АНОТАЦІЯ

У даній роботі розглянуто питання розроблення автоматизованої системи керування мікрокліматом теплиці для вирощування багаторічної спаржі. Проведено аналіз особливостей вирощування культури в умовах закритого ґрунту та обґрунтовано необхідність використання сучасних засобів автоматизації для забезпечення стабільних умов росту рослин.

У роботі досліджено особливості контролю температури повітря, температури ґрунту, вологості повітря та вологості ґрунту. Розглянуто принципи роботи датчиків, виконавчих механізмів і програмованих логічних контролерів, а також їх роль у забезпеченні автоматичного керування технологічними процесами теплиці.

Особливу увагу приділено розробленню систем автоматичного поливу, вентиляції та регулювання температурного режиму. Запропоновано використання крапельного поливу з автоматичним контролем вологості ґрунту, а також системи вентиляції та обігріву, які забезпечують підтримання оптимального мікроклімату протягом усього періоду вирощування спаржі.

Крім того, у роботі розглянуто питання забезпечення надійності функціонування системи автоматизації, електробезпеки, пожежної безпеки та безпечної експлуатації тепличного комплексу. Розроблено алгоритм роботи системи керування та визначено очікувані результати її впровадження.

Ключові слова: автоматизація, теплиця, мікроклімат, спаржа, температура повітря, температура ґрунту, вологість повітря, вологість ґрунту, крапельний полив, вентиляція, обігрів, програмований логічний контролер, датчики, система керування.

ABSTRACT

This paper addresses the development of an automated greenhouse microclimate control system for the cultivation of perennial asparagus. An analysis of the specific features of asparagus cultivation under protected ground conditions was carried out, and the necessity of using modern automation technologies to ensure stable plant growth conditions was substantiated.

The study examines the control of air temperature, soil temperature, air humidity, and soil moisture. The operating principles of sensors, actuators, and programmable logic controllers are considered, as well as their role in providing automatic control of greenhouse technological processes.

Particular attention is paid to the development of automatic irrigation, ventilation, and temperature regulation systems. The use of drip irrigation with automatic soil moisture control is proposed, along with ventilation and heating systems that ensure the maintenance of optimal microclimate conditions throughout the entire asparagus growing period.

In addition, the paper considers issues related to the reliability of the automation system, electrical safety, fire safety, and the safe operation of the greenhouse complex. A control algorithm for the system has been developed, and the expected results of its implementation have been determined.

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку сільського господарства все більшого значення набуває впровадження автоматизованих систем керування технологічними процесами. Особливо актуальним це є для тепличних господарств, де необхідно забезпечувати стабільні умови вирощування рослин незалежно від змін зовнішнього середовища. Використання сучасних засобів автоматизації дозволяє підтримувати необхідні параметри мікроклімату, підвищувати врожайність культур, зменшувати витрати ресурсів та мінімізувати вплив людського фактора на результати виробництва.

Однією з перспективних культур для вирощування в умовах закритого ґрунту є багаторічна спаржа. Висока харчова цінність продукції, стабільний попит на ринку та тривалий термін експлуатації насаджень роблять її привабливою для промислового вирощування. Разом із тим спаржа висуває підвищені вимоги до умов навколишнього середовища. Особливого значення набуває підтримання оптимальної температури повітря та ґрунту, вологості прикореневої зони, вологості повітря та ефективної вентиляції теплиці.

Практика експлуатації тепличних господарств показує, що ручне керування технологічними процесами не завжди дозволяє забезпечити необхідну точність підтримання параметрів мікроклімату. Несвоєчасне виконання поливу, недостатня вентиляція або порушення температурного режиму можуть негативно впливати на розвиток рослин, знижувати врожайність та погіршувати якість продукції. Особливо важливим це є для багаторічної спаржі, оскільки помилки в технології вирощування можуть впливати не лише на поточний урожай, але й на стан кореневої системи протягом наступних років.

Для вирішення зазначених завдань доцільним є використання автоматизованих систем керування мікрокліматом, які забезпечують безперервний контроль параметрів середовища та автоматичне керування

поливом, вентиляцією й системою обігріву. Використання сучасних датчиків, програмованих логічних контролерів та виконавчих механізмів дозволяє створити ефективну систему, здатну підтримувати оптимальні умови вирощування культури протягом усього року.

