

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

*магістр*

(назва освітнього ступеня)

а тему: Методи та засоби вимірювання і регулювання параметрів мікроклімату  
міні-теплиці з технологією віддаленого доступу

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи СІМ-62

спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Панчишин Я.Б.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Тим С.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Боднарчук І.О.

(прізвище та ініціали)

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)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Осухівська Г.М.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Панчущину Ярославу Богдановичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Методи та засоби вимірювання і регулювання параметрів мікроклімату міні-теплиці з технологією віддаленого доступу.

Керівник роботи Осухівська Галина Михайлівна, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 01 » грудня 2023 року № 4/7 - 1132

2. Термін подання студентом завершеної роботи 26.12.2023

3. Вихідні дані до роботи Документація до давачів, методи прогнозування часових рядів, принципи та особливості систем контролю параметрів мікроклімату міні-теплиці.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Огляд досліджень та сучасних технологій контролю параметрів мікроклімату міні-теплиць.

2. Обґрунтування вибраних методів вимірювання та регулювання параметрів мікроклімату в міні-теплиці.

3. Застосування засобів та методів для контролю параметрів мікроклімату міні-теплиці.

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Актуальність, мета та задачі дослідження.

2. Об'єкт та предмет дослідження, наукова новизна.

3. Структурна схема.

4. Схема електрична принципова.

5-6. Блок-схема алгоритму роботи системи.

7. Результати роботи системи.

8. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>Осухівська Г.М., доцент</i>		
	<i>Стадник І.Я., професор</i>		

7. Дата видачі завдання 20.11.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналіз досліджень у галузі вимірювання та регулювання параметрів мікроклімату міні-теплиці</i>	<i>28.11.2023</i>	<i>Виконано</i>
2	<i>Обґрунтування методів вимірювання та прогнозування параметрів мікроклімату міні-теплиці</i>	<i>03.12.2023</i>	<i>Виконано</i>
3	<i>Розробка апаратного та програмного забезпечення системи контролю параметрів мікроклімату міні-теплиці</i>	<i>10.12.2023</i>	<i>Виконано</i>
4	<i>Опис питань з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>13.12.2023</i>	<i>Виконано</i>
5	<i>Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу</i>	<i>18.12.2023</i>	<i>Виконано</i>
6	<i>Подання кваліфікаційної роботи до попереднього захисту</i>	<i>26.12.2023</i>	<i>Виконано</i>
7	<i>Захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>28.12.2023</i>	<i>Виконано</i>

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Панчишин Я.Б.*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Осухівська Г.М.*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Методи та засоби вимірювання і регулювання параметрів мікроклімату міні-теплиці з технологією віддаленого доступу // Кваліфікаційна робота магістра // Панчишин Ярослав Богданович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних систем та мереж, група СІм-62 // Тернопіль, 2023 // с. – 69, рис. – 40, табл. – 2, аркушів А1 – 8, додат. – 2, бібліогр. – 25.

Ключові слова: мікроконтролер, міні-теплиця, мікроклімат, чат-бот, прогнозування.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є дослідження методів прогнозування та засобів для вимірювання і регулювання параметрів мікроклімату в міні-теплиці.

Проведено розгляд технологічних процесів та сучасних способів керування мікрокліматом міні-теплиць. Проаналізовано публікації та існуючі системи контролю параметрів мікроклімату.

Описано методи моніторингу та прогнозування мікроклімату, синтезовано структурну схему та електричну принципову розроблюваного пристрою. Розроблено програмне забезпечення для проектованої системи.

Запропонований метод прогнозування параметрів мікроклімату дає змогу підвищити якість сільськогосподарських культур, що вирощуються в міні-теплицях.

## ANNOTATION

Methods and tools for measuring and regulating microclimate parameters in a mini-greenhouse with remote access technology // Master's graduation thesis // Panchyshyn Yaroslav // Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Faculty of Computer Information System and Software Engineering, Department of Computer Systems and Networks, group CIm-62 // Ternopil, 2023 // p. – 69, fig. – 40, tabl. – 2, sheets A1 – 8, addit. – 2, bibliography – 25.

Keywords: microcontroller, mini-greenhouse, microclimate, chatbot, forecasting.

The purpose of the master's qualification work is to research forecasting methods and tools for measuring and regulating microclimate parameters in a mini-greenhouse.

Technological processes and modern ways of managing the microclimate of greenhouses are considered. The publications and existing microclimate parameter control systems were analyzed.

Microclimate monitoring and forecasting methods were described, the structural diagram and electrical principle scheme of the developed device were synthesized. The software of the developed system was created.

The proposed method of forecasting microclimate parameters makes it possible to improve the quality of agricultural crops grown in mini-greenhouses.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ.....	7
ВСТУП .....	8
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ ТА СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ МІНІ-ТЕПЛИЦЬ.....	11
1.1. Аналіз галузі використання міні-теплиць.....	11
1.2. Технологічні процеси та розумне управління в сучасних міні-теплицях	18
1.3. Системи контролю параметрів мікроклімату в міні-теплицях .....	20
1.4. Висновки до розділу 1 .....	23
РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБРАНИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ В МІНІ-ТЕПЛИЦІ .....	24
2.1. Методики вимірювання параметрів мікроклімату міні-теплиці.....	24
2.2. Методи прогнозування параметрів мікроклімату міні-теплиці .....	31
2.3. Передача даних.....	33
2.4. Метод обміну даними між клієнтом та сервером за допомогою протоколу MQProto .....	36
2.5. Зберігання даних про параметри мікроклімату міні-теплиці.....	37
2.6. Архітектура системи контролю параметрів мікроклімату міні-теплиці..	38
2.7. Алгоритм роботи .....	40
2.8. Висновки до розділу 2 .....	43
РОЗДІЛ 3 РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАСОБІВ ТА МЕТОДІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ МІНІ-ТЕПЛИЦІ.....	44
3.1. Розробка схеми електричної принципової для системи контролю параметрів мікроклімату міні-теплиці.....	44
3.2. Програмне забезпечення для контролю та прогнозування параметрів мікроклімату міні-теплиці.....	46
3.3. Результати роботи системи контролю та прогнозування параметрів мікроклімату міні-теплиці.....	55
3.4. Висновки до розділу 3 .....	58

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	59
4.1. Охорона праці.....	59
4.2. Безпека життєдіяльності.....	62
4.3. Висновки до розділу 4 .....	64
ВИСНОВКИ.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66
Додаток А Тези конференцій.....	69
Додаток Б Перелік елементів схеми електричної принципової.....	74

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ

- АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
- ККД – коефіцієнт корисної дії;
- КЛЛ – компактна люмінесцентна лампа;
- ПЗ – програмне забезпечення;
- ТП – технологічний процес;
- API (англ. application programming interface) – інтерфейс прикладного програмування;
- IoT (англ. Internet of Things) – Інтернет речей;
- LDR (англ. light-dependent resistor) – фоторезистор;
- LED (англ. light-emitting diode) – світлодіод;
- MCU (англ. microcontroller unit) – мікроконтролер;
- NTC (англ. negative temperature coefficient) – негативний температурний коефіцієнт опору;
- OTP (англ. one-time programmable) – одноразово програмована;
- WSN (англ. wireless sensor network) – бездротова сенсорна мережа.



## ВСТУП

**Актуальність теми.** За останнє десятиліття технології комп'ютеризації стали популярною тенденцією, яка допомогла підвищити ефективність роботи в багатьох галузях промисловості, включаючи сектори сільського господарства. Проте сучасні дослідження комп'ютеризованих тепличних систем в основному зосереджені на проектах промислового масштабу. Тому умови роботи системи поливу, вентиляції, джерела штучного світла та обігріву вимагають додаткових досліджень, щоб адаптувати такі технології до міні-теплиці.

Сучасні системи контролю параметрів мікроклімату в міні-теплиці характеризуються високою вартістю та надмірною витратою енергоресурсів [21, 25]. Міні-теплиця, яка використовується для вирощування овочів, ягідів, зелені, мікрозелені для домашнього вжитку повинна бути малогабаритною та доступною в ціні, а також мати віддалений доступ для контролю за процесом вирощування рослин. Все це впливає на використання програмно-апаратного забезпечення комп'ютеризованої системи, яка регулює параметри мікроклімату міні-теплиці.

Отже, актуальним є дослідження методів та засобів вимірювання і регулювання параметрів мікроклімату міні-теплиці з технологією віддаленого доступу.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення ефективності функціонування міні-теплиці.

Поставлені задачі дослідження:

- проаналізувати літературні джерела, в яких описано методи та засоби вимірювання і регулювання параметрів мікроклімату міні-теплиці;
- здійснити аналіз впливу параметрів мікроклімату на життєдіяльність рослин та розглянути основні способи вирішення проблеми їх контролю;

– проаналізувати сучасні алгоритми та технології віддаленого доступу з метою використання їх для контролю за параметрами процесу вирощування рослин в міні-теплицях;

– обґрунтувати використання методів та засобів вимірювання і регулювання параметрів мікроклімату міні-теплиці;

– розробити алгоритм роботи, програмне та апаратне забезпечення для вимірювання і регулювання параметрів мікроклімату міні-теплиці з технологією віддаленого доступу.

**Об’єкт дослідження** – процес вимірювання та регулювання параметрів мікроклімату міні-теплиць та передачі цих даних на віддалений сервер.

**Предмет дослідження** – методи та засоби вимірювання та регулювання параметрів мікроклімату міні-теплиць.

**Наукова новизна:**

– вдосконалено методи та засоби вимірювання і регулювання параметрів мікроклімату міні-теплиці, враховуючи особливості її використання;

– запропоновано здійснювати прогнозування параметрів температури та концентрації вуглекислого газу міні-теплиці з використанням методу зваженого ковзного середнього;

– запропоновано використання технології віддаленого доступу через телеграм-бот для контролю параметрів мікроклімату міні-теплиці, що дозволило підвищити ефективність вирощування рослин.

**Практичне значення одержаних результатів:** запропоновані методи та засоби вимірювання і регулювання параметрів мікроклімату міні-теплиці дозволяють підвищити ефективність функціонування міні-теплиці, використовуючи доступні рішення, та покращити якість вирощених рослин.

**Публікації.** Результати дослідження апробовано на науково-технічній конференції:

1. Панчишин Я. Структура системи контролю параметрів мікроклімату міні-теплиці. Матеріали XI науково-технічної конференції

Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Інформаційні моделі, системи та технології», Тернопіль: ТНТУ. 2023. С. 170.

2. Панчишин Я., Осухівська Г. Алгоритмічне забезпечення комп'ютеризованої системи регулювання мікроклімату міні-теплиці. Матеріали XI науково-технічної конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Інформаційні моделі, системи та технології», Тернопіль: ТНТУ. 2023. С. 171.

**Структура роботи.** Кваліфікаційна робота складається з пояснювальної записки та графічної частини. Пояснювальна записка складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Обсяг роботи: пояснювальна записка – 68 аркушів формату А4, графічна частина – 8 аркушів формату А1.

## РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ ТА СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ КОНТРОЛЮ  
ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ МІНІ-ТЕПЛИЦЬ

## 1.1. Аналіз галузі використання міні-теплиць

Комп'ютеризація теплиць стала популярною тенденцією у вирощуванні різних культур рослин. Вона може значно підвищити ефективність вирощування рослин в невеликих масштабах і зменшити залежність від додаткових факторів.

Міні-теплиці можуть допомогти людині керувати власним джерелом їжі – вони дають можливість вирощувати, насамперед, овочі, зелень та мікрозелень, які надзвичайно потрібні для збалансованого раціону харчування. Комп'ютеризована система для таких насаджень може спростити щоденну роботу за їх доглядом, виконуючи завдання з регулювання мікроклімату, необхідного для нормального росту та розвитку рослин.

Впровадження розумних технологій у тепличне господарство вимагає обґрунтованого інноваційного підходу. Збір даних повинен бути належним чином налаштований, щоб їх можна було аналізувати. “Смарт-теплиця” створює саморегулюючий мікроклімат, що підходить для росту рослин, завдяки використанню сенсорів, виконавчих механізмів та систем контролю та управління, які оптимізують умови росту та автоматизують процес вирощування.

“Розумні” технології, що застосовуються в тепличному господарстві, можна об'єднати в такі групи [16]:

- точне сільське господарство;
- сільськогосподарські роботи;
- IoT-платформи/IoT-додатки;
- Big Data.

Варто виділити аграрні IoT-платформи та IoT-додатки. Вони дозволяють комп'ютеризувати весь цикл сільськогосподарських операцій із вирощування рослин. На рис. 1.1 показано реалізацію концепції “Розумна міні-теплиця” [16].

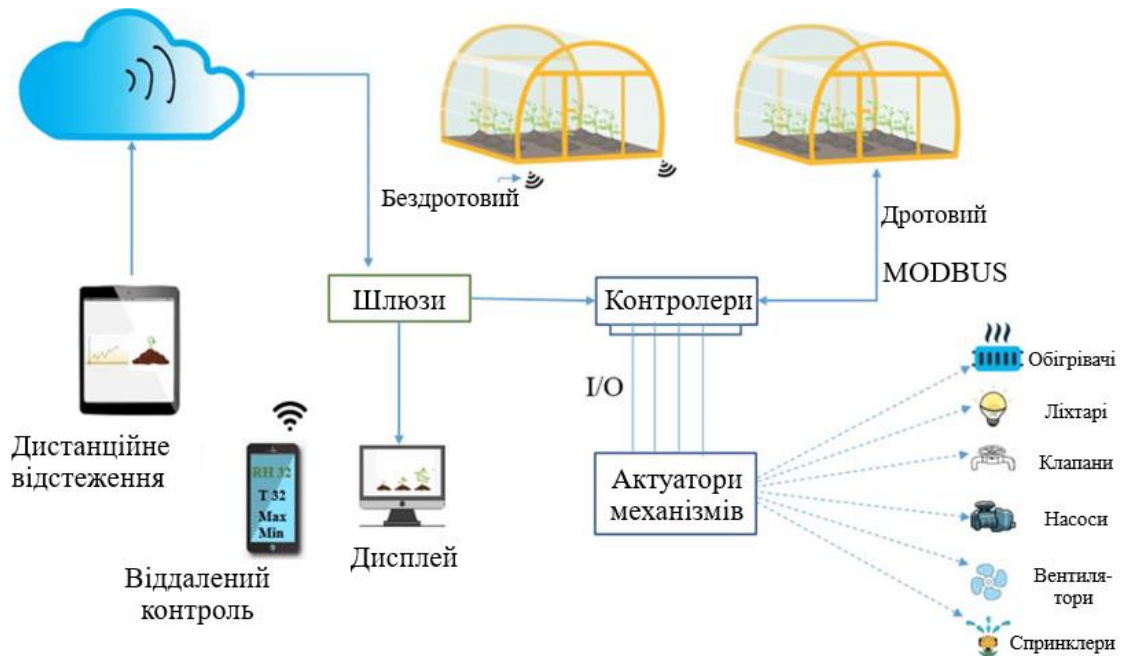


Рис. 1.1. Реалізація концепції “Розумна міні-теплиця”

Обов’язковими складовими таких рішень є:

- периферійне обладнання (сенсори, детектори);
- канали зв’язку (супутниковий зв’язок GPS, LPWAN, LTE, 3G, GPRS, GSM);
- IoT-платформи (web-платформи для створення галузевих програм);
- IoT-додатки (додатки для IT-платформ, самостійні додатки для конкретного обладнання).

У сучасних розумних теплицях реалізуються такі технологічні процеси (ТП): зрошення, освітлення, вентиляція, опалення, які керують вологістю ґрунту, освітленістю, а також температурою та вологістю середовища для забезпечення оптимальних умов розвитку рослин. Систему поливу забезпечує іригація, тобто процес подачі води для поливу рослин або

сільськогосподарських культур у сільськогосподарській діяльності. Процес можна здійснити за допомогою труб, розприскувачів і водяних насосів.

Оскільки вода є однією з основних потреб живих організмів, у тому числі рослин, ефективність зрошувальної системи полягає у тому, щоб вода, яка постачається рослинам, була постійно у потрібній кількості. В порівнянні з насадженнями на відкритому повітрі, рослини в закритих приміщеннях не відчують змін погоди, у них немає зовнішнього водопостачання у вигляді дощової води. Отже, водопостачання в міні-теплицях для кімнатних насаджень має бути повністю штучним із впровадженням автоматизованої системи. Існує кілька загальних систем поливу, які відповідають вимогам для різних типів рослин і культур.

Крапельний спосіб поливу є однією з передових систем поливу. Цей метод має функцію подачі води та суміші добрив лише в критичні місця (біля кореня рослини). Вода не бризкає безладно, натомість потрібна кількість води та добрив розподіляється по кожній рослині крапельно, щоб зберегти ґрунт у вологому стані. Крім того, крапельний метод має можливість подавати воду та добрива до рослини чи культури відповідно до щоденних потреб і концентрувати їх у критичній зоні кожної рослини [19].

Перевагою крапельного поливу є висока ефективність використання води. Можна виділити два фактори, які сприяли цьому. Основним фактором є здатність крапельної системи розподіляти воду безпосередньо до кореневої зони кожної рослини. Таким чином мінімізується випаровування, а також зменшується надходження води до зони, де вона не може бути використана рослинами. По-друге, зменшуються витрати на процес поливу. Оскільки вода подається до рослини крапельно, кількість води, яка необхідна рослині на день, можна легко контролювати. Контроль набагато легший порівняно з іншими методами через відносно повільний потік води. Крім того, ефективність використання води для крапельного методу є найвищою (від 85 % до 95 %) порівняно зі спринклерним і поверхневим методами, які мають максимальну ефективність на рівні 80% і 70% відповідно [19].

