

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра комп'ютерної інженерії

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ

Завідувачка кафедри,
д-р техн. наук, проф.

_____ Ірина ЖУРАВСЬКА

«__» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

**Комп'ютерно-інтегрована система поливу
тепличного господарства**

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія»

Здобувач

_____ Богдан ПАВЛЕНКО
підпис

«__» _____ 2025 р.

Керівник д-р техн. наук, професор

 Віталій НІКОЛЬСЬКИЙ
підпис

«__» _____ 2025 р.

Миколаїв – 2025

Факультет	Комп'ютерних наук
Кафедра	Комп'ютерної інженерії
Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Освітній ступень	Магістр
Спеціальність	123 Комп'ютерна інженерія
Освітня програма	Комп'ютерна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри комп'ютерної інженерії

Ірина ЖУРАВСЬКА

«_____» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу здобувача

Павленко Богдан Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства

Затверджена наказом по ЧНУ ім. Петра Могили від 23.06.2025 № 165/1.

2. Строк представлення кваліфікаційної роботи « 10 » грудня 2025 р.

3. Очікуваний результат роботи та початкові дані, якщо такі потрібні

Розроблено систему автоматичного поливу і моніторингу стану середовища в середині теплиці, з допомогою SCADA і датчиків виміру тепла і вологості.

4. Перелік питань, що підлягають розробці:

Аналіз існуючих методів поливу в теплицях, можливості їх автоматизації. Обґрунтування вибору апаратних і програмних засобів. Проектування алгоритму роботи системи і її структури. Реалізація програмної частини. Аналіз і тестування результатів роботи системи, її продуктивності. Висновки щодо роботи системи і її можливих покращень.

5. Перелік графічних матеріалів

Скріншоти роботи; схема структури системи; блок-схема алгоритму роботи системи

6. Консультанти:

Консультант	Кафедра (організація)	Частина роботи

Керівник роботи



Особистий підпис

Віталій НІКОЛЬСЬКИЙ

Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ

Здобувач

Особистий підпис

Богдан ПАВЛЕНКО

Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ

Дата видачі завдання « 01 » _____ вересня _____ 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН
виконання кваліфікаційної магістерської роботи

Тема: ___ Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства ___

№	Найменування роботи	Початок	Закінчення	Примітки
1	Розробка та затвердження завдання на виконання КМР	01.09.2025	03.09.2025	Виконано
2	Огляд літератури за темою роботи	04.09.2025	18.09.2025	Виконано
3	Аналіз можливих підходів до виконання роботи	19.09.2025	26.09.2025	Виконано
4	Формування вимог і технічного завдання	27.09.2025	30.09.2025	Виконано
5	Вибір апаратної частини	01.10.2025	15.10.2025	Виконано
6	Розробка алгоритму роботи системи	16.10.2025	21.10.2025	Виконано
7	Розробка програмної частини системи	22.10.2025	12.11.2025	Виконано
8	Тестування системи	13.11.2025	24.11.2025	Виконано
9	Попередній захист	25.11.2025	25.11.2025	Виконано
10	Доопрацювання роботи	26.11.2025	04.12.2025	Виконано
11	Рецензування	05.12.2025	08.12.2025	Виконано
12	Завершення оформлення КМР та презентації	09.12.2025	11.09.2025	Виконано
13	Захист кваліфікаційної магістерської роботи	17.12.2025	17.12.2025	Виконано

Керівник роботи



Особистий підпис

Віталій НІКОЛЬСЬКИЙ

Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ

Здобувач

Особистий підпис

Богдан ПАВЛЕНКО

Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ

«_____» _____ 2025 р.

АНОТАЦІЯ

до кваліфікаційної магістерської роботи

«Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства»

Студент 605 гр.: Павленко Богдан Вікторович

Керівник: д-р техн. наук, професор Нікольський Віталій Валентинович

Ця робота присвячена створенню і проектуванню системи, котра забезпечує автоматичний процес поливу в тепличному господарстві, яка складається зі SCADA, як основного компоненту системи, і датчиків які виконують функцію захоплення інформації для SCADA. Головною метою проекту є створення системи, котра має покращити тепличне господарство, зменшивши витрати на робочу силу і воду.

При виконанні проекту головне напрямлення було закладено на зменшені витрат і покращення ефективності автоматизації в напрямку тепличного господарства.

Розроблена система включає в себе ПЛК, котрий отримує інформацію з датчиків і надсилає її на комп'ютер зі SCADA. ПЛК запрограмований на обробку отриманої інформації і за умови коли дані виходять за рамки норми, відправляє сигнал на важіль, котрий перемикає потік води. Датчики отримують інформацію про вологість і температуру ґрунту і встановлюються в кожному ряду рослин. ПК зі SCADA отримує інформацію і з допомогою інтерфейсу програмного забезпечення дозволяє моніторити усі підключені до системи датчики і бачити стан рослин у реальному часі. Також SCADA зберігає інформацію за потреби в перегляді зміни стану за певний проміжок часу.

Результатом роботи став розроблений прототип системи, яка являє собою комп'ютерно інтегровану систему поливу тепличного господарства, котра своїми рішеннями покращує ефективність, забезпечуючи зменшення в потребах води і робочої сили і допомагає в покращенні зручності під час вирощування в теплицях.

Пояснювальна записка магістерської роботи складається зі вступу, чотирьох розділів основної фахової частини, висновків і трьох додатків. У вступі визначається актуальність теми, її мета, об'єкт та предмет дослідження, та закладено основні завдання на магістерську роботу. У першому розділі проведено аналіз системи і готових рішень, описано вимоги до апаратної і програмної частини. У другому розділі описано вибір апаратної частини проекту, змодельовано схеми підключення і алгоритму роботи системи. В третьому розділі описано процес створення програмної частини системи, інтерфейсу для моніторингу та основного алгоритму, який прораховує чи потрібно вмикати полив. У четвертому розділі описано процес тестування системи, наведено приклади покращення ефективності у використанні води для різних культур і сезонів. У висновках наведено аналіз виконаної роботи та отримані результати дослідження. У додатку А наведено лістинг коду програмної частини. У додатку Б вказана наявність апробації роботи. У додатку В наведена перевірка роботи на унікальність.

Загалом, магістерська робота без додатків складає 76 с., містить 38 рис., 8 табл., і 20 джерел посилань.

Ключові слова: *тепличне господарство, SCADA, ПЛК, автоматизація, ефективність, система моніторингу.*

ABSTRACT

of the Master's Thesis

" Computer-integrated irrigation system for greenhouse farming"

Student: Bohdan Pavlenko

Supervisor: Dr. of Technical Sciences, Professor Vitaliy Nikolskyi

This work is devoted to the creation and design of a system that provides an automatic watering process in greenhouse farming, consisting of SCADA as the main component of the system and sensors that perform the function of capturing information for SCADA. The main goal of the project is to create a system that will improve greenhouse farming by reducing labor and water costs.

When implementing the project, the main focus was on reducing costs and improving the efficiency of automation in greenhouse farming.

The developed system includes a PLC that receives information from sensors and sends it to a computer with SCADA. The PLC is programmed to process the received information and, if the data exceeds the norm, sends a signal to a lever that switches the water flow. Sensors receive information about soil moisture and temperature and are installed in each row of plants. The PC with SCADA receives information and, with the help of the software interface, allows you to monitor all sensors connected to the system and see the condition of plants in real time. SCADA also stores information for viewing changes in status over a certain period of time, if necessary.

The result of the work was the development of a prototype system, which is a computer-integrated greenhouse irrigation system that improves efficiency by reducing water and labor requirements and helps to improve convenience during greenhouse cultivation.

The explanatory note of the master's thesis consists of an introduction, four chapters of the main professional part, conclusions, and two appendices. The introduction defines the relevance of the topic, its purpose, object, and subject of research, and lays the foundation for the master's thesis. The first chapter analyzes the system and ready-made solutions and describes the requirements for hardware and software. The second chapter describes the choice of hardware for the project and models the connection diagrams and the system's operating algorithm. The third chapter describes the process of creating the software part of the system, the monitoring interface, and the main algorithm that calculates whether irrigation should be turned on. The fourth chapter describes the process of testing the system and provides examples of improving water use efficiency for different crops and seasons. The conclusions provide an analysis of the work performed and the results of the research. Appendix A provides a listing of the software code. Appendix B indicates the availability of testing of the work. Appendix C provides a verification of the uniqueness of the work.

In total, the master's thesis without appendices consists of 76 pages, contains 38 figures, 8 tables, and 20 references.

Keywords: *greenhouse farming, SCADA, PLC, automation, efficiency, monitoring system.*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ АВТОМАТИЗУВАННЯ ТЕПЛИЧНОГО ГОСПОДАРСТВА.....	7
1.1 Історія створення теплиць	7
1.2 Системи поливу в теплицях	12
1.3 Вимоги до розроблюваної системи.....	20
Висновки до першого розділу	21
2 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КОМПОНЕНТІВ І МОДЕЛЕЙ РОЗРОБКИ	23
2.1 Вибір датчиків.....	23
2.2 Вибір ПЛК.....	33
2.3 Концептуальне рішення системи	35
2.4 Алгоритм роботи системи	37
Висновки до другого розділу.....	40
3 АПАРТНО-ПРОГРАМНА ЧАСТИНА СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ	42
3.1 Процес під'єднання апаратної частини	42
3.2 Налаштування датчиків і перетворювача	43
3.3 Вибір середовища роботи.....	45
3.4 Програмування ПЛК.....	47
3.5 Розробка інтерфейсу SCADA.....	53
Висновки до третього розділу	56
4 ТЕСТУВАННЯ І АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ	58
4.1 Методи і результати тестування	58
4.2 Аналіз ефективності роботи системи	62
4.3 Аналіз енергоефективності системи	62
4.4 Перевірка стабільності роботи системи	63

Кафедра комп'ютерної інженерії Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства	
Висновки до четвертого розділу.....	65
ВИСНОВКИ	67
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	69
ДОДАТОК А Код програми	72
ДОДАТОК Б Матеріали апробації	76
ДОДАТОК В Перевірка на унікальність	78

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ОЗП	– оперативний запам'ятовувальний пристрій
ОС	– операційна система
ПВХ	– полівінілхлорид
ПК	– персональний комп'ютер
ПЛК	– програмований логічний контролер
CNC	– Computer Numerical Control
HMI	– Human-Machine Interface
IDE	– Integrated Development Environment
IEC	– International Electrotechnical Commission
MQTT	– Message Queuing Telemetry Transport
NC	– Netcat
NFT	– Nutrient Firm Technique
RTU	– Remote Terminal Unit
SCADA	– Supervisory Control and Data Acquisition
TCP/IP	– Transmission Control Protocol/Internet Protocol

ВСТУП

В зв'язку з подіями у світі, існує тенденція збільшення кількості загального населення з року в рік, що відповідно призводить до збільшення потреб в певному типі продукції, ймовірною стає можливість дефіциту різних продуктів в різних регіонах планети.

В межах нашої країни, потреба в вирощуванні якісних овочів нагальна як ніколи. В зв'язку з повномасштабним вторгненням РФ велика кількість зрошувальних територій опинилася під окупацією. Провідні виробники овочевої продукції змушені були перенести виробництво на південь Одеської області, де і раніше спостерігався дефіцит води для поливу овочів. Тому все більшим стає попит на якісну продукцію харчування.

Одним зі способів вирішення цих проблем є впровадження технологій автоматизації в відомий метод вирощування якісних овочів – тепличне господарство. Тепличне господарство здатне забезпечувати попит на свіжі овочі незалежно від сезону, що може бути проблемою під час розгортання масового виробництва, адже налаштування мікроклімату для різної продукції відрізняються одне від одного. На цьому етапі нам і допоможе автоматизація процесу, що дозволить розвантажити догляд за теплицею, зменшить витрати води і допоможе перекинути важку роботу на техніку.

Мета: розробити систему моніторингу на основі SCADA для автоматизації процесу поливу.

Об'єкт дослідження: процеси автоматизації вирощування продукції в тепличному господарстві.

Предмет дослідження: система моніторингу на базі SCADA для автоматизації поливу.

Завдання:

- 1) ознайомитися з можливостями тепличного господарства, детально опрацювавши методики та процеси вирощування продукції в теплицях, етапами створення теплиць для розуміння їх будови і покращення системи при можливому розгортанні масового виробництва;
- 2) проаналізувати існуючі системи, визначити вимоги до технічної і програмної частини для розробки системи моніторингу для автоматизованого поливу;
- 3) обґрунтувати вибір використаних в процесі засобів і технологій;
- 4) змодельовати систему використовуючи сформульовані вимоги;
- 5) розробити систему для автоматичного поливу, описати отриманий результат;
- 6) провести тестування системи, обчислити отримані результати для порівняння з аналогами і довести що розроблена система справляється з поставленими завданнями краще.

Практичне значення: практичним значенням в результаті розробки має стати покращення процесу вирощування продукції в теплицях, зменшення витрат на ці процеси та прибрати важку роботу. Розроблена в процесі система матиме змогу без додаткового впливу зі сторони людини вести полив теплиці для вирощування якісних овочів. Додатково ця система буде зберігати отримані дані про мікроклімат в теплиці для можливого ознайомлення та додаткового налагодження в реальному часі та базі даних.

Апробація: пройдена під час Всеукраїнської науково-практичної конференції «Могилянські читання – 2025» [1].

1 АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ АВТОМАТИЗУВАННЯ ТЕПЛИЧНОГО ГОСПОДАРСТВА

1.1 Історія створення теплиць

Теплиця це будівля, призначення якої захист ніжних або позасезонних рослин від понаднормового холоду або спеки. У 17 столітті теплиці зазвичай являли собою цегляні або дерев'яні споруди з типовим співвідношенням площі вікон та оснащені простими системами обігріву. Зі здешевленням скла та появою більш досконалих форм опалення теплиця еволюціонувала в споруду з дахом і стінами, побудовану в основному зі скла з металевим або дерев'яним каркасом. До середини 19 століття теплиця еволюціонувала з простого укриття від несприятливих погодних умов у кероване середовище для вирощування рослин, пристосоване до потреб конкретних рослин [2].

У 19 столітті зростання доступності екзотичних рослин спричинило бурхливий розвиток тепличного господарства в Англії та інших країнах. Великі теплиці стали важливими об'єктами для сільського господарства, садівництва й ботаніки, тоді як менші споруди переважно використовувалися ентузіастами, колекціонерами та садівниками-аматорами.



Рисунок 1.1 – Приклад теплиці [1]

Сучасна теплиця представляє собою скляну або пластикову конструкцію з каркасом (рис. 1.1), яка використовується для вирощування фруктів, овочів, квітів та інших рослин, що потребують особливих температурних умов [3].

Основними конструкціями є теплиці прогонного типу з двосхилим дахом у формі літери А та теплиці пристінні, що мають лише один схил даху і прилягають до стіни будівлі. Іноді дві чи більше теплиць прогонного типу з'єднують між собою, щоб зменшити площу зовнішніх стін і, відповідно, скоротити витрати на опалення. Теплиця має значну площу скління на бокових стінах і даху, що забезпечує рослинам доступ до природного світла протягом більшої частини дня. Традиційно для скління використовують скло, однак часто застосовують і пластикові плівки – поліетиленові чи полівінілові, а також скловолокно. Каркас зазвичай виготовляють із алюмінію, оцинкованої сталі або деревини міцних порід, таких як секвойя, кедр чи кипарис.

Обігрів теплиці здійснюється частково за рахунок сонячної енергії, а частково – за допомогою штучних систем: циркуляції пари, гарячої води або гарячого повітря. Оскільки температура всередині може як підвищуватися, так і знижуватися, необхідна ефективна система вентиляції. Зазвичай вона включає дахові отвори, які відкриваються механічно або автоматично, а також отвори в торцевих стінах, через які вентилятори забезпечують рух і обмін повітря по всьому приміщенню.

Рослини, що вирощуються у теплицях, поділяють на групи залежно від їхніх потреб у нічній температурі. У прохолодних теплицях температура вночі знижується до 7–10 °С – у таких умовах добре ростуть гвоздики, фуксії, герані, запашний горошок, левиний зів і різноманітні цибулинні. У теплих теплицях температура тримається в межах 10–13 °С, що підходить для бегоній, фіалок, хризантем, орхідей, троянд, колеусів, а також багатьох папоротей, кактусів і сукулентів. У тропічних теплицях або парниках нічна температура становить 16–21 °С, що створює сприятливі умови для гарденій, пуансетій, пасифлор, пальм і різних видів орхідей. У країнах із прохолодним кліматом комерційні

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства
теплиці здебільшого використовують для вирощування теплолюбних овочів,
зокрема помідорів.

Тепличне господарство, або сільське господарство в контрольованому середовищі, передбачає вирощування рослин у спорудах, призначених для забезпечення оптимальних умов вирощування. Такі середовища дозволяють точно регулювати такі фактори, як температура, вологість, освітлення та вентиляція, що дає змогу вести виробництво цілий рік і захищати рослини від несприятливих погодних умов та шкідників.

Основні компоненти тепличної споруди:

- каркас, який зазвичай виготовляється з таких матеріалів, як алюміній, сталь або дерево, і забезпечує структурну підтримку;
- скління – прозорі матеріали, такі як скло або полікарбонатні панелі, покривають каркас, пропускаючи сонячне світло та утримуючи тепло;
- системи клімат-контролю, які включають в себе системи опалення, охолодження та вентиляції для підтримки оптимальних внутрішніх умов;
- системи зрошення – автоматизовані системи які забезпечують точне подавання води, часто з використанням гідропонних або аеропонних технологій;
- додаткове освітлення, таке як світлодіодні системи, подовжує світловий день та сприяє фотосинтезу, особливо в короткі дні.

