

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

(повне найменування факультету)

Кафедра комп'ютерної інженерії та охоронних систем

(повне найменування кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

РОЗУМНА ТЕПЛИЦЯ З АВТОМАТИЧНИМ КЕРУВАННЯМ
ДАХОМ НА ОСНОВІ ПОГОДНИХ УМОВ
SMART GREENHOUSE WITH AUTOMATED ROOF CONTROL
BASED ON WEATHER CONDITIONS

спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма Комп'ютерна інженерія

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи КІ-41
Залевський Назар Миколайович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Лавренчук Світлана Василівна

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
« _____ » _____ 2026 р.

Гарант освітньої програми:

к.т.н., доцент
Лавренчук Світлана Василівна

(підпис)

Луцьк – 2026 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерної інженерії та безпеки

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 12 Інформаційні технології

Спеціальність: 123 Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

доц. Т. Терлецький

« 23 » 12 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Залевському Назару Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Розумна теплиця з автоматичним керуванням дахом на основі погодних умов

Керівник роботи *к.т.н., доцент Лавренчук Світлана Василівна*

затверджені наказом закладу вищої освіти від «20» грудня 2025 року № 536/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи

3. Вихідні дані до роботи *Джерелом розробки є науково-технічна література та публікації в періодичних виданнях з даного питання, опубліковані зарубіжні та вітчизняні роботи в даній області, різні інтернет-ресурси технічного спрямування*

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

Вступ

Аналіз предметної області та існуючих рішень

Вибір засобів розробки

Проектування та реалізація системи

Висновки

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

Експериментальний макет розроблювальної системи теплиці

Електрична схема системи роботи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Аналіз проблеми за темою роботи та постановка завдань дослідження</i>	<i>Лавренчук С. В., доцент</i>		
<i>Теоретичне дослідження та практична реалізація</i>	<i>Лавренчук С. В., доцент</i>		
<i>Практична реалізація об'єкта проектування</i>	<i>Лавренчук С. В., доцент</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Багнюк Н. В., доцент</i>		
<i>Гарант ОП</i>	<i>Лавренчук С. В., доцент</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>	____%		
<i>Академічна доброчесність</i>	<i>Міскевич О. І., ст. викладач</i>		

7. Дата видачі завдання 23.12.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Огляд літератури із досліджуваної проблеми, аналіз предметної області та наявних рішень</i>	до 10.02.2026 р.	
2.	<i>Аналіз проблеми за темою роботи та постановка завдань дослідження</i>	до 02.03.2026 р.	
3.	<i>Теоретичне дослідження та практична реалізація</i>	до 02.04.2026 р.	
4.	<i>Практична реалізація об'єкта проектування</i>	до 10.04.2026 р.	
5.	<i>Формування додатків</i>	до 02.05.2026 р.	
6.	<i>Представлення остаточного варіанту кваліфікаційної роботи керівникові</i>	до 10.05.2026 р.	
7.	<i>Нормоконтроль</i>	до 16.05.2026 р.	
8.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	до 20.05.2026 р.	
9.	<i>Здача кваліфікаційної роботи та всіх супровідних документів на кафедру</i>	до 28.05.2026 р.	

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Назар ЗАЛЕВСЬКИЙ

_____ (прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ (підпис)

Світлана ЛАВРЕНЧУК

_____ (прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Залевський Н. М. Розумна теплиця з автоматичним керуванням дахом на основі погодних умов. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Комп'ютерна інженерія» спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія». Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У першому розділі проведено аналіз предметної області автоматизації тепличних господарств, обґрунтовано актуальність обраної тематики, розглянуто особливості підтримання мікроклімату в тепличних конструкціях, проаналізовано основні параметри, що впливають на ріст і розвиток рослин.

У другому розділі виконано вибір та обґрунтування апаратних і програмних засобів розробки. Розглянуто технічні характеристики мікроконтролерної платформи Arduino Nano, датчика температури та вологості DHT22, датчика вологості ґрунту, датчика дощу, LCD-дисплея та сервоприводу SG90.

У третьому розділі виконано проектування структурної та електричної схем автоматизованої системи керування теплицею, реалізовано програмне забезпечення мікроконтролера, проведено експериментальне тестування розробленого прототипу.

Результатом виконання кваліфікаційної роботи є розроблена автоматизована система керування теплицею, яка забезпечує безперервний моніторинг параметрів мікроклімату, автоматичне керування рухомим дахом залежно від погодних умов та підтримання оптимального середовища для вирощування рослин.

Ключові слова: Arduino Nano, DHT22, автоматизація теплиці, мікроконтролерні системи, датчик дощу, сервопривід SG90, Arduino IDE, мікроклімат, автоматичне керування.

ANNOTATION

Zalevskiy N. Smart greenhouse with automated roof control based on weather conditions. Manuscript.

Bachelor's qualification thesis for the Educational Program "Computer Engineering" in Specialty 123 "Computer Engineering". Lutsk National Technical University, Lutsk, 2026.

The qualification thesis consists of an introduction, three chapters, conclusions, a list of references, and appendices.

The first chapter analyzes the subject area of greenhouse automation, substantiates the relevance of the chosen topic, examines the features of maintaining a microclimate in greenhouse structures, and analyzes the main parameters affecting plant growth and development.

The second chapter presents the selection and justification of hardware and software development tools. The technical characteristics of the Arduino Nano microcontroller platform, the DHT22 temperature and humidity sensor, soil moisture sensor, rain sensor, LCD display, and SG90 servo motor are considered.

The third chapter covers the design of the structural and electrical schematics of the automated greenhouse control system, the implementation of the microcontroller software, and the experimental testing of the developed prototype.

The result of the qualification thesis is a developed automated greenhouse control system that provides continuous monitoring of microclimate parameters, automatic control of a movable roof depending on weather conditions, and maintenance of an optimal environment for plant cultivation.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ	9
1.1 Аналіз предметної області автоматизації тепличних систем	9
1.2 Аналіз існуючих технологій та систем керування теплицями	11
1.3 Аналіз технологій та підходів до реалізації автоматизованих систем теплиць	14
РОЗДІЛ 2 ВИБІР ЗАСОБІВ РОЗРОБКИ.....	17
2.1 Вибір мікроконтролерної платформи та периферійних пристроїв.....	17
2.2 Вибір сенсорів та виконавчих елементів системи.....	21
2.3 Програмна частина системи керування.....	25
РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ	31
3.1 Розробка структурної схеми системи	31
3.2 Розробка електричної схеми та програмна реалізація системи	33
3.3 Тестування та аналіз роботи розробленої системи	37
3.4 Оцінка ефективності та перспективи вдосконалення системи	42
ВИСНОВКИ.....	46
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	47

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний розвиток аграрного сектору супроводжується впровадженням автоматизованих систем керування, які дозволяють підвищити ефективність вирощування рослин, зменшити витрати ресурсів та мінімізувати вплив людського фактора. Особливо актуальним є використання таких систем у тепличних господарствах, де стабільність мікроклімату безпосередньо впливає на ріст, розвиток та врожайність культур.

Для забезпечення оптимальних умов у теплиці необхідно постійно контролювати температуру повітря, вологість, стан ґрунту та погодні умови. Ручне керування цими параметрами потребує значних затрат часу та не завжди дозволяє оперативно реагувати на зміни зовнішнього середовища.

Використання мікроконтролерних платформ, сенсорних модулів та виконавчих механізмів дає можливість реалізувати доступні та ефективні системи автоматичного керування мікрокліматом. У зв'язку з цим розробка автоматизованої системи керування теплицею з рухомим дахом є актуальним і перспективним напрямом дослідження.

Метою роботи є проектування, програмна реалізація та експериментальне дослідження автоматизованої системи керування теплицею з рухомим дахом на базі мікроконтролерної платформи Arduino Nano для забезпечення автоматичного контролю параметрів мікроклімату та підтримання оптимальних умов вирощування рослин.

Об'єкт дослідження – автоматизовані системи моніторингу та керування мікрокліматом тепличних господарств.

Предмет дослідження – автоматизована система керування теплицею з рухомим дахом на базі мікроконтролерної платформи Arduino Nano із використанням сенсорних модулів та виконавчих механізмів.

Завдання, які необхідно виконати :

– реалізувати програмне забезпечення мікроконтролера для автоматичного збору, обробки та аналізу даних із сенсорів;

– розробити структурну модель автоматизованої системи керування теплицею з урахуванням основних параметрів мікроклімату;

– дослідити особливості функціонування сучасних автоматизованих систем керування тепличними господарствами та проаналізувати існуючі технічні рішення у даній галузі;

– запропонувати можливі напрями модернізації та подальшого вдосконалення розробленої системи.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

Сучасний розвиток аграрного виробництва характеризується активним впровадженням автоматизованих та інформаційних технологій, які дозволяють підвищити ефективність вирощування сільськогосподарських культур та зменшити вплив людського фактора. Особливо актуальним є використання таких технологій у тепличному господарстві, де необхідно забезпечувати стабільні параметри мікроклімату незалежно від зовнішніх погодних умов.

У даному розділі проведено аналіз предметної області автоматизованих тепличних систем, розглянуто існуючі підходи до керування мікрокліматом, а також сучасні технологічні рішення, що застосовуються для моніторингу та автоматичного регулювання параметрів середовища. Особливу увагу приділено аналізу апаратних та програмних засобів, які використовуються для реалізації подібних систем, зокрема мікроконтролерним платформам, сенсорним пристроям та виконавчим механізмам.

На основі проведеного аналізу сформовано загальне розуміння принципів побудови автоматизованих систем керування теплицями, що дозволяє визначити основні вимоги до розроблюваної системи та обґрунтувати вибір технічних рішень для її реалізації.

1.1 Аналіз предметної області автоматизації тепличних систем

Сучасний розвиток аграрного сектору характеризується активним впровадженням цифрових технологій, систем автоматизації та інтелектуального керування виробничими процесами. Одним із перспективних напрямів застосування таких технологій є автоматизація тепличних господарств, що дозволяє забезпечити стабільне вирощування сільськогосподарських культур незалежно від сезонних змін, кліматичних особливостей регіону та зовнішніх погодних умов [1].

Тепличне господарство являє собою спеціалізовану систему закритого типу, призначену для створення та підтримання оптимального мікроклімату, необхідного для росту, розвитку та плодоношення рослин [2]. Ефективність функціонування теплиці безпосередньо залежить від здатності підтримувати необхідні параметри внутрішнього середовища, серед яких основними є температура повітря, відносна вологість, рівень освітленості, вологість ґрунту, вентиляція та концентрація вуглекислого газу. Відхилення зазначених параметрів від оптимальних значень може негативно впливати на фізіологічний стан рослин, знижувати врожайність та погіршувати якість продукції.