Однак цей метод має деякі недоліки з точки зору вартості, а також навичок, зокрема:

- висока початкова вартість розробки та встановлення. Оскільки цей метод потребує кількох технологій для контролю потоку води, щоб задовольнити добову потребу для різних типів рослин, потрібно кілька автоматизованих систем;

- реалізація такої системи досить складна, оскільки метод включає використання численних технологій;

- більша ймовірність засмічення та пошкодження обладнання, особливо труб, порівняно з методами розпилення. Це відбувається тому, що крапельний спосіб завжди працює разом із підживленням. Дрібні частинки у воді можуть накопичуватися на кожному виході (маленьких отворах для стікання води) труб, що може призвести до засмічення труби.

Спринклерна система здійснює полив, імітуючи дощ. Вона дозволяє розпилювати воду з великою площею покриття рослин або культур. Вода буде подаватися до рослин через труби та розбризкуватися у повітря за допомогою кількох спринклерів, створюючи невеликі краплі води, схожі на природний дощ [19].

Переваги спринклерного способу поливу такі:

- обладнання та загальна установка цього методу є доступною та вимагає мінімальних професійних навичок порівняно з крапельними методами;

- цей метод вимагає менше обладнання, тому він насправді легший з точки зору механізації та автоматизації;

- не займає багато місця.

Однак цей метод також має деякі недоліки, такі як:

- високі експлуатаційні витрати через високий тиск, необхідний для рівномірної подачі води через кожен спринклер;

- вода, яка розпилюється в повітря, буде піддаватися додатковому впливу зовнішніх чинників, що може призвести до втрат води;

– вода з великою кількістю домішок, таких як сіль і пісок, може спричинити проблеми з спринклером, наприклад засмічення.

Враховуючи габарити міні-теплиці, найкращим методом для поливу рослин буде поверхневе зрошення ґрунту, при якому листя рослин не будуть намокати, щоб вберегти їх від ураження шкідливими бактеріями та грибками.

Серед основних вимог для росту рослин, джерело світла є основним фактором, який запускає процес фотосинтезу в усіх зелених рослинах. Таким чином, якість і кількість світла є важливими факторами, які впливають на ріст рослин з точки зору морфогенезу та диференціювання рослинних клітин, тканин і органів.

Ріст рослини сильно залежить від довжини світлової хвилі, яка досягає її поверхні. Якість світла стосується червоного та синього світла, які найбільше впливають на ріст, оскільки вони є основним джерелом енергії для фотосинтетичної асиміляції  $\text{CO}_2$  в рослинах. Однак, дослідження також доводять, що зелене світло також впливає на ріст рослин [17].

Два найпоширеніших джерела світла: люмінесцентне та світлодіодне світло, які зазвичай застосовуються у рослинництві.

Люмінесцентне світло – це тип штучного джерела світла, який містить гази всередині трубки лампи, такі як ртуть, аргон, ксенон та інші. Тиск газу в трубці лампи відносно низький, приблизно 0,3 % атмосферного тиску [17].

Існує кілька типів люмінесцентного світла, наприклад компактна люмінесцентна лампа (КЛЛ) і холодні білі люмінесцентні лампи. Холодна біла флуоресценція має випромінювання світла зі значною довжиною хвилі від 400 нм до 700 нм. Однак діапазон 400 нм – 500 нм демонструє велике значення з точки зору опромінення, яке становить  $1,47 \text{ Вт/м}^2$  або 25% загального випромінювання. Крім того, випромінювання світла від цього типу люмінесцентних ламп сильніше в синій області, що сприяє росту рослин. До того ж такий тип ламп недорогий і простий у застосуванні для міні-теплиці [17].



Світлодіод (LED) – це тверdotілий напівпровідниковий діод, здатний вивільняти енергію у вигляді фотонів після отримання певної напруги. Це також ідеальна система освітлення для вирощування рослин, для якої необхідне штучне освітлення. Пікова довжина хвилі світлодіодних ламп коливається від 250 до 1000 нм [17].

Довжина хвилі та кількість світла, що застосовуються до зелених овочів, безпосередньо впливатимуть на фотосинтез, ріст, а також харчову цінність. Наприклад, коли дальнє червоне світло (700 - 740 нм) використовувалося для вирощування салату, загальна концентрація хлорофілу для рослини була нижчою на 14 % порівняно з білими флуоресцентними лампами. Крім того, концентрація антоціанів і каротиноїдів у рослинах салату під дальнім червоним світлом також демонструє значення, яке на 40 % нижче порівняно з тим самим видом рослин під білою флуоресцентною лампою. Однак, якщо довжину хвилі, застосовану до рослини салату, зменшити до 625–700 нм, що відповідає умовам червоного світла, концентрація фенолу може досягти збільшення на 6 % [17].

Основними перевагами застосування світлодіодного освітлення в міні-теплиці є:

- LED освітлення є більш енергоефективним у порівнянні з іншими типами освітлювальних систем. Світлова віддача світлодіодів із перетворенням фосфору може досягати 200 лм/Вт при стандартній робочій щільності струму 35 А/см<sup>2</sup> порівняно з лампами розжарювання та люмінесцентними лампами при 20 лм/Вт і 104 лм/Вт відповідно;

- LED лампа має здатність рівномірно розподіляти світло. Ця здатність сприяє рівномірному освітленню по всій площі, щоб кожна рослина в міні-теплиці могла отримати однакову кількість світла для кращого росту;

- LED освітлення має чудовий термін служби продукту. Звичайна світлодіодна лампа має термін служби від 30000 до 60000 годин у порівнянні з флуоресцентною лампою, яка має лише близько від 8000 до 10000 годин.

Однак застосування світлодіодного світла також має кілька недоліків, таких як:

- світлодіоди не віддають тепло навколишньому середовищу. Однак тепло накопичується в напівпровіднику світлодіодного пристрою. Крім того, ККД світлодіодів від розетки знаходиться в діапазоні від 5% до 40%, що означає, що решта енергії (60%-95%) втрачається у вигляді тепла. А також перегрів у напівпровідниках також зменшить термін служби світлодіодів;

- початкова вартість міні-теплиці зі світлодіодною системою освітлення буде високою через те, що світлодіоди зазвичай дорожчі порівняно з іншими системами освітлення.

Система вентиляції в міні-теплиці являє собою відкритий канал, який забезпечує повітрообмін між зовнішньою атмосферою і внутрішнім простором міні-теплиці. Крім того, система вентиляції також важлива, коли йдеться про регулювання температури та вологості в міні-теплиці. Відкритий канал забезпечує циркуляцію повітря та виводить надмірне тепло, а також вологу, які накопичилися всередині міні-теплиці, у атмосферу. Також хороша система вентиляції може запобігти виснаженню мінеральних речовин урожаю, а також захворюванням, спричиненим грибками [19].

Існують різні типи систем вентиляції, які відповідають різним кліматичним і атмосферним умовам. Серед численних моделей вентиляції найбільш поширеними є природна та вентиляторна.

Природна вентиляція – це тип пасивної вентиляційної системи, яка забезпечує рух повітря для підтримки температури всередині міні-теплиці якомога нижчої, порівняно із зовнішньою температурою. З іншого боку, вентиляторна, яку можна розглядати як примусову вентиляцію, стимулює потік повітря за допомогою механічного обладнання, такого як вентилятори, для регулювання температури та вологості в міні-теплиці.

## 1.2. Технологічні процеси та розумне управління в сучасних міні-теплицях

Розробці та впровадженню сучасних технологій для реалізації міні-теплиць присвячено ряд публікацій. Зокрема, автори у статті [1] обґрунтовують конструкцію автоматичної системи керування поливом для міні-теплиці на базі мікроконтролера Arduino Nano. До нього підключається модуль давача температури та вологи DHT22, а також сенсор вологості ґрунту (гігрометр). Керування подачею води відбувається за допомогою модуля реле, мембранного насоса та магнітного електрично клапана 1/2 дюйма.

Серед недоліків цієї роботи можна виділити те, що не передбачено здійснення вимірювання та регулювання таких параметрів як вміст CO<sub>2</sub> в повітрі та освітленість всередині міні-теплиці.

На рис. 1.2 зображено схему для вбудованої комп'ютеризованої системи, яка збирає дані про довкілля за допомогою сенсорів і зберігає їх у цифровій хмарі [17].



Рис. 1.2. Топологія розумної міні-теплиці

У якості цифрової хмари виступає IoT платформа Blynk, яка характеризується надійністю та безпекою даних. Протокол, який використовується для зв'язку між мікроконтролером і цифровою хмарою – це

MQTT (Message Queue Telemetry Transport). Цей протокол широко використовується в програмах для забезпечення швидкості та надійності трафіку даних і працює асинхронно між пристроями, що робить його одним із найпоширеніших протоколів у проектах IoT.

Досить популярним рішенням реалізації апаратного забезпечення системи автоматичного керування процесами в міні-теплиці є використання як головного контролера Arduino Nano, сенсора для вимірювання температури та вологості повітря VME280, 4 аналогових датчиків вологості ґрунту та інших параметрів, модуля реального часу RTC DS3231, LCD дисплею та енкадера як органа керування. На базі цього розробляється відповідне програмне забезпечення [8].

Авторами [4] також описані основні параметри тепличного клімату, підібрані відповідні датчики та виконавчі механізми з модулями реле до них, наведено функціональні вимоги до програми, що відстежує кліматичні умови всередині міні-теплиці.

На рис. 1.3. зображено структурну схему системи контролю мікроклімату міні-теплиці на базі мікроконтролера Arduino [4].

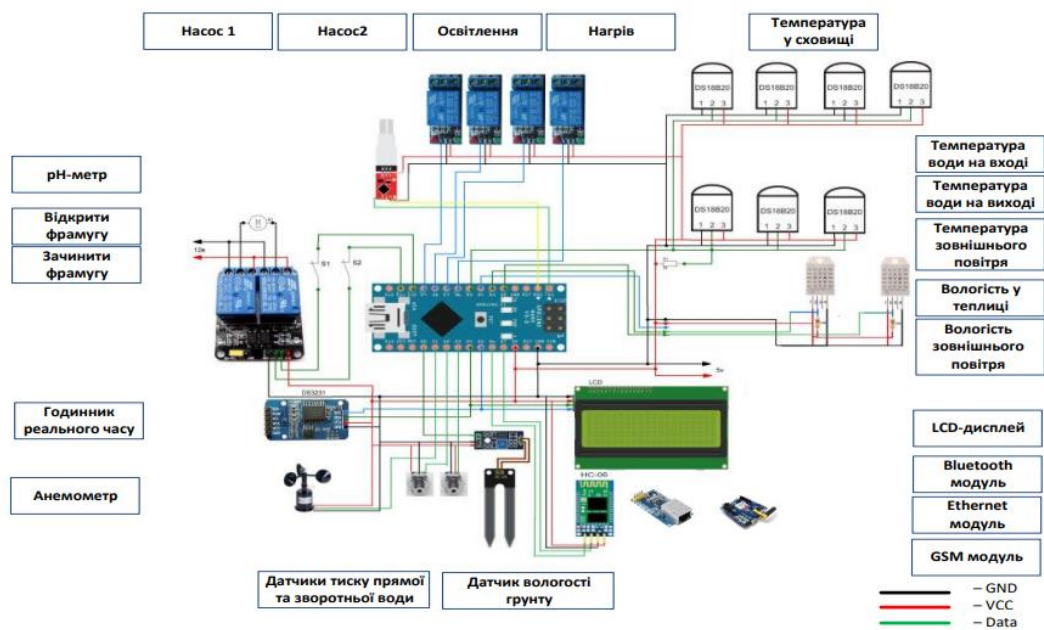


Рис. 1.3. Структурна схема системи керування параметрів мікроклімату міні-теплиці

Втіленню концепції Інтернету речей в пристрої для автоматизованого вирощування окремого виду рослини на прикладі лаванди у міні-теплиці описано в [14]. Проте, як саме відбувається інтеграція IoT у розроблюваний пристрій, які протоколи використовуються, авторами [14] не описано.

### 1.3. Системи контролю параметрів мікроклімату в міні-теплицях

Існують готові реалізації систем контролю мікроклімату міні-теплиць, наприклад таких компаній, як Grow Director Ltd., Harvst та інших.

Grow Director Ltd. – ізраїльська компанія, яка спеціалізується на розробці інтелектуальних систем клімат-контролю для закритого та тепличного садівництва. Зокрема GrowDirector 3 PRO – це їхнє рішення для автоматизації та керування даними, яке постачається у вигляді повністю модульного пакету бездротових контролерів, сенсорів і програмного забезпечення на основі штучного інтелекту, призначеного для спрощення вирощування рослин [21]. Також у їхньому асортименті є декілька комплектів, наприклад, “HydroBasic Kit” (рис. 1.4). Він позиціонується як простий інструмент для початківців і напівпрофесіоналів для автоматизації гідропонних операцій.



Рис. 1.4. Комплект “HydroBasic” від компанії Grow Director

Цей набір включає один контролер HydroDirector, який поставляється в комплекті з двома гідропонними давачами – рН і ЕС, необхідними для підтримки належного рівня поживних речовин у гідропонній системі.

Також вони розробили власне програмне забезпечення (ПЗ) для керування всім обладнанням, пристроями та сенсорами, інтегрованими в систему GrowDirector 3 PRO (рис. 1.5).

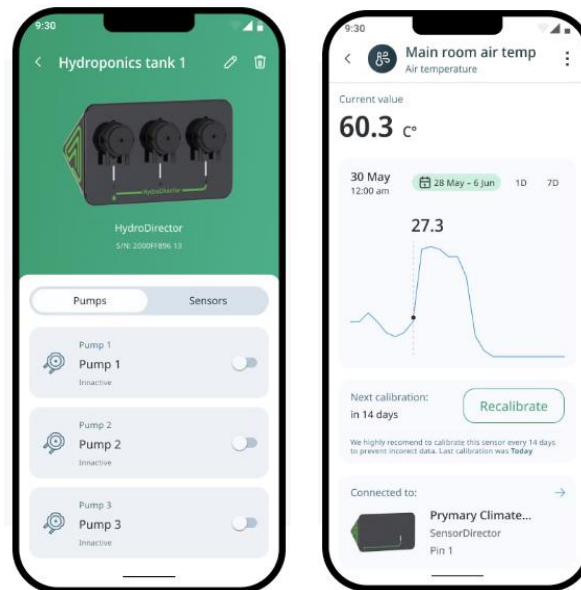


Рис. 1.5. Мобільний додаток GrowDirector 3 PRO

GrowDirector 3 PRO – це повністю автоматизована система управління навколишнім середовищем, яка підтримує машинне навчання. Недоліками цієї системи є малий набір сенсорів, що не дає можливості керувати всіма параметрами мікроклімату, а також висока вартість.

Harvst – британська компанія, яка спеціалізується на розумних міні-теплицях. Вона виготовляє мініатюрні прозорі акрилові теплиці (рис. 1.6) [25].

Модель клімат-контролю оснащена системою примусової вентиляції в стандартній комплектації, яка запобігає перегріванню рослин влітку. Асортимент S-серії міні-теплиць включає вбудований автоматичний полив, обігрів та освітлення. Крім того, за допомогою регульованих полиць можна змінити міні-теплицю відповідно до насаджень [25].



Рис. 1.6. Вигляд міні-теплиці Harvst Sprout S8

Так як такі готові рішення є досить недешевими, компанія пропонує також комплект WaterMate (рис. 1.7) – універсальну розумну систему поливу на сонячних батареях, яка підійде майже до будь-якої теплиці [25].

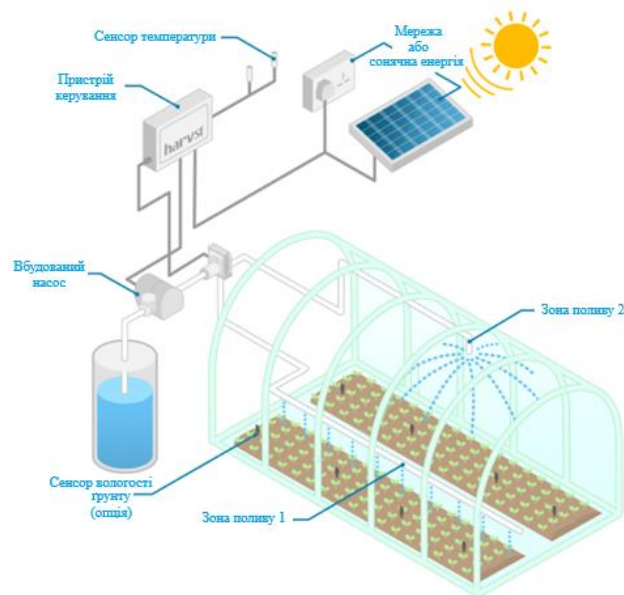


Рис. 1.7. Схема системи автоматичного поливу WaterMate

Ця автоматична система використовує комбінації таймерів і сенсорів навколишнього середовища, забезпечуючи рослинам потрібну кількість води.

Усі параметри поливу, опалення та освітлення для інтелектуальної системи керування Harvst керуються за допомогою мобільного додатку, який працює як на iPhone, так і на Android. До того ж, якщо блок керування розумною міні-теплицею Harvst знаходиться в зоні дії мережі Wi-Fi, він може надсилати інформацію про температуру, полив, обігрів тощо до онлайн облікового запису. Проте недоліком цього комплекту автоматичного поливу все ще залишається висока ціна. Тому реалізація дешевих та, одночасно, ефективних варіантів систем контролю параметрів мікроклімату для міні-теплиць є актуальною задачею.