Відмінності між тепличним і традиційним землеробством:

- контроль навколишнього середовища. Тепличне землеробство забезпечує контрольовані умови, зменшуючи ризики, пов'язані з непередбачуваними погодними умовами, тоді як традиційне землеробство піддається впливу коливань навколишнього середовища.
- ефективність використання ресурсів. У теплицях часто використовуються передові технології зрошення, що забезпечує більш ефективне використання води, ніж традиційні методи.

- використання простору. Інновації, такі як вертикальне землеробство в теплицях, дозволяють максимально використовувати простір, забезпечуючи більш високу щільність посівів і врожайність на одиницю площі.
- боротьба зі шкідниками та хворобами. Закритий характер теплиць зменшує вплив шкідників та хвороб, знижуючи залежність від хімічних пестицидів.
- різноманітність культур та подовження сезону. Теплиці дозволяють вирощувати більш широкий асортимент культур поза їх типовим вегетаційним періодом, забезпечуючи гнучкість у виробництві.

Тепличне господарство охоплює різні конструкції, пристосовані до конкретних сільськогосподарських потреб та екологічних вимог. Маємо огляд основних типів, що використовуються в сучасному сільському господарстві [4].

Скляні теплиці, забезпечують чудову світлопроникність і довговічність. Однак вони мають вищі початкові витрати і вимагають міцної конструктивної підтримки. Незважаючи на високу вартість, їх довговічність і естетична привабливість роблять їх кращим вибором для впевнених виробників.

Пластикові/поліетиленові теплиці, набули популярності завдяки своїй доступності та універсальності. Виготовлені з поліетиленової плівки, вони легкі і прості в установці. Хоча вони можуть мати коротший термін експлуатації, ніж скляні, досягнення в технології виробництва пластику поліпшили їхню міцність і стійкість до ультрафіолетового випромінювання.

Гідропонні теплиці (рис. 1.2), сприяють безґрунтовому землеробству, доставляючи багаті на поживні речовини розчини безпосередньо до коренів рослин. Цей метод економить воду і дозволяє точно контролювати поживні речовини, що призводить до швидшого росту і вищої врожайності. Гідропонні теплиці особливо ефективні в районах з поганою якістю ґрунту або обмеженою орною землею.



Рисунок 1.2 – Приклад гідропонної теплиці [2]



Рисунок 1.3 – Приклад аквапонної теплиці [2]

Аквапонні теплиці (рис. 1.3), поєднують аквакультуру з гідропонікою, створюючи симбіотичне середовище, в якому відходи рибного господарства забезпечують рослини поживними речовинами, а рослини допомагають фільтрувати та очищати воду для риб. Ця інтегрована система сприяє сталому сільському господарству та ефективному використанню ресурсів.

Теплиці на сонячній енергії, використовують фотоелектричні панелі для використання сонячної енергії, зменшуючи залежність від невідновлюваних джерел енергії. Такий підхід знижує експлуатаційні витрати та мінімізує вуглецевий слід сільськогосподарських операцій.

1.2 Системи поливу в теплицях

Вибір системи зрошення буде значною мірою залежати від асортименту рослин, які виробник планує вирощувати, розміру та складності виробництва, якості води, а також від того, скільки води є в наявності та коли вона доступна. У невеликих теплицях та теплицях, де вирощують різні види рослин, для зрошення можуть віддавати перевагу ручному поливу, тоді як у великих теплицях, де вирощують лише кілька видів рослин, можуть використовувати складні напівавтоматичні системи, які можна запрограмувати для поливу всього асортименту тепличних культур, наприклад, за допомогою верхньої стріли, мікророзпилювачів або заливного зрошення підлоги. Три типи систем зрошення, що використовуються в тепличних системах виробництва – це надземні системи (які подають зрошувальну рідину на поверхню субстрату), підземні системи (які подають воду до основи кореневої зони і використовують капілярний ефект для подачі води в кореневу зону знизу) та гідропонні системи, які вимагають вирощування рослин у воді [5].

1.2.1 Надземні системи

Найпоширенішою формою зрошення в теплицях є верхнє зрошення, при якому вода подається на поверхню субстрату вручну за допомогою шлангу, мікрозрошення, верхніх розприскувачів або стріли. У системах верхнього зрошення поживний розчин подається на верхню поверхню субстрату в ящику або горщику, а надлишок розчину може стікати з дна контейнера в навколишнє середовище. Системи верхнього зрошення, які також називають відкритими системами зрошення, можуть запобігати накопиченню солей добрив у субстраті і встановлюються з відносно невеликими витратами.

Мікрозрошення (рис. 1.4) або система крапельного зрошення є на сьогодні найпоширенішим методом зрошення в тепличних системах виробництва [6]. Мікрозрошення призначене для подачі води з дуже низькою швидкістю безпосередньо до кореневої зони рослин. Системи мікрозрошення

можна розділити на дві категорії: точкові емітери та лінійні емітери. Емітер – це дозуючий пристрій із пластику, який забезпечує невеликий, але точний випуск води в зону коренів рослин. Точкові емітери найкраще підходять для контейнерних тепличних культур. Точкові емітери можна вставити безпосередньо в бічну подавальну трубу або, що частіше, підключити до кінця тонких поліетиленових мікротрубок, які часто називають спагеті-трубками. Мікротрубки підключаються безпосередньо до 0,75-дюймової (19 мм) поліетиленової або ПВХ-труби, яка зазвичай проходить по центру лавки або ряду від кінця до кінця.



Рисунок 1.4 – Приклад системи мікрозрошення [6]

Системи мікрозрошення використовують менше води і не змочують стебла або листя рослин під час поливу, тому ймовірність виникнення хвороб мінімальна. Ці системи можна розширювати за потреби, вони мають низькі енерговитрати і можуть бути адаптовані до теплиць, контейнерів для рослин, піднятих грядок, чагарників, підвісних кошиків тощо. Системи мікрозрошення зазвичай вимагають менше енергії для роботи, оскільки крапельні аплікатори потребують нижчого робочого тиску, ніж розприскувальне зрошення.

Альтернативою стаціонарним системам мікрозрошення є мобільні стріли для поливу (рис. 1.5) [6]. Система зрошення з стрілою складається з

2025 р. Павленко Богдан

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства

труби, яка подає воду до форсунок, прикріплених уздовж її довжини. Розпилювальна штанга зазвичай охоплює всю ширину теплиці, від стовпа до стовпа в рядах, з'єднаних жолобами, або від бічної стіни до бічної стіни в окремо стоячих конструкціях. Вона може зрошувати всю ширину або тільки частини, відповідно до розташування лавок або конфігурації проходів. У деяких випадках форсунки створюють розпилення, схоже на систему розприскувачів, а в інших випадках вода тече струменем на рослини, що знаходяться нижче.



Рисунок 1.5 – Приклад системи з використанням стріли для поливу [6]

В останньому випадку рослини потрібно розміщувати дуже точно під траєкторією стріли, а субстрат повинен мати відповідну насипну щільність і консистенцію, щоб потік води не вимивав його з горщика і не перекидав рослини. Водяну стрілу можна вмикати і вимикати автоматично, а також регулювати кількість води, що подається, коли вона проходить над різними блоками рослин на своєму шляху вниз по секції.

Системи зрошення штангою забезпечують рівномірне зрошення зверху та індивідуальне подавання води до кожної рослини. Потрібно менше води, оскільки система може працювати так, щоб забезпечити оптимальну кількість води для культури. Використання систем зрошення стрілою також покращує ефективність використання простору в теплиці.

Зрошення за допомогою розприскувачів (рис. 1.6) вимагає більш високого робочого тиску, ніж інші засоби зрошення [6]. Розприскувачі забезпечують рослинам відносно високу швидкість подачі води, створюючи покрив опадів, схожий на дощ. Ці системи найкраще використовувати з пакетами рослин, невеликими контейнерами, розсадою або пророщеним насінням, де крапельні трубки або емітери були б недоцільними.



Рисунок 1.6 – Приклад системи поливу з допомогою розприскувачів [6]

Розприскувальні системи мають можливість наносити хімічні речовини на нижню сторону листя, де можуть ховатися комахи та їх яйця. Це допомагає запобігти захворюванням рослин та грибковим проблемам, спричиненим поширеними шкідниками. Що стосується пророщування, то верхні розприскувачі подають воду на всю поверхню субстрату за схемою, схожою на дощ. Схема, схожа на дощ, робить розприскувачі придатними для

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства
пророщування. Основними недоліками таких систем є необхідність високого
робочого тиску насоса та низька ефективність застосування.

1.2.2 Системи підземного зрошення

Системи підземного зрошення (рис. 1.7) подають зрошувальну рідину в зону коренів знизу [6]. При підземному зрошенні водоймище заповнюється водою до тих пір, поки рівень води не досягне середовища. Після цього капілярна дія (притягання молекул води одна до одної та до інших поверхонь) переміщує воду вгору через середовище і по всьому контейнеру. Пористість середовища та його тип є основними факторами, що визначають висоту та швидкість насичення. Підземне зрошення широко використовується в європейській тепличній галузі. Однак у Сполучених Штатах багато тепличних виробників вказують, що високі початкові інвестиційні витрати та відсутність технічної інформації про виробництво перешкоджають впровадженню цієї технології.



Рисунок 1.7 – Приклад системи підземного зрошення [6]

Незважаючи на відносно високі початкові інвестиційні витрати, системи підземного зрошення є привабливими для виробників, оскільки вони добре працюють практично для всіх рослин у горщиках і для більшості рослин для

клумб. Полив є дуже рівномірним, трудомісткість поливу мінімальна, а заливні підлоги (і, в дещо меншій мірі, лавки) забезпечують велику гнучкість у розміщенні культур, виборі контейнерів та ефективному використанні простору. Листя не намокає, тому менше проблем із поширенням хвороб листя, що зменшує використання фунгіцидів. Горщики різних розмірів можна вирощувати в одній зоні поливу, оскільки капілярна дія природним чином регулює поглинання. Повна рециркуляція зрошувальної води означає нульовий стік, і виробники відчують все більший тиск з метою зменшення або усунення скидання зрошувальної води.

Найчастіше згадуваною перевагою є економія праці, необхідної для поливу рослин – одна людина може поливати тисячі рослин, керуючи системою затоплення вручну або за допомогою комп'ютера. Полив є дуже рівномірним; праця, необхідна для поливу, є мінімальною; а затоплені підлоги (і, в дещо меншій мірі, лавки) забезпечують велику гнучкість у розміщенні культур, виборі контейнерів та ефективному використанні простору. Багато виробників відзначають більш рівномірний ріст рослин і менше захворювань листя при підземному зрошенні. Збільшення рівномірності росту рослин може бути результатом більш рівномірного і повного зволоження середовища росту та кращого розподілу поживних речовин, що поглинаються капілярним потоком.

1.2.3 Гідропонні системи

Гідропонні системи відносяться як до справжніх систем водної культури, так і до виробництва в безґрунтових субстратах з використанням відносно інертних середовищ для вирощування [7]. Переваги гідропоніки включають точний контроль над умовами кореневої зони, такими як рН, електропровідність, міра концентрації добрив і, в деяких випадках, температура і розчинений кисень. Такий точний контроль дозволяє оптимізувати продуктивність рослин, а також дає можливість вирощувати

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства
продовольчі культури в умовах поганого ґрунту. Хоча вирощування в
теплицях у ґрунті є можливим, з часом це може ставати все більш складним
через розвиток хвороб коренів або накопичення солей добрив. Три
найпоширеніші гідропонні системи, що використовуються сьогодні, – це NFT,
система плавучих плотів та аеропонна система (рис. 1.8).

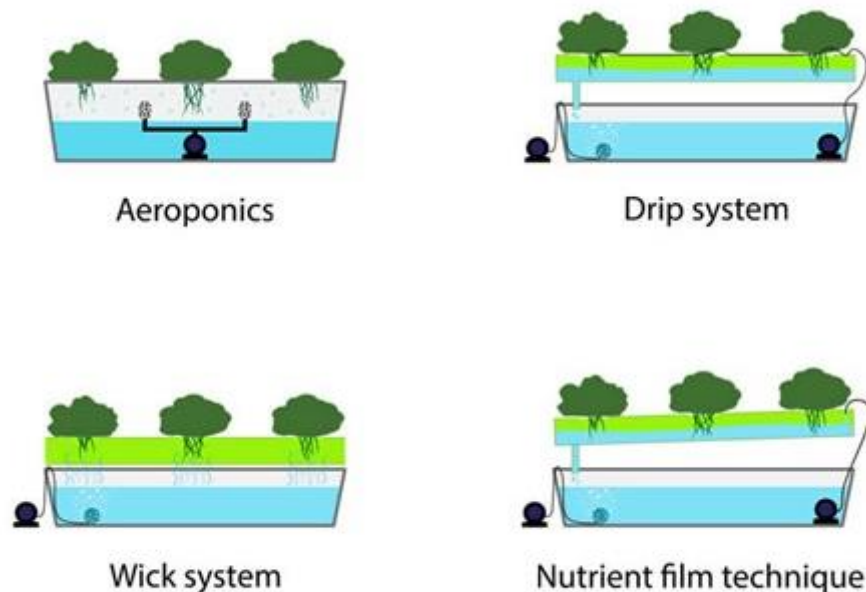


Рисунок 1.8 – Приклади гідропонних систем поливу [7]

Аеропоніка – це вдосконалений метод гідропоніки, при якому поживні розчини розпилюються у вигляді дрібного туману і розпилюються безпосередньо на коріння рослин. У цій системі коріння рослин вільно звисає всередині герметичної камери для вирощування, де вони поглинають розпилені поживні речовини і підтримують високий рівень вологості. Ця техніка покращує поглинання поживних речовин і оптимізує споживання кисню, запобігаючи дефіциту кисню, який часто спостерігається в традиційних гідропонних системах.

Крапельна гідропоніка є однією з найпоширеніших систем на основі субстрату. Вона використовує систему крапельного зрошення для подачі поживних розчинів до середовища вирощування через певні проміжки часу. Коріння рослин поглинає воду та поживні речовини з середовища, а надлишок

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства
розчину або рециркулюється (система з рециркуляцією), або відкидається
(система без рециркуляції).

Система гніту є одним з найпростіших методів гідропоніки на основі субстрату. Вона працює за принципом капілярної дії, коли матеріали гніту (такі як бавовняні мотузки або смужки тканини) всмоктують поживний розчин із резервуара в середовище для вирощування. Цей метод не вимагає насосів або електроенергії.

Технологія поживної плівки (NFT) широко використовується в таких країнах, як Великобританія, з 1975 року. Ця система використовує тонкий шар поживного розчину (глибиною від декількох міліметрів до 1-2 см), що дозволяє корінню контактувати з повітрям і покращує поглинання кисню. Сучасні системи NFT складаються з каналів для вирощування, резервуара для поживних речовин, системи циркуляції та автоматизованого блоку управління. Багато сучасних теплиць використовують автоматизоване дозування поживних речовин для забезпечення точного їх надходження.

Серед переваг гідропонних систем – більш ефективне використання води в теплиці. Рослини потребують достатньої кількості води для нормального росту, але традиційні методи вирощування призводять до надмірних витрат. У порівнянні з іншими методами вирощування, гідропонні системи вважаються більш ефективними з точки зору використання води, оскільки воду можна використовувати повторно. Вони використовують у 10 разів менше води, ніж звичайні системи на ґрунті. Гідропонні системи допомагають вирощувати свіжі фрукти та овочі, не займаючи багато місця.

Існує ряд різних культур які можна вирощувати в теплицях та інших контрольованих середовищах, які придатні для використання гідропонних систем поливу [9]. Однак з точки зору виробничих систем, для простоти їх можна розділити на три основні категорії: листові культури (салат, зелень і кулінарні трави), лозові культури (помідори, перець, огірки та баклажани) і дрібні плодові культури (полуниця та ожина).

1.3 Вимоги до розроблюваної системи

Які існують автоматизовані методи зрошення в теплицях [8]:

– зрошення за часом, планується через фіксовані проміжки часу.

Простий метод, але може призвести до недостатнього або надмірного зрошення у разі зміни погоди.

– зрошення на основі датчика вологості ґрунту, запускається, коли вологість ґрунту падає нижче порогового значення. Забезпечує рослинам завжди оптимальну кількість води.

– зрошення на основі кліматичних даних (на основі евапотранспірації), використовує дані про навколишнє середовище (температура, вологість, сонячна радіація) для розрахунку потреби рослин у воді. Більш точний метод, але вимагає використання сучасних датчиків і моделей.

– зрошення на основі стану рослин, використовує фізіологічні показники рослин (температура листя, тургор, провідність продихів). Забезпечує зрошення відповідно до фактичного рівня стресу рослин.

Для досягнення максимальної ефективності системи доцільно буде поєднати декілька з представлених методів, а саме отримувати пакет інформації з датчиків про вологість ґрунту, температуру і вологість навколо рослини і за можливості кількість сонячного світла що отримує рослина.

З огляду на різні потреби овочів і необхідність ротації культур, найбільш доцільним є використання надземних систем поливу. Вони прості у встановленні, доступні за ціною та легко підлаштовуються під зміну культур – на відміну від підземних систем зрошення чи гідропоніки.

Остаточний вибір типу надземної системи поливу слід робити після аналізу параметрів сенсорів, що збирають дані про стан рослин. Неправильне поєднання, наприклад, системи розприскування з датчиком, який не є захищеним від води, може призвести до некоректної роботи всієї системи. Ці ж датчики, які плануються використовувати для однієї або гілки рослин, повинні мати змогу передавати данні по одному з каналів безпроводного

2025 р. Павленко Богдан

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства
зв'язку, адже використання кабелів в системі з водою може призвести до поганих наслідків.