У роботі розглядаються питання вибору технічних засобів автоматизації, аналізу контрольованих параметрів мікроклімату, розроблення систем автоматичного поливу та вентиляції, побудови алгоритму функціонування системи керування, а також забезпечення безпечної експлуатації автоматизованої теплиці. Комплексний підхід до вирішення зазначених завдань дозволяє підвищити ефективність вирощування спаржі та забезпечити стабільну роботу тепличного господарства.

Об'єкт дослідження: процес керування мікрокліматом теплиці для вирощування багаторічної спаржі.

Предмет дослідження: технічні засоби та алгоритми автоматизації систем контролю і регулювання параметрів мікроклімату теплиці.

Мета роботи: розроблення автоматизованої системи керування мікрокліматом теплиці для вирощування багаторічної спаржі з використанням сучасних засобів автоматизації.

Методи дослідження: аналіз технології вирощування спаржі, аналіз технічних засобів автоматизації, структурно-функціональний аналіз систем керування, порівняння технічних рішень та оцінка ефективності їх застосування.

Практична цінність: полягає у можливості використання запропонованих технічних рішень під час проєктування та модернізації тепличних комплексів для вирощування багаторічної спаржі з метою підвищення врожайності, економії ресурсів та забезпечення стабільності технологічного процесу.

Наукова новизна: полягає в комплексному підході до автоматизації процесу вирощування багаторічної спаржі шляхом поєднання автоматичного контролю температури повітря та ґрунту, вологості повітря і ґрунту, а також

автоматичного керування поливом, вентиляцією та системою обігріву в єдиній системі керування мікрокліматом теплиці.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Необхідність автоматизації системи мікроклімату теплиці

У сучасних умовах розвитку сільського господарства тепличні комплекси відіграють надзвичайно важливу роль у забезпеченні населення овочами, зеленню, ягодами та іншою рослинною продукцією незалежно від пори року. Використання теплиць дозволяє значно продовжити сезон вирощування культур, підвищити врожайність, забезпечити стабільність виробництва та зменшити залежність від зовнішніх кліматичних умов. Проте ефективна робота тепличного господарства неможлива без підтримання оптимального мікроклімату, який безпосередньо впливає на ріст, розвиток і врожайність рослин.

Під поняттям мікроклімату теплиці розуміють сукупність параметрів внутрішнього середовища, серед яких основними є температура повітря, температура ґрунту, вологість повітря, вологість ґрунту, рівень освітленості, швидкість руху повітря та концентрація вуглекислого газу. Кожна культура має власні вимоги до цих параметрів, і навіть незначні відхилення можуть призвести до погіршення стану рослин, зниження врожайності або розвитку захворювань.

Однією з найбільших проблем традиційного тепличного господарства є складність постійного контролю мікроклімату вручну. Людина фізично не може безперервно відстежувати всі параметри середовища та миттєво реагувати на їх зміну, особливо якщо теплиця має значну площу або працює цілодобово. У денний час температура в теплиці може швидко зростати через сонячне випромінювання, а у нічний — різко знижуватися. Аналогічно змінюється і вологість повітря, яка залежить як від погодних умов, так і від процесів поливу та випаровування.

При ручному керуванні персонал змушений постійно контролювати термометри, відкривати та закривати вентиляційні отвори, вмикати

обігрівачі, насоси та освітлення. Такий підхід не лише потребує значних трудових витрат, але й створює високий ризик помилок через людський фактор. Наприклад, несвоєчасне відкриття вентиляції у спекотний день може призвести до перегріву рослин, а надмірний полив — до загнивання кореневої системи або розвитку грибкових захворювань. Навіть короткочасне порушення температурного режиму може негативно вплинути на стан рослин, особливо у період цвітіння або формування плодів.

Окрім цього, сучасні тепличні комплекси часто працюють у режимі цілорічного виробництва. Це означає, що система мікроклімату повинна підтримувати необхідні умови незалежно від зовнішньої температури, вологості чи погодних явищ. У зимовий період необхідно забезпечувати стабільне опалення та запобігати надмірному охолодженню повітря і ґрунту. Влітку, навпаки, виникає проблема перегріву, яка потребує ефективної вентиляції та іноді систем охолодження. У перехідні сезони система повинна швидко адаптуватися до постійних змін зовнішнього середовища.

