Форма № Н-9.02

Міністерство освіти і науки України

Відокремлений структурний підрозділ «Тернопільський фаховий коледж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Відділення інформаційних технологій, менеджменту, туризму та підготовки іноземних громадян

(назва відділення)

Циклова комісія комп'ютерної інженерії

(повна назва циклової комісії)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

фахового молодшого бакалавра

(освітньо-професійного ступеня)

на тему: **Розробка мікропроцесорної системи автоматизованого керування розумної теплиці**

Виконав: студент IV курсу, групи КІ-412

Спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

_____ Богдан РЕНЧКА

(ім'я та прізвище)

Керівник Андрій НЕДОШИТКО

(ім'я та прізвище)

Рецензент _____

(ім'я та прізвище)

Тернопіль – 2026

ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ
«ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ
ТЕРНОПІЛЬСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
імені ІВАНА ПУЛЮЯ»

Відділення **інформаційних технологій, менеджменту, туризму та підготовки іноземних громадян**
Циклова комісія **комп'ютерної інженерії**
Освітньо-професійний ступінь **фаховий молодший бакалавр**
Освітньо-професійна програма: **Мікропроцесорні системи**
Спеціальність: **123 Комп'ютерна інженерія**
Галузь знань: **12 Інформаційні технології**

ЗАТВЕРДЖУЮ
Голова циклової комісії
комп'ютерної інженерії
_____ Андрій ЮЗЬКІВ
"30" березня 2026 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ренчкові Богдану Андрійоичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема кваліфікаційної роботи: **Розробка мікропроцесорної системи автоматизованого керування розумної теплиці**

керівник роботи Недошитко Андрій Григорович
(прізвище, ім'я, по батькові)

затверджені наказом Відокремленого структурного підрозділу «Тернопільський фаховий коледж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя» від 27.03.2026р № 4/9-167.

2. Строк подання студентом роботи: 15 червня 2026 року.

3. Вихідні дані до роботи: технічне завдання; параметри теплиці (20–200 м²) та контрольовані параметри мікроклімату; datasheets елементної бази (ESP32-WROOM-32, DHT22, датчики вологості ґрунту й освітленості, RTC, реле, кроковий двигун із драйвером); стандарти ЄСКД (ДСТУ ГОСТ 2.701:2008, 2.702, 2.710); стандарт Wi-Fi IEEE 802.11 b/g/n.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: Загальний розділ. Розробка технічного та робочого проєкту. Спеціальний розділ. Економічна частина. Охорона праці, техніка безпеки та екологічні вимоги.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
   - Структурна схема;
   - Функціональна схема;
   - Блок схема алгоритму;
   - перелік елементів
   - таблиця техніко-економічних показників.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічний розділ	Богдана МАРТИНЮК викладач		
Охорона праці та безпека життєдіяльності	Володимир ШТОКАЛО викладач		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання і аналіз технічного завдання	31.03	
2	Збір і узагальнення інформації	08.05	
3	Написання першого розділу	15.05	
4	Розробка технічного та робочого проекту	22.05	
5	Написання спеціального розділу	28.05	
6	Розрахунок економічної частини	1.06	
7	Написання розділу охорони праці	3.06	
8	Виконання графічної частини	8.06	
9	Оформлення проєкту	10.06	
10	Погодження нормоконтролю	11.06	
11	Попередній захист роботи	12.06	
12	Захист кваліфікаційної роботи		

7. Дата видачі завдання: 31 березня 2026 року

Студент _____ Богдан РЕНЧКА
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____ Андрій НЕДОШИТКО
(підпис) ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Ренчка Б.А. Розробка мікропроцесорної системи автоматизованого керування розумною теплицею: кваліфікаційна робота на здобуття освітньо-професійного ступеня фахового молодшого бакалавра, за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія. Тернопіль: ВСП «ТФК ТНТУ», 2026. – 88 с.

Метою роботи є розробка мікропроцесорної системи автоматизованого керування розумною теплицею, здатної підтримувати оптимальний мікроклімат і параметри поливу без постійної участі людини. Проаналізовано технічне завдання й існуючі рішення, обґрунтовано вибір елементної бази на основі мікроконтролера ESP32 та датчиків температури, вологості повітря й ґрунту, освітленості та годинника реального часу. Розроблено структурну,і функціональну схеми, виконано розрахунки споживаної потужності та надійності. Реалізовано алгоритм автоматичного зонального поливу, керування провітрюванням і фітоосвітленням та передачу даних на сервер за технологією Wi-Fi. Розроблено інструкцію з експлуатації й методику перевірки пристрою, наведено економічне обґрунтування та заходи з охорони праці й техніки безпеки.

Кваліфікаційна робота містить графічну частину на 4 аркушах формату А1 та пояснювальну записку обсягом 88 аркушів, що містить 9 таблиць і 28 рисунків.

Ключові слова: мікроконтролер, ESP32, розумна теплиця, автоматизоване керування, датчики, мікроклімат, вологість ґрунту, Wi-Fi, економічні показники, охорона праці, техніка безпеки.

ANNOTATION

Renchka B.A. Development of a Microprocessor-Based Automated Control System for a Smart Greenhouse: qualification work for the attainment of the professional junior bachelor's degree in specialty 123 Computer Engineering. Ternopil: SEI "TCPC of TNTU", 2026. – 88 p.

The objective of this work is to develop a microprocessor-based automated control system for a smart greenhouse capable of maintaining an optimal microclimate and irrigation parameters without constant human involvement. The technical specification and existing solutions were analysed, and the component base was justified around the ESP32 microcontroller and sensors of air temperature, air and soil humidity, illumination, and a real-time clock. The structural, functional, and schematic diagrams were developed, and power consumption and reliability calculations were performed. An algorithm for automated zonal irrigation, ventilation control, and grow-light management was implemented, along with data transmission to a server via Wi-Fi. Operation instructions and a device-testing methodology were developed, and an economic justification together with occupational safety measures is provided.

The qualification work includes a graphical section on four A1 sheets and an explanatory note of 88 pages, containing 9 tables and 28 figures.

Keywords: microcontroller, ESP32, smart greenhouse, automated control, sensors, microclimate, soil moisture, Wi-Fi, economic indicators, occupational safety, safety engineering.

ЗМІСТ

ВСТУП 7
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА 9
1.1 Обґрунтування актуальності теми кваліфікаційної роботи 9
1.2 Аналітичний огляд існуючих рішень 10
2 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ТА РОБОЧОГО ПРОЕКТУ 13
2.1 Аналіз технічного завдання 13
2.2 Розробка структурної схеми пристрою 15
2.3 Опис і обґрунтування вибору елементної бази 19
2.4 Розрахунок споживаної потужності 34
2.5 Розрахунок надійності 36
2.6 Розробка функціональної схеми пристрою 38
2.7 Розробка алгоритму системи 40
2.8 Написання текстів програми 44
3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ 50
3.1 Розробка інструкції з експлуатації електронного пристрою 50
3.2 Розробка методики перевірки функціонування пристрою 53
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА 54
4.1 Визначення стадій технологічного процесу та загальної тривалості проведення НДР 54
4.2 Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні заходи . 55
4.3 Розрахунок матеріальних витрат 57
4.4 Розрахунок витрат на електроенергію 57
4.5 Визначення транспортних затрат 58
4.6 Розрахунок суми амортизаційних відрахувань 59

4.7 Обчислення накладних витрат 59
4.8 Складання кошторису витрат та визначення собівартості НДР 60
4.9 Розрахунок ціни НДР 61
4.10 Визначення економічної ефективності і терміну окупності 61
5 ОХОРОНА ПРАЦІ, ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ …… 63
5.1 Електробезпека та захист від статичної електрики мікропроцесорних систем в умовах підвищеної вологості 63
5.2 Оцінка впливу електромагнітних випромінювань радіочастот від бездротових модулів передачі даних 68
5.3 Вимоги безпеки праці під час монтажу комп'ютерної техніки в сільськогосподарських приміщеннях 69
ВИСНОВКИ 72
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 74
ДОДАТОК А

ВСТУП

Сучасне сільське господарство стикається із серйозними викликами: змінами клімату, зростанням попиту на продовольство та необхідністю підвищення ефективності виробництва за умов обмежених ресурсів. Теплиці є важливим інструментом для вирощування рослин незалежно від погодних умов, однак традиційні підходи до їх експлуатації вимагають постійної присутності людини, що є економічно невигідним і знижує продуктивність. Актуальність даної кваліфікаційної роботи обумовлена необхідністю автоматизації управління кліматичними параметрами теплиці з метою забезпечення оптимальних умов для вирощування рослин, зниження собівартості продукції та мінімізації людського фактору. Автоматизована система здатна цілодобово контролювати температуру повітря, вологість ґрунту, освітленість та інші показники, реагуючи на їх відхилення від заданих норм без безпосередньої участі оператора.

Дана кваліфікаційна робота є частиною комплексної розробки, що складається з трьох взаємопов'язаних частин: апаратної — розробка мікропроцесорного пристрою керування теплицею (дана робота); серверної — проєктування бази даних та серверного застосунку для збереження й синхронізації даних; клієнтської — розробка інтерфейсу користувача для дистанційного моніторингу та керування. У межах даної роботи розробляється апаратна частина системи та вбудоване програмне забезпечення мікроконтролера, тоді як серверна та клієнтська частини детально розглядаються у відповідних кваліфікаційних роботах співавторів.

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка мікропроцесорної системи автоматизованого керування розумною теплицею. Ідея роботи полягає у створенні бюджетного пристрою, який самостійно збирає дані про стан мікроклімату теплиці, автоматично керує поливом, вентиляцією та освітленням за заданими алгоритмами, а також передає інформацію на веб-сервер для дистанційного моніторингу та керування. План дослідження включає аналіз

технічних вимог до системи, огляд існуючих рішень для автоматизації теплиць, вибір та обґрунтування елементної бази, розробку структурної, функціональної та функціональної схем, написання вбудованого програмного забезпечення мікроконтролера та моделювання роботи системи у симуляційному середовищі.

Об'єктом дослідження є процеси автоматизованого управління кліматичними параметрами закритого ґрунту (теплиці). Предметом дослідження є апаратно-програмні засоби збору, обробки та передачі даних мікропроцесорної системи керування. Результатом роботи є змодельований прототип системи керування розумною теплицею, що здійснює моніторинг параметрів мікроклімату, автоматичне керування виконавчими пристроями та обмін даними з веб-сервером.

Практична цінність розробки полягає у поєднанні технологій Internet of Things (IoT) з вирішенням реальної агрономічної задачі. Система дозволяє зменшити витрати води завдяки точному поливу за показниками вологості ґрунту в кількох незалежних зонах, підтримувати оптимальний мікроклімат та забезпечити власника теплиці повною інформацією про стан об'єкта в режимі реального часу.

1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Обґрунтування актуальності теми кваліфікаційної роботи

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка бюджетної, надійної та масштабованої системи автоматизованого керування теплицею, яка:

– самостійно підтримує задані параметри мікроклімату (температура та вологість повітря, вологість ґрунту в кількох незалежних зонах, освітленість);

– автоматично керує поливом кожної зони окремо за показниками датчиків вологості ґрунту;

– автоматично вмикає додаткове освітлення при недостатньому рівні природного світла та вентиляцію при перевищенні порогових значень температури або вологості;

– передає всі дані на власний веб-сервер з базою даних та відображає їх у веб-інтерфейсі в режимі реального часу;

– сповіщає власника у разі критичних відхилень параметрів мікроклімату;

– надає можливість ручного дистанційного керування виконавчими пристроями через веб-інтерфейс.

Практична новизна роботи полягає у побудові системи навколо єдиного центру збору, обробки та передачі даних — сучасного мікроконтролера з вбудованим модулем бездротового зв'язку. Такий підхід дозволяє підключити повний комплекс датчиків і виконавчих пристроїв без додаткових модулів зв'язку, що суттєво спрощує схему, знижує вартість і підвищує надійність системи порівняно з типовими аматорськими рішеннями, у яких контролер і модуль зв'язку реалізовані окремими платами. Передача даних на власний веб-сервер забезпечує незалежність системи від сторонніх хмарних сервісів.

Таким чином, актуальність роботи визначається як технічними тенденціями розвитку IoT-систем у сільськогосподарському секторі, так і реальною

потребою виробників у доступних, надійних та ефективних засобах автоматизації теплиць із можливістю дистанційного моніторингу.

1.2 Аналітичний огляд існуючих рішень

Перш ніж розпочати розробку, проведемо аналіз наявних підходів до автоматизації теплиць. Умовно їх можна поділити на чотири категорії.

Ручне управління (традиційні теплиці) (див. рис.1.1)

Найпоширеніший варіант у малому фермерстві. Господар щодня вимірює температуру звичайним термометром, поливає вручну зі шланга або лійки, відчиняє вікна для провітрювання. Переваги: нульові початкові витрати на автоматику. Недоліки: висока трудомісткість (2–4 год щодня), ризик пропустити критичний момент (перегрів, посуха), неможливість відлучитися на тривалий час, відсутність статистики.

Рисунок 1.1- Зображення ручного управління в теплиці

Таймерне управління (базова автоматизація)

Більш просунуті теплиці використовують таймери для регулярного вмикання поливу та термостати для керування нагрівачем або вентилятором. Обладнання: таймер розетки (100–300 грн), простий термостат W1209 (150–250

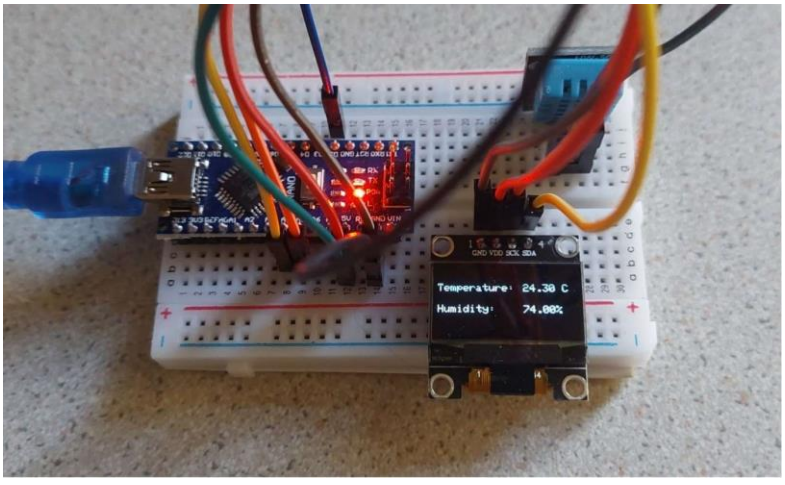
грн). Переваги: дешево, надійно у нескладних умовах. Недоліки: жорстко запрограмовані інтервали не враховують реальний стан ґрунту або погоду, немає дистанційного контролю, немає реакції на аварійні ситуації.

Комерційні системи промислового класу

Компанії Priva, Ridder, LetsGrow пропонують повнофункціональні SCADA-системи для великих тепличних комплексів. Вони охоплюють управління кліматом, поливом, освітленням, підживленням. Переваги: висока точність, надійність, підтримка виробника. Недоліки: вартість базової конфігурації — від 5 000 до 50 000 USD, що є недоступним для малих і середніх теплиць, складне налаштування вимагає спеціалістів.

DIY-рішення на базі Arduino, показана на рисунку 1.2

Активна спільнота розробників пропонує проекти автоматизації теплиць на базі Arduino Uno/Mega. Зазвичай такі проекти включають датчик DHT11, релейний модуль та LCD-дисплей. Переваги: доступність компонентів, велика кількість готових прикладів. Недоліки: Arduino не має вбудованого Wi-Fi, потребує додаткового модуля ESP8266, ускладнюючи схему; обмежена обчислювальна потужність; відсутність хмарної інтеграції у більшості простих проектів.



Рисинок 1.2 - DIY-система на базі Arduino Uno з датчиком DHT11

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що оптимальним рішенням для малих і середніх теплиць є розробка власної IoT-системи на базі сучасного мікроконтролера з вбудованим модулем бездротового зв'язку. Така система поєднує доступну вартість, повноцінний дистанційний моніторинг, реакцію на реальний стан ґрунту та клімату і легкість масштабування без прив'язки до дорогого комерційного програмного забезпечення. Обґрунтування вибору конкретної елементної бази наведено у другому розділі роботи.

Відповідно до схеми Е1 кваліфікаційної роботи, система включає центральний мікроконтролер, блок датчиків, блок виконавчих пристроїв та блок відображення і зв'язку. Структурна схема наочно демонструє взаємозв'язки між усіма компонентами системи та потоки даних між ними

2 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ТА РОБОЧОГО ПРОЕКТУ

2.1 Аналіз технічного завдання

Розроблювана система призначена для автоматизованого управління мікрокліматом у теплиці площею від 20 до 200 м². Центральним елементом системи є мікроконтролер, який збирає дані з датчиків, обробляє їх за закладеним алгоритмом та керує виконавчими пристроями. Зібрані дані передаються бездротовим каналом зв'язку на власний веб-сервер, де зберігаються у базі даних та відображаються у веб-інтерфейсі для дистанційного моніторингу та керування.

Відповідно до структурної схеми система складається з таких функціональних блоків:

– Мікроконтролер — центральний вузол системи: циклічно опитує датчики, обробляє отримані значення, порівнює їх із пороговими, формує керуючі сигнали для виконавчих пристроїв, виводить інформацію на дисплей та обмінюється даними з веб-сервером.

– Датчик температури та вологості повітря — вимірює основні кліматичні параметри повітря в теплиці, за якими приймається рішення про ввімкнення вентиляції.

– Датчики вологості ґрунту (×3) — контролюють зволоженість кореневої зони у трьох незалежних ділянках теплиці, що дозволяє системі диференційовано визначати потребу в поливі кожної зони.

– Датчик освітленості — вимірює рівень природного освітлення, за яким приймається рішення про ввімкнення додаткового фітоосвітлення.

– Модуль годинника реального часу — забезпечує безперервний відлік часу незалежно від наявності основного живлення; використовується для часових міток подій та роботи за розкладом.

