МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проєкт

першого (бакалаврського) рівня освіти
(рівень вищої освіти)

на тему: «Проєкт промислової Smart-теплиці в умовах фермерського господарства. Система автоматичного регулювання температури всередині теплиці»

Виконав: здобувач 4 курсу, групи 6.1743-с2
спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
І.А. Луценко
(ініціали та прізвище)
Керівник доцент кафедри електричної інженерії та кіберфізичних систем, доцент, канд. техн. наук Міняйло Н.О.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент директор ТОВ «Електротехмаш»
Курілець І. А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю. М. ПОТЕБНІ

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
(код та назва)
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(назва)
Спеціалізація
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри Морозов Д.М
"____" _____ 2026 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ
Луценку Ігорю Анатолійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкту) Проєкт промислової Smart-теплиці в умовах фермерського господарства. Система автоматичного регулювання температури всередині теплиці
Керівник роботи Міняйло Наталія Олександрівна, канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «23» грудня 2025 року №1833-С
2. Строк подання студентом роботи «01» червня 2026 року
3. Вихідні дані до роботи: дані отримані під час виробничої практики, аналіз існуючого рівня автоматизації на об'єкті, технічна документація, ДСТУ
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вивчення особливостей функціонування промислової Smart-теплиці; розробка технічного завдання; проєктування системи автоматизації; розробка технічної документації; розрахунок надійності системи автоматизації; зведена специфікація на весь комплекс технічних засобів автоматизації; організаційне забезпечення системи автоматизації та розрахунок техніко-економічних показників; техніка безпеки та охорона праці, висновки
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) промислова теплиця фермерського господарства; схема інформаційних та матеріальних потоків; функціональна схема автоматизації; принципова електрична схема; принципова електрична схема живлення; монтажно-комутаційна схема щита КВПіА; зовнішній вигляд щита; схема

зовнішніх з'єднань; результати моделювання САР; компонування контролера та прикладна програма; техніко-економічні показники; висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Міняйло Н.О., доцент	13.02.2026	25.02.2026
2	Міняйло Н.О., доцент	26.02.2026	09.03.2026
3	Міняйло Н.О., доцент	10.03.2026	24.03.2026
4	Міняйло Н.О., доцент	25.03.2026	27.04.2026
5, 6	Міняйло Н.О., доцент	28.04.2026	04.05.2026
7	Міняйло Н.О., доцент	05.05.2026	15.05.2026
8	Міняйло Н.О., доцент	18.05.2026	26.05.2026

7. Дата видачі завдання 09 лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим.
1	Аналіз існуючого рівня автоматизації об'єкта управління	13.02.2026 – 19.02.2026	
2	Створення схеми інформаційних та матеріальних потоків	20.02.2026 – 25.02.2026	
3	Формування технічного завдання	26.02.2026 – 09.03.2026	
4	Підбір та обґрунтування комплексу технічних засобів	10.03.2026 – 24.03.2026	
5	Проєктування системи автоматизації Smart-теплиці	25.03.2026 – 27.04.2026	
6	Розроблення технічної документації	28.04.2026 – 30.04.2026	
7	Виконання розрахунку надійності системи автоматизації	01.05.2026 – 04.05.2026	
8	Розрахунок техніко-економічних показників	05.05.2026 – 15.05.2026	
9	Розгляд питань охорони праці та техніки безпеки	18.05.2026 – 22.05.2026	
10	Підготовка презентації роботи, проходження нормконтролю, підготовка доповіді	25.05.2026 – 29.05.2026	

Студент _____ І.А.Луценко
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ Н.О.Міняйло
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ А.В. Колосок
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Луценко І.А. Проєкт промислової Smart-теплиці в умовах фермерського господарства. Система автоматичного регулювання температури всередині теплиці.

Кваліфікаційна робота бакалавра на здобуття вищої освіти за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», науковий керівник Міняйло Н.О., Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем. Запоріжжя, 2026.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка проєкту промислової Smart-теплиці в умовах фермерського господарства для забезпечення оптимального мікроклімату, підвищення врожайності та зменшення енергетичних витрат.

У роботі розглянуто необхідність впровадження Smart-теплиць та проаналізовано фактори, що впливають на формування мікроклімату і ефективність вирощування рослин, наведено вимоги до створення системи управління Smart-теплицею. Проведено вибір та обгрунтування технічного та програмного забезпечення системи автоматичного регулювання температури всередині теплиці, виконано математичне моделювання та розраховані оптимальні параметри системи регулювання, розроблено комплект технічної документації на систему автоматизації.

Виконані техніко-економічні розрахунки ефективності запропонованої системи автоматизації. Розглянуті питання охорони праці та безпеки експлуатації електрообладнання в умовах тепличного господарства. У висновках наведено основні результати виконаної роботи та оцінено практичну доцільність впровадження запропонованої системи.

Пояснювальна записка містить 98 сторінок, 32 рисунка, 24 таблиці, 1 додаток на 1 сторінці, 26 джерел інформації у переліку посилань.

Ключові слова: Smart-теплиця, мікроклімат, автоматизація, система регулювання, температура, вологість, датчик, контролер, програма управління, економічна ефективність.

ЗМІСТ

ВСТУП……7

1. ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ SMART-ТЕПЛИЦІ. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО РІВНЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ……8

1.1 Smart-теплиця та алгоритм її роботи. 8

1.2 Smart-теплиця, як об’єкт автоматизації..... 12

1.3 Аналіз існуючого рівня автоматизації на діючому виробництві..... 15

1.4 Розробка схеми матеріальних та інформаційних потоків 17

1.5 Стан рівня автоматизації на аналогічних об’єктах підприємств України та Зарубіжжя..... 19

1.6 Недоліки існуючої системи управління 22

2. РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ 25

2.1 Вимоги до системи в цілому..... 25

2.2 Вимоги до функцій, які виконує система..... 26

2.3 Вимоги до видів забезпечення 28

3. ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ 30

3.1 Вибір та обгрунтування функціональної структури СА 30

3.2 Визначення принципів управління по кожному технологічному параметру..... 32

3.3 Вибір математичної моделі системи управління 35

3.4 Вибір та обгрунтування технічних засобів нижнього рівня СА..... 42

3.4.1 Первинні перетворювачі, нормуючі пристрої вторинні прилади 42

3.4.2 Промислові контролери..... 56

3.4.3 Виконавчі механізми та регулюючі органи..... 60

4. РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ..... 72

4.1 Функціональна схема автоматизації..... 72

4.2 Принципова електрична схема 75
4.3 Принципова електрична схема живлення 76
4.4 Монтажно-комутаційна схема щита КВПіА 76
4.5 Зовнішній вигляд щита та вид на внутрішні панелі 77
4.6 Схема зовнішніх з'єднань 78
5. РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ 79
6. ЗАМОВНА СПЕЦИФІКАЦІЯ НА ВЕСЬ КОМПЛЕКС ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ. 82
7. ОРГАНІЗАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ. 83
7.1 Організаційне забезпечення системи автоматизації 83
7.2 Розрахунок техніко-економічних показників 84
7.2.1 Розрахунок капітальних втрат на створення СА 84
7.2.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на функціонування СА 86
7.2.3 Розрахунок очікуваної економії після впровадження СА 88
8. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ 90
ВИСНОВОК 94
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 96
Додаток А. Замовна специфікація на комплекс технічних засобів……..99

ВСТУП

Взаємодія людини з природним середовищем є невід'ємною складовою її життєдіяльності. З розвитком технологій з'являються нові можливості для ефективного використання природних ресурсів, зокрема у сфері сільського господарства. Одним із перспективних напрямів є застосування тепличних комплексів, які дозволяють розширити сезон вирощування культур - розпочинати його раніше навесні та продовжувати в осінньо-зимовий період.

Разом з тим, підтримання необхідних параметрів мікроклімату в теплиці в ручному режимі є трудомістким процесом і потребує постійного контролю. Це може призводити до неефективного використання ресурсів та зниження продуктивності.

У зв'язку з цим у даній кваліфікаційній роботі розглядається створення системи автоматизації мікрокліматом у промисловій теплиці для умов фермерського господарства. Запропонована система забезпечує автоматизацію процесів контролю та регулювання параметрів (температури, вологості, рівня освітлення та інших кліматичних показників) всередині теплиці, що сприяє формуванню оптимальних умов для росту та розвитку рослин.

1. ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ SMART-ТЕПЛИЦІ. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО РІВНЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Smart-теплиця та алгоритм її роботи

Smart-теплиця – це сучасна автоматизована система для вирощування рослин у закритому ґрунті, яка дозволяє підтримувати необхідний мікроклімат практично без постійної участі людини. [1] У такій системі всі основні параметри середовища, зокрема температура, вологість повітря і ґрунту, рівень освітлення та концентрація вуглекислого газу, перебувають під постійний контролем. Регулювання цих умов забезпечується за рахунок комплексу технічних засобів: датчиків, програмованого контролера та виконавчих механізмів (вентиляторів, нагрівачів, клапанів, систем поливу тощо). Усі ці елементи працюють як єдина система, де кожен виконує свою частину задачі. [1]

Датчики вимірюють параметри середовища та перетворюють їх у електричні сигналіи, які передаються на контролер. Контролер є центральним елементом системи: він обробляє отримані дані, порівнює їх із заданими значеннями та визначає, чи потрібно втручання в процес.

Якщо якийсь із параметрів виходить за допустимі межі, система автоматично реагує. Наприклад, при зниженні температури вмикається опалення, при перегріві – вентиляція, при нестачі вологи в ґрунті запускається полив, а при недостатньому освітленні вмикається штучне світло. Після цього датчики знову фіксують зміни, і процес регулювання повторюється. Таким чином реалізується замкнений контур керування. Окрім підтримання мікроклімату, розумна теплция дозволяє більш раціонально використовувати ресурси - воду, електроенергію, газ і добрива. Це зменшує витрати та підвищує ефективність виробництва. Важливою також є функція безпеки: у разі аварійних ситуацій, наприклад різкого підвищення температури або

перевищення тиску, система може автоматично відключити подачу ресурсів і повідомити оператора. [2]

Робота розумної теплиці має циклічний характер, а моніторинг за технологічними параметрами відбувається безперервно. Спочатку система збирає дані з датчикі, далі аналізує їх приймає рішення відповідно до налаштувань і формує керуючі сигнали. Після цього перевіряється результат і цикл повторюється знову. Такий підхід дозволяє стабільно підтрмувати умови вирощування, мінімізувати вплив людського фактора та забезпечити оптимальний розвиток рослин.

При проєктуванні комп'ютеризованої системи керування важливо враховувати тип об'єкта, для якого вона створюється. Теплиці класифікують за кількома ознаками:

- за технологією вирощування, розміром та конструкцією каркасу;
- за технологією вирощування виділяють ґрунтові та стелажні теплиці;
- за розміром теплиці поділяють на:
  - тепличні компекси (від 0,5 га);
  - фермерські теплиці (від 500 до 5000м^2);
  - індивідуальні теплиці (до 500м^2).

Тепличні комплекси – це великі промислові об'єкти площею від 0,5 га до кількох десятків гектарів.[3] Вони зазвичай складаються з кількох блоків теплиці і призначені для масового виробництва сільськогосподарської продукції. Такі комплекси обслуговуються спеціалізованими агрономічними, технічними та адміністративними службами. Основними вимогади до них є висока врожайність, стабільна якість продукції та мінімальна собівартість.

Фермерські теплиці мають площу від 500 до 5000м^2 і зазвичай використовуються для вирощування окремих культур з подальшим продажем на ринку або дрібним гуртом. Вони часто забезпечують основне або додаткове джерело доходу для сімейних господарств. Головними вимогами є стабільна якість продукції, прийнятна врожайність і низькі витрати на виробництво.[3]

Індивідуальні теплиці – це невеликі конструкції площею до 500 м^2, які будуються переважно для власних потреб. Їх основна мета – вирощування екологічно чистої продукції для особистого споживання з мінімальними витратами. [3]

За конструкцією каркасу теплиці поділяють на одно- або двосхилі прямокутні, аркові, багатокутні та куполоподібні. [4, 5]

Одно- та двосхилі прямокутні теплиці [4, 5] мають форму, де конфігурація даху залежить від орієнтації споруди та її розташування. Пристінні варіанти зазвичай виконують із двосхилим дахом. Така конструкція забезпечує ефективний відвід дощової води та снігу, що особливо важливо для експлуатації в різних кліматичних умовах, що представлено на рис 1.1.

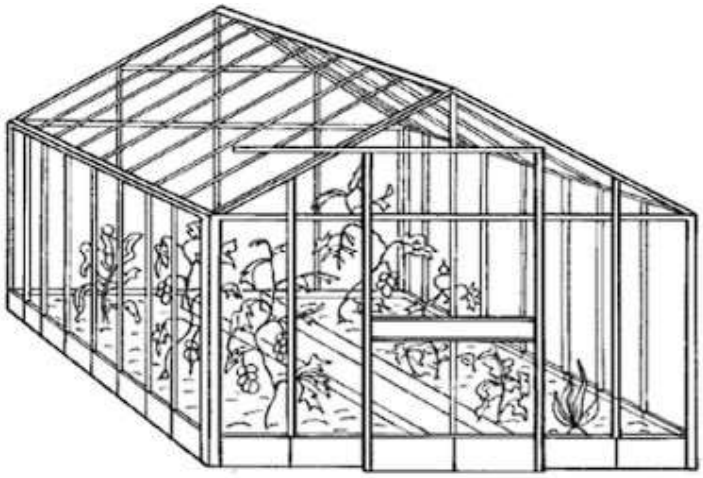


Рисунок 1.1 – Прямокутна двосхила теплиця

Аркова теплиця – поперечний розріз такої теплиці зверху обмежений дугою, що утворює арку. [4, 5] По краях такої теплиці можна висаджувати тільки невеликі рослини. Зазвичай арочні теплиці роблять розбірними, невеликої висоти, що представлено на рис. 1.2.

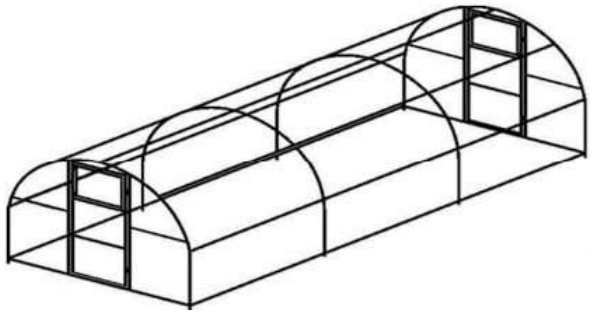


Рисунок 1.2 – Аркова теплиця

Теплиця багатокутної конструкції зовні схожа на шатер, дах виконаний з окремих сегментів. Внутрішній простір невеликий. Частіше застосовується як декоративна споруда для вирощування різних культур, що представлено на рис. 1.3.

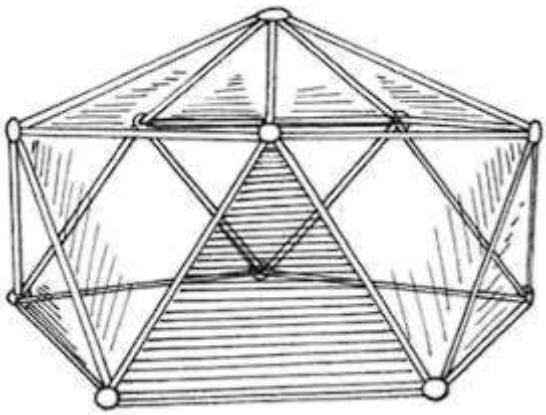


Рисунок 1.3 – Теплиця багатокутної конструкції

Куполоподібна конструкція – це також в основному декоративна споруда, що застосовується для вирощування невисоких квітів в умовах високої освітленості, що показано на рис. 1.4.

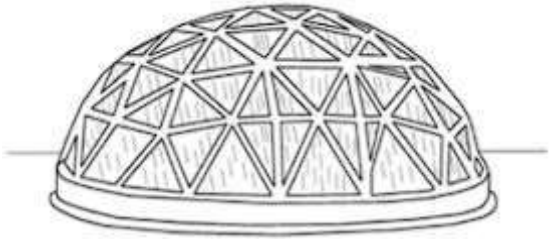


Рисунок 1.4 – Теплиця куполоподібної конструкції

В сучасному сільському господарстві найчастіше використовуються прямокутні та аркові теплиці. [4, 5]

1.2 Smart-теплиця, як об’єкт автоматизації.

Розглядаючи Smart-теплицю як об’єкт автоматизації, її доцільно сприймати не просто як приміщення для вирощування рослин, а як складну динамічну систему з великою кількістю взаємопов’язаних процесів. У межах теплиці одночасно відбуваються теплові, масообмінні, гідравлічні та біологічні процеси, які впливають один на одного. Будь-яка зміна одного параметра неминуче викликає зміну інших, тому керування повинно бути комплексним і узгодженим.

Як об’єкт автоматизації теплиця характеризується наявністю керованих та збурюючих впливів. До керованих належать подача тепла, води, повітря, добрив, інтенсивність освітлення. Саме на ці параметри система може впливати безпосередньо через виконавчі механізми. До збурюючих факторів відносяться зовнішня температура повітря, сонячна радіація, швидкість вітру, вологість навколишнього середовища, а також біологічні особливості самих рослин. Наприклад, у сонячний день температура в теплиці може різко підвищитися навіть без увімкнення опалення, а вночі – навпаки швидко знизитися. [6,7]

Особливістю теплиці, як об’єкта керування є її інерційність. Температура повітря чи ґрунту змінюється не миттєво, а з певною затримкою. Те саме стосується і вологості. Через це система автоматизації повинна враховувати часові характеристики процесів, щоб уникнути частих вмикань і вимикань обладнання або різких коливань параметрів. Неправильно налаштоване регулювання може призвести до перевитрати енергоносіїв або створення стресових умов для рослин. [6,7]

Ще одна важлива риса – багатопараметричність. У теплиці одночасно контролюється декілька технологічних величин, які мають підтримуватися в

заданих межах. Причому допустимі значення залежать від фази росту рослин. На етапі пророщування насіння потрібні одні умови, у період активного росту – інші, під час цвітіння або плодоношення – ще інші. Тому об’єкт автоматизації має змінні режими роботи, що вимагає гнучкого налаштування системи керування.

З точки зору теорії автоматичного керування Smart-теплиця є об’єктом із розподіленими параметрами, оскільки мікроклімат у різних зонах може відрізнятися. Наприклад, температура біля ґрунту і під покрівлею не однакова, а вологість у різних частинах теплиці може змінюватися залежно від розташування системи поливу чи вентиляції. Це створює додаткові вимоги до розміщення датчиків та організації зонального регулювання. [7]

Також важливо враховувати економічний аспект. Як об’єкт автоматизації теплиця споживає енергетичні та матеріальні ресурси, тому система керування повинна забезпечувати не лише стабільність параметрів, а й мінімізацію витрат. Оптимальне поєднання якості регулювання та енергоефективності є одним із ключових завдань автоматизації.

Важливою характеристикою Smart-теплиці, як об’єкта автоматизації є необхідність безперервного контролю стану середовища. Рослини дуже чутливо реагують навіть на незначні зміни температури, вологості або освітлення, тому система керування повинна постійно отримувати актуальну інформацію про стан мікроклімату. Для цього у теплиці застосовується комплекс вимірювальних приладів, які контролюють параметри повітря, ґрунту та поживного середовища. Отримані дані надходять до контролера, де аналізуються та використовуються для формування керуючих сигналів. Завдяки цьому створюється замкнений контур автоматичного регулювання, що дозволяє підтримувати необхідні умови вирощування без постійного втручання людини.