У таких умовах автоматизація стає не просто бажаною, а необхідною складовою сучасного тепличного господарства. Автоматизована система мікроклімату дозволяє здійснювати безперервний моніторинг параметрів середовища за допомогою спеціальних датчиків і автоматично керувати обладнанням залежно від отриманих значень. Це забезпечує стабільність умов вирощування та значно зменшує залежність від людського фактору.

Основою автоматизованої системи є датчики, які постійно вимірюють параметри навколишнього середовища. Датчики температури контролюють температуру повітря та ґрунту, датчики вологості визначають рівень вологості повітря та ґрунту, датчики освітленості оцінюють інтенсивність природного світла, а датчики концентрації CO_2 дозволяють контролювати вміст вуглекислого газу, необхідного для процесу фотосинтезу. Отримані дані передаються до контролера, який аналізує їх та формує сигнали керування для виконавчих механізмів.

Автоматизована система може самостійно вмикати вентиляцію при перевищенні допустимої температури, запускати систему поливу при зниженні вологості ґрунту, вмикати опалення при охолодженні теплиці або активувати штучне освітлення при недостатньому рівні природного світла. Таким чином забезпечується підтримання оптимального мікроклімату без постійного втручання оператора.

Важливою перевагою автоматизації є швидкість реакції системи на зміну умов. На відміну від людини, автоматизована система працює безперервно та здатна реагувати практично миттєво. Це особливо важливо при різких змінах погодних умов, коли температура або вологість можуть змінюватися протягом короткого часу. Наприклад, у сонячний день температура всередині теплиці може піднятися до критичних значень менш ніж за годину. Автоматична система здатна своєчасно відкрити вентиляційні кватирки або увімкнути вентилятори, запобігаючи перегріву рослин.

Не менш важливим аспектом є економічна ефективність автоматизації. Сучасні системи керування дозволяють значно зменшити витрати електроенергії та води завдяки точному регулюванню роботи обладнання. Наприклад, система поливу працює лише тоді, коли це дійсно необхідно, а опалення підтримує задану температуру без перевитрат енергії. Це особливо актуально в умовах постійного зростання вартості енергоресурсів.

Автоматизація також дозволяє зменшити витрати на обслуговуючий персонал. Значна частина операцій виконується автоматично, а роль людини зводиться переважно до контролю та обслуговування системи. Це не лише знижує трудові витрати, але й підвищує загальну надійність роботи тепличного комплексу.

Сучасні автоматизовані системи часто мають можливість дистанційного контролю та диспетчеризації. Оператор може отримувати інформацію про стан теплиці через комп’ютер або мобільний пристрій, переглядати показники датчиків, змінювати режими роботи обладнання та

отримувати аварійні повідомлення. Це дозволяє оперативно реагувати на несправності та контролювати роботу теплиці навіть на значній відстані.

Ще однією важливою перевагою автоматизації є підвищення стабільності та якості виробництва. Рослини значно краще розвиваються у стабільних умовах, коли температура, вологість та освітлення підтримуються у визначених межах. Це позитивно впливає на швидкість росту, якість плодів, їх розмір, смакові властивості та термін зберігання. Крім того, зменшується ризик розвитку хвороб, пов'язаних із надмірною вологістю або різкими перепадами температури.

У сучасному агропромисловому секторі автоматизація теплиць є одним із головних напрямків розвитку технологій точного землеробства. Використання автоматизованих систем дозволяє поєднувати високу продуктивність із економічною ефективністю та раціональним використанням ресурсів. Саме тому автоматизація систем мікроклімату сьогодні активно впроваджується як у великих промислових тепличних комплексах, так і у невеликих фермерських господарствах.

Таким чином, автоматизація системи мікроклімату теплиці є необхідною умовою забезпечення стабільної роботи сучасного тепличного господарства. Вона дозволяє підтримувати оптимальні умови для росту рослин, зменшувати енергетичні та трудові витрати, підвищувати врожайність і якість продукції, а також забезпечувати надійне та ефективне функціонування тепличного комплексу впродовж усього року.

