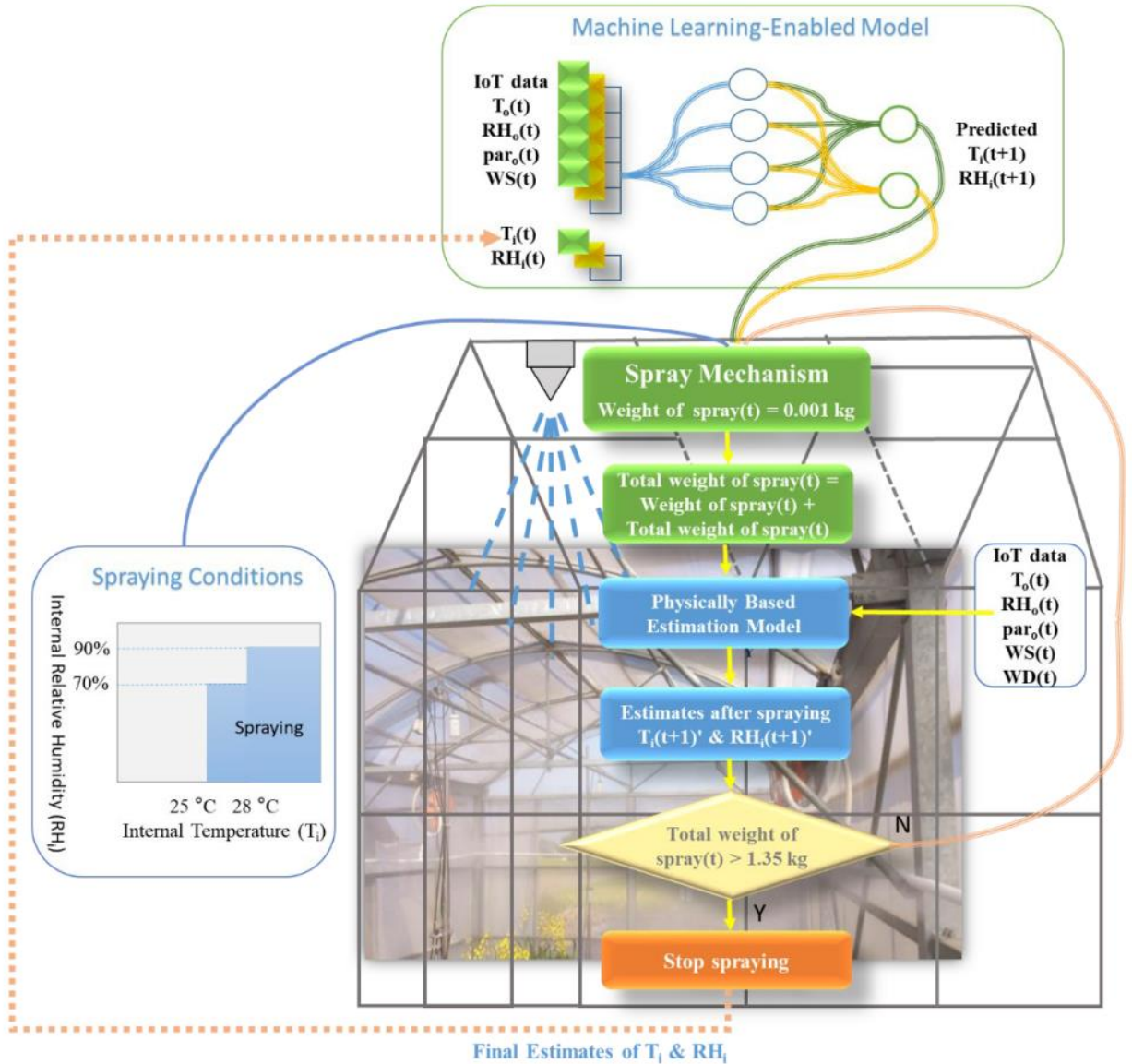


Рис. 3.2. Блок-схема симуляції розпилення SMCS, яка об'єднує модель SD, модель прогнозування BPNN, модель фізичної оцінки та механізм розпилення

Обприскування припинялося або тоді, коли внутрішня температура та відносна вологість відповідали умовам навколишнього середовища для росту

томатів, або коли загальна кількість розпилювача перевищувала максимальний об'єм обприскувача протягом однієї години (тобто 1,35 кг).

У випадку, якщо для охолодження навколишнього середовища не потрібне обприскування, прогнози внутрішньої температури та відносної вологості на одну годину вперед, отримані з моделі BPNN, надсилатимуться назад до системи та слугуватимуть початковими вхідними значеннями моделі BPNN при наступний часовий крок (помаранчева пунктирна лінія на рис. 3.2).

Якщо було виконано будь-який із вищезазначених критеріїв активації для розпилення, буде виконано розпилення 0,001 кг, що призведе до повторного розрахунку внутрішньої температури та відносної вологості після розпилення за допомогою моделі фізичного оцінювання.

Процес розпилення повторюватиметься до досягнення критеріїв зупинки. Слід зазначити, що розпилювач не буде активовано, якщо необхідна кількість розпилення буде меншою за його мінімальний об'єм розпилення (мінімальна тривалість розпилення \times швидкість розпилення).

Коли обприскування припиняється, остаточні оцінки внутрішньої температури та відносної вологості на одну годину вперед ($t + 1$), отримані з фізичної моделі, будуть передані назад у систему та слугуватимуть початковими вхідними значеннями моделі BPNN на наступному етапі. крок за часом (помаранчева пунктирна лінія на рис. 3.2).

Для досліджуваної теплиці та обприскувача, обраного для використання в цьому дослідженні, знадобиться три обприскувачі для покриття всієї тепличної ферми (1560 м²). Вага спрею кожного разу становитиме 0,001 кг на розпилювач, а загальна вага розпилення за годину становитиме 1,35 кг для трьох розпилювачів. Таким чином, контур керування буде оцінюватися зі швидкістю 8 с.

Щоб дослідити вплив розпилення SMCS на тепличне господарство, згаданий вище процес розпилення для охолодження навколишнього

середовища було реалізовано на всіх 1488 даних IoT, зібраних у цьому дослідженні.

Для порівняння була створена традиційна система обприскування в теплиці шляхом інтеграції моделі фізичної оцінки лише з механізмом розпилення, тоді як фізична модель відповідала за оцінку внутрішньої температури теплиці та відносної вологості на одну годину вперед до та після обприскування.

У цій роботі використовувалися середньоквадратична помилка (RMSE) і коефіцієнт детермінації (R^2) як статистичні показники для оцінки ефективності моделі. Їхні математичні формули відносяться до рівнянь (3.19) і (3.20).

Середньоквадратична помилка

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - o_i)^2} \quad (3.19)$$

Коефіцієнт детермінації

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})(o_i - \bar{o})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (o_i - \bar{o})^2}} \right]^2 \quad (3.20)$$

де, N — загальна кількість даних;

y_i — вихідне значення моделі;

o_i — значення спостереження;

\bar{y} і \bar{o} — середнє значення вихідного значення та значення спостереження, відповідно.

Згідно з визначенням двох індикаторів, очевидно, що модель вважається ефективною, якщо вона дає вище значення R^2 , але нижче значення RMSE, ніж порівняльна модель (моделі).