Традиційно керування мікрокліматом у невеликих та середніх тепличних комплексах здійснюється вручну оператором. Такий підхід передбачає постійний контроль стану навколишнього середовища, своєчасне відкривання вентиляційних отворів, регулювання поливу, освітлення та температурного режиму. Проте ручне керування має ряд суттєвих недоліків, серед яких значний вплив людського фактора, недостатня швидкість реагування на зміну зовнішніх умов, висока трудомісткість процесу та ймовірність помилок під час експлуатації.

У зв'язку з цим особливої актуальності набуває впровадження автоматизованих систем керування тепличними комплексами. Такі системи дозволяють у режимі реального часу здійснювати збір інформації з сенсорних пристроїв, обробку отриманих даних, аналіз поточного стану середовища та формування керуючих сигналів для виконавчих механізмів без безпосереднього втручання людини. Використання технологій Інтернету речей (IoT), мікроконтролерних платформ та сенсорних мереж значно підвищує ефективність роботи тепличного господарства та забезпечує оптимізацію використання ресурсів [3].

Одним із найбільш критичних параметрів мікроклімату є температура повітря всередині теплиці. Підвищення температури понад допустимі значення може призводити до перегріву рослин, пригнічення фотосинтетичних процесів, порушення водного балансу та зниження врожайності. У свою чергу, недостатня температура здатна сповільнювати біологічні процеси росту або викликати

пошкодження культур. Саме тому системи вентиляції є невід'ємною складовою сучасних тепличних комплексів.

Не менш важливим фактором є вологість повітря. Надмірна вологість створює сприятливі умови для розвитку грибкових захворювань, плісняви та патогенних мікроорганізмів, тоді як занадто низькі показники можуть спричиняти пересихання рослин та погіршення їх росту. Автоматичний контроль цього параметра дозволяє забезпечити стабільний розвиток культур та мінімізувати ризики виникнення захворювань.

Крім внутрішніх параметрів, на ефективність функціонування тепличної системи суттєво впливають зовнішні погодні умови, зокрема атмосферні опади, швидкість вітру, інтенсивність сонячного випромінювання та сезонні температурні коливання. Особливу актуальність набуває своєчасне реагування на дощ або сильний вітер у конструкціях, що містять рухомі елементи, наприклад автоматизований дах або вентиляційні люки.

Автоматичне керування дахом теплиці дозволяє забезпечити природну вентиляцію внутрішнього простору, запобігати перегріву рослин у спекотний період, а також захищати вирощувані культури від несприятливих атмосферних впливів. Для реалізації таких функцій доцільним є використання мікроконтролерних платформ, зокрема Arduino, сенсорів температури, вологості, освітленості та датчиків опадів, які забезпечують збір інформації про поточний стан середовища та формування керуючих команд для виконавчих механізмів.

Таким чином, аналіз предметної області показує, що автоматизація тепличних господарств є актуальним напрямом розвитку сучасного аграрного виробництва. Застосування інтелектуальних систем керування дозволяє підвищити ефективність використання ресурсів, зменшити експлуатаційні витрати, мінімізувати вплив людського фактора та створити оптимальні умови для вирощування рослин [4].

1.2 Аналіз існуючих технологій та систем керування теплицями

Розвиток інформаційних технологій, мікроелектроніки та засобів зв'язку сприяв активному впровадженню автоматизованих систем керування в аграрному секторі. Зокрема, тепличне господарство стало однією з галузей, у якій автоматизація дозволяє не лише підвищити врожайність, але й суттєво оптимізувати витрати води, електроенергії, добрив та трудових ресурсів. Сучасні системи керування теплицями відрізняються за рівнем автоматизації, функціональними можливостями, вартістю реалізації та складністю впровадження.

Залежно від принципу роботи існуючі системи керування теплицями можна умовно поділити на три основні категорії: ручні, напівавтоматичні та повністю автоматизовані системи.

Ручні системи керування є найпростішими з точки зору реалізації та не потребують складного технічного обладнання. У таких системах оператор самостійно контролює температурний режим, рівень вологості, стан ґрунту та приймає рішення щодо відкривання вентиляційних вікон, ввімкнення поливу, освітлення або обігріву. Незважаючи на низьку вартість впровадження, даний підхід має суттєві обмеження, серед яких постійна потреба у присутності людини, значний вплив людського фактора, затримка реагування на зміну погодних умов та неможливість забезпечення безперервного моніторингу параметрів середовища.

Напівавтоматичні системи являють собою проміжний етап між ручним та повністю автоматизованим керуванням. У таких системах застосовуються окремі сенсори та виконавчі механізми, які можуть автоматично виконувати певні функції, наприклад вмикати полив при зниженні вологості ґрунту або запускати вентиляцію при перевищенні встановленої температури. При цьому оператор має можливість втручатися в процес керування, змінювати параметри роботи або вручну активувати певні режими. Перевагою такого підходу є відносно невисока вартість реалізації та зменшення навантаження на обслуговуючий персонал, проте функціональні можливості таких систем залишаються обмеженими [5].

Найбільш перспективними є повністю автоматизовані системи керування тепличним господарством, які базуються на використанні мікроконтролерів, сенсорних мереж, хмарних технологій та алгоритмів інтелектуальної обробки даних. Такі системи здатні безперервно контролювати стан мікроклімату,

аналізувати отриману інформацію та автоматично формувати керуючі сигнали для виконавчих пристроїв.

Особливого поширення набули системи, побудовані на базі мікроконтролерних платформ, зокрема Arduino, Raspberry Pi та Espressif Systems ESP32 [6]. Використання таких платформ обумовлене їх доступністю, компактністю, низьким енергоспоживанням та широкими можливостями інтеграції із сенсорами та мережевими модулями. Наприклад, Arduino активно використовується у навчальних та прикладних проєктах завдяки простоті програмування та великій кількості готових бібліотек. Raspberry Pi, у свою чергу, забезпечує ширші можливості обробки даних, підтримує багатозадачність та може виконувати функції локального сервера. Контролери ESP32 мають вбудовані модулі Wi-Fi та Bluetooth, що робить їх ефективним рішенням для реалізації систем дистанційного моніторингу.

Однією з ключових тенденцій розвитку сучасних тепличних систем є використання концепції Інтернету речей (IoT). IoT-технології дозволяють об'єднати датчики, виконавчі механізми та програмне забезпечення в єдину інформаційну систему, що забезпечує віддалений доступ до даних у режимі реального часу. Користувач може контролювати параметри теплиці [7] через мобільний додаток або веб-інтерфейс, отримувати повідомлення про аварійні ситуації, змінювати режими роботи обладнання та переглядати історію змін показників.

Серед поширених промислових рішень варто відзначити системи Priva [8], Netafim та Argus Control Systems, які використовуються у великих тепличних комплексах. Дані системи забезпечують комплексне керування вентиляцією, поливом, дозуванням добрив, освітленням та клімат-контролем. Вони характеризуються високою надійністю, точністю вимірювань та можливістю інтеграції з корпоративними інформаційними системами. Проте їх основним недоліком є висока вартість обладнання, складність впровадження та потреба у кваліфікованому технічному персоналі [9].

Окрему увагу заслуговують системи автоматичного провітрювання теплиць. Найчастіше для відкривання вентиляційних вікон або даху використовуються

електродвигуни постійного струму, сервоприводи, лінійні актуатори або редукторні механізми. Керування виконавчими пристроями здійснюється на основі даних, отриманих від температурних сенсорів, датчиків вологості та датчиків опадів. При перевищенні заданої температури система автоматично відкриває вентиляційні елементи, а у випадку дощу, сильного вітру або зниження температури - закриває їх, захищаючи рослини від несприятливих зовнішніх факторів.

Незважаючи на значний розвиток сучасних технологій, аналіз існуючих рішень показує, що більшість промислових систем орієнтовані на великі аграрні підприємства та мають високу вартість реалізації. У той же час невеликі фермерські господарства, навчальні лабораторії та приватні користувачі потребують більш доступних, компактних та простих у налаштуванні систем. Саме тому актуальним є розроблення автоматизованої системи керування теплицею на базі доступних мікроконтролерних платформ, яка забезпечуватиме автоматичне керування дахом на основі аналізу погодних умов, матиме невисоку вартість реалізації та можливість подальшого масштабування.

1.3 Аналіз технологій та підходів до реалізації автоматизованих систем теплиць

Сучасні автоматизовані системи керування тепличними господарствами розвиваються у напрямку підвищення автономності, точності контролю та інтеграції з цифровими технологіями. Основною метою таких систем є забезпечення стабільного мікроклімату для рослин шляхом безперервного моніторингу параметрів навколишнього середовища та автоматичного регулювання виконавчих механізмів без постійного втручання людини.

Одним із ключових сучасних підходів є використання концепції Інтернету речей (IoT), яка передбачає об'єднання фізичних пристроїв у єдину мережу з можливістю обміну даними через локальні або глобальні мережі. У тепличних системах IoT дозволяє здійснювати дистанційний контроль температури, вологості, освітлення та інших параметрів, а також керувати обладнанням через

мобільні або веб-додатки. Це значно підвищує ефективність управління та зменшує потребу у постійному фізичному нагляді.

Архітектурно автоматизовані системи теплиць поділяються на централізовані та розподілені. У централізованих системах усі дані з сенсорів надходять до одного керуючого модуля, який обробляє інформацію та приймає рішення щодо керування виконавчими пристроями. Такий підхід є простішим, але має недолік у вигляді залежності від одного центрального вузла. У випадку його відмови система повністю втрачає працездатність. Розподілені системи, навпаки, передбачають наявність кількох вузлів обробки, що підвищує надійність та стійкість до збоїв.

Важливу роль у функціонуванні систем відіграють сенсорні технології. У тепличних умовах використовуються датчики температури, вологості повітря, вологості ґрунту, освітленості та атмосферних опадів. Вони забезпечують отримання актуальної інформації про стан мікроклімату, що дозволяє системі приймати рішення щодо керування виконавчими пристроями в режимі реального часу.

Не менш важливою складовою є виконавчі механізми, які забезпечують фізичну реалізацію керуючих впливів. До них належать електромеханічні приводи, сервоприводи, електродвигуни та реле. Вони застосовуються для керування вентиляцією, поливом, освітленням, а також рухомими конструкціями теплиці, зокрема автоматичним дахом або вентиляційними вікнами.

Для реалізації таких систем використовуються мікроконтролерні платформи, які забезпечують обробку даних та керування пристроями. Найбільш поширеними є рішення на базі Arduino, Espressif Systems та Raspberry Pi. Вони дозволяють створювати як прості автоматизовані системи, так і складні IoT-рішення з можливістю віддаленого моніторингу та розширення функціоналу.