1.2 Вимоги до давачів та елементної бази системи автоматизації мікроклімату теплиці

Ефективність роботи автоматизованої системи мікроклімату теплиці значною мірою залежить від правильного вибору давачів, контролерів, виконавчих механізмів та інших елементів системи. Саме елементна база визначає точність вимірювання параметрів середовища, швидкість реакції системи, надійність роботи обладнання та стабільність підтримання

необхідних умов для вирощування рослин. У сучасних тепличних комплексах вимоги до таких систем є особливо високими, оскільки обладнання повинно працювати безперервно, у складних умовах підвищеної вологості, перепадів температур та постійного впливу агресивного середовища.

Однією з головних вимог до давачів є висока точність вимірювання параметрів мікроклімату. Навіть незначні помилки вимірювання можуть призводити до неправильного керування системою вентиляції, опалення чи поливу. Наприклад, якщо датчик температури передає некоректні дані, система може або недостатньо прогрівати теплицю, або навпаки — витрачати зайву електроенергію на перегрів приміщення. Аналогічно неправильні показники вологості ґрунту можуть викликати надмірний або недостатній полив, що негативно вплине на розвиток рослин.

Для забезпечення стабільної роботи системи давачі повинні мати достатню чутливість та малий час реакції. У тепличному господарстві параметри мікроклімату можуть змінюватися досить швидко, особливо при різкій зміні погодних умов. Наприклад, інтенсивне сонячне випромінювання здатне за короткий час суттєво підвищити температуру всередині теплиці. Якщо датчики реагують повільно, система не встигатиме своєчасно керувати вентиляцією або охолодженням, що може призвести до перегріву рослин.

Особливу увагу необхідно приділяти надійності давачів. Тепличне середовище характеризується підвищеною вологістю, наявністю конденсату, пилу, залишків добрив та хімічних речовин. У таких умовах обладнання повинно мати захист від вологи та корозії. Бажано використовувати промислові датчики у герметичному виконанні зі ступенем захисту не нижче IP65, а у зонах прямого контакту з водою або ґрунтом — IP67. Це дозволяє забезпечити тривалий термін експлуатації та зменшити ймовірність виходу обладнання з ладу.

Важливою вимогою є стабільність показників упродовж тривалого часу. Деякі дешеві або неякісні датчики мають властивість змінювати

характеристики через вплив вологості, температури або старіння елементів. У результаті система починає працювати некоректно навіть без явної поломки обладнання. Саме тому для промислових систем автоматизації доцільно використовувати перевірені моделі давачів від відомих виробників.

Датчики температури повинні забезпечувати роботу у широкому діапазоні температур та мати достатню точність вимірювання. Для тепличних систем особливо важливо контролювати температуру як повітря, так і ґрунту. Датчики повинні бути стійкими до впливу вологи та конденсату, а також забезпечувати стабільну роботу упродовж тривалого часу без необхідності частого калібрування.

Датчики вологості повітря також повинні мати високу точність та стійкість до забруднення. Через постійне випаровування води та роботу систем поливу у теплиці створюються складні умови для вимірювальних елементів. Тому важливо, щоб датчики були захищені спеціальними фільтрами або мембранами, які запобігають потраплянню вологи та пилу всередину чутливого елемента.

Окреме значення мають датчики вологості ґрунту. Саме вони визначають ефективність системи автоматичного поливу. Для тепличного господарства бажано використовувати ємнісні або промислові датчики, оскільки резистивні моделі швидко окислюються та втрачають точність через постійний контакт із вологою землею. Крім того, датчики повинні бути стійкими до впливу добрив і мати міцний герметичний корпус.

Для систем освітлення важливими є датчики освітленості, які дозволяють автоматично регулювати роботу фітоламп залежно від рівня природного світла. Такі давачі повинні коректно працювати при різних типах освітлення та не реагувати на короткочасні зміни, наприклад затінення від хмар або сторонніх предметів.

У сучасних тепличних комплексах також застосовуються датчики концентрації вуглекислого газу. Підтримання необхідного рівня CO_2 дозволяє підвищити інтенсивність фотосинтезу та збільшити врожайність.