Ще однією характерною особливістю такого об’єкта є значна залежність технологічного процесу від зовнішнього середовища. На відміну від багатьох промислових систем, де умови роботи майже не змінюються, у теплиці

постійно впливають природні фактори. Інтенсивність сонячного освітлення протягом дня змінюється, зовнішня температура може різко коливатися, а погодні умови впливають на тепловий баланс споруди. У зв’язку з цим система автоматизації повинна не тільки реагувати на поточні зміни, але й забезпечувати стабільність мікроклімату всередині теплиці незалежно від умов зовнішнього середовища.

Крім цього, Smart-теплиця, як об’єкт керування характеризується великою кількістю виконавчих механізмів, які беруть участь у регулюванні технологічного процесу. До них належать електроприводи вентиляційних клапанів, насоси системи поливу, клапани подачі води та добрив, освітлювальні установки, а також обладнання для обігріву чи охолодження повітря. Усі ці пристрої повинні працювати узгоджено, оскільки робота одного елемента часто впливає на ефективність іншого. Наприклад, увімкнення системи вентиляції може знижувати температуру та одночасно змінювати рівень вологості, що потребує коригування режиму зрошення.

Не менш важливою є і біологічна складова процесу, адже об’єктом керування фактично є середовище, у якому розвиваються живі організми. На відміну від технічних систем, рослини реагують на зміни умов поступово, і результат цих змін може проявлятися лише через певний час. Тому система автоматизації повинна забезпечувати стабільність параметрів протягом тривалого періоду, створюючи оптимальні умови для росту та розвитку культур. Порушення температурного або вологісного режиму навіть на короткий час може негативно вплинути на врожайність.

Також слід відзначити, що сучасні Smart-теплиці все частіше інтегруються з інформаційними системами моніторингу та керування. [6,7] Це дозволяє оператору спостерігати за станом технологічного процесу, аналізувати параметри мікроклімату, змінювати налаштування системи та отримувати попередження про можливі відхилення. Застосування таких рішень значно підвищує ефективність керування, оскільки дає змогу швидко реагувати на зміни умов та оптимізувати роботу обладнання.

Таким чином, Smart-теплиця, як об’єкт автоматизації являє собою складну багатофакторну систему, у якій технічні засоби керування поєднуються з природними біологічними процесами. Ефективність її функціонування залежить від правильного вибору датчиків, виконавчих механізмів та алгоритмів керування, які забезпечують стабільність мікроклімату, раціональне використання ресурсів і створення оптимальних умов для вирощування рослин.

1.3 Аналіз існуючого рівня автоматизації на діючому виробництві

На сучасному етапі розвитку тепличного господарства значна увага приділяється впровадженню автоматизованих систем керування, які дозволяють підтримувати оптимальні умови для росту рослин та підвищувати ефективність виробництва. Як приклад, можна розглянути приватну Smart-теплицю середнього розміру, у якій застосовано базові елементи автоматизації для контролю основних технологічних параметрів, теплицю представлено на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Теплиця середніх розмірів

На момент проведення аналізу досліджувана теплиця функціонує без впровадження будь-яких засобів автоматизації. Усі основні технологічні процеси здійснюються в ручному режимі або з використанням найпростіших механічних пристроїв без централізованого керування.

Контроль параметрів мікроклімату, таких, як температура, вологість повітря, освітленість та вологість ґрунту, здійснюється періодично обслуговуючим персоналом за допомогою переносних або вбудованих вимірювальних приладів. Отримані значення не передаються до єдиної системи обробки, а рішення щодо регулювання приймаються оператором суб’єктивно, на основі досвіду та поточних спостережень.

Система опалення у теплиці не має автоматичного регулювання. Вмикання та вимикання джерел тепла (котла або інших нагрівальних пристроїв) здійснюється вручну. Це призводить до значних коливань температури, особливо в нічний період або при різких змінах погодних умов, що негативно впливає на ріст і розвиток рослин, а також знижує енергоефективність процесу.

Освітлення також не автоматизоване. Увімкнення штучних джерел світла виконується вручну без урахування фактичного рівня природної освітленості. Це може спричиняти як недостатнє освітлення рослин, так і надлишкове споживання електроенергії.

Полив рослин здійснюється оператором за встановленим графіком або візуальною оцінкою стану ґрунту. Відсутність контролю вологості призводить до нерівномірного зволоження, що може викликати як пересихання, так і перезволоження субстрату, погіршуючи умови росту рослин і знижуючи врожайність.

Вентиляція теплиці реалізована природним способом або за допомогою ручного відкривання вентиляційних отворів. У разі використання вентиляторів їх робота також керується вручну. Такий підхід не забезпечує стабільного підтримання параметрів повітряного середовища, що може

призводити до перегріву, підвищеної вологості або недостатнього повітрообміну.

Інформаційна підсистема у теплиці відсутня. Дані про параметри мікроклімату не накопичуються, не аналізуються та не використовуються для оптимізації технологічного процесу. Відсутня також система сигналізації про аварійні або критичні відхилення параметрів.

Таким чином, існуючий рівень автоматизації даної теплиці можна охарактеризувати як мінімальний. Усі основні процеси керуються вручну, що обумовлює високу залежність від людського фактору, низьку точність підтримання параметрів мікроклімату, підвищені енергетичні та трудові витрати, а також нестабільну якість продукції.

Виявлені недоліки обґрунтовують необхідність впровадження автоматизованої системи керування мікрокліматом, яка дозволить підвищити ефективність виробництва, забезпечити стабільні умови вирощування рослин та зменшити вплив людського фактору.

1.4 Розробка схеми матеріальних та інформаційних потоків

Для аналізу принципу роботи було створено схему, представлена на рисунку 1.5.

У центрі системи знаходиться контролер, який виконує функції обробки сигналів від датчиків і формування керуючих впливів на виконавчі механізми. Через інтерфейс I1 забезпечується зв’язок з ЕОМ (операторським комп’ютером), що дозволяє здійснювати моніторинг параметрів, архівування даних та налаштування режимів роботи.

Інформаційні входи контролера формуються датчиками та вимірювальними приладами:

I1 – зв'язок з ЕОМ;

I2 – витрата природного газу;

I3 – тиск природного газу;

I4 – витрата води;

I5 – тиск води;

I6 – датчик температури води;

I7 – витрата електроенергії;

I8 – витрата добрив;

I9,0 – I9,2 – температура повітря;

I10 – вологість грунту в теплиці;

I11 – вологість повітря в теплиці;

I12 – датчик CO_2;

I13 – фоторезистор.

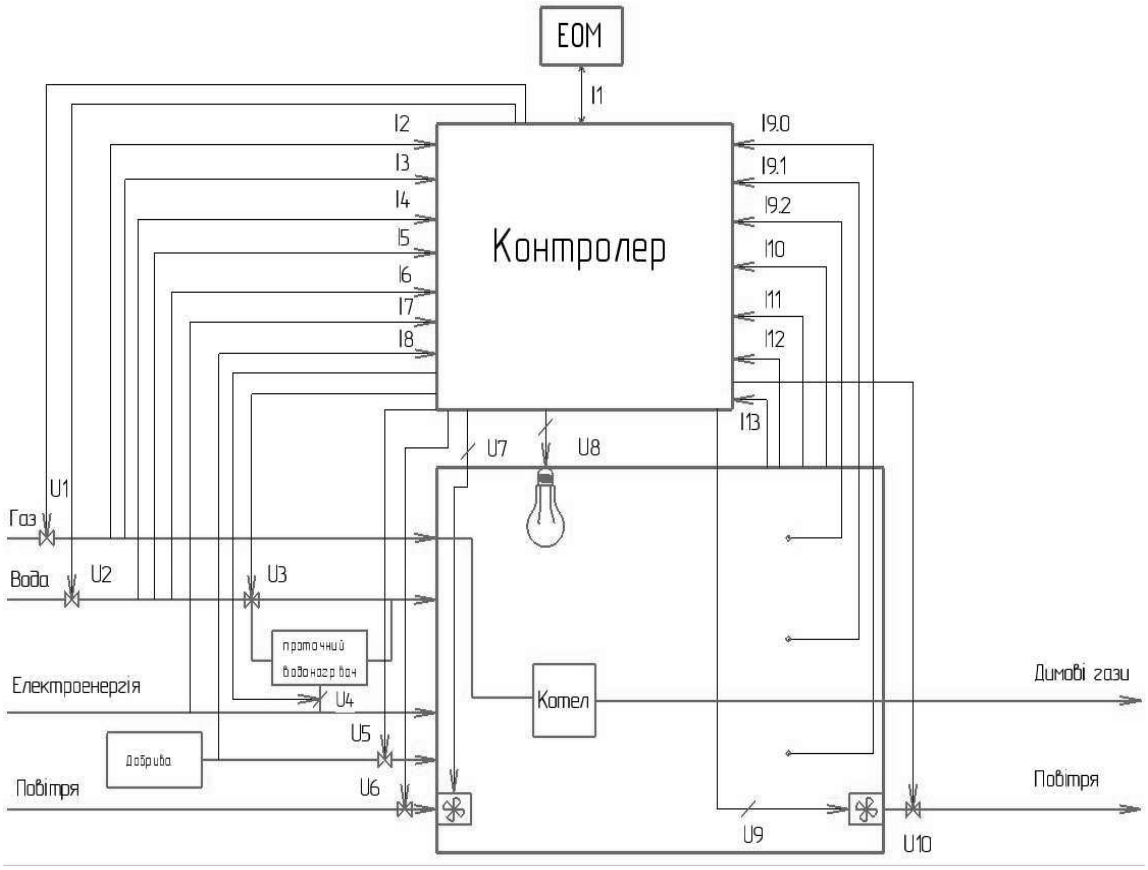


Рисунок.1.6 – Схема матеріальних та інформаційних потоків

Управління матеріальними потоками організовані таким чином. Природний газ через керовану засувку U1 подається до котла, який забезпечує нагрів теплоносія. Водопостачання здійснюється через засувку U2, а регулювання подачі води на проточний водонагрівач – клапаном U3. Робота водонагрівача керується сигналом U4. Таким чином формується контур

теплопостачання теплиці. Димові гази відводяться через відповідний канал, що забезпечує безпечну експлуатацію котельного обладнання.

Система живлення споживачів електроенергії контролюється з урахуванням сигналу I7. Освітлення теплиці здійснюється лампами, керування якими реалізується виходом U8 відповідно до показів датчика освітленості I13 та заданого режиму.

Полив та внесення добрив реалізовані через окремі канали. Подача добрив регулюється засувкою U5, що дозволяє дозувати поживні речовини залежно від агротехнічних вимог. Вентиляція теплиці організована за допомогою вентиляторів (U7, U9) та керованих повітряних клапанів (U6, U10), які забезпечують подачу та видалення повітря. Інтенсивність повітрообміну визначається за показами температури, вологості та концентрації CO_2.

Таким чином, схема відображає систему автоматизованого керування, у якій контролер виступає центральною ланкою, що поєднує інформаційні потоки від датчиків із матеріальними потоками ресурсів. Це забезпечує підтримання необхідних параметрів мікроклімату, раціональне використання енергетичних та матеріальних ресурсів і створення оптимальних умов для вирощування рослин.

1.5 Стан рівня автоматизації на аналогічних об’єктах підприємств України та Зарубіжжя

Стан рівня автоматизації тепличних комплексів суттєво залежить від масштабів виробництва, фінансових можливостей підприємства, спрямованості технологічної моделі та рівня сучасних цифрових рішень. У світі розвиток Smart-теплиць відбувається швидкими темпами, тоді як в Україні цей процес ще перебуває на стадії становлення.

В Україні автоматизація тепличних господарств у більшості випадків має середній чи базовий рівень. На багатьох середніх та невеликих підприємствах автоматизовано лише найважливіші елементи: підтримання

температури, базовий полив, просте регулювання вентиляції. Зазвичай система складається з окремих датчиків температури та вологості, пов'язаних із програмованим контролером, але без повноцінної диспетчеризації. Регулювання часто побудовано на простих правилах – якщо показник досягає певного рівня, система вмикає чи вимикає обладнання. Віддалений моніторинг чи інтеграція зі SCADA-системами зустрічаються рідко, і найчастіше лише на великих підприємствах, де можуть використовуватись рішення SmartFarming [8] або УкрАгроКонсалт.

Наприклад, на деяких тепличних господарствах області Херсон та Київ впроваджено рішення щодо автоматичного контролю температури та поливу, але без детального збору даних чи аналітики. Дані датчиків можуть виводитись на локальні дисплеї або прості програмні панелі, але немає централізованого моніторингу, архівування або автоматичного аналізу ефективності роботи. Такий рівень автоматизації дозволяє підтримувати основні параметри, але не забезпечує гнучку адаптацію змін зовнішніх умов або оптимізації витрат ресурсів.

На міжнародному рівні можна спостерігати значно розвиненіші автоматизовані рішення. У провідних тепличних центрах Європи та Північної Америки автоматизація вже давно не лише інструментом підтримки параметрів, а й комплексної оптимізації технологічного процесу. Наприклад, у Нідерландах теплиці таких компаній як Royal Brinkman, Certhon та Priva застосовують централізовані SCADA-системи, що поєднують контроль клімату, поливу, освітлення, споживання енергії та добрив у єдину мережу. У таких системах дані про стан мікроклімату збираються з великої кількості датчиків у різних зонах теплиці та аналізуються у реальному часі. Це дозволяє не лише підтримувати параметри, а й прогнозувати їх зміну залежно від погодних умов, фаз росту рослин або добового циклу.

У США та Канаді автоматизація теплиць інтегрована з системами аналізу даних та Machine Learning, що дозволяють прогнозувати оптимальні режими роботи обладнання, підвищувати врожайність та зменшувати витрати

води та енергії. Там широко застосовуються рішення таких компаній, як Argus Control Systems та Autogrow, які не лише підтримують задані параметри, а й автоматично адаптують стратегії управління на основі історичних даних та зовнішніх умов. Такі теплиці можуть самостійно коригувати режим освітлення залежно від прогнозу сонячної активності або автоматично регулювати внесення добрив на основі аналізу стану листя рослин у реальному часі.

Ізраїльські тепличні підприємства де обмежені водні ресурси показують високий рівень автоматизації систем зрошення. Там широко впроваджуються рішення компаній Netafim та Haifa Group, де застосовуються pH датчики, EC для контролю якості розчинів, а автоматичні системи фертигації дозволяють максимально ефективно використовувати кожен літр води та добрив. Дані із сенсорів передаються не лише локальні контролери, а й у хмарні платформи, що дозволяє проводити комплексні порівняльні аналізи та приймати рішення на рівні глобальної оптимізації. [11]

Отже, порівняння стану автоматизації в Україні та за кордоном показує, що українські тепличні підприємства мають базові чи середні рішення, спрямовані на підтримку мінімальних технологічних параметрів, але без інтегрованої аналітики чи адаптивного керування. У зарубіжних теплицях автоматизація має високий рівень інтеграції, що включає централізовані системи управління, диспетчеризацію, архівування даних, адаптивні алгоритми та прогнозування.

Українські підприємства зосереджені на впровадженні SCADA-систем, інтеграції з ERP-платформами, застосуванні аналітики даних та інтелектуальних алгоритмах, що дозволить перейти від простої підтримки параметрів до смарт-управління технологічним процесом, підвищити продуктивність, зменшити витрати ресурсів та забезпечити конкурентоспроможність на світовому ринку.

1.6 Недоліки існуючої системи управління

Незважаючи на те, що Smart-теплиця, що розглядається, має певний рівень автоматизації технологічних процесів, існуюча система управління має ряд недоліків, що обмежують ефективність її функціонування і можливості подальшого розвитку. Аналіз цих недоліків дозволяє визначити напрями удосконалення системи автоматизації.

Насамперед система управління базується на відносно простих алгоритмах регулювання, що працюють за принципом порогового управління. Контролер включає або вимикає відповідне обладнання при досягненні певних граничних значень параметрів. Такий підхід не враховує динаміку зміни мікроклімату, інерційності технологічних процесів та впливу зовнішніх факторів. Внаслідок цього можливі значні коливання температури, вологості чи освітленості, що негативно позначається на умовах вирощування рослин.

Ще одним недоліком є обмежена кількість контрольованих параметрів. У системі використовуються лише основні датчики температури, вологості повітря, вологості та освітленості. У той же час для ефективного керування мікрокліматом у теплицях важливі також такі показники, як концентрація вуглекислого газу, швидкість руху повітря, температура ґрунту та рівень випаровування. Відсутність контролю цих параметрів знижує точність регулювання і дозволяє повністю оптимізувати умови зростання рослин.

Істотним недоліком є недостатня інтеграція між окремими підсистемами керування. Опалення, вентиляція, освітлення і полив працюють переважно незалежно друг від друга, хоча у цьому технологічному процесі ці властивості взаємопов'язані. Наприклад, робота системи вентиляції може проводити температуру і вологість повітря, а інтенсивність освітлення – швидкість випаровування води з рослин. Відсутність комплексного підходу до управління може призводити до неузгодженості роботи обладнання та зайвих витрат енергії.

Також слід зазначити обмежені можливості інформаційної підсистеми. Хоча система забезпечує передачу даних на персональний комп'ютер для моніторингу, функції аналізу та прогнозування параметрів мікроклімату залишаються обмеженими. Дані зазвичай використовуються тільки для відображення поточного стану системи без застосування методів аналітики або прогнозування змін параметрів.

Ще одним недоліком є недостатній рівень віддаленого керування та мобільного доступу до системи. У більшості випадків контроль та зміна параметрів здійснюється безпосередньо через комп'ютер оператора, розташований у межах господарства. Відсутність повноцінного доступу через Інтернет чи мобільні пристрої обмежує оперативність реагування на зміну умов роботи теплиці.

Крім того, система має обмежені можливості діагностики та прогнозування відмов обладнання. У разі несправності оператор отримує сигнал про відхилення параметрів, але система не завжди здатна визначити причину проблеми або передбачити можливу відмову виконавчих механізмів чи датчиків. Це може призводити до затримок у реагуванні та порушенні технологічного режиму.

Також слід зазначити, що система не забезпечує повну енергоефективну оптимізацію роботи обладнання. Регулювання роботи опалення, освітлення та вентиляції здійснюється без урахування тарифів на електроенергію, погодних умов або прогнозу зміни температури навколишнього середовища. В результаті можливе нераціональне використання енергетичних ресурсів.

Таким чином, основні недоліки існуючої системи управління (табл.1.1) – це використання простих алгоритмів регулювання, обмежена кількість контрольованих параметрів, недостатня інтеграція між підсистемами, обмежені можливості аналізу даних та віддаленого керування, а також недостатній рівень діагностики та енергоефективної оптимізації. Усунення зазначених недоліків є важливим завданням розробки більш сучасної та ефективної системи автоматизації тепличного господарства.