Алгоритми керування в автоматизованих тепличних системах, як правило, базуються на пороговій логіці типу «якщо – то». Наприклад, якщо температура перевищує допустиме значення, система відкриває вентиляцію або дах теплиці, а при зниженні вологості ґрунту активується система поливу. Такий підхід є простим

у реалізації та достатньо ефективним для підтримання базових параметрів мікроклімату.

Таким чином, аналіз технологій показав, що сучасні системи автоматизації теплиць базуються на поєднанні сенсорних пристроїв, мікроконтролерних платформ та виконавчих механізмів. Найбільш перспективним напрямом є використання IoT-технологій, що дозволяє забезпечити дистанційний контроль та підвищити ефективність керування.

РОЗДІЛ 2

ВИБІР ЗАСОБІВ РОЗРОБКИ

Після проведення аналізу предметної області, існуючих технологій та сучасних підходів до автоматизації тепличних систем наступним етапом розробки є вибір технічних і програмних засобів, необхідних для реалізації автоматизованої системи керування мікрокліматом теплиці. Від правильності вибору апаратного забезпечення, сенсорних пристроїв, виконавчих механізмів та програмного середовища безпосередньо залежить стабільність функціонування системи, точність вимірювань, швидкість обробки даних та можливість подальшого розширення функціональних можливостей.

У даному розділі буде проведено вибір апаратних і програмних засобів, необхідних для реалізації системи автоматичного керування теплицею з рухомим дахом на основі аналізу погодних умов. Також буде виконано обґрунтування вибору основних компонентів системи з урахуванням технічних характеристик, вартості, доступності та простоти інтеграції.

2.1 Вибір мікроконтролерної платформи та периферійних пристроїв

Одним із найважливіших етапів розробки автоматизованої системи керування теплицею є вибір апаратної платформи, на базі якої буде реалізовано збір, обробку та аналіз даних, отриманих від сенсорних пристроїв, а також формування керуючих сигналів для виконавчих механізмів. Від правильності вибору технічної основи безпосередньо залежить стабільність роботи системи, точність виконання алгоритмів керування, швидкість реагування на зміну зовнішніх умов, енергоефективність та можливість подальшого вдосконалення або масштабування системи.

Під час розробки автоматизованої системи керування теплицею було проведено аналіз сучасних мікроконтролерних платформ, які широко використовуються в системах автоматизації, Інтернету речей та вбудованих

електронних пристроях. Серед найбільш поширених рішень були розглянуті платформи на базі Arduino, Espressif Systems ESP32 та Raspberry Pi.

Платформи ESP32 характеризуються наявністю вбудованих модулів бездротового зв'язку Wi-Fi та Bluetooth, достатньо високою продуктивністю та широкими можливостями для реалізації IoT-рішень. У свою чергу Raspberry Pi являє собою повноцінний одноплатний комп'ютер, який дозволяє виконувати складну обробку даних, зберігати великі обсяги інформації та реалізовувати веб-інтерфейси керування. Проте використання зазначених платформ у межах даного проекту є надлишковим, оскільки система не потребує високої обчислювальної потужності або постійного мережевого з'єднання, а основними вимогами є простота реалізації, доступність компонентів, низьке енергоспоживання та надійність роботи.

З огляду на проведений аналіз, як основну платформу для реалізації системи було обрано мікроконтролерну плату Arduino Nano [10], зовнішній вигляд якої наведено на рисунку 2.1.

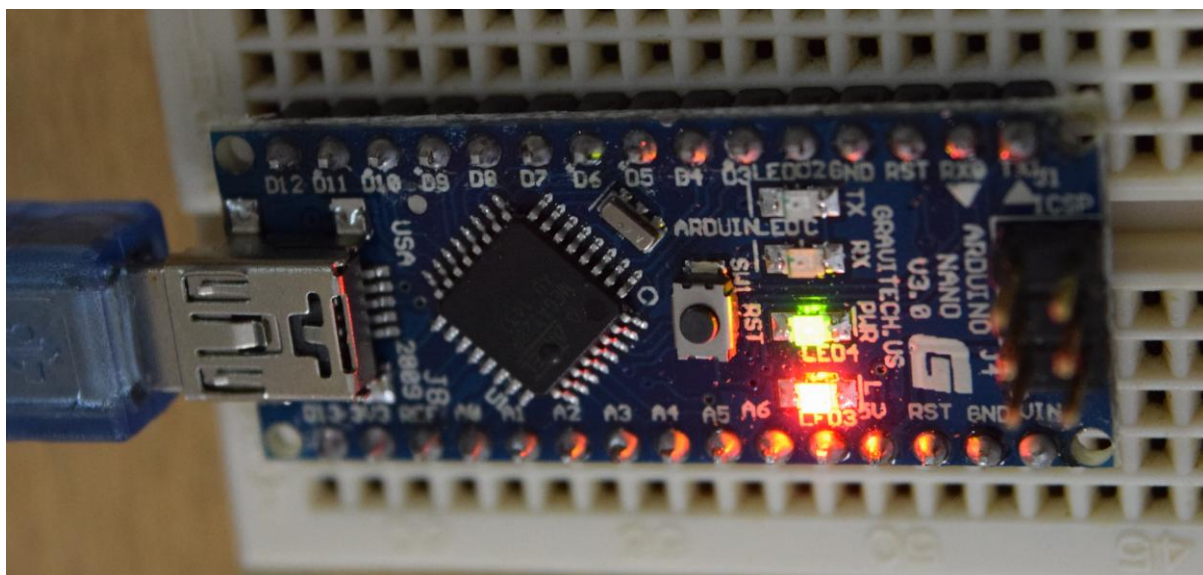


Рисунок 2.1 – Мікроконтролерна платна Arduino Nano

Плата Arduino Nano побудована на базі мікроконтролера ATmega328P та належить до класу компактних мікроконтролерних платформ загального призначення. Однією з її головних переваг є поєднання невеликих габаритних

розмірів із достатнім набором функціональних можливостей для реалізації систем автоматичного керування. Плата має 14 цифрових входів і виходів, з яких частина підтримує широтно-імпульсну модуляцію, а також 8 аналогових входів, що дозволяє одночасно підключати декілька сенсорів і виконавчих пристроїв.

Мікроконтролер працює з тактовою частотою 16 МГц, має 32 КБ flash-пам'яті для зберігання програмного коду, 2 КБ оперативної пам'яті SRAM для обробки поточних даних та 1 КБ EEPROM для збереження параметрів системи навіть після вимкнення живлення. Робоча напруга плати становить 5 В, що повністю відповідає технічним характеристикам більшості периферійних модулів, використаних у даному проєкті [11].

Важливою перевагою платформи Arduino Nano є підтримка великої кількості програмних бібліотек, доступність технічної документації, а також широка спільнота розробників [12], що значно спрощує процес програмування, налагодження та інтеграції додаткових модулів.

З метою відображення поточних параметрів роботи системи та забезпечення зручної взаємодії користувача з пристроєм було обрано символічний LCD-дисплей, оснащений інтерфейсом I2C. Зовнішній вигляд дисплея наведено на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Дисплей LCD1602 RGB [13]

Дисплей LCD1602 дозволяє відображати текстову інформацію у форматі 16 символів у двох рядках, що є достатнім для виведення основних параметрів системи, таких як температура повітря, рівень вологості, стан даху теплиці та службові повідомлення. Використання I2C-інтерфейсу є особливо доцільним, оскільки дозволяє здійснювати передачу даних лише через дві сигнальні лінії, що

суттєво спрощує електричну схему та зменшує кількість задіяних контактів мікроконтролера.

Під час побудови експериментального зразка системи також передбачено використання безпайкової макетної плати та з'єднувальних провідників типу Dupont. Таке рішення дозволяє оперативно вносити зміни до схеми, перевіряти працездатність окремих модулів та здійснювати поетапне налагодження системи без необхідності пайки елементів. Приклад макетування електронної схеми наведено на рисунку 2.3.

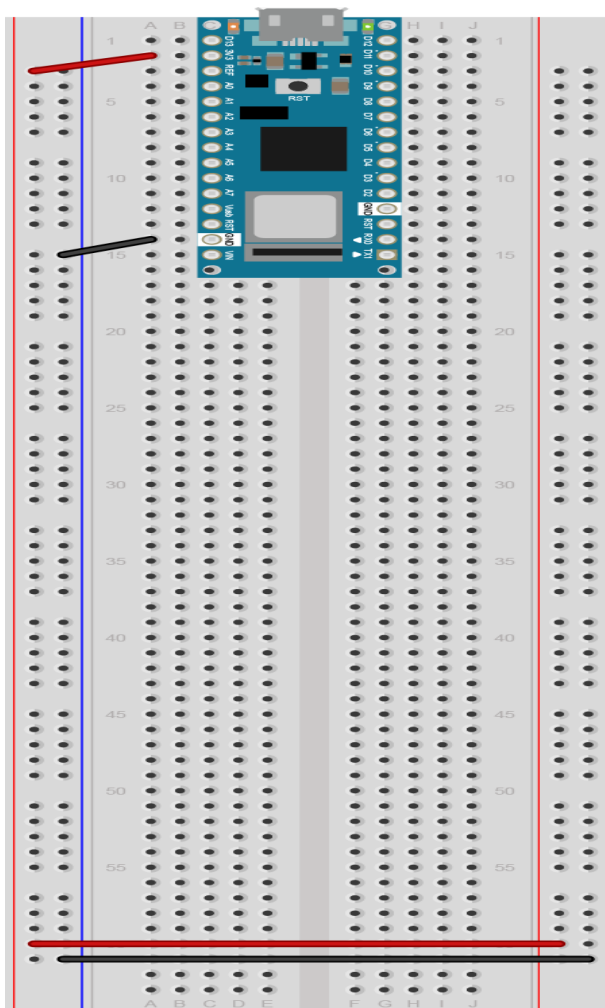


Рисунок 2.3 – Приклад електронної схеми

2.2 Вибір сенсорів та виконавчих елементів системи

Для забезпечення ефективного функціонування автоматизованої системи керування теплицею необхідним є використання комплексу сенсорних пристроїв та виконавчих механізмів, які дозволяють здійснювати безперервний моніторинг параметрів навколишнього середовища та реалізовувати відповідні керуючі впливи. Від правильного вибору даних компонентів залежить точність вимірювання фізичних величин, швидкість реакції системи на зміну умов, стабільність роботи та загальна ефективність підтримання оптимального мікроклімату в теплиці.