Такі датчики повинні мати високу стабільність та здатність працювати без частого технічного обслуговування.

Не менш важливими є вимоги до контролерів та центральних елементів системи автоматизації. Контролер повинен забезпечувати безперервну обробку сигналів від усіх датчиків, виконувати алгоритми керування та формувати сигнали для виконавчих механізмів. У тепличних системах особливо важливою є надійність контролера, оскільки його відмова може призвести до повного порушення мікроклімату та значних втрат урожаю.

Контролери повинні мати достатню кількість входів та виходів для підключення датчиків і виконавчих пристроїв. Також важливо забезпечити можливість подальшого розширення системи, оскільки у процесі експлуатації теплиці може виникнути необхідність встановлення додаткового обладнання. Бажано використовувати модульну структуру системи, яка дозволяє легко модернізувати або масштабувати автоматизацію.

Однією з важливих вимог є сумісність елементної бази між собою. Усі пристрої повинні підтримувати однакові або сумісні інтерфейси зв’язку та стандарти передачі сигналів. У промислових системах часто використовуються аналогові сигнали 4–20 мА або 0–10 В, а також цифрові інтерфейси RS-485, Modbus RTU та Ethernet. Використання стандартизованих протоколів дозволяє забезпечити стабільну роботу системи та спрощує її обслуговування.

Виконавчі механізми також повинні відповідати умовам експлуатації у теплиці. Вентилятори, насоси, сервоприводи кватирок, електромагнітні клапани та інше обладнання повинні бути розраховані на тривалу безперервну роботу та мати захист від перевантаження і вологи. Особливо важливо забезпечити надійну роботу систем вентиляції та поливу, оскільки саме вони найбільше впливають на підтримання стабільного мікроклімату.

Окрему увагу необхідно приділяти системі електроживлення. Елементна база автоматизованої системи повинна працювати від стабілізованих джерел живлення, захищених від перепадів напруги та

коротких замикань. Для критично важливих вузлів бажано передбачати резервне живлення або джерела безперебійного живлення. Це дозволить системі продовжувати роботу навіть при аварійному відключенні електроенергії.

Важливою вимогою є електромагнітна сумісність обладнання. У теплиці можуть одночасно працювати електродвигуни, насоси, релейні модулі та інше силове обладнання, яке створює електромагнітні перешкоди. Тому елементна база повинна мати достатній рівень захисту від завад, а кабельна інфраструктура — відповідне екранування та правильне прокладання.

Крім технічних характеристик, важливе значення має економічна доцільність вибору елементної бази. Надто дешеві компоненти часто мають низьку надійність і швидко виходять з ладу, що у підсумку призводить до більших витрат на ремонт та обслуговування. Водночас використання надмірно дорогого обладнання не завжди є виправданим для невеликих тепличних господарств. Тому при виборі елементної бази необхідно враховувати співвідношення вартості, функціональних можливостей та надійності обладнання.

Таким чином, вимоги до давачів та елементної бази системи автоматизації мікроклімату теплиці визначаються необхідністю забезпечення точного, стабільного та безперервного контролю параметрів середовища. Обладнання повинно бути надійним, стійким до впливу вологи та перепадів температур, сумісним між собою та економічно доцільним. Правильний вибір елементної бази є однією з головних умов ефективної роботи автоматизованої системи та забезпечення стабільного функціонування тепличного господарства.

1.3 Різниця у підборі елементної бази системи автоматизації залежно від вибору рослинних культур

Підбір елементної бази для системи автоматизації мікроклімату теплиці безпосередньо залежить від типу рослинних культур, які вирощуються у тепличному господарстві. Різні культури мають власні біологічні особливості, вимоги до температурного режиму, вологості повітря та ґрунту, інтенсивності освітлення, вентиляції та концентрації вуглекислого газу. Саме тому система автоматизації, яка ефективно працює для вирощування одних рослин, може бути недостатньо точною або економічно невигідною для інших.

При проєктуванні автоматизованої системи необхідно враховувати не лише параметри середовища, але й швидкість реакції рослин на їх зміну. Деякі культури здатні переносити короткочасні відхилення температури або вологості без значного впливу на врожайність, тоді як інші є надзвичайно чутливими навіть до незначних коливань мікроклімату. Це безпосередньо впливає на вимоги до точності датчиків, типу контролерів, виконавчих механізмів та загальної структури системи автоматизації.