#### 1.4. Висновки до розділу 1

У першому розділі кваліфікаційної роботи:

- проаналізовано літературні джерела, в яких описано методи та засоби вимірювання і регулювання параметрів мікроклімату міні-теплиці;
- здійснено аналіз впливу параметрів мікроклімату на життєдіяльність рослин та проаналізовано основні способи вирішення проблеми їх контролю;
- докладно розглянуто технологічні процеси, які відбуваються у тепличних комплексах, а також виділено основні складові системи, які потрібно реалізувати задля регулювання мікрокліматом міні-теплиць;
- описано сучасні тенденції у сфері моніторингу та контролювання параметрів мікроклімату міні-теплиць.

На основі аналізу зроблено висновок, що розробка системи контролю параметрів мікроклімату домашньої міні-теплиці із віддаленим доступом є важливим та актуальним завданням.



## РОЗДІЛ 2

### ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБРАНИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ В МІНІ-ТЕПЛИЦІ

#### 2.1. Методики вимірювання параметрів мікроклімату міні-теплиці

У міні-теплиці необхідно вимірювати та регулювати такі параметри, як вологість ґрунту, температуру та вологість повітря, освітленість та концентрацію вуглекислого газу у повітрі.

Для вимірювання освітленості найдоцільніше використовувати модулі сенсорів, які містять фоторезистори. Однією із характеристик фоторезисторів є світлова (люкс-амперна), що показує залежність проходження струму від падаючого на цей резистор світла. Фоторезистор типу GL5528 має нелінійну світлову характеристику. Зі збільшенням освітленості струм збільшується пропорційно квадратному кореню з кількості освітлення. Кут нахилу цієї характеристики залежить від прикладеної напруги. Взаємозв'язок між освітленістю та електричним опором фоторезистора описаний у специфікації до сенсора.

На модулі розміщений фоторезистор типу GL5528. Значить коефіцієнт  $\gamma$  рівний 0,6. На рис. 2.1 представлена крива світлової характеристики фоторезистора [18].

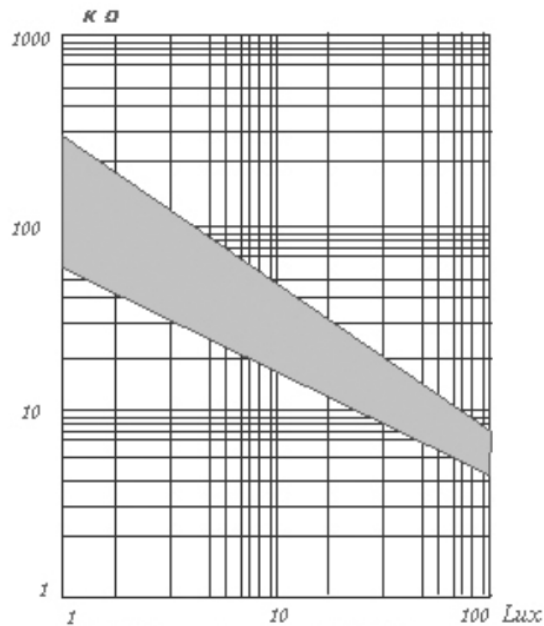


Рис. 2.1. Світлова характеристика фоторезистора GL5528

Формула для визначення коефіцієнта  $\gamma$  згідно документації [18]:

$$\gamma = \frac{\lg(R_{10}/R_{100})}{\lg(100/10)} = \lg(R_{10}/R_{100}), \quad (2.1)$$

де  $R_{10}$ ,  $R_{100}$  – опір фоторезистора при 10 і 100 лк відповідно.

Із формули (2.1) виведемо формулу для розрахунку освітленості давача:

$$E = 10^{\lg(R_{10}/R)/\gamma+1}, \quad (2.2)$$

де  $R$  – вимірний опір фоторезистора.

Для вимірювання концентрації вуглекислого газу в повітрі найдоцільніше використовувати давач MQ-135.

Модуль сенсора MQ-135 підходить для виявлення (або вимірювання) таких газів: NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, алкоголю, бензолу, диму, CO<sub>2</sub>. Згідно із схемою, поданою на рис. 2.2 [20], він має чотири піни. Вивід A0 видає аналоговий сигнал, а D0 – це цифровий вихід із відкритим колектором (але з вбудованим підтягуючим резистором), який стає низьким, коли рівень концентрації газу

перевищує попередньо заданий поріг, який можна налаштувати за допомогою потенціометра, розташованого на модулі.

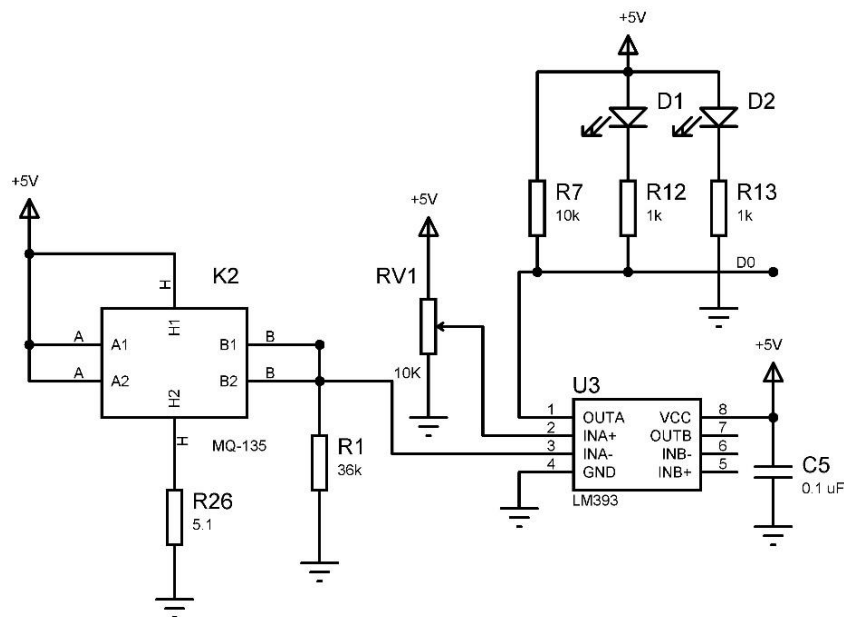


Рис. 2.2. Схема електрична принципова сенсора MQ-135

Давач MQ-135 являє собою змінний резистор, на який подається вхідна постійна напруга номіналом 5 В. Його опір міняється в залежності від концентрації у навколишньому повітрі газу, на який реагує чутливий елемент сенсора.

В сукупності з навантажувальним резистором, номінал якого рівний 36 кОм, принципова схема сенсора ідентична схемі подільника напруги, що складається з 2 резисторів:  $R_1$  та  $R_2$ , де  $R_2 = R_L$  – навантажувальний резистор, його опір постійний, а  $R_1 = R_S$  – чутливий елемент давача, опір якого змінний.

За допомогою формули подільника напруги можна дізнатися значення опору чутливого елемента [20]:

$$R_1 = \frac{(U_{\text{вх}} - U_{\text{вих}}) \cdot R_2}{U_{\text{вих}}}, \quad (2.3)$$

де  $U_{\text{вх}}$  – вхідна напруга MQ-135 рівна 5 В;

$U_{\text{вих}}$  – вихідна напруга давача.

Вимірявши величину вихідної напруги сенсора в умовно чистому повітрі, можна буде знайти його опір.

В технічній документації давача алгоритм розрахунку концентрації газів у повітрі представлений у вигляді графічної залежності відношення опору сенсора до його опору в умовно чистому повітрі і значення концентрації газів в мільйонних частках (ppm), тобто кількості частинок на мільйон (рис. 2.3) [20].

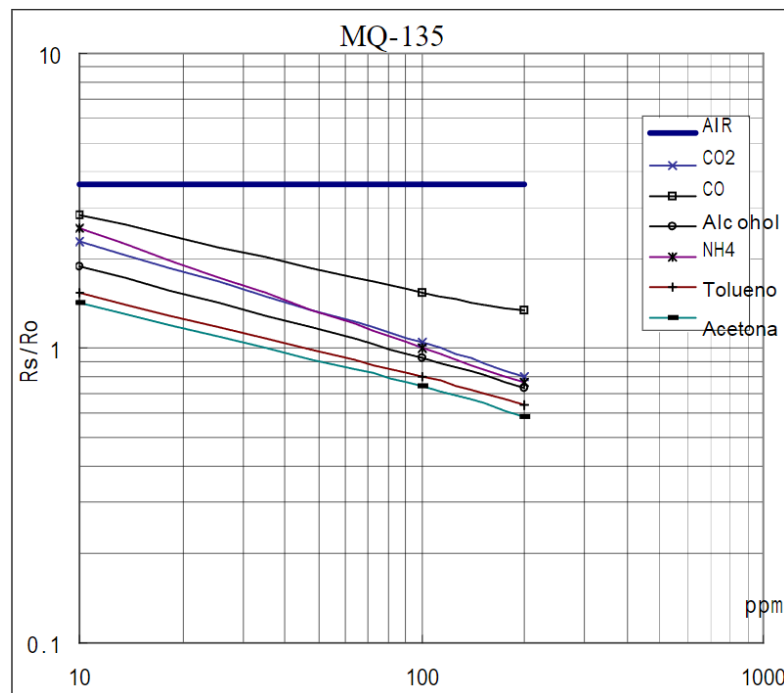


Рис. 2.3. Характеристики чутливості MQ-135

Також документація [20] містить діаграму залежності чутливості давача від температури і вологості (рис. 2.4). Проте, так як сенсор використовуватиметься в повітряному об'ємі без значних коливань цих параметрів, то розрахунок коригувальних значень застосовуватися не буде.

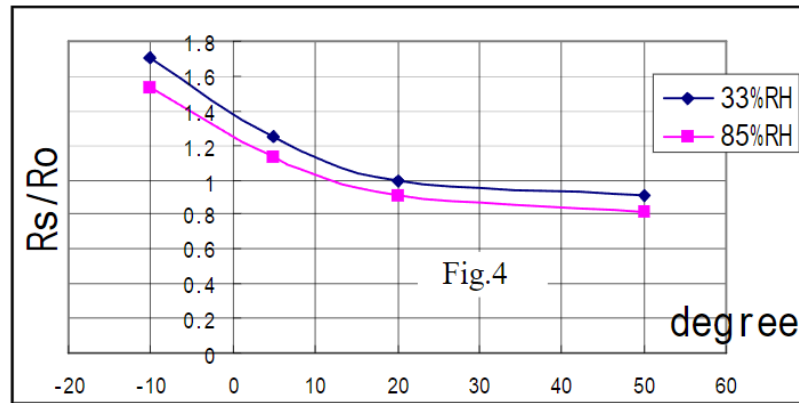


Рис. 2.4. Залежність MQ-135 від температури та вологості

Тепер потрібно налаштувати роботу сенсора на вимірювання концентрації частинок вуглекислого газу в повітрі.

Розрахунок концентрації виконується за допомогою функції, графік якої представлений у логарифмічних координатах. Для знаходження цієї функції достатньо знати координати двох точок, які належать даній прямій. Задамо координати точок, отриманих з графіку (див. рис. 2.3):  $\text{ppm}(x) = x_1 = 200$ ,  $R_s/R_o(y) = y_1 = 0,8$  та  $\text{ppm}(x) = x_2 = 10$ ,  $R_s/R_o(y) = y_2 = 2,4$ .

До кожного значення координат застосуємо логарифм, тому що осі діаграми логарифмічні:  $\log(x_1) = \log(200)$ ,  $\log(y_1) = \log(0,8)$  та  $\log(x_2) = \log(10)$ ,  $\log(y_2) = \log(2,4)$ .

Так як графік представлений у логарифмічних координатах, то функція буде мати вигляд експоненціального рівняння:

$$y = a \cdot x^P, \quad (2.4)$$

де  $a$  – коефіцієнт, значення якого потрібно знайти;

$P$  – градієнт (ступінь нахилу лінії).

Градієнт  $P$  розраховується за наступною формулою:

$$P = \frac{\log(y_1) - \log(y_2)}{\log(x_1) - \log(x_2)}. \quad (2.5)$$

Підставивши числові значення координат у формулу (2.5), отримаємо значення градієнта  $P = -0.36673$ .

При відомих значеннях градієнта та координат одної точки, що належить прямій, знайдемо її експоненціальну функцію за наступною формулою:

$$y - y_1 = P \cdot (x - x_1). \quad (2.6)$$

Застосувавши логарифми до значень координат точок, перетворимо рівність так, щоб залишилися лише шукані змінні  $x$  та  $y$ . В результаті отримаємо шукану експоненціальну функцію для обчислення значення координати по осі  $y$ :

$$y = 5.58402x^{-0.36673}. \quad (2.7)$$

Отримані значення від сенсора MQ-135 будуть використовуватися мікроконтролером для знаходження його опору та підстановки у формулу (2.7) відношення цього опору до опору у відносно чистому повітрі, тим самим визначаючи концентрацію частинок вуглекислого газу в повітрі.

Вимірювання температури та вологості повітря здійснюється за допомогою DHT11. Модуль DHT11 оснащений комплексом датчиків температури та вологості з каліброваним цифровим вихідним сигналом. Ексклюзивний спосіб отримання цифрових сигналів і технологія вимірювання температури та вологості забезпечують високу надійність і чудову довготривалу стабільність [22]. Цей сенсор містить NTC термістор для вимірювання температури та компонент вимірювання вологості резистивного типу.

Термістори NTC – це резистори з негативним температурним коефіцієнтом, що означає, що опір зменшується з підвищенням температури. Вони підключені до високопродуктивного 8-розрядного мікроконтролера, що

забезпечує відмінну якість, швидкий відгук, здатність запобігати перешкодам і економічну ефективність. Також передбачено підтягуючий резистор на 3.3 кОм, який під'єднано до сигнального виводу. Як уже згадувалося, DHT11 має NTC термістор і компоненти давача вологості. При зміні температури опір NTC також змінюється. Ця зміна вимірюється і на основі цього обчислюється температура[22].

Компонент сенсора вологості складається з вологоутримуючої підкладки, розміщеної між двома електродами. Коли підкладка поглинає вміст води, опір між двома електродами зменшується. Ця зміна опору вимірюється за допомогою бортового аналого-цифрового перетворювача (АЦП) мікроконтролера та обчислюється відносна вологість.

Кожен елемент DHT11 суворо відкалібрований. Коефіцієнти калібрування зберігаються як програми в ОТР пам'яті, які використовуються внутрішнім процесом детектування сигналу давача.

При зчитуванні даних мікроконтролер (MCU) виступає у ролі ведучого пристрою і, отже, відповідає за ініціювання зв'язку. Відповідно, сенсор вологості та температури повітря DHT11 являється підлеглим пристроєм і відповідає на запити мікроконтролера. Протокол, який використовується для зв'язку узагальнено показаний на рис. 2.5 [22].

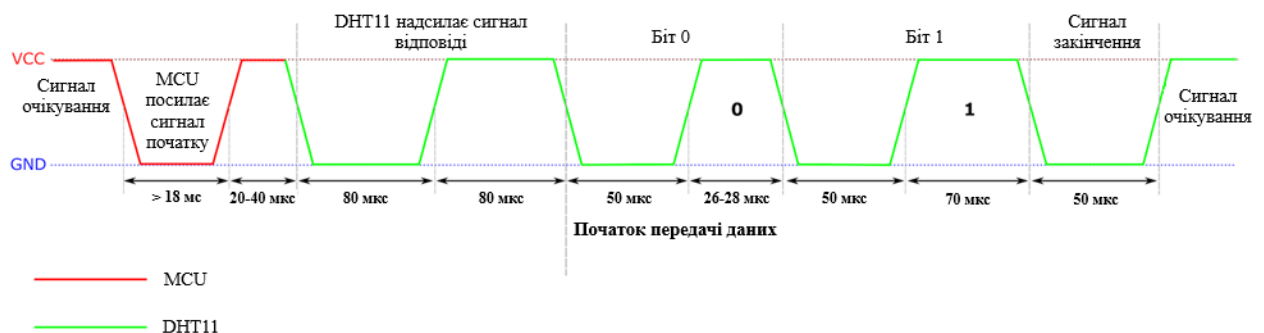


Рис. 2.5. Часова діаграма зв'язку мікроконтролера з DHT11

Процес комунікації виглядає так:

– контролер подає сигнал запуску – з'єднує шину та землю на 18-20 мс. Коли MCU надсилає сигнал запуску, DHT11 переходить з режиму низького енергоспоживання в режим роботи, очікуючи, поки MCU завершить сигнал запуску;

- на шині високий рівень 20-40 мкс;
- тоді сенсор починає вимірювати показники та перетворювати їх у цифровий сигнал, при цьому шина знову з'єднана із землею на 80 мкс;
- лінія знову у високому рівні, що означає, що передача даних готова;
- відбувається передача оцифрованих даних;
- DHT11 переходить в режим низького енергоспоживання, доки знову не отримає сигнал запуску від MCU.

## 2.2. Методи прогнозування параметрів мікроклімату міні-теплиці

Отримані дані від давачів про параметри мікроклімату міні-теплиці, а саме температура повітря та концентрація вмісту вуглекислого газу, мають вигляд неперервної випадкової величини, що дає можливість використовувати методи статистичного аналізу, за допомогою яких можна спрогнозувати дані параметри. Найдоцільнішим для прогнозування є використання методів на основі регресійного аналізу, таких як метод авторегресії з інтегрованим ковзним середнім (ARIMA).