У межах розроблюваної системи основними контрольованими параметрами є температура та вологість повітря, вологість ґрунту, рівень освітленості та наявність атмосферних опадів. Саме ці параметри найбільш суттєво впливають на умови росту та розвитку рослин, тому їх постійний контроль є критично важливим для автоматизації тепличного господарства.

Одним із ключових елементів системи є датчик температури та вологості повітря DHT22, який забезпечує отримання цифрових значень із достатньою точністю для використання в умовах теплиці. Порівняно з більш простими аналогами, даний датчик має покращені метрологічні характеристики, що дозволяє зменшити похибку вимірювання та підвищити стабільність роботи системи. Використання цифрового інтерфейсу передачі даних спрощує підключення до мікроконтролера та зменшує кількість зовнішніх компонентів.

Використання власного цифрового однопровідного інтерфейсу (One-Wire протокол зі специфічним часовим кодуванням) спрощує підключення до головного мікроконтролера, оскільки для зчитування даних потрібен лише один цифровий вивід (GPIO), а довжина лінії зв'язку без втрати якості сигналу може досягати 20 метрів. Це дозволяє зменшити кількість зовнішніх компонентів, спростити трасування друкованої плати та знизити загальну вартість апаратної частини. Датчик температури та вологості зображено на рисунку 2.4.

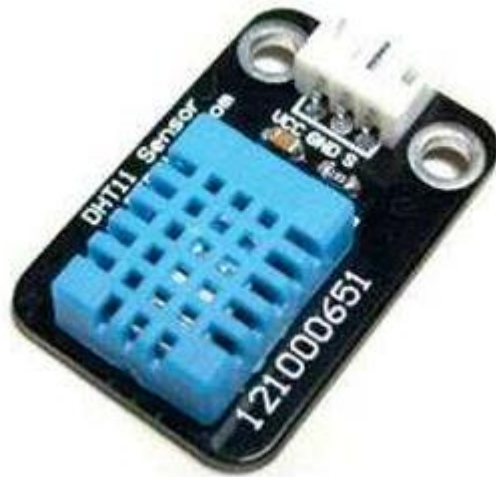


Рисунок 2.4 – Датчик температури та вологості повітря [14]

Для визначення наявності атмосферних опадів у системі використовується датчик дощу, принцип роботи якого базується на зміні електричного опору провідних доріжок при потраплянні крапель води. У разі виявлення дощу система може автоматично реагувати шляхом закриття рухомого даху теплиці, що дозволяє захистити рослини від надмірного зволоження та несприятливих погодних умов. Датчик дощу та інших опадів зображено на рисунку 2.5.

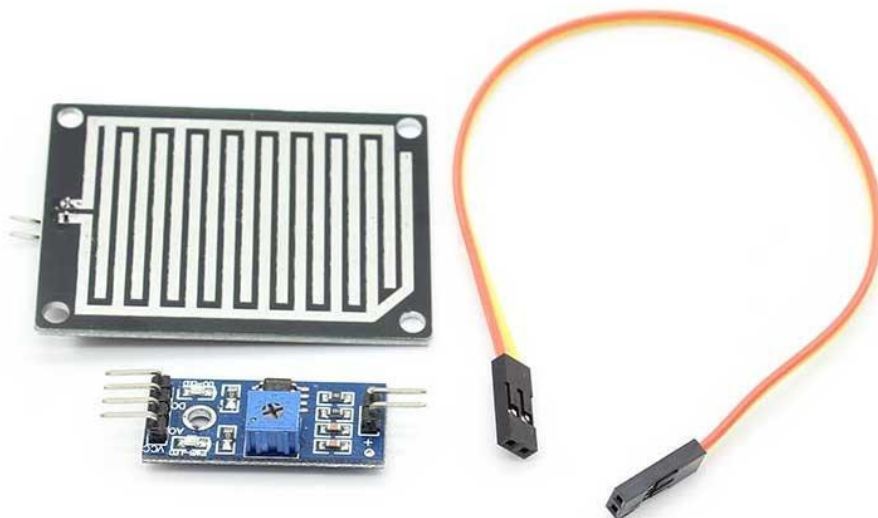


Рисунок 2.5 – Датчик дощу, вологи, снігу [15]

Для контролю рівня освітленості може використовуватися фоторезистор або цифровий датчик освітленості. Цей елемент дозволяє оцінювати інтенсивність

природного світла та, за необхідності, активувати додаткові джерела освітлення або коригувати режим роботи системи відповідно до умов навколишнього середовища.

Виконавчими елементами системи є пристрої, які безпосередньо реалізують керуючі впливи, сформовані мікроконтролером. Основним виконавчим механізмом у даній системі є сервопривід SG90, який використовується для керування відкриванням та закриванням рухомого даху теплиці. Завдяки можливості точного позиціонування він забезпечує плавність руху та високу керованість конструкції.

Також у системі можуть використовуватися релеїні модулі, які дозволяють керувати більш потужними споживачами електроенергії, такими як насос системи поливу або вентиляційні установки. Використання реле забезпечує електричну ізоляцію між керуючою та силовою частинами системи, підвищуючи її надійність та безпеку. Цифровий датчик освітлення зображено на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Цифровий датчик освітлення [16]

Для контролю рівня освітленості може використовуватися фоторезистор або цифровий датчик освітленості. Цей елемент дозволяє оцінювати інтенсивність природного світла та, за необхідності, активувати додаткові джерела освітлення

або коригувати режим роботи системи відповідно до умов навколишнього середовища.

Виконавчими елементами системи є пристрої, які безпосередньо реалізують керуючі впливи, сформовані мікроконтролером. Основним виконавчим механізмом у даній системі є сервопривід SG90, який використовується для керування відкриванням та закриванням рухомого даху теплиці. Завдяки можливості точного позиціонування він забезпечує плавність руху та високу керованість конструкції.

Також у системі можуть використовуватися релейні модулі, які дозволяють керувати більш потужними споживачами електроенергії, такими як насос системи поливу або вентиляційні установки. Використання реле забезпечує електричну ізоляцію між керуючою та силовою частинами системи, підвищуючи її надійність та безпеку. Основний виконавчий механізм зобразили на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 – Сервопривід SG90 [17]

Узагальнюючи, можна зазначити, що обраний комплекс сенсорних пристроїв та виконавчих елементів забезпечує повноцінний контроль основних параметрів мікроклімату теплиці та дозволяє реалізувати автоматичне керування її функціональними процесами. Поєднання датчиків температури, вологості,

освітлення та опадів із виконавчими механізмами створює основу для ефективної та гнучкої системи автоматизації.

2.3 Програмна частина системи керування

Одним із ключових етапів створення автоматизованої системи керування теплицею є розробка програмного забезпечення, яке забезпечує взаємодію між апаратними компонентами системи, виконує обробку інформації, отриманої від сенсорних пристроїв, та формує керуючі сигнали для виконавчих механізмів. Саме програмна частина системи визначає логіку її функціонування, швидкість реагування на зміну параметрів навколишнього середовища, точність прийняття рішень та загальну ефективність автоматизації.

Під час розробки програмного забезпечення важливим завданням є вибір такого програмного середовища, яке забезпечить простоту створення програмного коду, зручність налагодження, можливість використання готових програмних бібліотек та повну сумісність з обраною мікроконтролерною платформою. З урахуванням технічних характеристик системи та особливостей обраного апаратного забезпечення для реалізації програмної частини було обрано середовище розробки Arduino IDE, створене компанією Arduino.

Arduino IDE є інтегрованим середовищем розробки, призначеним для створення програмного забезпечення для мікроконтролерних платформ сімейства Arduino. Дане середовище поєднує текстовий редактор програмного коду, компілятор, засоби пошуку помилок, інструменти завантаження програм до пам'яті мікроконтролера, а також засоби моніторингу послідовного порту. Завдяки простому інтерфейсу та широкому набору вбудованих функцій Arduino IDE активно використовується як у навчальних цілях [18], так і при створенні реальних автоматизованих систем. Інтерфейс програмного забезпечення даної програми зобразили на рисунку 2.8.

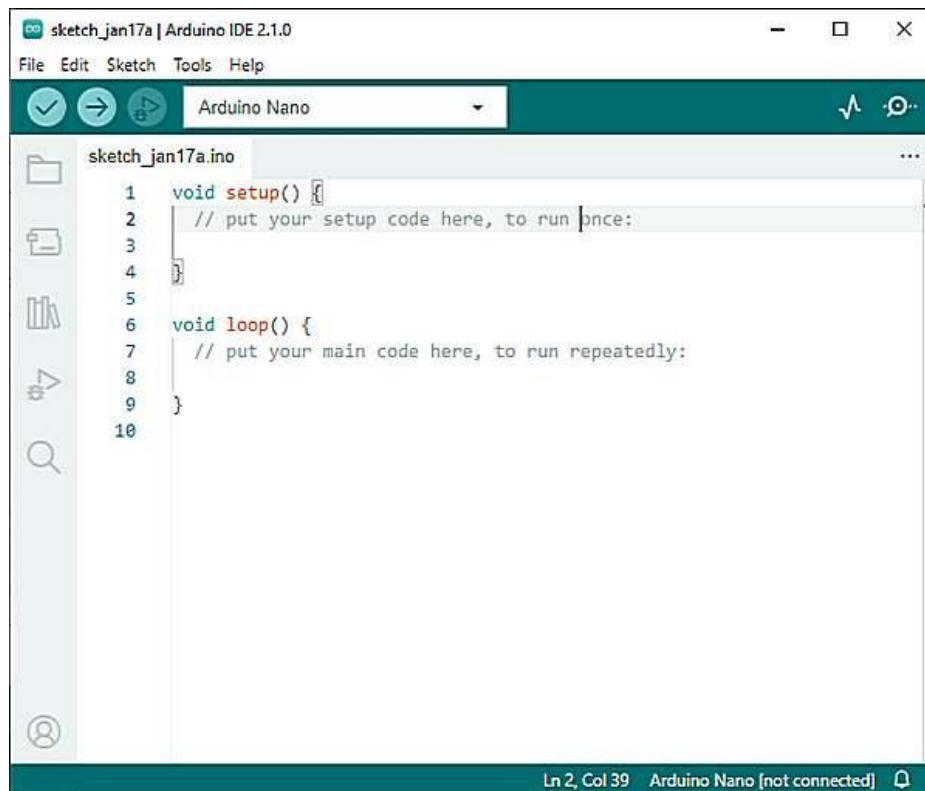


Рисунок 2.8 – Інтерфейс програмного забезпечення Arduino Uno [18]

Однією з головних переваг Arduino IDE є підтримка мови програмування C/C++, яка адаптована для роботи з вбудованими системами. Дана мова забезпечує високу швидкість виконання програм, ефективне використання обмежених апаратних ресурсів мікроконтролера та можливість безпосереднього керування периферійними модулями. Використання C/C++ дозволяє реалізовувати як прості алгоритми керування, так і більш складні логічні структури, що робить її оптимальним вибором для реалізації автоматизованої системи теплиці.