Для вирощування зелені, салатів та більшості невибагливих культур зазвичай використовуються відносно прості системи автоматизації. Такі рослини не потребують надзвичайно точного підтримання параметрів мікроклімату, тому допускається використання бюджетних датчиків температури та вологості, простих контролерів і стандартних систем вентиляції. У подібних теплицях основна увага приділяється підтриманню стабільного поливу та базового температурного режиму. Найчастіше застосовуються недорогі цифрові датчики, релейні модулі та прості виконавчі пристрої.

Інша ситуація виникає при вирощуванні томатів, огірків, перцю та інших овочевих культур. Такі рослини значно чутливіші до перепадів температури та вологості, особливо у періоди цвітіння та формування плодів. Наприклад, при надмірній вологості у теплиці зростає ризик розвитку грибкових захворювань, а при недостатній вентиляції погіршується процес запилення. У таких умовах необхідно використовувати точніші датчики

температури і вологості, а також забезпечувати плавне та швидке регулювання роботи вентиляційних систем.

Для овочевих культур часто застосовуються більш надійні промислові давачі з аналоговими виходами 4–20 мА або цифровими інтерфейсами, що забезпечують високу точність та стабільність показників. Система автоматизації у такому випадку повинна підтримувати декілька режимів роботи залежно від часу доби, погодних умов та фази розвитку рослин. Також може виникати необхідність у зональному керуванні мікрокліматом, коли різні частини теплиці мають окремі параметри регулювання.

При вирощуванні ягідних культур, таких як полуниця або малина, особливо важливим стає контроль вологості повітря та ґрунту. Надмірна вологість може викликати гниття плодів, а нестача вологи — різке зниження врожайності та якості продукції. Тому система автоматизації повинна мати точні датчики вологості ґрунту та можливість плавного регулювання поливу. Часто використовуються системи крапельного зрошення з автоматичним дозуванням води та добрив.

Для ягідних теплиць також важливим є контроль температури у прикореневій зоні, тому додатково застосовуються датчики температури ґрунту. Виконавчі механізми повинні забезпечувати точне дозування води без різких змін тиску, оскільки надлишковий полив може негативно впливати на кореневу систему рослин.

Особливі вимоги висуваються до автоматизації теплиць для вирощування квітів. Декоративні культури часто є надзвичайно чутливими до параметрів мікроклімату, особливо до температури, освітлення та вологості повітря. Для багатьох квіткових культур навіть короткочасне порушення температурного режиму може призвести до втрати товарного вигляду продукції.

У таких системах використовуються високоточні датчики, багатозональні системи керування та складні алгоритми автоматизації. Особливу роль відіграє автоматичне регулювання освітлення, оскільки деякі

квіти потребують суворо визначеної тривалості світлового дня. Для цього застосовуються датчики освітленості, програмовані таймери та системи керування LED-фітолампами.

Для вирощування екзотичних або тропічних рослин вимоги до елементної бази ще вищі. Такі культури потребують підтримання стабільної високої температури, контрольованої вологості та іноді навіть спеціального складу повітря. У подібних теплицях використовуються складні системи автоматизації з великою кількістю датчиків, резервованими контролерами та декількома незалежними контурами керування.

Наприклад, для тропічних рослин можуть застосовуватися системи туманоутворення, автоматичного затінення, регулювання концентрації CO_2 та багаторівневого освітлення. У таких умовах особливо важливо забезпечити високу надійність обладнання, оскільки навіть короткочасна відмова системи може призвести до загибелі дорогих рослин.

При вирощуванні розсади також існують специфічні вимоги до автоматизації. Молоді рослини дуже чутливі до температури та вологості, тому система повинна підтримувати максимально стабільний мікроклімат. Часто застосовуються додаткові датчики температури ґрунту, системи підігріву стелажів та автоматичне регулювання освітлення залежно від стадії росту рослин.