Таблиця 1.1 – Недоліки існуючої Smart-теплиці

Недолік системи управління	**Характеристика недоліку**	**Наслідки для роботи теплиці**
1. Простий алгоритм керування	Система працює за принципом порогового керування (вмикання/вимикання обладнання при досягненні заданих значень параметрів)	Можливі коливання температури, вологості та освітленості
2. Обмежена кількість датчиків	Контролюються лише основні параметри: температура, вологість повітря, вологість ґрунту та освітленість	Неможливо повністю оптимізувати мікроклімат у теплиці
3. Відсутність комплексного керування	Підсистеми опалення, вентиляції, освітлення та поливу працюють незалежно одна від одної	Можлива неузгоджена робота обладнання та перевитрати енергії

2. РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

2.1 Вимоги до системи в цілому

Система автоматизації Smart-теплиці повинна забезпечувати стабільне та ефективне функціонування технологічного процесу вирощування рослин за рахунок підтримання заданих параметрів мікроклімату та оптимального використання ресурсів. Вона має бути побудована як інтегрована система керування, що об’єднує вимірювальні прилади, програмований контролер, виконавчі механізми та засоби відображення і передачі інформації.

Система повинна працювати у безперервному режимі з можливістю тривалої експлуатації без втручання оператора, забезпечуючи автоматичне регулювання температури, вологості, освітлення, поливу та вентиляції. При цьому має бути передбачена можливість ручного керування окремими елементами у разі необхідності.

Надійність системи є однією з ключових вимог. Усі її елементи повинні забезпечувати стабільну роботу в умовах підвищеної вологості, температурних коливань та можливих перепадів напруги. Система повинна мати захист від аварійних ситуацій, зокрема при виході параметрів за допустимі межі або відмові обладнання. У таких випадках має забезпечуватись безпечний режим роботи або автоматичне відключення відповідних підсистем.

Система автоматизації повинна забезпечувати високу точність вимірювання та регулювання технологічних параметрів. Відхилення від заданих значень не повинні перевищувати допустимі норми, встановлені для конкретного виду рослин.

Важливою вимогою є гнучкість системи. Вона повинна мати можливість налаштування під різні режими роботи залежно від типу рослин, фази їх розвитку та сезонних умов. Передбачається можливість зміни уставок,

алгоритмів керування та режимів роботи без необхідності значних змін апаратної частини.

Система повинна забезпечувати збір, обробку та передачу інформації про стан технологічного процесу на ЕОМ. Це дозволяє здійснювати моніторинг параметрів у реальному часі, зберігати історію змін та проводити аналіз ефективності роботи теплиці.

Також важливою вимогою є енергоефективність системи. Алгоритми керування повинні забезпечувати мінімізацію витрат електроенергії, води, тепла та інших ресурсів при збереженні необхідних умов вирощування.

Система повинна бути зручною в експлуатації та обслуговуванні. Інтерфейс взаємодії з оператором має бути зрозумілим і наочним, а конструкція системи – забезпечувати легкий доступ до основних елементів для проведення технічного обслуговування та ремонту.

2.2 Вимоги до функцій, які виконує система

Система автоматизації Smart-теплиці повинна виконувати комплекс функцій, спрямованих на забезпечення стабільного мікроклімату, контроль технологічних параметрів та ефективне керування обладнанням. Усі функції мають бути реалізовані таким чином, щоб забезпечити безперервність технологічного процесу та мінімізувати участь оператора.

Основною функцією системи є безперервний контроль параметрів мікроклімату. Система повинна здійснювати регулярне зчитування даних з датчиків температури повітря та ґрунту, вологості повітря, вологості ґрунту, освітленості та інших параметрів. Отримані значення повинні оброблятися в режимі реального часу та порівнюватися із заданими уставками.

На основі отриманих даних система повинна реалізовувати функцію автоматичного регулювання температури. У разі зниження температури нижче встановленого рівня має здійснюватися керування системою опалення, а при перевищенні допустимого значення – активація вентиляції або інших

засобів охолодження. Регулювання повинно здійснюватися з урахуванням інерційності об’єкта для уникнення різких коливань температури.

Система також повинна виконувати функцію керування освітленням. При недостатньому рівні природного освітлення автоматично вмикаються штучні джерела світла, а при досягненні необхідного рівня – вимикаються. При цьому має враховуватись необхідна тривалість світлового дня для конкретної культури.

Важливою функцією є керування системою поливу. Система повинна забезпечувати автоматичне включення подачі води при зниженні вологості ґрунту до встановленого рівня та припинення поливу після досягнення необхідної вологості. Полив має здійснюватися з урахуванням заданих режимів та можливості коригування оператором.

Система повинна виконувати функцію керування вентиляцією. Вентиляція має вмикатись у разі перевищення допустимих значень температури або вологості повітря. При цьому необхідно забезпечити узгоджену роботу вентиляторів та вентиляційних клапанів для ефективного повітрообміну.

Крім основних функцій регулювання, система повинна забезпечувати збір, обробку та передачу інформації на ЕОМ. Дані про стан технологічного процесу мають відображатися у зручному для оператора вигляді, а також зберігатися для подальшого аналізу. Передбачається можливість перегляду поточних значень параметрів та їх змін у часі.

Також передбачається функція ручного керування, яка дозволяє оператору втручатися у роботу системи, змінювати режими або керувати окремими виконавчими механізмами у разі необхідності. Це забезпечує додаткову гнучкість та надійність експлуатації.

2.3 Вимоги до видів забезпечення

Для забезпечення ефективного функціонування системи автоматизації Smart-теплиці необхідно передбачити комплекс взаємопов’язаних видів забезпечення, які охоплюють технічні, програмні, інформаційні та інші аспекти роботи системи.

Технічне забезпечення повинно включати сукупність апаратних засобів, необхідних для реалізації системи керування. До його складу входять датчики контролю температури, вологості повітря та ґрунту, освітленості, а також виконавчі механізми – електроприводи, насоси, вентилятори, освітлювальні прилади та інші пристрої. Центральним елементом технічного забезпечення є програмований логічний контролер, який здійснює обробку сигналів і формування керуючих впливів. Усі елементи повинні бути сумісними між собою, відповідати умовам експлуатації (підвищена вологість, температура) та забезпечувати надійну і безпечну роботу системи.

Програмне забезпечення повинно забезпечувати реалізацію алгоритмів керування технологічним процесом. Воно повинно включати програму, що виконується на контролері, а також програмні засоби для відображення інформації на ЕОМ. Програмне забезпечення повинно забезпечувати обробку сигналів від датчиків, виконання логіки керування, передачу даних, а також можливість налаштування параметрів системи.

Інформаційне забезпечення передбачає організацію збору, зберігання та обробки даних про стан технологічного процесу. Система повинна забезпечувати відображення поточних параметрів у зрозумілому вигляді, а також можливість збереження історії змін для подальшого аналізу. Дані повинні бути структурованими та доступними для оператора, що дозволяє оцінювати ефективність роботи системи та приймати обґрунтовані рішення.

Організаційне забезпечення включає правила експлуатації системи, обов’язки обслуговуючого персоналу та порядок взаємодії оператора з

системою. Повинні бути розроблені інструкції з експлуатації, технічного обслуговування та дій у разі аварійних ситуацій.

Енергетичне забезпечення системи повинно гарантувати безперебійне живлення всіх її елементів. Необхідно передбачити захист від перепадів напруги, а також можливість резервного живлення для запобігання зупинці системи у разі аварійного відключення електроенергії.

3. ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Вибір та обгрунтування функціональної структури СА

Було спроєктовано систему автоматизації, яка складається з трьох рівнів:

1) Сенсорів та виконавчих механізмів;
2) Контролерів;
3) ЕОМ.

Доцільно використовувати трирівневу ієрархічну структуру керування, що забезпечує надійність, гнучкість та можливість централізованого контролю технологічних процесів. Запропонована система складається з трьох основних рівнів:

Рівень сенсорів

Нижній рівень системи представлений датчиками технологічних параметрів та виконавчими пристроями, які безпосередньо взаємодіють із технологічним процесом у теплиці.

До цього рівня належать датчики, що вимірюють основні параметри мікроклімату та ресурсоспоживання:

- датчик витрати природного газу;
- датчик тиску газу;
- датчик витрати води;
- датчик тиску води;
- датчик температури води;
- датчик витрати електроенергії;
- датчик витрати добрив;
- датчики температури повітря;
- датчик вологості ґрунту;
- датчик вологості повітря;
- датчик концентрації CO_2;

– фоторезистор для контролю освітленості.

Ці пристрої формують первинну інформацію про стан технологічного процесу та передають її до контролера у вигляді аналогових або дискретних сигналів.

Також до цього рівня належать виконавчі механізми, які реалізують керуючі дії системи:

– керування засувкою подачі газу;
– керування засувкою води;
– керування клапаном подачі води до водонагрівача;
– керування роботою водонагрівача (котла);
– керування подачею добрив;
– керування клапанами подачі повітря;
– керування вентиляцією;
– керування системою освітлення теплиці.

Таким чином, цей рівень забезпечує збір технологічних даних.

Рівень контролерів

Середній рівень системи представлений програмованим логічним контролером (PLC), який є основним елементом автоматичного керування.

Контролер виконує такі функції:

– приймання сигналів від датчиків;
– обробку інформації відповідно до заданих алгоритмів керування;
– формування керуючих сигналів для виконавчих механізмів;
– підтримання заданих параметрів мікроклімату теплиці;
– контроль роботи технологічного обладнання;
– передавання інформації на верхній рівень системи.

Контролер здійснює локальне керування технологічними процесами, що дозволяє забезпечити швидку реакцію системи на зміну параметрів середовища.

Верхній рівень - ЕОМ

Верхній рівень представлений електронно-обчислювальною машиною (ЕОМ) або комп'ютером оператора, який виконує функції диспетчеризації та моніторингу.

До основних функцій цього рівня належать:

- візуалізація параметрів технологічного процесу;
- архівування та зберігання технологічних даних;
- формування звітів про роботу системи;
- віддалене керування технологічними процесами;
- налаштування параметрів роботи контролера;
- сигналізація аварійних ситуацій.

Зв'язок між контролером і ЕОМ здійснюється через цифровий інтерфейс обміну даними**,** що дозволяє оператору контролювати роботу всієї системи в режимі реального часу.

3.2 Визначення принципів управління по кожному технологічному параметру

Система керування формує керуючі дії на виконавчі механізми на основі інформації, отриманої від датчиків мікроклімату та параметрів технологічного середовища. Основні контури автоматичного керування реалізовані у вигляді систем автоматичного регулювання, систем автоматичного керування та систем автоматичного контролю.

Регулювання температури в теплиці

Підтримання заданої температури здійснюється за допомогою системи автоматичного регулювання, що керує подачею природного газу до газового котла. Газ використовується як енергоресурс для нагрівання води в системі опалення теплиці.

Вхідним сигналом для системи регулювання є інформація від датчиків температури повітря, встановлених у теплиці. Сигнал надходить до програмованого контролера, де порівнюється із заданим значенням

температури. На основі відхилення формується керуючий сигнал за пропорційно-інтегральним законом регулювання. Цей сигнал передається на виконавчий механізм керування подачею газу до котла, що змінює інтенсивність нагріву води і, відповідно, температуру повітря в теплиці.

Регулювання подачі води для поливу

Подача води до системи поливу здійснюється з метою підтримання оптимальної вологості ґрунту. Керування цим процесом виконується системою автоматичного регулювання, яка забезпечує необхідний рівень зволоження рослин відповідно до агротехнічних вимог.

Вхідним сигналом для регулювання є дані від датчика вологості ґрунту. Сигнал передається до контролера, де здійснюється аналіз поточного значення вологості та порівняння із заданим рівнем. У разі зниження вологості нижче допустимого значення формується керуючий сигнал, який передається на виконавчий механізм керування засувкою подачі води. Регулювання може здійснюватися за позиційним або пропорційним законом, що дозволяє змінювати інтенсивність подачі води залежно від ступеня відхилення параметра.

Регулювання подавання добрив

Для забезпечення нормального росту рослин у теплиці використовується система автоматичного дозування добрив. Даний контур керування забезпечує подавання необхідної кількості поживних речовин разом із водою поливу.

Вхідними сигналами для системи керування є дані про режим поливу та задані параметри концентрації добрив. Контролер обробляє отриману інформацію і формує керуючий сигнал для виконавчого механізму, який керує клапаном подавання добрив. Регулювання здійснюється за програмним законом, відповідно до заданого технологічного режиму вирощування рослин. Таким чином забезпечується стабільна подача поживних речовин та рівномірний розподіл добрив у системі зрошення.

Регулювання повітря та вентиляції

Параметри повітряного середовища теплиці, зокрема температура, вологість та концентрація вуглекислого газу, підтримуються за допомогою системи вентиляції та подачі свіжого повітря. Для цього застосовується система автоматичного керування, яка регулює роботу вентиляторів та клапанів подачі повітря.

Вхідними сигналами для цієї системи є показники датчиків температури повітря, вологості та концентрації CO_2. Інформація надходить до контролера, де аналізується поточний стан мікроклімату. У разі перевищення допустимих значень температури або вологості формується керуючий сигнал на виконавчі механізми вентиляційної системи. Вентилятори забезпечують видалення надлишкового теплого або вологого повітря та подачу свіжого повітря до теплиці.

Керування освітленням

Освітлення в теплиці є важливим фактором, що впливає на фотосинтетичну активність рослин. Для підтримання необхідного рівня освітленості використовується система автоматичного керування освітленням.

Вхідним сигналом для системи є інформація від датчика освітленості. Контролер порівнює отримані значення із заданим рівнем освітлення. У випадку зниження природної освітленості нижче встановленого порогу формується керуючий сигнал, який передається на виконавчий механізм керування освітлювальними приладами. Система працює за позиційним законом керування, вмикаючи або вимикаючи освітлення залежно від умов навколишнього середовища.

Контроль витрат енергоресурсів

Окремим елементом системи є система автоматичного контролю витрат енергоресурсів, зокрема природного газу, води та електроенергії. Основним завданням цієї системи є моніторинг споживання ресурсів та передача інформації до верхнього рівня системи керування.

Сигнали від відповідних датчиків витрати надходять до контролера, де здійснюється їх обробка та передача до комп’ютера оператора. Отримані дані

використовуються для аналізу ефективності роботи системи, оптимізації режимів керування та формування звітної інформації.

3.3 Вибір математичної моделі системи управління

Для забезпечення оптимального мікроклімату в теплиці необхідно підтримувати задану температуру повітря, яка впливає на ріст рослин. Регулювання температури здійснюється шляхом зміни подачі газу до котла за допомогою регулюючої заслінки.

Об'єктом керування є теплиця, що характеризується:

– теплоємністю повітря та конструкцій;

– тепловтратами через огороджувальні конструкції;

– впливом зовнішньої температури;

– тепловиділенням від котла.

Вхідні та вихідні параметри

Вхідний параметр:

u(t) – положення заслінки газового котла(0-100%)

Вихідний параметр:

T(t) – температура повітря в теплиці(C)

Збурення:

Тзовн(t) – зовнішня температура

Qвтрат – тепловтрати

Математична модель об'єкта

Теплові процеси в теплиці можна описати рівнянням теплового балансу:

$$C\frac{dT(t)}{dt} = Q_{\text{вх}}(t) - Q_{\text{втрат}}(t) \tag{3.1}$$

де C - теплоємність системи;

$Q_{вх}(t)$ – теплова потужність котла;

$Q_{втрат}(t)$ – тепловтрати.

Модель тепловтрат

Тепловтрати пропорційні різниці температур:

$$Q_{втрат}(t) = K(T(t) - T_{зовн}(t)) \tag{3.2}$$

де К - коефіцієнт теплопередачі.

Модель котла

Потужність котла залежить від положення заслінки:

$$Q_{вх}(t) = K_u \cdot u(t) \tag{3.3}$$

де Ku - коефіцієнт підсилення котла.

Передаточна функція

Після лінеаризації та перетворення Лапласа отримуємо:

$$\frac{T(s)}{U(s)} = \frac{K}{T_0 s + 1} \tag{3.4}$$

де

$K = \frac{K_u}{K}$ – коефіцієнт підсилення;

$T_0 = \frac{C}{K}$ – стала часу об'єкта.

Характеристика об'єкта

Отримана модель показує, що система:

– є аперіодичною ланкою першого порядку;

– має інерційність

– піддається значному впливу зовнішніх збурень.

Вибір закону регулювання

Для компенсаціїї інерційності та забезпечення точності доцільно застосовувати ПІД-регулятор [12]:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \tag{3.5}$$

де $e(t) = T_{зад} - T(t)$ – похибка регулювання

Для моделювання поведінки системи використовується програмне середовище MATLAB, та Simulink, яке дозволяє будувати математичні моделі, аналізувати властивості та перехідні процеси.

Програмна реалізація ПІД-регулятор:

```
clc;
clear;
close all;
K = 2;
T0 = 200;

s = tf('s');
G = K / (T0*s + 1);

disp('Передаточна функція об''єкта:');
G

Kp = 4;
Ki = 0.15;
Kd = 30;

PID = pid(Kp, Ki, Kd);

disp('ПІД-регулятор:');
PID

Sys_cl = feedback(PID*G, 1);

figure;
step(Sys_cl);
grid on;
title('Перехідна характеристика системи (теплиця)');
xlabel('Час, с');
ylabel('Температура');

t = 0:1:2000;
r = ones(size(t)) * 25;
```

```
[y, t] = lsim(Sys_cl, r, t);

figure;
plot(t, y, 'LineWidth', 2);
hold on;
plot(t, r, '--r');
grid on;
legend('Температура', 'Задане значення');
title('Регулювання температури в теплиці');
xlabel('Час, с');
ylabel('Температура, °C');

disturbance = 5*sin(0.001*t);

[y2, t] = lsim(Sys_cl, r - disturbance, t);

figure;
plot(t, y2, 'LineWidth', 2);
grid on;
title('Система при наявності збурень');
xlabel('Час, с');
ylabel('Температура, °C');
```

Після запуску програми, можна побачити перехідний процес, представлений на рис.3.1.

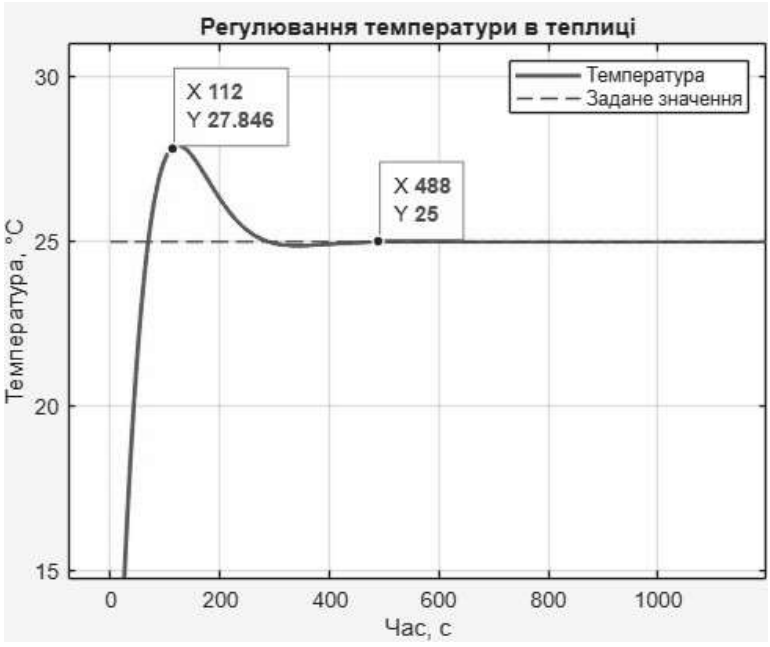


Рисунок 3.1 – Графік перехідного процесу у САР

Параметри ПІД-закону регулювання:

Kp=3.0;
Ki=0.05;
Kd=20;

Коливання можна побачити тільки на початку графіку, з часом система стабілізує температуру, це відбудеться на 488 секунді.