Клапани поливу (×3) — нормально закриті електромагнітні клапани, які відкривають подачу води у відповідну зону при подачі напруги на котушку

соленоїда та автоматично закриваються при її знятті. Нормально закритий тип гарантує припинення поливу в разі зникнення живлення або збою системи.

– Релейний модуль — комутує живлення котушок електромагнітних клапанів та фітострічки за сигналами мікроконтролера, забезпечуючи гальванічну розв'язку логічної частини від силових кіл.

– Реле фітострічки — комутує живлення фітострічки за сигналом мікроконтролера.

– Фітострічка — джерело додаткового освітлення рослин за умов нестачі природного світла.

– Драйвер крокового двигуна та кроковий двигун — привід вентиляційної кватирки: за командою мікроконтролера двигун відкриває кватирку для провітрювання та повертає її у закрите положення.

– Дисплей — локальне відображення поточних значень параметрів мікроклімату та стану системи безпосередньо на пристрої.

– Світлодіоди — індикація стану зон поливу (норма, полив активний, критичне пересихання).

– Блок живлення — забезпечує живлення мікроконтролера, датчиків та виконавчих пристроїв необхідними напругами.

– Веб-сервер з базою даних MySQL — приймає та накопичує дані вимірювань, формує журнал подій і передає пристрою команди ручного керування через веб-інтерфейс.

Порядок роботи системи:

1. Нормальний режим роботи. Після подачі живлення мікроконтролер ініціалізує всі датчики та підключається до бездротової мережі. Система входить у циклічний режим опитування датчиків з інтервалом 5 секунд. На дисплеї відображаються поточні значення температури, вологості повітря, рівня вологості ґрунту в кожній зоні та освітленості. Ці ж дані надсилаються на веб-сервер.
2. Автоматичне управління поливом. Якщо показник датчика вологості ґрунту будь-якої із трьох зон знижується нижче заданого порогу (за

замовчуванням 40%), мікроконтролер через відповідний канал релейного модуля подає живлення на котушку електромагнітного клапана, відкриваючи подачу води у цю зону. Після досягнення верхнього порогу (70%) живлення знімається і нормально закритий клапан перекриває воду. Відповідний світлодіод індикує стан зони: зелений — норма, жовтий — полив, червоний — критично сухо. Факт поливу з часовою міткою записується на сервер.

3. Управління вентиляцією. Якщо температура повітря перевищує задану межу (наприклад, 28°C) або вологість перевищує 85%, мікроконтролер через драйвер запускає кроковий двигун, який відкриває вентиляційну кватирку для провітрювання. При поверненні параметрів до норми двигун повертає кватирку у закрите положення.
4. Управління освітленням. За даними датчика освітленості система автоматично вмикає реле фітострічки при рівні освітленості нижче 2000 люкс. При досягненні рівня понад 5000 люкс реле вимикається.
5. Інтеграція з веб-сервером. Кожні 30 секунд мікроконтролер надсилає на веб-сервер пакет із поточними показниками датчиків та станом виконавчих пристроїв, які записуються у базу даних. У відповідь пристрій отримує команди ручного керування. У межах даної роботи реалізовано саме апаратну взаємодію із сервером — формування та надсилання запитів з боку мікроконтролера. Структура бази даних, серверний застосунок та клієнтський інтерфейс користувача є предметом окремих робіт комплексної розробки і детально розглянуті у відповідних кваліфікаційних роботах співавторів.

2.2 Розробка структурної схеми пристрою

Структурна схема є першою моделлю електронного пристрою, що відображає його склад і принцип роботи в загальному вигляді, без деталізації

схемної реалізації окремих вузлів. Вона дозволяє швидко скласти уявлення про функціональні частини системи та взаємозв'язки між ними.

Структурну схему розробленої системи наведено на рисунку 2.1. Центральним елементом є мікроконтролер, який виконує функції збору даних, їх обробки за закладеним алгоритмом та формування керуючих впливів. Усі функціональні блоки системи поділено на чотири групи.

Блок датчиків (вхідні дані) об'єднує датчик температури й вологості повітря, три датчики вологості ґрунту, датчик освітленості та модуль годинника реального часу. Ці елементи передають інформацію про стан мікроклімату теплиці на входи мікроконтролера через відповідні цифрові інтерфейси та аналого-цифровий перетворювач.

Блок виконавчих пристроїв (вихідні впливи) реалізує керування мікрокліматом і містить три нормально закриті електромагнітні клапани зонального поливу, кроковий двигун із драйвером для приводу вентиляційної кватирки та релейний модуль, через канали якого комутується живлення котушок клапанів і фітострічки. Ці пристрої отримують сигнали керування від мікроконтролера.

Блок відображення та індикації призначений для локального контролю стану системи на місці й включає дисплей (виведення поточних значень параметрів) та світлодіоди індикації стану зон поливу.

Блок зв'язку забезпечує дистанційну взаємодію: через вбудований модуль бездротового зв'язку мікроконтролер передає зібрані дані на веб-сервер, де вони зберігаються у базі даних MySQL, та отримує у відповідь команди ручного керування з веб-інтерфейсу.

Живлення всіх вузлів системи здійснюється від окремого блока живлення; силові кола виконавчих пристр

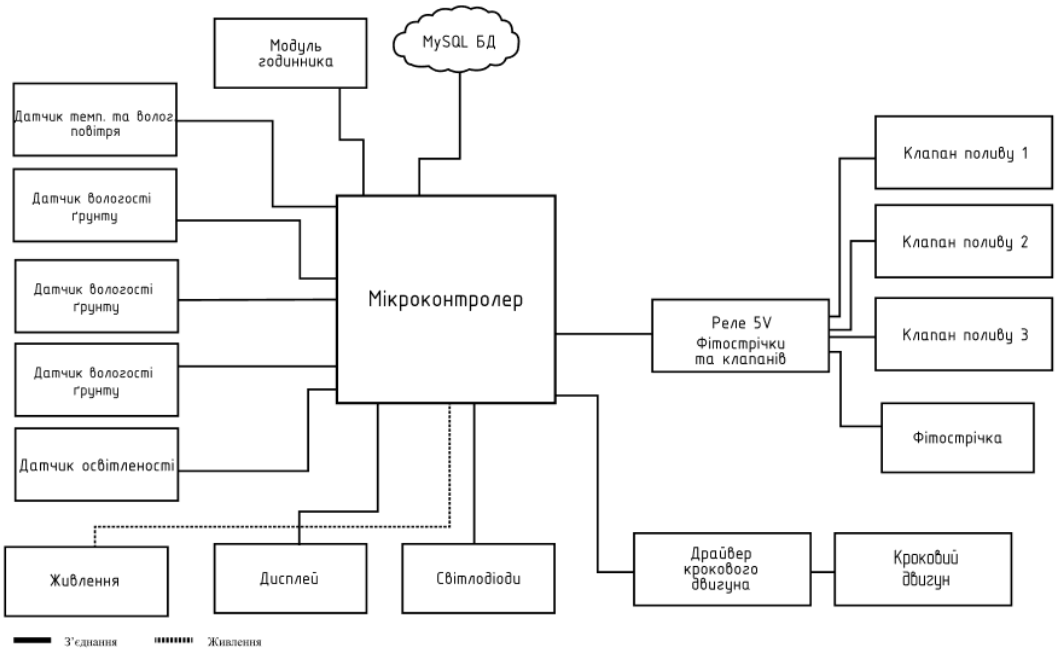


Рисунок 2.1 – Структурна схема мікропроцесорної системи керування теплицею

Центральний контролер:

– мікроконтролер відповідає за опитування датчиків, реалізацію алгоритмів управління, відображення інформації на дисплеї, керування клапанами поливу, вентиляцією та реле фітострічки, а також передачу даних на веб-сервер та прийом команд ручного керування з веб-інтерфейсу.

– Блок датчиків:

– датчик температури та вологості повітря — передає на мікроконтролер цифровий сигнал із поточними кліматичними параметрами повітря в теплиці;

– три датчики вологості ґрунту — формують аналогові сигнали, пропорційні зволоженості кореневої зони, які оцифровуються вбудованим аналого-цифровим перетворювачем мікроконтролера; кожен датчик закріплено за окремою зоною поливу;

– датчик освітленості — передає мікроконтролеру цифровим інтерфейсом виміряний рівень освітленості для керування фітоосвітленням;

– модуль годинника реального часу — веде безперервний відлік часу завдяки резервному живленню та надає мікроконтролеру точні часові мітки для журналу подій і роботи за розкладом.

Блок виконавчих пристроїв:

– три електромагнітні клапани — нормально закриті соленоїдні клапани, що відкривають подачу води у відповідну зону поливу при подачі живлення на котушку;

– релейний модуль — за сигналами мікроконтролера комутує живлення котушок клапанів та фітострічки, гальванічно розв'язуючи логічну частину від силових кіл;

– кроковий двигун із драйвером — привід вентиляційної кватирки; драйвер перетворює логічні сигнали мікроконтролера у струми обмоток двигуна.

Блок відображення та індикації:

– дисплей — локальне відображення поточних параметрів мікроклімату та стану системи;

– три світлодіоди — індикація стану зон поливу (норма / полив / критично сухо).

Блок зв'язку:

– вбудований модуль бездротового зв'язку мікроконтролера передає дані на веб-сервер, де вони зберігаються у базі даних MySQL та відображаються у веб-інтерфейсі; зворотним каналом пристрій отримує команди ручного керування.

Блок живлення:

– забезпечує всі вузли системи необхідними напругами; силові кола виконавчих пристроїв живляться окремо від логічної частини з урахуванням їхнього струму споживання.

2.3 Опис і обґрунтування вибору елементної бази

Мікроконтролер

У якості центрального мікроконтролера системи використовується плата ESP32 DevKit V1 на базі модуля ESP32-WROOM-32.[1] (див. рис.2.2)

Вибір обумовлено тим, що модуль поєднує потужний двоядерний процесор, розширений набір периферійних інтерфейсів та вбудовані модулі бездротового зв'язку Wi-Fi і Bluetooth, що дозволяє без жодних додаткових плат розширення підключити повний комплекс датчиків.[2]

Це вигідно відрізняє ESP32 від поширених плат Arduino, які потребують окремого модуля зв'язку, ускладнюючи схему та знижуючи надійність. На рисунку 2.3 зобюражено функціонал пінів ESP32 та на рисунку 2.4 зображено умовне позначення на функціональній схемі.

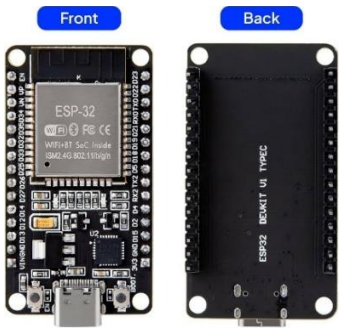


Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд плати ESP32 DevKit V1 та її виводи

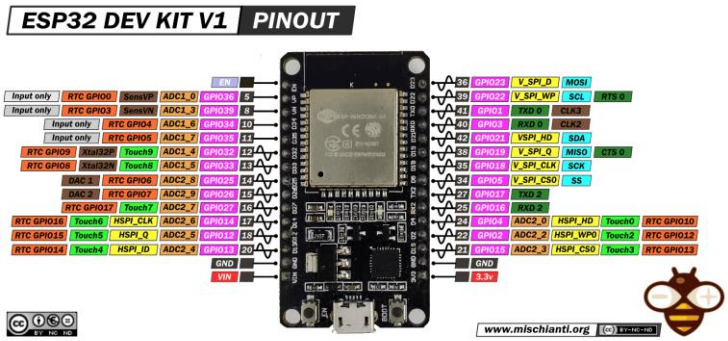


Рисунок 2.3 – Призначення пінів ESP32

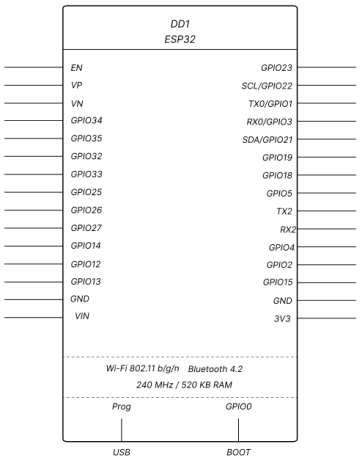


Рисунок 2.4 – Умовне позначення ESP32 на функціональній схемі

Призначення основних виводів у системі:

– VIN — вхід живлення +5 В від блока живлення

– 3V3 — вихід вбудованого стабілізатора 3,3 В (живлення датчиків)

– GND — спільна земля логічної частини

– GPIO 21 (SDA), GPIO 22 (SCL) — шина I²C: датчик освітленості, годинник реального часу, OLED-дисплей

– GPIO 4 — лінія даних датчика DHT22

– GPIO 34, 35, 32 — аналогові входи (АЦП) датчиків вологості ґрунту зон 1–3

– GPIO 13, 12, 14 — керування каналами 1–3 релейного модуля (клапани поливу)

– GPIO 25 — керування каналом 4 релейного модуля (фітострічка)

– GPIO 19 (STEP), GPIO 18 (DIR) — сигнали драйвера крокового двигуна

– GPIO 23, 33, 15 — світлодіоди індикації зон поливу

– Технічні характеристики:

– Мікроконтролер: ESP32-WROOM-32, двоядерний, тактова частота 160 МГц (до 240 МГц)

– Оперативна пам'ять (SRAM): 320 КБ; Flash-пам'ять: 4 МБ

– Бездротовий зв'язок: Wi-Fi 802.11 b/g/n (2,4 ГГц), Bluetooth 4.2 + BLE

– Інтерфейси: SPI, I²C, UART, ШІМ, АЦП (12 каналів, 12 біт), ЦАП (2 канали)

– Кількість виводів: 30

– Напруга живлення: 3,3 В (вхід 5 В через USB або VIN)

– Розміри плати: 52 × 25,5 мм

Датчик температури та вологості повітря

У якості датчика температури та вологості повітря використовується цифровий датчик DHT22 (AM2302).[4] Його обрано замість популярнішого, але менш точного DHT11, оскільки контроль мікроклімату теплиці потребує точності: за показниками цього датчика приймається рішення про ввімкнення вентиляції, а надмірна вологість повітря сприяє розвитку грибкових захворювань рослин. Датчик передає показники цифровим однопровідним протоколом у вигляді 40-бітного пакета, що робить його стійким до завад на лінії.[2] На рисунку 2.6 зображено умовне позначення DHT22 на функціональній схемі. (див.рис 2.5)

Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд датчика DHT22 та його виводи

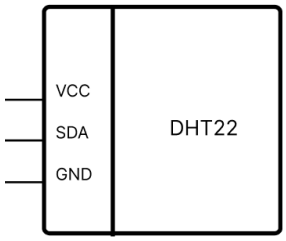


Рисунок 2.6 – Умовне позначення DHT22 на функціональній схемі

Призначення виводів:

– VCC — живлення +3,3 В

– DATA — однопровідна цифрова лінія даних, підключається до GPIO 4 через підтягувальний резистор 10 кОм

– GND — спільна земля

– Технічні характеристики:

– Діапазон вимірювання температури: −40…+80 °C, точність ±0,5 °C

– Діапазон вимірювання вологості: 0–100 % RH, точність ±2–5 % RH

– Напруга живлення: 3,3–5,5 В

– Інтерфейс даних: однопровідний цифровий (40-бітний пакет)

– Мінімальний інтервал опитування: 2 с

Ємнісний датчик вологості ґрунту

У системі використовуються три ємнісні датчики вологості ґрунту для незалежного контролю та поливу трьох окремих зон теплиці. Кожен датчик підключено до окремого аналогового входу ADC ESP32 (GPIO 34, 35, 32). Це дозволяє системі диференційовано реагувати на потреби рослин у різних ділянках теплиці — зона 1 може потребувати поливу, тоді як зони 2 і 3 ще мають достатній рівень вологості. На рисунку 2.8 зображено умовне позначення датчику на функціональній схемі. (див.рис 2.7)

Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд ємнісного датчика вологості ґрунту

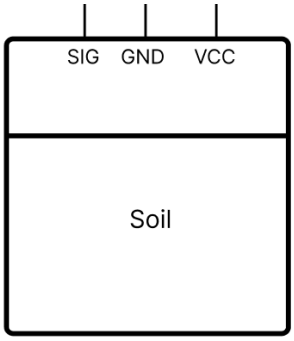


Рисунок 2.8 – Умовне позначення ємнісного датчик вологості ґрунту на функціональній схемі

Призначення виводів:

– VCC — живлення +3,3 В

– GND — спільна земля

– AOUT — аналоговий вихід 0–3,3 В, підключається до входу АЦП (GPIO 34 / 35 / 32 для зон 1–3 відповідно)

Технічні характеристики:

– Принцип дії: вимірювання діелектричної проникності ґрунту (ємнісний)

– Напруга живлення: 3,3–5,5 В

– Вихідний сигнал: аналоговий, 0–3,3 В

– Матеріал зонда: FR4 (склотекстоліт), стійкий до корозії

– Глибина занурення у ґрунт: до 38 мм

Клапан поливу

У якості клапанів поливу використовуються електромагнітні (соленоїдні) клапани 2W-160-15 з котушкою на 12 В постійного струму — по одному на кожну з трьох зон. (див.рис 2.9) Клапан є запірним двопозиційним пристроєм прямої дії: за відсутності напруги на котушці шток під дією пружини перекриває сідло клапана, при подачі напруги піднімається, відкриваючи прохід води.

Вибір обумовлено такими чинниками. Нормально закритий тип гарантує безпечну поведінку системи: у разі зникнення живлення або збою

мікроконтролера полив автоматично припиняється, що виключає затоплення теплиці. Конструкція прямої дії працює за тиску від 0 до 10 кг/см², тобто клапан придатний як для водопровідної магістралі, так і для самопливної подачі води з ємності. Напруга котушки 12 В збігається з наявним силовим колом живлення крокового двигуна, що не потребує додаткового джерела. На рисунку 2.10 зображено умовне позначення клапану на функціональній схемі.

Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд клапана для поливу

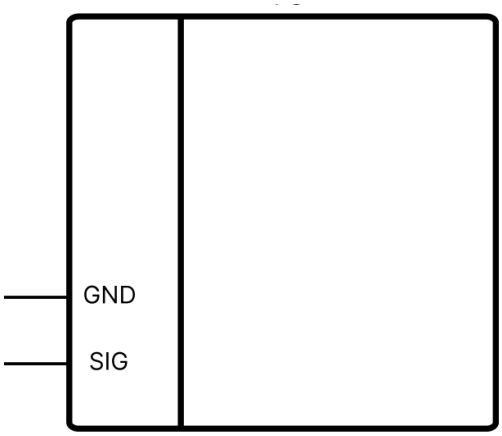


Рисунок 2.10 – Умовне позначення вигляд клапана для поливу на функціональній схемі

Призначення виводів:

– Виводи 1, 2 — контакти котушки соленоїда (полярність значення не має): вивід 1 підключається до контакту NO відповідного каналу релейного модуля, вивід 2 — до шини GND кола 12 В

– Вхідний і вихідний патрубки — приєднання до магістралі поливу, напрямок потоку позначено стрілкою на корпусі

Технічні характеристики:

– Тип: нормально закритий, прямої дії
– Напруга котушки: 12 В DC
– Споживана потужність котушки: ≈8 Вт (≈0,65 А)
– Робочий тиск: 0–10 кг/см²
– Робоча температура середовища: −5…+80 °C
– Приєднання: внутрішня різьба 1/2″ (Ду 15)
– Матеріал корпусу: латунь

Релейний модуль

У якості релейного модуля використовується чотириканальний модуль реле 5 В на базі електромагнітних реле Songle SRD-05VDC-SL-C[6] з гальванічною ізоляцією кожного каналу оптопарою PC817.[10] (див.рис 2.11)

Оскільки струм котушки клапана (≈0,65 А) значно перевищує допустиме навантаження виводів мікроконтролера, безпосереднє керування клапанами з GPIO неможливе — три канали модуля комутують живлення 12 В котушок клапанів , четвертий канал — живлення фітострічки.

Використання одного багатоканального модуля замість окремих реле зменшує кількість з'єднань і точок відмови, спрощує монтаж у герметичному корпусі та здешевлює систему в перерахунку на канал; входи керування сумісні з логічними рівнями 3,3 В ESP32.

На рисунку 2.12 зображено умовне позначення модуля на функціональній схемі.

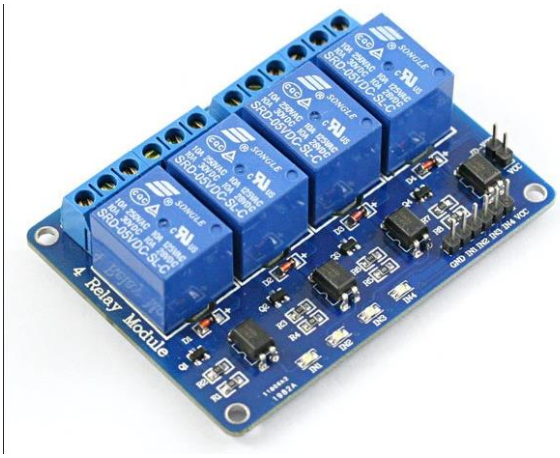


Рисунок 2.11 – Зовнішній вигляд одноканального модуля реле 5В

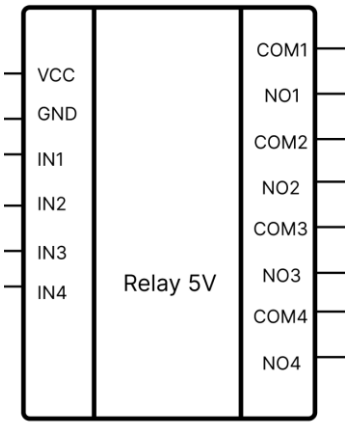


Рисунок 2.12 – Умовне позначення модуля реле на функціональній схемі

Призначення виводів:

– VCC — живлення модуля +5 В

– GND — спільна земля логічної частини

– IN1–IN4 — входи керування каналами від GPIO 13, 12, 14, 25 відповідно

– COM1–COM4 — спільні контакти каналів, підключаються до шини +12 В

– NO1–NO3 — нормально розімкнуті контакти, комутують живлення котушок клапанів Y1–Y3

– NO4 — нормально розімкнутий контакт, комутує живлення фітострічки

– NC1–NC4 — нормально замкнуті контакти (у системі не використовуються)

Датчик освітленості

У якості датчика освітленості використовується цифровий датчик BH1750 (модуль GY-302).[3] Він безпосередньо вимірює освітленість у люксах без додаткового калібрування та розрахунків і передає результат шиною I²C, що спрощує програмну обробку. Для рослин у теплиці освітленість є критичним параметром: при недостатньому освітленні уповільнюється фотосинтез, при надмірному — можливі опіки листя; за показниками цього датчика система керує фітострічкою. На рисунку 2.14 зображено умовне позначення BH1750 на функціональній схемі. (див.рис 2.13)

Рисунок 2.13 – Зовнішній вигляд модуля BH1750 (GY-302)

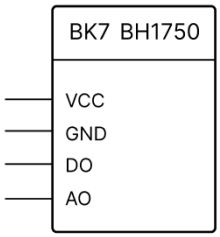


Рисунок 2.14 – Умовне позначення BH1750 на функціональній схемі

Призначення виводів:

– VCC — живлення +3,3 В
– GND — спільна земля
– SDA, SCL — шина I²C (GPIO 21, GPIO 22)
– ADDR — вибір адреси на шині (вільний — адреса 0x23; підтягнутий до VCC — 0x5C)

Технічні характеристики:

– Діапазон вимірювання: 1–65535 лк
– Роздільна здатність: 1 лк (у режимі H-Resolution2 — 0,5 лк)
– Точність: ±20 %
– Інтерфейс: I²C, адреса 0x23 (або 0x5C)
– Напруга живлення: 3,3–5 В
– Час вимірювання: 120 мс (стандартний режим)

Модуль годинника

У якості модуля годинника реального часу використовується модуль на мікросхемі DS1307 з інтерфейсом I²C.[4] Він забезпечує безперервний відлік часу незалежно від наявності основного живлення завдяки резервній літієвій батареї CR2032. Точний час необхідний системі для формування часових міток подій (поливів, спрацювань вентиляції), які записуються до журналу на сервері, та для роботи за розкладом. На рисунку 2.16 зображено умовне позначення DS1307 на функціональній схемі. (див.рис 2.15)

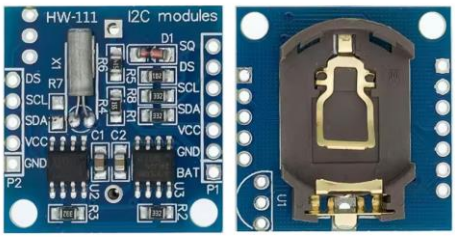


Рисунок 2.15 – Зовнішній вигляд модуля RTC DS1307

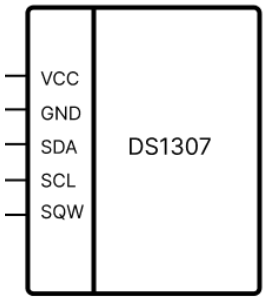


Рисунок 2.16 – Умовне позначення DS1307 на функціональній схемі

Призначення виводів:

– VCC — живлення +5 В

– GND — спільна земля

– SDA, SCL — шина I²C (GPIO 21, GPIO 22), адреса 0x68

– SQW — програмований вихід прямокутних імпульсів (у системі не використовується)

– BAT — резервне живлення від літієвої батареї CR2032

Технічні характеристики:

– Функції відліку: секунди, хвилини, години, день тижня, дата, місяць, рік (з урахуванням високосних років до 2100 р.)

– Енергонезалежна пам'ять: 56 байт NV RAM

– Інтерфейс: I²C, адреса 0x68

– Напруга живлення: 4,5–5,5 В; резервне живлення: 3 В (CR2032)

– Тактування: кварцовий резонатор 32,768 кГц

OLED-дисплей 0.96

OLED-дисплей 0.96" I²C OLED-дисплей побудований на драйвері SSD1306 і забезпечує локальне відображення параметрів теплиці безпосередньо на пристрої без необхідності підключення до смартфону. Оскільки кожен піксель OLED є самостійним джерелом світла і чорні пікселі не споживають енергії, дисплей відрізняється низьким енергоспоживанням, що важливо для систем з автономним живленням. Технічні характеристики OLED 0.96": − Роздільна

здатність: 128 × 64 пікселі − Розмір екрану: 0.96 дюйма − Інтерфейс: I²C (адреса 0x3C або 0x3D) − Напруга живлення: 3.3–5 В − Споживаний струм: ~20 мА − Контрастність: 2000:1 На рисунку 2.18 зображено умовне позначення дисплею на функціональній схемі. (див.рис 2.17)

Рисунок 2.17 – Зовнішній вигляд OLED-дисплея 0.96" I²C

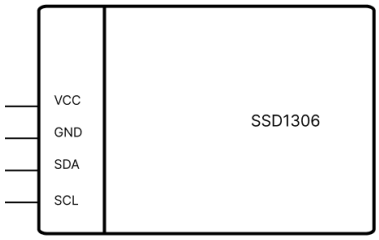


Рисунок 2.18 – Умовне позначення OLED-дисплея на функціональній схемі

Призначення виводів:

- VCC — живлення +3,3 В
- GND — спільна земля
- SDA, SCL — шина I²C (GPIO 21, GPIO 22), адреса 0x3C
- Технічні характеристики:
- Контролер: SSD1306; роздільна здатність: 128 × 64 пікселі
- Діагональ: 0,96″

- Інтерфейс: I²C, адреса 0x3C (або 0x3D)
- Напруга живлення: 3,3–5 В
- Споживаний струм: ~20 мА
- Контрастність:

Фітострічка

У якості фітострічки використовується світлодіодна стрічка SMD 5050 у силіконовій оболонці (IP65). Вона є виконавчим пристроєм штучного доосвітлення рослин за умов недостатнього природного світла: завдяки розподіленому розміщенню діодів стрічка забезпечує рівномірне освітлення площі без ризику термічного опіку листя. LED-технологія відрізняється високою енергоефективністю, тривалим терміном служби та низьким виділенням тепла, а силіконова оболонка захищає струмопровідні доріжки від окислення в умовах високої вологості теплиці. (див.рис 2.19) Живлення стрічки 12 В комутується четвертим каналом релейного модуля. На рисунку 2.20 зображено умовне позначення стрічки на функціональній схемі.

Рисунок 2.19 – Зовнішній вигляд світлодіодної стрічки

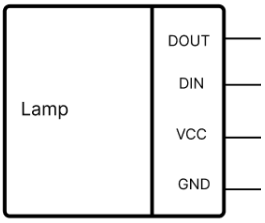


Рисунок 2.20 – Умовне позначення світлодіодного модуля доосвітлення на функціональній схемі

Призначення виводів:

- «+12 В» — підключається до контакту NO4 релейного модуля
- «−» (GND) — підключається до шини GND кола 12 В
- Технічні характеристики:
- Тип світлодіодів: SMD 5050; щільність: 60 шт/м
- Напруга живлення: 12 В
- Споживана потужність: ~14,4 Вт/м
- Ступінь вологозахисту: IP65 (силіконова оболонка)
- Кут розсіювання світла: 120°

Драйвер крокового двигуна та кроковий двигун

У якості привода вентиляційної кватирки використовується біполярний кроковий двигун, керований драйвером A4988.[5] На відміну від колекторного двигуна, кроковий обертається дискретними кроками, що дозволяє точно позиціонувати кватирку у відкритому чи закритому положенні без датчиків зворотного зв'язку. Безпосереднє керування двигуном від мікроконтролера неможливе, оскільки виводи GPIO не розраховані на струми обмоток, тому між ними встановлено драйвер A4988 — спеціалізовану мікросхему, що приймає логічні сигнали STEP (крок) і DIR (напрямок) та формує відповідні струми в обмотках.[5] Драйвер підтримує мікрокрокування до 1/16 кроку, має вбудований захист від перегріву та обмеження струму, яке налаштовується підлаштовувальним резистором на платі. (див.рис 2.21 та рис. 2.22)

Рисунок 2.21 – Зовнішній вигляд крокового двигуна

Рисунок 2.22 – Зовнішній вигляд драйвера A4988

На рисунку 2.23 зображено умовне позначення моторчика та драйвера на функціональній схемі.

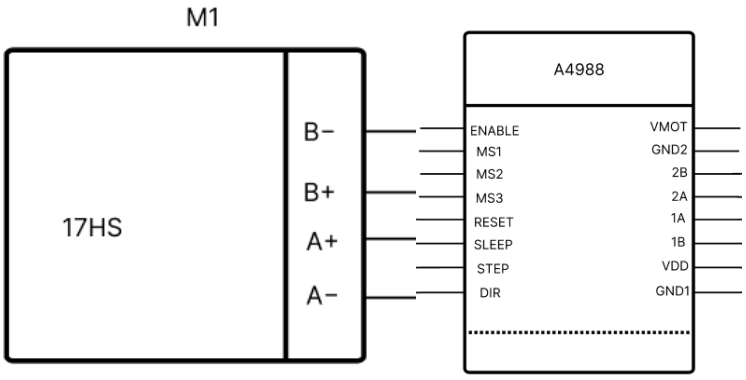


Рисунок 2.23 – Умовне позначення крокового двигуна та драйвера A4988 на функціональній схемі

Технічні характеристики:

- Тип двигуна: біполярний кроковий, крок 1,8° (200 кроків/оберт)
- Напруга живлення двигуна: 8–35 В (у системі — 12 В)
- Мікрокрокування: до 1/16 кроку
- Максимальний струм на фазу: до 2 А (з радіатором)
- Логічні входи: STEP, DIR (3,3–5 В)

2.4 Розрахунок споживаної потужності

Розрахунок споживаної потужності необхідний для правильного вибору джерела живлення системи. Живлення організовано за двома шинами: шина 12 В живить силові кола (котушки електромагнітних клапанів, кроковий двигун, фітострічку), шина 5 В — мікроконтролер, релейний модуль та периферію. Шина 5 В отримується із шини 12 В через знижувальний імпульсний DC-DC перетворювач (модуль на мікросхемі LM2596), датчики й дисплей живляться напругою 3,3 В від вбудованого стабілізатора плати ESP32.

Споживання струму компонентами шини 5 В зведено в таблицю 2.1. Для кожного компонента наведено типовий робочий струм та максимальний (піковий) струм.

Таблиця 2.1 – Струм споживання компонентів шини 5 В

Компонент	Типовий струм, мА	Піковий струм, мА
1	2	3
ESP32 DevKit V1 (з активним Wi-Fi)	240	500
DHT22	1,5	2,5
Датчик вологості ґрунту, 3 шт	15	15
BH1750	0,2	0,2
Модуль RTC DS1307	1,5	1,5
OLED-дисплей 0,96″	20	25
Компонент	Типовий струм, мА	Піковий струм, мА
Модуль реле 4-канальний (усі канали увімкнені)	280	280
Світлодіоди індикації, 3 шт	30	30
Разом	≈590	≈855

Піковий струм шини 5 В відповідає найгіршому режиму: передача даних по Wi-Fi за одночасно увімкнених усіх чотирьох каналів реле. Споживана потужність шини 5 В:

$P_5 = U \cdot I = 5\ В \cdot 0{,}855\ А \approx 4{,}3\ Вт$

Споживання шини 12 В зведено в таблицю 2.2. Найгіршим режимом є одночасний полив усіх трьох зон за увімкненої фітострічки та працюючого приводу кватирки.

Таблиця 2.2 – Струм споживання компонентів шини 12 В

Компонент	Струм, А	Потужність, Вт
1	2	3
Електромагнітний клапан 2W-160-15, 3 шт	3 × 0,65 = 1,95	23,4
Крокoвий двигун (через драйвер A4988)	0,35	4,2
Фітострічка SMD 5050, відрізок 1 м	1,2	14,4
Разом	3,5	42,0

Додатково шина 12 В навантажується вхідним струмом DC-DC перетворювача, який живить шину 5 В. З урахуванням ККД імпульсного перетворювача $\eta \approx 0{,}9$:

$I_{12}(5В) = P_5 / (U_{12} \cdot \eta) = 4{,}3 / (12 \cdot 0{,}9) \approx 0{,}40\ А$

Сумарний максимальний струм від джерела 12 В:

$I_{12} = 3{,}5 + 0{,}40 = 3{,}9\ А$

Сумарна максимальна споживана потужність системи:

$P = U \cdot I = 12\ В \cdot 3{,}9\ А \approx 46{,}8\ Вт$

Для надійної роботи джерело живлення обирається із запасом не менше 25 % від максимального розрахункового навантаження:

$Рдж = 46{,}8 \cdot 1{,}25 \approx 58{,}5\ Вт$

Таким чином, для живлення системи обрано мережевий адаптер 12 В / 5 А (60 Вт), що забезпечує необхідний запас потужності. Слід зазначити, що

найгірший режим є короткочасним і малоймовірним: у типовому робочому режимі (полив однієї зони, фітострічка вимкнена) споживання системи не перевищує 1,5 А по шині 12 В (≈18 Вт), тож обране джерело працюватиме у полегшеному тепловому режимі, що позитивно впливає на його ресурс.

2.5 Розрахунок надійності

Надійність — це властивість пристрою виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники в заданих межах протягом необхідного проміжку часу. Основними показниками надійності є інтенсивність відмов системи Λ, середній наробіток на відмову T та ймовірність безвідмовної роботи P(t) протягом заданого часу.

Розрахунок виконується за експоненціальним законом розподілу відмов, який застосовується для періоду нормальної експлуатації електронної апаратури.

Сумарна інтенсивність відмов системи визначається як сума інтенсивностей відмов усіх її елементів:

$\Lambda = \Sigma N_i \cdot \lambda_i$,

де N_i — кількість елементів і-ї групи; λ_i — інтенсивність відмов елемента і-ї групи за довідковими даними. Розрахунок зведено в таблицю 2.3.