Для спрощення процесу програмування та взаємодії з периферійними пристроями у проєкті використовуються спеціалізовані програмні бібліотеки. Для роботи з датчиком температури та вологості DHT22 використовується бібліотека DHT Sensor Library, яка забезпечує зчитування даних та перетворення їх у зручний для обробки формат. Для керування сервоприводом використовується бібліотека Servo, що дозволяє точно задавати кут повороту виконавчого механізму. Для взаємодії з LCD-дисплеєм застосовується бібліотека LiquidCrystal_I2C, яка забезпечує швидке виведення текстової інформації через I2C-інтерфейс.

Використання готових бібліотек дозволяє суттєво скоротити час розробки програмного забезпечення, мінімізувати ймовірність програмних помилок та підвищити стабільність роботи всієї системи.

Програмна архітектура розробленої системи побудована відповідно до циклічного принципу функціонування, характерного для більшості вбудованих мікроконтролерних систем. Після подачі живлення мікроконтролер виконує початкову ініціалізацію всіх підключених пристроїв, налаштовує режими роботи входів і виходів, активує необхідні бібліотеки та виконує тестування доступності сенсорних модулів.

Після завершення ініціалізації система переходить у основний цикл роботи, у межах якого постійно виконується зчитування інформації з підключених датчиків. Зокрема отримуються значення температури та вологості повітря з датчика DHT22, інформація про рівень вологості ґрунту, стан датчика дощу та дані про рівень освітленості. Після зчитування всі отримані значення передаються до блоку обробки, де здійснюється їх порівняння із заздалегідь встановленими пороговими параметрами.

У разі перевищення температури повітря понад встановлене значення система формує команду на відкриття даху теплиці за допомогою сервоприводу, що сприяє природній вентиляції та зниженню температури всередині конструкції. При зниженні температури до допустимого рівня дах повертається у початкове положення.

У випадку виявлення атмосферних опадів датчиком дощу система незалежно від інших параметрів формує команду на негайне закриття даху, що забезпечує захист рослин від надмірного зволоження та негативного впливу погодних факторів.

При зниженні вологості ґрунту нижче встановленого значення система може активувати насос поливу через релейний модуль, підтримуючи оптимальний рівень зволоження. За недостатнього рівня освітленості система може активувати додаткове штучне освітлення.

Для інформування користувача всі поточні параметри роботи системи відображаються на LCD-дисплеї в режимі реального часу. Це дозволяє оператору

оперативно отримувати інформацію про стан мікроклімату та роботу виконавчих механізмів без використання додаткових засобів моніторингу.

Під час розробки програмної структури особлива увага приділялася надійності функціонування системи. З цією метою передбачено циклічне оновлення даних, перевірку коректності отриманих значень із сенсорів, а також захист від некоректного спрацювання виконавчих механізмів. Це дозволяє підвищити стабільність роботи системи в умовах тривалої експлуатації.

Додатково в системі може бути реалізовано можливість налаштування порогових значень температури, вологості та освітленості відповідно до потреб конкретних рослин. Це забезпечує гнучкість використання системи в різних умовах вирощування та дозволяє адаптувати її до різних типів теплиць або кімнатних мініоранжерей.

Для підвищення енергоефективності алгоритм керування передбачає вмикання виконавчих пристроїв лише за необхідності, що дозволяє зменшити споживання електроенергії та подовжити ресурс обладнання. Усі компоненти системи взаємодіють між собою через мікроконтролер Arduino, який виконує обробку даних із сенсорів та формує керуючі сигнали для виконавчих механізмів

Для візуального представлення логіки роботи системи було розроблено блок-схему алгоритму функціонування, яка наведена на рисунку 2.9.

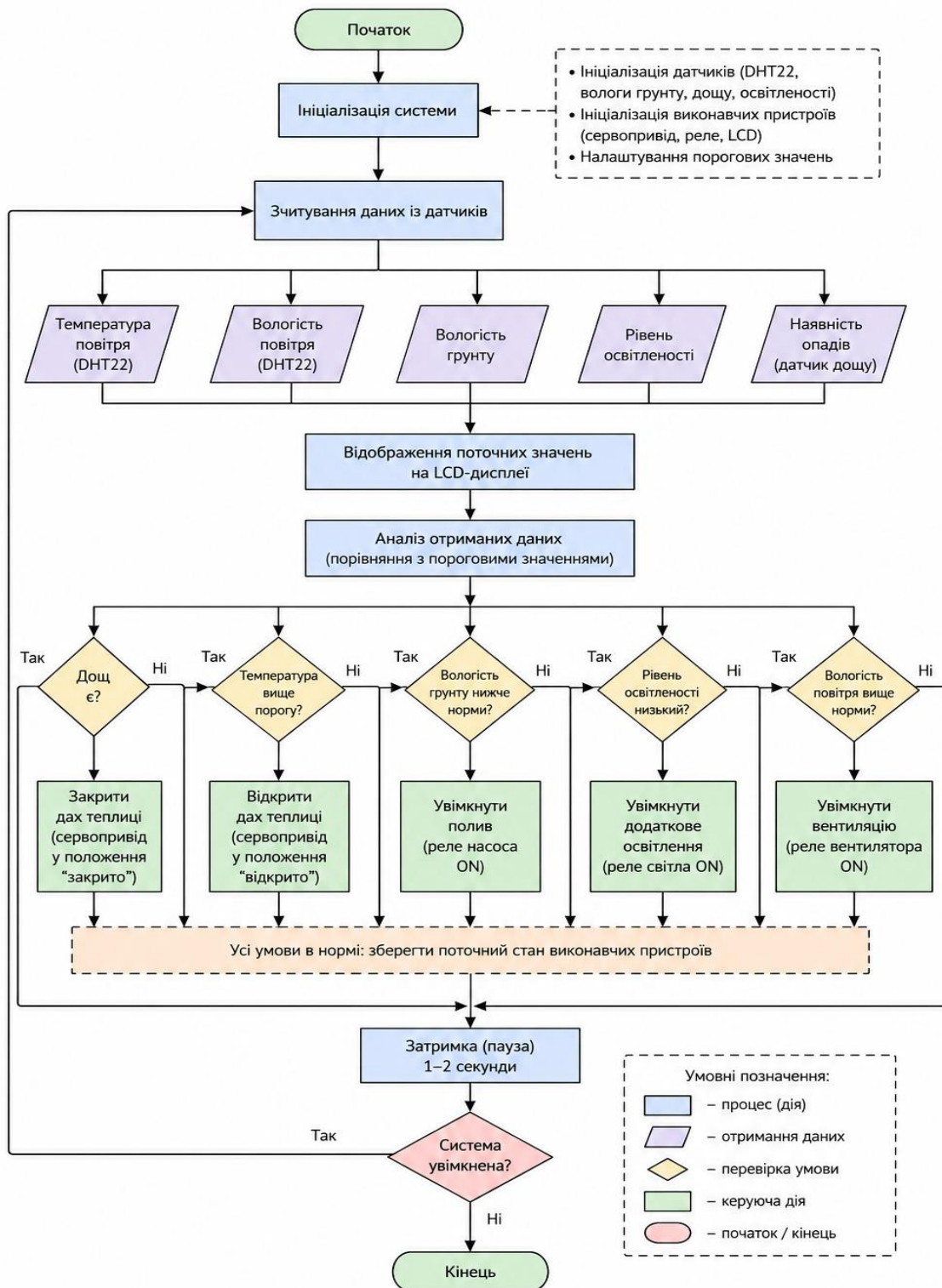


Рисунок 2.9 – Блок-схема алгоритму роботи теплиці

Крім того, обрана програмна архітектура дозволяє в подальшому реалізувати розширення функціоналу системи шляхом додавання нових датчиків, модулів бездротового зв'язку, мобільного керування або інтеграції з хмарними сервісами моніторингу.

Таким чином, використання середовища Arduino IDE, мови програмування C/C++ та спеціалізованих бібліотек дозволило реалізувати надійну програмну систему автоматичного керування теплицею. Розроблена структура керування забезпечує безперервний моніторинг параметрів середовища, автоматичне прийняття рішень та ефективне підтримання оптимальних умов для вирощування рослин.

РОЗДІЛ 3

ПРОЕКТУВАННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ

3.1 Розробка структурної схеми системи

Проектування автоматизованої системи керування теплицею починається з формування її структурної схеми, яка відображає основні функціональні блоки системи, взаємозв'язки між ними, напрямки передачі інформації та керуючих сигналів. Структурна схема дозволяє сформулювати загальне уявлення про принцип роботи системи, визначити функції окремих модулів та спростити подальший етап розробки електричної схеми й програмного забезпечення.

Розроблювана система призначена для автоматичного контролю параметрів мікроклімату в теплиці та керування рухомим дахом залежно від зміни погодних умов. Основною функцією системи є безперервний збір інформації із сенсорних пристроїв, її аналіз, прийняття рішень відповідно до встановлених алгоритмів та формування керуючих команд для виконавчих механізмів.

Функціонально система складається з декількох взаємопов'язаних блоків, серед яких можна виділити блок збору даних, блок обробки інформації, блок відображення інформації, блок виконавчих механізмів та блок живлення.

Центральним елементом усієї системи є мікроконтролерна платформа Arduino Nano, яка виконує функції обробки інформації, координації роботи сенсорних модулів та формування керуючих сигналів. Саме мікроконтролер виконує циклічне зчитування даних, аналізує поточний стан навколишнього середовища та відповідно до заданих порогових значень приймає рішення щодо зміни режиму роботи системи.

До блоку збору інформації входять сенсорні пристрої, які забезпечують отримання актуальних даних про параметри середовища. Датчик DHT22 використовується для контролю температури та відносної вологості повітря всередині теплиці. Датчик дощу дозволяє фіксувати наявність атмосферних опадів, а датчик освітленості забезпечує контроль рівня природного освітлення.

Отримані від сенсорів сигнали надходять до мікроконтролера, де здійснюється їх аналіз відповідно до закладеного алгоритму роботи. Після обробки даних система формує керуючі сигнали для виконавчих механізмів.

Основним виконавчим елементом системи є сервопривід SG90, який забезпечує механічне відкривання та закривання рухомого даху теплиці. При зміні температурного режиму або виявленні атмосферних опадів сервопривід змінює своє положення відповідно до команд, сформованих мікроконтролером.

Стабільна робота всіх функціональних блоків забезпечується блоком живлення, який подає необхідну напругу на мікроконтролер, сенсори та виконавчі пристрої.