Для моніторингу стану теплиці було обрано SCADA. Система SCADA є потужним рішенням для моніторингу та контролю віддалених процесів. Автоматизовані теплиці можуть використовувати мікроконтролери або релейні перемикачі, але вони можуть вимагати високих витрат на обслуговування з мінімальною можливістю модернізації. Система SCADA може бути легко розроблена та модернізована, тому реєстрація та архівування, формування звітів та обробка тривожних сигналів є частиною більшості програмного забезпечення SCADA, що допоможе утворити візуальний зв'язок між оператором і системою.

Моніторити систему будемо через SCADA, а отримувати інформацію з датчиків і передавати її до системи будемо з допомогою ПЛК. ПЛК чудово взаємодіє з SCADA, має можливість отримувати інформацію з датчиків і передавати її до системи і найголовніше, отримувати зворотну інформацію від SCADA і подавати сигнали на клапани, що перемикають потік води в системі.

Система моніторингу має знаходитися в окремій зоні приміщення куди не буде потрапляти волога, бути пристосованою до змін вологи, або винесена за межі теплиці. Всі інші елементи системи мають бути гідрофобні, пропускати воду або бути захищеними від впливу вологості середовища.

Висновки до першого розділу

Проаналізовано галузь сільського господарства, а саме тепличне господарство як один з засобів забезпечення якісної продукції в будь-яку пору року. Проаналізовано види і будову теплиць для подальшого розуміння умов виробничого середовища при проєктуванні системи.

Досліджено готові рішення для підтримування мікроклімату в теплицях, а саме можливі варіації систем поливу, проаналізовано їх недоліки і плюси використання для різних видів рослин.

Проаналізовано ринок потреб на овочі в Україні, можливості їх вирощування в теплицях, та простоту встановлення такого виробництва.

Наслідком проведеного аналізу стало визначення основного компоненту підтримки мікроклімату в теплиці, а саме системи поливу. Хоча точної системи обрано не було, був обраний один з напрямків, котрий посприяє на вибір складових в системі в наступному розділі, в якому остаточно буде вирішено це питання.

2 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КОМПОНЕНТІВ І МОДЕЛЕЙ РОЗРОБКИ

2.1 Вибір датчиків

Першим кроком для початку розробки нашої системи є вибір датчиків, котрі будуть вимірювати і передавати інформацію про навколишнє середовище. В нашому випадку це датчики вимірювання температури і вологості для ґрунту в якому посаджена рослина, саме з допомогою цих датчиків буде здійснюватися автоматизація поливу. Додатково розглянемо датчики для вимірювання температури і вологості середовища навколо рослини, адже для успішного тепличного вирощування треба знати ці параметри. Хоча автоматизована система поливу не зможе регулювати ці параметри так ж успішно, буде доцільно встановити датчики для їх виміру, для додаткового моніторингу і втручання зі сторони людини за можливості.

2.1.1 Датчики для ґрунту

Проаналізувавши ринок датчиків виміру параметрів ґрунту можна виділити дві групи кандидатів – датчики компанії TuYa, які працюють бездротово і передають інформацію з допомогою Zigbee, і групу датчиків, котрі працюють за кабельним протоколом передачі RS485. Розглянемо приклади датчиків з кожної групи.

Першим розглянемо датчик компанії TuYa, а саме модель QT-07S (рис. 2.1). Опис товару від виробника – бездротовий прилад для вимірювання температури та вологості ґрунту, який може одночасно їх вимірювати і підключатися до додатка TuYa через Zigbee, додаток може відображати дані про температуру та вологість у режимі реального часу. Зонд із нержавіючої сталі, точне вимірювання, корозійна стійкість, стійкість до електролізу, стабільна робота, водонепроникність IP67, запобігає потраплянню вологи всередину корпусу, хороша герметичність. Підходить для різних типів ґрунту,

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства
може використовуватися для рослин у горщиках, овочевих теплиць, городніх
полів, газонів та інших місць.



Рисунок 2.1 – Датчик вимірювання вологості і температури ґрунту TuYa
QT-07S

Далі отримуємо специфікацію параметрів від виробника для даного датчика в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Специфікація датчика QT-07S

Параметр	Характеристика
Діапазон вимірювання вологості	0~100%
Точність вимірювання вологості	0~50% ($\pm 3\%$), 50~100% ($\pm 5\%$)
Діапазон вимірювання температури	-20°C~60°C
Точність вимірювання температури	1°C
Протокол зв'язку	Zigbee
Час відгуку додатка	60 с
Джерело живлення	2 батареї типу AA
Розмір	120*180*46,5 мм
Довжина зонда	60 мм
Клас захисту	IP67

Як можна побачити з таблиці специфікації, загалом даний датчик підлягає під всі наші потреби, троте є декілька пунктів вартих уточнення. Джерелом живлення є дві батареї типу AA, що може стати проблемою для великих систем, коли батареї розрядяться. Загальна максимальна потужність

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства
серед усіх моделей AA батарежок є 2600 мАгод, при умові, що отримуємо заряд в 5200 мАгод на один датчик. В специфікації не вказано яку кількість енергії пристрій споживає на день, тому розрахунки будемо проводити з відгуків користувачів в інтернеті. Велика кількість споживачів скаржаться на швидкий розряд батареї, деякі точно вказують на числа від 100% заряду до 20% за 6 тижнів.

Враховуючи, що найменшою середньою потужністю яку підтримують моделі AA батарежок є 1800 мАгод, і вважаючи що користувач який надав інформацію про розрядку пристрою використовував найменш місткісні батареї можна вирахувати, що використовуючи батареї на 2600 мАгод можна продовжити життя пристрою без заміни батарежок на 4 тижні, що в сумі складатиме приблизно 12 тижнів до повної розрядки батарежок. Загалом, для більшості рослин що можна вирощувати в теплиці, цього вистачить на один цикл збору врожаю, проте якщо залишати рослини на наступні цикли, прийдеться додатково замінювати батареї і налаштовувати датчики ще раз, що не є оптимальним.

Розглянемо протокол зв'язку, на цих датчиках він Zigbee, формат що має свої переваги і недоліки. Переваги:

а) за допомогою технології Zigbee можна підключити тисячі вузлів. Одна мережа може підтримувати до 65000 вузлів. Це сприяє постійному розширенню діапазону передачі. Це допомагає у великому просторі;

б) технологія Zigbee ідеально підходить для пристроїв з низьким енергоспоживанням. Вона підтримує невеликі смарт-пристрої, що працюють від батареж, мітки об'єктів, датчики та інші подібні пристрої. Ці невеликі пристрої підходять для цієї технології, оскільки вона не потребує великої пропускної здатності;

в) Zigbee — це мережа типу mesh. Як результат, Zigbee має мережу, яку можна розширювати. У порівнянні з одним маршрутизатором, Wi-Fi або Bluetooth, вона забезпечує більшу стабільність. Контент може розширюватися,

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства

оскільки окремі вузли в цій технології діють як ретранслятори або бездротові маршрутизатори. Крім того, оскільки технологія підтримує кілька вузлів, розширити мережу простіше;

г) структура технології Zigbee дуже адаптивна. Вона має простий процес установки і є дешевшою відносно аналогів. Ця технологія має короткий робочий період і тривалий термін служби батареї;

д) технологія Zigbee проста в відстеженні та управлінні. Її легко обслуговувати за допомогою пульта дистанційного керування, оскільки вона в основному використовується для побутової техніки. Центральний контролер відсутній. Навантаження цієї технології розподіляються рівномірно по всій мережі.

Недоліки:

1) перешкоди в мережі є поширеною проблемою технології Zigbee. Це пов'язано з перенавантаженням мережі та шумом на каналі. Однією з головних причин цього є використання діапазону 2,4 ГГц. Цей діапазон також використовується пристроями Bluetooth, бездротовими телефонами, мікрохвильовими печами та іншими бездротовими пристроями. Технологія чутлива до перешкод;

2) Zigbee призначена для передачі даних з низькою швидкістю, вона має нижчу швидкість передачі, ніж Bluetooth і Wi-Fi. Вона також непридатна для високошвидкісної передачі даних;

3) існує багато ризиків безпеки, пов'язаних з технологією Zigbee. Навмисні перешкоди можуть призвести до втрати мережевих послуг. Це також може спричинити крадіжку даних з вузла або крадіжку всього вузла.

Як ми бачимо, використання цього протоколу для наших цілей має місце бути, адже багато з позитивних сторін технології співпадають з нашими вимогами, а недоліки протоколу не відіграватимуть для нас великої ролі. Однак, виробник даної моделі потребує для коректної роботи окремо придбати

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства
їх хаб, котрий буде збирати інформацію з усіх датчиків, і відправляти її до застосунку компанії.

Проблема в даному випадку полягає в тому, що отримувати данні з програми в режимі офлайн неможливо, так само як і неможливо отримувати інформацію з датчиків, якщо вони не під'єднані до мережі компанії. Додатково, всі дані що передаються зашифровані протоколом безпеки, тобто отримувати дані окремо від застосунку компанії буде дуже важко. На просторах інтернету існують декілька варіантів вирішення цієї проблеми, проте всі вони потребують перепрошивки як і самих датчиків, так і хабу, що для більшості користувачів які намагалися це зробити закінчувалося несправністю девайсів.

Наступним розглянемо датчик який працює за протоколом RS485 (рис. 2.2) [19].



Рисунок 2.2 – Датчик RS485 для моніторингу температури та вологості ґрунту

Опис товару від виробника – датчик ґрунту RS485 призначений для моніторингу температури та вологості ґрунту в режимі реального часу, ідеально підходить для великомасштабних сільськогосподарських застосувань, управління теплицями та автоматичних систем зрошення фруктових садів. Використовуючи протокол MODBUS-RTU через RS485-комунікацію, датчик забезпечує надійний і швидкий збір даних з широким діапазоном напруги 5-30 В, що робить його сумісним з різними системами зрошення та клімат-контролю. Його міцна конструкція має рівень захисту IP68 та зонд із нержавіючої сталі 316, що забезпечує довговічність у суворих умовах навколишнього середовища.

Специфікація параметрів від виробника представлена у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Специфікація датчика RS485 [18]

Параметр	Характеристика
Діапазон вимірювання вологості	0~100%
Точність вимірювання вологості	0-50% ($\pm 2\%$), 50-100% ($\pm 3\%$)
Діапазон вимірювання температури	-40°C~80°C
Точність вимірювання температури	0.5°C
Протокол зв'язку	RS485
Споживання енергії	0,5 Вт при 24 В
Джерело живлення	5-30 В постійного струму
Розмір	123*45*15 мм
Довжина кабелю	2 м
Клас захисту	IP68

Як можна побачити зі специфікації, даний датчик по всім параметрам випереджає попередній, проте є дротовим і потребує постійного джерела живлення. Використання постійного джерела живлення в нашому випадку є оптимальним рішенням, адже для роботи цього датчика можна використати джерело 24 В, що є робочою напругою більшості ПЛК, тобто обидва ключових компоненти системи будуть живитися від одного джерела, що є набагато вигіднішим при проектуванні.

Розглянемо протокол зв'язку RS485. Переваги:

- протокол RS485 використовує напівдуплексний режим зв'язку, тобто дві сторони, що спілкуються, можуть по черзі надсилати та отримувати інформацію, але не одночасно. Цей режим спрощує конструкцію апаратного забезпечення та реалізацію протоколу зв'язку;
- RS485 використовує диференціальну передачу сигналу для передачі даних через різницю напруги двох сигнальних ліній. Цей метод має сильну здатність до протидії електромагнітним перешкодам, що робить передачу даних більш стабільною та надійною;
- протокол RS485 використовує комбіновану конструкцію збалансованого драйвера та диференціального приймача, що ще більше покращує протидію перешкодам та забезпечує точність і стабільність передачі даних;
- шина RS485 може підключати кілька пристроїв, а існуючий чіп RS485 підтримує драйвери для підключення 32, 64, 128, 256 та інших різних пристроїв. Він підходить для сценаріїв, де необхідно з'єднати між собою кілька пристроїв, таких як промислова автоматизація. Ця можливість багатоточкової комунікації робить RS485 широко використовуваним у складних системах;
- протокол RS485 підтримує швидкість передачі даних до 10 Мбіт/с, що може задовольнити потреби у високошвидкісній передачі даних і підходить для сценаріїв застосування, що вимагають швидкого обміну даними;
- при низьких швидкостях передачі (наприклад, нижче 100 Кб/с) відстань передачі RS485 може досягати 1200 метрів. Ця можливість передачі на великі відстані дає RS485 явну перевагу в додатках, що вимагають зв'язку на великі відстані. Більшу відстань передачі можна досягти за допомогою ретранслятора;
- система RS485 може стабільно працювати протягом тривалого часу і підходить для застосувань, що вимагають високонадійного зв'язку;

– RS485 використовує спеціальну дротову лінію зв'язку, на якій передаються тільки сигнали зв'язку, а зовнішні сигнали перешкод значно ослаблюються. Це дозволяє системі передавати дані з більш високою швидкістю, щоб забезпечити якість зв'язку.

Недоліки:

– протокол RS485 підтримує тільки напівдуплексний режим зв'язку, і обидві сторони не можуть одночасно відправляти і отримувати дані. Існують обмеження в додатках, які вимагають двостороннього зв'язку в режимі реального часу;

– система RS485 вимагає прокладання спеціальних ліній зв'язку, особливо коли обладнання розкидане, обсяг робіт з прокладання кабелів великий і складний, що впливає на зручність і впорядкованість будівництва. Для деяких середовищ установки складність і витрати часу на прокладання кабелів високі;

– лінії зв'язку системи RS485 потрібно регулярно перевіряти та обслуговувати, щоб забезпечити їх нормальну роботу. Пошкодження лінії (наприклад, розрив або корозія) безпосередньо впливає на ефективність зв'язку і потребує своєчасного ремонту або заміни. Це збільшує подальші витрати на обслуговування та навантаження на систему, особливо на обслуговування зовнішніх відкритих ліній. Враховуючи переваги і недоліки цього протоколу, його використання в нашому випадку має місце бути.

Таблиця 1.3 – Різниця між IP67 і IP68

Характеристика	IP67	IP68
Захист від води	Тимчасове занурення на глибину до 1 метра.	Занурення на глибину, що визначається виробником протягом 30 хвилин або довше.
Захист від пилу	Повний захист від пилу та твердих частинок.	Повний захист від пилу та твердих частинок.
Типове використання	Захист від випадкових	Активний відпочинок, водні процедури, зйомка під водою (якщо це дозволено виробником).

Характеристика	IP67	IP68
	бризок, дощу, падінь у воду.	

Також розглянемо різницю в стандартах захисту IP67 і IP68 для обох датчиків в табл. 1.3. Обидва зі стандартів можна використовувати при методі поливу з допомогою мікрозрошування, тому цей варіант ми і оберемо для організації автоматизації.

Загалом, після порівняння двох датчиків між собою, можна виділити другий варіант RS485 як наш вибір, при його використанні можливо будуть проблеми на етапі встановлення системи, проте коли система вже буде працювати цей варіант покаже себе краще.

2.1.2 Датчики для повітря

Використовуючи проаналізовані раніше дані [14], отримуємо інформацію, що при встановленні одного датчика в середині теплиці загальні показники температури за добу можуть досягати значень від 0 °C до 2,5 °C більше, ніж при використанні декількох датчиків розташованих по периметру теплиці. Відштовхуючись від цього оберемо один датчик для вимірювання температури і вологості повітря, який будемо встановлювати в середині приміщення. Так як датчики для вимірювання стану ґрунту використовують протокол RS485, оберемо датчик з таким самим протоколом передачі (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Датчик для вимірювання температури і вологості повітря

Цей датчик температури та вологості повітря містить алгоритм, що забезпечує надзвичайно високу точність процесу збору даних. Крім того, високий рівень толерантності до умов експлуатації та низька вартість електроенергії забезпечують рішення з тривалим терміном експлуатації та економією людських ресурсів. Додатково, він може кріпитися на стіни і стелю.

Специфікація параметрів від виробника представлена у табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Специфікація датчика для вимірювання стану повітря [19]

Параметр	Характеристика
Діапазон вимірювання вологості	0~100 %
Точність вимірювання вологості	±3 %
Діапазон вимірювання температури	-40 °С +80 °С
Точність вимірювання температури	±0.3°С
Протокол зв'язку	RS485
Споживання енергії	4 мА при 24 В
Джерело живлення	3.6–30 В постійного струму
Довжина кабелю	2 м
Клас захисту	IP54

Обраний датчик підходить під нашу систему і його можна легко змонтувати, що надасть додаткову допомогу при моніторингу системи.

2.2 Вибір ПЛК

Головними параметрами при виборі ПЛК є протоколи передачі даних, бажано щоб наша система працювала на одному протоколі, достатня кількість портів для вводу і виводу, щоб можна було під'єднати всі наші пристрої. В результаті пошуку вибір пав на ПЛК Siemens 24RCE0 (AC) (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Програмований логічний контролер

Завдяки модульній конструкції, широким можливостям розширення і розширеним функціям зв'язку пристрій забезпечує високу гнучкість і надійність в різних областях застосування.

Контролер має 8 цифрових входів і 4 релейних бінарних виходи (навантажувальна здатність до 10 А), що дозволяє керувати різними пристроями. Інтерфейс Ethernet (RJ45) забезпечує легку інтеграцію з мережею і обмін даними з іншими пристроями, системами SCADA і контролерами ПЛК. Може бути розширений додатковими модулями вводу/виводу, розширюючи його функціональність відповідно до системних вимог.

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства
Контролер підтримує протокол MQTT, що забезпечує інтеграцію з системами IoT і хмарними сервісами, що робить його ідеальним рішенням для сучасних додатків віддаленого моніторингу та управління. Вбудований веб-сервер (Web Server) дозволяє зручно керувати системою через веб-браузер без необхідності використання додаткового програмного забезпечення.