Робота ІСКМ складалася з чотирьох основних етапів: моделювання динаміки навколишнього середовища в теплиці з урахуванням ефекту

розпилення (за моделлю ДС), прогнозування внутрішньої температури та відносної вологості на одну годину вперед (за моделлю BPNN), визначити необхідність обприскування для охолодження навколишнього середовища (за допомогою механізму розпилення) та оцінити необхідну кількість обприскувача для управління мікрокліматом, придатним для росту томатів у найближчу годину (за фізичною моделлю). ІСКМ було застосовано до 1488 даних *in situ*, зібраних у теплиці

Таблиця 3.4 показує продуктивність моделі фізичної оцінки та моделі прогнозування BPNN щодо внутрішньої температури та відносної вологості теплиці на основі тестових наборів даних. Для моделі фізичного оцінювання значення R2 і RMSE внутрішньої температури становили 0,80 і 1,89 °C відповідно, тоді як значення внутрішньої відносної вологості становили 0,79 і 8,17% відповідно.

Результати демонструють точність і надійність фізичної моделі. Що стосується моделі прогнозування BPNN, її значення R2 і RMSE внутрішньої температури становили 0,83 і 1,37 °C відповідно, тоді як значення внутрішньої відносної вологості становили 0,88 і 3,9 % відповідно.

Таблиця 3.4.

Ефективність моделі фізичного оцінювання та моделі прогнозування BPNN з щодо внутрішньої температури теплиці та відносної вологості на основі тестових наборів даних.

Індикатори	Температура		Відносна вологість	
	Фізична модель	BPNN	Фізична модель	BPNN
R2	0.80	0.83	0.79	0.88
RMSE	1.89 °C	1.37 °C	8.17%	3.9%

Результати також демонструють точність і надійність моделі BPNN. Схоже, що модель BPNN перевершує фізичну модель з точки зору вищих значень R^2 і нижчих RMSE.

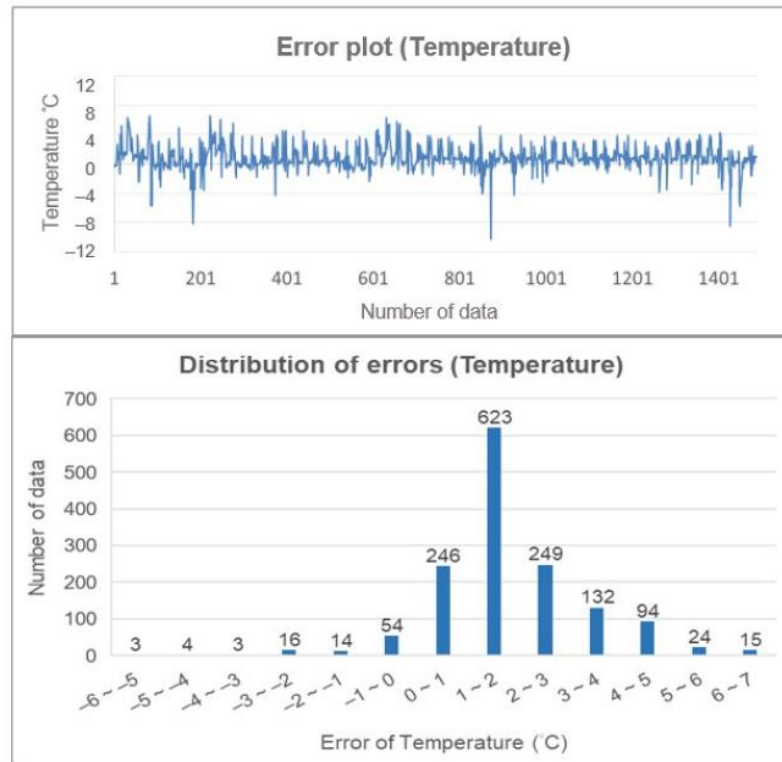
На рис. 3.3 і 3.4 показано похибки та розподіл похибок оцінок внутрішньої температури та відносної вологості, отриманих відповідно з фізичної моделі та моделі BPNN.

На обох графіках помилок додатні значення вказують на завищення, тоді як від'ємні значення вказують на недооцінку. Щодо фізичної моделі оцінки, на рис. 3.3а видно, що похибки внутрішньої температури здебільшого знаходяться в межах 1 і 2 °C (переоцінка), причому частота завищення (1098 разів) набагато вища, ніж недооцінка (387 разів). Згідно з рис. 3.3б, похибки у внутрішній відносній вологості здебільшого були зосереджені в межах -3% та -6% (занижені), причому частота заниження (787 разів) більша, ніж завищення (699 разів).

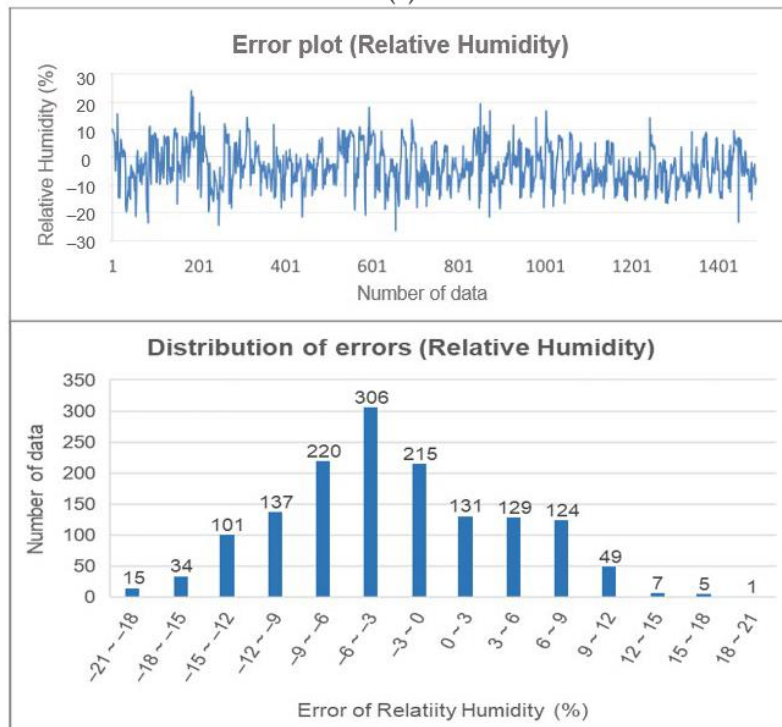
Що стосується моделі прогнозування BPNN, результати на рис. 3.4а вказують на те, що помилки внутрішньої температури в основному були в межах -1 і 0 °C (під прогнозом), де недопрогноз (1176 разів) траплявся частіше, ніж надмірний прогноз (302 рази). Згідно з рис. 3.5б, помилки у внутрішній відносній вологості були в основному зосереджені в межах -3% і 0%, де недопрогноз (959 разів) також траплявся частіше, ніж завищення (517 разів).

Також здається, що модель BPNN працює краща, ніж фізично заснована модель, з точки зору менших діапазонів помилок і розподілу помилок з центром на нуль.

Крім того, результати, наведені в таблиці 3.2 і на рис. 3.3 і 3.4, є досить послідовними, що показує, що загальна продуктивність моделі BPNN була трохи кращою, ніж у фізичної моделі. Це рекомендувало включити модель BPNN в SMCS для прогнозування внутрішньої температури та відносної вологості на одну годину вперед у цьому дослідженні.