Сумарна інтенсивність відмов системи:

$\Lambda = 10{,}5 \times 10^{-6}$ 1/год

Середній наробіток на відмову: $T = 1 / \Lambda = 1 / (10{,}5 \times 10^{-6}) \approx 95\,238$ год ≈ 10,9 року

Ймовірність безвідмовної роботи протягом часу t визначається за експоненціальним законом: $P(t) = e^{(-\Lambda \cdot t)}$

В таблиці 2.4 міститься результат розрахунку ймовірності безвідмовної роботи системи

Таблиця 2.3 – Розрахунок інтенсивності відмов елементів системи

Група елементів	Кількість N_i, шт	$\lambda_i \times 10^{-6}$, 1/год	$N_i \cdot \lambda_i \times 10^{-6}$, 1/год
1	2	3	4
Мікроконтролер (плата ESP32)	1	0,50	0,50
Група елементів	Кількість N_i, шт	$\lambda_i \times 10^{-6}$, 1/год	$N_i \cdot \lambda_i \times 10^{-6}$, 1/год
Модулі на IMC (DHT22, BH1750, DS1307, OLED, A4988, DC-DC LM2596)	6	0,40	2,40
Датчики вологості ґрунту (ємнісні)	3	0,30	0,90
Реле електромагнітні (канали модуля реле)	4	0,30	1,20
Клапани електромагнітні 2W-160-15	3	0,80	2,40
Кроковий двигун	1	0,90	0,90
Світлодіодна стрічка	1	0,50	0,50
Світлодіоди індикації	3	0,10	0,30
Резистори	4	0,05	0,20
Паяні та роз'ємні з'єднання	120	0,01	1,20
Разом (Λ)	—	—	10,50

Отримані результати показують, що ймовірність безвідмовної роботи системи протягом одного року безперервної експлуатації становить 0,912, а середній наробіток на відмову перевищує 10 років, що є прийнятним показником для систем побутової та сільськогосподарської автоматики.

Як видно з таблиці 2.3, найбільший внесок в інтенсивність відмов дають електромеханічні компоненти — електромагнітні клапани, реле та кроковий двигун (разом 4,5 × 10^{-6} 1/год, або 43 % від загальної).

Таблиця 2.4 – Ймовірність безвідмовної роботи системи

Час роботи t, год	Період	P(t)
1	2	3
1 000	≈ 1,5 місяця	0,990
8 760	1 рік	0,912
26 280	3 роки	0,759
43 800	5 років	0,631

Це закономірно: елементи з рухомими частинами зношуються швидше за напівпровідникові. Підвищити надійність системи можна резервуванням найвідповідальніших кіл, застосуванням твердотільних реле замість електромагнітних та періодичним профілактичним обслуговуванням клапанів (очищенням від механічних домішок встановленням фільтра грубого очищення на вході магістралі поливу).

2.6 Опис роботи функціональної схеми

Функціональна схема електрична визначає повний склад елементів системи та зв'язки між ними і дає детальне уявлення про принцип роботи пристрою на рівні окремих електричних з'єднань. На її основі розробляється схема з'єднань та виконується монтаж пристрою. Функціональну схему системи наведено на рисунку 2.25 (Див.Рис 2.25).

Центральним елементом схеми є мікроконтролер ESP32 (DD1). Живлення системи здійснюється від мережевого адаптера 12 В, від якого утворюються дві

шини: шина 12 В живить силові кола, а шина 5 В, отримана через знижувальний DC-DC перетворювач, живить мікроконтролер та логічну частину. Датчики й дисплей живляться напругою 3,3 В від вбудованого стабілізатора ESP32.

Датчики підключено до мікроконтролера так. Датчик температури й вологості повітря BK1 (DHT22) під'єднано до виводу GPIO 4; між лінією даних і живленням установлено підтягувальний резистор R1 номіналом 10 кОм. Три ємнісні датчики вологості ґрунту під'єднано до аналогових входів АЦП GPIO 34, 35, 32 (зони 1–3 відповідно). Датчик освітленості BH1750, модуль годинника реального часу DS1307 та OLED-дисплей під'єднано до спільної шини I²C (GPIO 21 — SDA, GPIO 22 — SCL); кожен пристрій має власну адресу на шині (0x23, 0x68 та 0x3C відповідно), що дозволяє використовувати лише дві сигнальні лінії для трьох пристроїв.

Керування виконавчими пристроями реалізовано через чотириканальний модуль реле K1. Входи каналів IN1–IN4 під'єднано до виводів GPIO 13, 12, 14 та 25 відповідно. Спільні контакти всіх каналів (COM1–COM4) під'єднано до шини 12 В. Нормально розімкнуті контакти NO1–NO3 комутують живлення котушок електромагнітних клапанів Y1–Y3 (полив зон 1–3), а контакт NO4 — живлення фітострічки EL1. Другі виводи котушок клапанів та фітострічки під'єднано до спільної шини GND кола 12 В. Завдяки оптронній розв'язці модуля реле силові кола 12 В гальванічно ізольовані від логічних кіл мікроконтролера.

Привід вентиляційної кватирки реалізовано на біполярному кроковому двигуні M1, керованому драйвером A4988 (DA1). Сигнальні входи драйвера STEP та DIR під'єднано до виводів GPIO 19 та 18. Живлення логіки драйвера (VDD) здійснюється напругою 5 В, живлення двигуна (VMOT) — напругою 12 В; виводи RESET і SLEEP з'єднані між собою для постійної готовності драйвера. Виходи драйвера 1A, 1B, 2A, 2B під'єднано до обмоток A та B крокового двигуна.

Світлодіодну індикацію стану зон поливу реалізовано на світлодіодах HL1–HL3, під'єднаних до виводів GPIO 23, 15 через струмообмежувальні резистори

R2–R4 номіналом 220 Ом. Катоди світлодіодів з'єднано зі спільною шиною GND.

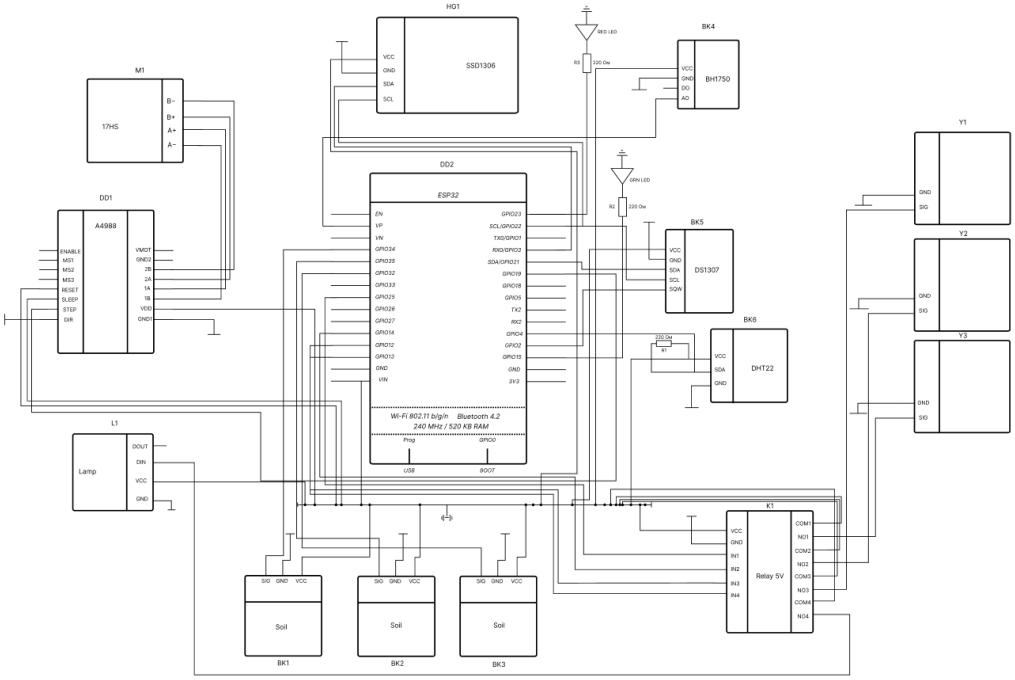


Рисунок 2.25 – Функціональна схема мікропроцесорної системи керування теплицею

2.7 Розробка алгоритму системи

Робота системи будується за принципом нескінченного циклу опитування й керування, типового для вбудованих систем. Алгоритм складається з етапу ініціалізації, що виконується одноразово після ввімкнення живлення, та основного робочого циклу, який повторюється безперервно. Блок-схему алгоритму наведено на рисунку 2.26.

Етап ініціалізації. Після подачі живлення мікроконтролер налаштовує режими роботи виводів GPIO, переводить клапани поливу у закрите положення, ініціалізує датчики, дисплей та модуль годинника реального часу, після чого встановлює з'єднання з бездротовою мережею Wi-Fi і виконує перевірку доступу

до мережі. На дисплей виводиться інформація про стан підключення. У разі невдалого підключення система продовжує роботу в автономному режимі, періодично повторюючи спроби з'єднання.

Основний цикл. У головному циклі програми реалізовано два незалежні часові інтервали, побудовані на функції відліку часу без блокування виконання: інтервал опитування датчиків та керування (5 секунд) та інтервал обміну даними із сервером (30 секунд). Такий підхід дозволяє системі одночасно виконувати локальне керування та мережевий обмін без взаємних затримок.

Кожні 5 секунд система виконує такі дії:

1. Зчитування показників усіх датчиків: температури й вологості повітря, вологості ґрунту трьох зон та рівня освітленості. Аналогові сигнали датчиків ґрунту й освітленості перетворюються вбудованим АЦП та масштабуються у відсотки.

2. Керування поливом (в автоматичному режимі). Для кожної зони показник вологості ґрунту порівнюється з пороговими значеннями за принципом гістерезису: якщо вологість опускається нижче нижнього порогу (40%), відкривається клапан відповідної зони; коли вологість піднімається вище верхнього порогу (70%), клапан закривається. Застосування гістерезису (зони нечутливості між порогами ввімкнення й вимкнення) виключає часте перемикання клапана за незначних коливань вимірюваного значення поблизу порогу.

3. Керування вентиляцією та освітленням. Якщо температура повітря перевищує верхній поріг (28°C) або вологість перевищує допустиму (85%), запускається привід вентиляційної кватирки (кроковий двигун); при поверненні температури нижче нижнього порогу (24°C) кватирка закривається. Фітострічка вмикається при зниженні освітленості нижче нижнього порогу й вимикається при перевищенні верхнього, також за принципом гістерезису.

4. Оновлення індикації: світлодіоди зон поливу відображають поточний стан (згашений — норма, світиться — полив, блимає — критичне пересихання ґрунту).

5. Виведення поточних значень параметрів на OLED-дисплей та в діагностичний послідовний порт.

Незалежно від інтервалу опитування на кожній ітерації циклу обробляється стан приводу кватирки: поки активний режим провітрювання, на драйвер крокового двигуна подаються керуючі імпульси.

Кожні 30 секунд, за наявності з'єднання з мережею, система обмінюється даними із сервером: надсилає поточні показники датчиків та стан виконавчих пристроїв і отримує у відповідь команди ручного керування та оновлені порогові значення параметрів.

У разі втрати з'єднання виконується спроба повторного підключення. Отримання порогів із сервера дозволяє змінювати режими роботи системи дистанційно, без перепрошивання мікроконтролера.

Режими роботи.

Система підтримує два режими, що перемикаються з боку сервера: автоматичний, у якому керування виконавчими пристроями здійснюється за показниками датчиків та закладеними алгоритмами, і ручний, у якому стан клапанів, фітострічки та вентиляції задається безпосередньо командами оператора через веб-інтерфейс.

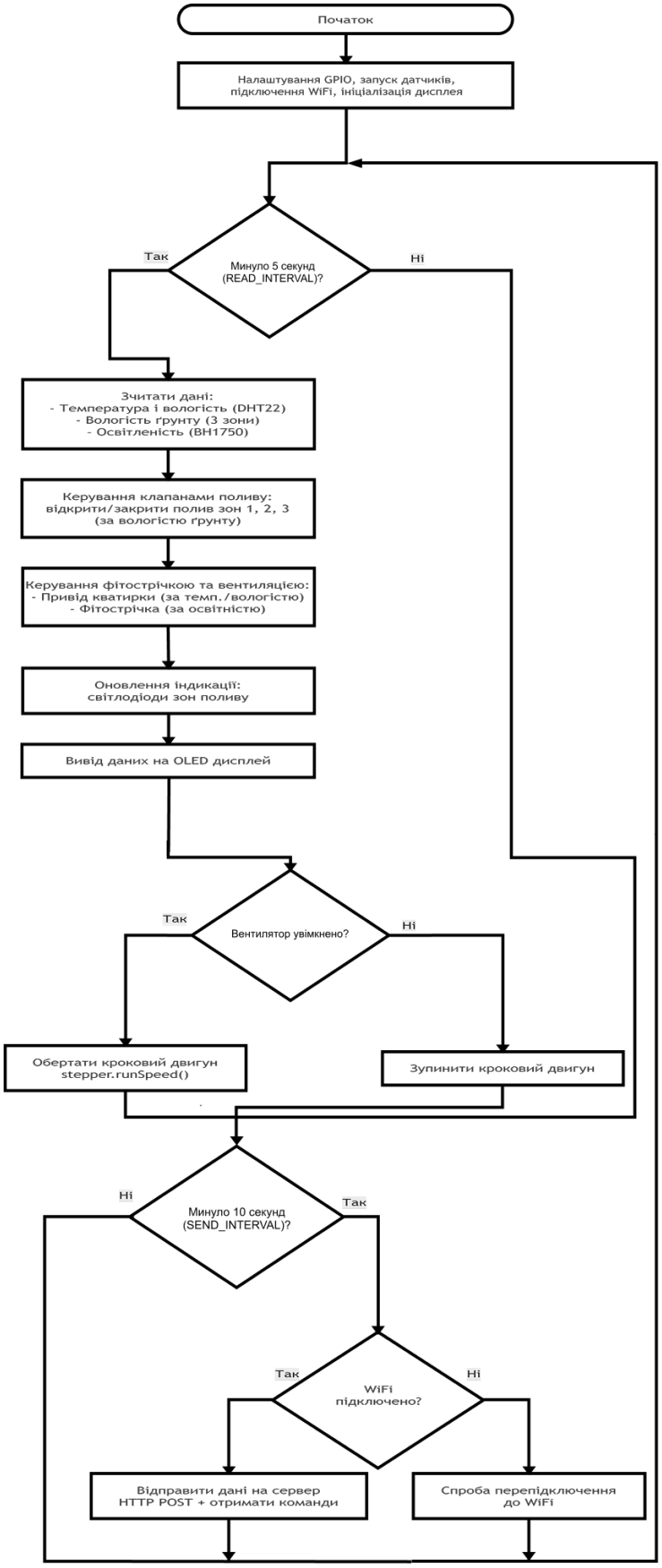


Рисунок 2.26 – Блок-схема алгоритму роботи системи управління теплицею

2.9 Написання текстів програми

Програмне забезпечення розроблено мовою C++ у середовищі Arduino IDE з використанням ядра ESP32. Програма має модульну структуру: кожному блоку алгоритму (рисунок 2.24) відповідає окрема функція. Нижче наведено реалізацію ключових блоків із фрагментами коду.

Оголошення виводів і порогів**.** Номери виводів GPIO та порогові значення винесено в окремий блок директив препроцесора і глобальних змінних, що спрощує налаштування системи:

```
#define DHT_PIN    4          // датчик температури/вологості
#define SOIL1_PIN  34         // датчики вологості ґрунту
#define SOIL2_PIN  35
#define SOIL3_PIN  32
#define VALVE1_PIN 13         // канали реле клапанів поливу
#define VALVE2_PIN 12
#define VALVE3_PIN 14
#define RELAY_LAMP 25         // канал реле фітострічки

float SOIL_DRY = 40, SOIL_WET = 70, SOIL_CRIT = 20;   // пороги вологості, %
float TEMP_MAX = 28.0, TEMP_MIN = 24.0, HUM_MAX = 85.0;
float LUX_MIN = 30, LUX_MAX = 80;                     // пороги освітленості, %
```

Блок ініціалізації (setup). Виводи реле й світлодіодів налаштовуються на вихід, клапани переводяться в закрите положення, ініціалізуються датчики, дисплей, годинник та виконується підключення до мережі:

```
void setup() {
  pinMode(VALVE1_PIN, OUTPUT); digitalWrite(VALVE1_PIN, LOW);
  pinMode(VALVE2_PIN, OUTPUT); digitalWrite(VALVE2_PIN, LOW);
```

```
  pinMode(VALVE3_PIN, OUTPUT); digitalWrite(VALVE3_PIN, LOW);
  dht.begin();
  rtc.begin();
  display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, OLED_ADDR);
  stepper.setMaxSpeed(800);
  stepper.setAcceleration(400);
  connectWiFi();
 }
```

Головний цикл (loop). Замість блокувальних затримок використовується перевірка інтервалів за системним лічильником millis(), що дозволяє виконувати опитування й мережевий обмін незалежно:

```
 void loop() {
  unsigned long now = millis();
  if (now - lastRead >= READ_INTERVAL) {        // кожні 5 с
   lastRead = now;
   readSensors();
   if (autoMode) { controlValves(); controlActuators(); }
   updateLEDs();
   updateDisplay();
  }
  controlStepper();                             // на кожній ітерації
  if (now - lastSend >= SEND_INTERVAL) {        // кожні 30 с
   lastSend = now;
   if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) { sendToServer(); getCommands();
}
   else connectWiFi();
  }
 }
```

Блок зчитування датчиків (readSensors). Аналогові сигнали датчиків ґрунту й освітленості перетворюються АЦП і масштабуються у відсотки функцією map; некоректні значення DHT22 відкидаються:

```
void readSensors() {
  float t = dht.readTemperature(), h = dht.readHumidity();
  if (!isnan(t)) temperature = t;
  if (!isnan(h)) humidity = h;
  soil1 = constrain(map(analogRead(SOIL1_PIN), 4095, 0, 0, 100), 0, 100);
  soil2 = constrain(map(analogRead(SOIL2_PIN), 4095, 0, 0, 100), 0, 100);
  soil3 = constrain(map(analogRead(SOIL3_PIN), 4095, 0, 0, 100), 0, 100);
  lux   = constrain(map(analogRead(LDR_PIN), 0, 4095, 0, 100), 0, 100);
}
```