Завдяки підтримці карт Micro SD, контролер дозволяє реєструвати дані процесу, що надзвичайно корисно в додатках, що вимагають реєстрації робочих параметрів пристрою. Специфікація пристрою представлена в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Специфікація ПЛК [20]

Параметр	Характеристика
Кількість аналогових/цифрових входів	8
Кількість релейних виходів	4
Пам'ять	400 блоків
Підтримка карт пам'яті	Micro SD
Протокол зв'язку	Ethernet(RJ45)
Діапазон робочих температур	-20°C~55°C
Джерело живлення	24 В постійного/змінного струму
Розміри	71,5 * 90 * 58 мм

Хоч обраний ПЛК і не підтримує стандарт RS485, проте це можна вирішити перетворювачем (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Перетворювач RS485 сигналу в Ethernet(RJ45)

Цей перетворювач підтримує аналогові входи з захистом від перенапруги, роздільною здатністю 12 біт і швидкістю дискретизації 100 кГц. Вхід може бути будь-якою комбінацією 0-10 В, 0-5 В, 4-20 мА. Номер каналу можна налаштувати, можна встановити від 1 до 8 каналів для аналогового входу і від 1 до 3 для цифрового входу. Стандартний протокол ModBus TCP/IP, проста робота з ПЛК, захист від перенапруги та ізольований RS485 забезпечують надійність. Стандартний протокол ModBus дозволяє підключити до 254 унікальних пристроїв до однієї мережі RS485.

2.3 Концептуальне рішення системи

Концептуальне рішення передбачає створення інтегрованої автоматизованої системи поливу теплиці, що базується на використанні SCADA-системи як центру керування та моніторингу, а також мережі датчиків і програмованого логічного контролера як виконавчо-вимірювального рівня [10].

Система будується за трирівневою структурою, яка включає в себе польовий рівень, рівень керування і інформаційно-операторський рівень. На польовому рівні – датчики вимірювання вологості і температури ґрунту і повітря, і виконавчий механізм перемикання потоку води для поливу. Ці елементи виконують функцію збирання інформації і виконання команд від наступного рівня.

Рівень керування передбачає використання ПЛК як центрального елемента автоматизації [11]. ПЛК буде запрограмований на виконання певних функцій:

- прийом даних з датчиків;
- порівняння отриманої інформації з нормою;
- прийняття рішення щодо вимкнення і ввімкнення поливу;
- передача інформації в SCADA.

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства

Тобто рівень керування буде створений таким чином, що він зможе самостійно виконувати роботу по автоматизації системи, за умови що буде працювати польовий рівень.

На інформаційно-операторському рівні використовується ПК зі SCADA-системою, котра має виконувати функції:

- відображення в реальному часі показників з усіх під'єднаних до мережі датчиків;
- нагляд за роботою ПЛК і виконавчих складових;
- ведення архівування зібраної інформації;
- можливість ручного втручання для керування в аварійних ситуаціях.

Візуалізація використання трирівневої структури для системи представлена на рис. 2.6. Використання такої структури забезпечить безперебійну роботу системи без потреби у втручанні людини.

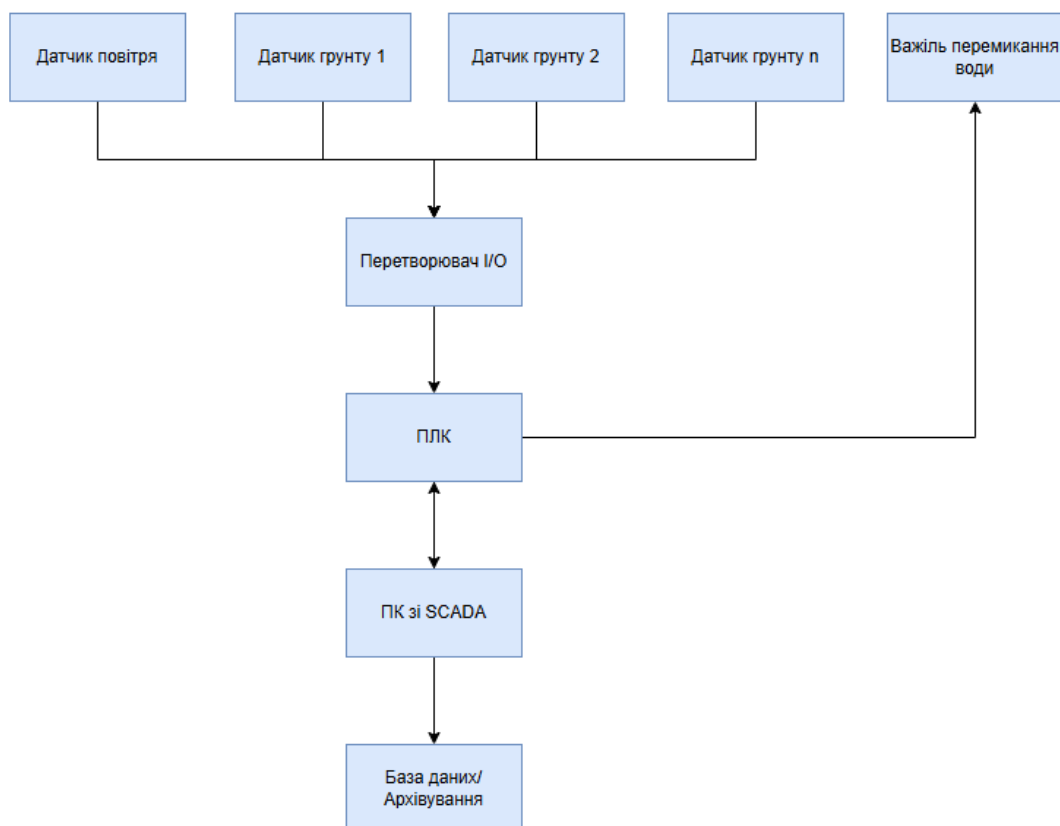


Рисунок 2.6 – Концептуальна схема системи

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства

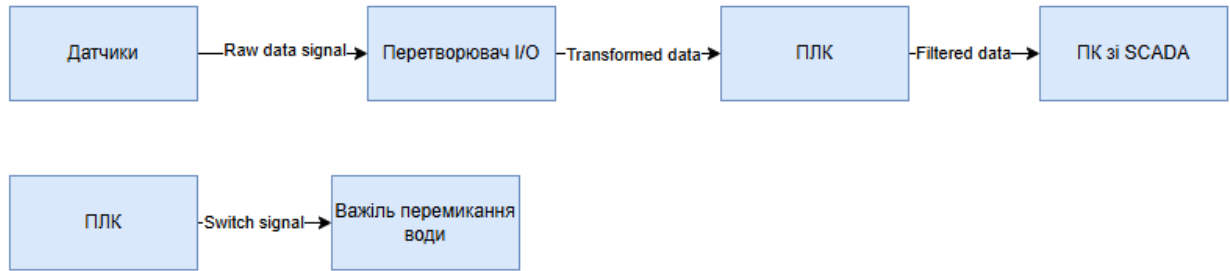


Рисунок 2.7 – Функціональна схема системи

Використаємо DFD-діаграму нульового рівня для зображення основних потоків даних використаних у системі (рис. 2.7). Виходячи з діаграми отримуємо декілька основних потоків:

- Raw data signal: необроблена інформація, що іде від датчиків до перетворювача;
- Transformed data: інформація, отримана з датчиків і перетворена з формату RS485 в Ethernet для подальшої обробки, що надсилається на ПЛК;
- Filtered data: інформація оброблена ПЛК, котра надсилається на ПК зі системою SCADA;
- Switch signal: цифровий сигнал, котрий ПЛК надсилає на важіль для перемикання потоку води.

2.4 Алгоритм роботи системи

Робота системи заснована на використанні ПЛК, запрограмованого на обробку вхідних даних та їх порівнянні з встановленими нормами для певної культури що вирощується в теплиці. За умов, коли хоча б один з вимірюваних показників не перевищує норму, нічого не відбувається і потік води зупиняється. Якщо норму перевищено, ПЛК надсилає сигнал на важіль, який в свою чергу перемикає потік води. Під час поливу ПЛК постійно отримує інформацію і порівнює її з задовільними нормами для рослини. Коли обидва показники температури і вологості стають задовільними, ПЛК знову надсилає сигнал на важіль і той перемикає потік води. Блок-схема описаного алгоритму представлена на рисунку 2.8.

В залежності від культури, кількість датчиків на ряд рослин може варіюватися, але загальний принцип – використання одного датчика на 10м посаженої культури. У будь-якому випадку мінімальна кількість датчиків на ряд має дорівнювати 2, по одному датчику на початку і в кінці ряду [16]. Використовуючи цю інформацію можна отримати формулу розрахунку середньої температури на ряд рослин:

$$\frac{t_1 + t_2 + t_n + \dots}{n},$$

де n – загальна кількість датчиків на ряд;

t_1 – температура отримана з першого датчика;

t_2 – температура отримана з другого датчика;

t_n – температура отримана з кожного наступного датчика у ряду.

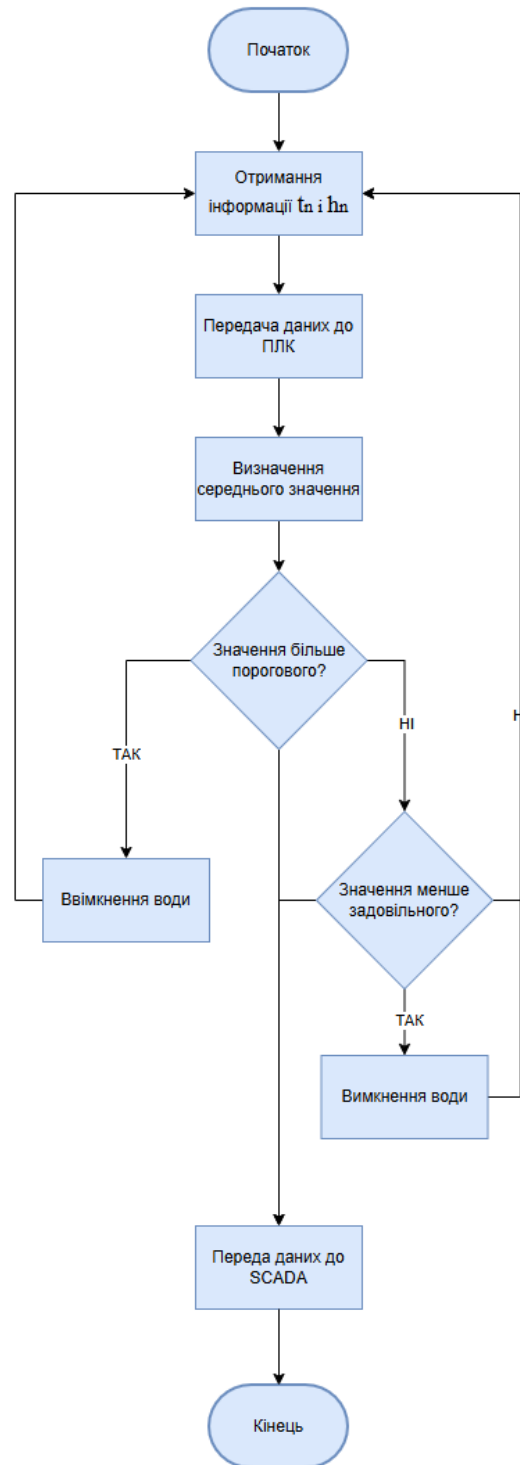


Рисунок 2.8 – Блок-схема роботи алгоритму

Для розрахунку вологості буде використовуватися аналогічна формула. Отримане значення буде порівнюватися з заздалегідь встановленими граничними значеннями, і якщо воно більше або менше, вода буде вмикатися і вимикатися відповідно [17].

Висновки до другого розділу

У даному розділі було проведено детальний аналіз компонентів майбутньої автоматизованої системи поливу тепличного господарства та сформовано концептуальну архітектуру системи. На основі порівняння доступних рішень обґрунтовано вибір оптимальних датчиків, програмованого логічного контролера та структури взаємодії між елементами системи.

У процесі розгляду датчиків для контролю стану ґрунту було проаналізовано два типи пристроїв – бездротові (Zigbee) та кабельні (RS485). Проведене порівняння показало, що хоча Zigbee-датчики є простими у встановленні та не потребують кабельної інфраструктури, вони мають істотні недоліки для промислового використання: обмежений ресурс роботи від батарей, залежність від хмарних сервісів виробника та труднощі інтеграції зі сторонніми системами. Дротовий датчик із протоколом RS485 продемонстрував вищу точність, надійність, довговічність і можливість повної не інтерактивної роботи в локальній системі, що дозволило обрати саме його для польового рівня.

Аналогічний підхід застосовано для вибору датчика повітря. Щоб мінімізувати похибку та одночасно не ускладнювати систему надлишковою кількістю сенсорів, було обрано один пристрій з інтерфейсом RS485, який забезпечує стабільний збір даних про температуру та вологість повітря у теплиці.

На рівні керування було обґрунтовано вибір ПЛК, який володіє достатньою кількістю входів/виходів, підтримує Ethernet-комунікацію та забезпечує можливість роботи зі SCADA-системою. Відсутність RS485-інтерфейсу вирішується шляхом використання перетворювача, що гарантує сумісність з обраними датчиками. Завдяки модульності ПЛК та підтримці сучасних протоколів зв'язку система отримує необхідну гнучкість та можливість майбутнього розширення.

Було сформовано концептуальну трирівневу структуру системи, польовий рівень – датчики і виконавчі механізми, рівень керування – ПЛК, інформаційно-операторський рівень – ПК зі SCADA. Така організація дозволяє забезпечити автономну роботу системи, централізований моніторинг стану теплиці та можливість ручного втручання у разі потреби.

Побудовано функціональні схеми, що відображають логіку проходження сигналів та взаємодію між елементами системи. Також сформовано алгоритм роботи автоматичного поливу на основі порівняння фактичних значень вологості і температури з установленими нормами для конкретної культури.

Окремо було визначено принцип встановлення датчиків на посадкових рядах: рекомендовано одну точку вимірювання на кожні 10 метрів або мінімум два датчики на ряд. Запропоновано формули для обчислення середніх значень вологості та температури, що забезпечує більш коректний аналіз стану середовища.

Загалом, у розділі сформовано технічно обґрунтовану концепцію майбутньої системи, визначено всі необхідні апаратні компоненти та описано методи їх взаємодії, що є фундаментом для подальшого проєктування і реалізації автоматизованої системи поливу теплиці.

3 АПАРТНО-ПРОГРАМНА ЧАСТИНА СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ

3.1 Процес під'єднання апаратної частини

Так як більшість елементів в системі з'єднуються з допомогою протоколу RS485, розберемося з етапами з'єднання цих пристроїв [12]. Розглянемо, як забезпечити з'єднання Modbus, на прикладі трьох пристроїв з напівдуплексним зв'язком. Кожен пристрій повинен мати підключені дроти «А» і «В», які разом і забезпечують утворення напівдуплексного каналу зв'язку. А- підключається до А-, а В+ підключається до В+. А- і В+ разом утворюють сигнал. Обов'язково потрібно підключити резистор до кінця дротів. Коли сигнал надсилається по кабелю, завжди виникає напруга відбиття, яка повертається по кабелю. Це відбиття стає більшим, коли фронти сигналів стають швидшими, а лінії довгими. Його можна мінімізувати, закінчуючи кінці лінії характеристичним імпедансом системи. Для RS485 він становить 120 Ом. Головний і підлеглі пристрої під'єднуються до загального джерела живлення і GND (рис. 3.1) [13].

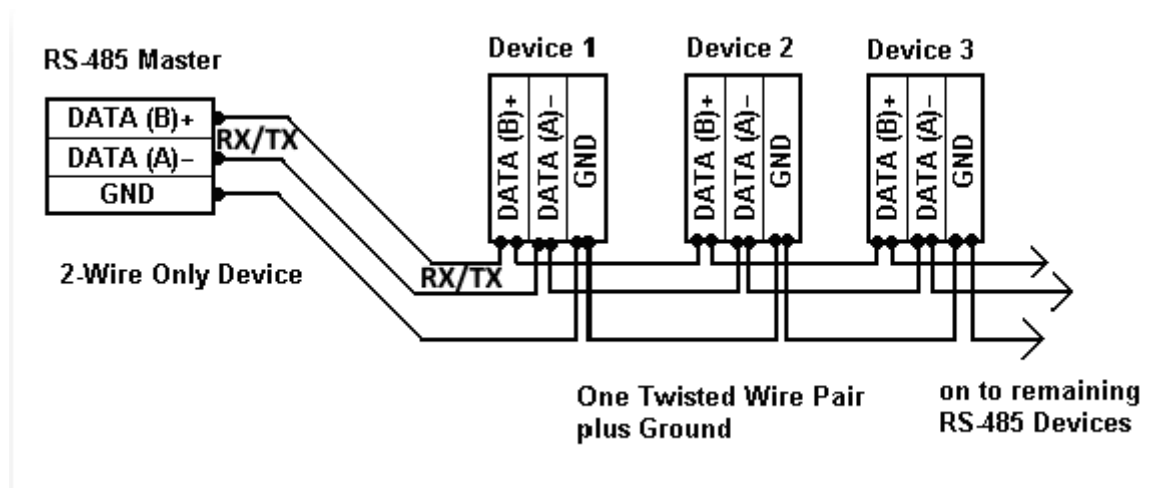


Рисунок 3.1 – Схема підключення декількох пристроїв з допомогою RS485 [12]

Підлеглими пристроями виступають датчики, головним пристроєм є перетворювач RS485 в Ethernet. Обраний раніше перетворювач буде виступати в режимі RTU Master → TCP Slave, що спростить роботу. В такому режимі

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства
перетворювач буде самостійно опитувати датчики і надавати готовий блок інформації одним пакетом до ПЛК. Під'єднання ПЛК з перетворювачем разом не є проблемою, адже обидва пристрої мають звичайний Ethernet порт (рис. 3.2 і рис. 3.3).