Основні кроки алгоритму ARIMA:

- перевірка часового ряду на стаціонарність, що означає, що статистичні властивості часового ряду не залежать від часу;
- визначення параметрів моделі ARIMA, такі як коефіцієнти авторегресії, коефіцієнти ковзного середнього та ступінь диференціювання;
- вибір моделі з врахуванням показників стаціонарності та значень коефіцієнтів авторегресії та ковзного середнього;
- побудова вибраної моделі ARIMA на основі визначених параметрів;



- прогнозування значень неперервної випадкової величини;
- порівняння прогнозованих значень з фактичними даними задля оцінки точності прогнозування.

Алгоритм ARIMA є досить складним, а прогнозування за допомогою цього методу вимагає більш потужних обчислювальних ресурсів, ніж ті, які доступні мікроконтролеру. Тому слід використовувати більш простіші алгоритми прогнозування, наприклад, методи простого чи зваженого ковзного середнього [2].

Метод простого ковзного (рухомого) середнього полягає в тому, що прогнозований показник розраховується як його усереднене значення за кілька попередніх моментів часу [2]:

$$f_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{k-i}, \quad (2.8)$$

де  $f_k$  – прогнозоване значення;

$N$  – кількість попередніх значень;

$x_{k-i}$  – попередні реальні значення.

Метод зваженого ковзного середнього є модифікованою версією попереднього, де враховано те, що чим даліше у часі розміщуються виміряні дані, тим менше вони впливатимуть на можливі зміни.

Тому вводиться поняття “ваги”. Формула визначення прогнозованого значення для даного методу [2]:

$$f_k = \frac{\sum_{i=1}^N w_{k-i} x_{k-i}}{\sum_{i=1}^N w_{k-i}}, \quad (2.9)$$

де  $w_{k-i}$  – вага реального значення.

Тож, для прогнозування температури повітря та концентрації вуглекислого газу в міні-теплиці вибрано метод зваженого ковзного середнього.

### 2.3. Передача даних

Оскільки у системі контролю мікроклімату міні-теплиці передбачено віддалений доступ, тому важливим аспектом є передача даних.

В цілому, система передачі даних є одним із фундаментальних компонентів технологій IoT, які використовуються в тепличному господарстві, проте в приватній міні-теплиці своя специфіка, яка потребує інших вимог до протоколу передачі даних.

В останні роки бездротові сенсорні мережі (WSNs) набули популярності в порівнянні з дротовими технологіями передачі, такими як польова шина. Це пояснюється тим, що WSN має ефективні протоколи, проста в обслуговуванні та відносно економічно ефективніша, ніж кабельні технології [16].

WSN складається з кількох пристроїв, які часто називають сенсорними вузлами. Сенсорний вузол складається з мікроконтролера, акумуляторів, датчиків (температури, вологості тощо), блоку передачі даних і малогабаритних обчислювальних пристроїв. На рис. 2.6 показано структуру типового сенсорного вузла.



Рис. 2.6. Типова структурна схема сенсорного вузла

Потім ці сенсорні вузли розподіляються по різних ділянках міні-теплиці для збору даних і виконання простої пост-обробки.

За останні кілька років технології IoT значно розвинулися, як і протоколи WSN. Вони в основному розроблені з точки зору вартості, часу роботи батареї, пропускної здатності, швидкості передачі даних[16]. У табл.2.1 представлено широко використовувані протоколи WSN.

Таблиця 2.1

### Типові протоколи зв'язку WSN

WSN протокол	Топологія	Швидкість передачі даних	Робочий діапазон	Споживання енергії
IEEE 802.15.4	Зірка, P2P	20-250 Кбіт/с	10 м	Низьке
Zigbee	Зірка, дерево, сітка	250 Кбіт/с	10-100 м	Низьке
BLE	Зірка, дерево	1-2 Мбіт/с	30 м	Низьке
6LowPAN	Зірка, сітка	0.3-50 Кбіт/с	10-100 м	Низьке
Стільниковий	Смуги частот 2G/3G	10 Мбіт/с	Кілька км	Високе
LoRa WAN	Зірка, P2P	< 50 Кбіт/с	5-50 км	Низьке
RFID	P2P	50 Кбіт/с	10-20 см	Дуже низьке
Wi-Fi	Зірка	0.1-54 Мбіт/с	< 92 м	Низьке

Стандартний протокол WSN IEEE 802.15.4 є одним із найбільш використовуваних протоколів зв'язку в розумних теплицях. Він використовує рівні керування доступом до середовища (MAC) і фізичні (PHY) рівні низькошвидкісної бездротової персональної мережі (LR-WPAN). LR-WPAN – це економічно ефективна мережа із дуже низьким споживанням енергії. Крім того, передача даних відбувається дуже ефективно в межах короткого діапазону роботи. Він має хороший термін служби батареї та відносно

дешевий, в порівнянні зі всіма іншими протоколами зв'язку. Для міні-теплиці цей протокол не підходить через низьку швидкість передачі даних та малий діапазон роботи.

Подібно до IEEE 802.15.4, ZigBee використовує бездротову систему LR-WPAN, яка забезпечує надійну та безпечну передачу даних і зв'язок між мережами. Пристрої ZigBee складаються з координатора, маршрутизатора / модему з трьома основними топологіями мережі, такими як зірка, сітка і дерево кластерів. Мережа ZigBee створюється, коли координатор вибирає доступну мережу та канал. Після створення каналу маршрутизатор і кінцевий пристрій починають обмінюватися даними та передають дані на всі підключені пристрої з однієї адреси [16]. Використання компонентів із протоколом зв'язку ZigBee недоцільне у міні-теплиці домашнього користування через їх високу вартість.

Bluetooth Low Energy (BLE) використовується в інтегрованих пристроях IoT, оскільки він може працювати на короткій відстані (10 м) і з меншою пропускнуою здатністю. Переваги використання BLE полягають у тому, що він споживає менше електроенергії та має менший час ініціалізації з розширеною підтримкою сенсорних вузлів із топологією зірки. BLE часто використовується для збору даних з давачів (наприклад, температури та вологості ґрунту) за допомогою мобільних телефонів. Однак недоліком BLE є низький рівень безпеки підключення та передачі даних. Крім того, він може спілкуватися лише з двома пристроями, що робить неможливим його використання у системі контролю мікроклімату в міні-теплиці.

Протокол стільникового зв'язку підходить для тих пристроїв, які потребують вищої швидкості передачі даних. Він використовує модулі 3G, 4G і GSM для забезпечення високошвидкісної надійної передачі даних через Інтернет. Однак для цього потрібно більше заряду батареї, що є суттєвим недоліком для системи з ефективним використанням енергоресурсів [16].

Wi-Fi є найпоширенішим протоколом WSN, який базується на стандартах IEEE802.11,802.11a,802.11b,802.11g та 802.11n. Wi-Fi

використовує підключення до бездротової локальної мережі (WLAN). Цей протокол найкраще підходить для моніторингу кліматичних умов у домашній міні-теплиці.

Отже, враховуючи особливості реалізації міні-теплиці у приватному господарстві, як протокол передачі даних найдоцільніше використовувати саме Wi-Fi, адже на сьогоднішній день у кожному домі присутня точка доступу Wi-Fi.

#### 2.4. Метод обміну даними між клієнтом та сервером за допомогою протоколу MTPROTO

Для реалізації віддаленого контролю параметрами мікроклімату міні-теплиці використовуватиметься месенджер Telegram, а точніше чат-бот, створений у ньому. Він дасть можливість користувачу спостерігати за поточними значеннями мікроклімату та статусом того чи іншого виконавчого механізму, який регулює відповідний параметр.

У мобільному додатку Telegram використовується протокол MTPROTO [24]. Розглянемо його детальніше.

Він розділений на три частини:

- високорівневий компонент, який визначає, як запити та відповіді API перетворюються у двійкові повідомлення;
- рівень шифрування (автентифікації) повідомлення перед відправкою транспортним протоколом;
- транспортний рівень, де визначається метод зв'язку клієнта та сервера через вже існуючий протокол (TCP, Websocket, Websocket через HTTPS, HTTP, HTTPS, UDP).

З точки зору компонента високого рівня, обмін повідомленнями відбувається в сесії. Сеанс приєднується до клієнтського пристрою (точніше, до програми), а не до конкретного websocket/http/https/tcp з'єднання. Крім

того, кожен сеанс приєднується до ідентифікатора ключа користувача, за допомогою якого фактично виконується авторизація. При цьому повідомлення можуть бути надіслані в будь-якому напрямку через будь-яке зі з'єднань.

Перед тим, як повідомлення буде передано через мережу за допомогою транспортного протоколу, воно певним чином шифрується. Проте, перш ніж надсилати, корисне навантаження має бути загорнуте в заголовок вторинного протоколу, визначений відповідним транспортним протоколом MQTT.

Останній компонент здійснює передачу зашифрованих контейнерів від клієнта до сервера і у зворотному напрямку.

## 2.5. Зберігання даних про параметри мікроклімату міні-теплиці

Для зберігання даних від сенсорів вологості ґрунту, освітленості, концентрації CO<sub>2</sub> у повітрі та температури і вологості повітря найдоцільніше використати сервіс ThingSpeak.

ThingSpeak – це платформа IoT, яка отримує, аналізує та візуалізує дані у хмарі. Також тут є можливість налаштування як способу надсилання цих даних на хмару ThingSpeak з різних девайсів, так і їх відтворення у графічному вигляді. На високому рівні багато систем IoT можна описати за допомогою діаграми, представленої на рис. 2.7 [23].

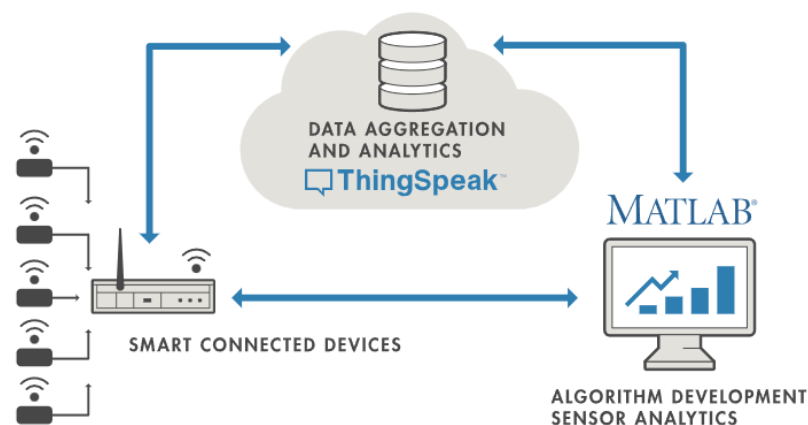


Рис. 2.7. Схема використання ThingSpeak у системах IoT

Аналітика MATLAB усередині ThingSpeak надає можливість писати та запускати код у середовищі MATLAB для передоброби, візуалізації та розбору даних. Це дозволяє користувачам ThingSpeak прототипувати та розробляти IoT-системи без налаштування серверів та опрацювання веб-додатків [23].

Ключові особливості платформи ThingSpeak:

- налагодження підключеного обладнання та пересилання повідомлень реалізовано через MQTT або REST API;
- візуалізація і відображення поточних та історичних даних сенсора в реальному часі;
- за допомогою запитів відбувається збір даних;
- передобробка та розбір отриманих даних за допомогою функцій MATLAB;
- таймер або події автоматично запускають аналітику.

## 2.6. Архітектура системи контролю параметрів мікроклімату міні-теплиці

Комп'ютеризована система клімат-контролю міні-теплиці здійснюватиме вимірювання заданих параметрів мікроклімату задля їх аналізу та своєчасного ввімкнення чи вимкнення систем поливу, освітлення, обігріву або вентиляції. Її структурну схему подано на рис. 2.8.

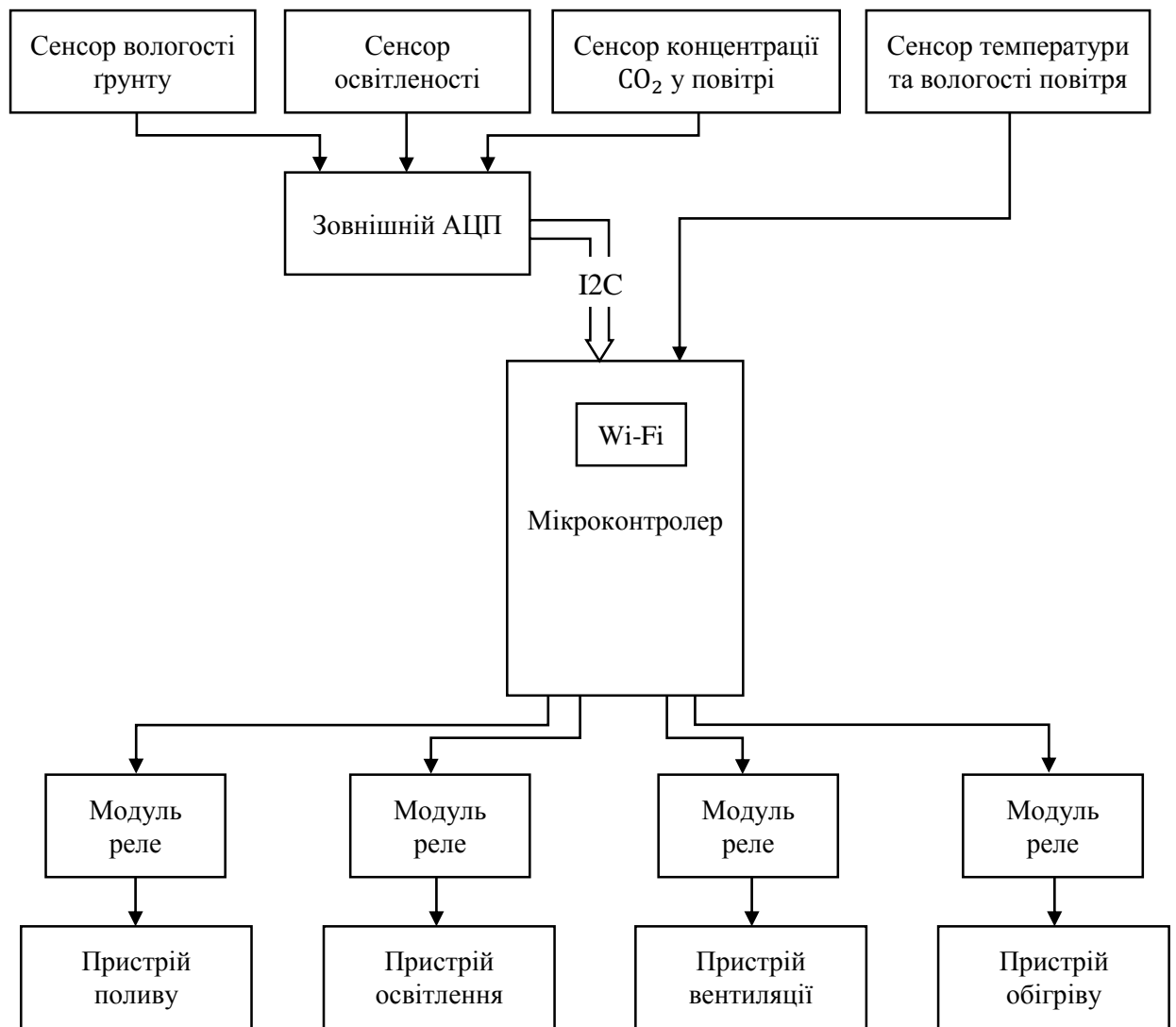


Рис. 2.8. Структурна схема розробленої системи контролю мікроклімату міні-теплиці

Також мікроконтролер обробляє запити користувача в чат-боті та прогнозує зміни мікроклімату в міні-теплиці. Після цього він надсилає дані модулю Wi-Fi для передачі їх до бази даних, яка знаходиться на віддаленому сервері.

Пристрій складається з:

- мікроконтролера з Wi-Fi модулем;
- давача вологості ґрунту;
- давача освітленості;
- давача концентрації вуглекислого газу;
- давача температури та вологості повітря;



- зовнішнього АЦП;
- кількох модулів реле;
- пристрою для поливу ґрунту;
- пристрою для регулювання освітлення;
- пристрою вентиляції повітря;
- пристрою для нагріву повітря.

## 2.7. Алгоритм роботи

Відповідно до запропонованих методів та вибраних програмно-апаратних засобів вимірювання і регулювання параметрів мікроклімату міні-теплиці з технологією віддаленого доступу розроблено алгоритм роботи. Він складається з функції ініціалізації та головного циклу.