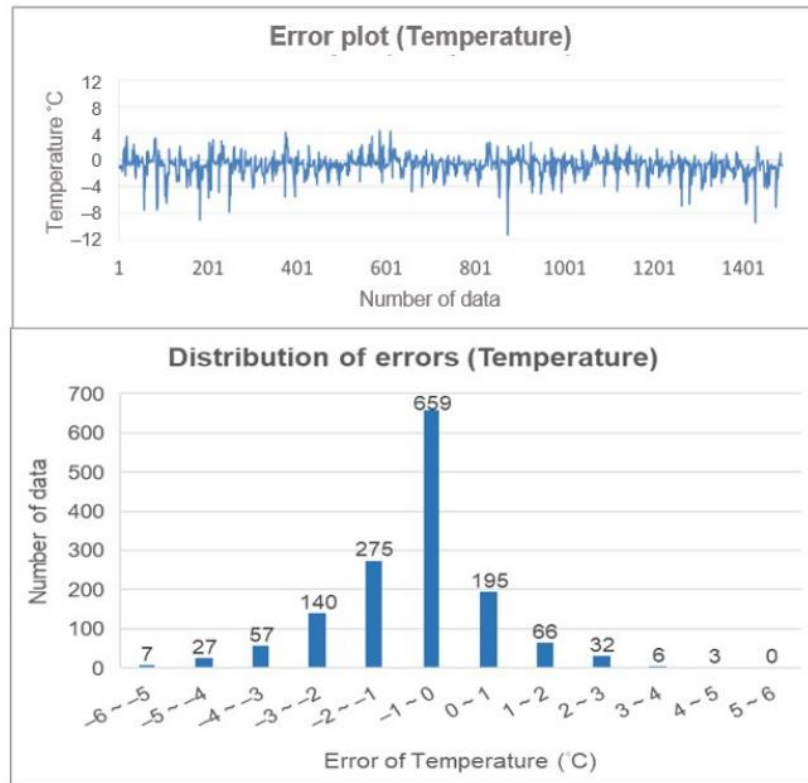


(a)

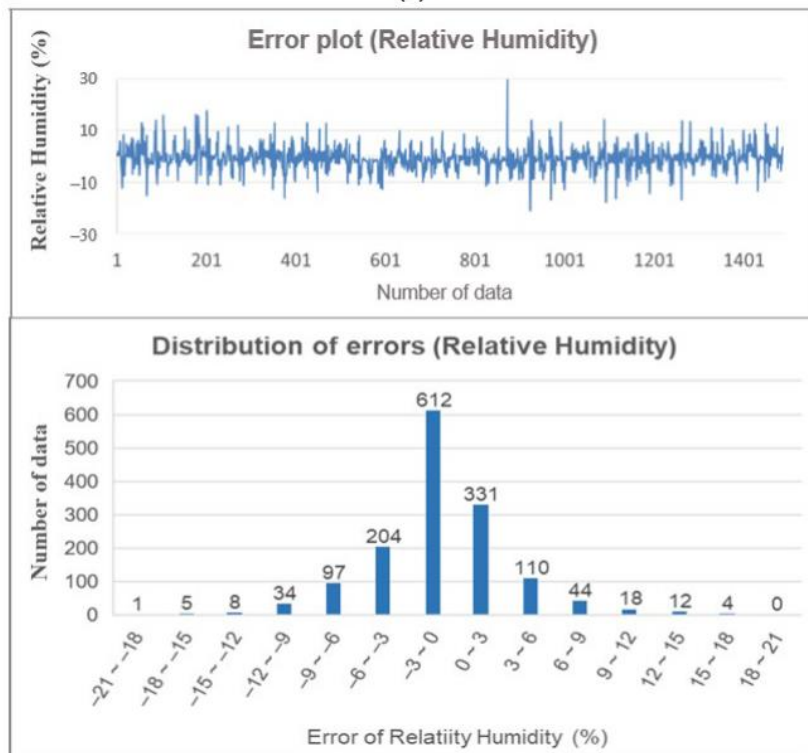


(b)

Рис. 3.3. Помилки та розподіл похибок оцінок тепличного мікроклімату з фізичної базової моделі: а - внутрішня температура, б - внутрішня відносна вологість



(a)



(б)

Рис. 3.4. Помилки та розподіл похибок прогнозів тепличного мікроклімату від BPNN моделі: а - внутрішня температур, б - внутрішня відносна вологість

Таблиці 3.5 і 3.6 показують результати внутрішньої температури та відносної вологості до та після обприскування за допомогою традиційної системи обприскування та запропонованої системи SMCS відповідно.

Таблиця 3.5.

Результати екологічного контролю теплиці за внутрішньою температурою та відотною вологістю до та після обприскування для охолодження середовища традиційною системою обприскування

Індикатори	Температура		Відносна вологість	
	До	Після	До	Після
Max	38.8 °C	28.1 °C	100%	100%
Min	23.8 °C	23.8 °C	37%	56%
Average	29.6 °C	27.0 °C	72%	86%
Standard deviation	3.6 °C	1.3 °C	16%	7%

Результати таблиці 3.5 показують, що середнє та стандартне відхилення внутрішньої температури після розпилення зменшилися на 2,6 та 2,3 °C відповідно.

Для внутрішньої відносної вологості після обприскування середнє значення зросло з 72% до 86%, тоді як стандартне відхилення впало з 16% до 7%.

Таблиця 3.6.

Результати екологічного контролю теплиці за внутрішньою температурою та відотною вологістю до та після обприскування для охолодження навколишнього середовища за допомогою системи

Індикатори	Температура		Відносна вологість	
	До	Після	До	Після
Max	34.3 °C	32.9 °C	91%	100%
Min	21.3 °C	22.1 °C	48%	69%
Average	28.0 °C	26.6 °C	74%	89%
Standard deviation	2.9 °C	1.5 °C	12%	4%

Результати таблиці 3.6 показують, що як середнє, так і стандартне відхилення внутрішньої температури після розпилення зменшилися на 1,4 °С. Для внутрішньої відносної вологості після обприскування середнє значення зросло з 74% до 89%, тоді як стандартне відхилення впало з 12% до 4%.

Ці результати демонструють, що ІСКМ може більш ефективно знижувати внутрішню температуру, одночасно збільшуючи внутрішню відносну вологість після обприскування, ніж традиційний, що підтверджує практичність запропонованого ІСКМ на тепличних фермах.

Стосовно використання ресурсів, пов'язаних із обприскуванням, для контролю навколишнього середовища в теплицях протягом усього досліджуваного періоду, споживання води можна отримати безпосередньо шляхом підсумовування кількості розпилення на кожному кроці часу, тоді як споживання електроенергії буде бути перераховано з кінських сил і загальної кількості годин роботи обприскувачів. Основними специфікаціями розпилювача є потужність 1,125 кВт, водопоглинання 0,15 кг/год і площа застосування від 400 до 600 м². Враховуючи, що теплиця, досліджена в цьому дослідженні, займає площу 1560 м², для покриття всієї тепличної ферми знадобиться три обприскувачі.

У таблиці 3.7 наведено порівняння традиційної та запропонованої систем керування щодо витрат ресурсу розпилення на охолодження середовища.