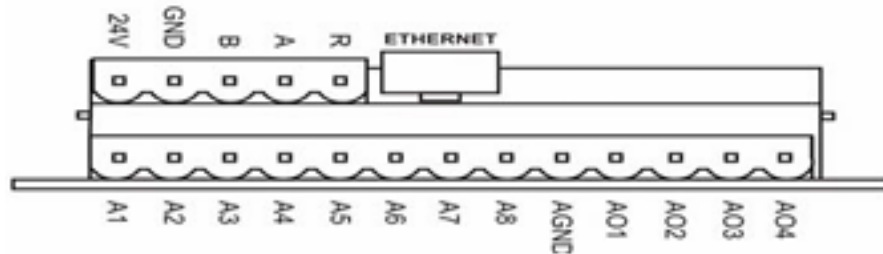


Рисунок 3.2 – Схематичне зображення портів на перетворювачі

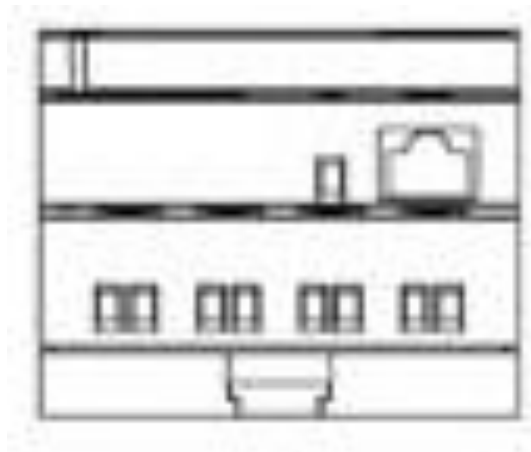


Рисунок 3.2 – Зображення Ethernet порту на ПЛК

В свою чергу ПЛК під'єднується до ПК зі SCADA по тому ж самому протоколу, забезпечуючи надійний зв'язок без перебою даних, незалежно від місця розташування обох компонентів в теплиці.

3.2 Налаштування датчиків і перетворювача

Для коректної роботи системи, в налаштуваннях перетворювача встановлюється значення Baud 9600 біт/с, що дорівнює базовому значенні на датчиках. Перетворювач налаштовується таким чином, що він опитує кожен під'єднаний до нього датчик по черзі в нескінченному циклі, і надсилає готовий блок даних на ПЛК, коли кількість отриманих фреймів з датчиків дорівнюватиме кількості датчиків. Отже принцип його роботи такий:

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства

- надсилання фрейму на датчик;
- прийом відповіді;
- перевірка контрольної суми;
- за умови що все коректно, починається зчитування даних про вологість і температуру;
- очікування відповіді від всіх датчиків;
- надсилання блоку даних на ПЛК.

Наступним розберемо структуру запиту фрейму в табл. 3.1 [18].

Таблиця 3.1 – Структура фрейму запиту

Байт	Значення	Опис
0x01	ІД датчика в системі	Раніше запрограмована адреса датчика в системі
0x03	Функція	Значення що відповідає за функцію зчитування регістрів
0x0000	Стартовий регістр	Стартова точка зчитування
0x0002	Кількість регістрів	Виконується зчитування 2x16 біт регістрів
0x0BC4	CRC16	Контрольна сума

В табл. 3.2 показано структуру фрейму відповіді з датчика.

Таблиця 3.2 – Структура фрейму відповіді

Байт	Значення	Опис
0x01	ІД датчика в системі	Раніше запрограмована адреса датчика в системі
0x03	Функція	Значення що відповідає за функцію зчитування регістрів
0x04	Число дійсних байтів	Кількість повернених байтів які тримають інформацію
0xHEX1 0xHEX2	Вологість	Перший і другий байти значення вологості в hex
0xHEX3 0xHEX4	Температура	Перший і другий байти значення Температури в hex
0x1B	Нижній біт	Значення нижнього біта для перевірки на цілісність
0xA0	Верхній біт	Значення верхнього біта для перевірки на цілісність

Як видно з табл. 3.2, отримані значення температури і вологості надходять в системі числення hex, тому треба обробити їх до десяткової

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства
системи перед тим як починати розрахунок. Після цього дані можна
розрахувати за формулою:

$$\frac{HEX_1 * 256 + HEX_2}{10},$$

для температури, і для вологості використовуючи значення HEX3 і HEX4
замість HEX1 і HEX2 відповідно.

3.3 Вибір середовища роботи

Для програмування ПЛК було обрано середовище TwinCAT. Це середовище підтримує велику кількість ПЛК і відкриває доступ до великої кількості налаштувань. Але воно має свої плюси і мінуси незалежно від прямої підтримки наших компонентів.

Переваги:

- використовує Visual Studio як IDE, що дозволяє здійснювати уніфіковану розробку в IEC 61131-3 і C/C++, що приваблює досвідчених ІТ-розробників;
- відмінна продуктивність в режимі реального часу для ПЛК, NC, CNC і робототехніки, особливо з EtherCAT, що перевершує багатьох конкурентів;
- включає потужні вбудовані інструменти, такі як функція Scope для глибокої діагностики, інтегрована безпосередньо в IDE;
- функції та методи об'єктно-орієнтованого програмування зменшують складну логіку, покращуючи якість коду;
- програмне забезпечення для розробки можна безкоштовно завантажити та використовувати для оцінки, що зменшує початкові витрати;
- сучасна структура файлів та інтеграція з Visual Studio полегшують контроль версій та робочі процеси DevOps;
- перетворює стандартні ПК на контролери, зменшуючи залежність від пропрієтарного апаратного забезпечення ПЛК та дозволяючи гнучко підбирати апаратне забезпечення.

Недоліки:

- код C++ виконується в просторі драйвера ОС в режимі реального часу, що ускладнює налагодження збоїв і вимагає обережного поводження;
- редактор на базі Visual Studio іноді може здаватися повільним, навіть на потужному обладнанні;
- хоча для деяких він інтуїтивно зрозумілий, освоєння його широких можливостей та інтеграції з C++ вимагає зусиль;
- документація для середовища C++ може бути менш надійною порівняно з документацією для ПЛК;
- менше вибору спеціалізованих інструментів (наприклад, статичного аналізу коду) порівняно з загальним розробленням програмного забезпечення.

Для створення SCADA системи було обрано середовище Trace Mode 6. Графічний підхід ТМ6 спрощує розробку проектів і скорочує час навчання для нових користувачів, програмне забезпечення підходить для широкого спектру галузей, включаючи виробництво, енергетику та автоматизацію будівель, поєднує програмування SCADA/HMI та ПЛК в одному програмному інструменті, що економить час на розробку в порівнянні з використанням окремих додатків.

Доступна безкоштовна система розробки з необмеженим використанням та безкоштовними драйверами для понад 2812 ПЛК та пристроїв, використовуючи які система може масштабуватися від невеликих додатків до великомасштабних операцій з до 1 000 000 вводу/виводу. Включає швидкий історичний архів процесів, логічне програмування ПЛК на 5 мовах IEC 6-1131/3, сучасну систему безпеки та розширене управління тривогами та підтримує віддалений доступ для зміни конфігурації, команд управління та діагностики, навіть у поганих умовах зв'язку.

3.4 Програмування ПЛК

Програмування відбувається за допомогою мови Structured Text, текстової мови програмування для промислових систем управління, визначеною стандартом IEC 61131-3 для ПЛК. Вона відома своєю читабельністю та гнучкістю, нагадує традиційні мови програмування, такі як Pascal або Python, і добре підходить для складної логіки, обчислень та обробки даних [15].

В першу чергу створюємо дві структури «SensorData» і «GlobalSensor» (рис. 3.3), котрі задають структуру отриманих даних для сенсорів виміру стану ґрунту і повітря відповідно. Тут ми визначаємо, що температура і вологість це фізичні значення, а статус роботи датчика два значення – так або ні.

```

1  TYPE GlobalSensor :
2  STRUCT
3      Temp : REAL := 0.0;
4      Hum  : REAL := 0.0;
5  END_STRUCT
6  END_TYPE

1  TYPE SensorData :
2  STRUCT
3      Temp  : REAL := 0.0;
4      Hum   : REAL := 0.0;
5      Status : BOOL := FALSE;
6  END_STRUCT
7  END_TYPE

```

Рисунок 3.3 – Структури отримуваних даних

Далі створюємо глобальні змінні для сенсорів і керування «Sensors» і «Control» відповідно. В першому (рис. 3.4) прописуємо такі параметри, «SensorCount» – скільки зонних сенсорів (в нашому випадку 4).

```

1  {attribute 'qualified_only'}
2  VAR_GLOBAL
3      SensorCount : UINT := 4;
4      Sensors : ARRAY[1..50] OF SensorData;
5      GlobalSensor : GlobalSensor;
6  END_VAR

```

Рисунок 3.4 – Глобальні параметри сенсорів

У масиві «Sensors» індекс 1 зарезервований для «GlobalSensor». «Sensors : ARRAY[1..50] OF SensorData» – усі сенсори, кожен має «Temp/Hum/Status». «GlobalSensor» – зручна змінна для зберігання глобального монітора. В наступному прописуються параметри, котрі будуть брати участь в розрахуванні самої логіки системи (рис. 3.5). «AvgTemp» і «AvgHum»

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства
обчисленні середні значення по зонним датчикам, «ValveState» стан водяного клапана, «TempNorm» і «HumNorm» встановленні норми параметрів температури і вологості для обраної культури вирощування.

```

1  {attribute 'qualified_only'}
2  VAR_GLOBAL
3      AvgTemp    : REAL := 0.0;
4      AvgHum     : REAL := 0.0;
5      ValveState : BOOL := FALSE;
6
7      TempNorm   : REAL := 24.0;
8      HumNorm    : REAL := 60.0;
9  END_VAR

```

Рисунок 3.5 – Глобальні параметри контролю

Далі створюємо функціональний блок «ModbusSensor» (рис. 3.6), котрий буде перетворювати отримані слова з «Modbus-клієнта» у фізичні значення і записувати їх до глобального значення «Sensors.Sensors[SensorID]».

```

1  FUNCTION_BLOCK ModbusSensor
2  VAR_INPUT
3      SensorID : UINT;           // індекс у масиві Sensors[]
4      MClient  : REFERENCE TO ModbusTCP_Client;
5      RegTemp  : UINT := 0;     // адреса регістра температури
6      RegHum   : UINT := 1;     // адреса регістра вологості
7  END_VAR
8
9  VAR
10     TempRaw : UINT := 0;
11     HumRaw  : UINT := 0;
12 END_VAR

```

```

1  IF MClient.bReadFinished THEN
2
3      TempRaw := MClient.auiReadData[RegTemp];
4      HumRaw  := MClient.auiReadData[RegHum];
5
6      Sensors.Sensors[SensorID].Temp := TempRaw / 10.0;
7      Sensors.Sensors[SensorID].Hum  := HumRaw / 10.0;
8      Sensors.Sensors[SensorID].Status := TRUE;
9
10 ELSIF MClient.bError THEN
11     Sensors.Sensors[SensorID].Status := FALSE;
12 END IF

```

Рисунок 3.6 – Функціональний блок «ModbusSensor»

Вхідними параметрами є «SensorID», значення індексу поточного сенсора в масиві «Sensors», «MClient : REFERENCE TO

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства
FB_ModbusTCP_Client» – посилення на інстанс Modbus клієнта, котрий має містити результат останнього зчитування, «RegTemp» і «RegHum» індекси значень у буфері відповіді. Логіка цього блоку чекає сигналу завершення читання «bReadFinished», бере з «auiReadData[RegTemp]» та «auiReadData[RegHum]» сирі слова, ділить їх на 10 і зберігає в глобальні значення. Якщо зчитування було успішним виставляється статус «TRUE» і «FALSE» якщо була отримана помилка «bError».

Далі створюємо функціональний блок «GlobalSensorFB», котрий буде виконувати такі самі функції як і минулий блок, але для нашого загального датчика повітря (рис. 3.7).

```

1 FUNCTION_BLOCK GlobalSensorFB
2 VAR_INPUT
3     MClient : REFERENCE TO ModbusTCP_Client;
4     RegTemp : UINT := 0;
5     RegHum  : UINT := 1;
6 END_VAR
7
8 VAR
9     TempRaw : UINT := 0;
10    HumRaw  : UINT := 0;
11 END_VAR
12
13 IF MClient.bReadFinished THEN
14
15     TempRaw := MClient.auiReadData[RegTemp];
16     HumRaw  := MClient.auiReadData[RegHum];
17
18     Sensors.GlobalSensor.Temp := TempRaw / 10.0;
19     Sensors.GlobalSensor.Hum  := HumRaw / 10.0;
20
21 END_IF

```

Рисунок 3.7 – Функціональний блок «GlobalSensorFB»

```

1 FUNCTION_BLOCK SensorManager
2 VAR_INPUT
3     nSensors : UINT;
4 END_VAR
5
6 VAR_IN_OUT
7     SensFB : ARRAY[*] OF ModbusSensor;
8 END_VAR
9
10 VAR
11     i : UINT;
12 END_VAR
13
14 FOR i := 1 TO nSensors DO
15     SensFB[i] ();
16 END FOR

```

Рисунок 3.8 – Функціональний блок «SensorManager»

Далі створюємо функціональний блок «SensorManager» (рис. 3.8), який буде описувати логіку послідовного опитування всіх пристроїв в мережі. Запускає запит на зчитування для поточного індексу і переходить далі. Реалізація реальних мережових викликів покладається на «ModbusTCP_Client».

Далі створюємо функціональний блок «ControlLogic» (рис. 3.9), котрий буде відповідати за усю створену нами логіку, тобто додавати усі зібрані значення температури «Tsum» і вологості «Hsum» і обчислювати середнє «AvgTem» і «AvgHum» відповідно.

```

1 FUNCTION_BLOCK ControlLogic
2 VAR_INPUT
3     nSensors : UINT;
4 END_VAR
5
6 VAR
7     i      : UINT;
8     Tsum  : REAL := 0.0;
9     Hsum  : REAL := 0.0;
10 END_VAR
11
12 Tsum := 0;
13 Hsum := 0;
14
15 // Обчислення середнього
16 FOR i := 1 TO nSensors DO
17     Tsum := Tsum + Sensors.Sensors[i].Temp;
18     Hsum := Hsum + Sensors.Sensors[i].Hum;
19 END_FOR
20
21 Control.AvgTemp := Tsum / nSensors;
22 Control.AvgHum  := Hsum / nSensors;
23
24 // Увімкнення клапана
25 IF (Control.AvgTemp > Control.TempNorm) OR
26     (Control.AvgHum < Control.HumNorm) THEN
27
28     Control.ValveState := TRUE;
29 END_IF
30
31 // Вимкнення клапана при 10% гістерезисі
32 IF (Control.AvgTemp < Control.TempNorm * 0.9) OR
33     (Control.AvgHum > Control.HumNorm * 1.1) THEN
34
35     Control.ValveState := FALSE;
36 END_IF

```

Рисунок 3.9 – Функціональний блок «ControlLogic»

Далі ці дані порівнюються з раніше встановленими нами нормами «TempNorm» і «HumNorm». За нашою логікою, якщо отримане середнє значення температури більше норми, або отримане середнє значення вологості менше норми, вмикається полив. Для вимкнення поливу отриманні середні значення мають бути менше норми на 10 відсотків для температури і більше 10 відсотків для вологості. Потім записуємо отриманні значення середнього і статусу клапана в глобальні змінні.

Наступним кроком створимо функціональний блок «ModbusTCP_Client» (рис. 3.10), для імітації запитів і отримання інформації з датчиків за відсутності останніх. Цей блок проходить по усій кількості наших робочих датчиків і створює данні на основі індексу зчитуваного датчика, тобто з кожною наступною ітерацією данні про температуру і вологість будуть трохи збільшуватися. Цикл починає роботу спочатку якщо був прочитаний останній датчик.

```

1 FUNCTION_BLOCK ModbusTCP_Client
2 VAR_INPUT
3     StartRead : BOOL;           // при підключенні TRUE - запускаємо одне зчитування
4     SlaveID   : UINT := 1;     // id сенсора (для імітації)
5 END_VAR
6 VAR_OUTPUT
7     bReadFinished : BOOL;      // дані готові
8     bError        : BOOL;      // помилка зв'язку
9 END_VAR
10 VAR
11     auReadData : ARRAY[0..15] OF WORD; // буфер прочитаних регістрів
12     tick       : UINT := 0;
13     triggerLast : BOOL := FALSE;
14 END_VAR
15
16 IF (StartRead AND NOT triggerLast) THEN
17     auReadData[0] := 500 + SlaveID * 10;
18     auReadData[1] := 230 + SlaveID * 5;
19
20     bReadFinished := TRUE;
21     bError := FALSE;
22 END_IF
23
24 triggerLast := StartRead;

```

Рисунок 3.10 – Функціональний блок «ModbusTCP_Client»

Далі створюємо основу програми «MAIN» (рис. 3.11). Це наш основний цикл. Він по черзі викликає всі раніше розроблені функції для запиту даних і

2025 р. Павленко Богдан

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства

їх обробки, для керування логікою системи. Білдимо проєкт і бачимо що помилок не виявлено, отже логіка працює правильно. Переходимо до вкладки «SYSTEM» > «Real-Time» і вибираємо опцію «Read from Target». Це просканує наш девайс куди буде встановлюватися програма (в нашому випадку ПК) і покаже доступну кількість ядер для роботи. Для правильного налаштування одне ядро треба зробити ізольованим і обрати його як основу для роботи з допомогою параметру «Set on Target».

```

1  PROGRAM MAIN
2  VAR
3      MB_Clients : ARRAY[1..5] OF ModbusTCP_Client;
4      ModbusSensors : ARRAY[1..50] OF ModbusSensor;
5      GlobalFB      : GlobalSensorFB;
6
7      SensorMgr : SensorManager;
8      ControlFB : ControlLogic;
9
10     i : UINT;
11 END_VAR

```

```

1  FOR i := 2 TO Sensors.SensorCount+1 DO
2      MB_Clients[i] (StartRead := TRUE, SlaveID := i);
3
4      ModbusSensors[i] (SensorID := i, MBClient := MB_Clients[i]);
5  END_FOR
6
7  GlobalFB(
8      MBClient := MB_Clients[1],
9      RegTemp := 0,
10     RegHum := 1
11 );
12
13 SensorMgr(
14     nSensors := Sensors.SensorCount,
15     SensFB := ModbusSensors
16 );
17
18 ControlFB(
19     nSensors := Sensors.SensorCount
20 );

```

Рисунок 3.11 – Основний цикл програми «MAIN»

Далі запускаємо проєкт, використовуючи «Activate configuration» і «Login» у відповідному порядку. TwinCAT запитає чи треба створити порт 851 для застосунку, натискаємо так. Далі за шляхом «SYSTEM» > «Routes»

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства
відкриваємо вкладку «Netid Management» і в полі «Local Netid» отримуємо адресу нашого запущеного проекту, у нас це 192.168.1.100.1.1.