Надалі, виконано дослідження впливу збільшення коефіцієнту Кр на якість перехідного процесу у САР. Приймаємо Кр=3.5, для того щоб зменшити час перехідного процесу. Графік перехідного процесу представлено на рис.3.2.

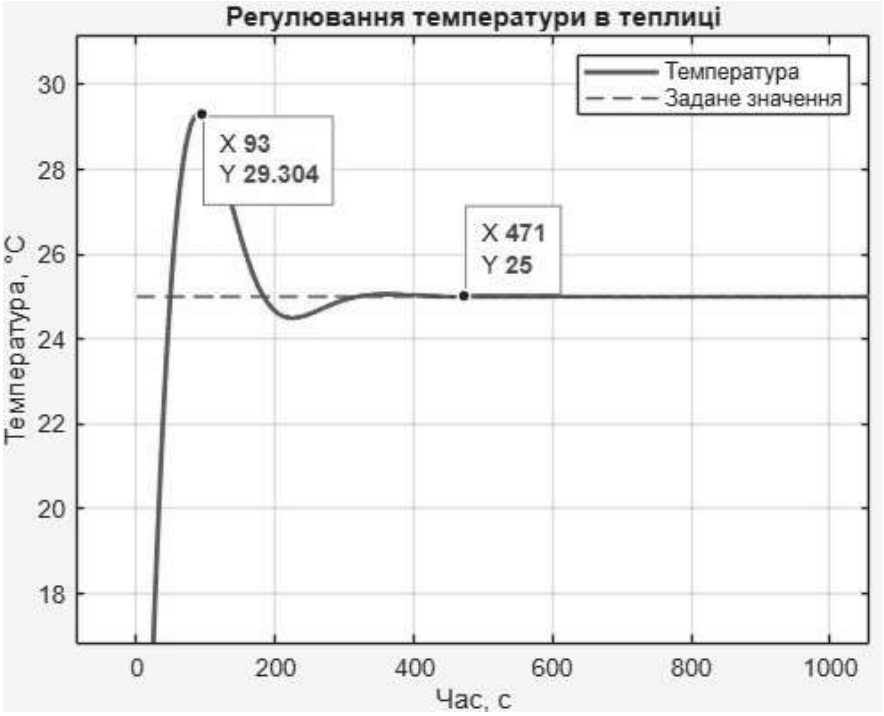


Рисунок 3.2 – Графік перехідного процесу з Кр= 3,5; Кі=0,1; Кd=25

При зміни параметрів, бачимо що коливання так і залишились, але температуру при цих коливаннях стала максимальною для теплиці, але й зменшився час коли система стабілізується.

Графік перехідного процесу з Кр= 4, Кі=0.15 Кd=30 представлено на рис. 3.3.



Рисунок 3.3 – Графік перехідного процесу з Кр= 4, Кі=0.15 Кd=30

Третій графік перехідного процесу стає для об’єкту найбільш сприятливим, температура при попередніх параметрах стає максимальною, але допустимою для об’єкта. Та ще й зменшився час стабілізації системи 389 секунд.

Реалізовано модель системи автоматичного регулювання температури в середині теплиці в середовищі Simulink (рис.3.4), у вигляді замкненої системи з ПІД-регулятором, яка складається з таких блоків:

Step – джерело ступінчатого сигналу, що задає зміну уставки температури;

Sum – блок підсумування, у якому формується сигнал похибки як різниця між заданим значенням та виходом системи;

PID(s) – блок ПІД-регулювання, який формує керуючий вплив на основі похибки регулювання;

Transfer Function – блок, що описує динаміку об’єкта керування передаточною функцією;

Mux – для подачі кількох сигналів на відображення;

Scope – блок візуалізації перехідного процесу та аналізу динаміки температури.

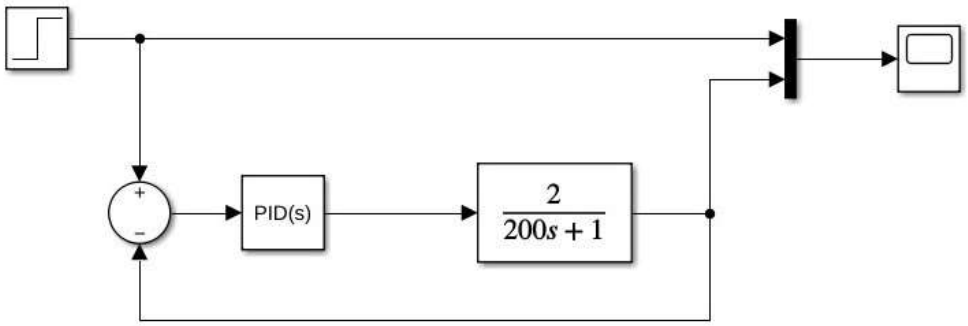


Рисунок 3.4 – Схема моделі в середовищі Simulink

Графік перехідного процесу в середовищі Simulink для САР представлено на рис. 3.5.

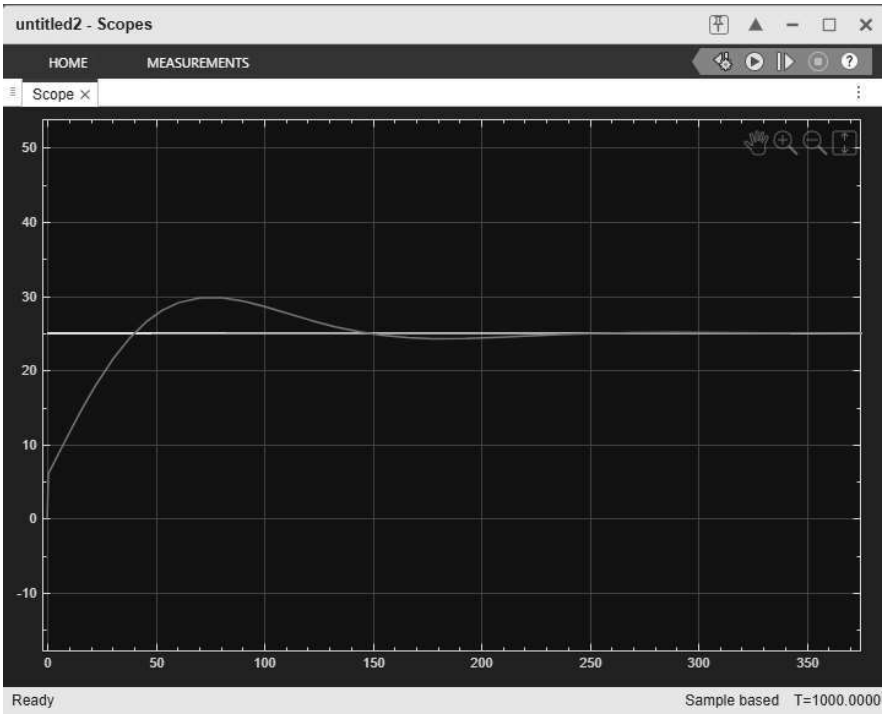


Рисунок 3.5 – Графік перехідного процесу в середовищі Simulink

За результатами моделювання перехідного процесу системи з ПІД-регулятором (третій варіант) визначено основні прямі показники якості регулювання [12].

1. Максимальне значення вихідної величини становить ymax=29.81.
2. Встановлене значення становить: y(∞)=25.
3. Перерегулювання:

$$\sigma = \frac{y_{max} - y(\infty)}{y(\infty)} * 100\% = \frac{29.81 - 25}{25} * 100\% = 19.24\%$$

4. Час досягнення першого максимум дорівнює: tm=72 с.

5. Час регулювання визначається як момент часу, після якого відхилення вихідної величини не перевищує 5% від усталеного значення: 23,75 ≤ y(t)25

За графіком час регулювання дорівнює tp=389 с.

6. Кількість переходів через встановлене значення становить N = 2.

Отримані показники показують, що система має допустимі динамічні властивості, перерегулювання становить 19.24%, що є допустимою нормою, а час регулювання є мінімальним серед інших варіантів. Перехідний процес має затухаючий коливальний характер, що забезпечує стійкість системи.

3.4 Вибір та обгрунтування технічних засобів нижнього рівня СА

3.4.1 Первинні перетворювачі, нормуючі пристрої вторинні прилади **ТСМ-1288** [13]

Термометр опору ТСМ-1288 призначений для вимірювання температури та повітря в діапазоні від -200 °С до +600 °С у різних середовищах – газових, рідинних або твердих, які не агресивні до матеріалів захисної арматури. [13]

Основна сфера застосування:

- промислова автоматизація;
- енергетика;
- хімічна та нафтохімічна промисловість;
- харчова промисловість;
- сільське господарство (теплиці, зерносховища);
- об'єкти з високими вимогами до точності температурного контролю.

Особливості застосування

- висока точність завдяки використанню платинового чутливого елемента (Pt100);

– можливість використання з вторинними приладами: регуляторами, реєстраторами, ПЛК;
– уніфікований вихідний сигнал (опір), сумісний з більшістю систем контролю;
– різні варіанти виконання (з гільзою, без гільзи, з електричним з'єднанням через головку або кабель);
– можливість калібрування та метрологічної повірки.

Вхідні сигнали:

ТСМ-1288 – пасивний вимірювальний прилад. Вхідний сигнал не застосовується безпосередньо (його не живлять напругою), але:

– використовується струм, що подається від вторинного пристрою (зазвичай 1-5 мА);

– вимірювання опору (в залежності від температури) відбувається шляхом вимірювання падіння напруги на сенсорі.

Вихідні сигнали:

– опір, що змінюється з температурою;
– вихід - це залежність опору чутливого елемента (Pt100) від температури згідно з стандартом IEC 60751:
  –0 °C → 100 Ом,
  –100 °C → 138.5 Ом,
  ––100 °C → 60.26 Ом тощо.

Загальний вид та конструктивні особливості представлені на рис. 3.6.



Рисунок 3.6 – Термометр опору ТСМ-1288

Технічні характеристики ТСМ-1288 [13] наведено на табл.3.1

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики ТСМ-1288 [13]

Характеристика	Значення
Діапазон вимірювання температур	–200…+600 °C (стандартне виконання до +450 °C)
Тип чутливого елемента	Платиновий терморезистор Pt100
Клас точності	A або B (згідно IEC 60751)
Число чутливих елементів	1 або 2 (одинарне або дубльоване виконання)
Матеріал захисної гільзи	Нержавіюча сталь (08Х18Н10 або AISI 304/316)
Довжина занурення (L)	Від 50 до 500 мм (або за замовленням)
Різьбове з'єднання	M20×1.5, G1/2", інші варіанти
Температура навколишнього середовища	–50…+85 °C (залежно від конструкції)
Ступінь захисту	IP54, IP65, IP67 (залежно від виконання)
Спосіб підключення	2-, 3- або 4-провідна схема

Схема підключення (схема зовнішніх з’єднань) представлена на рис.3.7. [13]

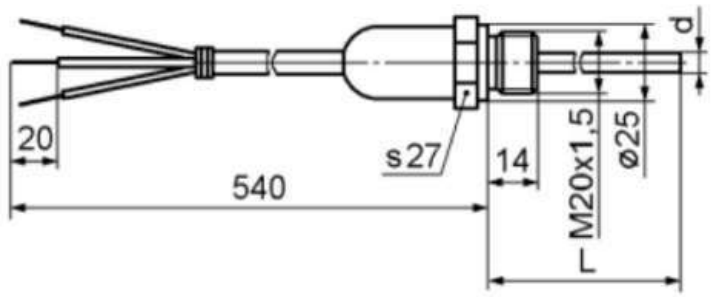


Рисунок 3.7 – Схема підключення ТСМ-1288

AFH-G2F

Прилад призначений для вимірювання вологості повітря у приміщеннях або повітряних каналах технологічних систем. Він застосовується для контролю параметрів мікроклімату у системах автоматизації, зокрема у теплицях, вентиляційних системах, сушильних установках та інших

технологічних процесах, де необхідний контроль вологості і температури повітря.

Вимірювання вологості здійснюється гігрометричним методом. Сенсор містить полімерні волокна, які змінюють свою довжину при поглинанні або виділенні вологи. Зміна довжини волокон перетворюється електронною системою у електричний сигнал, що відповідає значенню відносної вологості.

Прилад використовується у системах контролю та автоматизації мікроклімату, де необхідно підтримувати задані параметри температури та вологості повітря. Типові сфери застосування:

- системи вентиляції та кондиціювання повітря;
- системи автоматизації будівель (BMS);
- тепличні комплекси;
- сушильні установки та зерносушарки;
- харчова промисловість та склади зберігання продукції;
- наукові лабораторії та екологічні дослідження.

У тепличних господарствах прилад застосовується для контролю вологості, на основі яких формуються керуючі сигнали для систем вентиляції, поливу або опалення.

Особливості застосування

Прилад має ряд конструктивних та експлуатаційних особливостей:

- вимірювальний елемент виконаний з полімерних волокон у корпусі з нержавіючої сталі, що забезпечує стабільність характеристик;
- сенсор захищений перфорованою трубкою, що забезпечує доступ повітря та одночасно захищає елемент від механічних пошкоджень;
- можливе виконання із вбудованим датчиком температури;
- передбачена можливість монтажу на стіні або у повітропроводах;
- вимірювальний елемент не потребує регенерації, що спрощує е ксплуатацію.

Завдяки таким характеристикам прилад краще підходить для використання в системах автоматичного керування мікрокліматом теплиць.

Вхідні сигнали: вологість повітря;

Вихідні сигнали:

– сигнал 100-138,5 Ω**;**

– або аналоговий сигнал 4-20 мА**.**

Ці сигнали можуть безпосередньо передаватися до контролера системи автоматизації для подальшої обробки та формування керуючих дій.

Технічні характеристики AFH-G2F представлено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики AFH-G2F

Параметр	**Значення**
Тип вимірювання	гігрометричний
Вимірювані параметри	відносна вологість, температура
Діапазон вимірювання температури	-30 … +80 °C
Діапазон вимірювання вологості	30 … 100 % RH
Точність вимірювання температури	±0,5 °C
Точність вимірювання вологості	±2,5 % RH (>40 % RH); ±3,5 % RH (<40 % RH)
Середовище вимірювання	повітря, неагресивні гази
Температура навколишнього середовища	-20 … +60 °C (корпус)
Температура сенсора	-40 … +80 °C
Матеріал сенсора	полімерне волокно у нержавіючому корпусі
Довжина зонда	220 мм
Вихідні сигнали	Pt100, 4-20 мА
Ступінь захисту	IP64
Маса	приблизно 0,4 кг

Загальний вид та конструктивні особливості датчика вологості повітря AFH-G2F представлено на рис. 3.8.



Рисунок 3.8 – Датчик вологості повітря AFH-G2F

Схема підключення(схема зовнішніх з’єднань) датчика вологості повітря AFH-G2F представлено на рис. 3.9.

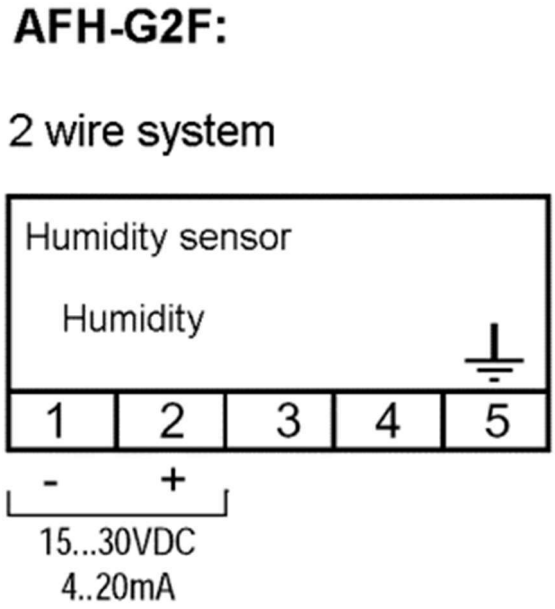


Рисунок 3.9 – Схема підключення AFH-G2F

Фоторезистор (датчик освітленості) CWT-SL-20W-A [14]

Фоторезистор призначений для вимірювання інтенсивності освітленості та перетворення світлового потоку у електричний сигнал. Принцип роботи приладу базується на фотопровідності напівпровідникового матеріалу: при збільшенні освітленості електричний опір елемента зменшується, а при зменшенні освітлення – збільшується.

У системах автоматизації теплиць фоторезистор використовується для контролю рівня природного освітлення, що дозволяє автоматично керувати системою штучного освітлення та підтримувати оптимальні умови для фотосинтезу рослин.

Фоторезистори широко застосовуються у системах автоматичного контролю освітлення, де необхідно вимірювати рівень світлового потоку та формувати керуючі сигнали для виконавчих пристроїв.

Основні області застосування:

- системи автоматичного освітлення теплиць;
- системи автоматизації будівель;
- системи вуличного освітлення;
- світлові датчики у системах безпеки;
- автоматичне керування освітлювальними установками.

У тепличному господарстві фоторезистор використовується для визначення рівня природного освітлення, після чого контролер може вмикати або вимикати лампи штучного освітлення.

Особливості застосування

Фоторезистор має просту конструкцію та високу чутливість до світла, що робить його зручним для використання у системах автоматизації. Основними особливостями його використання є:

- висока чутливість до зміни освітленості;
- простий принцип підключення до електронних схем;
- невелика вартість та надійність у роботі;
- широкий температурний діапазон роботи;
- можливість використання у різних системах автоматичного керування.

Фоторезистор найбільш чутливий до світла з довжиною хвилі близько 550–560 нм, що відповідає видимій області спектра.

Завдяки цим характеристикам прилад добре підходить для контролю освітлення у тепличних комплексах.

Вхідний сигнал:

– світловий потік (освітленість).

Вихідний сигнал:

– зміна електричного опору фоторезистора, що залежить від інтенсивності світла.

Технічні характеристики фоторезистора CWT-SL-20W-A представлено у табл. 3.3

Таблиця 3.3 - Технічні характеристики CWT-SL-20W-A [14]

Параметр	**Значення**
Живлення	10-30 V DC
Діапазон вимірювання CO_2	0–5000 ppm
Точність вимірювання	±(50 ppm + 3% від повної шкали) при 25 °C, 400-5000 ppm
Стабільність	< 2% від повної шкали
Нелінійність	< 1% від повної шкали
Час оновлення даних	2 с
Робоче середовище	−10…+50 °C, 0–95% RH (без конденсації)
Вихідний сигнал	RS485, 4–20 mA, 0–5 V, 0–10 V

Загальний вид та конструктивні особливості датчика освітленості CWT-SL-20W-A представлено на рис. 3.10. [14]



Рисунок 3.10 – Датчик освітленості CWT-SL-20W-A

Схема підключення(схема зовнішніх з’єднань) датчика освітленості CWT-SL-20W-A представлено на рис. 3.11.