Перемикачі ввімкнення/вимкнення розпилювачів, пов'язаних із двома порівнюваними системами, дещо відрізнялися (736 разів для традиційної системи проти 726 разів для розумної системи). Таким чином, різницю між двома системами у споживанні електроенергії, що дозволяє вмикати/вимикати розпилювачі, можна ігнорувати. Згідно з цим припущенням, традиційна система споживала близько 129 478 кг води та 90 кВт-год електроенергії для контролю навколишнього середовища в теплиці протягом усього періоду вирощування томатів.

Таблиця 3.7.

Порівняння між традиційними та інтелектуальними системами контролю мікроклімату щодо споживання ресурсів обприскування для охолодження середовища.

Параметр	Вода (кг)	Електроенергія (кВт)	Число перемикачів
Традиційна система розпилення	129,478	90,0	736/1488
Розумна система розпилення	42,962	29,8	726/1488
Ресурсозберігаюча сума	86,516	60,2	10/-
Рівень ресурсозбереження	66,8%	66,8%	1,4%/-
Традиційна система розпилення	129,478	90,0	736/1488

Навпаки, ІСКМ спожила лише близько 42 962 кг води та 29,8 кВт-год електроенергії. Результати демонструють, що ІСКМ споживає набагато менше ресурсів для обприскування, ніж традиційна система, з показниками економії води та електроенергії, що досягають 66,8%.

Крім того, було помічено, що раннє обприскування для охолодження навколишнього середовища, запропоноване ІСКМ, дозволило вітру здути надлишок внутрішньої водяної пари на годину вперед, що призвело до зниження внутрішньої відносної вологості. Відомо, що ефективність розпилення обернено пропорційна внутрішній відносній вологості.

Тому кількість обприскування може бути зменшена за рахунок раннього обприскування.

Втрати сільського господарства, спричинені екстремальними погодними явищами, будуть значно зменшені на 22% (2000 (площа теплиці в

га)/9097 (загальна пошкоджена площа в га)). Крім того, ресурсозбереження води та енергії досягне 1 109 918 тонн ($=((86\,516\text{ кг}/1560\text{ м}^2) \times 10\,000) \times 2000\text{ га}/1000$) та 771 795 кВт/год ($=((60,2\text{ кВт}/1560\text{ м}^2) \times 10\,000) \times 2000\text{ га}$), відповідно (табл. 3.7).

Це свідчить про те, що інтелектуальна практика контролю мікроклімату в теплицях має високий потенціал для боротьби зі зміною клімату та може значно сприяти синергії зв'язку між водою, енергією та їжею, особливо під час екстремальних погодних явищ.

Запропонована ІСКМ робить два основні внески. По-перше, для підтримки середовища, придатного для росту сільськогосподарських культур, традиційна теплична система обприскування потребує датчиків моніторингу, таких як пристрої IoT для визначення внутрішньої температури або відносної вологості для вмикання/вимкнення розпилювачів.

Тим не менш, це може створити ризик невідповідного середовища для тепличного господарства між двома часовими кроками. Наприклад, робочий часовий інтервал у цьому дослідженні становив одну годину. Навіть якщо тепличне середовище відповідає умовам придатності для росту культур в поточну хвилину, воно може порушити умови придатності в наступну хвилину. Навпаки, ІСКМ може добре передбачити мікроклімат теплиці на наступну годину, таким чином обприскуючи заздалегідь, щоб запобігти невідповідному середовищу для росту культур.

Крім того, ІСКМ уникає використання датчиків IoT, оскільки додаткове обладнання та витрати на технічне обслуговування пристроїв моніторингу також лягають важким тягарем на власників теплиць. По-друге, ІСКМ споживає менше ресурсів води та енергії (електроенергії) під час розпилення для охолодження навколишнього середовища, ніж традиційний метод, що вказує на те, що ІСКМ може зменшити викиди парникових газів. Низьке споживання ресурсів також означає економічну ефективність і

відносно високі прибутки, що призводить до більшої комерційної цінності, яку можна досягти за допомогою ІСКМ.

Розроблена практика тепличного господарства може бути застосована до сільськогосподарських культур і територій, що представляють інтерес, з адекватною модифікацією придатності середовища для росту сільськогосподарських культур. Подібна методологія для розробки ІСКМ також може бути застосована до різних типів теплиць. У майбутніх дослідженнях можна розглянути можливість включення випаровуваності врожаю, вмісту вологи в ґрунті, поживних речовин і внесення добрив у ІСКМ, щоб підвищити точність прогнозування тепличного середовища та сприяти продуктивності та якості врожаю.

Вентиляція також є основним фактором контролю температури теплиці. У майбутніх дослідженнях вентиляція розглядатиметься шляхом включення факторів контролю теплиці (наприклад, світлове вікно, рулонні штори на кожній стіні та внутрішня сітка для затінку) у запропоновану інтелектуальну систему керування мікрокліматом (ІСКМ), орієнтовану на воду, для підвищення ефективності її роботи. та ефективність.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності. Умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам законодавства. Працівник має право відмовитися від дорученої роботи, якщо створилася виробнича ситуація, небезпечна для його життя чи здоров'я або для людей, які його оточують, або для виробничого середовища чи довкілля. Він зобов'язаний негайно повідомити про це безпосереднього керівника або роботодавця. Факт наявності такої ситуації за необхідності підтверджується спеціалістами з охорони праці підприємства за участю представника профспілки, членом якої він є, або уповноваженої працівниками особи з питань охорони праці (якщо професійна спілка на підприємстві не створювалася), а також страхового експерта з охорони праці. Завдання охорони праці – звести до мінімуму ушкодження та захворювання працівника з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці. Основними цілями охорони праці є формування в спеціалістів необхідних знань і практичних навичок по правових і організаційних питаннях охорони праці, виробничій санітарії, техніці безпеки, пожежній безпеці.

4.1. Загальна характеристика приміщення і робочого місця

Розробка системи керування виконується в приміщенні, яке знаходиться на четвертому поверсі восьмиповерхового будинку з загальним та місцевим освітленням. В приміщенні одностороннє освітлення, вікна орієнтовані на схід, на вікнах є ролети. Стеля білого кольору з коефіцієнтом відбиття 0,7, стіни цегляні світлого кольору з коефіцієнтом відбиття 0,5. В приміщенні працює 4 людини, відповідно до цього отримуємо вхідні дані для аналізу потенційно-небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Вхідні дані

Параметри приміщення	Значення
Площа	40,26 м ²
Об'єм	108,70 м ³
Номер робочого місця	Специфіка роботи
I робоче місце	Front-end програміст (спеціаліст з розробки клієнтської частини веб- застосунків)
II робоче місце	Back-end програміст (спеціаліст з розробки серверної частини веб застосунків та проектування баз даних)
III робоче місце	Бізнес-аналітик (також виконує роль менеджера продукту)
IV робоче місце	UI-UX веб-дизайнер
Технічні засоби (кількість)	Назва та характеристики
Монітор (4 шт.)	HP 22Xi/21,5"/1920x1080px/IPS
Комп'ютер (4 шт.)	HP ProBook 440 G6, екран 14" IPS (1920x1080) Full HD, Intel Core i7-8565U (1.8 - 4.6 ГГц)/RAM 16 ГБ/SSD 256 ГБ
Підлоговий кулер (1 шт.)	CRYSTAL YLR3-5V208
Кондиціонер (1 шт.)	DEKKER DSH105R/G/26м ² /2,65кВт-2,9кВт/25x74,5x19,5см/9 кг
Світильники загального призначення (3 шт.)	Світильник растровий вмонтований 4x18W
Світильники (4 шт.)	DeLux Décor TF-05 / 1 x 40Вт

Згідно НПАОП 0.00-7.15-18 площа S', виділена для одного робочого

місця з персональною ЕОМ, повинна бути не менше 6 м² і об'єм – не менше 20 м³. У приміщенні розташовано 4 робочі місця, що повністю відповідає необхідним нормам.