Для візуального представлення взаємозв'язків між компонентами було розроблено електричну схему системи, яку наведено на рисунку 3.1.

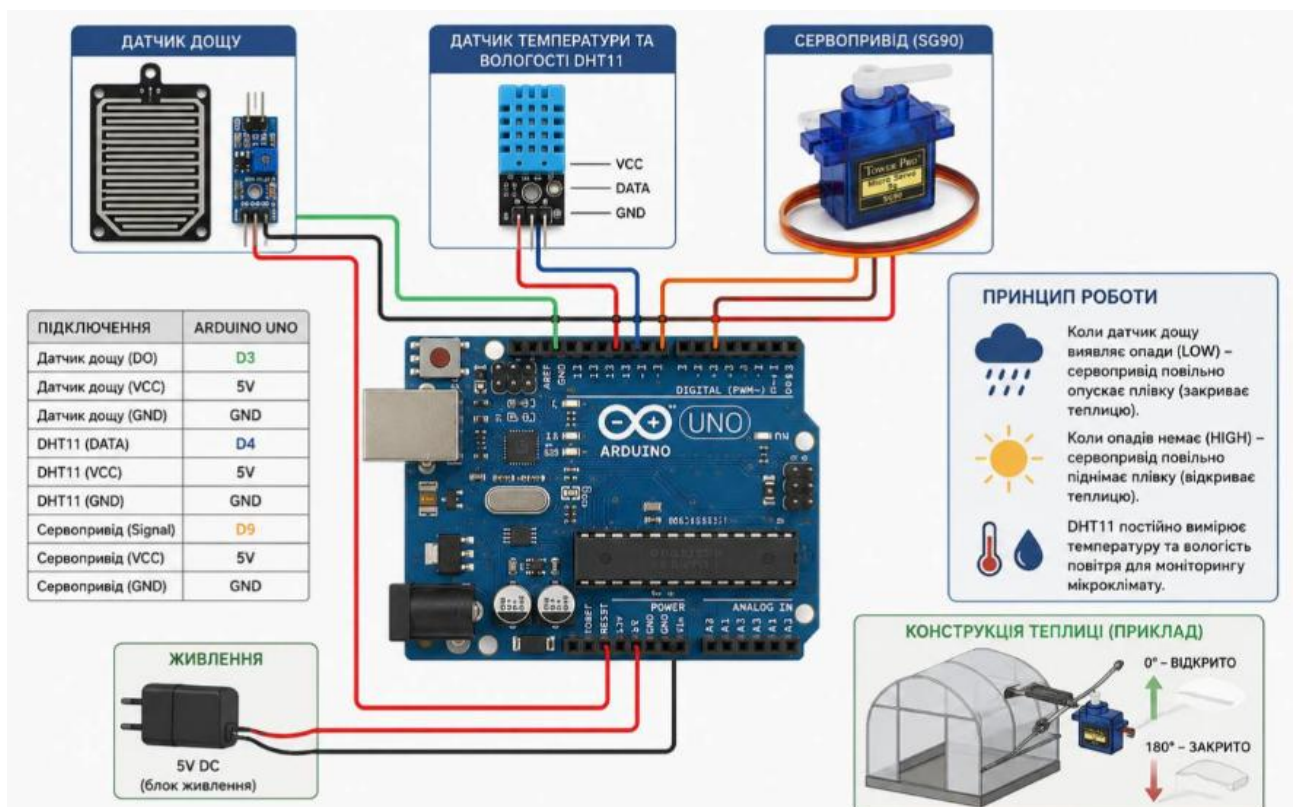


Рисунок 3.1 – Схема автоматизованої системи теплиці

3.2 Розробка електричної схеми та програмна реалізація системи

Після формування структурної схеми автоматизованої системи наступним етапом проектування є розробка електричної схеми підключення всіх функціональних елементів та створення програмного забезпечення, яке забезпечує взаємодію між сенсорними пристроями, мікроконтролером та виконавчими механізмами. На даному етапі визначаються способи електричного з'єднання компонентів, розподіл контактів мікроконтролера, режими живлення модулів, а також реалізуються алгоритми обробки даних та формування керуючих сигналів.

Розроблена система побудована на базі мікроконтролерної платформи Arduino Nano, яка виконує функції центрального керуючого пристрою. До мікроконтролера підключаються сенсорні модулі, дисплейний модуль та виконавчі пристрої, що забезпечують автоматичне функціонування теплиці.

При побудові електричної схеми особлива увага приділялася сумісності рівнів живлення компонентів, мінімізації кількості з'єднань, стабільності передачі сигналів та зручності подальшого монтажу. Усі модулі системи працюють від джерела постійного струму напругою 5 В, що дозволяє використовувати єдину систему живлення без додаткових перетворювачів напруги.

Сервопривід SG90 підключається до PWM-виходу мікроконтролера, що забезпечує можливість точного керування кутом повороту.

Для створення системи автоматизованого керування теплицею було використано набір сучасних електронних компонентів, які забезпечують збір інформації про стан навколишнього середовища та автоматичне реагування системи на зміну погодних умов.

Основою всієї системи є мікроконтролер Arduino Nano, який виконує обробку даних із датчиків та керує роботою виконавчих механізмів. Завдяки використанню компактної та енергоефективної платформи вдалося реалізувати просту у використанні систему автоматизації теплиці.

Для контролю погодних умов у роботі використано датчик дощу та датчик температури і вологості DHT11. Датчик дощу дозволяє визначати наявність опадів і автоматично передавати сигнал до мікроконтролера для закриття даху теплиці. У

свою чергу, датчик DHT11 забезпечує зчитування показників температури та вологості повітря всередині теплиці, що дозволяє здійснювати моніторинг мікроклімату.

Для механічного керування захисною плівкою використовується сервопривід SG90, який забезпечує плавне відкриття та закриття даху конструкції. Основні компоненти системи та їх функціональне призначення наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні компоненти системи

№	Компонент	Призначення
1	Arduino nano	Основний мікроконтролер системи
2	Датчик дощу	Виявлення опадів
3	DHT11	Вимірювання температури та вологості
4	SG90	Відкриття та закриття даху теплиці
5	Макетна плата	Зручне підключення компонентів
6	Dupont	Передача сигналу та живлення
7	USB-кабель	Підключення до ПК

Одним із найважливіших етапів створення автоматизованої системи є правильне підключення електронних компонентів до мікроконтролера Arduino Nano. Від коректності з'єднання датчиків, сервоприводу та елементів живлення залежить стабільність роботи всієї системи керування теплицею.

Підключення виконувалося за допомогою макетної плати та з'єднувальних проводів типу Dupont, що дозволило швидко реалізувати електричну схему без використання пайки. Датчики підключаються до цифрових та аналогових входів Arduino Nano відповідно до їх типу та принципу роботи.

Для забезпечення стабільної роботи всі модулі використовують спільне живлення 5 V та загальну лінію GND. Сервопривід підключається до цифрового PWM-виводу мікроконтролера, що дозволяє плавно керувати його кутом повороту.

Правильна схема підключення компонентів забезпечує коректне зчитування даних, швидке реагування системи на появу опадів та стабільну роботу автоматизованої теплиці. Схему підключення компонентів наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Схема підключення компонентів

Компонент	Вивід модуля	Підключення до Arduino
DHT11	DATA	D4
DHT11	VCC	5V
DHT11	GND	GND
Датчик дощу	DO	D3
Датчик дощу	VCC	5V
Датчик дощу	GND	GND
SG90	Signal	D9
SG90	VCC	5V
SG90	GND	GND

Принцип роботи автоматизованої теплиці базується на циклічному зчитуванні показників датчиків та аналізі отриманої інформації мікроконтролером Arduino Nano. Після запуску системи виконується ініціалізація всіх підключених модулів, а далі контролер постійно перевіряє стан датчика дощу та показники температури і вологості повітря.

Отримані дані використовуються для автоматичного керування механізмом відкриття і закриття даху теплиці. У випадку виявлення опадів система подає сигнал на сервопривід, який плавно закриває захисну плівку теплиці для запобігання потраплянню надлишкової вологи всередину конструкції.

Після припинення опадів сервопривід повертає дах у відкрите положення, забезпечуючи вентиляцію та доступ сонячного світла. Усі дані додатково відображаються у Serial Monitor середовища Arduino IDE для контролю та налагодження роботи системи. Основні етапи алгоритму роботи автоматизованої теплиці наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Основні етапи алгоритму

Етап	Опис процесу
1	Ініціалізація датчиків та сервоприводу
2	Зчитування даних із датчика дощу

3	Зчитування температури та вологості
4	Аналіз наявних опадів
5	Закриття даху при виявленні дощу
6	Відкриття даху при відсутності опадів
7	Виведення інформації
8	Повторення циклу

Після завершення складання та програмування автоматизованої теплиці було проведено тестування системи в різних режимах роботи. Основною метою тестування була перевірка правильності зчитування показників датчиків, стабільності роботи сервоприводу та коректності автоматичного реагування системи на появу або відсутність опадів.

Для цього виконувалась імітація дощу шляхом змочування поверхні датчика водою, а також перевірка роботи системи у звичайних умовах без опадів. Під час тестування було встановлено, що система стабільно реагує на зміну погодних умов та коректно виконує алгоритм керування дахом теплиці.

При потраплянні води на датчик дощу сервопривід плавно закривав захисну плівку, а після висихання датчика автоматично повертав дах у відкрите положення. Також було перевірено правильність зчитування температури та вологості повітря за допомогою датчика DHT11. Отримані результати підтвердили працездатність і ефективність розробленої системи автоматизації теплиці. Результати тестування системи наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати тестування

Умова	Показ датчика	Дія сервоприводу	Результат
Відсутність дощу	HIGH/1	Відкриття даху	Система працює коректно
Наявність дощу	LOW/0	Закриття даху	Система працює коректно
Температура 25-27	Коректне значення	Без змін	Дані зчитуються
Вологість 40-60%	Коректне значення	Без змін	Дані зчитуються

Таким чином, на даному етапі було розроблено електричну схему підключення компонентів, визначено розподіл контактів мікроконтролера та створено програмне забезпечення, яке забезпечує автоматичну взаємодію між сенсорними та виконавчими елементами системи. Реалізована програмно-апаратна структура створює основу для подальшого тестування та оцінки ефективності роботи розробленої системи.

3.3 Тестування та аналіз роботи розробленої системи

Після завершення етапів проектування, розробки електричної схеми та програмної реалізації автоматизованої системи керування теплицею наступним важливим етапом є проведення експериментального тестування створеного прототипу. Основною метою тестування є перевірка працездатності всіх функціональних модулів системи, оцінка коректності виконання закладених алгоритмів керування, аналіз точності зчитування даних із сенсорних пристроїв, а також визначення стабільності функціонування системи в умовах зміни параметрів навколишнього середовища.