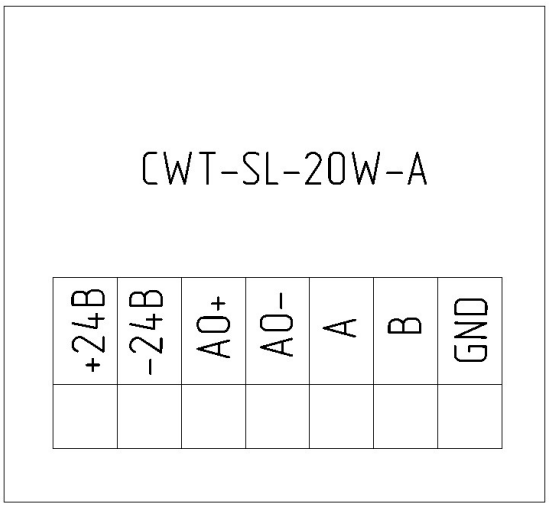


Рисунок 3.11 – Схема підключень CWT-SL-20W-A [14]

Датчик концентрації CO2 XIN NUO QI CN1501541594 [15]

Датчик XIN NUO QI CN1501541594 CO_2 призначений для вимірювання концентрації вуглекислого газу (CO_2) у повітрі та перетворення її у стандартний електричний сигнал для подальшої передачі в системи автоматизації, контролю або моніторингу. [15]

Прилад використовується як первинний вимірювальний перетворювач у системах контролю якості повітря та автоматичного регулювання вентиляції.

Основна сфера застосування

- вентиляції та кондиціювання повітря (HVAC);
- системах моніторингу якості повітря;
- системах автоматизації будівель (BMS);
- промислових системах контролю технологічних процесів;
- екологічному моніторингу.

Основні області застосування

- офісні та житлові приміщення;
- навчальні заклади;
- виробничі приміщення;

- теплиці та аграрні комплекси;
- склади та лабораторії;
- системи «розумний будинок».

Особливості застосування

- вимірювання концентрації CO_2 за інфрачервоним принципом (NDIR)**;**
- висока стабільність і точність вимірювання;
- можливість інтеграції в системи автоматизації;
- підтримка стандартних промислових вихідних сигналів;
- швидке оновлення вимірювань;
- можливість безперервного моніторингу концентрації CO_2.

Вхідний сигнал

Вхідний сигнал:

- концентрація вуглекислого газу в повітрі**;**
- концентрація CO_2.

Діапазон вимірювання:

- 0-5000 ppm**.**

Вихідний сигнал

Вихідний сигнал датчика може бути:

Аналоговий:

- 0-10 V;
- 4-20 mA.

Цифровий:

- RS485 (протокол Modbus RTU**).**

Вихідний сигнал пропорційний концентрації CO_2 у вимірюваному середовищі.

Технічні характеристики XIN NUO QI CN1501541594 представлені у табл. 3.4. [15]

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики XIN NUO QI CN1501541594 [15]

Параметр	Значення
Напруга живлення	10–30 V DC
Діапазон вимірювання CO_2	0–5000 ppm
Точність	±(50 ppm + 3 % F.S)
Час оновлення даних	2 с
Довготривала стабільність	< 2 % F.S
Нелінійність	< 1 % F.S
Робоча температура	-10…+50 °C
Робоча вологість	0-95 % RH (без конденсації)
Тип сенсора	інфрачервоний (NDIR)
Інтерфейс зв’язку	RS485 / Modbus

Загальний вид та конструктивні особливості датчика CO2 XIN NUO QI CN1501541594 представлно на рис. 3.12. [15]



Рисунок 3.12 – Датчик CO2 XIN NUO QI CN1501541594

Схема підключення(схема зовнішніх з’єднань) датчика CO2 XIN NUO QI CN1501541594 представлно на рис. 3.12.

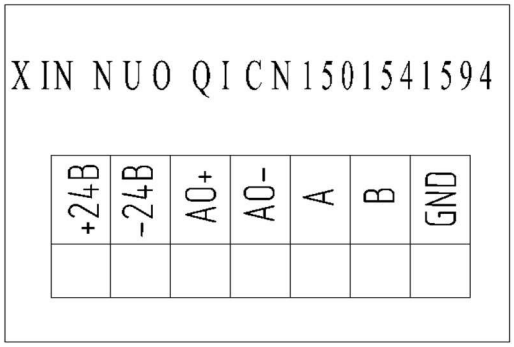


Рисунок 3.13 – Схема підключень XIN NUO QI CN1501541594

НРМ-15 [16]

Нормувальний перетворювач НРМ-15 призначений для:

– преобразування сигналу від термометрів опору (RTD) (наприклад, Pt100, Pt1000, Cu50) у уніфікований аналоговий вихідний сигнал 4-20 мА;

– забезпечення дистанційної передачі інформації про температуру до систем автоматизованого управління (АСУ ТП, SCADA, ПЛК, регулятори, реєстратори);

– галванічної розв'язки між датчиком і приймальним пристроєм (у деяких моделях).

Особливості застосування:

– працює у складі з термометрами опору ТСМ, ТСП, ТС;

– компактне виконання - може встановлюватися безпосередньо в з'єднувальну головку типу B.

– лінійна характеристика: вихідний сигнал 4-20 мА лінійно залежить від температури.

– підвищення завадостійкості - завдяки аналоговій нормалізації сигналу.

– може бути налаштований під заданий діапазон температури (наприклад, 0…150 °C, –50…+150 °C).

Параметри вхідних сигналів наведено у табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Вхідні сигнали НПМ-15 [16]

Параметр	**Значення**
Тип сигналу на вході	Від термометрів опору (RTD)
Підтримувані типи датчиків	Pt100, Pt1000, Cu50, Cu100 (залежно від моделі)
Кількість проводів	2-, 3- або 4-провідне підключення
Діапазон температур	Типово від -200…+600 °C (залежить від датчика та калібрування)
Струм збудження датчика	Задається внутрішньою схемою перетворювача (~1 мА)
Характеристика вимірювання	Лінійна залежність між температурою і опором (IEC 60751 для Pt100)
Опір датчика	Наприклад, 100 Ом при 0 °C для Pt100

Параметри вихідних сигналів наведено у табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Вихідні сигнали НРМ-15 [16]

Параметр	Значення
Тип вихідного сигналу	Струмовий (аналоговий)
Діапазон сигналу	4-20 мА (лінійно пропорційний температурі)
Живлення	Зовнішнє, типово 12…36 В постійного струму
Навантажувальний опір	До 600 Ом при 24 В живлення (обмежується напругою живлення)
Тип підключення	Двопровідна лінія (живлення + сигнал по одному колу)
Гальванічна розв'язка	Може бути або відсутня (залежить від модифікації)

Загальний вид та конструктивні особливості нормуючого перетворювача НПМ-15 представлено на рис.3.14. [16]



Рисунок 3.14 – Нормуючий перетворювач НПМ-15

Технічні характеристики нормуючого перетворювача НПМ-15 наведено у табл.3.7.

Таблиця 3.7 –Технічні характеристики НПМ-15 [16]

Параметр	Значення
Тип вхідного сигналу	Опір від термометра опору (Pt100, Pt1000, Cu50, Cu100 тощо)
Тип вихідного сигналу	Струмовий сигнал 4–20 мА
Діапазон вимірювання температури	Встановлюється при замовленні, типові: –50…+150 °C, 0…+100 °C, –200…+600 °C
Живлення	12–36 В постійного струму

Продовження табл. 3.7

Параметр	Значення
Споживаний струм	До 25 мА
Навантажувальний опір	До 600 Ом при 24 В живлення
Кількість проводів для датчика	2-, 3- або 4-провідна схема
Похибка перетворення	±0.2…0.5 % від діапазону (залежно від калібрування)
Теплова дрейф похибки	≤ ±0.01 %/°C
Час відгуку	≤ 1 с
Гальванічна розв’язка	Залежить від моделі (у базовій моделі відсутня)
Робоча температура навколишнього середовища	-40…+85 °C
Захист від перенапруги	Присутній (до 30 В, короткочасно)
Монтаж	У з’єднувальну головку термоперетворювача (тип B)
Корпус	Пластик, стійкий до температур та вібрацій
Ступінь захисту	IP40–IP65 (залежно від монтажу)
Габаритні розміри	Ø 44 мм × 23 мм (стандартне виконання)
Маса	Близько 50 г

Схема підключення (схема зовнішніх з’єднань) нормуючого перетворювача НПМ-15 наведено на рис.3.15. [16]

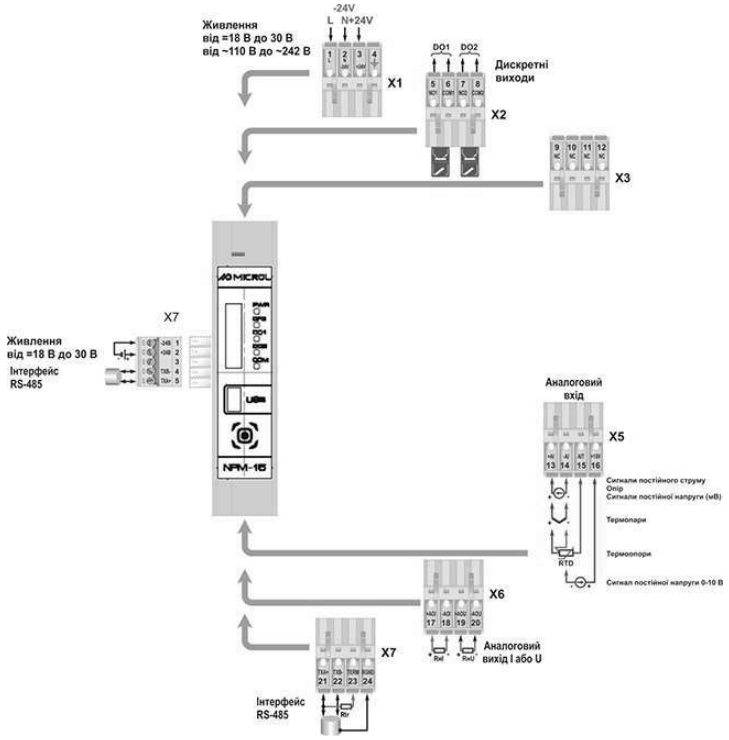


Рисунок 3.15 – Схема підключення NPM-15

3.4.2 Промислові контролери

У роботі для реалізації системи автоматизації обрано промисловий контролер ПЛК МІК-52.

Призначення і загальні характеристики:

МІК-52 – це компактний, багатофункціональний, мало канальний вільнопрограмований мікропроцесорний контролер (PLC), призначений для [17]:

– автоматичного регулювання та логічного керування технологічними процесами;

– виконання математичних, часових, крокових та програмних функцій;

– інтеграції в АСУ ТП у промисловості (електротехнічна, енергетична, хімічна, металургійна, харчова, цементна, скляна та інші).

Контролер ефективно вирішує прості завдання керування невеликими агрегатами (завдяки малоканальності та економічності), а також складні завдання у великих системах завдяки високій відмовостійкості та розширеній функціональності.

Архітектура забезпечує безперервність роботи - включення, відключення, переналаштування і перемикання контурів регулювання здійснюється без зупинки процесу, незалежно від складності алгоритмів.

Функціональні можливості [17]**:**

Незалежні контури регулювання:

– локальні або каскадні;

– аналогового або дискретного (імпульсного) типу;

– ручний, програмні (у т.ч. багатопрограмний) або супервізорні режими.

Бібліотека функціональних блоків:

– понад 80 стандартних блоків:

– ПІД-регулятори;

– математичні, динамічні та нелінійні перетворення;

– аналого-дискретні та логічні перетворення;

– таймери, крокові й циклічні блоки;

– підтримка до 98 блоків у користувацькій конфігурації.

Керування і переналаштування:

– зміна режимів у реальному часі;

– переконфігурація контурів незалежно від складності;

– ручна установка зміна параметрів і коефіцієнтів.

Оперативне керування:

– кнопки на лицьовій панелі;

– цифрові індикатори (2×4-розрядні + 1×3-розрядний);

– світлодіодна індикація режимів і аварій;

– вибір і запуск програм, зупинка, скидання, перехід на наступну ділянку, контроль виконання програми.

Мережеві можливості: інтерфейс RS-485, протокол Modbus RTU в режимі Slave.

Контролер підтримує наступні методи програмування:

– з лицьової панелі (викликом блоків із бібліотеки у ПЗП);

– через ПК по інтерфейсу зв’язку.

Програмне забезпечення:

– безкоштовний пакет АЛЬФА – візуальний редактор FBD-програм;

– підтримка стандартної мови Function Block Diagram (FBD)

Особливості програмування:

– об’єктно-орієнтоване візуальне програмування;

– конфігурування блоків у графічному середовищі;

– інтуїтивна зміна параметрів і властивостей блоків;

– приклад програми демонструє використання послідовних логічних і регулюючих функцій.

У контролері МІК-52 передбачено [17]:

–до 9 незалежних контурів регулювання, кожен з яких може бути локальним або каскадним, з аналоговим або імпульсним виходом, з ручним, програмним (в тому числі багатопрограмним) або супервізорним задавачем.

Більше 80 типів занесених в ПЗУ функціональних блоків безперервної і дискретної обробки інформації, включаючи функціональні блоки ПІД регулювання, функціональні блоки математичних, динамічних, нелінійних, аналого-дискретних і логічних перетворень;

–до 99 використовуваних блоків з вільним їх заповненням будь-якими функціональними блоками з бібліотеки і вільним конфігуруванням між собою і з входами-виходами контролера. Ручна установка або автоналаштування будь-яких властивостей, параметрів і коефіцієнтів в будь-яких функціональних блоках;

–зміна режимів керування, включення/виключення, перемикання і реконфігурація контурів регулювання будь-якого ступеня складності;

–оперативне керування контурами регулювання за допомогою клавіш передньої панелі, 2-х чотири розрядних і одного три розрядного цифрових індикаторів і набору світлодіодів, що дозволяють змінювати режими, встановлювати завдання, керувати виконавчими механізмами, контролювати сигнали, відображати аварійні ситуації. При програмному регулюванні засоби оперативного керування дозволяють вибирати необхідну програму, пускати, зупиняти, і скидати програму, переходити до наступної ділянки програми, а також контролювати хід виконання програми.

–об'єднання до 32 контролерів в локальну керуючу мережу, причому в цю мережу можуть включатися також і інші моделі контролерів.

Контролер МІК-52 може комплектуватися модулем розширення. Один з входів контролера є імпульсним (третій вхід базової моделі, максимальна частота проходження імпульсів 2кГц)

Загальний вигляд та конструктивні особливості ПЛК МІК-52 представлено на рис. 3.16 та 3.17.



Рисунок 3.16 – Загальний вигляд ПЛК МІК-52 [17]

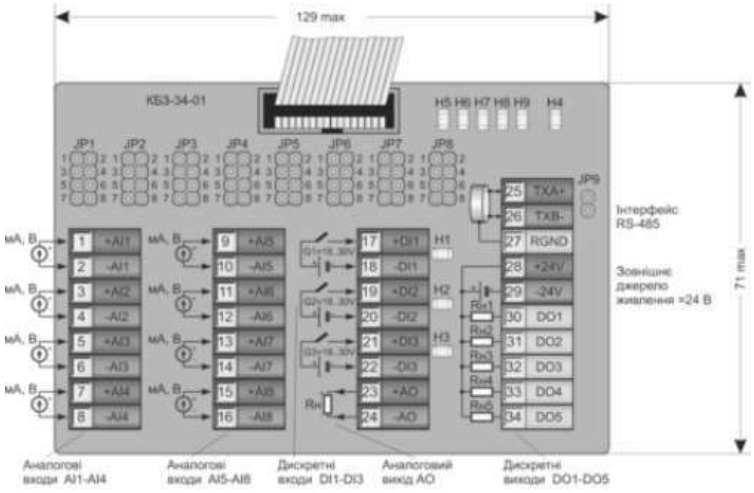


Рисунок 3.17 – Схема підмикання сигналів базової моделі (без модуля розширення) [17]

Основні технічні характеристики [17]:

– аналогові входи: 8 каналів, уніфіковані сигнали (напруга/струм);

– дискретні входи: до 35 входів, комутація = 24 В. Логічний «0»: 0-7 В; логічна «1»: 19-32 В;

– аналогові виходи: до 4 каналів, уніфіковані сигнали;

– дискретні виходи: до 37 каналів. Тваристь таких параметрів: транзисторний вихід: до 40 В, 100 мА; замикаюче реле: до 230 В, 5 А;

– живлення: два варіанти – 230 В змінного або постійного (±22-33 %); або 24 В (постійного чи змінного) ±4 В.

Модулі розширення:

– Підтримується підключення модулів розширення (один модуль) до базової моделі.

– Приклади модулів:

– МР-52-01: 8 дискретних входів.

– МР-52-03: 8 дискретних виходів.

– МР-52-04: 8 дискретних входів + 1 аналоговий вихід.

– МР-52-30: 32 дискретні входи і т.д.

Для реалізації алгоритму управління температурою всередині теплиці для контролера складено програму на мові FBD, фрагмент якої представлено на рис. 3.18.

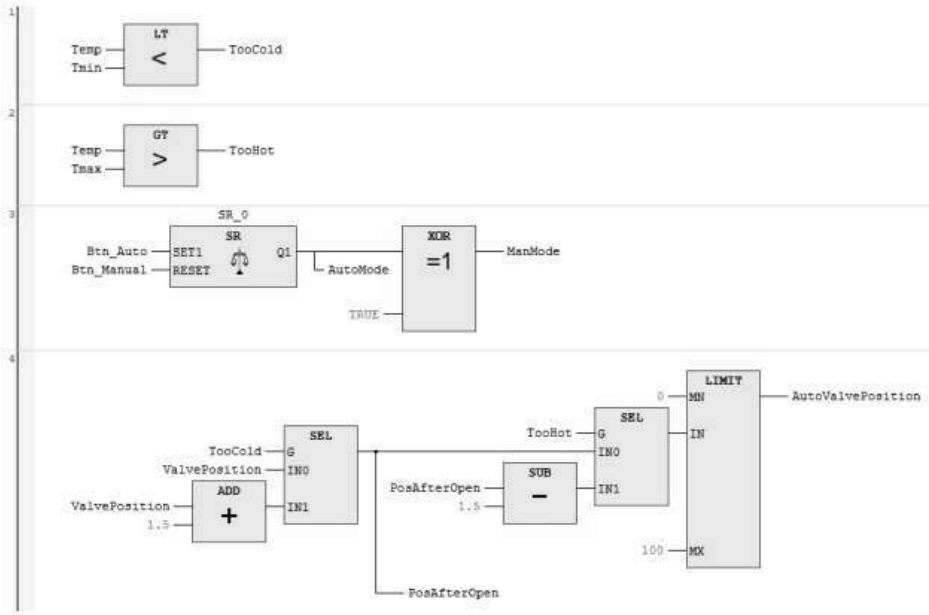


Рисунок 3.18 – Фрагмент програми мовою FBD

3.4.3 Виконавчі механізми та регулюючі органи

МЕО-16/63-0,25-90

Механізм МЕО-40/63-0,25-82І призначений для:

- дистанційного або автоматичного керування арматурою: засувками, клапанами, заслінками;
- повороту вихідного вала на фіксований кут (до 90 або 180 градусів);

- використовується в системах теплопостачання, водопостачання, хімічній, харчовій, енергетичній промисловості.