Блок керування поливом (controlValves). Реалізує гістерезисне керування: клапан відкривається при зниженні вологості нижче нижнього порогу й закривається при підвищенні вище верхнього. Зберігання стану в окремій змінній виключає зайве перемикання реле:

```
void controlSingleValve(int valvePin, float soil, bool& state, int zone) {
  if (soil < SOIL_DRY && !state) {
    digitalWrite(valvePin, HIGH);     // відкрити клапан
    state = true;
  } else if (soil > SOIL_WET && state) {
    digitalWrite(valvePin, LOW);      // закрити клапан
    state = false;
  }
}

void controlValves() {
  controlSingleValve(VALVE1_PIN, soil1, valve1State, 1);
```

```
  controlSingleValve(VALVE2_PIN, soil2, valve2State, 2);
  controlSingleValve(VALVE3_PIN, soil3, valve3State, 3);
}
```

Блок керування вентиляцією та освітленням (controlActuators**).** Ознака провітрювання встановлюється при перевищенні порогів температури або вологості, фітострічка комутується за рівнем освітленості — обидва рішення з гістерезисом:

```
void controlActuators() {
  if ((temperature > TEMP_MAX || humidity > HUM_MAX) && !fanState)
    fanState = true;
  else if (temperature < TEMP_MIN && humidity < HUM_MAX && fanState)
    fanState = false;

  if (lux < LUX_MIN && !lampState) {
    digitalWrite(RELAY_LAMP, LOW); lampState = true;     // увімкнути
  } else if (lux > LUX_MAX && lampState) {
    digitalWrite(RELAY_LAMP, HIGH); lampState = false;   // вимкнути
  }
}
```

Блок керування кроковим двигуном (controlStepper). Обробляється на кожній ітерації: поки активна ознака провітрювання, двигун обертається й відкриває кватирку, інакше драйвер переводиться в режим спокою:

```
void controlStepper() {
  if (fanState) {
    digitalWrite(STEPPER_EN, LOW);   // увімкнути драйвер
    stepper.setSpeed(600);
```

```
    stepper.runSpeed();
  } else {
    digitalWrite(STEPPER_EN, HIGH);  // режим спокою
    stepper.stop();
  }
}
```

Блок індикації (updateLEDs). Світлодіод зони згашений за норми, світиться під час поливу, блимає при критичному пересиханні:

```
void updateSingleLED(int pin, float soil) {
  if (soil < SOIL_CRIT)      digitalWrite(pin, (millis()/300) % 2);  // блимає
  else if (soil < SOIL_DRY)  digitalWrite(pin, HIGH);              // полив
  else                       digitalWrite(pin, LOW);               // норма
}
```

Блок обміну з сервером (getCommands). Відповідь сервера у форматі JSON розбирається бібліотекою ArduinoJson; зчитуються режим роботи, оновлені пороги та команди ручного керування. У ручному режимі автоматичні алгоритми блокуються:

```
JsonDocument doc;
deserializeJson(doc, payload);
const char* mode = doc["mode"] | "auto";
autoMode = (strcmp(mode, "auto") == 0);
JsonObject settings = doc["settings"];
if (settings) {
  if (settings["soil_dry"]) SOIL_DRY = settings["soil_dry"].as<float>();
  if (settings["temp_max"]) TEMP_MAX = settings["temp_max"].as<float>();
  // ... інші пороги
```

Повний текст програми наведено в додатку А.

Слід зазначити, що розроблена програма мікроконтролера реалізує лише апаратну сторону взаємодії — формування та надсилання запитів на сервер і приймання команд у відповідь. Серверна частина (база даних та програмний інтерфейс обміну) і клієнтський веб-інтерфейс користувача розробляються окремо в межах суміжних кваліфікаційних робіт співавторів комплексної розробки. Веб-інтерфейс забезпечує дистанційний моніторинг показників мікроклімату в реальному часі, перегляд історії вимірювань, перемикання між автоматичним і ручним режимами, ручне керування виконавчими пристроями та налаштування порогових значень параметрів, які потім передаються на мікроконтролер. Зовнішній вигляд веб-інтерфейсу наведено на рисунку 2.27.

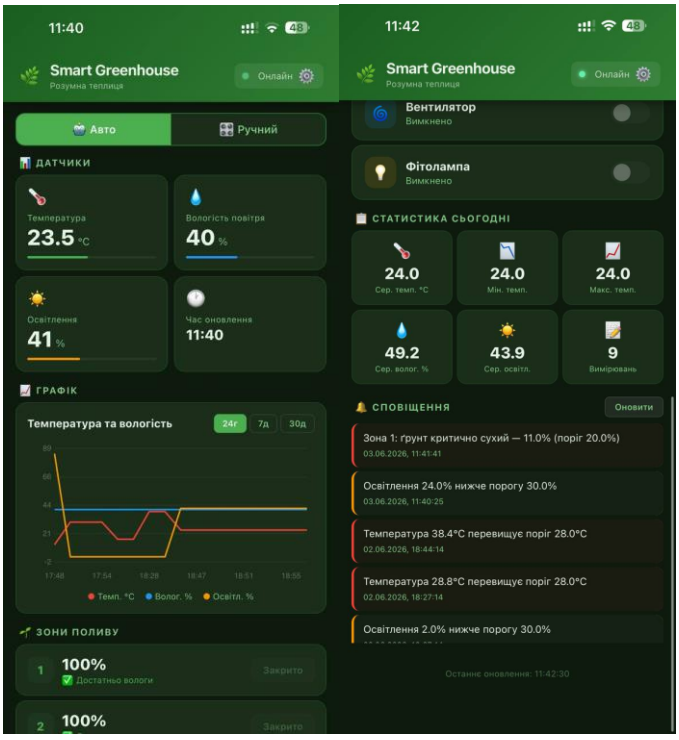


Рисунок 2.27 – Скриншот веб-інтерфейсу із відображенням даних теплиці

3 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розробка інструкції з експлуатації електронного пристрою

Цей підрозділ містить інструкцію з підготовки, запуску та обслуговування розробленої системи автоматизованого керування теплицею.

Підготовка до першого запуску. Перед першим увімкненням необхідно переконатися, що всі датчики та виконавчі пристрої під'єднано до відповідних виводів мікроконтролера згідно з принциповою схемою, та перевірити правильність полярності з'єднань. Кожен із трьох ємнісних датчиків вологості ґрунту слід занурити у ґрунтовий субстрат відповідної зони поливу на глибину 5–8 см. Датчик температури й вологості повітря DHT22 потрібно встановити в затіненій частині теплиці, поза прямими сонячними променями, на висоті 1–1,5 м. Датчик освітленості BH1750 розміщують у відкритому місці без затінення для коректного вимірювання рівня природного світла. Модуль годинника реального часу DS1307 має бути забезпечений резервною батареєю CR2032 для збереження часу під час відсутності основного живлення. Слід також перевірити під'єднання електромагнітних клапанів поливу до відповідних каналів релейного модуля, підключення фітострічки до четвертого каналу реле та крокового двигуна вентиляційної кватирки через драйвер A4988.

Налаштування мережі та сервера. У файлі вихідного коду необхідно вказати назву та пароль бездротової мережі Wi-Fi, а також адресу серверного скрипта обміну даними:

#define WIFI_SSID "назва_мережі" #define WIFI_PASS "пароль" #define SERVER_URL "http://адреса_сервера/api.php"

Після внесення налаштувань програму компілюють і завантажують у пам'ять мікроконтролера. Після завантаження пристрій автоматично підключається до мережі та починає передавати дані на сервер.

Робота системи. Після подачі живлення на OLED-дисплеї відображаються поточний час, температура й вологість повітря, рівень освітленості та вологість

ґрунту трьох зон. В автоматичному режимі система самостійно керує поливом кожної зони через електромагнітні клапани, провітрюванням через привід кватирки та фітострічкою без участі оператора. Стан зон поливу дублюється світлодіодною індикацією: згашений світлодіод відповідає нормальній вологості, постійне світіння — активному поливу, блимання — критичному пересиханню ґрунту. Для дистанційного моніторингу й керування слід відкрити веб-інтерфейс системи у браузері смартфона або комп'ютера, де доступні поточні показники датчиків, графіки зміни параметрів, журнал подій із часовими мітками та ручне керування виконавчими пристроями.

Технічне обслуговування. Раз на місяць потрібно очищати датчик DHT22 від пилу та конденсату м'якою сухою тканиною. Раз на сезон слід перевіряти стан ємнісних датчиків ґрунту, очищаючи їх від бруду та коренів рослин, а також перевіряти механічну частину електромагнітних клапанів і за потреби очищати фільтр грубого очищення на вході магістралі поливу. Раз на рік необхідно замінювати батарею CR2032 у модулі годинника, перевіряти стан контактів реле та надійність кабельних з'єднань. У разі виникнення помилок діагностичні повідомлення можна переглянути у журналі подій веб-інтерфейсу або у виводі діагностичного послідовного порту.

3.2 Розробка методики перевірки функціонування пристрою

Перевірка системи керування теплицею виконується у два етапи: попередня перевірка функціонування у симуляційному середовищі та перевірка на реальному обладнанні. Перелік перевірок та очікуваних результатів наведено нижче.

Перший етап — попередня перевірка алгоритмів. На цьому етапі перевіряється коректність роботи програмного забезпечення та логіки керування.

Перевірка зчитування датчика повітря. Після запуску в діагностичному порту (115200 бод) кожні 5 секунд мають виводитися значення температури та

вологості повітря. Очікуваний результат — значення в межах робочого діапазону датчика.

Перевірка керування поливом. При зниженні показника вологості ґрунту зони нижче порогу 40% має спрацьовувати відповідний канал реле — клапан зони відкривається, а її світлодіод переходить у стан індикації поливу. При підвищенні вологості вище 70% клапан закривається, індикація повертається до нормального стану.

Перевірка керування провітрюванням. При підвищенні температури повітря вище 28°C або вологості вище 85% має запускатися кроковий двигун приводу кватирки. При поверненні температури до норми (нижче 24°C) двигун зупиняється.

Перевірка керування фітострічкою. При зниженні рівня освітленості нижче порогу (менше 30%) має вмикатися канал реле фітострічки; при підвищенні освітленості вище верхнього порогу (80%) фітострічка вимикається.

Перевірка дисплея. Дисплей має відображати поточний час, температуру й вологість повітря, вологість ґрунту зон та стан зв'язку із сервером, оновлюючи показники кожні 5 секунд.

Перевірка годинника реального часу. У діагностичному порту мають виводитися коректні значення дати й часу; після перезапуску відлік часу має продовжуватися без скидання.

Перевірка обміну з сервером. За наявності з'єднання кожні 30 секунд має відбуватися успішна передача даних (код відповіді 200); за відсутності з'єднання система має фіксувати помилку й повторювати спробу, не припиняючи локального керування.

Другий етап — перевірка на реальному обладнанні. На цьому етапі перевіряється фізична взаємодія компонентів.

Перевірка аналогових входів датчиків ґрунту. За допомогою мультиметра вимірюють напругу на аналогових входах GPIO 34, 35, 32: для сухого датчика вона становить близько 3,0–3,3 В, для зануреного у воду — 0,5–1,0 В. Виміряні значення мають відповідати показникам вологості у відсотках.

Перевірка клапанів поливу. При зниженні вологості ґрунту нижче 40% відповідний електромагнітний клапан має відкривати подачу води, при підвищенні вище 70% — перекривати її.

Перевірка приводу кватирки. При підвищенні температури вище 28°C кроковий двигун має приводити в рух вентиляційну кватирку та зупинятися при поверненні температури до норми.

Перевірка годинника при втраті живлення. Живлення системи відключають на 1 хвилину; після повторного ввімкнення час на дисплеї має відповідати реальному, що підтверджує роботу резервного живлення від батареї.

Перевірка мережевого підключення. Слід переконатися, що мікроконтролер успішно з'єднується з мережею Wi-Fi (відповідне повідомлення з IP-адресою у діагностичному порту).

Перевірка серверного обміну. У веб-інтерфейсі показники датчиків мають оновлюватися кожні 30 секунд, а журнал подій — містити записи з коректними часовими мітками.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Метою економічної частини кваліфікаційної роботи є здійснення економічних розрахунків, спрямованих на визначення собівартості та економічної ефективності розробки мікропроцесорної системи автоматизованого керування розумною теплицею і прийняття рішення про доцільність її впровадження.

4.1 Визначення стадій технологічного процесу та загальної тривалості проведення НДР

Для визначення загальної тривалості проведення НДР дані витрат часу за окремими стадіями технологічного процесу доцільно звести у таблицю. Виконавцем стадій технологічного процесу є розробник, окремі стадії супроводжуються консультаціями керівника проєкту. У таблиці 4.1 наведено стадії технологічного процесу та тривалість їх виконання.

Таблиця 4.1 – Стадії технологічного процесу та тривалість НДР

№	Назва стадії (операції)	Виконавець	Тривалість, роб. днів
	1	2	3
1	Аналіз ТЗ, огляд літератури та аналогів	Керівник	5
2	Розробка структурної та функціональної схем	Інженер	16
3	Вибір та обґрунтування елементної бази	Інженер	6

№	Назва стадії (операції)	Виконавець	Тривалість, роб. днів
	1	2	3
4	Розробка функціональної електричної схеми	Інженер	8
5	Розробка алгоритму та написання програми	Інженер	16
6	Налагодження та тестування системи	Інженер	6
7	Розрахункова частина (потужність, надійність)	Інженер	8
8	Оформлення пояснювальної записки	Інженер	8
Разом			73

Загальна тривалість НДР становить 73 години.

4.2 Визначення витрат на оплату праці та відрахувань на соціальні заходи

Оплата праці — це грошовий вираз вартості робочої сили, який виступає у формі заробітку, виплаченого працівникові за виконану роботу. Основна заробітна плата розраховується за формулою 4.1:

$$Зосн = Тс \cdot Кг, \quad (4.1)$$

де Тс — тарифна (годинна) ставка, грн; Кг — кількість відпрацьованих годин.

Основна заробітна плата становить:

Керівник проєкту Зосн1 = 5 · 300 = 1500,00 грн;

Інженер Зосн2 = 68 · 220 = 14960,00 грн.

Сумарна основна заробітна плата становить:

Зосн = 1500,00 + 149600,00 = 16460,00 грн.

Додаткова заробітна плата прийнята на рівні 12 % від основної та обчислюється за формулою 4.2:

$$Здод = Зосн \cdot Кдопл , \quad (4.2)$$

де Кдопл — коефіцієнт додаткових виплат працівникам (0,1–0,15). Отже, додаткова заробітна плата становить:

Керівник проєкту Здод1 = 1500,00 · 0,12 = 180,00 грн.

Інженер Здод2 = 14960,00 · 0,12 = 1795,2 грн;

Сумарна додаткова заробітна плата:

Здод = 180,00 + 1795,2 = 1975,2 грн.

Загальні витрати на оплату праці визначаються за формулою 4.3:

$$Во.п = Зосн + Здод , \quad (4.3)$$

Во.п = 16460,00 + 1975,2 = 18435,2 грн.

Відрахування на соціальні заходи (єдиний соціальний внесок) становлять 22 % від фонду оплати праці та обчислюються за формулою 4.4:

$$Вс.з = ФОП \cdot 0,22 , \quad (4.4)$$

Вс.з = 18435,2 · 0,22 = 4055,7 грн.

Проведені розрахунки витрат на оплату праці зведено у таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Зведені розрахунки витрат на оплату праці

№ з/п	Категорія працівників	Тариф., грн/год	К-сть год	Зосн, грн	Здод, грн	Нарах-ування на ФОП, грн.	Всього, грн
	1	2	3	4	5	6	
1	Керівник проєкту	300	5	1500	180	-	-
2	Інженер	220	68	14960	1975,2	-	-
Разом			73	16460	18435,2	4055,7	22491,00

Загальні витрати на оплату праці становлять 22491,00 грн.

4.3 Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати визначаються за формулою 4.5 як добуток кількості витрачених матеріалів та їх ціни:

$$Мв = q_i \cdot p_i , \quad (4.5)$$

де q_i — кількість витраченого матеріалу і-го виду; p_i — ціна матеріалу і-го виду. Загальні матеріальні витрати визначаються за формулою 4.6:

$$Зм.в = \Sigma Мв . \quad (4.6)$$

Перелік компонентів та розрахунки наведено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Зведені розрахунки матеріальних витрат

№	Найменування	Од.	К-сть	Ціна, грн	Сума, грн
	1	2	3	4	5
1	ESP32 DevKit V1	шт	1	320	320
2	Датчик DHT22	шт	1	85	85
3	Ємнісний датчик вологості ґрунту	шт	3	65	195
4	Датчик освітленості BH1750	шт	1	75	75
5	Модуль RTC DS1307	шт	1	45	45
6	Електромагнітний клапан 2W-160-15 (12В)	шт	3	250	750
7	Крокoвий двигун 17HS	шт	1	180	180
8	Драйвер A4988	шт	1	65	65
9	Модуль реле 4-канальний 5В	шт	1	110	110

№	Найменування	Од.	К-сть	Ціна, грн	Сума, грн
	1	2	3	4	5
10	OLED-дисплей 0,96″ I²C	шт	1	95	95
11	Світлодіоди індикації	шт	3	5	15
12	Резистори (220 Ом, 10 кОм)	набір	1	10	10
13	Блок живлення (адаптер 12В/5А)	шт	1	280	280
14	DC-DC перетворювач LM2596	шт	1	40	40
15	Макетна плата	шт	1	45	45
16	З'єднувальні проводи	набір	1	70	70
17	USB-кабель	шт	1	50	50
Разом					2 430,00

Загальна сума матеріальних витрат становить 2 430,00 грн.

4.4 Розрахунок витрат на електроенергію

Витрати на електроенергію визначаються за формулою 4.7:

$$Ze = W \cdot T \cdot S, \quad (4.7)$$

де W — споживана потужність обладнання, кВт; T — кількість годин роботи обладнання; S — вартість кіловат-години електроенергії, грн. Час роботи персонального комп'ютера над проєктом становить 35 год, споживана потужність — 0,3 кВт, вартість 1 кВт·год електроенергії — 15,94 грн. Тому витрати на електроенергію становлять:

Ze = 0,3 · 35 · 15,94 = 167,37 грн.