Експериментальне тестування проводилося на зібраному макеті автоматизованої системи, що включав мікроконтролерну платформу Arduino Nano, датчик температури та вологості DHT22, датчик дощу та сервопривід SG90. Макет системи було змонтовано на безпайковій макетній платі, що дозволило оперативно вносити зміни до схеми та виконувати поетапне налагодження. Макетну плату зображено на рисунку 3.2.

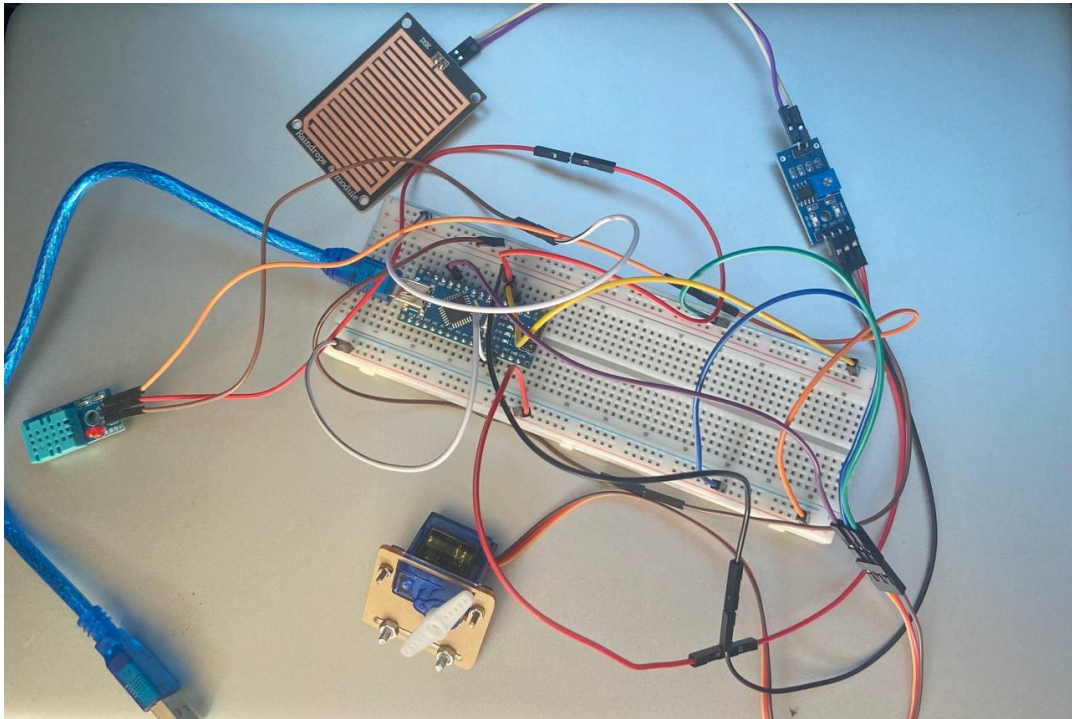


Рисунок 3.2 – Підключення всіх датчиків за допомогою Dupont-проводів

Під час проведення експериментів перевірялася робота системи в різних сценаріях, які імітували реальні умови експлуатації теплиці. Для кожного сценарію оцінювалася реакція сенсорів, час обробки даних мікроконтролером та правильність спрацювання виконавчих механізмів.

Перший етап тестування передбачав перевірку роботи датчика температури та вологості повітря DHT22. З метою імітації підвищення температури використовувалося локальне нагрівання датчика, після чого фіксувалися зміни показників та реакція системи. У випадку перевищення встановленого порогового значення температури система формувала команду на відкривання даху теплиці.

Другий етап тестування був спрямований на перевірку коректності роботи датчика дощу. Для цього на поверхню сенсорного елемента наносилася невелика кількість води, що імітувало початок атмосферних опадів. У результаті система коректно фіксувала наявність вологи та формувала команду на закриття рухомого даху незалежно від інших параметрів.

На основі отриманих результатів можна зробити висновок, що всі сенсорні модулі працюють стабільно та передають коректні дані до мікроконтролера. Виконавчі механізми реагують відповідно до закладених алгоритмів, а час реакції системи є достатнім для практичного використання в умовах тепличного господарства.

Блок-схема алгоритму роботи автоматизованої теплиці відображає послідовність функціонування системи керування на базі мікроконтролера Arduino Nano. Основним призначенням алгоритму є автоматичний контроль стану навколишнього середовища та керування механізмом відкриття і закриття даху теплиці залежно від погодних умов.

Для реалізації поставленого завдання використовуються датчик дощу, датчик температури та вологості DHT11, а також сервопривід, який відповідає за рух захисної плівки теплиці.

Під час роботи система постійно зчитує показники датчиків та аналізує наявність опадів. У випадку виявлення дощу сервопривід плавно закриває дах теплиці для захисту рослин від надмірної вологи. Коли опади припиняються, система автоматично повертає дах у відкрите положення, забезпечуючи природну вентиляцію та доступ сонячного світла.

Такий алгоритм дозволяє автоматизувати процес керування теплицею та підвищити ефективність її функціонування. Блок-схему алгоритму роботи автоматизованої теплиці наведено на рисунку 3.3.

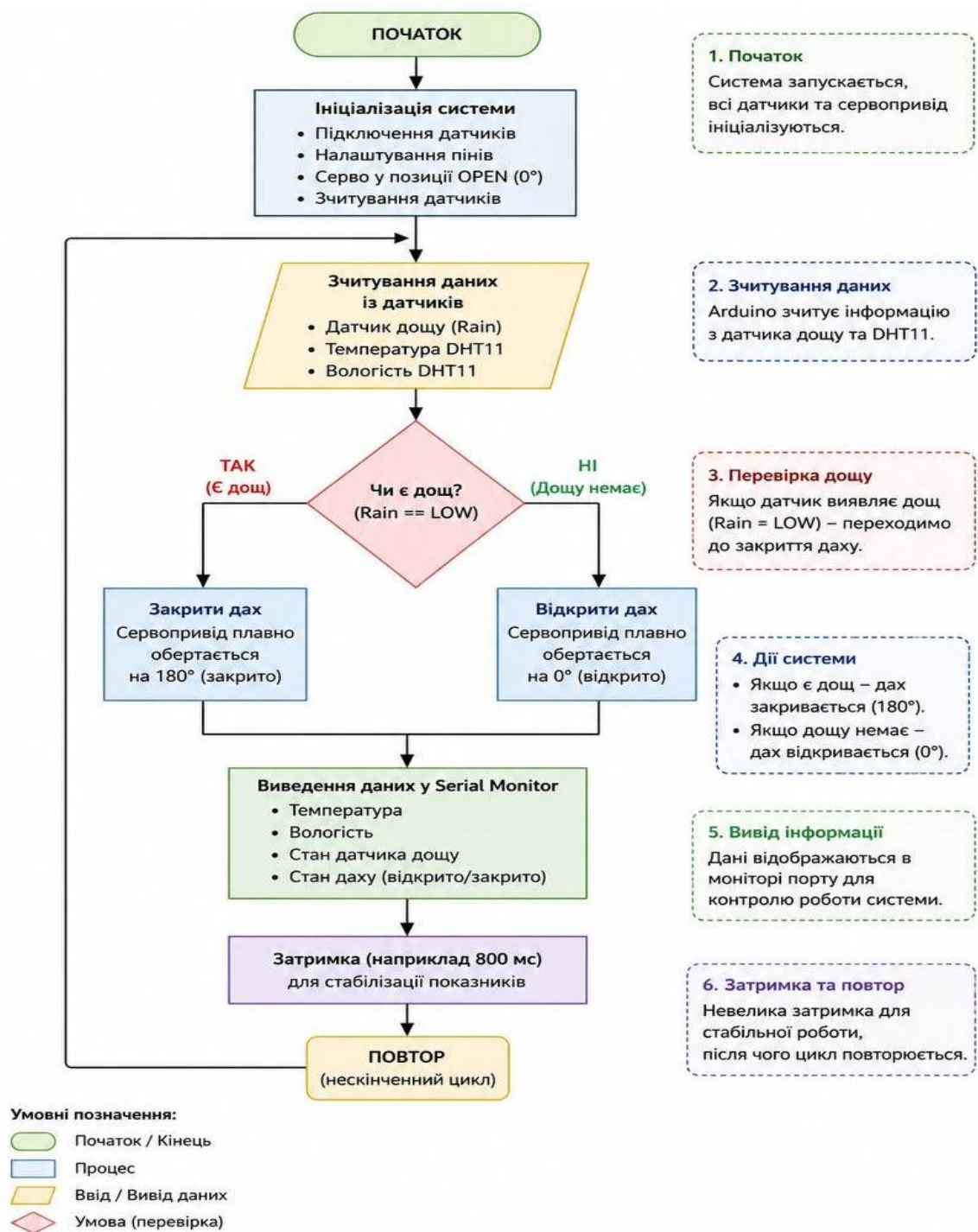


Рисунок 3.3 – Алгоритм роботи теплиці

Окрім перевірки працездатності окремих сенсорних модулів, у процесі тестування також виконувалася оцінка стабільності функціонування системи в умовах тривалого безперервного навантаження. З цією метою розроблений макет функціонував у безперервному режимі протягом декількох годин із циклічним зчитуванням показників сенсорів та виконанням алгоритмів керування.

У ході даного експерименту контролювалася стабільність передачі даних між сенсорними модулями та мікроконтролером, відсутність зависань програмного забезпечення, а також стабільність позиціонування сервоприводу при багаторазовому виконанні команд відкривання та закривання рухомого даху.

Результати тривалого тестування показали, що розроблена система зберігає стабільність функціонування протягом усього часу експлуатації. Під час роботи не було зафіксовано критичних програмних помилок, збоїв у передачі даних або некоректного спрацювання виконавчих механізмів. Це свідчить про достатній рівень надійності розробленого програмно-апаратного комплексу для подальшого практичного застосування.

Під час експерименту було встановлено, що алгоритм керування коректно визначає пріоритетність умов. Наприклад, у випадку виявлення дощу система незалежно від температури першочергово формує команду на закриття рухомого даху, що відповідає закладеній логіці безпечної експлуатації. Після усунення даного фактору система повертається до стандартного режиму аналізу параметрів навколишнього середовища.

Важливим етапом тестування також стала перевірка коректності відображення інформації у середовищі Serial Monitor програми Arduino IDE. Отримані із сенсорів значення температури, вологості повітря та стану датчика дощу виводилися в режимі реального часу, що дозволяло візуально контролювати процес обробки даних та правильність роботи алгоритму.