Розрахуємо фактичні значення цих показників, розділивши об'єм приміщення та загальну площу на кількість працюючих.

Отже, виходячи з отриманих результатів за характеристиками площі та об'єму, приміщення відповідає нормам.

Таблиця 4.2

Характеристики робочого місця

№	Найменування параметру	Значення	
		фактичне	нормативне
1.	Висота робочої поверхні, мм	780	680 – 800
2.	Ширина робочої поверхні, мм	1500	не менше 600
3.	Глибина робочої поверхні, мм	750	не менше 600
4.	Висота простору для ніг, мм	750	не менше 600
5.	Ширина простору для ніг, мм	800	не менше 500
6.	Глибина простору для ніг, мм	750	не менше 450
7.	Висота поверхні сидіння, мм	480	400 – 500
8.	Ширина сидіння, мм	500	не менше 400
9.	Глибина сидіння, мм	500	не менше 400
10.	Висота опорної поверхні спинки, мм	550	не менше 300
11.	Ширина поверхні спинки, мм	470	не менше 380
12.	Довжина підлокітників, мм	300	не менше 250
13.	Ширина підлокітників, мм	60	50 – 70
14.	Відстань від очей до екрану, мм	650	600 – 700

Можна зробити висновок, що розміри робочого місця програміста відповідають встановленим нормам, виходячи з заданих параметрів.

4.2. Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів на робочому місці

При створенні системи аналізу та візуалізації робота виконується сидячи без фізичних зусиль, тому відноситься до категорії легка Ia.

Під час роботи на працівника діє ряд небезпечних і шкідливих чинників, які наведені у табл. 4.3 та табл. 4.4.

Таблиця 4.3

Шкідливі чинники на робочому місці

Фізичні	Психофізіологічні
Підвищений рівень шуму	Розумове перенапруження
Підвищений рівень електромагнітного випромінювання	Монотонність праці
Підвищений рівень статичної електрики	Перенапруження аналізаторів
Недостатній рівень освітленості	
Неоптимальний мікроклімат	

Таблиця 4.4

Аналіз шкідливих факторів, пов'язаних з мікрокліматом

№	Шкідливий фактор	Наслідки
1	Відхилення вологості повітря від оптимальних параметрів	Тимчасове погіршення самопочуття і зниження працездатності, хвороби, роздратованість
2	Відхилення t від оптимальних параметрів	Відсутність теплового комфорту, тимчасове погіршення самопочуття і зниження працездатності, хвороби
3	Відхилення V руху повітря від оптимальних параметрів	Тимчасове погіршення самопочуття і зниження працездатності, хвороби

У таблиці 4.5 та 4.6 наведені нормативні та фактичні показники мікроклімату.

Таблиця 4.5

Мікроклімат в теплий період року

Параметр мікроклімату			
Найменування	Значення		
	Фактичне		Оптимальне
t, °C	21	21 – 23	18 – 27
w, %	55	60 – 40	до 75
V, м/с	0,2	0,3	0,4 – 0,2

Таблиця 4.6

Мікроклімат в холодний період року

Параметр мікроклімату			
Найменування	Значення		
	Фактичне		Оптимальне
t, °C	18	21 – 23	18 – 27
w, %	70	60 – 40	до 75
V, м/с	0,4	0,3	0,4 – 0,2

Заходи для запобігання встановлених мікрокліматичних порушень норм подані в таблиці 4.7.

Приміщення для роботи мають бути обладнані системами опалення, кондиціонування повітря або припливно-витяжною вентиляцією відповідно до ДБН В.2.5-67:2013. Нормовані параметри мікроклімату, іонного складу повітря, вмісту шкідливих речовин відповідають вимогам ДСН 3.3.6.042-99, ГН 2152-80, ГОСТ 12.1.005-88, ДСТУ ГОСТ 12.0.230:2008 та ДСТУ ГОСТ 12.4.041:2006. Під вентиляцією розуміють сукупність заходів та засобів, призначених для забезпечення на постійних місцях та зонах обслуговування приміщень метеорологічних умов та чистоти повітряного середовища, що відповідають гігієнічним та технічним вимогам. Основне завдання вентиляції – вилучити із приміщення забруднене, вологе або нагріте повітря та подати чисте свіже повітря.

Таблиця 4.7

Запобіжні заходи в теплий та холодний періоди року

№	Технічні	Організаційні	ЗІЗ
1	Контроль параметрів за допомогою анемометра Extech AN100; використання кондиціонеру DEKKER DSH105R/G (для кондиціонування і провітрювання)	відсутні	відсутні
2	Контроль параметрів за допомогою термометра La Crosse WS8005; використання кондиціонеру DEKKER DSH105R/G (для кондиціонування і провітрювання)	Перерви в роботі з метою провітрювання кімнати; вологе прибирання на робочих місцях	відсутні
3	Контроль параметрів за допомогою психрометра Т-04; використання зволожувача повітря ZELMER AH1500	Перерви в роботі з метою провітрювання кімнати; вологе прибирання на робочих місцях	відсутні

Джерелами шуму в приміщенні є вентилятор системного блоку, ноутбуку та кондиціонер (табл. 5.8). Звук, що створюється вентилятором та кондиціонером, можна класифікувати як постійний.

Таблиця 4.8

Джерела шуму

Джерело шуму	Фактичний рівень шуму, дБ	Оптимальний рівень шуму, дБ	Час роботи, год.
Кондиціонер DEKKER SH105R/G	22	< 50	8
Кулер комп'ютеру HP Probook 4530s	20		8

Наслідки шуму та вібрації подано у таблиці 4.9.

Таблиця 4.9

Шум і вібрація

Шкідливий фактор	Наслідки
Підвищений рівень шуму	Погіршення слуху, підвищення ймовірності виникнення помилки, зниження продуктивності роботи
Вібрації на робочому місці	Роздратування, зниження працездатності, погіршення самопочуття

Запобіжні заходи, які здійснюються для уникнення наслідків шкідливих факторів, наведено в табл. 4.10.

Таблиця 4.10

Запобіжні заходи

№	Технічні	Організаційні	ЗІЗ
1	Контроль параметрів за допомогою приладу для виміру шуму DT-8852; якісний монтаж окремих вузлів комп'ютера	Проведення планового попереджувального ремонту (чищення від пилу і інших забруднень)	Відсутні
2	Контроль параметрів за допомогою приладу для виміру вібрацій TV260; встановлення спеціальної підставки під ноутбук	Проведення планового попереджувального ремонту (чищення від пилу й інших забруднень)	Відсутні

Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 робота відноситься до розряду зорових робіт. Передбачається використання природного, штучного та змішаного освітлення. В табл. 4.11 наведені шкідливі фактори порушень норм яскравості світла.

Таблиця 4.11

Шкідливі фактори порушень норм яскравості світла

№	Шкідливий фактор	Наслідки
1	Недостатня освітленість робочої зони	Погіршення зору і самопочуття, втомлюваність, підвищення ризику здійснення помилки
2	Підвищена яскравість світла	здійснення помилки

У таблиці 4.12 відображено фактичні та оптимальні значення для

параметрів освітлення.