3.5 Розробка інтерфейсу SCADA

Розробка інтерфейсу користувача починається з налаштування вхідних параметрів до системи (рис. 3.12). В вкладці «Sources/Receivers» створюємо групу «MODBUS». В середині групи створюємо компоненти «Rin_Float(4)» і «Rin_Byte(2)», котрі налаштовують вхідні параметри з ПЛК в систему. В меню налаштування залишаємо номер порту незмінним, адже підключення буде відбуватися з допомогою Ethernet, адресу виставляємо 1, тип протоколу TCP/IP, і вписуємо IP-адресу нашого контролера в мережі. Канали виставляємо відповідно до записаних каналів в TwinCAT, тобто для першого з 4 датчиків отримуємо температуру, вологість і статус роботи як канали 1, 2 і 3 відповідно, наступний має канали 4, 5 і 6 для тих самих значень і так далі. Канали 13 і 14 зарезервовані для глобального датчика і отримують температуру і вологість відповідно. Канали 15, 16 і 17 отримують значення середньої температури і вологості і стан перемикачів клапану води.

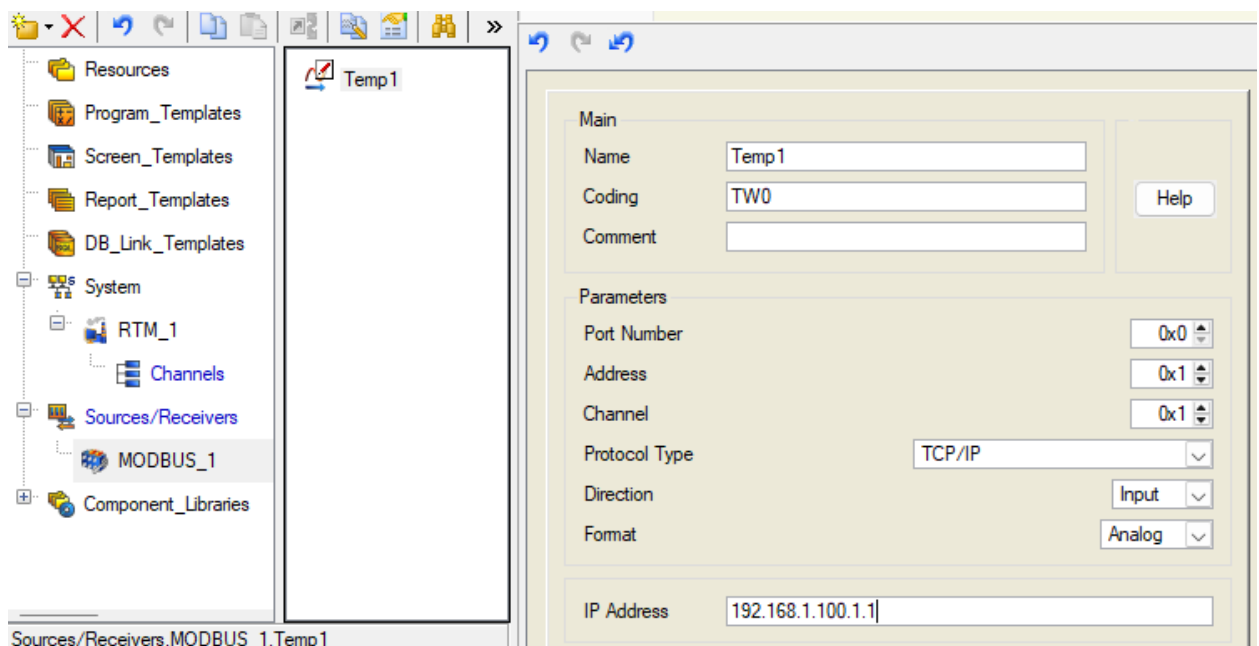


Рисунок 3.12 – Налаштування MODBUS

Також створимо один «Rin_Byte(2)» з такими ж налаштуваннями як для входу по каналу 17, проте в цей раз виставимо значення «Direction» на «Output», для керування статусом перемикання клапану води з інтерфейсу програми.

Наступним кроком перейдемо до вкладки System і створимо там вузол «RTM_1». В цьому вузлі «переносимо» групу «MODBUS» з «Sources/Receivers». Налаштовані канали з'являються в нашому проєкті (рис. 3.13).

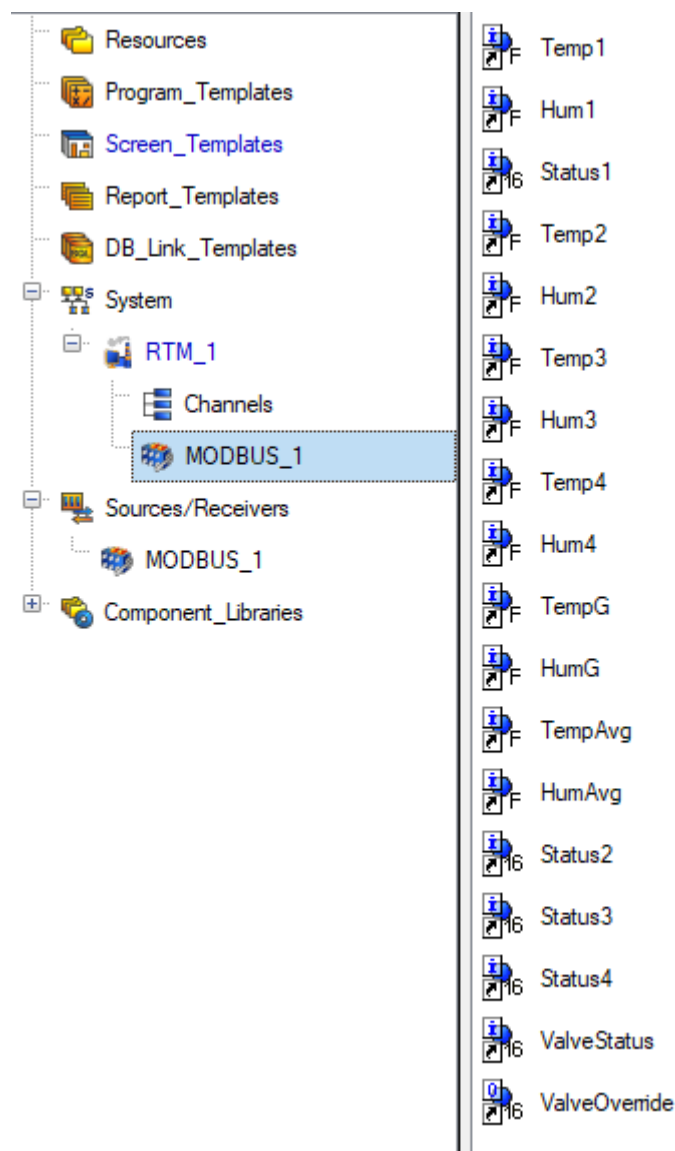


Рисунок 3.13 – Створення каналів даних

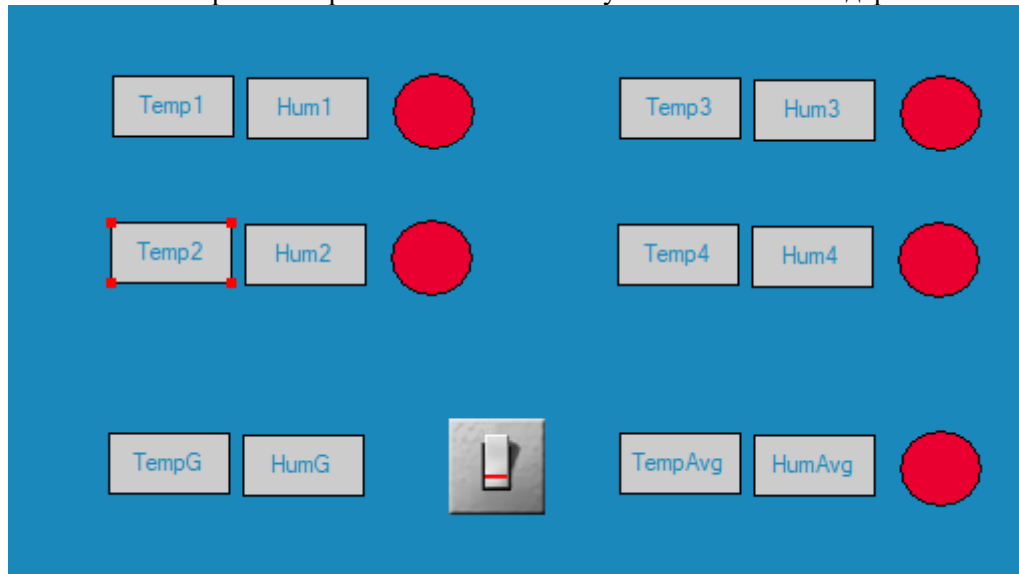


Рисунок 3.14 – Екран програми

Далі в тому ж вузлі «RTM_1» створюємо екран на якому відображаємо усі компоненти з прив'язкою до каналів (рис. 3.14 і рис. 3.15). У відповідних текстових блоках буде з'являтися інформація про температуру і вологість в системі, а червоні точки будуть змінювати колір на зелений якщо датчики працюють коректно.

Name	IO Type	Data Type	Def. Value	Link
Temp1_R	IN	REAL		Temp1:Real Value (System.RTM_1.MODBUS_1)
Hum1_R	IN	REAL		Hum1:Real Value (System.RTM_1.MODBUS_1)
Status1_R	IN	UINT		Status1:Real Value (System.RTM_1.MODBUS_1)
Temp2_R	IN	REAL		Temp2:Real Value (System.RTM_1.MODBUS_1)
Hum2_R	IN	REAL		Hum2:Real Value (System.RTM_1.MODBUS_1)
Status2_R	IN	UINT		Status2:Real Value (System.RTM_1.MODBUS_1)
Temp3_R	IN	REAL		Temp3:Real Value (System.RTM_1.MODBUS_1)
Hum3_R	IN	REAL		Hum3:Real Value (System.RTM_1.MODBUS_1)
Status3_R	IN	UINT		Status3:Real Value (System.RTM_1.MODBUS_1)
Temp4_R	IN	REAL		Temp4:Real Value (System.RTM_1.MODBUS_1)
Hum4_R	IN	REAL		Hum4:Real Value (System.RTM_1.MODBUS_1)
Status4_R	IN	UINT		Status4:Real Value (System.RTM_1.MODBUS_1)
TempG_R	IN	REAL		TempG:Real Value (System.RTM_1.MODBUS_1)
HumG_R	IN	REAL		HumG:Real Value (System.RTM_1.MODBUS_1)
TempAvg_R	IN	REAL		TempAvg:Real Value (System.RTM_1.MODBUS_1)
HumAvg_R	IN	REAL		HumAvg:Real Value (System.RTM_1.MODBUS_1)
ValveStatus_R	IN	UINT		ValveStatus:Real Value (System.RTM_1.MODBUS_1)
ValveOverride_R	IN	UINT		ValveOverride:Real Value (System.RTM_1.MODBUS_1)

Рисунок 3.15 – Прив'язка каналів до компонентів

Червона точка біля текстових полів з середніми значеннями відповідає за статус клапана води, якщо червона – вимкнений і ввімкнений якщо зелена. Перемикач відповідає за ту саму функцію, тільки з графічного елемента системи.

Висновки до третього розділу

Матеріал, представлений у цьому розділі, демонструє повний цикл побудови системи моніторингу та контролю мікроклімату теплиці – від фізичного підключення обладнання до реалізації програмної логіки та створення користувацького інтерфейсу. Було показано, що правильна робота мережі RS485 залежить від правильного підключення ліній, термінації шини та конфігурації сумісних параметрів протоколу, а використання перетворювача в режимі RTU Master → TCP Slave значно спрощує процес збору даних, переносячи цикл послідовного опитування на сам перетворювач. Це, в свою чергу, зменшує навантаження на ПЛК і забезпечує стабільну та передбачувану роботу системи.

У середовищі TwinCAT була створена структурована логіка опитування датчиків, обробки їх даних і формування керуючих дій. Завдяки використанню Structured Text і об'єктно-орієнтованого підходу система є масштабованою, зрозумілою і простою в розширенні. За кожен етап роботи – зчитування, обчислення, логіка управління – відповідають окремі функціональні блоки, що забезпечує прозорість і надійність проекту.

Інтеграція з Trace Mode 6 дозволила створити візуальний інтерфейс, пов'язаний з каналами Modbus, що забезпечує візуальний контроль стану датчиків, середніх значень і роботи клапанів. Використання SCADA в поєднанні з TwinCAT дозволило об'єднати фізичну систему, логіку управління і інтерфейс людина-машина в комплексне рішення, яке може працювати віддалено і в режимі реального часу.

У висновку цього розділу показано, що обране апаратне та програмне забезпечення забезпечує гнучку, надійну та масштабовану архітектуру, придатну для подальшого розвитку та інтеграції з іншими елементами автоматизованих систем теплиць. Завдяки чіткому розподілу функцій, стандартизованим протоколам та сучасним інструментам система здатна стабільно працювати в реальних умовах і забезпечує точний та безперервний контроль технологічних параметрів.

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства

4 ТЕСТУВАННЯ І АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ

4.1 Методи і результати тестування

Після етапу створення апаратно-програмної частини, для перевірки відповідності роботи системи до сформульованих раніше вимог, було проведене комплексне тестування. Тестування виконувалося з допомогою методу «чорного ящика», за умов якого тестувальник не має доступу до коду системи і проводить усі тестування на основі вимог і функціональності.

Параметри системи на якій проводилося тестування:

- платформа ПК з 16 ядерним процесором AMD R7 5700x3d і 16 ГБ ОЗП;
- операційна система Windows 11;
- середовище емуляції ПЛК – TwinCAT;
- середовище оператора SCADA – Trace Mode 6;
- інструментами тестування є вбудовані в вищезазначені середовища утиліти і MS Excel.

Проводилося тестування певних функцій, а саме встановлення з'єднання між пристроями в системі, отримання і відображення даних, можливість впливу на стан системи з інтерфейсу оператора і збереження інформації. Результати перевірки наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати тестування системи

Вид тестування	Очікуваний результат	Отриманий результат
Підключення компонентів в системі	Компіляція і запуск в обох середовищах проходять без помилок, на інтерфейсі оператора з'являється інформація.	Помилки під час компіляції виявлено не було, дані про стан клімату і датчиків відображаються і інтерфейсі.
Перевірка керування системою з інтерфейсу	В інтерфейсі натискається важіль і стан крану води перемикається на протилежний.	Під час натискання на важіль одразу отримуємо зворотній зв'язок в інтерфейс де лампочка відповідаюча за статус крану змінює колір.

Вид тестування	Очікуваний результат	Отриманий результат
Один з датчиків виходить з ладу	Система продовжує працювати, на інтерфейсі видно котрий з датчиків не передає інформацію.	У відповідних до зламаного датчика полях не з'являється інформація, індикатор його роботи світиться червоним, система продовжує розраховувати середнє по працюючим датчикам.
Експортування даних у файл	Вивантажується файл у форматі .csv котрий відкривається з допомогою MS Excel.	Файл отримано, дані структуровані і зрозумілі.

Для підтвердження правильності роботи системи і коректного виконання видів тестувань зазначених у таблицях, було зафіксовано поведінку системи під час кожного етапу. Рис. 4.1 показує інтерфейс оператора під час запуску і під'єднанні обох середовищ розробки.