У ході тестування не було зафіксовано затримок оновлення інформації або появи некоректних значень, що свідчить про стабільну роботу програмної частини системи.

Для більш детального аналізу було також проведено оцінку часу реакції системи на зміну контрольованих параметрів. Результати вимірювань наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати вимірювань

№	Подія	Час реакції, с	Результат
1	Підвищення температури понад поріг	1,1	Успішно
2	Виявлення атмосферних опадів	0,8	Успішно
3	Зниження вологості ґрунту	1,4	Успішно
4	Зміна рівня освітленості	1,0	Успішно

3.4 Оцінка ефективності та перспективи вдосконалення системи

Після проведення експериментального тестування та аналізу функціонування розробленої автоматизованої системи керування теплицею було виконано оцінку її ефективності з точки зору технічних характеристик, надійності роботи, швидкості реагування та можливостей практичного застосування.

Система в режимі реального часу виконує моніторинг температури, вологості повітря, вологості ґрунту та погодних умов, що дозволяє своєчасно реагувати на зміну зовнішніх факторів.

Під час проведених експериментів було встановлено, що середній час реакції системи після зміни контрольованого параметра не перевищує 2 секунд, що є достатнім для більшості тепличних застосувань. Датчики демонструють стабільність роботи, а виконавчі механізми забезпечують точне виконання команд.

Важливою перевагою системи є використання доступної мікроконтролерної платформи Arduino Nano, що дозволяє зменшити загальну вартість реалізації без втрати функціональності.

Для оцінки економічної доцільності було виконано розрахунок орієнтовної вартості компонентів системи, результати наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Результати вимірювань

№	Компонент	Кількість	Орієнтовна вартість, грн
1	Arduino Nano	1	300
2	DHT22	1	250
3	Датчик дощу	1	100
4	Макетна плата	1	120
5	Dupont	20	50
6	SG90	1	150
Загальна вартість		970	

Отримані результати свідчать про економічну доцільність використання розробленої системи як для невеликих приватних теплиць, так і для навчальних або експериментальних цілей.

Попри позитивні результати, система має потенціал для подальшого вдосконалення. Перспективними напрямками розвитку є інтеграція бездротових модулів передачі даних, створення мобільного застосунку для дистанційного керування, використання хмарних сервісів для збереження історії вимірювань, а також впровадження алгоритмів прогнозування мікрокліматичних параметрів.

Для більш повної оцінки ефективності розробленої системи було виконано аналіз її технічних, функціональних та експлуатаційних характеристик. Оцінювання проводилося за такими основними критеріями: точність вимірювання сенсорних пристроїв, швидкість реагування на зміну параметрів середовища, стабільність функціонування протягом тривалої роботи, зручність користування, простота монтажу та можливість масштабування системи.

За результатами проведених досліджень встановлено, що розроблена система забезпечує безперервний моніторинг основних параметрів мікроклімату в режимі реального часу, автоматичне прийняття рішень відповідно до закладених алгоритмів та своєчасне керування виконавчими механізмами. Це дозволяє значно знизити необхідність постійного втручання оператора в процес контролю стану

теплиці, що особливо актуально при тривалій експлуатації або використанні декількох тепличних секцій.

Однією з важливих переваг розробленого рішення є модульність конструкції. Використання мікроконтролерної платформи Arduino Nano дозволяє без значних змін у програмному коді або електричній схемі підключати додаткові сенсорні модулі, наприклад датчики атмосферного тиску, концентрації вуглекислого газу, швидкості повітряних потоків або кислотності ґрунту. Це створює широкі можливості для масштабування системи залежно від конкретних вимог користувача.

Також важливим аспектом є енергоефективність розробленого пристрою. Оскільки більшість компонентів працює при напрузі 5 В та характеризується відносно низьким енергоспоживанням, система може бути адаптована для автономної роботи від акумуляторних батарей або сонячних панелей. Такий підхід може бути особливо актуальним для використання в польових умовах або на віддалених аграрних об'єктах.

З економічної точки зору використання доступних електронних компонентів дозволяє суттєво знизити вартість реалізації системи порівняно з промисловими рішеннями автоматизації тепличних комплексів.

При цьому функціональні можливості розробленого прототипу забезпечують реалізацію основних задач моніторингу та керування мікрокліматом.

Додатково проводилася перевірка швидкодії системи при одночасній зміні декількох контрольованих параметрів. Зокрема моделювалися ситуації, коли одночасно підвищувалася температура повітря та фіксувалися атмосферні опади. У таких умовах система повинна була виконати декілька послідовних логічних операцій, визначити пріоритетність виконання команд та сформувати правильний керуючий сигнал.

Незважаючи на позитивні результати, подальший розвиток системи може передбачати інтеграцію бездротових модулів зв'язку, використання технологій Інтернету речей для дистанційного моніторингу, збереження історичних даних у хмарному середовищі, а також застосування алгоритмів машинного навчання для прогнозування змін мікроклімату та оптимізації режимів роботи теплиці.

Запропоновані напрями модернізації можуть суттєво розширити функціональні можливості системи та підвищити ефективність її практичного використання в умовах сучасного аграрного виробництва.

Для наочного представлення основних переваг розробленої системи було сформовано порівняльну характеристику, наведену в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Порівняльна характеристика

Параметр	Значення
Тип керування	Автоматичний
Напруга живлення	5 В
Час реакції	1 с
Кількість сенсорів	4
Кількість виконавчих пристроїв	2+
Можливість масштабування	Так
Відображення даних	LCD
Орієнтовна вартість	~1300 грн

Крім того, система може бути доповнена функцією автоматичного сповіщення користувача про аварійні ситуації або критичні зміни параметрів середовища. Це дозволить своєчасно реагувати на можливі несправності та забезпечить більш надійний контроль за процесом вирощування рослин.

Також перспективним напрямом є зменшення габаритів та енергоспоживання системи, що зробить її більш зручною для використання в невеликих домашніх теплицях та автономних аграрних комплексах.

ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи створено програмне забезпечення мікроконтролера для автоматизованого збору, обробки та аналізу даних із сенсорних модулів. Реалізовано алгоритми зчитування параметрів мікроклімату (температури, вологості та стану ґрунту) на базі мікроконтролерної платформи Arduino Nano, що забезпечує своєчасне реагування системи на зміну умов у теплиці.

Спроектовано структурну модель автоматизованої системи керування теплицею з рухомим дахом, у якій враховано основні параметри мікроклімату та взаємодію сенсорних і виконавчих елементів. Визначено принципи роботи системи, що дозволяють автоматично керувати механізмом рухомого даху для підтримання оптимальних умов вирощування рослин.

Проведено аналіз існуючих автоматизованих систем керування тепличними господарствами. Досліджено сучасні технічні рішення у сфері моніторингу та регулювання мікроклімату, що дозволило визначити їхні переваги та недоліки, а також обґрунтувати доцільність використання мікроконтролерних систем на базі Arduino Nano.

Запропоновано напрями подальшого вдосконалення розробленої системи, зокрема розширення функціональності за рахунок додавання нових сенсорів, впровадження бездротових технологій передачі даних та інтеграції з мобільними або веб-додатками для віддаленого моніторингу та керування.

Таким чином, розроблена система керування теплицею з рухомим дахом може бути ефективно використана для автоматизації процесів підтримання мікроклімату, підвищення врожайності та зменшення витрат ручної праці.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Науковий вісник Міжнародної асоціації науковців. URL: <https://man.org.ua/nv/index.php/about/article/download/275/398> (дата звернення: 30.04.2026).
2. Автопровітрювання теплиць: створення автоматичної вентиляції. URL: <https://teplitca.kiev.ua/ua/a428772-avtoprovetrivanie-teplits-sozdanie.html> (дата звернення: 30.04.2026).
3. Бібліотека VukLib. URL: <https://buklib.net/books/35508/> (дата звернення: 30.04.2026).
4. Використання технологій Інтернету речей в агробізнесі. URL: <https://agronomy.com.ua/statti/1625-vykorystannia-tekhnolohii-internetu-rechei-v-ahrobiznesi.html> (дата звернення: 30.04.2026).
5. Матеріали конференції NRMSE URL: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/13726/1/NRMSE2019_V2_P017-018.pdf (дата звернення: 30.04.2026).
6. Espressif Systems – мікроконтролери та модулі бездротового зв'язку. URL: <https://mikronika.net/collection/espressif> (дата звернення: 30.04.2026).
7. Автоматизація теплиці доступними засобами. URL: <https://firebox.com.ua/uk/avtomatyzatsiya-teplicy-dostupnyumu-sredstvamy/> (дата звернення: 30.04.2026).
8. Priva. Greenhouse technology and horticulture automation. URL: <https://www.priva.com/horticulture> (дата звернення: 30.04.2026).
9. Netafim. Greenhouse technology. URL: <https://www.netafim.com/en/greenhouse/> (дата звернення: 30.04.2026).
10. Огляд плат Arduino. *Distancionka*. URL: <https://distancionka.com/ua/blog/arduino/obzor-plat-arduino/> (дата звернення: 30.04.2026).
11. Мікроконтролер ATmega328 TQFP. *DIYLab*. URL: <https://diylab.com.ua/p131958480-mikrokontroler-atmega328-tqfp.html> (дата звернення: 30.04.2026).

12. LCD 1602 символний дисплей 16x2 синій. URL: <https://arduino.ua/prod169-lcd-1602-simvolnii-displei-16x2-sinii> (дата звернення: 30.04.2026).

13. Проєкти Arduino та електроніки. *Geekmatic*. URL: <https://geekmatic.in.ua/ua/projects/> (дата звернення: 30.04.2026).

14. Рижко В. В. Розробка системи моніторингу та керування вологісно-температурними режимами теплиці для сфери побуту. URL: <https://elar.khmn.edu.ua/bitstreams/1be49c1d-fc1a-4d23-b530-1f610d396a72/download> (дата звернення: 30.04.2026).

15. YL-83 модуль датчика дощу, води, снігу. *MyProject*. URL: <https://myproject.com.ua/yl-83-modul-datchika-doschu-vodi-snigu-ua.html> (дата звернення: 30.04.2026).

16. Датчики температури, вологості, тиску, якості повітря. *1Wire*. URL: <https://1wire.com.ua/shop/datchiki/> (дата звернення: 30.04.2026).

17. Серводвигун SG90 2кг 180. *Arduino в Україні*. URL: <https://arduino.ua/prod416-servoprivod> (дата звернення: 30.04.2026).

18. Тищенко К. В. Програмування систем збору і аналізу даних. Суми: Сумський державний університет, 2022. 168 с.