Таблиця 4.12

Параметри освітлення

Найменування	Значення	
	Фактичне	Оптимальне
При змішаному освітленні	450	400
При загальному освітленні	300	300
Коефіцієнт природного освітлення	1,23	1,2

Для уникнення наслідків неправильного освітлення вживаються такі запобіжні заходи (табл. 4.13):

Таблиця 4.13

Запобіжні заходи

№	Технічні	Організаційні	ЗІЗ
1	Контроль параметрів за допомогою люксметра DT-1308; використання нових світильників загального призначення ELSTEAD FINSBURY PARK FP6 POL NICKEL; урахування природного освітлення кімнати	Встановлення мінімального рівня освітлення; чищення скла вікон та світильників; заміна ламп, що перегоріли	Додаткове освітлення на робочих місцях (світильники DeLux Décor TF-05); окуляри для роботи з комп'ютером.
2	Контроль параметрів за допомогою люксметра DT-1308; використання регульованих пристроїв для відкривання вікон, а також жалюзі; використання світильників нового типу	Відсутні	Окуляри для роботи з комп'ютером.

ЕОМ є однофазним споживачем електроенергії, що живиться від змінного струму 220В від мережі із заземленою нейтраллю. IBM PC відноситься до електроустановок до 1000В закритого виконання, всі струмопровідні частини знаходяться в кожухах. За способом захисту людини від ураження електричним струмом, ЕОМ і периферійна техніка повинні

відповідати I класу захисту.

Технічні методи захисту від ураження струмом зводиться до застосування струму безпечної напруги, захисту у випадку випадкового доторкання до струмоведучих частин і від надмірних струмів, захисту у випадку переходу напруги на неструмоведучі металеві частини установки.

Безпечну напругу одержують від сітки підвищеної напруги (110-120 В) за допомогою знижувальних трансформаторів.

Захисту від доторкання до струмоведучих частин установки досягають за допомогою ізоляції, відгородження застосування блокуючих пристроїв запобіжної сигналізації та неприступності розташування установок.

Розподільні щитки поміщають у закриті металеві кожухи-ящики.

Запобіжну сигналізацію застосовують у вигляді плакатів і надписів. Найкращими світловими сигналізаціями є подвійні, яких при наявності напруги горить червона лампочка, а при її відсутності - зелена.

В табл. 4.14 наведені небезпечні фактори ураження людини електричним струмом.

Таблиця 4.14

Небезпечні фактори ураження людини електричним струмом

№	Шкідливий фактор	Наслідки	Заходи
1	Небезпечний рівень напруги струмопровідних частин обчислювальної та побутової техніки	Зростання ризику ураження електричним струмом	Релейний захист струму дотику, захисні заземлюючі корпуси. Попереджувальні знаки про рівень напруги.

Захист від надмірних струмів – короткого замикання і струмів перевантаження, які можуть спричинити займання ізоляції, здійснюється запобіжниками й автоматичними вимикачами, а захист від переходу напруги на струмоведучі частини за допомогою захисного заземлення і захисного

вимикання.

У таблиці 4.15 відображено фактичні та оптимальні значення для параметрів електропостачання.

Таблиця 4.15

Параметри електропостачання на робочому місці

Значення	Напруга, В	Частота, Гц	Тип розетки/вилки	Тип фази
Фактичне	220	50	F	Однофазна, трипровідна
Оптимальне	220	50	C, F	Однофазна, трипровідна

Вживаються такі запобіжні заходи для уникнення наслідків ураження людини електричним струмом (табл. 4.16):

Таблиця 4.16

Запобіжні заходи

№	Технічні	Організаційні	ЗІЗ
1	Релейний захист струму дотику, захисні заземлюючі корпуси	Проведення робіт з електричним обладнанням лише проінструктованим персоналом. Створення плану короткострокових відпочинків.	відсутні

Таблиця 4.17

Шкідливі фактори, пов'язані з пожежною безпекою

№	Шкідливий фактор	Наслідок
1	Коротке замикання, електротравми, пожежі, летальні наслідки	Коротке замикання, пожежі, електротравми, летальні наслідки
2	Коротке замикання	Електротравми, пожежі, летальні наслідки
3	Порушення протипожежного режиму	Електротравми, пожежі, летальні наслідки

Запобігання пожежі досягається виключенням утворення джерел

загорянь і горючого середовища. У таблиці 4.17 приведено шкідливі фактори.

В цьому приміщенні можливі пожежі таких класів: А – горіння твердих речовин, Е – горіння електроустановок під напругою. Для забезпечення цих категорій застосовуються заходи, що вказані в таблиці 4.18.

Таблиця 4.18

Запобіжні заходи

№	Технічні	Організаційні	ЗІЗ
1	Контроль параметрів за допомогою термометра La Crosse WS8005; використання кондиціонеру DEKKER DSH105R/G (для кондиціонування і провітрювання)	Розвантаження електровузлів після виконання роботи; ознайомлення з інструкціями по використанню електроприладів;	відсутні
2	Наявність вогнегасника порошкового типу ОП-5 та автоматичної системи "ГАРАНТ-Р" (ПО-2), узгоджений план евакуації	Ознайомлення з інструкціями по використанню протипожежних засобів; узгоджений план евакуації	відсутні
3	Наявність вогнегасника порошкового типу ОП-5 та автоматичної системи "ГАРАНТ-Р" (ПО-2), узгоджений план евакуації	Ознайомлення з інструкціями по використанню протипожежних засобів; узгоджений план евакуації	відсутні

ВИСНОВКИ

У цій роботі запропоновано інтелектуальну систему контролю мікроклімату (ІСКМ), для вирощувального господарства, яка має керувати мікрокліматом за допомогою ефективного розпилення для охолодження навколишнього середовища. ІСКМ може підтримувати стабільну врожайність у разі екстремальних погодних явищ. ІСКМ може визначити необхідність обприскування для охолодження навколишнього середовища відповідно до прогнозів внутрішньої температури та відносної вологості теплиці. Результати демонструють, що ІСКМ може досягти того ж ефекту контролю навколишнього середовища, як традиційний, споживаючи набагато менше ресурсів для обприскування, що змушує тепличне господарство рухатися до пом'якшення викидів вуглецю та сталого управління взаємозв'язком вода–енергія–харчування.

Модель BPNN може прогнозувати параметри мікроклімату на основі зовнішніх кліматичних умов з меншою кількістю води та енергії. Після створення моделі BPNN ця науково обґрунтована практика управління не потребує давачів моніторингу на місці, що сприятливо зменшує інвестиції власників вирощувальних об'єктів у контроль навколишнього середовища.

Фізично заснована модель із залученням внутрішнього гідрометеорологічного процесу може забезпечити задовільну точність і надійність в оцінці тепличного мікроклімату, незважаючи на те, що вона працює трохи гірше, ніж модель прогнозування BPNN.