4.5 Визначення транспортних затрат

Транспортні витрати прогнозуються у розмірі 8–10 % від загальної суми матеріальних затрат та розраховуються за формулою 4.8:

$$Тв = Зм.в \cdot 0,08…0,1 , \quad (4.8)$$

де Тв — транспортні витрати. Отже, транспортні витрати становлять:

Тв = 2 430 · 0,1 = 243,00 грн.

4.6 Розрахунок суми амортизаційних відрахувань

Персональний комп'ютер належить до четвертої групи основних фондів. Для визначення амортизаційних відрахувань застосовується формула 4.9:

$$А = Бв \cdot На / 100 \% , \quad (4.9)$$

де А — амортизаційні відрахування за звітний період, грн; Бв — балансова вартість основних фондів, грн; На — річна норма амортизації, %. Балансова вартість комп'ютера становить 45 000 грн.

За період НДР сума амортизаційних відрахувань становить:

А = 45000 · 0,040 / 150 · 35 = 420,00 грн.

4.7 Обчислення накладних витрат

Накладні витрати — це витрати, не пов'язані безпосередньо з технологічним процесом, що утворюються під впливом умов з організації, управління та обслуговування. Накладні витрати можуть становити 20–60 % від суми основної та додаткової заробітної плати працівників та обчислюються за формулою 4.10:

$$Нв = Во.п \cdot 0,2…0,6 , \quad (4.10)$$

де Нв — накладні витрати. Прийнявши коефіцієнт накладних витрат 0,2, отримуємо:

Нв = 18435,2 · 0,2 = 3687,00 грн.

4.8 Складання кошторису витрат та визначення собівартості НДР

Кошторис витрат являє собою зведений план усіх витрат на виконання НДР. Результати проведених вище розрахунків зведено у таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 – Кошторис витрат на НДР

Зміст витрат	Сума, грн	% до загальної суми
1	2	3
Витрати на оплату праці (основна і додаткова)	18435,2	64.37
Відрахування на соціальні заходи	4055,7	14.16
Матеріальні витрати	2 430,00	3.48
Витрати на електроенергію	167,37	2.19
Транспортні витрати	243,00	0.35
Амортизаційні відрахування	420,00	2.58
Накладні витрати	3687,00	12.87
Собівартість НДР	29 438,3	100

Собівартість НДР розраховується за формулою 4.11:

$$Св = Во.п + Вс.з + Зм.в + Зе + Тв + А + Нв . \quad (4.11)$$

Собівартість дорівнює Св = 29 438,3 грн.

4.9 Розрахунок ціни НДР

Ціну НДР можна визначити за формулою 4.12:

$$Ц = Св \cdot (1 + Ррен) \cdot (1 + ПДВ), \quad (4.12)$$

де Ррен — рівень рентабельності;

ПДВ — ставка податку на додану вартість (20 %).

Ц = 29 438,3 · (1 + 0,3) · (1 + 0,2) = 45923,7 грн.

4.10 Визначення економічної ефективності і терміну окупності

Ефективність виробництва – це узагальнене і повне відображення кінцевих результатів використання робочої сили, засобів та предметів праці на підприємстві за певний проміжок часу.

Для визначення ефективності продукту розраховують чисту теперішню вартість (ЧТВ) і термін окупності ($T_{ОК}$).

$$ЧТВ = -K_{В} + \sum_{i=1}^{t} \frac{ГП}{(1+i)^{t}}, \quad (4.13)$$

де $К_В$ – затрати на проект;

$Г_п$ – грошовий потік за t – ий рік;

t – відповідний рік проекту;

i - величина дисконтної ставки (10…15%).

Якщо ЧТВ ≥ 0, то проект може бути рекомендований до впровадження.

$$ЧТВ = -29\,438,3 + \frac{16485,4}{(1+0,1)} + \frac{16485,4}{(1+0,1)^2} + \frac{16485,4}{(1+0,1)^3} = 11558,4$$

Термін окупності визначається за формулою:

$$T_{ОК} = T_{ПВ} + \frac{H_В}{Г_{ПР}} \quad (4.14)$$

де $T_{ПВ}$ – період до повного відшкодування витрат, років;

$H_В$ – невідшкодовані витрати на початок року, грн.;

$Г_{ПР}$ – грошовий потік на початок року, грн.

$$T_{ок} = 2 + \frac{4099,7}{16485,4} = 2,2$$

Усі дані розрахунків внесено у зведену таблицю 4.5 техніко-економічних показників.

Таблиця 4.5 – Техніко-економічні показники розробки

№	Показник	Значення
	1	2
1	Собівартість НДР, грн	29 438,3
2	Плановий прибуток, грн	16485,4
3	Ціна НДР, грн	45923,7
4	Чиста теперішня вартість, грн.	11558,4
5	Термін окупності, рік	2,2

Собівартість розробленої системи становить 29 438,3 грн. Термін окупності складає 2,2 роки.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ, ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ЖИТЄДІЯЛЬНОСТІ

Розробка та експлуатація мікропроцесорної системи автоматизованого керування теплицею пов'язані з низкою небезпечних і шкідливих виробничих чинників. Згідно із Законом України «Про охорону праці», роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці умови праці відповідно до нормативно-правових актів і нести відповідальність за шкоду, заподіяну здоров'ю працівника [12]. Специфіка об'єкта — поєднання електронного обладнання з умовами сільськогосподарського приміщення (підвищена вологість, перепади температур, наявність води) — зумовлює потребу в особливій увазі до електробезпеки, захисту від статичної електрики, впливу електромагнітних випромінювань та безпеки монтажних робіт. У розділі ці питання розглянуто відповідно до чинних нормативних документів і сучасної навчальної літератури з охорони праці [15, 16, 17].

5.1 Електробезпека та захист від статичної електрики мікропроцесорних систем в умовах підвищеної вологості

Електробезпека — це система організаційних і технічних заходів та засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого й небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги та статичної електрики [15]. Дія електричного струму на організм людини може бути термічною (опіки), електролітичною (розклад крові та інших рідин), механічною (розрив тканин) та біологічною (порушення роботи нервової та серцево-судинної систем). Найнебезпечнішим є фібриляція серця, що виникає вже за струму близько 50 мА промислової частоти.

За ступенем небезпеки ураження електричним струмом приміщення поділяють на три класи: без підвищеної небезпеки, з підвищеною небезпекою та особливо небезпечні.

Теплиця належить до приміщень з підвищеною небезпекою, а за наявності конденсату й постійної вологості може кваліфікуватися як особливо небезпечна, оскільки відносна вологість повітря в ній перевищує 75%, а на струмопровідних поверхнях можливе утворення вологи [15]. Волога знижує опір ізоляції обладнання та опір тіла людини, через що ймовірність і тяжкість ураження струмом у теплиці суттєво зростають порівняно зі звичайними приміщеннями.

Основним джерелом електричної небезпеки в розробленій системі є силове коло керування фітолампою напругою 220 В, що комутується через модуль реле. Для зниження ризику ураження струмом застосовано комплекс заходів:

– застосування малих (безпечних) напруг живлення: логічна частина, датчики та виконавчі механізми працюють від 5–12 В, що є безпечним для людини рівнем напруги (нижчим за гранично допустимі 42 В для приміщень з підвищеною небезпекою);

– гальванічна розв'язка силового кола 220 В від низьковольтної логіки за допомогою модуля реле з оптопарою PC817, що унеможливлює потрапляння високої напруги на виводи мікроконтролера навіть у разі несправності [10];

– захисне заземлення (занулення) металевих корпусів обладнання, що з'єднує доступні струмопровідні частини із заземлювальним пристроєм і запобігає появі на них небезпечного потенціалу;

– застосування пристрою захисного відключення (ПЗВ) з диференційним струмом спрацювання 30 мА у живильному колі 220 В, який вимикає живлення за частки секунди в разі витоку струму на корпус або через тіло людини;

– розміщення електронного блоку та всіх силових з'єднань у герметичному корпусі зі ступенем захисту не нижче IP54, що запобігає потраплянню вологи й пилу на струмопровідні частини;

– застосування кабелів із подвійною вологостійкою ізоляцією та перерізом жил, що відповідає струмовому навантаженню.

У разі ураження людини електричним струмом необхідно негайно звільнити потерпілого від дії струму (вимкнути живлення або відокремити його від струмопровідної частини за допомогою діелектричного предмета), після чого за потреби провести штучне дихання та непрямий масаж серця й викликати медичну допомогу [16].

Окремої уваги потребує захист мікропроцесорних компонентів від статичної електрики. Інтегральні мікросхеми (ESP32, BH1750, DS1307, драйвер A4988) виготовлені за технологіями, чутливими до електростатичних розрядів (ESD).

Накопичений на тілі людини заряд може сягати кількох кіловольтів і під час дотику до виводів мікросхеми спричинити її миттєвий пробій або, що небезпечніше, прихований дефект, який виявляється лише згодом у вигляді нестабільної роботи пристрою. Механізм накопичення статичного заряду пов'язаний із тертям діелектричних матеріалів (одягу, взуття об підлогу), і ризик ESD зростає за зниженої вологості повітря — узимку, в опалюваних приміщеннях.

Для захисту від ESD під час монтажу та обслуговування системи слід дотримуватися антистатичних заходів [17]:

– використовувати антистатичний браслет, заземлений через резистор 1 МОм на спільну точку заземлення;

– виконувати роботи на антистатичному килимку;

– зберігати й транспортувати мікросхеми в антистатичній (струмопровідній або екранувальній) упаковці;

– уникати дотику руками до виводів мікросхем та контактних майданчиків плати;

– підтримувати у приміщенні для монтажу відносну вологість на рівні 40–60%, що знижує накопичення заряду.

Слід враховувати, що в теплиці одночасно діють два протилежні чинники: висока вологість знижує накопичення статичного заряду, але підвищує

небезпеку ураження мережевим струмом. Тому заходи електробезпеки та антистатичного захисту мають застосовуватися комплексно.

5.2 Оцінка впливу електромагнітних випромінювань радіочастот від бездротових модулів передачі даних

Передача даних у системі здійснюється бездротовим модулем Wi-Fi, вбудованим у мікроконтролер ESP32, що працює в діапазоні 2,4 ГГц за стандартом IEEE 802.11 b/g/n [2]. Робота передавача супроводжується електромагнітним випромінюванням радіочастотного діапазону (ЕМВ РЧ), вплив якого на організм людини потребує гігієнічної оцінки.

Електромагнітне поле радіочастот належить до шкідливих виробничих чинників фізичної природи. Біологічна дія ЕМВ зумовлена тепловим ефектом (нагрівання тканин за рахунок поглинання енергії поля) та нетепловим (інформаційним) впливом на клітинні процеси [16]. Ступінь впливу залежить від частоти, інтенсивності (густини потоку енергії), тривалості опромінення та індивідуальних особливостей організму. Тривала дія підвищених рівнів ЕМВ може спричиняти функціональні розлади нервової системи (втома, головний біль, дратівливість, порушення сну), серцево-судинної системи (зміни артеріального тиску, частоти серцевих скорочень), а також впливати на ендокринну й імунну системи.

Нормування ЕМВ радіочастотного діапазону здійснюється за гранично допустимими рівнями (ГДР) густини потоку енергії. Для населення в діапазоні надвисоких частот, до якого належить 2,4 ГГц, гранично допустима густина потоку енергії становить 10 мкВт/см² (0,1 Вт/м²) [16]. Для оцінки безпеки модуля визначимо реальний рівень випромінювання. Потужність передавача Wi-Fi модуля ESP32 не перевищує 20 дБм, що відповідає 100 мВт (0,1 Вт). Густина потоку енергії на відстані r від ізотропного джерела визначається як:

$$S = P / (4 \cdot \pi \cdot r^2), \qquad (5.1)$$

де P — потужність передавача, Вт; r — відстань до джерела, м. На відстані r = 0,2 м від антени модуля густина потоку енергії становить:

S = 0,1 / (4 · 3,14 · 0,2²) = 0,1 / 0,502 = 0,199 Вт/м² = 19,9 мкВт/см².

На робочій відстані r = 0,5 м цей показник знижується до:

S = 0,1 / (4 · 3,14 · 0,5²) = 0,032 Вт/м² = 3,2 мкВт/см²,

що нижче за гранично допустимий рівень для населення. Слід також враховувати, що наведений розрахунок відповідає режиму безперервного випромінювання на повній потужності, тоді як реальний модуль передає дані короткими сеансами (раз на 10 секунд), а решту часу перебуває в режимі очікування. Тому усереднене за часом опромінення є на порядки меншим за розрахункове максимальне значення і не становить небезпеки для обслуговуючого персоналу.

Попри низький рівень випромінювання, для дотримання принципу мінімізації впливу рекомендовано: розміщувати блок керування з Wi-Fi модулем на відстані не менше 0,3–0,5 м від постійного робочого місця оператора; не перебувати тривало впритул до антени під час активної передачі; за потреби екранувати металевий корпус електрошафи, що додатково знижує рівень поля назовні [17].

5.3 Вимоги безпеки праці під час монтажу комп'ютерної техніки в сільськогосподарських приміщеннях

Монтаж і пусконалагодження системи в теплиці виконуються в умовах, що відрізняються від лабораторних: підвищена вологість, обмежений простір, наявність води для поливу, перепади температур та запиленість. Це висуває додаткові вимоги до організації безпечного виконання робіт [15, 17].

До монтажних робіт допускаються особи віком від 18 років, які пройшли медичний огляд, вступний та первинний інструктажі з охорони праці й ознайомлені з правилами електробезпеки в обсязі, що відповідає виконуваним роботам [12]. Перед початком робіт необхідно:

– знеструмити всі кола, що монтуються, та переконатися у відсутності напруги за допомогою покажчика напруги;

– перевірити справність ручного та електрифікованого інструменту, цілісність ізоляції рукояток і відсутність пошкоджень з'єднувальних кабелів;

– забезпечити достатнє штучне освітлення робочої зони (не менше 200 лк) та вільний доступ до місця монтажу;

– оцінити стан робочого місця: відсутність калюж, підтікань води системи поливу, надійність опор для встановлення обладнання.

– Безпосередньо під час монтажу слід дотримуватися таких правил безпеки:

– усі електромонтажні роботи в колі 220 В виконувати лише при повному знятті напруги; підключення живлення до мережі здійснювати в останню чергу, після перевірки правильності всіх з'єднань;

– прокладати кабелі так, щоб уникнути їх контакту з водою системи поливу та механічних пошкоджень рухомими частинами (серводвигунами, вентиляційною кватиркою);

– надійно закріплювати виконавчі механізми (крововий двигун, сервоприводи), не допускаючи їх падіння або зміщення під час роботи;

– драйвер крокового двигуна A4988 під час роботи нагрівається, тому встановлювати його з радіатором охолодження та забезпечувати вільну циркуляцію повітря, не розміщуючи поряд із легкозаймистими матеріалами [7];

– у разі виконання робіт на висоті (монтаж вентиляційної кватирки чи фітолампи під дахом теплиці) застосовувати справні драбини або помости та засоби захисту від падіння;

– після монтажу провести випробування системи на холостому ході (без подачі 220 В на фітолампу) для перевірки правильності з'єднань, і лише після цього подавати робочу напругу.

Оскільки налагодження прошивки виконується за персональним комп'ютером, мають дотримуватися також вимоги до роботи з

відеодисплейними терміналами згідно з НПАОП 0.00-1.28-10 [14]: відстань від очей до монітора не менше 600 мм; верхній край екрана на рівні очей; освітленість робочої поверхні 300–500 лк; регламентовані перерви тривалістю 15 хв після кожних 2 год роботи; загальна тривалість роботи за комп'ютером не більше 6 год на зміну. Робоче місце має бути обладнане кріслом із регульованою висотою та нахилом спинки, а мікроклімат приміщення відповідати оптимальним параметрам (температура 22–24 °C, відносна вологість 40–60%) [16].

Розроблена система передбачає програмні засоби, що підвищують безпеку експлуатації: у разі відмови датчика температури (повернення некоректного значення) мікроконтролер аварійно вимикає виконавчі пристрої, а команда аварійного відключення переводить усі реле та сервоприводи в безпечний стан. Це знижує ризик аварійних ситуацій під час автоматичної роботи системи без присутності оператора.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі було розроблено мікропроцесорну систему автоматизованого керування розумною теплицею.

У результаті виконання роботи розроблено автоматизовану систему, яка забезпечує підтримання оптимальних параметрів мікроклімату теплиці та дистанційний контроль за її станом.

У загальній частині обґрунтовано актуальність теми, проведено аналітичний огляд існуючих рішень для автоматизації теплиць та визначено, що оптимальним рішенням для малих і середніх теплиць є розробка власної системи на базі сучасного мікроконтролера з вбудованим модулем бездротового зв'язку, яка поєднує доступну вартість, повноцінний дистанційний моніторинг та можливість масштабування.

У другому розділі виконано аналіз технічного завдання, розроблено структурну, функціональну та функціональну схеми пристрою, обґрунтовано вибір елементної бази, проведено розрахунки споживаної потужності та надійності системи, розроблено алгоритм роботи та написано вбудоване програмне забезпечення мікроконтролера. Розроблена система здійснює автоматичне керування поливом трьох зон за показниками вологості ґрунту, провітрюванням за температурою й вологістю повітря та фітоосвітленням за рівнем освітленості, а також передає дані на веб-сервер для дистанційного моніторингу й керування. Розрахунки показали, що ймовірність безвідмовної роботи системи протягом року становить 0,912, а середній наробіток на відмову перевищує 10 років.

У третьому розділі розроблено інструкцію з експлуатації електронного пристрою, методику перевірки функціонування системи у два етапи — попередньої перевірки алгоритмів та перевірки на реальному обладнанні, а також описано порядок технічного обслуговування.

Проведене техніко-економічне обґрунтування показало, що собівартість науково-дослідної роботи становить 69 810,71 грн, а вартість апаратної частини

прототипу — 2 430 грн. За орієнтовного річного економічного ефекту від впровадження у теплиці площею 100 м² близько 101 000 грн/рік термін окупності апаратної частини складає 8,8 дні, що свідчить про економічну доцільність розробки.