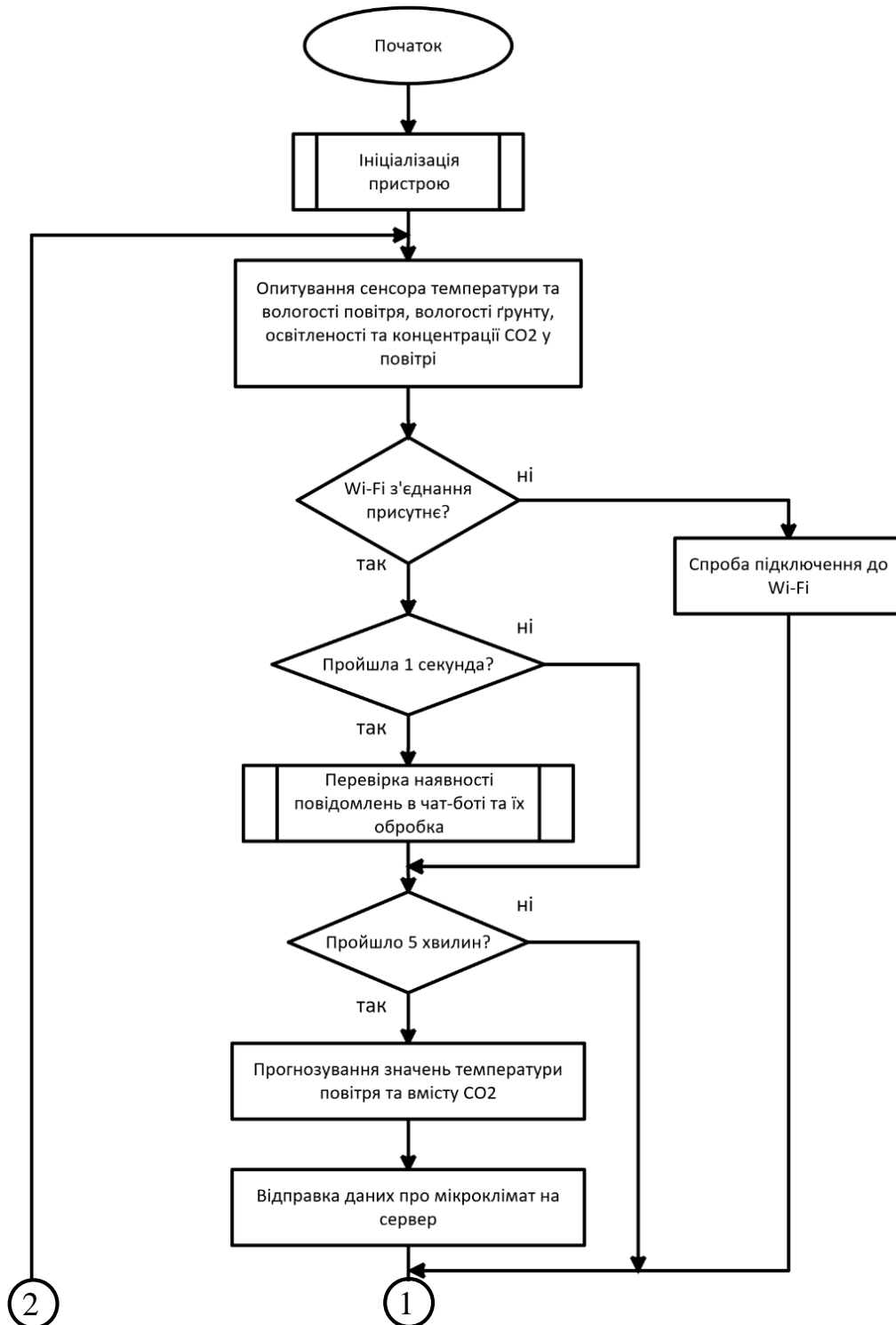
Функція ініціалізації пристрою включає в себе:

- встановлення режиму роботи виводів мікроконтролера, до яких підключені реле виконавчих механізмів, на вихід;
- ініціалізація сенсора DHT11 та АЦП ADS1115, а також клієнтів для роботи з Telegram та ThingSpeak;
- підключення до Wi-Fi;
- функцію для підігріву давача MQ-135;
- запис початкових значень у масив для прогнозування температури і CO<sub>2</sub>.

Після цього розпочинається головний цикл програми. На його початку проводиться зчитування даних про параметри мікроклімату з давачів. Якщо мікроконтролеру вдалось підключитися до мережі Wi-Fi, із затримкою в 1 секунду перевірятимуться нові повідомлення в Telegram-боті. Користувачу буде запропоновано декілька команд, які може опрацювати пристрій.

Тоді кожні 5 хвилин відбувається прогнозування таких параметрів як температура повітря та концентрація в ньому вуглекислого газу. Ці дані

потрібні будуть для автоматизації. Також всі показники з сенсорів відправляються на хмару ThingSpeak. Блок-схему алгоритму роботи системи для контролю та прогнозування параметрів мікроклімату міні-теплиці із віддаленим доступом зображено на рис. 2.9.



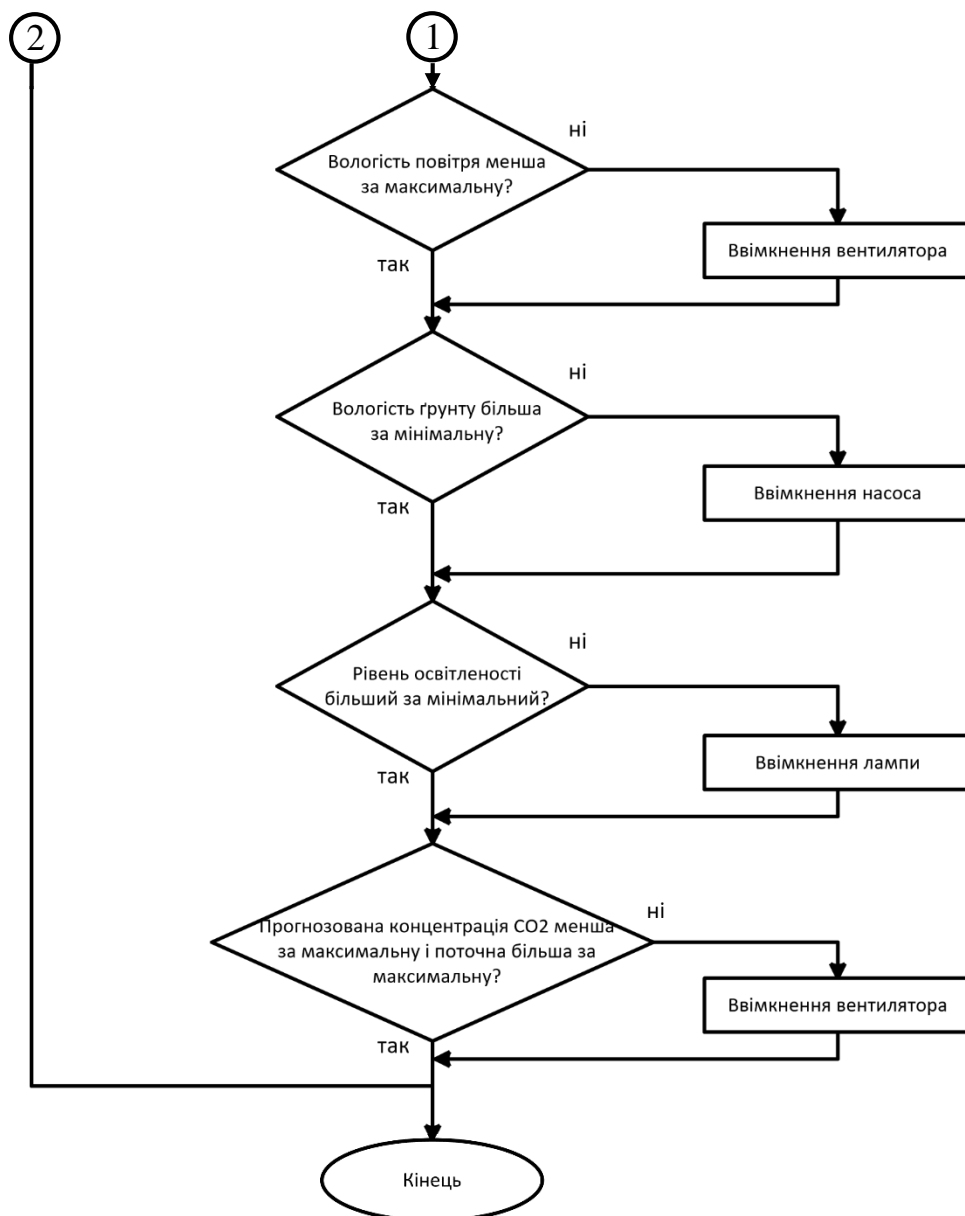


Рис. 2.9. Блок-схема алгоритму роботи системи

Якщо ж мікроконтролеру не вдалось підключитися до Wi-Fi чи з якихось причин зв'язок втратився, передбачена функція повторної спроби для під'єднання.

Незважаючи на те, є підключення до Wi-Fi чи ні, оцифровані дані від датчиків порівнюються із заздалегідь визначеними максимальними або мінімальними значеннями параметрів і контролер відповідно реагує на значні зміни.

## 2.8. Висновки до розділу 2

У другому розділі кваліфікаційної роботи:

- обґрунтовано контроль параметрів мікроклімату міні-теплиці здійснювати за показниками освітленості, концентрації вуглекислого газу, температури і вологості повітря, а також вологості ґрунту;
- проаналізовано сучасні алгоритми та технології віддаленого доступу з метою використання їх для контролю за параметрами процесу вирощування рослин в міні-теплицях та обґрунтовано вибір протоколу для передавання даних;
- обґрунтовано прогнозування параметрів температури та концентрації вуглекислого газу міні-теплиці здійснювати з використанням методу зваженого ковзного середнього;
- розроблено алгоритмічне забезпечення та структурну схему для вимірювання та регулювання параметрів мікроклімату міні-теплиці з технологією віддаленого доступу.

## РОЗДІЛ 3

### РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАСОБІВ ТА МЕТОДІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ МІНІ-ТЕПЛИЦІ

3.1. Розробка схеми електричної принципової для системи контролю параметрів мікроклімату міні-теплиці

На основі структурної схеми (див. рис. 2.8) та вибраних технічних засобів вимірювання та регулювання параметрів мікроклімату міні-теплиці було розроблено схему електричну принципову, яку показано на рис. 3.1.

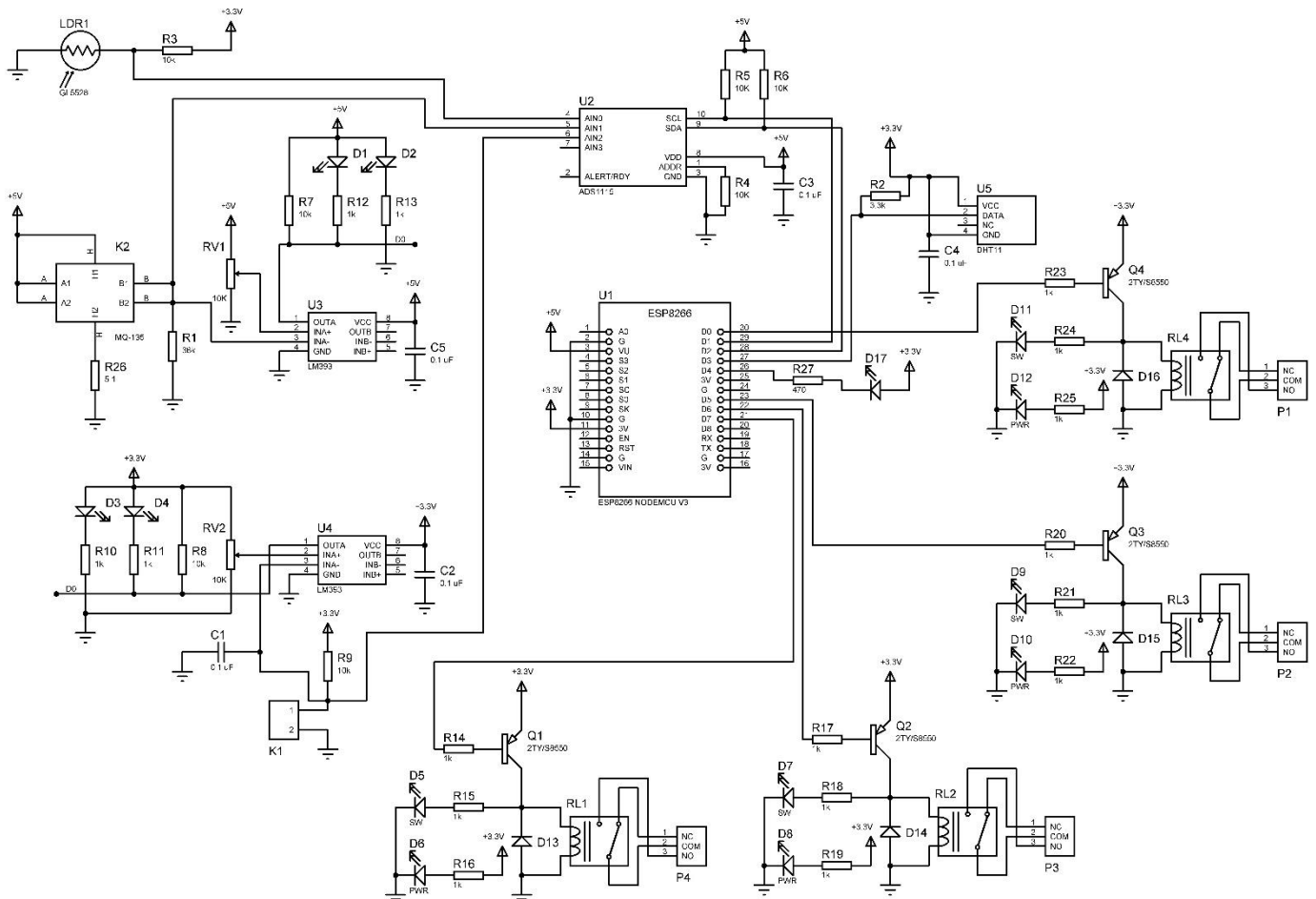


Рис. 3.1. Схема електрична принципова системи контролю мікроклімату міні-теплиці

Реалізація здійснена на базі ESP8266, який є мікроконтролером, що збирає виміряні дані з датчиків, аналізує їх, виконує прогнозування, відправляє їх на сервер, обробляє запити користувача через чат-бот та керує виконавчими механізмами.

До виводу D3 мікроконтролера під'єднано сенсор температури та вологості повітря DHT11.

Так як у ESP8266 не має достатньої кількості каналів вбудовано АЦП, використовується зовнішній ADS1115. До трьох аналогових входів цього АЦП підключені датчики освітленості, вмісту CO<sub>2</sub> в повітрі та вологості ґрунту. Комунікація між мікроконтролером та ADS1115 відбувається по шині I2C.

До виводів D0, D5, D6 та D7 MCU під'єднані керуючі входи чотирьох модулів реле, кожен з яких відповідає за систему регулювання одного з параметрів мікроклімату міні-теплиці.

На базі цієї схеми було розроблено прототип системи контролю параметрів мікроклімату міні-теплиці (рис. 3.2).

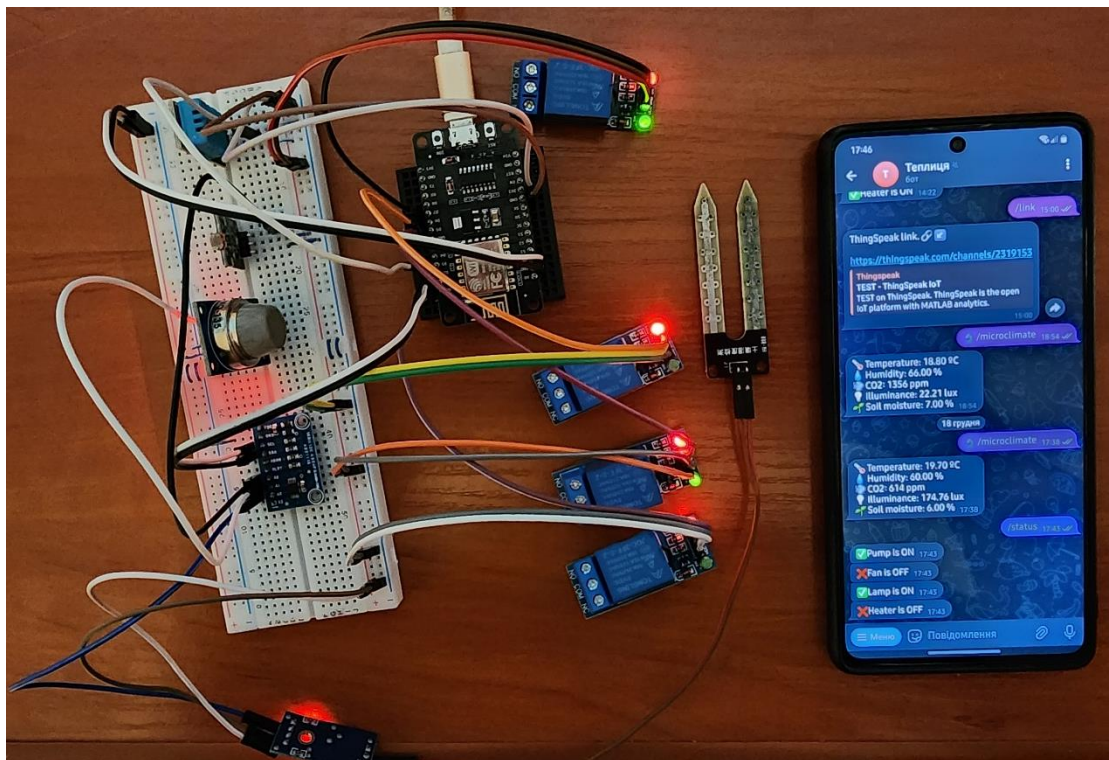


Рис. 3.2. Зовнішній вигляд прототипу

### 3.2. Програмне забезпечення для контролю та прогнозування параметрів мікроклімату міні-теплиці

Для програмування мікроконтролера ESP8266 було вибрано середовище розробки Arduino IDE. Головними причинами цього є наявність великої кількості вбудованих бібліотек з функціями, які полегшують роботу з використовуваними пристроями, а також те, що Arduino IDE є безкоштовною та відкритою платформою.

Насамперед, для роботи із мікроконтролером ESP8266 слід додати у параметри середовища розробки спеціальний плагін. Це робиться для того, щоб написаний код можна було скомпілювати.

Для початку, нам потрібно підключити усі необхідні бібліотеки для роботи пристрою (рис. 3.3).