ІСКМ може заощадити до 66,8% води та енергії порівняно з традиційним методом. Таким чином, ІСКМ отримує більшу комерційну цінність, ніж традиційний метод, оскільки низьке споживання ресурсів означає низьку вартість виробництва та відносно високі прибутки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Remote monitoring system of greenhouse environment based on LabVIEW. URL : https://www.researchgate.net/publication/241171084_Remote_monitoring_system_of_greenhouse_environment_based_on_LabVIEW (дата звернення : 18.10.2023).
2. Climate control software integration with a greenhouse environmental control computer. URL : https://www.researchgate.net/publication/222578955_Climate_control_software_integration_with_a_greenhouse_environmental_control_computer (дата звернення : 18.10.2023).
3. Design of intelligent greenhouse environment monitoring system based on ZigBee and embedded technology. URL : <https://ieeexplore.ieee.org/document/7029857> (дата звернення : 18.10.2023).
4. ZHENG, X., et al., Temperature and Humidity Monitoring System for Flower Greenhouse Based on IOT Technology. Automation & Instrumentation, 2014. No.6. - p. 8.
5. An Automation System Design for Greenhouses by Using DIY platforms. URL : https://www.researchgate.net/publication/291294812_An_Automation_System_Design_for_Greenhouses_by_Using_DIY_platforms (дата звернення : 19.10.2023).
6. Climatic and Temperature Requirement of Tomato. URL : <https://en.wikipedia.org/wiki/Tomato> (дата звернення : 19.10.2023).
7. Climatic requirements for effective tomato growing. URL : <https://www.starkeyayres.com/news/climatic-requirements-for-effective-tomato-growing> (дата звернення : 19.10.2023).
8. Respiration and growth of tomato fruit. URL : https://www.researchgate.net/publication/230056247_Respiration_and_growth_of_tomato_fruit (дата звернення : 19.10.2023).

9. Wet-Bulb Temperature from Relative Humidity and Air Temperature. URL : https://www.researchgate.net/publication/258495647_Wet-Bulb_Temperature_from_Relative_Humidity_and_Air_Temperature (дата звернення : 20.10.2023).
10. Mitigation of Climate Change for Urban Agriculture: Water Management of Culinary Herbs Grown in an Extensive Green Roof Environment. URL : www.mdpi.com/2225-1154/10/11/180 (дата звернення : 20.10.2023).
11. Adapting Agricultural Production Systems to Climate Change—What’s the Use of Models? URL : www.mdpi.com/2077-0472/7/10/86 (дата звернення : 20.10.2023).
12. Cherry Tomato Production in Intelligent Greenhouses—Sensors and AI for Control of Climate, Irrigation, Crop Yield, and Quality. URL : www.mdpi.com/1424-8220/20/22/6430 (дата звернення : 20.10.2023).
13. Smart irrigation monitoring and control strategies for improving water use efficiency in precision agriculture: A review. URL : www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377421006016?via%3Dihub (дата звернення : 19.10.2023).
14. The profitability of precision spraying on specialty crops: a technical–economic analysis of protection equipment at increasing technological levels. URL : link.springer.com/article/10.1007/s11119-017-9543-4 (дата звернення : 19.10.2023).
15. Amadei, B. A Systems Approach to Modeling the Water-Energy-Land-Food Nexus. System Dynamics MODELING and dynamic Scenario Planning, 1st ed. Momentum Press: New York, NY, USA, 2019 Volume I, II. URL : www.amazon.com/Systems-Approach-Modeling-Water-Energy-Land-Food-Nexus/dp/1947083546 (дата звернення : 19.10.2023).
16. Gary I.E., Grigg N., Reagan W. Dynamic behavior of the water-food-energy nexus: Focus on crop production and consumption. *Irrig. Drain*, 2017. 66, p. 19–33.

17. Введення в компютерну графіку та дизайн: Навчальний посібник для студентів спеціальності 174 "Автоматизація, компютерно-інтегровані технології та робототехніка"/Укладачі: О.В. Тотосько, П.Д. Стухляк, А.Г. Микитишин, В.В. Левицький, Р.З. Золотий - Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023. – 304 с. URL : <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/41166>
18. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с. URL : <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995>.
19. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 1. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-8052 від 28.05.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2013. – 256 с.
20. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-11650 від 16.07.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2014. – 312 с.
21. Микитишин А.Г., Митник, П.Д. Стухляк. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем: навчальний посібник – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. – 256 с.
22. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. Телекомунікаційні системи та мережі : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 384 с.
23. Лупенко С.А., Луцик Н.С., Луцків А.М., Осухівська Г.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для студентів спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» другого (магістерського) рівня вищої освіти усіх форм навчання. Тернопіль, ТНТУ. 2021. 34 с.

24. Осухівська Г. М., Тиш Є. В., Луцик Н. С., Паламар А. М. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційних робіт здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль, ТНТУ. 2022. 28 с.
25. Паламар М.І., Стрембіцький М.О., Паламар А.М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів. Навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ. 2019. 150 с.
26. Лупенко С. А., Пасічник В. В., Тиш Є. В. Комп'ютерна логіка. Львів: Видавництво «Магнолія - 2006». 2015. 354 с.
27. Оконський М.В., Лупенко С.А., Паламар А.М. Комп'ютерна система для моніторингу метеорологічних параметрів на основі IoT. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей X міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 24–25 листопада 2021 року), Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 112.
28. Романов Д.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М. Система управління зовнішнім освітленням на основі Інтернету речей. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей X міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 24-25 листопада 2021 року), Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 120.
29. Ларіоник Р.В., Луцик Н.С., Паламар А.М. Система для моніторингу якості атмосферного повітря на базі IoT. Матеріали ІХ науково-технічної конференції "Інформаційні моделі, системи та технології" Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 8–9 грудня 2021 року), Тернопіль: ТНТУ. 2021. С. 116.
30. Оконський М.В., Лупенко С.А., Паламар А.М. Інформаційно-вимірювальна система для контролю метеорологічних параметрів на основі Інтернету речей. Матеріали ІХ науково-технічної конференції "Інформаційні моделі, системи та технології" Тернопільського національного технічного

університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 8–9 грудня 2021 року), Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 118.

31. Романов Д.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М. Функціональна схема системи керування зовнішнім освітленням на основі технології LoRa. Матеріали ІХ науково-технічної конференції "Інформаційні моделі, системи та технології" Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 8–9 грудня 2021 року), Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 124.

32. Паламар А., Величко Д. Система моніторингу якості повітря в приміщеннях. Матеріали V Міжнародної студентської науково-технічної конференції "Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання" (Тернопіль, 28-29 квітня 2022 року), Тернопіль: ТНТУ. 2022. С. 138.

33. Паламар А.М., Гук Ю.А. Комп'ютерна система для визначення інтенсивності руху автомобільного транспорту. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей XI міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 7-8 грудня 2022 року), Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. С. 147.

34. Купратий І.Г., Паламар А.М. Комп'ютерна система для дистанційного моніторингу стану здоров'я пацієнтів. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей XI міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 7-8 грудня 2022 року), Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. С. 142.

35. Ясінський Р.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Величко Д.В. Комп'ютерна система для контролю параметрів мікроклімату теплиць на основі інтернету речей. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей XI міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 7-8 грудня 2022 року), Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. С. 177.

36. Гук Ю.А., Паламар А.М. Метод адаптивного регулювання дорожнього руху на перехресті на основі інтернету речей. Матеріали X науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 7-8 грудня 2022 року), Тернопіль: ТНТУ. 2022, С. 74.
37. Паламар А.М., Купратий І.Г. Система для дистанційного моніторингу стану здоров'я пацієнтів на основі інтернету медичних речей. Матеріали X науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 7-8 грудня 2022 року), Тернопіль: ТНТУ, 2022. С. 85.
38. Ясінський Р.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М. Апаратно-програмна система для регулювання мікроклімату теплиць. Матеріали X науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 7-8 грудня 2022 року), Тернопіль: ТНТУ, 2022. С. 102.