Основні питання охорони праці та техніки безпеки під час розробки й експлуатації системи в умовах підвищеної вологості теплиці розглянуто в п'ятому розділі.

Таким чином, поставлене завдання виконано повністю: розроблено мікропроцесорну систему автоматизованого керування розумною теплицею, що відповідає сформульованим технічним вимогам.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Електромагнітний клапан 2W-160-15: технічний опис та характеристики. — URL: https://co-di.com.ua/ua/p1389573158-latunnyj-elektromagnitnyj-klapan.html (дата звернення: 17.05.2026).
2. Allegro MicroSystems. A4988 DMOS Microstepping Driver with Translator and Overcurrent Protection Datasheet. — URL: https://www.allegromicro.com/~/media/files/datasheets/a4988-datasheet.pdf (дата звернення: 15.05.2026).
3. Analog Devices (Maxim Integrated). DS1307 64×8, Serial, I²C Real-Time Clock Datasheet. — URL: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds1307.pdf (дата звернення: 14.05.2026).
4. Aosong Electronics. DHT22 (AM2302) Digital Temperature and Humidity Sensor Datasheet. — URL: https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf (дата звернення: 11.05.2026).
5. Arduino Reference: мова програмування та бібліотеки. — URL: https://www.arduino.cc/reference/en/ (дата звернення: 18.05.2026).
6. ArduinoJson Library Documentation. — URL: https://arduinojson.org/ (дата звернення: 18.05.2026).
7. Espressif Systems. ESP32 Series Datasheet. — URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf (дата звернення: 10.05.2026).
8. Espressif Systems. ESP32-WROOM-32 Datasheet. — URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf (дата звернення: 10.05.2026).
9. ROHM Semiconductor. BH1750FVI Digital 16-bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC Datasheet. — URL: https://www.mouser.com/datasheet/2/348/bh1750fvi-e-186247.pdf (дата звернення: 12.05.2026).

10. Sharp Corporation. PC817 Series High Density Mounting Type Photocoupler Datasheet. — URL: https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/PC817XxNSZ1B_e.pdf (дата звернення: 16.05.2026).
11. Songle Relay. SRD-05VDC-SL-C Subminiature Power Relay Datasheet. — URL: https://www.circuitbasics.com/wp-content/uploads/2015/11/SRD-05VDC-SL-C-Datasheet.pdf (дата звернення: 16.05.2026).
12. Texas Instruments. LM2596 SIMPLE SWITCHER Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator Datasheet. — URL: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf (дата звернення: 17.05.2026).

ДОДАТОК А

Код для мікроконтролера ESP32

```
#include <DHT.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <ESP32Servo.h>
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>
#include <RTClib.h>
#include <AccelStepper.h>
#include <Adafruit_NeoPixel.h>
#include <ArduinoJson.h>
#include <WiFiClientSecure.h>

// ==================== НАЛАШТУВАННЯ ====================
#define WIFI_SSID     "Wokwi-GUEST"
#define WIFI_PASS     ""
// ↓↓↓ ВСТАВТЕ ВАШУ АКТУАЛЬНУ NGROK АДРЕСУ ↓↓↓
#define SERVER_URL    "https://ultrasupersmartgreenhouse.atwebpages.com/api.php"
#define DEVICE_ID     "greenhouse_01"
// ↓↓↓ ВСТАВТЕ ВАШ API КЛЮЧ (згенерувати через додаток) ↓↓↓
#define API_KEY       "00f25f58024394d54e34a0ad472ff2128a1f74af0c1b633811711569a92fc212"
// ==================== ПІНИ ====================
#define DHT_PIN       4
#define SOIL1_PIN     34
#define SOIL2_PIN     35
#define SOIL3_PIN     32
#define LDR_PIN       36
#define VALVE1_PIN    13   // реле клапана зони 1
#define VALVE2_PIN    12   // реле клапана зони 2
#define VALVE3_PIN    14   // реле клапана зони 3
#define SERVO1_PIN    16   // серво-імітація клапана 1
#define SERVO2_PIN    17   // серво-імітація клапана 2
#define SERVO3_PIN    2    // серво-імітація клапана 3
#define RELAY_LAMP    25
#define RELAY_FAN     26
#define LED1_PIN      23
#define LED2_PIN      33
#define LED3_PIN      15
#define RING_PIN      27
#define STEP_PIN      19
```

```
#define DIR_PIN       18
#define STEPPER_EN    5
// ==================== ПОРОГИ (оновлюються з сервера) ====================
float SOIL_DRY  = 40;
float SOIL_WET  = 70;
float SOIL_CRIT = 20;
float TEMP_MAX  = 28.0;
float TEMP_MIN  = 24.0;
float HUM_MAX   = 85.0;
float LUX_MIN   = 30;
float LUX_MAX   = 80;

// ==================== OLED ====================
#define SCREEN_W      128
#define SCREEN_H      64
#define OLED_ADDR     0x3C

// ==================== NEOPIXEL ====================
#define RING_PIXELS   16

// ==================== ОБ'ЄКТИ ====================
DHT dht(DHT_PIN, DHT22);
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_W, SCREEN_H, &Wire, -1);
Servo servo1, servo2, servo3;
RTC_DS1307 rtc;
AccelStepper stepper(AccelStepper::DRIVER, STEP_PIN, DIR_PIN);
Adafruit_NeoPixel ring(RING_PIXELS, RING_PIN, NEO_GRB + NEO_KHZ800);

// ==================== ЗМІННІ ====================
float temperature = 0;
float humidity    = 0;
float soil1       = 0;
float soil2       = 0;
float soil3       = 0;
float lux         = 0;
bool  lampState   = false;
bool  fanState    = false;
bool  servo1State = false;
bool  servo2State = false;
bool  servo3State = false;

// Режим: true = авто (датчики керують), false = ручний (команди з додатку)
bool autoMode = true;

String httpStatus = "waiting...";
```

```
unsigned long lastSend = 0;
unsigned long lastRead = 0;
const long READ_INTERVAL = 5000;
const long SEND_INTERVAL = 10000;

// ==================== ПРОТОТИПИ ====================
void connectWiFi();
void readSensors();
void controlServos();
void controlSingleServo(Servo& srv, int valvePin, float soil, bool& state, int zone);
void controlRelays();
void controlStepper();
void updateLEDs();
void updateSingleLED(int pin, float soil);
void updateRing();
void updateDisplay();
void printSerial();
void sendToServer();
void getCommands();
void executeCommand(const char* device, int value);

// ======================================================
//                       SETUP
// ======================================================
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Wire.begin(21, 22);

  // GPIO
  pinMode(RELAY_LAMP, OUTPUT);
  pinMode(RELAY_FAN,  OUTPUT);
  pinMode(LED1_PIN,   OUTPUT);
  pinMode(LED2_PIN,   OUTPUT);
  pinMode(LED3_PIN,   OUTPUT);
  pinMode(STEP_PIN,   OUTPUT);
  pinMode(DIR_PIN,    OUTPUT);
  pinMode(STEPPER_EN, OUTPUT);
  digitalWrite(STEPPER_EN, HIGH);

  digitalWrite(RELAY_LAMP, HIGH);
  digitalWrite(RELAY_FAN,  HIGH);
  digitalWrite(LED1_PIN,   LOW);
  digitalWrite(LED2_PIN,   LOW);
  digitalWrite(LED3_PIN,   LOW);
```

```
// Реле клапанів поливу (нормально закриті — на старті все закрито)
pinMode(VALVE1_PIN, OUTPUT);
pinMode(VALVE2_PIN, OUTPUT);
pinMode(VALVE3_PIN, OUTPUT);
digitalWrite(VALVE1_PIN, LOW);
digitalWrite(VALVE2_PIN, LOW);
digitalWrite(VALVE3_PIN, LOW);

// Сервоприводи (імітація клапанів у макеті)
servo1.attach(SERVO1_PIN);
servo2.attach(SERVO2_PIN);
servo3.attach(SERVO3_PIN);
servo1.write(0);
servo2.write(0);
servo3.write(0);

// Степер
stepper.setMaxSpeed(800);
stepper.setAcceleration(400);
stepper.setSpeed(0);

// DHT22
dht.begin();

// RTC
if (!rtc.begin()) {
  Serial.println("RTC error!");
}
if (!rtc.isrunning()) {
  rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
}

// NeoPixel Ring
ring.begin();
ring.setBrightness(80);
ring.clear();
ring.show();

// OLED
if (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, OLED_ADDR)) {
  Serial.println("OLED error!");
}
display.clearDisplay();
display.setTextSize(1);
```

```
  display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
  display.setCursor(20, 20);
  display.println("Smart Greenhouse");
  display.setCursor(30, 40);
  display.println("Starting...");
  display.display();

  // WiFi
  connectWiFi();

  display.clearDisplay();
  display.setCursor(0, 0);
  display.println("WiFi:");
  display.println(WiFi.status() == WL_CONNECTED ? "CONNECTED" : "OFFLINE");
  display.print("IP: ");
  display.println(WiFi.localIP().toString());

  // Тест: чи є доступ до інтернету?
  if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    HTTPClient testHttp;
    testHttp.setConnectTimeout(5000);
    testHttp.setTimeout(5000);
    testHttp.begin("http://httpbin.org/get");
    int testCode = testHttp.GET();
    display.print("Net test: ");
    display.println(testCode > 0 ? String(testCode) : testHttp.errorToString(testCode));
    testHttp.end();
  }

  display.display();
  delay(5000);
}

// ======================================================
//                      LOOP
// ======================================================
void loop() {
  unsigned long now = millis();

  // Опитування кожні 5 секунд
  if (now - lastRead >= READ_INTERVAL) {
    lastRead = now;
    readSensors();

    // В автоматичному режимі — датчики керують пристроями
```

```
    if (autoMode) {
      controlServos();
      controlRelays();
    }

    updateLEDs();
    updateRing();
    updateDisplay();
    printSerial();
  }

  // Крутити степер тільки якщо вентилятор увімкнено
  controlStepper();

  // Відправка даних + отримання команд кожні 10 секунд
  if (now - lastSend >= SEND_INTERVAL) {
    lastSend = now;
    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
      sendToServer();
      getCommands();
    } else {
      connectWiFi();
    }
  }
}

// ======================================================
//                  ЧИТАННЯ ДАТЧИКІВ
// ======================================================
void readSensors() {
  float t = dht.readTemperature();
  float h = dht.readHumidity();
  if (!isnan(t)) temperature = t;
  if (!isnan(h)) humidity    = h;

  int raw1 = analogRead(SOIL1_PIN);
  int raw2 = analogRead(SOIL2_PIN);
  int raw3 = analogRead(SOIL3_PIN);
  soil1 = constrain(map(raw1, 4095, 0, 0, 100), 0, 100);
  soil2 = constrain(map(raw2, 4095, 0, 0, 100), 0, 100);
  soil3 = constrain(map(raw3, 4095, 0, 0, 100), 0, 100);

  int rawLDR = analogRead(LDR_PIN);
  lux = constrain(map(rawLDR, 0, 4095, 0, 100), 0, 100);
}
```

```
// ====================================================
//         КЕРУВАННЯ КЛАПАНАМИ ПОЛИВУ (АВТО)
//   реле = канал керування клапаном, серво = імітація
// ====================================================
void controlServos() {
  controlSingleServo(servo1, VALVE1_PIN, soil1, servo1State, 1);
  controlSingleServo(servo2, VALVE2_PIN, soil2, servo2State, 2);
  controlSingleServo(servo3, VALVE3_PIN, soil3, servo3State, 3);
}

void controlSingleServo(Servo& srv, int valvePin, float soil, bool& state, int zone) {
  if (soil < SOIL_DRY && !state) {
    digitalWrite(valvePin, HIGH);   // реле увімкнено — клапан відкрито
    srv.write(90);
    state = true;
    Serial.printf("Zone %d: watering ON (%.0f%%)\n", zone, soil);
  } else if (soil > SOIL_WET && state) {
    digitalWrite(valvePin, LOW);    // реле вимкнено — клапан закрито
    srv.write(0);
    state = false;
    Serial.printf("Zone %d: watering OFF (%.0f%%)\n", zone, soil);
  }
}

// ====================================================
//                  КЕРУВАННЯ РЕЛЕ (АВТО)
// ====================================================
void controlRelays() {
  if ((temperature > TEMP_MAX || humidity > HUM_MAX) && !fanState) {
    digitalWrite(RELAY_FAN, LOW);
    fanState = true;
    Serial.println("Fan relay: ON");
  } else if (temperature < TEMP_MIN && humidity < HUM_MAX && fanState) {
    digitalWrite(RELAY_FAN, HIGH);
    fanState = false;
    Serial.println("Fan relay: OFF");
  }

  if (lux < LUX_MIN && !lampState) {
    digitalWrite(RELAY_LAMP, LOW);
    lampState = true;
    Serial.println("Lamp: ON");
  } else if (lux > LUX_MAX && lampState) {
    digitalWrite(RELAY_LAMP, HIGH);
```

```
    lampState = false;
    Serial.println("Lamp: OFF");
  }
}

// ====================================================
//                  КРОКОВИЙ ДВИГУН (ВЕНТИЛЯЦІЯ)
// ====================================================
void controlStepper() {
  if (fanState) {
    digitalWrite(STEPPER_EN, LOW);
    stepper.setSpeed(600);
    stepper.runSpeed();
  } else {
    digitalWrite(STEPPER_EN, HIGH);
    stepper.setSpeed(0);
    stepper.stop();
  }
}

// ====================================================
//                  ІНДИКАЦІЯ LED
// ====================================================
void updateLEDs() {
  updateSingleLED(LED1_PIN, soil1);
  updateSingleLED(LED2_PIN, soil2);
  updateSingleLED(LED3_PIN, soil3);
}

void updateSingleLED(int pin, float soil) {
  if (soil < SOIL_CRIT) {
    digitalWrite(pin, (millis() / 300) % 2);
  } else if (soil < SOIL_DRY) {
    digitalWrite(pin, HIGH);
  } else {
    digitalWrite(pin, LOW);
  }
}

// ====================================================
//                  NEOPIXEL RING
// ====================================================
void updateRing() {
  ring.clear();
  if (lampState) {
```

```
    for (int i = 0; i < RING_PIXELS; i++) {
      if (i % 2 == 0) ring.setPixelColor(i, ring.Color(255, 0, 0));
      else             ring.setPixelColor(i, ring.Color(0, 0, 255));
    }
  } else if (fanState) {
    for (int i = 0; i < RING_PIXELS; i++) {
      ring.setPixelColor(i, ring.Color(0, 100, 255));
    }
  }
  ring.show();
}

// ======================================================
//                  OLED ДИСПЛЕЙ
// ======================================================
void updateDisplay() {
  DateTime now = rtc.now();

  display.clearDisplay();
  display.setTextSize(1);
  display.setTextColor(SSD1306_WHITE);

  display.setCursor(0, 0);
  display.printf("%02d:%02d %s",
    now.hour(), now.minute(),
    autoMode ? "AUTO" : "MANUAL"
  );

  display.setCursor(0, 16);
  display.printf("T:%.1fC  H:%.0f%%", temperature, humidity);

  display.setCursor(0, 32);
  display.printf("G1:%d%% G2:%d%% G3:%d%%",
    (int)soil1, (int)soil2, (int)soil3
  );

  display.setCursor(0, 48);
  display.print(httpStatus);

  display.display();
}

// ======================================================
//                  SERIAL МОНІТОР
// ======================================================
```

```
void printSerial() {
  Serial.println("============================");
  Serial.printf("Mode: %s\n", autoMode ? "AUTO" : "MANUAL");
  Serial.printf("Temperature:  %.1f C\n",  temperature);
  Serial.printf("Humidity:     %.0f %%\n", humidity);
  Serial.printf("Light:        %.0f %%\n", lux);
  Serial.printf("Soil zone 1:  %.0f %%\n", soil1);
  Serial.printf("Soil zone 2:  %.0f %%\n", soil2);
  Serial.printf("Soil zone 3:  %.0f %%\n", soil3);
  Serial.printf("Fan:          %s\n", fanState    ? "ON" : "OFF");
  Serial.printf("Lamp:         %s\n", lampState   ? "ON" : "OFF");
  Serial.printf("Valve zone 1: %s\n", servo1State ? "OPEN" : "CLOSED");
  Serial.printf("Valve zone 2: %s\n", servo2State ? "OPEN" : "CLOSED");
  Serial.printf("Valve zone 3: %s\n", servo3State ? "OPEN" : "CLOSED");
  Serial.println("============================");
}

// ======================================================
//                  ВІДПРАВКА ДАНИХ НА СЕРВЕР
// ======================================================
// Допоміжна функція для HTTP/HTTPS з'єднання
WiFiClientSecure secureClient;
bool httpBeginAuto(HTTPClient& http, const String& url) {
  if (url.startsWith("https")) {
    secureClient.setInsecure();
    return http.begin(secureClient, url);
  } else {
    return http.begin(url);
  }
}

void sendToServer() {
  HTTPClient http;
  http.setFollowRedirects(HTTPC_FORCE_FOLLOW_REDIRECTS);
  http.setConnectTimeout(10000);
  http.setTimeout(10000);

  String url = String(SERVER_URL) + "?action=sensor_data&device_id=" + DEVICE_ID;
  httpBeginAuto(http, url);
  http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
  http.addHeader("X-API-Key", API_KEY);
  http.addHeader("User-Agent", "ESP32");

  String body = "temperature=" + String(temperature, 1)
              + "&humidity="   + String(humidity, 0)
```

```
                + "&lux="        + String(lux, 0)
                + "&soil1="      + String(soil1, 0)
                + "&soil2="      + String(soil2, 0)
                + "&soil3="      + String(soil3, 0)
                + "&fan="        + String(fanState    ? 1 : 0)
                + "&lamp="       + String(lampState   ? 1 : 0)
                + "&servo1="     + String(servo1State ? 1 : 0)
                + "&servo2="     + String(servo2State ? 1 : 0)
                + "&servo3="     + String(servo3State ? 1 : 0);

  httpStatus = "Sending...";

  int code = http.POST(body);
  if (code == 200) {
    String response = http.getString();
    httpStatus = "200:" + response.substring(0, 60);
  } else if (code > 0) {
    String response = http.getString();
    httpStatus = "ERR " + String(code) + ":" + response.substring(0, 40);
  } else {
    httpStatus = "FAIL:" + String(http.errorToString(code).c_str());
  }
  http.end();
}

// ====================================================
//        ОТРИМАННЯ КОМАНД З СЕРВЕРА (ДОДАТОК → ESP32)
// ====================================================
void getCommands() {
  HTTPClient http;
  http.setFollowRedirects(HTTPC_FORCE_FOLLOW_REDIRECTS);
  http.setConnectTimeout(10000);
  http.setTimeout(10000);

  String url = String(SERVER_URL) + "?action=get_commands&device_id=" + DEVICE_ID;
  httpBeginAuto(http, url);
  http.addHeader("X-API-Key", API_KEY);
  http.addHeader("User-Agent", "ESP32");

  int code = http.GET();
  if (code != 200) {
    String errBody = http.getString();
    Serial.printf("[HTTP] Commands error %d: %s\n", code, errBody.c_str());
    http.end();
    return;
```

```
}

String payload = http.getString();
http.end();
Serial.printf("[HTTP] Commands: %s\n", payload.c_str());

// Парсинг JSON відповіді
JsonDocument doc;
DeserializationError err = deserializeJson(doc, payload);
if (err) {
  Serial.printf("JSON error: %s\n", err.c_str());
  return;
}

// Оновити режим
const char* mode = doc["mode"] | "auto";
bool newAutoMode = (strcmp(mode, "auto") == 0);
if (newAutoMode != autoMode) {
  autoMode = newAutoMode;
  Serial.printf("Mode changed to: %s\n", autoMode ? "AUTO" : "MANUAL");
}

// Оновити пороги з сервера
JsonObject settings = doc["settings"];
if (settings) {
  if (settings["temp_max"])  TEMP_MAX  = settings["temp_max"].as<float>();
  if (settings["temp_min"])  TEMP_MIN  = settings["temp_min"].as<float>();
  if (settings["hum_max"])   HUM_MAX   = settings["hum_max"].as<float>();
  if (settings["soil_dry"])  SOIL_DRY  = settings["soil_dry"].as<float>();
  if (settings["soil_wet"])  SOIL_WET  = settings["soil_wet"].as<float>();
  if (settings["soil_crit"]) SOIL_CRIT = settings["soil_crit"].as<float>();
  if (settings["lux_min"])   LUX_MIN   = settings["lux_min"].as<float>();
  if (settings["lux_max"])   LUX_MAX   = settings["lux_max"].as<float>();
  Serial.printf("Thresholds updated: T=%.1f-%.1f H<%.1f S=%g-%g L=%g-%g\n",
    TEMP_MIN, TEMP_MAX, HUM_MAX, SOIL_DRY, SOIL_WET, LUX_MIN, LUX_MAX);
}

// Виконати команди (тільки в ручному режимі)
JsonArray commands = doc["commands"].as<JsonArray>();
for (JsonObject cmd : commands) {
  const char* device = cmd["device"] | "";
  int value = cmd["value"] | 0;
  Serial.printf("Command: %s = %d\n", device, value);

  if (!autoMode) {
```

```
      executeCommand(device, value);
    } else {
      Serial.println("  (ignored — auto mode)");
    }
  }
}

// ====================================================
//                 ВИКОНАННЯ КОМАНДИ
// ====================================================
void executeCommand(const char* device, int value) {
  if (strcmp(device, "fan") == 0) {
    fanState = (value == 1);
    digitalWrite(RELAY_FAN, fanState ? LOW : HIGH);
    Serial.printf("Fan manually set: %s\n", fanState ? "ON" : "OFF");

  } else if (strcmp(device, "lamp") == 0) {
    lampState = (value == 1);
    digitalWrite(RELAY_LAMP, lampState ? LOW : HIGH);
    Serial.printf("Lamp manually set: %s\n", lampState ? "ON" : "OFF");

  } else if (strcmp(device, "servo1") == 0) {
    servo1State = (value == 1);
    digitalWrite(VALVE1_PIN, servo1State ? HIGH : LOW);
    servo1.write(servo1State ? 90 : 0);
    Serial.printf("Valve 1 manually set: %s\n", servo1State ? "OPEN" : "CLOSED");

  } else if (strcmp(device, "servo2") == 0) {
    servo2State = (value == 1);
    digitalWrite(VALVE2_PIN, servo2State ? HIGH : LOW);
    servo2.write(servo2State ? 90 : 0);
    Serial.printf("Valve 2 manually set: %s\n", servo2State ? "OPEN" : "CLOSED");

  } else if (strcmp(device, "servo3") == 0) {
    servo3State = (value == 1);
    digitalWrite(VALVE3_PIN, servo3State ? HIGH : LOW);
    servo3.write(servo3State ? 90 : 0);
    Serial.printf("Valve 3 manually set: %s\n", servo3State ? "OPEN" : "CLOSED");
  }
}

// ====================================================
//                   ПІДКЛЮЧЕННЯ WiFi
// ====================================================
void connectWiFi() {
```