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClientSecure.h>
#include <UniversalTelegramBot.h>
#include <ThingSpeak.h>
#include <ArduinoJson.h>
#include <Adafruit_ADS1X15.h>
#include <DHT.h>
```

Рис. 3.3. Лістинг підключення бібліотек

Бібліотека “DHT.h” потрібна для отримання даних від датчика температури та вологості повітря DHT11. “Adafruit\_ADS1X15.h” працює із зовнішнім АЦП ADS1115. Бібліотека “ArduinoJson.h” потрібна для двох інших – “ThingSpeak.h” та “UniversalTelegramBot.h”. Останні дають можливість використовувати ThingSpeak та Telegram Bot API відповідно. Останні дві бібліотеки підключені для підключення пристрою до мережі Wi-Fi.

Визначено до яких виводів згідно схеми електричної принципової підключені реле виконавчих механізмів (рис. 3.4).

```
#define LEDPIN D4
#define PUMPPIN D5
#define FANPIN D6
#define LAMPPIN D7
#define HEATERPIN D0
```

Рис. 3.4. Лістинг визначення пінів для виконавчих механізмів

Для вимірювання температури та вологості повітря використовується DHT11, підключений до піна D3. Створюється об'єкт з відповідними параметрами (рис. 3.5).

```
#define DHTPIN D3
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
```

Рис. 3.5. Лістинг створення об'єкта dht

Для вимірювання температури та вологості створено змінні, де зберігатимуться ці дані, а також застосовуються відповідні методи (рис. 3.6).

```
//-----Temperature and Humidity-----
air_Temp = dht.readTemperature();
air_Hum = dht.readHumidity();
```

Рис. 3.6. Лістинг запису значень температури та вологості у змінні

Сенсор вологості ґрунту підключено до 2 каналу ADS1115, тому використовується метод для одноразового зчитування значення з одного каналу (рис. 3.7).

```
adc_groundHum = ads.readADC_SingleEnded(2);
//----Ground humidity percentage calculation----
percent_groundHum = adc_groundHum * 100 / 17599;
percent_groundHum = map(percent_groundHum, 0, 100, 100, 0);
```

Рис. 3.7. Лістинг зчитування даних про вологість ґрунту та переведення

їх у відсотки



Тут використовується функція `map()` для того, щоб інвертувати діапазон значень.

Фоторезистор, який вимірює освітленість, підключено до нульового каналу зовнішнього АЦП. Тому тут застосовується той же метод, що і при зчитуванні вологості ґрунту (рис. 3.8).

```
//Константи для сенсора освітлення
const float Rref = 10000;
const float RL10 = 20000;
const float GAMMA = 0.6;

adc_lightSen = ads.readADC_SingleEnded(0);
//-----Lux calculation-----
R = Rref / (32767 / adc_lightSen - 1);
Lux = pow(10, ((log(RL10 / R) / GAMMA) + 1));
```

Рис. 3.8. Лістинг зчитування даних про освітленість та переведення їх у люкси

Для переведення оцифрованого значення у люкси, спочатку потрібно вирахувати опір фоторезистора в даний момент часу.

Константа `Rref` визначає опір підтягувального резистора, а `RL10` – опір фоторезистора при освітленості 10 лк.

Аналоговий вивід давача концентрації вуглекислого газу в повітрі MQ-135 підключено до 1 каналу ADS1115. Оцифровувати дані з нього будемо тим же методом (рис. 3.9).

```

//Константи для MQ-135
const float RL = 36;
const float R0 = 157.548;
const float A = 5.58402;
const float P = -0.36673;

adc_gasSen = ads.readADC_SingleEnded(1);

//-----Convert raw values to volts-----
V_gasSen = ads.computeVolts(adc_gasSen);

//-----PPM calculation-----
RS = ((5.0 - V_gasSen) * RL) / V_gasSen;
Y = RS / R0;
PPM = round(pow(Y / A, 1 / P));

```

Рис. 3.9. Лістинг оцифрування даних від MQ-135 та переведення у ppm

Для переведення концентрації CO<sub>2</sub> у ppm потрібно знати опір сенсора, для чого, у свою чергу, треба перевести чисте значення з АЦП у вольти. Відбувається це методом `computeVolts()`.

Тут також визначено константи для MQ-135: RL – опір підтягувального резистора, R0 – опір давача при умовно чистому повітрі.

Для методу зваженого ковзного середнього визначено розмір вікна та ваги для реальних значень параметрів, які будуть прогнозуватися (рис. 3.10).

```

//Розмір вікна для методу зваженого ковзного середнього
#define WINDOW_SIZE 5

//Ваги для зваженого середнього
const float weights[WINDOW_SIZE] = {1, 1, 2, 3, 5};

```

Рис. 3.10. Лістинг визначення ваги реальних значень для методу прогнозування

У функції `setup()` проводиться початкова ініціалізація значень масиву для подальшого прогнозування параметрів (рис. 3.11).

```

//Ініціалізація значень масиву для прогнозування температури і CO2
for (int i=0; i<WINDOW_SIZE; i++) {
    tempReadings[i] = 0;
    co2Readings[i] = 0;
}
tempReadings[3] = ThingSpeak.readFloatField(myChannelNumber, 1, myReadAPIKey);
co2Readings[3] = ThingSpeak.readIntField(myChannelNumber, 5, myReadAPIKey);
makeMeasurement();
tempReadings[4] = air_Temp;
co2Readings[4] = PPM;

temp_forecastValue = air_Temp;
co2_forecastValue = PPM;

```

Рис. 3.11. Лістинг наповнення масиву для прогнозування даними

Спочатку заповнюються тільки 2 комірки масиву значенням, взятим із хмарного сервісу, та щойно отриманим від датчиків.

При цьому початкові прогнозовані значення приймаються як реальні.

Далі у функції loop() раз в 5 хвилин відбувається новий запис у масив, при цьому старі значення зсуваються ліворуч (рис. 3.12).

```

//Прогнозування температури і вмісту CO2
for (int i=1; i<WINDOW_SIZE; i++) {
    tempReadings[i-1] = tempReadings[i];
    co2Readings[i-1] = co2Readings[i];
}
tempReadings[4] = air_Temp;
co2Readings[4] = PPM;
float temp_sum = 0;
float co2_sum = 0;
float weights_sum = 0;
for (int i=0; i<WINDOW_SIZE; i++) {
    temp_sum += tempReadings[i] * weights[i];
    co2_sum += co2Readings[i] * weights[i];
    weights_sum += weights[i];
}
temp_forecastValue = temp_sum / weights_sum;
co2_forecastValue = round(co2_sum / weights_sum);

```

Рис. 3.12. Лістинг прогнозування температури повітря та вмісту

вуглекислого газу у ньому

Далі у змінну додаються всі реальні значення параметрів з масиву, помножені на їхні ваги. Прогнозоване значення вираховується як ділення цієї суми значення на суму всіх ваг.

На рис. 3.13 показано лістинг коду, який відповідає за порівняння отриманих даних від датчиків, а також прогнозованого значення, та визначеними пороговими значеннями.

```
if (temp_forecastValue < Temp_min && air_Temp < Temp_max) {
    digitalWrite(HEATERPIN, LOW);
    heaterStatus = true;
} else {
    digitalWrite(HEATERPIN, HIGH);
    heaterStatus = false;
}

if (percent_groundHum < grdHum_min) {
    digitalWrite(PUMPPIN, LOW);
    pumpStatus = true;
} else {
    digitalWrite(PUMPPIN, HIGH);
    pumpStatus = false;
}

if (Lux < Lux_min) {
    digitalWrite(LAMPPIN, LOW);
    lampStatus = true;
} else {
    digitalWrite(LAMPPIN, HIGH);
    lampStatus = false;
}

if (co2_forecastValue > CO2_max && PPM > CO2_min) {
    digitalWrite(FANPIN, LOW);
    fanStatus = true;
} else {
    digitalWrite(FANPIN, HIGH);
    fanStatus = false;
}
```

Рис. 3.13. Лістинг програми автоматизації контролю параметрів мікроклімату

Створення Telegram-бота для контролю параметрів мікроклімату здійснюється через іншого бота під назвою BotFather. Після того, як ми задали новому боту ім'я, нам потрібен його токен для доступу до HTTP API.

Після цього бот готовий до роботи. Задаємо затримку обробки повідомлень в Telegram, а також створюємо змінну, у якій зберігатиметься час останньої перевірки (рис. 3.14).

```
//Перевірка повідомлень в Telegram
int botRequestDelay = 1000;
unsigned long lastTimeBotRan;

WiFiClientSecure tg_client;
UniversalTelegramBot bot(BOTtoken, tg_client);
```

Рис. 3.14. Лістинг задання змінних для ініціалізація Telegram-бота

Об'єкт `bot` отримує параметрами вищезазначений токен та Wi-Fi клієнта для зв'язку з Telegram.

На рис. 3.15 показано вигляд обробки повідомлень в чат-боті, яка відбувається у головному циклі `loop()`.

```
//Перевірка повідомлення в чат-боті
if (millis() > lastTimeBotRan + botRequestDelay) {
    int numNewMessages = bot.getUpdates(bot.last_message_received + 1);

    while(numNewMessages) {
        handleNewMessages(numNewMessages);
        numNewMessages = bot.getUpdates(bot.last_message_received + 1);
    }
    lastTimeBotRan = millis();
}
```

Рис. 3.15. Лістинг коду обробки команд користувача

Затримка обробки реалізована функцією `millis()`, яка повертає час виконання програми.

Якщо в чаті зв'явилося нове повідомлення від користувача, то викликається функція `handleNewMessages()`, лістинг якої подано на

рис. 3.16. Після цього у змінну `lastTimeBotRan` записується поточний час роботи програми в мілісекундах.

```
void handleNewMessages (int numNewMessages) {

    for (int i=0; i<numNewMessages; i++) {
        String chat_id = String(bot.messages[i].chat_id);
        if (chat_id != CHAT_ID) {
            bot.sendMessage(chat_id, "Unauthorized user", "");
            continue;
        }

        String text = bot.messages[i].text;
        String from_name = bot.messages[i].from_name;

        if (text == "/start") {
            String welcome = "Welcome, " + from_name + ".\xF0\x9F\x91\x8B\n";
            welcome += "Use the menu to get available commands.\xF0\x9F\x93\xB2 \xE2\xAC\x87\n";
            welcome += "Or you can choose /options to use a keyboard.\xE2\x8C\xA8\n";
            bot.sendMessage(chat_id, welcome, "");
            return;
        }
    }
}
```

Рис. 3.16. Лістинг фрагменту функції обробки команд в чат-боті

На початку відбувається перевірка `chat_id` користувача, який написав повідомлення. Якщо він не співпадає із заданими ідентифікаторами, бот надішле у відповідь “Неавторизований користувач” та не виконуватиме його команди.

В іншому випадку відбувається порівняння написаної команди із тими, які може виконувати чат-бот. Для прикладу показано команду `/start`, після якої користувачу прийде вітальне повідомлення. Перелік доступних команд: `/options`, `/microclimate`, `/status`, `/link`.

Для того, аби скористатися можливостями ThingSpeak, спочатку потрібно зареєструватися та налаштувати канал.

Також нам знадобляться ключі API для читання та запису даних у хмару, які знаходяться на вкладці “API Keys”.

На рис. 3.17 подано константи, які використовуються у програмі при роботі з ThingSpeak.

```

//ThingSpeak
unsigned long myChannelNumber = CHANNEL_ID;
const char* myWriteAPIKey = WRITE_APIKEY;
const char* myReadAPIKey = READ_APIKEY;
int ThingSpeakRequestDelay = 300000;
unsigned long lastTimeThingSpeakRan;

```

Рис. 3.17. Лістинг коду з константами для ThingSpeak

Для комунікації з ThingSpeak застосовуються змінні зі значеннями ідентифікатора каналу та API ключів для читання та запису. Також, як і у випадку з Telegram-ботом, визначено затримку відправки даних у 5 хвилин та змінну, яка зберігає час останнього запису на хмару.

На рис. 3.18 представлено лістинг коду для надсилання поточних параметрів мікроклімату міні-теплиці на хмарний сервіс ThingSpeak.