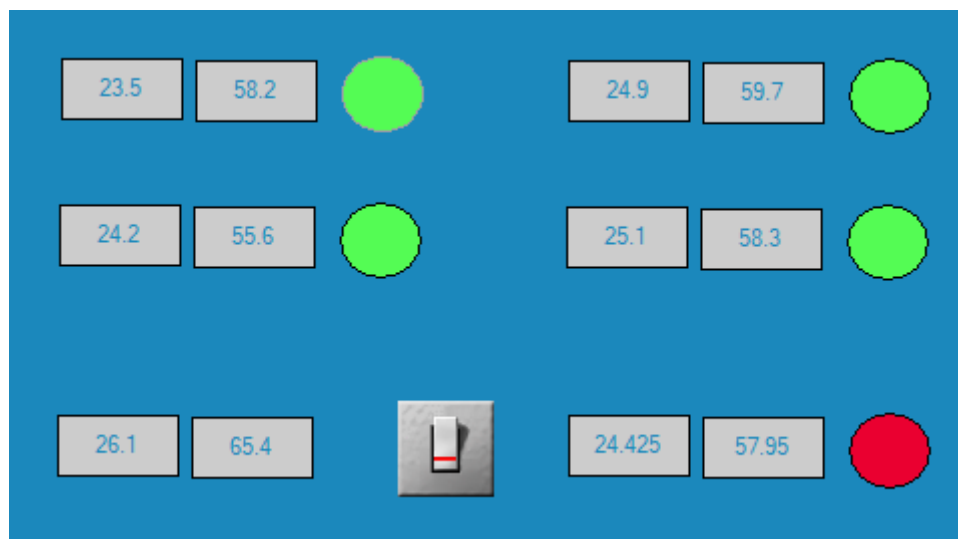


Рисунок 4.1 – Інтерфейс оператора системи в роботі

Як можна побачити з рис. 4.1, усі датчики працюють і передають дані, середні значення не перевищують норму, тому клапан води зачинений, відповідно світиться червона лампочка.

На рис. 4.2 ситуація змінилася, і обидва середніх значення виходять за рамки допустимих, тому стан клапана поливу перемикається, і загорається зелена лампочка, що ідентифікує початок роботи поливу.

На рис. 4.3 можна побачити що ситуація стабілізувалася, і полив вимкнувся автоматично, проте ми хочемо перевірити керування системою з інтерфейсу.

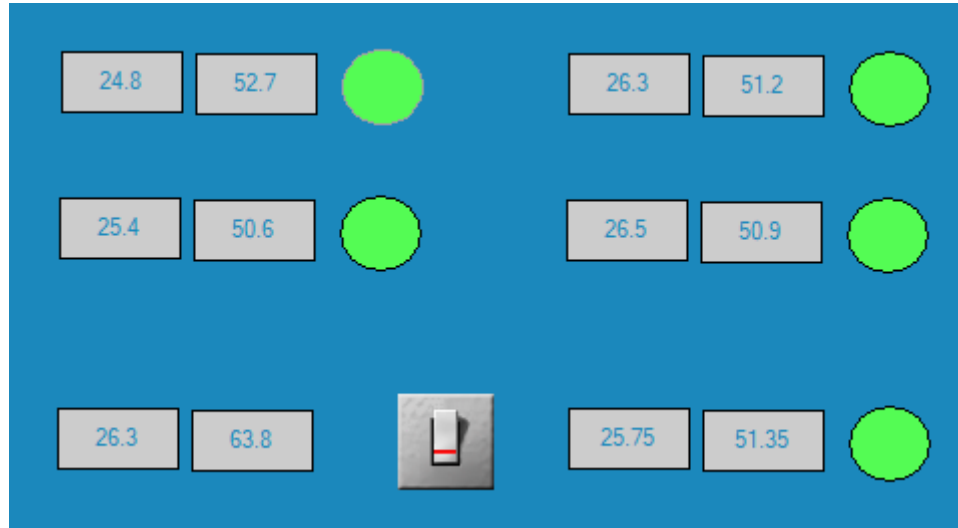


Рисунок 4.2 – Вихід за рамки допустимих значень і початок поливу

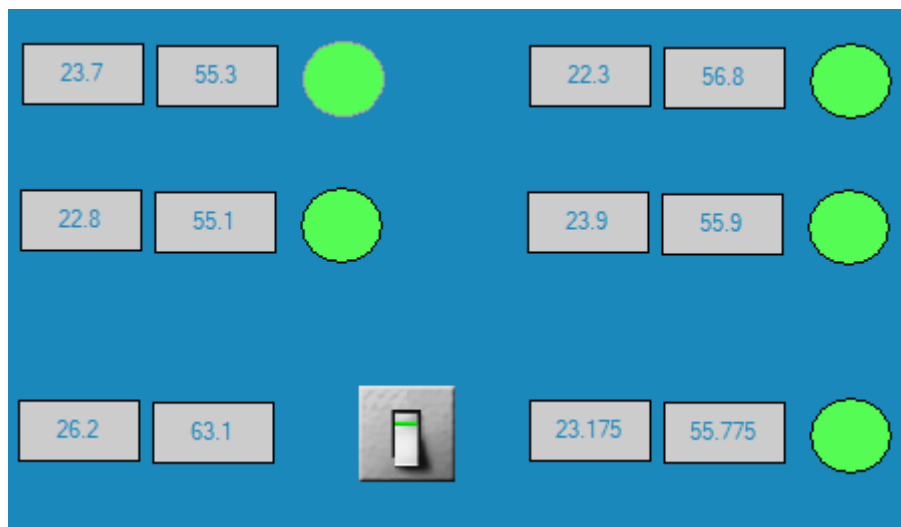


Рисунок 4.3 – Керування системою з інтерфейсу

Наведені значення середніх знаходяться в нормі, але важіль керування перемкнутий в позитивний стан, тому кран все ще відкритий, що і відображається на інтерфейсі зеленою лампою.

На рис. 4.4 можна спостерігати, що перший датчик не працює – лампочка, яка відповідає за стан його роботи, горить червоним. Визначення середнього виконується по іншим працюючим датчикам. Додатково можна побачити що середня температура перевищує показники норми, тому клапан

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства
відкритий, проте вологість знаходиться в рамках, коли полив має бути
вимкнений. Це відбувається тому, що в кодї програмування ПЛК компонент
вмикання поливу проходить обробку перший, а потім спрацьовує виклик
наступного етапу.



Рисунок 4.4 – Відмова роботи одного з датчиків

На рис. 4.5 можемо бачити відкритий .csv файл відкритий у MS Excel і згенерований засобами Trace Mode 6.

date	time	Temp1	Hum1	Status1	Temp2	Hum2	Status2	Temp3	Hum3	Status3	Temp4	Hum4	Status4	TempG	HumG	TempAvg	HumAvg	VavleStatu
07.12.2025	17:10:31	23,5	58,2	1	24,9	59,7	1	26,3	57,0	1	24,0	57,1	1	26,1	64,2	23,5	58,2	0
07.12.2025	17:15:45	23,7	57,7	1	25,3	59,2	1	26,5	56,8	1	23,7	56,6	1	26,2	64,5	23,7	57,7	0
07.12.2025	17:20:10	23,9	57,1	1	25,5	58,8	1	26,1	57,1	1	23,9	56,2	1	26,2	64,7	23,9	57,1	0
07.12.2025	17:25:21	24,1	56,5	1	25,9	58,4	1	25,8	57,6	1	24,2	55,7	1	26,3	64,8	24,1	56,5	0
07.12.2025	17:30:38	24,3	55,8	1	26,1	58,1	1	25,6	58,1	1	24,4	55,2	1	26,3	65,0	24,3	55,8	0
07.12.2025	17:35:31	24,5	55,1	1	26,3	57,8	1	25,3	58,4	1	25,1	59,0	1	26,2	65,1	24,5	55,1	0
07.12.2025	17:40:17	24,8	54,6	1	26,4	57,2	1	25,1	59,0	1	24,9	59,5	1	26,2	65,1	24,8	54,6	0
07.12.2025	17:45:24	24,7	55,0	1	26,1	57,4	1	24,9	59,5	1	25,0	59,1	1	26,1	65,0	24,7	55,0	1
07.12.2025	17:50:45	24,6	55,4	1	25,9	57,7	1	25,0	59,1	1	25,4	58,7	1	26,1	64,9	24,6	55,4	1
07.12.2025	17:55:51	24,4	55,9	1	25,7	58,2	1	25,4	58,7	1	25,7	58,1	1	26,0	64,9	24,4	55,9	1
07.12.2025	18:00:19	24,2	56,5	1	25,4	58,6	1	25,7	58,1	1	26,1	57,6	1	26,0	64,8	24,2	56,5	1
07.12.2025	18:05:32	24,0	57,1	1	25,1	59,0	1	26,1	57,6	1	24,9	59,7	1	26,0	64,8	24,0	57,1	1
07.12.2025	18:10:39	23,7	56,6	1	24,9	59,5	1	24,9	59,7	1	23,7	56,6	1	26,1	64,7	23,7	56,6	1
07.12.2025	18:15:47	23,9	56,2	1	25,0	59,1	1	25,3	59,2	1	23,5	58,2	1	26,1	64,5	23,9	56,2	0
07.12.2025	18:20:29	24,2	55,7	1	25,4	58,7	1	25,5	58,8	1	23,7	57,7	1	26,2	64,4	24,2	55,7	0
07.12.2025	18:25:41	24,4	55,2	1	25,7	58,1	1	25,9	58,4	1	23,9	57,1	1	26,2	64,2	24,4	55,2	0
07.12.2025	18:30:23	24,7	54,8	1	26,1	57,6	1	26,1	58,1	1	24,1	56,5	1	26,2	64,2	24,7	54,8	0
07.12.2025	18:35:36			0	26,3	57,0	1	26,3	57,8	1	24,3	55,8	1	26,3	64,0	23,5	58,2	0
07.12.2025	18:40:29			0	26,5	56,8	1	26,4	57,2	1	24,5	55,1	1	26,3	64,1	23,7	57,7	0
07.12.2025	18:45:17			0	26,1	57,1	1	26,1	57,4	1	24,8	54,6	1	26,3	64,3	23,9	57,1	1
07.12.2025	18:50:40			0	25,8	57,6	1	25,9	57,7	1	24,7	55,0	1	26,2	64,1	24,1	56,5	1
07.12.2025	18:55:28			0	25,6	58,1	1	25,7	58,2	1	24,6	55,4	1	26,2	64,5	24,3	55,8	1
07.12.2025	19:00:36			0	25,3	58,4	1	25,4	58,6	1	24,5	55,1	1	26,1	64,7	24,5	55,1	1

Рисунок 4.5 – Відображення даних в .csv файлі

У цьому файлі зберігається час і дата отриманої інформації з ПЛК до інтерфейсу оператора у повному пакеті, який за умови можна налаштувати на експорт тільки потрібних даних.

4.2 Аналіз ефективності роботи системи

Одним з головних завдань було зменшити використання води в теплиці під час поливу. Розрахуємо використання води при поливі нашого ряду з рослин, тобто ряду довжиною в 30 метрів, за умови що графік поливу вмикає клапан 3 рази на добу на 1,5 години. Для поливу буде використовуватися крапельна стрічка з відстанню між крапельницями в 50 см., і витратами однієї крапельниці 1.6 л/год. Розрахуємо загальну кількість крапельниць для нашого ряду:

$$N = \frac{30}{0.5} = 60,$$

де N – кількість крапельниць на ряд.

Загальний час поливу на добу дорівнює 4,5 годин. За наступною формулою розрахуємо використання води:

$$V_d = N \times Q \times t_d,$$

де Q – витрати однієї крапельниці л/год, а t_d – загальний час поливу на добу.

$$V_d = 60 \times 1.6 \times 4.5 = 432 \text{ л/добу}$$

За умови, що кожену рослину саджають під крапельницю, використовується 7.2 літрів води на рослину, що є в межах норми для деяких рослин, але може бути і менше.

В розробленій системі тенденція ввімкнення поливу дорівнює 12 хвилин на годину часу, тобто 2,88 години на добу. Підставимо отримані значення в формулу:

$$V_d = 60 \times 1.6 \times 2.88 = 276.48 \text{ л/добу.}$$

Отримуємо 4.6 літрів води на рослину на добу, в межах норм і значно менше за минуле значення, а саме на 36 відсотків менше.

4.3 Аналіз енергоефективності системи

Важливим пунктом також є енергоспоживання системи, адже не хочеться витратити багато коштів на підтримку роботи невігідної системи.

Відомо, що споживання енергії для ПЛК – 10 Вт, і перетворювача – 4 Вт. Припустимо, що для коректної роботи ПК буде споживати 250 Вт, адже він постійно буде підтримувати в роботі інтерфейс системи. Для датчиків маємо споживання струму 4 мА при 24 В, тобто:

$$P = V \times I = 24 \times 0.004 = 0.096 \text{ Вт.}$$

Ми маємо п'ять таких датчиків, отже їх загальна потужність 0.48 Вт. Розрахуємо використання енергії в день для кожного значення за загальною формулою:

$$E = \frac{P \times 24}{1000}.$$

Для датчиків це значення буде:

$$E_{sens} = \frac{0.48 \times 24}{1000} = 0.01152 \text{ кВт*год/добу}$$

Для ПК:

$$E_{PC} = \frac{250 \times 24}{1000} = 6 \text{ кВт*год/добу}$$

Для ПЛК:

$$E_{PLC} = \frac{10 \times 24}{1000} = 0.24 \text{ кВт*год/добу}$$

Для перетворювача:

$$E_{IO} = \frac{4 \times 24}{1000} = 0.096 \text{ кВт*год/добу}$$

Додаємо отримані значення для отримання загального, що в результаті буде дорівнювати 6.34752 кВт*год/добу. Отримуємо значення що значно сильно зміщене в сторону витрат електроенергії для ПК, проте отримане значення є задовільним, і з масштабуванням системи не буде сильно збільшуватися, адже додаватися будуть тільки датчики, котрі є енергоефективними.

4.4 Перевірка стабільності роботи системи

Для перевірки стабільності роботи системи зробимо для неї стрес-тест, а саме запустимо обидва створених під час виконання роботи проєкти – інтерфейс оператора в Trace Mode 6 і TwinCAT, в якому відбувалося

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства
програмування ПЛК. Хоча під час роботи системи другий застосунок не буде працювати завжди, для встановлення системи його треба буде запускати, і за можливих збоїв в роботі для перепрограмування на місці. В Trace Mode 6 додатково створимо і відкриємо ще декілька екранів, кожен з яких буде емулювати додаткові ряди посадженої культури.

Для моніторингу споживання ресурсів було використано системний інструмент Windows «Task Manager». Результати вимірювань представлені на рис. 4.6.

Ім'я	Стан	ЦП	Пам'ять
Програми (3)			
> ТсХаеShell Application (32 біти)		0%	333,1 МБ
> Trace Mode Integrated Develop...		5,9%	29,2 МБ

Рисунок 4.6 – Моніторинг стабільності роботи системи під час стрес-тесту

Моніторинг продемонстрував ефективність розроблених проєктів. Тестування проводилося з запущеними 6 екранами в Trace Mode 6 і постійному передаванні і відображенні даних на кожному і робочому проєкті в TwinCAT.

Аналіз отриманих результатів:

1) навантаження на ЦП – обидві програми споживали менше 6 % загальної потужності ЦП, хоча використовуваний процесор доволі потужний, для отриманих значень не має великого значення;

2) використання ОЗП – споживання обома програмами дорівнювало 350-400 Мбайт, що не є великим значенням;

3) обробка даних успішно виконувалася в обох програмах одночасно без видимих помилок.

Загалом система продемонструвала стабільну роботу і довела що розробка і імплементація її на менш потужних компонентах доступна без видимих просядок в продуктивності.

Висновки до четвертого розділу

Матеріал цього розділу демонструє завершений цикл випробувань продуктивності та ефективності розробленої системи моніторингу та автоматичного контролю мікроклімату в теплиці. Тестування «чорного ящика» підтвердило, що програмне та апаратне забезпечення правильно взаємодіють між собою і що система повністю виконує функції, визначені на етапі проектування. Тестування показало, що передача даних між TwinCAT і Trace Mode 6 відбувається безперебійно, інтерфейс оператора добре реагує на зміни стану об'єктів управління, а система продовжує працювати навіть у разі виходу з ладу деяких датчиків.

Тестування функціональних можливостей, таких як автоматичне управління клапанами, ручне управління з інтерфейсу, індикація несправностей та експорт даних у форматі .csv, показало повну відповідність очікуваним результатам. Усі тести в різних режимах продемонстрували стабільну роботу логіки ПЛК, а система SCADA забезпечила інтуїтивний та надійний спосіб взаємодії оператора з технологічним процесом.

Аналіз ефективності системи підтвердив, що реалізований алгоритм автоматичного зрошення значно зменшує споживання води порівняно з фіксованим графіком зрошення. Використання середніх показників температури та вологості з декількох датчиків забезпечує адаптивне управління зрошенням, зменшуючи споживання води на понад 36% при збереженні агрономічних умов для росту рослин. Розрахунки енергоспоживання показали, що загальне споживання електроенергії залишається низьким, причому найбільшу частку займає ПК з інтерфейсом оператора, тоді як ПЛК і датчики мають мінімальне навантаження на електромережу.

Стрес-тестування підтвердило високу стабільність розробленої системи. Навіть при великій кількості одночасно відображених екранів SCADA і активній роботі TwinCAT споживання системних ресурсів було мінімальним,

затримок у передачі даних не спостерігалось, а всі алгоритми працювали коректно. Це свідчить про те, що систему можна легко масштабувати, як додаючи нові датчики, так і розширюючи інтерфейс SCADA.

На закінчення можна зазначити, що створена система повністю відповідає вимогам до функціональності, точності та надійності. Вона використовує сучасні засоби автоматизації, забезпечує зручне управління та контроль, мінімізує споживання ресурсів і демонструє стабільну роботу в умовах, близьких до реальних. Це робить її придатною для подальшої інтеграції в промислові комплекси та для подальшого розвитку з урахуванням майбутніх потреб і можливостей розширення.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній магістерській роботі вирішено завдання створення комп'ютерно інтегрованої системи для автоматизації поливу тепличного господарства. Проведене дослідження дозволило прожити повний цикл розробки, починаючи від збору теоретичної інформації і обґрунтування вибору методів і технологій для практичної реалізації та тестування розробленого продукту.