Різниця у підборі елементної бази проявляється також у виборі виконавчих механізмів. Для невеликих теплиць із зеленню достатньо стандартних вентиляторів та простих електромагнітних клапанів. У великих промислових теплицях для овочевих або квіткових культур застосовуються потужні вентиляційні системи, сервоприводи автоматичних кватирок, частотні перетворювачі для керування насосами та складні системи дозування добрив.

Значну роль відіграє і вибір системи керування. Для простих теплиць можуть використовуватися мікроконтролери або компактні програмовані реле. Однак для багатозональних тепличних комплексів із великою кількістю

обладнання доцільно застосовувати промислові PLC-контролери та SCADA-системи диспетчеризації. Це дозволяє реалізувати складні алгоритми керування, вести архівацію параметрів та забезпечувати дистанційний контроль.

При виборі елементної бази необхідно враховувати й економічну доцільність. Для вирощування недорогих культур встановлення надто складної та дорогої системи автоматизації може бути економічно невиправданим. Водночас для високорентабельних культур, таких як квіти або екзотичні рослини, застосування високоточного обладнання є необхідним для забезпечення стабільної якості продукції та мінімізації ризиків.

Не менш важливим фактором є масштаб тепличного господарства. У невеликих фермерських теплицях часто використовуються спрощені системи автоматизації з мінімально необхідним набором датчиків та обладнання. У великих промислових комплексах система автоматизації може включати десятки або навіть сотні датчиків, багаторівневі системи керування та резервування критично важливих вузлів.

Таким чином, вибір елементної бази системи автоматизації мікроклімату теплиці значною мірою залежить від типу вирощуваних рослинних культур, їх біологічних особливостей та вимог до умов вирощування. Різні культури потребують різного рівня точності контролю, швидкості реагування системи та складності алгоритмів керування. Правильний підбір обладнання дозволяє забезпечити оптимальні умови для росту рослин, підвищити врожайність, зменшити витрати ресурсів та забезпечити ефективну роботу тепличного господарства.

1.4 Біологічні та технологічні особливості вирощування спаржі у тепличних умовах

Спаржа є багаторічною овочевою культурою, яка суттєво відрізняється від більшості традиційних тепличних рослин, таких як огірки, томати або

зелень. Якщо більшість овочевих культур вирощується протягом одного сезону, то спаржа формується як довготривала культура з багаторічною кореневою системою. За належного догляду вона може давати врожай багато років поспіль, тому при її вирощуванні особливе значення має не лише отримання врожаю в поточному сезоні, а й збереження життєздатності рослини на наступні роки.

Основною біологічною особливістю спаржі є наявність потужної підземної частини, яка складається з кореневища, бруньок відновлення та розвиненої системи коренів. Саме у підземній частині рослина накопичує поживні речовини, необхідні для подальшого росту пагонів. Молоді пагони, які з’являються навесні, і є основною продукцією, що використовується у харчуванні. Тому стан кореневої системи безпосередньо впливає на кількість, якість і швидкість формування врожаю.

На відміну від однорічних культур, у яких основне завдання полягає у швидкому проходженні повного циклу розвитку, для спаржі важливо забезпечити довготривалу стабільність умов вирощування. Якщо в теплиці створюються несприятливі умови, це може вплинути не тільки на врожай поточного року, але й на продуктивність рослини в майбутньому. Саме тому система автоматизації мікроклімату для теплиці зі спаржею повинна розглядатися не як допоміжний елемент, а як важлива технологічна складова всього процесу вирощування.

Спаржа, Рисунок 1.1, належить до культур, для яких особливо важливим є стан ґрунту. Коренева система розміщується у ґрунті протягом багатьох років, тому вона потребує доброго повітрообміну, достатньої, але не надмірної вологості, а також стабільної температури. Для спаржі небезпечними є умови, за яких ґрунт довго залишається перезволоженим. Надлишок води витісняє повітря з ґрунтових пор, через що корені отримують менше кисню. У таких умовах зростає ризик загнивання кореневища та розвитку грибкових захворювань.



Рис 1.1. Спаржа

Саме тому при вирощуванні спаржі у теплиці, Рисунок 1.2, велике значення має автоматизація поливу. Полив не повинен виконуватися лише за фіксованим графіком без урахування фактичного стану ґрунту. Значно ефективнішим є керування поливом за показниками давачів вологості ґрунту. У такому випадку система подає воду лише тоді, коли це дійсно необхідно, і припиняє полив після досягнення заданого рівня вологості. Це дозволяє уникнути як пересушування, так і перезволоження ґрунту.