```

//Відправка даних
ThingSpeak.setField(1, air_Temp);
ThingSpeak.setField(2, air_Hum);
ThingSpeak.setField(3, percent_groundHum);
ThingSpeak.setField(4, Lux);
ThingSpeak.setField(5, PPM);
ThingSpeak.setField(6, temp_forecastValue);
ThingSpeak.setField(7, co2_forecastValue);
ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber, myWriteAPIKey);
lastTimeThingSpeakRan = millis();

```

Рис. 3.18. Лістинг відправки значень у хмару

Запис даних у ThingSpeak відбувається по полям за допомогою функції `setField()`. Після того, як усі потрібні поля заповнені, функція `writeFields()` посилає дані на сервер, використовуючи API ключ для запису.

### 3.3. Результати роботи системи контролю та прогнозування параметрів мікроклімату міні-теплиці

Розроблена система дуже проста та інтуїтивно зрозуміла, тому, в плані застосування, з нею не повинно бути питань у користувачів.

Віддалений доступ до прототипу, загальний вигляд якого показано на рис. 3.2, здійснюється через Telegram-бот. Комунікація з ним відбувається за рахунок наперед визначених команд.

Робота з Telegram-ботом розпочинається із команди /start (рис. 3.19).

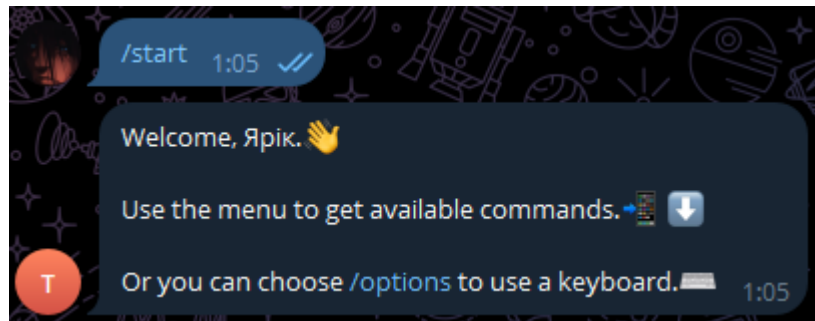


Рис. 3.19. Команда /start у чаті

При цьому бот привітається та запропонує вибрати команди з меню, або скористатися командою /options для користування кнопками.

Дізнатися про поточні параметри мікроклімату у міні-теплиці можна командою /microclimate (рис. 3.20).

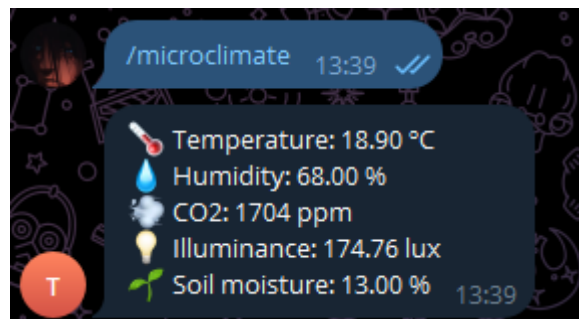


Рис. 3.20. Команда /microclimate у чаті



Також можна дізнатися про статус, тобто стан, виконавчих механізмів за допомогою команди /status (рис. 3.21).



Рис. 3.21. Команда /status у чаті

Остання команда /link (рис. 3.22) дозволяє отримати посилання на канал ThingSpeak, у якому зберігаються минулі вимірювання мікроклімату.

Перевагою чату в Telegram є те, що користуватися ним можна як зі смартфона, який завжди є під рукою, так і з персонального комп'ютера, якщо є така необхідність.

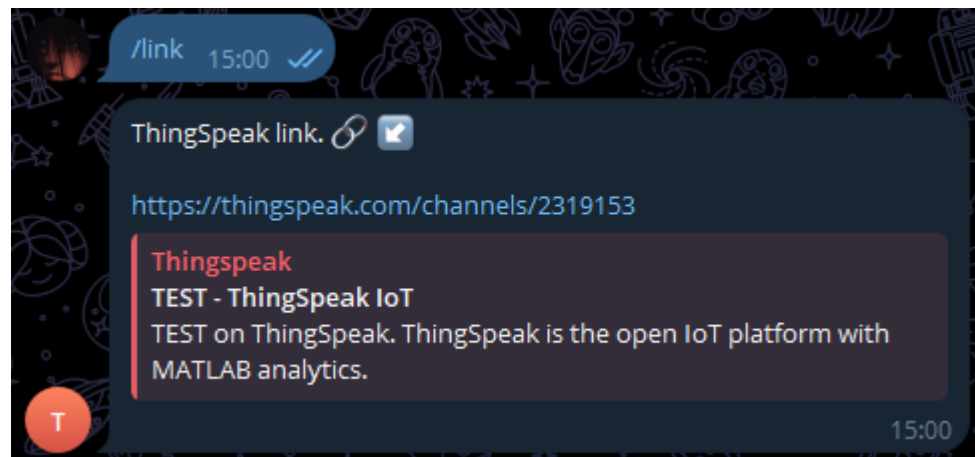


Рис. 3.22. Команда /link у чаті

Перейшовши по цьому посиланню, можна побачити візуалізацію вимірних значень у вигляді графіків. На рис. 3.23 зображені графіки вологості повітря та ґрунту і освітленості.

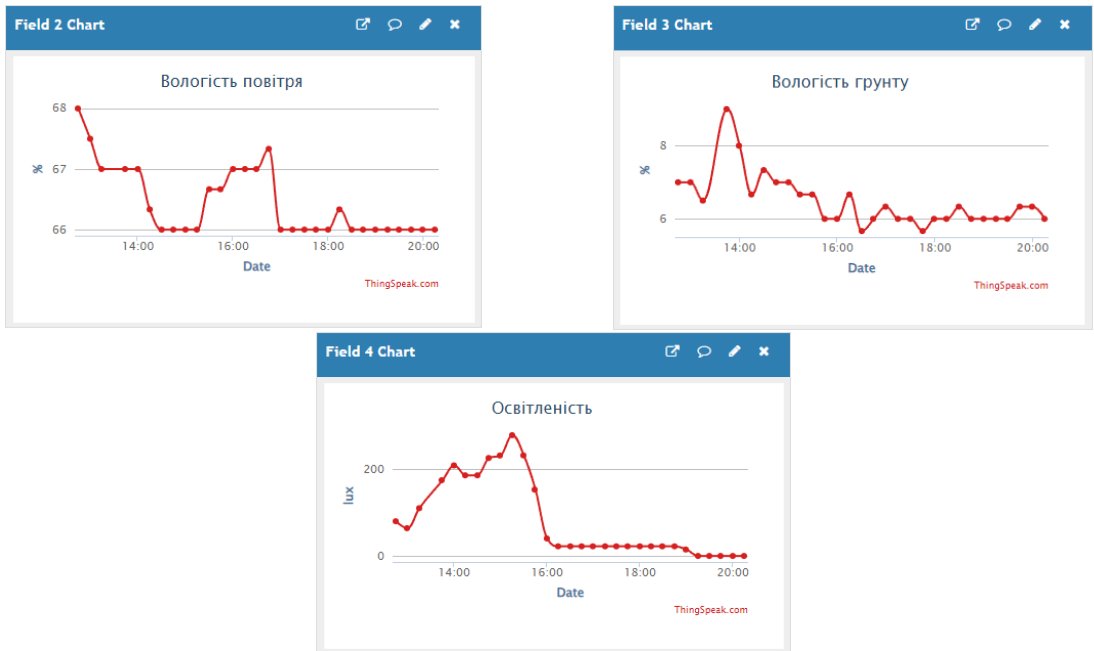


Рис. 3.23. Вигляд графіків освітленості та вологості повітря і ґрунту

Перевагою використання ThingSpeak є гнучкість налаштувань цих графіків. Наприклад, ці графіки показують дані за 7 годин вимірювань і з середнім значенням кожні 15 хвилин.

На рис. 3.24 представлені графіки вимірених та прогнозованих значень температури повітря та концентрації вуглекислого газу.

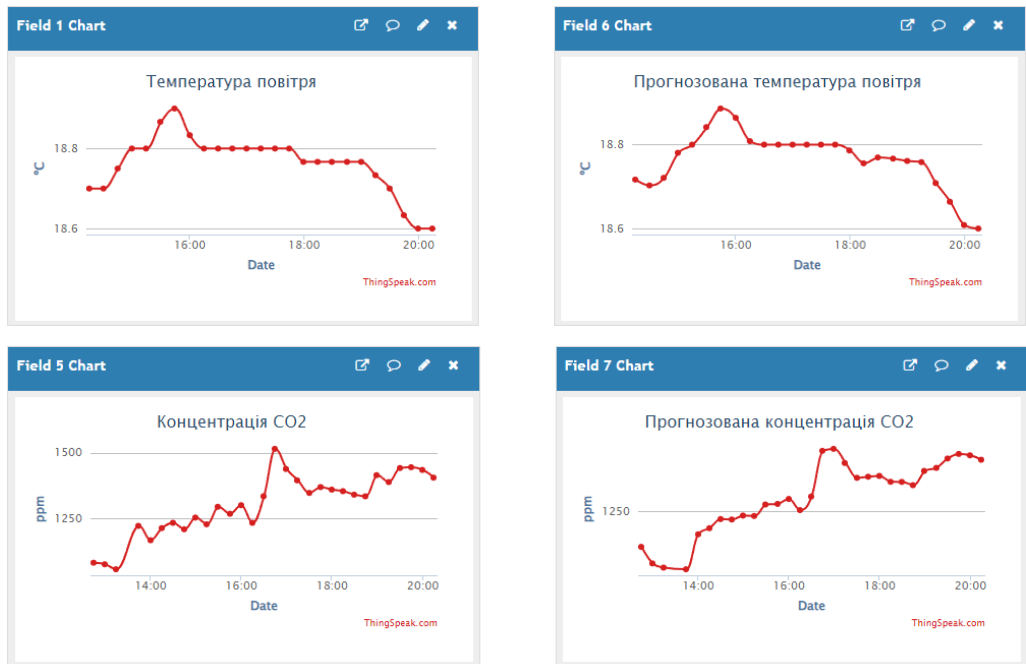


Рис. 3.24. Реальні та прогнозовані значення температури повітря та вмісту CO<sub>2</sub>

Як видно з цього рисунку, прогнозовані значення близькі до реальних, що свідчить про те, що регулювання параметрів мікроклімату міні-теплиці з використанням прогнозованих значень цих параметрів буде ефективним.

### 3.4. Висновки до розділу 3

У третьому розділі кваліфікаційної роботи:

- на основі запропонованої структурної схеми розроблено схему електричну принципову та прототип системи для вимірювання і регулювання параметрів мікроклімату міні-теплиці;

- розроблено ПЗ для функціонування системи та віддаленого доступу через Telegram;

- здійснено тестування працездатності комп'ютеризованої системи вимірювання і регулювання мікроклімату міні-теплиці з віддаленим доступом та проаналізовано коректність отриманих результатів.

## РОЗДІЛ 4

## ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

## 4.1. Охорона праці

У даній кваліфікаційній роботі було розроблено вбудовану систему вимірювання та регулювання мікрокліматом міні-теплиць. Так як для реалізації поставлених завдань використовувалося комп'ютерне обладнання, необхідно враховувати вимоги техніки безпеки та охорони праці, протипожежної та електробезпеки.

Згідно з НПАОП 0.00-7.15-18 “Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями” [6]:

– робоче місце, використане під час виконання кваліфікаційної роботи, було зручно та ергономічно спроектовано, мало достатній розмір для нормальної роботи. Воно забезпечує підтримання найліпшої робочої пози за ПК;

– робочий стілець був зручним та легким для пересування. Воно виконане з напівм'якого матеріалу, що не пропускає повітря та легко чиститься і не електризується;

– мікроклімат у приміщенні був комфортним для роботи та відповідав вимогам Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99, затверджених постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01 грудня 1999 року № 42. Згідно з цими вимогами температура повітря – в межах 22-25 °С, вологість повітря близько 50 %, а швидкість вітру – менше 0,1 м/с.

– екран ПК був у хорошому стані і відображав чіткий текст, букви якого були нормального розміру. Міжрядковий інтервал був достатнім, як і міжсимвольний. Картинка екрану була стабільною, без якихось несправностей, сам екран не мерехтів.

Екран ПК розташовувався на оптимальній відстані від очей (приблизно 60 см).

Клавіатура була розташовувана на відстані 10-20 см від краю робочого столу. Також була передбачена підставка, виконана з такого матеріалу, що не давав їй легко соватися. Висота середнього рядка клавіш не перевищувала 3 см. Поверхня клавіатури була матовою.

При цьому технічне обслуговування, ремонт і налагодження екранів та іншого комп'ютерного обладнання не проводилося безпосередньо на робочому місці під час роботи.

Також забороняється самостійно відключати екранне обладнання, змінювати його конструкцію або конфігурацію, вносити технічні корективи або працювати з обладнанням, яке викликає аномальні сигнали або якісь інші несправності.

Згідно з ДСанПіН 3.3.2.007-98:

- приміщення, у якому проводилася робота, мало природне та штучне освітлення;
- у приміщенні не перевищувалися допустимі рівні шуму та вібрації;
- віконні прорізи були обладнані жалюзі;
- у приміщенні розташовувалася аптечка для першої медичної допомоги;
- у приміщенні щоденно проводилося вологе прибирання.

Відповідно до ДБН В.2.5-67:2013 “Опалення, вентиляція та кондиціонування”, затверджених Наказом Мінрегіону №24 від 25 січня 2013 року, на робочих місцях, де розміщуються персональні комп'ютери, обов'язково повинні бути встановлені такі системи як обігріву, охолодження повітря або вентиляції.

Згідно з НПАОП 40.1-1.21-98 “Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів”:

- усе електричне обладнання під'єднане до електромережі справними штепселями та непошкоджених розеток;

- у всіх розетках та штепселях наявні контакти для підключення нульового провідника;
- усі провідники були в ізоляції без пошкоджень;
- зняття напруги здійснювалося за допомогою спеціального комутаційного пристрою, який керувався вручну.

Мікроконтролер ESP8266 живиться за допомогою USB, напруга живлення якого становить 5 В. Також давачами використовується напруга 3,3 В. Обидві ці напруги не несуть небезпеки для розробника та кінцевого користувача.

При цьому також застосовувалася технологія безпроводної передачі даних, що суттєво зменшує шанси на ураження електричним струмом при надзвичайних ситуаціях.

У будівлі, де проводилися роботи, додержано вимог ДБН В.1.1.7-2016 “Пожежна безпека об’єктів будівництва”, затверджених наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 31 жовтня 2016 року № 287, а також НАПБ А.01.001-2014 “Правила пожежної безпеки в Україні”, затвердженими Міністерство внутрішніх справ України від 30.12.2014 № 1417.

Щодо вимог до освітлення, робоче місце розташовувалося так, що природне світло падало з лівого боку. При цьому це світло не засліплювало.

Штучне освітлення у приміщенні організоване системою загального рівномірного освітлення. Джерелом цього освітлення являлися люмінесцентні лампи.

Система освітлення була реалізована згідно з вимогами ДСанПіН 3.3.2.007-98, тобто у вигляді рознесених рядів ламп, розміщених по боках робочого місця. У цьому випадку освітленість на робочому столі була орієнтовно 500 люкс.

У приміщенні миття вікон і світильники відбувалося не рідше 2 разів на рік, а при перегоранні лампи, виконувалася своєчасна заміна.

## 4.2. Безпека життєдіяльності

До категорії основних принципів забезпечення життєдіяльності відносяться [13]:

а) безперервне забезпечення фізіологічних процесів організму людини повітрям, питною водою, продуктами харчування, теплом, світлом тощо;

б) взаємозв'язок і взаємозалежність з навколишнім середовищем. Життєдіяльність забезпечується такими факторами навколишнього середовища, як параметри споживання, енергоресурси, корисні копалини, продукти харчування, елементи штучного середовища тощо;

в) раціональна організація праці за ціллю, часом, місцем і нормами. Грамотна організація праці передбачає управління, принципи організації, цілі і завдання, засоби праці, виробничу діяльність і результати праці;

г) матеріальне заохочення при організації життєдіяльності. Безпосередньо пов'язане з продуктивністю праці, яка визначається:

- людським фактором (способом матеріального заохочення);
- працездатністю виробничого персоналу;
- ступенем підготовленості до праці (професійним, фізіологічним, психологічним);

д) захист здоров'я, меж і умов життєдіяльності. Для реалізації цього принципу людство створило спеціальні інститути: медичного забезпечення, екологічного захисту, оборони, моралі та ін.;

е) ліквідація негативних наслідків життєдіяльності. Життєдіяльність окремих груп людей і населення Землі загалом супроводжується небезпечними ситуаціями техногенного, природного, соціально-екологічного характеру. Тому кожна держава повинна мати професійно придатні структури для ліквідації наслідків небезпечних ситуацій.

Кожен принцип має певну кількість способів його реалізації. Найбільш типовими з них є:

- усі види трудової діяльності, практики;

- способи розробки і створення засобів праці;
- забезпечення життєдіяльності людини параметрами штучного середовища;
- здоровий спосіб життя, профілактика здоров'я, відпочинок;
- оптимальне обмеження параметрів споживання ресурсів, забезпечення і поповнення їх;
- функціонування захисних систем у звичайних умовах і в умовах виникнення різних небезпек.

Самопочуття і працездатність людини залежать від умов виробничого середовища, в якому вона знаходиться і виконує трудові обов'язки.

Сукупність таких показників, як температура повітря, °С; відносна вологість, %; швидкість руху повітря, м/с; інтенсивність теплового випромінювання, Вт/м<sup>2</sup>; барометричний тиск, мм рт. ст., називають метеорологічними умовами, або мікрокліматом.

Згідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності чинників виробничого середовища, тяжкості та напруженості трудового процесу умови праці користувачів ЕОМ мають відповідати I класу (оптимальним) або II класу (допустимим) умовам праці [3].

Допустимими називаються такі параметри мікроклімату, які при тривалій і систематичній дії на людину можуть викликати перехідні, і такі, що швидко нормалізуються, зміни теплового стану організму, які супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції, але не виходять за межі фізіологічних пристосувань. При цьому не виникає пошкоджень або порушень стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні теплові відчуття, погіршення самопочуття і зменшення працездатності.

Оптимальними є такі параметри мікроклімату, які при тривалій і систематичній дії на людину забезпечують збереження нормального теплового стану організму без напруження механізмів терморегуляції. Вони забезпечують відчуття теплового комфорту і створюють умови для високого рівня працездатності людини.



Згідно з ДСН 3.3.6.042-99 робота користувачів і операторів ПК відноситься за важкістю до легкої 1а або легкої 1б, тобто роботи, яку виконують сидячи, не потребує напруження і за якої витрати енергії становлять до 139 Вт. Тоді оптимальні параметри мікроклімату для операторів ВДТ, ЕОМ та ПЕОМ відповідають наведеним у табл. 4.1.

*Таблиця 4.1*

**Оптимальні величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря для приміщень з ВДТ, ЕОМ і ПЕОМ**

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Легка – 1а	22-24	40-60	0,1
	Легка – 1б	21-23	40-60	0,1
Теплий	Легка – 1а	23-25	40-60	0,1
	Легка – 1б	22-24	40-60	0,2

Для підтримання оптимальних значень параметрів повітря робочої зони потрібно застосовувати вентиляцію приміщень, кондиціонування повітря, використовувати установки або прилади зволоження та штучної іонізації.

#### 4.3. Висновки до розділу 4

У четвертому розділі кваліфікаційної роботи проводиться оцінка відповідності виробничого приміщення вимогам з охорони праці. Наводяться основні принципи і способи забезпечення життєдіяльності та описуються оптимальні умови при створенні метеорологічних умов виробничого середовища для користувачів ПЕОМ.

## ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі вирішено важливе та актуальне завдання підвищення ефективності функціонування міні-теплиці та отримано такі результати:

- проаналізовано літературні джерела, в яких описано методи та засоби вимірювання і регулювання параметрів мікроклімату міні-теплиці;
- здійснено аналіз впливу параметрів мікроклімату на життєдіяльність рослин та запропоновано здійснювати контроль параметрів мікроклімату міні-теплиці за показниками освітленості, концентрації вуглекислого газу, температури і вологості повітря, а також вологості ґрунту;
- проаналізовано сучасні алгоритми та технології віддаленого доступу з метою використання їх для контролю за параметрами процесу вирощування рослин в міні-теплицях та обґрунтовано вибір протоколу Wi-Fi для передавання даних;
- запропоновано здійснювати прогнозування параметрів температури та концентрації вуглекислого газу міні-теплиці з використанням методу зваженого ковзного середнього;
- розроблено алгоритмічне, програмно-апаратне забезпечення та прототип системи для вимірювання та регулювання параметрів мікроклімату міні-теплиці з технологією віддаленого доступу;
- запропоновано використання технології віддаленого доступу через телеграм-бот для контролю параметрів мікроклімату міні-теплиці, що дозволило підвищити ефективність вирощування рослин;
- здійснено тестування працездатності комп'ютеризованої системи вимірювання і регулювання мікроклімату міні-теплиці з віддаленим доступом та проаналізовано коректність отриманих результатів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Боярин А.А., Кулік Т.І. Автоматична система керування поливом для міні-теплиці. Наукові розробки молоді на сучасному етапі: тези доповідей XVIII Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів. Київ: КНУТД, 2019. Т. 2: Мехатронні системи і комп'ютерні технології. Ресурсозбереження та охорона навколишнього середовища. С. 17-18.