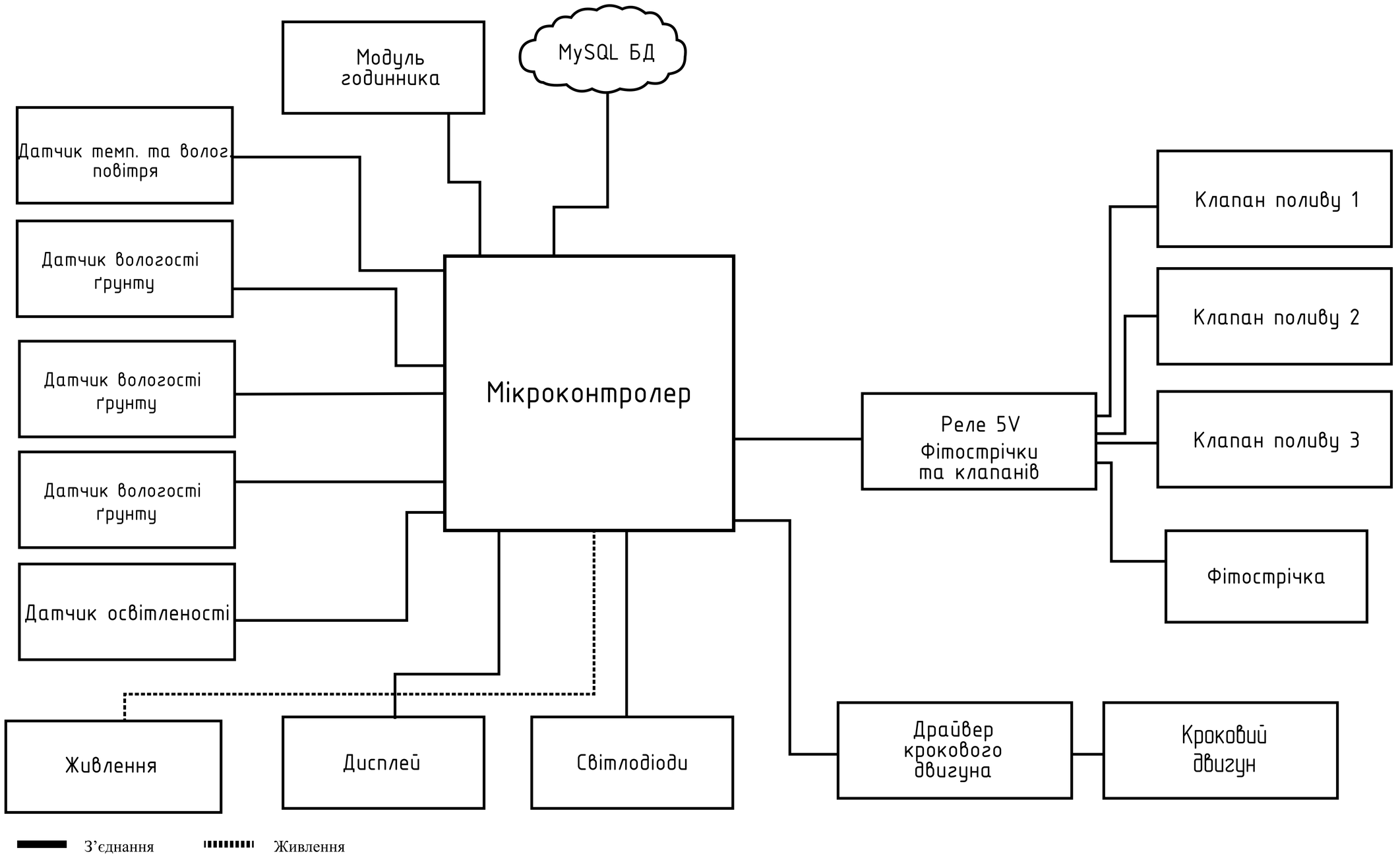
```
  Serial.printf("Connecting to %s", WIFI_SSID);
  WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASS);

  int attempts = 0;
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && attempts < 20) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
    attempts++;
  }
  if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
    Serial.printf("\nConnected! IP: %s\n",
      WiFi.localIP().toString().c_str());
  } else {
    Serial.println("\nWiFi connection failed");
  }
}
```

оз. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	Цифрові модулі		.
DD2	Плата мікроконтролера ESP32 DevKit V1	*1*	
DD1	Драйвер крокового двигуна A4988	*1*	
HG1	OLED-дисплей 0,96″ (SSD1306)	*1*	
K1	Релейний модуль, 4-канальний	*1*	
BK4	Датчик освітленості BH1750 (GY-302)	*1*	
BK5	Модуль годинника реального часу DS1307	*1*	
BK6	Датчик температури та вологості повітря DHT22	*1*	
	Датчики		
BK1–BK3	Ємнісний датчик вологості ґрунту	*3*	
	Виконавчі пристрої		
M1	Кроковий двигун (привід кватирки)	*1*	
Y1–Y3	Клапан електромагнітний 2W-160-15	*3*	
	Світлодіоди		
L1	*Світлодіодна стрічка (фітоосвітлення)*	1	
	Світлодіод індикації зон поливу	2	
	Резистори		
R1–R4	*Резистор 10 кОм ±5%, підтягувальний*	4	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	2026.КВР.123.406.10.00.00 ПЕ			
Розроб.		Ренчка Б.			*Розробка мікроконтролерної системи автоматизованого керування мікрокліматом розумної теплиці* *Перелік елементів*	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Недошитко А.						
Реценз.						*ВСП «ТФК ТНТУ»* *Група КІ-412* *м. Тернопіль*		
Н. Контр.		Юзьків А						
Затверд.								

2026.КВР.123.412.10.00.00 СС



						2026.КВР.123.412.10.00.00 СС	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Розробка мікроконтролерної системи автоматизованого керування мікрокліматом розумної теплиці Структурна схема	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив		Б.РЕНЧКА						
Перевір.		А.НЕДОШИТКО				Аркуш	Аркушів	
Т. контр.								
Реценз.						ВСП ТФК ТНТУ КІ-412 м. Тернопіль		
Н. контр.		А.ЮЗЬКІВ						
Затверд.								

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата
Розробив		Б.Ремінка		
Перевір.		Я.Недошитко		
Т. контр.				
Реценз.				
Н. контр.		А.Юзьків		
Затверд.				

2026.КВР.123.412.10.00.00 Е3

Розробка мікрокомп'ютерної системи автоматизованого керування мікрокліматом розумної теплиці

Схема Електрична функціональна

Літ. | Маса | Масштаб

БСП ТФК ТНТУ КІ-412 м. Тернопіль

Аркуш | Аркушів

L1
Lamp
DOUT
DIN
VCC
GND

DD1
A4988
ENABLE
MS1
MS2
MS3
RESET
SLEEP
STEP
DIR
VMOT
GND2
2B
2A
1A
1B
VDD
GND1

M1
17HS
B−
B+
A+
A−

HG1
SSD1306
SCL
SDA
GND
VCC

BK4
BH1750
VCC
GND
DO
AO

R 3 220 Ом
RED LED

BK5
DS1307
VCC
GND
SDA
SCL
SQW

R 2 220 Ом
GRN LED

BK6
DHT22
VCC
SDA
GND

R 1 10 кОм
220

DD2
ESP32
EN
VP
VN
GPIO34
GPIO35
GPIO32
GPIO33
GPIO25
GPIO26
GPIO27
GPIO14
GPIO12
GPIO13
GND
VIN
3V3
GND
GPIO15
GPIO2
GPIO4
RX2
TX2
GPIO5
GPIO18
GPIO19
SDA/GPIO21
RX0/GPIO3
TX0/GPIO1
SCL/GPIO22
GPIO23
Wi-Fi 802.11 b/g/n Bluetooth 4.2
240 MHz / 520 KB RAM
Prog
GPIO0
USB
BOOT

BK1
BK2
BK3
Soil
SIG GND VCC

K1
Relay 5V
IN4
IN3
IN2
IN1
GND
VCC
NO1
COM1
NO2
COM2
NO3
COM3
NO4
COM4

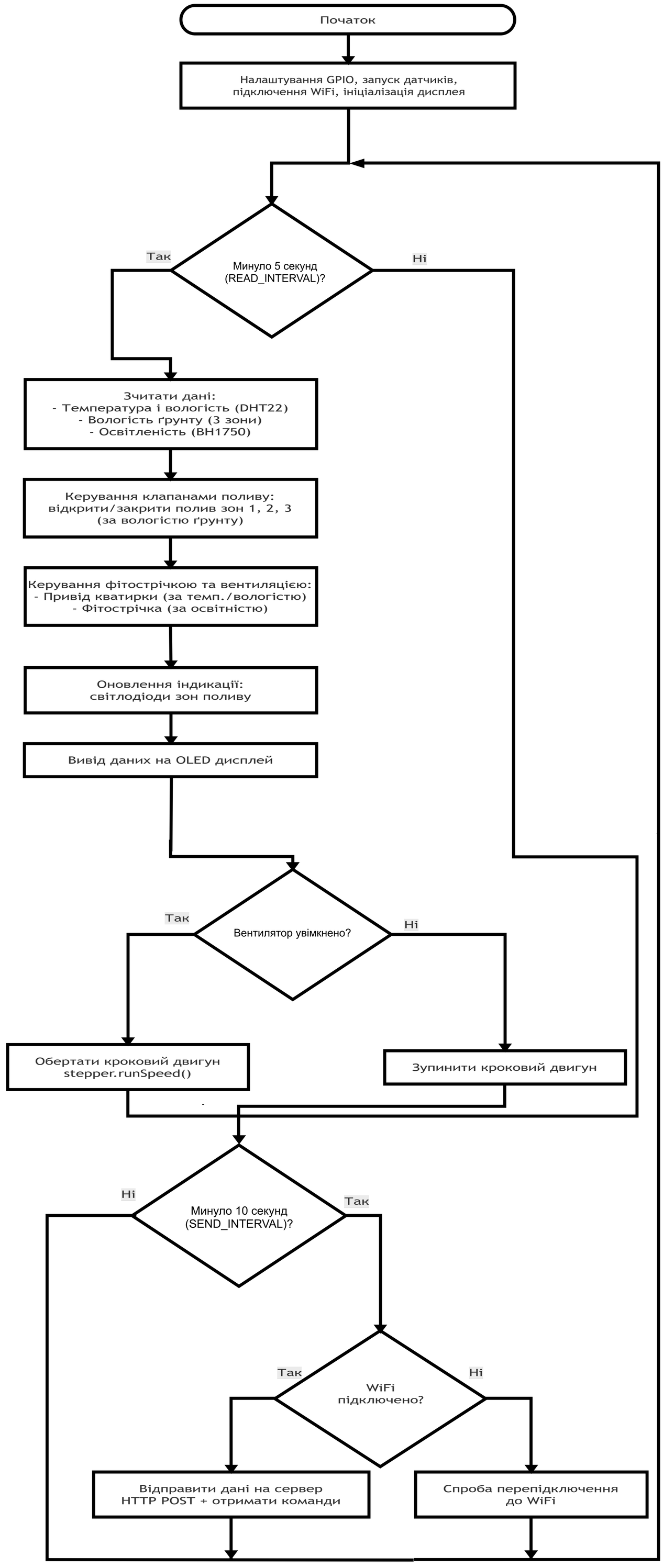
Y1
Y2
Y3
SIG
GND

2026.КВР.123.412.10.00.00 Е3

Таблиця техніко-економічних показників

Технічні показник			Економічні показники			
№ п/п	Показник	Значення	№ п/п	Показник	Одиниці вимірю-вання	Значення
1	Мікроконтролерна платформа	ESP32 DevKit V1	1	Собівартість	гр н	29 438,3
2	Тип радіоканалу	Wi-Fi (802.11 b/g/n)	2	Плановий прибуток	гр н	16 485,4
3	Контрольовані параметри	температура, вологість, освітленість	3	Ціна	гр н	45 923,7
4	Інтерфейси	1-Wire, I C, АЦП	4	Чиста теперішня вартість	гр н	11 558,4
5	Напруга живлення	5 В; 3,3 В	5	Термін окупності	рік	2,2

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	2026.КВР.123.412.10.00.00 ТБ		
Розробив		Б.РЕНЧКА			Розробка мікроконтролерної системи автоматизованого керування мікрокліматом розумної теплиці	Літ.	Маса	Масштаб
Перевір.		А.НЕДОШИТКО			Таблиця техніко-економічних показників			
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Реценз.						ВСП ТФК ТНТУ КІ-412 м. Тернопіль		
Н. контр.		А.ЮЗЬКІВ						
Затверд.								



					2026.КВР.123.412.10.00.00 БС	
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Розробка мікроконтролерної системи автоматизованого керування мікрокліматом розумної теплиці блок схема	Літ. / Маса / Масштаб
Розробив		Б.РЕНЧКА				
Перевір.		А.НЕДОШИТКО				Аркуш / Аркушів
Т. контр.						
Реценз.					ВСП ТФК ТНТУ КІ-412 м. Тернопіль	
Н. контр.		А.ЮЗЬКІВ				
Затверд.						