Вхідні та вихідні сигнали наведено у табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Вхідні та вихідні сигнали МЕО-16/63-0,25-90

Тип сигналу	**Опис**
Вхідні сигнали	
Керувальні сигнали	Напруга 3×380 В (трьохфазне живлення), сигнал «Пуск», «Стоп»
Команди керування	«Відкрити», «Закрити» (через контактори або автоматичні системи)
Вихідні сигнали	
Сигнали положення	Дискретні контакти кінцевих вимикачів: «Відкрито», «Закрито»
Сигнал проміжного стану	Можливий сигнал «У русі»
Зворотний зв'язок	Аналоговий (опціонально: потенціометр або датчик положення)

Загальний вид та конструктивні особливості МЕО-16/63-0,25-90 представлено на рис. 3.18.



Рисунок 3.18 – Зовнішній вигляд МЕО-16/63-0,25-90

Технічні характеристики МЕО-16/63-0,25-90 представлено у табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Технічні характеристики МЕО-16/63-0,25-90

Параметр	Значення
Тип механізму	Електропривід однозворотний
Момент, що розвивається	40 Н·м
Час повного ходу	63 с (на поворот 90° або повне відкриття)
Потужність двигуна	0,25 кВт
Напруга живлення	3×380 В, 50 Гц
Діапазон температури	–40…+50 °С
Маса	Близько 25–35 кг

Схема підключення (схема зовнішніх з’єднань) МЕО-16/63-0,25-90 представлено на рис. 3.19.

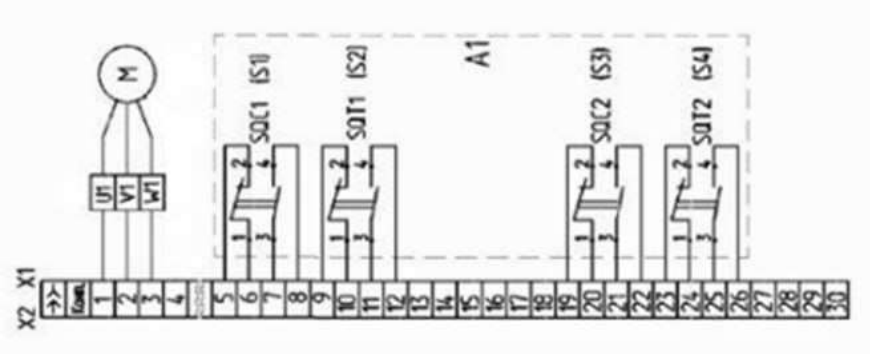


Рисунок 3.19 – Схема підключення МЕО-16/63-0,25-90

Блок ручного управління БРУ-110 [18]

Призначений для використання в системах промислової автоматизації виробничих процесів як:

– багатофункціональна станція ручного управління аналоговими або імпульсними виконавчими механізмами;

– блоку ручного задатчика аналогового сигналу;

– блоку ручного задатчика імпульсних сигналів "більше"-"менше";

– цифровий індикатор двох технологічних параметрів.

Область застосування:

– індикатор двох фізичних величин;

– ручний аналоговий задатчик аналогових уніфікованих сигналів;

– ручний задатчик імпульсних сигналів типу більш-менш;

– станція ручного управління аналоговим виконавчим механізмом;

– станція ручного управління імпульсним виконавчим механізмом;

– перетворювач імпульсних сигналів більш-менш у вихідний уніфікований сигнал;

– перетворювач імпульсних ШІМ-сигналів у вихідний уніфікований сигнал;

– перетворювач (конвертор) вхідних аналогових уніфікованих сигналів у вихідний аналоговий уніфікований сигнал.

Типи вхідних та вихідних сигналів БРУ-110 та їх опис наведно у табл. 3.10.

Таблиця 3.10 – Вхідні та вихідні сигнали БРУ-110 [18]

Тип сигналу	**Опис**
Керуюча напруга	110 В постійного (DC) або змінного струму (AC, 50 Гц)
Сигнал керування	Подається на котушку реле
Споживаний струм	Залежить від типу реле (типово 15–40 мА)
Вихідні сигнали	
Комутаційні контакти	Нормально замкнені (NC), нормально розімкнені (NO), або перекидні (SPDT)
Навантаження контактів	До 5–10 А при 220 В AC або 30 В DC (залежить від моделі реле)
Тип вихідного сигналу	Дискретний (вмикання/вимикання навантаження)

Загальний вид та конструктивні особливості БРУ-110 наведено на рис. 3.20.



Рисунок 3.20 – Зовнішній вигляд БРУ-110 [18]

Технічні характеристики БРУ-110 представлено у табл. 3.11.

Таблиця 3.11 – Технічні характеристики БРУ-110 [18]

Параметр	**Значення**
Номінальна вхідна напруга	110 В (DC або AC, залежно від виконання)
Тип керуючого сигналу	Дискретний
Кількість каналів (реле)	1 або кілька (залежить від модифікації, зазвичай 1-4)
Контактна група	1 NO, 1 NC або 1 SPDT (залежить від реле)
Навантаження контактів	До 5 А при 250 В AC / до 3 А при 30 В DC
Індикація	Світлодіод (ввімкнено реле)
Монтаж	На DIN-рейку або в щит
Температура експлуатації	-40…+55 °C
Електрична міцність ізоляції	1500 В між котушкою та контактами
Механічна зносостійкість	10^6 циклів
Електрична зносостійкість	10^4–10^5 циклів (залежно від струму та навантаження)
Габарити	Приблизно 80×50×60 мм (залежить від виробника)
Маса	~200–300 г

Схема підключення (схема зовнішніх з’єднань) БРУ-110 наведено на рис. 3.21.

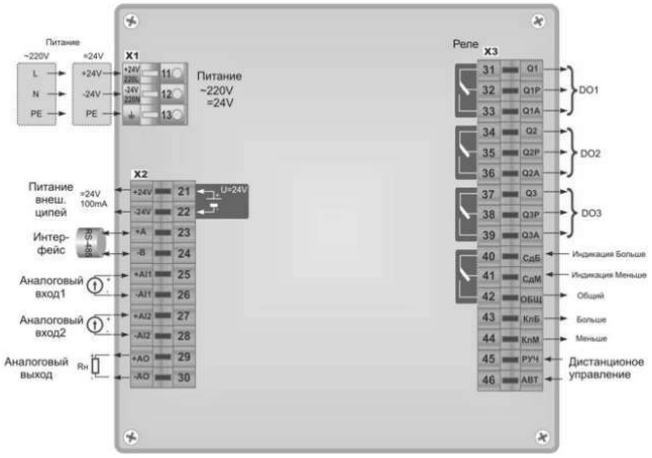


Рисунок 3.21 – Схема підключення БРУ-110 [18]

Пускач безконтактний реверсивний ПБР-21

Пускач безконтактний реверсивний ПБР-21 – це електронний пристрій, призначений для безконтактного керування виконавчими механізмами з однофазними електродвигунами, оснащеними електромеханічним гальмом. Він широко використовується в системах автоматизації промислових об'єктів, особливо в енергетиці, металургії та хімічній промисловості. [19]

Вхідні та вихідні сигнали ПБР-21 наведено у таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 – Вхідні та вихідні сигнали ПБР-21 [19]

Параметр	**Значення**
Тип вхідних сигналів	Дискретні, транзисторні
Напруга живлення вхідних сигналів	24 В DC
Логічний «0» (ВІДКЛЮЧЕНО)	0–3 В
Логічна «1» (УВІМКНЕНО)	18–30 В
Максимальний вхідний струм	≤ 50 мА
Вбудоване живлення входів	Є
Тип вихідної комутації	Однофазна реверсивна
Кількість керуючих виходів	1 двигун
Максимальний комутований струм	До 4 А
Тривалість безперервного включення при 4 А	Не більше 100 с

Загальний вид та конструктивні особливості ПБР-21 наведено на рис. 3.22.



Рисунок 3.22 – Зовнішній вигляд ПБР-21 [19]

Технічні характеристики ПБР-21 представлено у табл.3.13.

Таблиця 3.13 – Технічні характеристики ПБР-21 [19]

Характеристика	**Значення**
Призначення	Безконтактний реверсивний пускач
Тип двигуна	Однофазний
Напрямок керування	Реверсивний
Напруга живлення	230 В AC (+22 В / −33 В)
Споживана потужність	Не більше 7 ВА
Захист від короткого замикання	Є
Затримка реверсу	Є
Гальванічна розв'язка	Повна, між усіма вузлами
Напруга ізоляції	Не менше 1500 В
Тип монтажу	DIN-рейка
Габарити	95 × 100 × 110 мм
Температура експлуатації	від −40 °C до +70 °C

Схема підключення (схема зовнішніх з’єднань) ПБР-21 представлена на рис. 3.23.

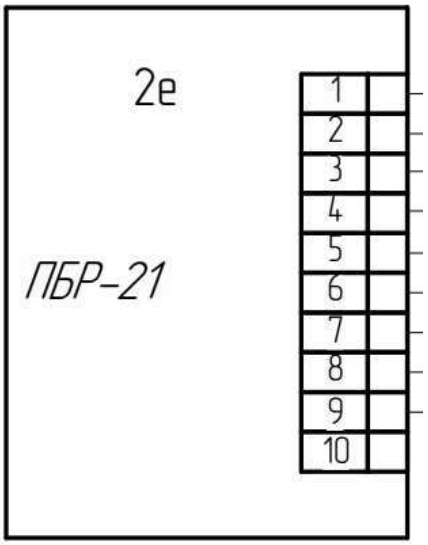


Рисунок 3.23 – Схема підключення ПБР-21

Дворозрядний цифровий покажчик положення УП-4

Дворозрядний цифровий покажчик положення приводу РПН (логометр) УП 4 призначений для індикації в цифровому вигляді ступеня регулювання РПН та використовується для заміни стрілочного покажчика. [21]

Вхідні та вихідні сигнали УП-4 наведені у табл. 3.14.

Таблиця 3.14 – Вхідні та вихідні сигнали УП-4 [21]

Параметр	Значення
Тип вхідного сигналу	Аналоговий струмовий сигнал («токова петля»)
Підтримувані вхідні сигнали	0-5 мА, 0-20 мА, 4-20 мА
Підключувані датчики	Датчики з токовим виходом
Цифрові виходи	RS-485, RS-232 (крім корпусу Е)
Призначення цифрового виходу	Передача даних у АСУ ТП, телемеханіку, ПК
Додаткові дискретні виходи	Сигналізація крайніх положень, перемикання ступенів (для окремих модифікацій серії)
Максимальний струм на контактах реле	120 мА
Максимальна напруга на контактах реле	400 В

Загальний вид та конструктивні особливості УП-4 представлено на рис. 3.24.



Рисунок 3.24 – Зовнішній вигляд УП-4 [21]

Технічні характеристики УП-4 наведені у табл. 3.15.

Таблиця 3.15 – Технічні характеристики УП-4 [21]

Характеристика	**Значення**
Тип пристрою	Цифровий вказівник положення приводу РПН (логометр)
Кількість розрядів індикації	2
Відображення положення	До 99 ступенів
Напруга живлення	90-370 В
Вхідна напруга AC	85-264 В
Вхідна напруга DC	120-370 В
Споживана потужність	Не більше 5 Вт
Яскравість індикатора	10000 мкд
Типи корпусів	Б, В, Г, Д, Е
Ступінь захисту	IP20
Температура експлуатації	від -40 °С до +50 °С
Кліматичне виконання	УХЛ, категорія розміщення 4.1
Стійкість до механічних впливів	Група М7
Гарантійний термін	5 років
Термін служби	Не менше 15 років
Сумісні приводи	MR, ED-S, MZ-2, MZ-4 та інші з відповідними датчиками
Тип монтажу	Щитовий монтаж

Схема підключення (схема зовнішніх з’єднань) УП-4 представлена на рис. 3.25.

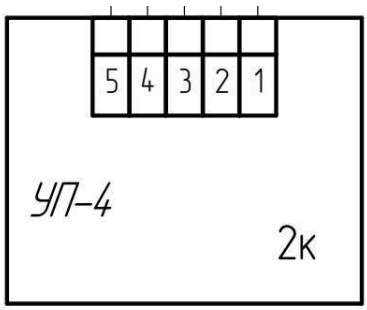


Рисунок 3.25 – Схема підключення УП-4

Реле РПЛ-140

Реле РПЛ-140 призначене для комутації електричних кіл керування та передачі сигналів між елементами систем автоматизації. [22]

Прилад використовується як проміжний комутаційний елемент, який дозволяє керувати декількома електричними колами одночасно при подачі сигналу на котушку реле. Найчастіше реле застосовується у схемах керування електроприводами та промисловими установками.

Реле використовується у таких системах:

- системи автоматизації технологічних процесів;
- схеми керування електроприводами;
- системи керування електрообладнанням;
- шафи керування і розподільчі щити;
- промислові установки з мікропроцесорним керуванням.

Основні області застосування:

- промислові підприємства;
- системи автоматизації виробництва;
- енергетичне обладнання;
- системи керування електродвигунами;
- системи сигналізації та блокування.

Особливості застосування [22]**:**

- використовується як проміжне (інтерфейсне) реле у схемах керування;
- забезпечує комутацію декількох контактів одночасно;
- допускає встановлення додаткових контактних приставок ПКЛ абоПВЛ;
- може працювати у схемах із мікропроцесорними системами керування;
- монтаж здійснюється на панелі або DIN-рейці залежно від виконання.

Вхідний сигнал – керуюча напруга на котушці реле**.**

Основні параметри:

- тип струму - змінний (AC);
- номінальна напруга керування 220 В**;**
- частота 50 Гц**.**

Після подачі напруги на котушку відбувається спрацювання електромагнітного механізму, що перемикає контакти.

Вихідний сигнал – комутація контактів реле.

Характеристики контактів:

- кількість контактів - 4 замикаючі (4NO)**;**
- номінальна комутаційна напруга - до 660 В**;**
- номінальний струм контактів - до 16 А**.**

Технічні характеристики РПЛ-140 наведено у табл. 3.16.

Таблиця 3.16 – Технічні характеристики РПЛ-140 [22]

Параметр	**Значення**
Тип пристрою	проміжне електромагнітне реле
Номінальна напруга котушки	220 В AC
Частота	50 Гц
Кількість контактів	4 замикаючі (4NO)
Номінальний струм контактів	до 16 А
Номінальна напруга ізоляції	до 660 В
Ступінь захисту	IP00 (IP20 у виконанні М)
Робоча температура	-40…+55 °С
Комутаційна зносостійкість	до 1 000 000 циклів
Механічна зносостійкість	до 1 000 000 циклів
Габаритні розміри	67 × 44 × 74,5 мм
Маса	≈0,32 кг

Загальний вид та конструктивні особливості представлено на рис. 3.26.



Рисунок 3.26 – Загальний вигляд Реле РПЛ-140 [22]

4. РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

4.1 Функціональна схема автоматизації

Функціональна схема автоматизації (ФСА) – це основна схема проекту, вона відображає функціонально-блокову структуру управління, а також ступінь оснащення об’єкта управління та пристроями контролю.

На схемі представлені 6 контурів, а саме:

- система автоматичного регулювання температури в теплиці;
- система автоматичного регулювання подачі води на полив;
- система автоматичного регулювання підігріву води;
- система автоматичного регулювання подачі добрив;
- система автоматичного регулювання вентиляціїї та подачею повітря;
- система автоматичного регулювання освітленістю.

ФСА представлена на кресленні ЗНУ ІННІ Д2 23614.002.ФСА

Система автоматичного регулювання температури в теплиці призначена для забезпечення необхідної температури в середині теплиці в заданому діапазоні.

Всередині теплиці встановлений датчик температури (2а), з якого йде сигнал на нормуючий перетворювач (2б), він перетворює сигнал на аналоговий та передає його на реєструючий прилад (2в), де здійснюється реєстрація та передача на контролер. Після отримання сигналу, контролер формує керуючий сигнал на блок ручного керування (2д), для якого потрібен окремий блок живлення (2г). Далі, блок ручного керування дає сигнал на пускач безконтактний резервний (2е), потім він дає керуючий сигнал на виконавчий механізм МЕО (2ж), саме він закриває або відкриває засувку (2з) для газу, який дає опалення для теплиці.

Система автоматичного регулювання подавання води на полив в теплиці призначена для забезпечення поливу для рослин в теплиці.

Всередині теплиці встановлений датчик вологості (4а), з якого йде сигнал на реєструючий прилад (4б), де здійснюється реєстрація та передача на контролер. Після отримання сигналу, контролер формує керуючий сигнал на блок ручного керування (4г), для якого потрібен окремий блок живлення (4в). Далі, блок ручного керування дає сигнал на пускач безконтактний резервний (4д), потім він дає керуючий сигнал на виконавчий механізм МЕО (4е), саме він закриває або відкриває засувку(4ж) для подачі води, яка буде застосовуватися для поливу рослин в теплиці.

Система автоматичного регулювання підігріву води призначена для забезпечення води на полив потрібної температури, цей процес буде відбуватися через водонагрівач, який бере воду з водопроводу, пропускає через водонагрівач, та ця вода йде в теплицю.

Всередині водопровіду встановлено датчик температури (5а), з якого йде сигнал на нормуючий перетворювач (5б), він перетворює сигнал на аналоговий та передає його на реєструючий прилад (5в), де здійснюється реєстрація та передача на контролер. Після отримання сигналу, контролер формує керуючий сигнал на увімкнення водонагрівача, за допомогою реле, та блок ручного керування (5д) для якого потрібен окремий блок живлення(5г). Далі, блок ручного керування дає сигнал на пускач безконтактний резервний (5е), потім він дає керуючий сигнал на виконавчий механізм МЕО (5ж), який за допомогою засувки (5з) переводить воду на водонагрівач.

Таким чином, здійснюється регулювання підігрівом води, на основі датчика температури.

Система автоматичного регулювання подачі добрив призначена для розпилення добрив всередині теплиці. Добрива на рідкій основі будуть проходити в трубопроводі.

Подача добрив здійснюється в якусь конкретну дату або самостійно на панелі оператора. Сигнал йде з контролера на блок ручного керування (6б), для якого потрібен окремий блок живлення (6а), потім він дає сигнал на пускач

безконтактний резервний (6в), далі сигнал йде на виконавчий механізм МЕО (6г), який відкриває або закриває засувку (6д).

Таким чином, подача добрив в теплицю здійснюється при певному розкладі, який є на ЕОМ, або самостійно самим оператором.

Система автоматичного регулювання циркуляцією вентиляцією та поданням повітря. Призначена для подачі свіжого повітря з вулиці, та провітренням повітря в теплиці вентиляцією. Це все виконується на базі датчика температури який встановлено в верхній точці теплиці, та датчика CO2, який аналізує стан повітря.

Спочатку сигнал йде з датчика CO_2 (7а) та датчика температури (7в). Вони передають аналоговий сигнал одразу на реєструючі прилади (7б,7г). Ці сигнали потім передаються до контролера, після отримання сигналу, контролер формує керуючий сигнал на блок ручного керування (7е), для якого потрібен окремий блок живлення (7д). Далі, блок ручного керування дає сигнал на пускачі безконтактний резервний(7ж,7л), потім він дає керуючий сигнал на виконавчі механізми МЕО(7з,7м).

Один відкриває засувку(7к) для доступу свіжого повітря, інший за допомогою сервоприводу відкриває вікно для вентиляції.

Система автоматичного регулювання освітленістю. Призначена для автоматичного увімкнення та вимкнення освітлення лампи всередині теплиці на основі змінення освітлення поза межами теплиці.