Аналіз області тепличного господарства виявив методи поливу і їх переваги з недоліками, такі як недостатня можливість автоматизації процесів поливу, витрата великих ресурсів і коштів на встановлення і підтримку роботи. Через це було обґрунтовано вибір крапельної системи поливу як найбільш підходящої для автоматизації і встановлення. Аналіз також виявив методи автоматизації, і для досягнення максимальної ефективності було обрано інтеграція деяких методів в один загальний, а саме отримання інформації про стан ґрунту в який вона посаджена і умов навколо рослини.

Першим ключовим елементом став вибір апаратного забезпечення, а саме датчиків вологості і температури для ґрунту і повітря. Обрані в результаті аналізів датчики забезпечили стабільне під'єднання їх в одну систему з допомогою RS485. Відмова від вибору датчиків для моніторингу більшої кількості параметрів сприяла спрощенню роботи з системою і не вплинула на загальну картину ефективності. Вибір головного компоненту апаратного забезпечення – ПЛК, відбувся після затвердження датчиків, тому потребував додаткових компонентів для забезпечення коректної роботи. Це рішення спростило подальше створення системи і забезпечило можливість розширення масштабування за потреб.

Перед підключенням системи було проведено додатковий аналіз компонентів, розглянуті платформи передачі даних між компонентами системи дозволили створити схеми підключення компонентів, передавання

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства
даних та алгоритму роботи, що забезпечило покрокову інтеграцію готових
схем у реальний проєкт, чим спростило роботу.

Другим ключовим елементом став вибір програмного забезпечення – TwinCAT для програмування ПЛК і Trace Mode 6 для створення інтерфейсу оператора для моніторингу і можливого втручання в систему за потреб. Обрані застосунки підтримують широкий функціонал і дозволяють роботу над комплексними проєктами. Середовище TwinCAT сприяло створенню структурованої логіки опитування датчиків, обробки їх даних і формування керуючих дій. Використання об'єктно-орієнтованого підходу дозволило системі бути масштабованою, зрозумілою і простою в розширенні. Поєднання Trace Mode 6 з TwinCAT забезпечило інтеграцію апаратної системи, керуючої логіки та інтерфейсу людина-машина в єдине комплексне рішення, здатне працювати віддалено та в режимі реального часу.

Тестування розробленої системи довело її надійність, масштабованість і ефективність. Результати стрес-тестів дали зрозуміти що систему можна інтегрувати на майже будь-якому сучасному ПК. Результати тестів ефективності довели що система є енергоефективною і є ємнісною для першого встановлення, а з масштабуванням майже нічого не змінюється. Ці ж тести показали що при вирощуванні однакової культури розроблена система на 36% ефективніше використовує водні ресурси в порівнянні з класичними методами поливу.

Практична цінність проєкту постає в забезпеченні простішого і ефективнішого способу використання ресурсів для вирощування продукції. Розроблено систему, котру можна використовувати без знань автоматизації, що дозволяє її встановлення для більшості теплиць. Основною перевагою є забезпечення українським фермерам альтернативних методів постачання якісної продукції без особливих витрат.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Павленко Б. В., Нікольський В. В. Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства. *Могілянські читання – 2025* : тези доп. XXVIII Всеукр. наук.-практ. конф., Миколаїв, 10–14 листоп. 2025 р. Миколаїв : Чорном. нац. ун-т ім. Петра Могили, 2025. URL: <https://dspace.chmnu.edu.ua/> (дата звернення: 06.12.2025).
2. Greenhouse | Definition, Types, & Uses URL: <https://www.britannica.com/topic/greenhouse> (Last accessed: 15.10.2025).
3. What is Greenhouse Farming? | History, Types, and Benefits URL: <https://agtech.folio3.com/blogs/what-is-greenhouse-farming> (Last accessed: 15.10.2025).
4. An Introduction to Greenhouse Production. URL: <https://scispace.com/pdf/an-introduction-to-greenhouse-production-2vbe5o5r8k.pdf> (Last accessed: 15.10.2025).
5. Greenhouse Production Systems URL: https://www.greenhouse-management.com/greenhouse_management/irrigating_greenhouse_crops/greenhouse_irrigation_systems.htm (Last accessed: 15.10.2025).
6. Top 6 Most Popular Irrigation Systems for Commercial Greenhouses URL: <https://www.insongreen.com/best-irrigation-system-for-greenhouse> (Last accessed: 15.10.2025).
7. 7 Different Greenhouse Hydroponic Systems: Which One Suits You Best? URL: <https://www.insongreen.com/best-hydroponic-system-for-greenhouse> (Last accessed: 16.10.2025).
8. Automated Irrigation Techniques in Greenhouses - Pedigogy URL: <https://pedigogy.com/courses/new-course/lessons/automated-irrigation-techniques-in-greenhouses> (Last accessed: 16.10.2025).
9. Які культури вирощують у теплицях? Повний гід на вибір рослин для захищеного ґрунту URL: <https://novateplica.com.ua/uk/kakie-kultury-vyrashhivayut-v-tepliczah-polnyj-gid-po-vyboru-rastenij-dlya-zashhishhennogo-2025-p>.

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства
grunta/?srsltid=AfmBOoocqYSwjSMYdBIIvjfoZQqYWSYBtyWz2EaH35OwqL9
2lolqFCb (Дата звернення: 16.10.2025).

10. Bachtiar A. N., Faisal M., Darwis M. Development of smart plant watering system application based on Internet of Things. *Jurnal Informatika dan Sains (JISA)*. 2025. Vol. 08, No. 01. P. 74–80. DOI:10.31326/jisa.v8i1.2208.

11. Greenhouse automation: smart watering system for plants in greenhouse using programmable logic control (PLC). *Journal of Physics Conference Series*. 2021. Vol. 1823, Is. 1. Art. ID: 012014. DOI: 10.1088/1742-6596/1823/1/012014.

12. RS485 modbus connection URL: https://ozeki.hu/p_5851-rs485-modbus-connection.html (Last accessed: 11.11.2025).

13. The use of RS-485 and CAN interfaces for connecting sensors in climate control systems of greenhouse complexes. *BIO Web of Conferences*. 2022. Vol. 42, Is. 18. Art. ID: 03008. DOI:10.1051/bioconf/20224203008.

14. Analysis of Greenhouse Air Temperature Distribution Using Geostatistical Methods. *Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers)*. 2009. Vol. 52, Is. 3. Art. ID: 957. DOI:10.13031/2013.27393

15. Digital control of plant development through sensors and microcontrollers in Kosova. *International Journal of Informatics and Communication Technology (IJ-ICT)*. 2025. Vol. 14, Is. 3. Art. ID: 1072. DOI:10.11591/ijict.v14i3.pp1072-1084

16. Novel closed-system GH for irrigation and drinking needs in isolated regions. *Irrigation Science*. 2025. Vol. 44, Is. 1. DOI:10.1007/s00271-025-01044-7.

17. Estimation of actual evapotranspiration and water requirements of strategic crops under different stresses. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15, Is. 1. DOI:10.1038/s41598-025-92481-z.

18. RS485 Soil Sensor(Temperature&Humidity) Arduino Wiki- DFRobot
URL:https://wiki.dfrobot.com/RS485_Soil_Sensor_Temperature_Humidity_SKU_SEN0600 (Last accessed: 25.11.2025)
19. Air Temperature andHumiditySensor-Data Sheet URL:
https://files.seeedstudio.com/products/101990881/Docs/RS485_Air_Temperature_and_Humidity_Sensor_Datasheet.pdf (Last accessed: 26.11.2025)
20. 6ED1052-2HB08-0BA2 LOGO! 24RCEO, 8DI/4DO, 400 Blocks.
URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/1693599?pdtdi=cx&dl=en&lc=en-UA> (Last accessed: 30.11.2025)

ДОДАТОК А Код програми

Лістинг DUT GlobalSensor

```
TYPE GlobalSensor :
STRUCT
    Temp : REAL := 0.0;
    Hum  : REAL := 0.0;
END_STRUCT
END_TYPE
```

Лістинг A.2 DUT SensorData

```
TYPE SensorData :
STRUCT
    Temp    : REAL := 0.0;
    Hum     : REAL := 0.0;
    Status  : BOOL := FALSE;
END_STRUCT
END_TYPE
```

Лістинг A.3 GVL Control

```
{attribute 'qualified_only'}
VAR_GLOBAL
    AvgTemp    : REAL := 0.0;
    AvgHum     : REAL := 0.0;
    ValveState : BOOL := FALSE;

    TempNorm  : REAL := 24.0;
    HumNorm   : REAL := 60.0;
END_VAR
```

Лістинг A.4 GVL Sensors

```
{attribute 'qualified_only'}
VAR_GLOBAL
    SensorCount : UINT := 4;
    Sensors     : ARRAY[1..50] OF SensorData;
    GlobalSensor : GlobalSensor;
END_VAR
```

Лістинг A.5 POU ControlLogic

```
FUNCTION_BLOCK ControlLogic
VAR_INPUT
    nSensors : UINT;
END_VAR

VAR
    i      : UINT;
    Tsum   : REAL := 0.0;
    Hsum   : REAL := 0.0;
END_VAR

Tsum := 0;
Hsum := 0;
```

```
// Обчислення середнього
```

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства

```

FOR i := 1 TO nSensors DO
    Tsum := Tsum + Sensors.Sensors[i].Temp;
    Hsum := Hsum + Sensors.Sensors[i].Hum;
END_FOR

Control.AvgTemp := Tsum / nSensors;
Control.AvgHum := Hsum / nSensors;

// Увімкнення клапана
IF (Control.AvgTemp > Control.TempNorm) OR
    (Control.AvgHum < Control.HumNorm) THEN

    Control.ValveState := TRUE;
END_IF

// Вимкнення клапана при 10% гістерезисі
IF (Control.AvgTemp < Control.TempNorm * 0.9) OR
    (Control.AvgHum > Control.HumNorm * 1.1) THEN

    Control.ValveState := FALSE;
END_IF

```

Лістинг А.6 POU GlobalSensorFB

```

FUNCTION_BLOCK GlobalSensorFB
VAR_INPUT
    MBClient : REFERENCE TO ModbusTCP_Client;
    RegTemp : UINT := 0;
    RegHum : UINT := 1;
END_VAR

VAR
    TempRaw : UINT := 0;
    HumRaw : UINT := 0;
END_VAR

IF MBClient.bReadFinished THEN

    TempRaw := MBClient.auiReadData[RegTemp];
    HumRaw := MBClient.auiReadData[RegHum];

    Sensors.GlobalSensor.Temp := TempRaw / 10.0;
    Sensors.GlobalSensor.Hum := HumRaw / 10.0;

END_IF

```

Лістинг А.7 POU MAIN

```

PROGRAM MAIN
VAR
    MB_Clients : ARRAY[1..5] OF ModbusTCP_Client;
    ModbusSensors : ARRAY[1..50] OF ModbusSensor;
    GlobalFB : GlobalSensorFB;

    SensorMgr : SensorManager;
    ControlFB : ControlLogic;

    i : UINT;
END_VAR

FOR i := 2 TO Sensors.SensorCount+1 DO
    MB_Clients[i] (StartRead := TRUE, SlaveID := i);

```

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства

```

    ModbusSensors[i](SensorID := i, MBClient := MB_Clients[i]);
END_FOR

GlobalFB(
    MBClient := MB_Clients[1],
    RegTemp := 0,
    RegHum := 1
);

SensorMgr(
    nSensors := Sensors.SensorCount,
    SensFB := ModbusSensors
);

ControlFB(
    nSensors := Sensors.SensorCount
);

```

Лістинг А.8 POU ModbusSensor

```

FUNCTION_BLOCK ModbusSensor
VAR_INPUT
    SensorID : UINT; // індекс у масиві Sensors[]
    MBClient : REFERENCE TO ModbusTCP_Client;
    RegTemp : UINT := 0; // адреса регістра температури
    RegHum : UINT := 1; // адреса регістра вологості
END_VAR

VAR
    TempRaw : UINT := 0;
    HumRaw : UINT := 0;
END_VAR

IF MBClient.bReadFinished THEN

    TempRaw := MBClient.auiReadData[RegTemp];
    HumRaw := MBClient.auiReadData[RegHum];

    Sensors.Sensors[SensorID].Temp := TempRaw / 10.0;
    Sensors.Sensors[SensorID].Hum := HumRaw / 10.0;
    Sensors.Sensors[SensorID].Status := TRUE;

ELSIF MBClient.bError THEN
    Sensors.Sensors[SensorID].Status := FALSE;
END_IF

```

Лістинг А.9 POU ModbusTCP_Client

```

FUNCTION_BLOCK ModbusTCP_Client
VAR_INPUT
    StartRead : BOOL; // при підключенні TRUE - запускаємо одне
    зчитування
    SlaveID : UINT := 1; // id сенсора (для імітації)
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bReadFinished : BOOL; // дані готові
    bError : BOOL; // помилка зв'язку
END_VAR
VAR
    auiReadData : ARRAY[0..15] OF WORD; // буфер прочитаних регістрів
    tick : UINT := 0;

```

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства

```
triggerLast : BOOL := FALSE;
END_VAR

IF (StartRead AND NOT triggerLast) THEN
  auiReadData[0] := 500 + SlaveID * 10;
  auiReadData[1] := 230 + SlaveID * 5;

  bReadFinished := TRUE;
  bError := FALSE;
END_IF

triggerLast := StartRead;
```

Лістинг А.9 POU SensorManager

```
FUNCTION_BLOCK SensorManager
VAR_INPUT
  nSensors : UINT;
END_VAR

VAR_IN_OUT
  SensFB : ARRAY[*] OF ModbusSensor;
END_VAR

VAR
  i : UINT;
END_VAR

FOR i := 1 TO nSensors DO
  SensFB[i] ();
END_FOR
```

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства

ДОДАТОК Б
Матеріали апробації

Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи відбулась на ХХVІІІ Всеукраїнській щорічній науково-практичній конференції «Могилянські читання – 2025» (Миколаїв, 10–14 листопада 2025 р);

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
ДНУ «Інститут модернізації змісту освіти»
Південний науковий центр НАН та МОН
Інститут української археографії та джерелознавства
імені М. С. Грушевського НАН України
Первинна профспілкова організація ЧНУ імені Петра Могили



**ХХVІІІ ВСЕУКРАЇНСЬКА ЩОРІЧНА
НАУКОВО–ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ**

**«МОГИЛЯНСЬКІ ЧИТАННЯ–2025: досвід та
тенденції розвитку суспільства в Україні:
глобальний, національний та регіональний
аспекти»**

ПРОГРАМА

Миколаїв, 10–14 листопада 2025 року

Миколаїв – 2025

ПІДСЕКЦІЯ: КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Дата та час проведення: 13.11.2025 о 14:00
<https://meet.google.com/pub-aamo-ouu>

Керівник підсекції: **Дарнапук Є. С.** – PhD, доцент (б. в. з.)
кафедри комп'ютерної інженерії

Секретар підсекції: **Худолій Є. П.** – аспірант кафедри
комп'ютерної інженерії

Мета проведення: обмін науковими поглядами щодо перспектив
розвитку комп'ютерної інженерії в Україні та обговорення
перспективних розробок.

1. **Chuiko G.** (D.Sc. in Physics and Mathematics, Professor of the
Computer Engineering Dep.), **Yaremchuk O.** (Senior Lecturer of the
Department of Medical and Biological Disciplines), **Bazhenov D.** (MS
Student, Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv,
Ukraine). **Feature engineering and noise reduction for cardiovascular
risk prediction in Weka.**

2. **Охотський В.В.** (магістрант кафедри комп'ютерної інженерії,
ЧНУ імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна), **Нікольський В.В.**
(д-р техн. наук, професор, ЧНУ імені Петра Могили, м. Миколаїв,
Україна; Нац. ун-т «Одеська морська академія», м. Одеса, Україна).
**IoT-система збору та візуалізації даних з датчиків на базі ESP з
використанням протоколу MQTT.**

3. **Павленко Б.В.** (магістрант кафедри комп'ютерної інженерії,
ЧНУ імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна), **Нікольський В.В.**
(д-р техн. наук, професор, ЧНУ імені Петра Могили, м. Миколаїв,
Україна; Нац. ун-т «Одеська морська академія», м. Одеса, Україна).
**Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного
господарства.**

4. **Тенета Є.В.** (аспірант), **Ситніков В.С.** (д-р техн. наук, проф.,
завідувач кафедри комп'ютерних систем, Національний університет
«Одеська політехніка», м. Одеса, Україна). **Нейронна компенсація
інерційних коливань рівня пального з використанням LSTM і
навчальних еталонів RAW → EXPECTED.**

5. **Афонін Ю.С.** (аспірант), **Савінов В.Ю.** (канд. техн. наук,
доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії, ЧНУ імені Петра
Могили, м. Миколаїв, Україна). Розподілена система гуманітарного
розмінування з використанням глибокого навчання та
комп'ютерного зору.

Кафедра комп'ютерної інженерії
Комп'ютерно-інтегрована система поливу тепличного господарства
ДОДАТОК В

Перевірка на унікальність

Звіт про перевірку схожості тексту Identific

Назва документа:

KMP_Павленко_605_Без додатків.docx

Ким подано:

Віталій Нікольський

Дата перевірки:

2025-12-09 09:48:47

Дата звіту:

2025-12-09 09:52:25

Ким перевірено:

I + U + DB + P + DOI

Кількість сторінок:

70

Кількість слів:

12588

Схожість 2%	Збіг: 40 джерела	Вилучено: 0 джерела
Інтернет: 17 джерела	DOI: 0 джерела	База даних: 0 джерела
Перефразовування 0%	Кількість: 12 джерела	Перефразовано: 37 слова
Цитування 0%	Цитування: 1	Всього використано слів: 18
Включення 0%	Кількість: 0 включення	Всього використано слів: 0
Питання 0%	Замінені символи: 0	Інший сценарій: 7 слова