2. Буртняк І.В., Малицька Г.П. Прогнозування економічних і соціальних процесів: навч. посіб. Івано-Франківськ: ПНУ, 2019. 131 с.
3. Гуцул В.І. Охорона праці в галузі: методичні рекомендації. Чернівці: ЧНУ, 2021. 52 с.
4. Євсеєнко О.М. Розробка апаратно-програмної системи керування мікрокліматом теплиці. Наукове видання Державного університету «Житомирська політехніка». Технічна інженерія. 2020. № 1 (85). С. 104-109.
5. 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.
6. НПАОП 0.00-7.15-18. Про затвердження Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18#Text> (дата звернення: 23.11.2023).
7. 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.
8. Оробчук Б.Я., Шишко В.О. Розробка системи забезпечення мікроклімату в теплиці. Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних

технологій. Тернопіль, 2019. С. 73-74.

9. 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.

10. Паламар М.І., Стрембіцький М.О., Паламар А.М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів. Навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ. 2019. 150 с.

11. Панчишин Я. Структура системи контролю параметрів мікроклімату міні-теплиці. Матеріали XI науково-технічної конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Інформаційні моделі, системи та технології», Тернопіль: ТНТУ. 2023. С. 170.

12. Панчишин Я., Осухівська Г. Алгоритмічне забезпечення комп'ютеризованої системи регулювання мікроклімату міні-теплиці. Матеріали XI науково-технічної конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Інформаційні моделі, системи та технології», Тернопіль: ТНТУ. 2023. С. 171.

13. Ткачук А.І., Пуляк О.В. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці. Курс лекцій. Кропивницький: ПП "Центр оперативної поліграфії "Авангард", 2017. 184 с.

14. Шмигер Г.П., Нагорна А.М. Реалізація проекту інтернету речей на прикладі «розумної теплиці». Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання: досвід, тенденції, перспективи. Матеріали міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції. Тернопіль: ТНПУ імені Володимира Гнатюка, 2018. С. 37-39.

15. Ясінський Р.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М. Апаратно-програмна система для регулювання мікроклімату теплиць. Матеріали X науково-технічної конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Інформаційні моделі, системи та технології», Тернопіль: ТНТУ. 2022. С. 102.

16. Aznar S. J. A., Velasco M. J. F., López F. B. and Román S. I. M. An Analysis of Global Research Trends on Greenhouse Technology: Towards a Sustainable Agriculture. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020, 17(2). P. 6-10.
17. Deisiane Santos da Cruz, Caio Castro Rodrigues, Otavio A Chase, Dênmora Gomes de Araújo, José Felipe Souza de Almeida. IoT-based Smart Mini Greenhouse. *International Journal for Innovation Education and Research*. 2019, 7(10). P. 31-37.
18. GL5528 Datasheet (PDF). URL: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1131892/ETC2/GL5516.html> (дата звернення: 12.10.2023).
19. Harishankar S. et al. Solar powered smart irrigation system. *Advance in Electronic and Electric Engineering*, 2014. Vol. 4, N 4. P. 341-346.
20. How To Use MQ-135 Gas Sensor. URL: <https://www.codrey.com/electronic-circuits/how-to-use-mq-135-gas-sensor/> (дата звернення: 04.11.2023).
21. Intelligent climate control system for professional growers – GrowDirector. URL: <https://growdirector.com/about/> (дата звернення: 03.10.2023).
22. Interfacing DHT11 Humidity & Temperature Sensor with Arduino. URL: <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/interfacing-dht11-sensor-with-arduino> (дата звернення: 03.11.2023).
23. IoT Analytics - ThingSpeak Internet of Things. URL: [https://thingspeak.com/pages/learn\\_more](https://thingspeak.com/pages/learn_more) (дата звернення: 03.10.2023).
24. MTProto Mobile Protocol. URL: <https://core.telegram.org/mtproto> (дата звернення: 10.10.2023).
25. Smart gardening systems – Harvst. URL: <https://www.harvst.co.uk/> (дата звернення: 12.10.2023).

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**

<b>Ясній О.П., Крисюк І.В.</b> ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА НАДІЙНІСТЬ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ В ПРОЦЕСІ ЇХ РОЗРОБКИ <b>Yasniy O.P., Krysiuk I.V.</b> EFFECTS RELIABILITY FACTORS OF COMPUTER SYSTEMS IN THE PROCESS OF THEIR DEVELOPMENT	161
<b>Василь Яцишин, Іван Кучма</b> КЛАСИФІКАЦІЯ ОНТОЛОГІЙ В ПРОЦЕСІ МОДЕЛЮВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ <b>Vasyl Yatsyshyn, Ivan Kuchma</b> CLASSIFICATION OF ONTOLOGIES IN THE PROCESS OF COMPUTER NETWORK MODELING	162
<b>І.В. Лылик, А.М. Паламар</b> КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА МОНИТОРИНГУ РІВНЯ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ОСНОВІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ <b>I.V. Lylyk, A.M. Palamar</b> COMPUTERIZED ULTRAVIOLET RADIATION LEVEL MONITORING SYSTEM BASED ON THE INTERNET OF THINGS	163
<b>Андрій Луцків, Сергій Макогон</b> ТИПИ АРХІТЕКТУР НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ ТЕКСТОВИХ ПОВІДОМЛЕНЬ У ЗВУКОВИЙ ПОТІК <b>Andriy Lutskiv, Serhii Makohon</b> TYPES OF NEURAL NETWORK ARCHITECTURES FOR TEXT TO SPEECH	164
<b>Андрій Луцків, Юрій Мельничук</b> МУЛЬТИАГЕНТНА ОРГАНІЗАЦІЯ СЕРВЕРА ОНЛАЙН АУКЦІОНІВ <b>Andriy Lutskiv, Yuriy Melnychuk</b> MULTI-AGENCY ONLINE AUCTION SERVER ORGANIZATION	165
<b>Галина Осухівська, Денис Муштин</b> КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЗА МЕТЕОДАНИМИ ДЛЯ ОБПРИСКУВАЧА <b>Halyna Osukhivska, Denys Mushtyn</b> COMPUTERIZED METEODATA CONTROL SYSTEM FOR SPRAYER	166
<b>Т.А. Озарків; Р.О. Жаровський</b> МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ EIGRP ПРОТОКОЛУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ <b>T. A. Ozarkiv; R.O. Zharovskyi</b> THE METHOD OF OPTIMIZING THE EIGRP PROTOCOL TO INCREASE THE PRODUCTIVITY OF DATA TRANSMISSION IN COMPUTER NETWORKS	167
<b>Андрій Луцків, Андрій Острівський</b> ОРГАНІЗАЦІЯ ДОСТУПУ ДО МОДЕЛІ GPT-3 ЗАСОБАМИ МОВИ PYTHON <b>Andriy Lutskiv, Andriy Ostrovskiy</b> ORGANIZING ACCESS TO THE GPT-3 MODEL USING PYTHON	168
<b>А.М. Паламар, Р.О. Романчук, М.В. Дрогобицький</b> КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ РІВНЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПИЛУ НА ОСНОВІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ <b>A.M. Palamar, R.O. Romanchuk, M.V. Drohobytzkyi</b> COMPUTERIZED SYSTEM FOR REMOTE MONITORING OF DUST CONCENTRATION LEVEL BASED ON THE INTERNET OF THINGS	169
<b>Ярослав Панчишин</b> СТРУКТУРА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ МІНІ-ТЕПЛИЦІ <b>Yaroslav Panchyshyn</b> STRUCTURE OF THE MINI-GREENHOUSE MICROCLIMATE PARAMETER CONTROL SYSTEM	170

УДК 681.518.5:004.77

Ярослав Панчишин

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

### СТРУКТУРА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ МІНІ-ТЕПЛИЦІ

Yaroslav Panchyshyn

### STRUCTURE OF THE MINI-GREENHOUSE MICROCLIMATE PARAMETER CONTROL SYSTEM

Сьогодні тепличні технології вже стали трендом у світовому сільському господарстві. У багатьох країнах теплицями для вирощування продуктів харчування зайнято тисячі гектарів землі. Також досить популярним є використання у господарстві міні-теплиць. Тому важливим завданням є дослідження міні-теплиць з точки зору технологій автоматизації для досягнення сталого виробництва продуктів харчування.

На рисунку 1 представлено структурну схему розробленого пристрою. Він складається з блоку сенсорів, які здійснюють вимірювання заданих параметрів мікроклімату; мікроконтролера, що їх аналізує, і блоку виконавчих механізмів, які регулюють ці параметри. Також схема містить зовнішній АЦП, який служить для оцифрування даних від датчиків, тому що в мікроконтролера не має достатньої кількості каналів вбудованого АЦП.

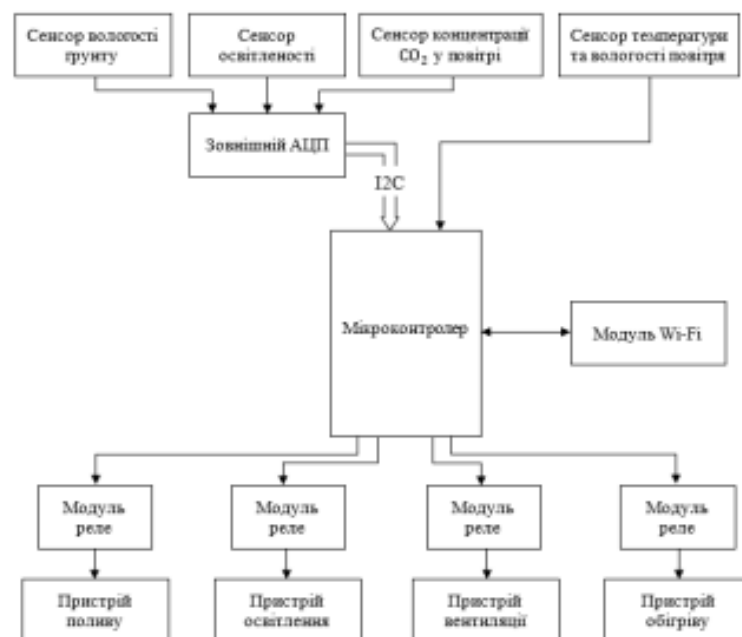


Рисунок 1. Структурна схема системи контролю параметрів мікроклімату міні-теплиці.

На основі отриманих даних мікроконтролер прогнозує зміни у кліматі міні-теплиці та заздалегідь реагує на них. Wi-Fi модуль слугує для відправки цих даних на віддалений сервер.



<b>Ярослав Панчишин, Галина Осухівська</b> АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ МІКРОКЛІМАТУ МІНІ-ТЕПЛИЦІ <b>Yaroslav Panchyshyn, Halyna Osukhivska</b> ALGORITHMIC SUPPORT OF COMPUTERIZED SYSTEM REGULATING THE MINI- GREENHOUSE MICROCLIMATE	171
<b>Василь Яцишин, Олександр Пасіка, Сергій Куліков</b> ФРАГМЕНТ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОФІЛЮ ЛОКАЛЬНОГО ПОРТАЛУ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРИВАТНИМИ РЕСТОРАНАМИ <b>Vasyl Yatsyshyn, Oleksandr Pasika, Serhii Kulikov</b> THE LOCAL PORTAL INFORMATION PROFILE FRAGMENT OF THE MANAGEMENT SYSTEM FOR PRIVATE RESTAURANTS	172
<b>Василь Яцишин, Юрій Рапацький, Вікторія Яцишин</b> ОРГАНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ ЗАСОБУ ПІДТРИМКИ МЕТОДУ QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT <b>Vasyl Yatsyshyn, Yuriy Rapatskyi, Viktoriya Yatsyshyn</b> THE LOCAL PORTAL INFORMATION PROFILE FRAGMENT OF THE MANAGEMENT SYSTEM FOR PRIVATE RESTAURANTS	173
<b>Богдан Роман, Константин Швырло</b> УПРАВЛІННЯ ДОКУМЕНТООБІГОМ ЗАКЛАДУ ВИЩОЇ ОСВІТИ НА ОСНОВІ ХМАРНИХ ПОСЛУГ ОБРОБКИ ДАНИХ <b>Bohdan Roman, Konstantyn Shvyrlo</b> DOCUMENT WORKFLOW MANAGEMENT OF A HIGHER EDUCATION INSTITUTION BASED ON CLOUD DATA PROCESSING SERVICES	174
<b>Р.М. Сабат, І.О. Баран</b> ОСНОВНІ МЕХАНІЗМИ ПІДТВЕРДЖЕННЯ ДОСТАВКИ ДАНИХ В МЕРЕЖІ <b>R.M. Sabat, O. Baran</b> MAIN MECHANISMS FOR CONFIRMATION OF DATA DELIVERY ON THE NETWORK	176
<b>А.М. Паламар, Д.С. Сомін</b> КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ РІВНЯ НАСИЧЕННЯ КИСНЕМ КРОВІ ЛЮДИНИ НА ОСНОВІ ІОМТ <b>A.M. Palamar, D.S. Somin</b> COMPUTERIZED SYSTEM FOR MONITORING HUMAN BLOOD OXYGEN SATURATION LEVEL BASED ON IOMT	177
<b>А.М. Лупенко, В. Ю. Степчук</b> РИЗИК-МЕНЕДЖМЕНТ У ТРЕЙДІНГУ: СТРАТЕГІЇ ЗНИЖЕННЯ РИЗИКІВ ТА КЕРУВАННЯ КАПІТАЛОМ <b>A.M. Lupenko, V.Yu. Stepchuk</b> RISK MANAGEMENT IN TRADING: RISK MITIGATION AND CAPITAL MANAGEMENT STRATEGIES	178
<b>А.М. Лупенко, В. Ю. Степчук</b> ТРЕЙДІНГ КРИПТОВАЛЮТАМИ: РИЗИКИ, МОЖЛИВОСТІ ТА ВАЖЛИВІ ФАКТОРИ УСПІХУ В ЦИФРОВІЙ ТОРГІВЛІ <b>A.M. Lupenko, V.Yu. Stepchuk</b> CRYPTOCURRENCY TRADING: RISKS, OPPORTUNITIES AND IMPORTANT SUCCESS FACTORS IN DIGITAL TRADING	179
<b>С.А. Таран</b> ГОЛОВНІ ПРОБЛЕМИ РОЗРОБКИ НОВИХ СИСТЕМ РОЗПІЗНАВАННЯ МОВИ І ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ <b>S.A. Taran</b> MAIN ISSUES IN THE DEVELOPMENT OF NEW SPEECH RECOGNITION SYSTEMS AND WAYS TO ADDRESS THEM	180

УДК 681.518.5:004.77

Ярослав Панчишин, Галина Осухівська, канд. техн. наук, доц.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

### АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ МІКРОКЛІМАТУ МІНІ-ТЕПЛИЦІ

Yaroslav Panchyshyn, Halyna Osukhivska, Ph.D., Assoc. Prof.

### ALGORITHMIC SUPPORT OF COMPUTERIZED SYSTEM REGULATING THE MINI-GREENHOUSE MICROCLIMATE

На сьогоднішній день досить великою популярністю при вирощуванні рослин користуються міні-теплиці. Їх застосування сприяє підвищенню продуктивності рослинництва та ефективнішому використанню земельних ресурсів [1]. При цьому важливим є можливість керувати мікрокліматом міні-теплиці для оптимального росту та дозрівання рослин. Задля того, щоб автоматизувати роботу міні-теплиці, було розроблено алгоритмічне забезпечення комп'ютеризованої системи регулювання параметрами мікроклімату міні-теплиці із віддаленим доступом.

Алгоритм складається з двох функцій: ініціалізації та головного циклу [2].

Функція ініціалізації пристрою включає такі етапи:

- встановлення режиму роботи виводів мікроконтролера, до яких підключені реле виконавчих механізмів;
- ініціалізація всіх використовуваних сенсорів та зовнішнього АЦП, а також клієнтів для роботи з Telegram-ботом та хмарним сервісом ThingSpeak;
- підключення до Wi-Fi;
- функцію затримки для підігріву давача MQ-135, який повинен вийти на відповідний температурний режим [3];
- запис початкових значень у масив для прогнозування відповідних параметрів.

Після виконання ініціалізації розпочинається головний цикл програми. Тут відбувається постійне зчитування даних про мікроклімат міні-теплиці з давачів. При умові, якщо є вдале підключення до мережі Wi-Fi, раз в 1 секунду перевіряються нові повідомлення в Telegram-боті, а кожні 5 хвилин відбувається прогнозування таких параметрів як температура повітря та концентрація в ньому вуглекислого газу, проводиться прогнозування їх змін на основі попередніх вимірювань, а також усі показники з сенсорів відправляються у хмарне середовище ThingSpeak, яке виступає базою даних. При втраті підключення до Wi-Fi мережі передбачена функція повторної спроби для під'єднання.

Незважаючи на те, є підключення до Wi-Fi чи ні, оцифровані від давачів та прогнозовані дані [4] порівнюються із заздалегідь визначеними максимальними чи мінімальними значеннями параметрів і, відповідно, здійснюється регулювання мікроклімату за допомогою виконавчих механізмів.

#### Література

1. Aznar S. J. A., Velasco M. J. F., López F. B. and Román S. I. M. An Analysis of Global Research Trends on Greenhouse Technology: Towards a Sustainable Agriculture. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020, 17(2). P. 6-10.
2. Parker D. *Arduino Programming: The Ultimate Guide For Making The Best Of Your Arduino Programming Projects*, 2020. P. 242.
3. How To Use MQ-135 Gas Sensor. URL: <https://www.codrey.com/electronic-circuits/how-to-use-mq-135-gas-sensor/> (дата звернення: 04.11.2023).
4. Буртняк І.В., Малицька Г.П. Прогнозування економічних і соціальних процесів: навч. посіб. 2019. 131 с.

## Додаток Б

Перелік елементів схеми електричної принципової

Поз.	Найменування	Кіл.	Примітка
<i>Мікросхеми</i>			
U1	NodeMCU V3 ESP8266	1	
U2	ADS1115	1	
U3-U4	LM393	2	
U5	DHT11	1	
<i>Конденсатори</i>			
C1-C5	SMD 0805 0.1uF 50V X7R 10%	5	
<i>Світлодіоди</i>			
D1-D12	SMD 0805 RED 2.0-2.2V	12	
<i>Стабілітрони</i>			
D13-D16	BZV55C5V1 5.1V 0.5W	4	
<i>Сенсори</i>			
K1	HW-080	1	
K2	MQ-135	1	
<i>Транзистори</i>			
Q1-Q4	SMD S8550 / 2TY (PNP)	4	
<i>Резистори</i>			
R1	0805 36kOhm 5%	1	
R2	0805 3.3kOhm 5%	1	
R3-R9	0805 10kOhm 5%	7	
R10-R25	0805 1kOhm 5%	16	
R26	0805 5.1Ohm 5%	1	
LDR1	GL5528	1	
<i>Реле</i>			
RL1-RL4	JQC-3FF-S-Z	4	
<i>Потенціометри</i>			
RV1-RV2	KLS4-3362P-103 10kOhm	2	

<i>КС КРМ 123.503.00.00 ПЗ</i>				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Панчишин Я.Б.		
Перевір.		Осухівська Г.М.		
Реценз.		Боднарчук І.О.		
Н. Контр.		Тиш Є.В.		
Затверд.		Осухівська Г.М.		
<i>Методи та засоби вимірювання і регулювання параметрів мікроклімату міні-теплиці з технологією віддаленого доступу</i>				
Літ.		Арк.		Акрушіє
		75		
ТНТУ ФІС каф. КС гр. СІм-62				