Датчик освітленності встановлений ззовні теплиці, для того щоб вимірювати освітленність, якщо освітленість ззовні падає(тобто темнішає), то датчик освітленості (8а), дає сигнал одразу на контролер, потім він формує керуючий сигнал на блок ручного керування (8в), для якого потрібен окремий блок живлення (8б), та вже він дає сигнал на реле, за допомогою якого вмикається або вимикається лампа.

4.2 Принципова електрична схема

Принципова електрична схема (ПЕС) САР температури в середині теплиці була розроблена на основі функціональної схеми автоматизації і складається з приладів та зв’язків між ними, які забезпечують роботу та працездатність системи управління. ПЕС представлена на кресленні ЗНУ ІННІ Д2 23614.003.ПЕС

Маркування сигналів на схемі представлені таким чином:

– 100-133 інформаційні;

– 800-822 живлення.

Температура вимірюється датчиком температури ТСМ-1288 (2а), з нього йде сигнал (який вимірюється опором) на аналоговий вхід нормуючого перетворювача NPM-15 (2б) де перетворюється у стандартний струмовий сигнал 4-20 мА. Живлення нормуючого перетворювача здійснюється за допомогою блока живлення БПС24-4к (2г). Далі сигнал подається на реєструючий прилад MAS-100 (2в), що дозволяє архівувати параметри процесу.

Потім сигнал подається на мікропроцесорний контролер МІК-52, який виконує функції обробки виміряного значення, порівняння з заданим та формування керуючого впливу.

Дискретний сигнал з контролера (з клемно блочного з'єднувача) подається на блок ручного управління БРУ-110 (2д). Керуючий сигнал з БРУ-110 подається на пускач безконтактний реверсивний ПБР-21 (2е), який забезпечує комутацію силових ланцюгів виконавчого механізму. Пускач керує виконавним механізмом МЕО-16/63-0,25-90 (2ж), що здійснює зміну положення заслінки. Положення заслінки реалізується за допомогою дистанційного покажчика положення УП-4 (2к).

4.3 Принципова електрична схема живлення

Принципова електрична схема живлення (ПЕСЖ) відображає розподіл електроенергії по приладам, що входять до складу САР. Схема забезпечує надійне підключення обладнання до мережі змінного струму 220В. ПЕСЖ представлена на кресленні ЗНУ ІННІ Д2 23614.004.ПЕСЖ.

Живлення подається від мережі 220 В, після чого надходить на автоматичний вимикач В1. Далі електроенергія розподіляється по групі споживачів через окремі автоматичні вимикачі В2-В5 типу Schneider Electric RESI9 (номіналом 16А).

Від кожної захищенної лінії живлення подається на відповідні прилади системи:

– через автоматичний вимикач В2 живиться блок живлення БПС24-4к

– через автоматичний вимикач В3 живиться пускач безконтактний реверсивний ПБР-21

– через автоматичний вимикач В4 живиться дистанційний покажчик положення УП-4

– через автоматичний вимикач В5 живиться мікропроцесорний контролер МІК-52

4.4 Монтажно-комутаційна схема щита КВПіА

Монтажно-комутаційна схема (МКС) відображає реальне розташування приладів в щиті керування та всі електричні з’єднання між ними, що забезпечують функціонування системи автоматичного регулювання. Схема виконана з урахуванням зручності монтажу та чіткого трасування кабелів. МКС представлена на кресленні ЗНУ ІННІ Д2 23614.005.МКС

Основним елементом схеми є блок ручного керування БРУ-110 (2д), який розташований у центральній частині щита та виконує роль вузла

комутації сигналів керування. До його клемних колодок підводяться як вхідні сигнали від контролера так і вихідні до виконавчих пристроїв.

У верхній частині схеми розміщений дистанцій покажчик положення УП-4 (2к). Нижче розташований реєструючий прилад MAS-100 (2в), до якого підведені сигнали через інтерфейсні клеми (A+, B-, GND). Він отримує інформацію про параметри процесу та здійснює реєстрацію.

У нижній частині схеми знаходиться блок живлення БПС24-4к (2г), який формує напругу 24 В. Від нього живлення розподіляється на всі прилади через клемні з'єднання, що показано окремими лініями.

4.5 Зовнішній вигляд щита та вид на внутрішні панелі

На схемі зовнішнього вигляду щита зображається масштабована модель 1:10 щита, на якому є всі прилади з урахуванням розташування щодо один від одного. Схема представлена на кресленні ЗНУ ІННІ Д2 23614.006.ЗВЩ

На вигляді спереду розміщені прилади керування та індикації. У верхній частині встановлений датчик положення УП-4 (2к). Нижче розташований реєструючий прилад MAS-100 (2в). Ще нижче розташований блок ручного управління БРУ-110 (2д). З правого боку розташований додатковий щит для розміщення контролеру МІК 52.

Всі прилади розміщені симетрично відносно вертикальних осей, що забезпечує зручність обслуговування. Нанесені розміри забезпечують точне позиціонування елементів на панелі.

На вигляді ззаду встановлено дві вертикальні DIN-рейки, на яких закріплені прилади та клемна колодка для підключення зовнішніх кабелів. Нижче контролера розташован клемно-блочний з'єднувач КБЗ-34 (Р,С,К)-01 та блоки живлення БПС24-4к (2г).

4.6 Схема зовнішніх з’єднань

Схема зовнішніх з’єднань (СЗЗ) показує електричні та трубні зв’язки між приладами та засобами автоматизації, встановленими на технологічному обладнанні, поза щитів, а також підключення проводок до приладів і щитів. СЗЗ представлена на кресленні ЗНУ ІННІ Д2 23614.007.СЗЗ.

Датчик температури ТСМ1288 приймає вхідний сигнал та передає його на нормуючий перетворювач NPM-15. Зв’язок між цими пристроями здійснюється кабелем АКВВГ 4х2,5 довжиною 7 м. Від перетворювача сигнал подається до щита керування через кабель АКВВГ 6х2,5 довжиною 22 м.

Керування заслонкою виконується за допомогою виконавчого механізму МЕО, який з’єднаний із ПБР-21 кабелем АКВВГ 6х2,5 довжиною 10 м. Підключення до зовнішніх точок 2 і 3 реалізовано кабелем АКВВГ 4х2,5 довжиною 22 м для внутрішніх з’єднань та кабелем АКВВГ 6х2,5 довжиною до 32 м для зовнішніх ліній. Для захисту кабелів від механічних пошкоджень у проєкті передбачені захисні труби Тр.23х1,5.

5. РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Система автоматизації (СА) є багатофункціональною та легко обслуговуваною. Вимоги до надійності СА повинні відповідати нормативним вимогам та державним стандартам.

Надійність СА характеризується такими параметрами [23]:

– середнім напрацюванням на відмову та середнім часом відновлення (для безперервно виконуваних процесів);

– коефіцієнтом готовності (для дискретно виконуваних функцій).

Рівень надійності виконання функцій СА має відповідати таким вимогам:

– середній час відновлення по кожній із функцій не більше 4 годин;

– середнє напрацювання на відмову не менше 1000 годин;

– коефіцієнт відповідності по кожній із функцій не менше 0,998λ;

– середній строк служби СА не менше 6 років.

Проєктна оцінка надійності СА здійснюється на стадії технологічного проєктування математичним методом у формі орієнтовного розрахунку надійності [23].

Експериментальна оцінка надійності СА здійснюється в умовах дослідної та промислової експлуатації шляхом збору та обробки даних про надійність виконання функцій СА.

Розглянемо надійність САР температури всередині теплиці. САР складається з наступних компонентів:

– нормуючий перетворювач NPM 15;

– реєструючий прилад MAS-100;

– блок ручного керування БРУ-110;

– пускач безконтактний реверсивний ПБР-21;

– дистанційний покажчик положення УП-4;

– блок живлення БПС24-4к;

– датчик температури ТСМ-1288.

САР температури виконує регулюючу функцію, а отже задамо середній час відновлення працездатності Тв = 4години та допустимий час функціонування СА Тдоп=1год відмовної функції.

Інтенсивність відмов окремих компонентів системи зведемо в таблицю 5.1

Таблиця 5.1 – Інтенсивність відмов компонентів системи.

Компонент САР	**$\lambda*10^{-6}$**
NPM 15	10
MAS-100	10
БРУ-110	10
ПБР-21	5
УП-4	114
БПС24-4к	10
ТСМ-1288	10
МІК-52	10

Загальна інтенсивність відмов :

$$\lambda = \sum_1^n \lambda_i = \ 179 * \ 10 - 6 \ 1/\text{год} \qquad (5.1)$$

Середнє напрацювання до відмови :

$$\text{Тср} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{179 * 10^{-6}} = 5587{,}7 \text{ год} \qquad (5.2)$$

Ймовірність безвідмовної роботи системи протягом τ =1000 годин:

$$P_б(\tau) = e^{-(\sum \lambda)*\tau} = e^{-(179)*10^{-6}*1000} = 0{,}836 \qquad (5.3)$$

Отже, ймовірність безвідмовної роботи САР протягом 1000 годин складає 83,6%.

Ймовірність безвідмовної роботи протягом часу, з урахуванням відновлення відмовної функції за час Тв:

$$P_c(\tau) = P_б + [1 - P_б(\tau)] * P_б(\tau) \quad (5.4)$$

$$P_c(\tau) = 0{,}836 + [1 - 0{,}836] * 0{,}836 = 0.9731$$

Ймовірність відновлення працездатності визначимо за формулою:

$$\frac{Тдоп}{Тв} = ¼ = 0{,}25 \quad (5.5)$$

Коефіцієнт готовності:

$$K_{гот} = \frac{Tср}{Тср+Тв} = \frac{5587{,}7}{5587{,}7 + 4} = 0{,}9992 \quad (5.6)$$

Ймовірність безвідмовної роботи при виконанні очікуваного завдання:

$$P_{оч}(\tau) = K_{гот} * P_б(\tau) = 0{,}9992 * 0{,}836 = 0{,}8353 \quad (5.7)$$

Порівняємо показники:

Тср, год = 5587,7 >1000 год, середній час відновлення функції менше 4 годин, коефіцієнт готовності $K_{гот} = 0{,}9992$. Тому резервування елементів САР не потрібне.

6. ЗАМОВНА СПЕЦИФІКАЦІЯ НА ВЕСЬ КОМПЛЕКС ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ.

Замовна специфікація – це документ, у якому наведено повний перелік обладнання, приладів, кабельної продукції та допоміжних елементів, необхідних для реалізації системи автоматизації технологічного процесу. Дана специфікація використовується під час комплектації, закупівлі, монтажу та введення системи в експлуатацію.

У представленій специфікація обладнання згруповане за функціональним призначенням і містить основні технічні характеристики, типи виробів, кількість та примітки. Специфікація надана у Додатку А.

7. ОРГАНІЗАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ.

7.1 Організаційне забезпечення системи автоматизації

Організаційне забезпечення системи автоматизації в розумній теплиці є частиною ефективної роботи всього тепличного комплексу. Воно забезпечує узгоджену взаємодію між технічним обладнанням, програмний забезпеченням і персоналом, який контролює та обслуговує систему. Завдяки правильній організації роботи автоматизована система може стабільно підтримувати оптимальні умови для вирощування рослин, зменшувати витрати ресурсів і підвищувати врожайність.

У розумній теплиці кожен робітник процесу має свою роль. Оператор щоденно стежить за основними показниками мікроклімату, такими як: температура, вологість, освітленість, рівень CO_2 та робота системи поливу та вентиляції. Агроном аналізує зібрані дані та корегує параметри вирощування відповідно до потреб культур на різних етапах розвитку. Технічний спеціаліст відповідає за справність датчиків, контролерів, виконавчих механізмів і програмного забезпечення, а керівник господарства використовує отриману аналітику для планування виробництва та оцінки ефективності роботи теплиці.

Важливим елементом організаційного забезпечення є наявність чітких інструкцій і регламентів, які визначають порядок експлуатації обладнання, графіки технічного обслуговування та дії у випадку аварійних ситуацій. Це дозволяє швидко реагувати на можливі збої, уникати втрат врожаю та підтримувати безперервну роботу системи.

Для надійної роботи автоматизованої системи важливо забезпечити контроль доступу та захист інформації. Використання різних рівнів доступу для працівників, резервне копіювання даних і захист від несанкціонованого втручання допомагають зберегти стабільність і безпеку системи.

Отже, організаційне забезпечення системи автоматизації в розумній теплиці поєднує технічні, управлінські та інформаційні процеси, які разом створюють основу для стабільної, ефективної та сучасної роботи тепличного господарства.

7.2 Розрахунок техніко-економічних показників

Метою техніко-економічного обґрунтування автоматизаваної системи управління є кількісний та якісний доказ економічної доцільності створення або розвитку системи автоматизації, а також визначення організаційно-економічних умов її функціонування.

Основними факторами, що визначають економічну ефективність системи управління є:

– збільшення випуску продукції і підвищення її якості;

– підвищення продуктивності праці виробничих робітників.

Основною умовою при визначенні економічної ефективності СА є зіставність усіх показників в часі, за елементами втрат та за цінами і тарифними ставками заробітньої плати, використаними для визначення показників. Економічні показники визначаються за діючими на момент розрахунку оптових цін і тарифними ставками.

При визначенні річного економічного ефекту в якості бази для порівняння приймаються планові в умовах відсутності СА показники виробничо-господарської діяльності виробництва в році впровадження системи.

7.2.1 Розрахунок капітальних втрат на створення СА

Одноразові виплати на створення СА визначають за формулою:

$$К^{А} = К^{А}_{Д} + К^{А}_{К}, \qquad (7.1)$$

де $К^{А}_{Д}$ – довиробничі втрати, грн;

$К^{А}_{К}$ – капітальні втрати, грн.

Довиробничі витрати на розробку СА розраховується за формулою:

$$К^{А}_{Д} = К^{А}_{ПР} + К^{А}_{ПЗ} + К^{А}_{ІЗ} = 30000 + 25000 + 20000 = 75000 \text{ грн}, \quad (7.2)$$

де $К^{А}_{ПР}$ – витрати на проектування СА, грн;

$К^{А}_{ПЗ}$ – витрати на розробку програмного забезпечення, грн;

$К^{А}_{ІЗ}$ – витрати на підготовку інформаційного забезпечення тривалого користування (створення бази даних СА), грн.

Величина капітальних витрат визначається за формулою:

$$К^{А}_{К} = К^{А}_{КТЗ} + К^{А}_{М} - К^{А}_{ВИВ} = 442438 + 44243{,}8 - 0 = 486\,681{,}8 \text{ грн} \quad (7.3)$$

де $К^{А}_{КТЗ}$ – кошторисна вартість комплексу технічних засобів, грн;

$К^{А}_{М}$ – витрати на установку, монтаж і запуск КТЗ в роботу, грн;

$К^{А}_{ВИВ}$ – кошторисна вартість комплексу технічних засобів, що вивільнилися у результаті впровадження СА, грн.

Комплекс технічних засобів для створення СА наведений в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – КТЗ для створення СА

Найменування	**Кількість**	**Ціна, грн**	**Сума, грн**
Honesberg OMNI-HD1KIS	2	18000	36000
DSP-01	2	1500	3000
AFH-G2F	1	9000	9000
TCM-1288	3	800	2400
XIN NUO QI CN1501541594	1	700	700
CWT-SL-20W-A	1	900	900
NPM 15	2	7514	15028
SITRANS RD100	4	15500	62000
MAS-100	4	6750	27000
БПС24-4к	6	5844	35064
БРУ-110	6	15948	95688

Продовження табл.7.1

Найменування	Кількість	Ціна, грн	Сума, грн
УП-4	6	2000	12000
ПБР-21	6	7710	46260
МЕО 16/63-0,25	6	7400	44400
РСЕ-СR 10	1	24300	24300
МІК-52	1	25098	25098
КБЗ-34(Р С,К)-01	2	1800	3600
Разом	54		442438

Перелік одноразових витрат приведений в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Перелік одноразових витрат

Найменування	Сума, грн
1. Довиробничі витрати на розробку АСУ	
Витрати на проектування АСУ	30000
Витрати на розробку програмного забезпечення	25000
Витрати на підготовку інформаційного забезпечення	20000
2. Капітальні витрати	
Вартість компексу технічних засобів	442438
Вартість на установку, монтаж і запуск КТЗ в роботу	44243,8
Вартість КТЗ, що вивільнилися у результаті впровадження	-
Всього одноразових витрат на створення АСУ	561 681,8

7.2.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на функціонування СА

Розрахунок річних експлуатаційних витрат на функціонування СА здійснюється за формулою:

$$З_{ЕКСП} = З_{ЗП} + З_{ЕЛ} + З_{А} + З_{МАТ} + З_{РЕМ}, \quad (7.4)$$

де $З_{ЗП}$ – річні витрати на заробітню плату спеціалістів в умовах функціонування СА з відрахуванням на соціальне страхування, грн;

$З_{ЕЛ}$ – річні витрати на електроенергію, грн;

$З_{А}$ – річна сума амортизаційних відрахувань, грн;

$З_{МАТ}$ – Річна вартість матеріалів, необхідних для функціонування СА (2% від вартості КТЗ), грн;

$З_{РЕМ}$ – річна вартість ремонта обладнання (7% від вартості КТЗ), грн.

Розрахунок заробітньої плати фахівця в умовах функціонування СА здійснюється за формулою:

$$З_{ЗП} = ЕСВ + ФОП, \quad (7.5)$$

де ЕСВ – єдиний соціальний внесок (22% від ФОП), грн;

ФОП – фонд оплати праці (річна ставка за рік), грн.

Оскільки ставка робітника в місяць складає 20000 грн.

Звідси маємо, що ФОП = 12 * 20000 = 240000 грн.

За формулою (7.5):

$$З_{ЗП} = 240000 + 52800 = 292800 \text{ грн}$$

Річна вартість електроенергії, споживаної СА, визначається за формулою:

$$З_{ЕЛ} = W * Т_{еф} * Ц_{Е} = 0{,}3343 * 16500 * 4{,}8 = 26476{,}56 \text{ грн}, \quad (7.6)$$

де W – встановлена потужність КТЗ, кВт;

$Т_{еф}$ – ефективний фонд часу роботи КТЗ, год.;

$Ц_{Е}$ – вартість 1 кВт*год електроенергії, грн.

Річна сума амортизаційних відрахувань розраховуються за формулою:

$$З_{А} = \frac{К_{К}^{А} * Н_{А}}{100} = \frac{486\,681{,}8 * 10}{100} = 48668{,}18 \text{ грн}, \quad (7.7)$$

де $Н_{А}$ – норма амортизації, % (10%).

За формулою (7.4):

$$З_{ЕКСП} = 292800 + 26476,56 + 48668,18 + 8848,76 + 30970,66 = 407764,16 \text{ грн}$$

7.2.3 Розрахунок очікуваної економії після впровадження СА

На даний момент теплиця випускає приблизно 48 тонн помідорів в рік. СА дозволить збільшити їх кількість на 25%, що дорівнюватиме 12 тонн.

На данний момент середньорічна ціна за тонну помідорів складає 150000 грн.

Річна економія від впровадження СА:

$$Е = 12 * 150000 = 1800000 \text{ грн} \quad (7.8)$$

Для знаходження річного економічного ефекту використовуємо формулу:

$$ЕЕ = Е - З_{ЕКСП}, \quad (7.9)$$

де Е – річна економія від впровадження;

$З_{ЕКСП}$ – річні витрати на експлуатацію.