Додаток А

Тези конференцій

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**

МАТЕРІАЛИ

XI НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

**«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**



13-14 грудня 2023 року

**ТЕРНОПІЛЬ
2023**

Т.І. Лесшин МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ЗАХИСТУ СИСТЕМИ “РОЗУМНИЙ ДІМ” T.I. Lesyshyn METHODS AND MEANS OF INFORMATION PROTECTION OF THE “SMART HOME” SYSTEM	75
Б. М. Липа ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ DDOS АТАК В КОРПОРАТИВНИХ МЕРЕЖАХ B. M. Lypa USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR DETECTING DDOS ATTACKS IN CORPORATE NETWORKS	76
С.В. Литвиненко, к.т.н., доц.; М.Є. Фриз МЕТОДИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ПРИ ФОРМУВАННІ ЦІЛЬОВОЇ РЕКЛАМИ S.V. Lytyunenko, Ph.D., Assoc. Prof.; M.E. Friz METHODS OF MACHINE LEARNING IN THE FORMATION OF TARGETED ADVERTISING	78
Микола Лялик АНАЛІЗ АРХІТЕКТУРИ БЕЗПРОВІДНИХ ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖ Mykola Lyalik ANALYSIS OF THE ARCHITECTURE OF WIRELESS LOCAL NETWORKS	79
С. Маркопольський, А. Гриньків, В. Вітенко, Р. Клімук ВИЯВЛЕННЯ АКАДЕМІЧНОЇ НЕДОБРОЧЕСНОСТІ ПІД ЧАС ОНЛАЙН-КОНТРОЛЮ ЗАСОБАМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ S. Markopolskyi, A. Hrynkiw, V. Vitenko, R. Klimuk ACADEMIC DISHONESTY DETECTION DURING ONLINE CONTROL USING MACHINE LEARNING TOOLS	81
А.М. Мельник, С.А. Сверстюк ОГЛЯД КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМИ У ФАРМАЦІЇ A.M. Melnyk, S.A. Sverstiuk OVERVIEW OF CYBER-PHYSICAL SYSTEMS IN PHARMACY	82
А.А. Микитишин, Т.А. Лечаченко АНАЛІЗ МЕТОДИК ВИЯВЛЕННЯ ВТОРГНЕНЬ У СИСТЕМАХ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ A. A. Mykytyshyn, T. A. Lechachenko ANALYSIS OF INTRUSION DETECTION METHODS IN INFORMATION SECURITY SYSTEMS	83
А.Г. Микитишин, Г.М. Осухівська ІОТ СИСТЕМА ДЛЯ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ВИРОЩУВАЛЬНИХ СИСТЕМ A. H. Mykytyshyn, H. M. Osukhivska IoT SYSTEM FOR CONTROLLING THE MICROCLIMATE OF GROWING SYSTEMS	84
О. Назарук СТВОРЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА БЕЗПЕКИ WEB- СЕРВЕРІВ O. Nazaruk CREATION SOFTWARE OF WEB SERVER SECURITY ANALYSIS	86
В.В. Никитюк, А.К. Карнаухов, Н.Л. Мацюк ЗАСОБИ ОПТИМАЛЬНОЇ ОЦІНКИ БІОМЕТРИЧНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВІЗЕРУНКА ПАЛЬЦІВ V.V. Nykytyuk, A.K. Karnaukhov, N.L. Matsuk MEANS OF OPTIMAL ASSESSMENT OF BIOMETRIC RECOGNITION OF INDIVIDUAL FEATURES OF THE PATTERN OF FINGERS	88

УДК 004

А.Г. Микитишин, канд. техн. наук, доц., Г.М. Осухівська, канд. техн. наук, доц.
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ІОТ СИСТЕМА ДЛЯ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ВИРОЩУВАЛЬНИХ СИСТЕМ

А. Н. Mykytyshyn, Ph.D., Assoc. Prof., H. M. Osukhivska, Ph.D., Assoc. Prof.
IoT SYSTEM FOR CONTROLLING THE MICROCLIMATE OF GROWING SYSTEMS

Продуктивність сільського господарства завжди стикалася з такими проблемами, як невідповідне середовище для вирощування; неефективність масштабів сільськогосподарського виробництва; обмежена якість людських ресурсів в управлінні землею та моделями сільськогосподарського обробітку, які важко змінити, оскільки вони притаманні з року в рік. Фермери завжди дотримуються звичайних моделей посіву; а саме модель, яка орієнтована на врожайність шляхом ігнорування найновіших технологій у сільському господарстві, які можна використовувати для належного планування, моніторингу та управління їхніми сільськогосподарськими землями.

Управління та аналіз даних IoT можна використовувати для автоматизації процесів, прогнозування ситуацій і вдосконалення багатьох видів діяльності в реальному часі. Крім того, концепція сумісності між різнорідними пристроями надихає на розробку відповідних інструментів, за допомогою яких можна створювати нові програми та служби, додаючи цінність згенерованим потокам даних на межі мережі.

Розумна теплиця або її часто називають прецизійною теплицею – це будівля, яка була оснащена сучасними технологіями з метою збільшення кількості та якості сільськогосподарської продукції.

Розумна теплиця на основі Інтернету речей робить управління вирощуванням сільськогосподарської продукції більш контрольованим і точним.

У цьому дослідженні використовувалися інструменти у вигляді апаратного та програмного забезпечення для побудови системи моніторингу мікроклімату. Використаним апаратним забезпеченням був мікрокомп'ютер Raspberry Pi 3 версії B+, який використовувався для регулювання умов мікроклімату в теплиці за допомогою системи охолодження на основі туману. Пристрій також використовувався для зберігання даних моніторингу мікроклімату та відображення веб-інформації про мікроклімат. Для визначення зміни температури та відносної вологості повітря в теплиці використовувався датчик мікроклімату SHT11. Цей датчик був цифрового типу, тому отримане значення було в градусах Цельсія. Датчик GUVА-S12D (аналоговий тип) використовувався для виявлення зміни показника інтенсивності сонячного світла в теплиці. Для створення системи туманоутворення використовувався випромінювач для розпилення води (розмір частинок якої 3 мікрони) в теплицю. Крім того, для забору води з водосховища в теплицю використовувався водяний насос низького тиску.

Для вимикання та ввімкнення насоса використовувалося реле, підключене до Raspberry Pi. Якби умови мікроклімату в теплиці виходили за встановлені значення, Raspberry Pi спрацював би реле і вмикав насос. Навпаки, якби умови мікроклімату були в межах встановлених значень, Raspberry Pi спрацював би реле, щоб вимкнути насос. Програмним забезпеченням, використаним у цьому дослідженні, була операційна система Raspbian для запуску Raspberry Pi. Мова програмування Python 3 була використана для отримання даних мікроклімату з датчиків і зберігання даних мікроклімату в базі даних MariaDB. База даних MariaDB — це система зберігання даних, яка підтримує доступність через Python 3 і PHP. Хоча PHP сам по собі є мовою програмування, яка використовується для створення веб-сайтів на основі даних, що