За формулою (7.9):

$$ЕЕ = 1800000 - 407764,16 = 1392235,84 \text{грн}$$

Ефективність визначається за показниками:

–термін окупності капітальних затрат ($Т_р$) на СА:

$$Т = \frac{К^А}{ЕЕ} = \frac{561\,681,8}{1392235,84} = 0,40 \text{ роки}, \quad (7.10)$$

де ЕЕ – річна економія від впровадження СА;

$К^А$ – капітальні вкладення.

- Розрахунковий коефіцієнт ефективності капітальних вкладень на АСУ:

$$E_р = \frac{ЕЕ}{К^А} = \frac{1392235,84}{561\ 681,8} = 2,47 \qquad (7.11)$$

Зведені результати техніко-економічних показників наведено в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Результати техніко економічних показників

Показники	**Одиниця вимірювання**	**Показник**
Капітальні витрати		
Вартість засобів автоматизації	грн	442438
Витрати на проектуваня	грн	30000
Витрати на розробку програмного забезпечення	грн	25000
Витрати на підготовку інформаційного забезпечення	грн	20000
Разом	грн	517 438
Експлуатаційні витрати		
Амортизаційні витрати	грн	44668,18
Витрати на утримання і обслуговування системи	грн	8848,76
Витрати на ремонт	грн	30970,66
Разом	грн	84 487,6
Річна економія	грн	1800000
Річний економічний ефект	грн	1392235,84
Термін окупності капітальних вкладень	рік	0,40
Розрахунковий коефіцієнт	%	2,47

По результатам проведених розрахунків визначено, що за рахунок підвищення системою управління кількості вирощуваних помідорів на 25% дозволить економити 1800000 грн в рік. А після відрахування річних витрат на експлуатацію, ми отримали економічний ефект, при якому строк окупності системи автоматизації складає 0,40 року.

8. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров’я та працездатності працівників у процесі трудової діяльності. [24]

Основні положення:

- діяльність у теплиці регламентується законами України;
- Закон «Про охорону праці»;
- Закон «Про основи законодавства України про охорону здоров’я»;
- санітарні норми та правила Держпраці;
- роботодавець зобов’язаний:
- забезпечити безпечні умови праці
- забезпечити працівників інструкціями та навчанням
- провести медогляди
- надати засоби індивідуального захисту.

Розумна теплиця – це об'єкт, де всі основні агротехнологічні процеси автоматизовані за допомогою:

- датчиків температури, вологості, світла, CO_2;
- систем керування поливом, вентиляцією, опаленням;
- програмованих контролерів (PLC);

Нові ризики, які виникають:

- робота з електронікою та автоматикою дає ризик ураження електрострумом;
- централізоване керування дає ризик збою або аварійної ситуації.

Ці фактори вимагають оновлених стандартів безпеки та ретельної підготовки персоналу.

Оцінка ризиків в розумній теплиці

Оцінка ризиків – це процес виявлення, аналізу та оцінювання потенційно небезпечних факторів для працівників. Основні етапи оцінювання та управління ризиками на робочому місці наведено у таблицях 8.1. та 8.2.

Таблиця 8.1 – Етапи оцінювання та управління ризиками на робочому місці

Етап	Опис
Ідентифікація небезпек	Виявлення всіх факторів, які можуть спричинити шкоду (електрика, хімія, механіка, мікроклімат тощо)
Аналіз ризиків	Визначення ймовірності та наслідків реалізації ризиків
Оцінювання ризиків	Присвоєння пріоритетів небезпекам
Вжиття заходів	Розробка превентивних дій: інструктажі, технічний захист, ЗІЗ
Повторна оцінка	Регулярний перегляд стану безпеки

Таблиця 8.2 – Оцінка ризиків

Небезпека	Ймовірність	Наслідки	Запобіжні заходи
Ураження електричним струмом від датчика	Середня	Високі	Ізоляція, інструктаж, автоматичне відключення
Вдихання парів від добрив	Висока	Середні	Вентиляція

Електробезпека

У розумній теплиці використовуються:

- сенсори, контролери, мікропроцесори;
- насоси, вентилятори, освітлення.

Основні заходи безпеки:

- заземлення всіх електричних установок і металевих корпусів;
- автоматичне вимикання живлення при короткому замиканні або перенавантаженні;
- ізоляція проводів, їх маркування та прокладання в герметичних коробах;

– заборона втручання непідготовленим особам – допуск до електрообладнання лише для працівників з II-III групою електробезпеки;

– перевірка стану обладнання;

– застосування ПЗВ (пристрій захисного вимкнення) для роботи з водою;

– індивідуальні діелектричні рукавички, інструменти з ізоляційними ручками, гумові килимки.

Безпека при роботі з автоматизованими системами

У розумній теплиці можливе використання інтелектуальних систем поливу та клімату, при цьому можливі ризики можуть бути пов'язані з помилками у роботі сенсорів, що призводять до аварій.

Заходи безпеки:

– світлова і звукова сигналізація перед запуском механізмів;

– екстрені кнопки зупинки (навіть для теплиць малого масштабу);

– програмне блокування роботи, якщо в зоні дії перебуває людина;

– регламентований доступ до параметрів програмного забезпечення;

– лог-файли - зберігання історії подій для аудиту безпеки.

Мікроклімат і санітарно-гігієнічні умови

У розумних теплицях мікроклімат (табл.8.3) автоматично регулюється для оптимального росту рослин, але ці ж параметри впливають і на здоров'я працівників. Тому важливо дотримуватись санітарно-гігієнічних норм. [24]

Таблиця 8.3 – Основні показники мікроклімату

Показник	**Нормативне значення для персоналу**
Температура повітря	16–28 °C (допустимо до 30 °C для короткочасних робіт)
Вологість	40–70 %
Концентрація CO_2	≤1000 ppm
Освітлення	Не менше 300 лк для ручних робіт
Шум	До 80 дБА

Хімічна безпека

Працюють з добривами, пестицидами. Необхідні рукавички, респіратори, чітке маркування ємностей, вентиляція, доступ тільки навченим працівникам.

Пожежна безпека

Небезпека: коротке замикання, легкозаймисті матеріали. Необхідно мати пожежне обладнання, сигналізацію, евакуаційні плани. Зберігання хімікатів в окремих приміщеннях.

Категорії працівників

Обмеження для неповнолітніх і вагітних. Сезонні працівники мають проходити інструктаж. Оператори автоматичних систем - з техпідготовкою. Всім - медогляд.

Засоби індивідуального захисту

Рукавички, респіратори, окуляри, комбінезони, захист від електрики. Працівники мають використовувати ЗІЗ за призначенням.

ВИСНОВОК

В кваліфікаційній роботі був реалізований проєкт «Проєкт промислової Smart-тепліці в умовах фермерського господарства. Система автоматичного регулювання температури всередині теплиці». У результаті виконання роботи були отримані наступні висновки:

1. Проведено аналіз особливостей функціонування Smart-теплиці як об’єкта автоматизації та досліджено існуючий рівень автоматизації тепличних господарств. Визначено основні недоліки ручного керувння технологічними процесами, серед яких низька точність підтримання параметрів мікроклімату, висока залежність від людського фактору та значні енергетичні витрати. Обґрунтовано необхідність впровадження автоматизованої системи керування для забезпечення стабільних умов вирощування рослин.

2. Розроблено технічне завдання н створення системи автоматизації Smart-теплиці, у якому сформовано вимоги до функціонування системи, технічного, програмного та інформаційного забезпечення. Визначено основні функції системи: автоматичне регулювання температури, вологості, освітлення, вентиляції та поливу, а також забезпечення моніторингу та сигналізації аварійних режимів.

3. Спроєктовано трирівневу систему автоматизації, що включає рівень датчиків і виконавчих механізмів, рівень програмованого логічного контролера та рівень ЕОМ. У системі передбачено використаня 13 інформаційних сигналів від датчиків та 10 керуючих сигналів для виконавчих механізмівю. Реалізовано контроль температури повітря, вологості ґрунту, вологості повітря, концентрації CO_2, освітленості, витрати води, газу та електроенергії, що дозволило забезпечити комплексне керування мікрокліматом теплиці.

4. Розроблена технічна документація системи автоматизації, який включає функціональну схему автоматизації, принципову електричну схему, схему живлення, монтажно-комутаційну схему щита КВПіА, схему зовнішніх з’єднань та програму керування для контролера. У роботі було сформовано

систему керування з використанням 3 датчиків температури повітря, датчиків вологості, освітленості та виконавчих механізмів систем вентиляції, опалення, поливу та освітлення.

5. Виконано розрахунок надійності системи автоматизації Smart-теплиці. У ході розрахунків встановлено, що середній час відновлення системи не перевищує 4 годин, середнє напрацювання на відмову становить не менше 1000, а коефіцієнт готовності системи складає не менше 0,998. Також визначено, що середній строк служби автоматизованої системи становить не менше 6 років. Отримані результати свідчать про високу надійність та стабільність роботи системи автоматизації.

6. Проведено техніко-економічний розрахунок ефективності впровадження автоматизованої системи керування Smart-теплицею. Загальні капітальні витрати на створення системи склали 517 438 грн, а одноразові витрати на створення СА – 561 681,8 грн. Річні експлуатаційні витрати становлять 84 487,6 грн. У результаті впровадження системи очікується збільшення обсягу вирощування помідорів на 25%, що становить близько 12 тонн продукції на рік. Річна економія від впровадження системи складає 1800000 грн, а річний економічний ефект – 1392235,84грн. Розрахунки показали, що термін окупності проєкту становить 0,40 року, а коефіцієнт ефективності капітальних вкладень дорівнює 2,47, що підтверджує економічну доцільність впровадження системи автоматизації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Розумна теплиця ключ до ідеального врожаю. URL: https://novateplica.com.ua/uk/umnaya-teplicza-kak-sdelat-svoimi-rukami/?srsltid=AfmBOorqaed4qBUC1pplbobYbPAA5nU8_AQWKg433isVxamjTMjb55u (дата звернення 11.02.2026).

2. Вплив клімату на вирощування рослин у теплиці. URL: https://teplitca.kiev.ua/ua/a488172-vliyanie-klimata-vyraschivanie.html (дата звернення 12.02.2026).

3. Які бувають теплиці? Про каркас, покриття, форму і призначення URL: https://zelenasadyba.com.ua/sad-i-gorod/yaki-buvayut-teplyczi.html (дата звернення 13.02.2026).

4. Класифікація теплиць за конструкцією. URL: https://surl.li/tjltwc (дата звернення 13.02.2026).

5. Типи теплиць та парників. URL: https://vseosvita.ua/lesson/typy-teplyts-ta-parnykiv-323657.html (дата звернення 14.02.2026).

6. Євсеєнко О.М. Розробка апаратно-програмної системи керування мікрокліматом теплиці. *Технічна інженерія*. 2020. №1(85). С. 104-109. DOI: https://doi.org/10.26642/ten-2020-1(85)-104-109 (дата звернення 16.02.2026).

7. Шуллє Ю.А., Самойлов В.Ю. Аналіз впливу автоматизації на організацію виробничих процесів: переваги та виклики. URL: https://surl.li/gjqcvm (дата звернення 18.02.2026).

8. SmartFarming. Комплексний інтегратор технологій у рослинництві. URL: https://www.smartfarming.ua/ (дата звернення 19.02.2026).

9. Функція розумної теплиці. URL: https://ua.greenhouse-china.com/news/smart-greenhouse-feature-76085669.html (дата звернення 21.02.2026).

10. Технологічні процеси галузей промисловості: Навч. посібник / Д.М. Колотило, А.Т. Соколовський, С.В. Гарбуз; За наук. ред. Д.М. Колотила, А.Т.Соколовського. К.: КНЕУ, 2003. 380 с.

11. Штучний інтелект «Chat GPT». URL: https://chatgpt.com/ (дата звернення 18.05.2026).

12. Математична модель в системі управління URL: https://studfile.net/preview/5401513/page:2/ (дата звернення 24.02.2026).

13. Термоперетворювач опору ТСМ-1288 URL: https://thermo.lviv.ua/product/termoperetvoryuvachi-oporu-tsp-1288-tu-25-7363-042-90-tsm-1288-tu-25-7363-032-89/ (дата звернення 26.02.2026).

14. Фоторезистор(датчик освітленності) CWT-SL-20W-A. URL: https://store.comwintop.com/products/light-sensor-0-10v-0-5v-4-20ma-rs485-200000lux-65535lux-industrial-intensity-illumination-acquisition-transmitter (дата звернення 28.02.2026).

15. Датчик концентрації CO2 XIN NUO QI CN1501541594. URL:https://www.aliexpress.com/item/1005001455672248.html?spm=a2g0o.tesla.0.0.28703E963E964P&afTraceInfo=1005001455672248__pc__c_ppc_item_bridge_pc_main__RTV86NH__1759492193147 (дата звернення 01.03.2026).

16. НПМ-15 Універсальний нормуючий перетворювач з індикацією, одноканальний. URL: https://microl.ua/ua/product/universalnij-normuucij-peretvoruvac-odkokanalnij-npm-15?srsltid=AfmBOopFaBMV85iz5VKCIoDXtBBlc_oS-7YMAUuCK2Gnlj8DYkvdQef4 (дата звернення 03.03.2026).

17. МІК-52 - Програмований логічний контролер. URL: https://microl.ua/ua/product/programovanij-logicnij-kontroler-mik-52?srsltid=AfmBOooij6jmJH0bqyGE4JjpTCzsMu4N2_cVdus4w9thSfLrL48tbJ0 (дата звернення 05.03.2026).

18. БРУ-110 - Блок ручного керування, універсальний. URL: https://microl.ua/ua/product/blok-rucnogo-keruvanna-universalnij?srsltid=AfmBOoqA_kZJKtxTGW4cglzS7KvCPgYx7JODGZyfX0aqnKngFKT37UBQ (дата звернення 08.03.2026).

19. Пускач ПБР-21. URL: https://microl.ua/ua/product/puskac-bezkontaktnij-reversivnij-odnofaznij?srsltid=AfmBOorAVm5flJc25WSS9Oxo3qVWJvxqxoLMeE6wd6IMXQqEcwR6Tmdd (дата звернення 10.03.2026).

20. Трьохпозиційний кран Aquaking ТКА-3. URL:https://aquashop.com.ua/ua/stavki/truby-shlanhy-fitinhy/zasuvky-ta-krany-dlia-trub-pvkh/trokhpozitsijnij-kran-pvkh-aquaking (дата звернення 25.05.2026).

21. Датчик управління положенням (УП-4). URL: https://metrolog.com.ua/ua/product/ukazatel_polozheniya_up4 (дата звернення 12.03.2026).

22. Реле РПЛ-140. URL: https://etal.ua/product/rele-rpl-140-o4a-220v/ (дата звернення 13.03.2026).

23. Розрахунок надійності системи автоматизації. URL: https://studfile.net/preview/8896139/page:3/ (дата звернення 16.03.2026).

24. Примірна інструкція з охорони праці під час виконання робіт у захищеному грунті. URL: https://ohoronapraci.com.ua/instructions/37441-prymirna-instruktsiya-z-okhorony-pratsi-pid-chas-vykonannya-robit-u (дата звернення 21.03.2026).

25. Луценко І., Софієнко А., Барішенко О.М. Сучасні способи підтримки температурного режиму води для опалення багатоквартирних будинків. Збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2026»: у 4 т. / Запорізький національний університет. Запоріжжя : ЗНУ, 2026. Т.3. С. 222-223.

26. Луценко І., Івченко М., Єрофєєва А. Алгоритми PID, MPC та методи адаптивного керування складними процесами на енергетичних підприємствах. Збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2026»: у 4 т. / Запорізький національний університет. Запоріжжя : ЗНУ, 2026. Т.3. С. 220-222.

Додаток А

Замовна специфікація на комплекс технічних засобів

Позиція	Найменування та технічна характеристика обладнання	Тип, марка обладнання	Одиниця вимірювання: Найменування	Одиниця вимірювання: Код	Код заводу-виробника	Код обладнання, матеріалу	Ціна одиниці, грн	Кількість	Маса одиниці обладнання, кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1. Прилади та засоби автоматизації								
1д, 3д	Датчик вологості	Honeywell HIH-4021-003	шт.					2	
1в, 3в	Датчик тиску	DSP-01	шт.					2	
4а	Датчик вологості	AFH-G2F	шт.					1	
2а, 5а, 7в	Термопара	TCM-1288	шт.					3	
7т	Датчик CO2	ZH-NDIR-CO2-M-5%	шт.					1	
8а	Фоторезистор	CWT-SL-20W-A	шт.					1	
2д, 5б	Нормуючий перетворювач	NPM-15	шт.					2	
1о, 1д, 3д, 3д	Показуючий прилад	SITRANS RD100	шт.					4	
2в, 5в, 7в, 7г	Реєструючий прилад	MAS-100	шт.					4	
2г, 4д, 5г, 6д, 7е, 8в	Блок живлення	БПС24-4к	шт.					6	
2д, 4г, 5д, 6а, 7в, 8в	Блок ручного управління	БРУ-110	шт.					6	
2к, 4з, 5к, 6е, 7н, 7а	Дистанційний покажчик положення	УП-4	шт.					6	
2к, 5г, 5з, 6в, 7к, 7л	Пускач безконтактний реверсивний	ПБР-21	шт.					6	
2к, 4г, 5к, 6г, 7з, 7м	Виконавчий механізм	МЕО 16/63-0,25	шт.					6	
4в	Реєструючий прилад	PCE-CR 10	шт.					1	
2г, 4ж, 6і, 7к	Двопозиційний кран	25с30нж	шт.					4	
5а	Трьохпозиційний кран	АрматКлуб ТКА-7	шт.					1	
	2. Агрегатні комплекси та засоби обчислювальної техніки								
	Контролер	МК-52	шт.					1	
	Клемно-блочний з'єднувач	КБЗ-3/(Р СК)-01	шт.					2	
	3. Щити та пульти управління								
	Однокамерна телогрева шафа	MLS220866Kb	шт.					2	
	Навісна шафа	MAS080803OR5	шт.					1	
	4. Електроапаратура								
В1..В5	Автоматичний вимикач Schneider Electric	RESI9 16A 2P C	шт.					5	
ЗП1..ЗП5	Запобіжник плавкий	L11 LH 5x20 1A	шт.					5	
КК1, КК2	Клемна колодка	КК	шт.					2	
	5. Трубопровідна арматура								
	Труба захисна	Ір. 23х1,5	м					90	
	6. Кабелі та проводка								
	Кабель	3105А	м					22	
	Кабель	АКВВГ 4х2,5	м					93	
	Кабель	ВВГнг 3х2,5	м					20	
	7. Монтажні матеріали								
	DIN рейки	TS-35-15	шт.					4	

								ЗНУ ІННІ Д2 23614.008.С		
Зм.	Кіл-ть	№ докум.	Підп.	Дата	Проект автоматизації Smart-теплиці в умовах фермерського господарства. Система автоматичного регулювання температури в нижньому ярусі			Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.		Лущенко І.А.						Д 1		
Керівник		Мягкота Н.О.								
Кер.дипл.		Мягкота Н.О.						Аркуш	Аркушів	1
Н.контр.		А.Яловецька			Специфікація			ЗНУ, ІННІ, каф. ЕтаКФС гр. 6.1743-с2		
Затв.		Мирсков Д.М.								