Рис 1.1 Вирощування спаржі у теплиці

Для спаржі важливим є не тільки контроль вологості, але й контроль температури ґрунту. На початку вегетації саме температура ґрунту значною мірою визначає швидкість пробудження бруньок і появу молодих пагонів. Якщо ґрунт залишається холодним, розвиток рослини сповільнюється, а формування врожаю затримується. Якщо ж температура надто висока, пагони можуть швидше втрачати товарну якість. Тому у теплиці доцільно передбачати давачі температури ґрунту, які дозволяють контролювати стан прикореневої зони.

Особливість тепличного вирощування спаржі полягає у можливості частково керувати строками отримання врожаю. У відкритому ґрунті розвиток рослини значною мірою залежить від погодних умов, тоді як у теплиці можна створювати більш сприятливі умови для раннього пробудження рослин. Це особливо важливо у весняний період, коли отримання ранньої продукції має вищу економічну цінність. Для цього необхідно контролювати температуру повітря, температуру ґрунту, рівень вологості та вентиляцію.

Весняний режим роботи теплиці для спаржі має бути спрямований на поступове створення умов для активного росту пагонів. У цей період важливо уникати різких перепадів температури, оскільки вони можуть негативно впливати на розвиток молодих пагонів. Автоматизована система повинна забезпечувати вмикання опалення при зниженні температури, контроль провітрювання при перегріві та підтримання помірної вологості ґрунту. Особливо важливо, щоб полив не проводився надмірно у період, коли ґрунт ще недостатньо прогрітий.

Зимовий режим для теплиці зі спаржею має інше призначення. У цей період рослина перебуває у стані спокою або зниженого біологічного розвитку. Завдання системи автоматизації полягає не в активному стимулюванні росту, а у збереженні життєздатності кореневої системи та

захисті її від критичних температур. У зимовий період важливо не допустити промерзання ґрунту, надмірного зволоження та утворення небезпечного конденсату всередині теплиці.

У тепличних умовах значну роль відіграє вентиляція. На перший погляд, спаржа не потребує такої інтенсивної вентиляції, як огірки або томати, однак для неї також важливо підтримувати нормальний повітрообмін. При недостатній вентиляції у теплиці накопичується надлишкова волога, утворюється конденсат на внутрішніх поверхнях, підвищується ризик розвитку грибкових хвороб. Крім того, у сонячні дні навіть у холодний сезон температура всередині теплиці може швидко підвищуватися, що створює ризик перегріву.

Автоматизована вентиляція дозволяє підтримувати баланс між збереженням тепла та видаленням надлишкової вологи. Це особливо важливо у весняний період, коли зовнішня температура ще може бути низькою, але сонячне випромінювання вже достатньо інтенсивне. Ручне відкривання кватирок або дверей у таких умовах не завжди є ефективним, оскільки оператор може не встигнути відреагувати на швидку зміну температури. Автоматична система, навпаки, може поступово відкривати вентиляційні отвори або вмикати вентилятори залежно від показників давачів.

Ще однією технологічною особливістю спаржі є її чутливість до умов у прикореневій зоні. Для багатьох культур основний контроль зосереджується на температурі повітря, але для спаржі температура та вологість ґрунту мають не менше значення. Саме у ґрунті знаходиться багаторічна продуктивна частина рослини, тому будь-які порушення у цій зоні можуть мати тривалі наслідки. Через це система автоматизації повинна включати не лише повітряні давачі, а й давачі, розміщені безпосередньо у ґрунті.

При вирощуванні спаржі важливо також враховувати, що рослина має різні фази розвитку протягом року. У період активного утворення пагонів необхідно створити умови для швидкого, але контрольованого росту. Після завершення збору врожаю рослина повинна сформувати надземну масу, яка

забезпечує накопичення поживних речовин у кореневій системі. У цей період також важливо підтримувати нормальний режим поливу, освітлення та вентиляції, оскільки від цього залежить врожай наступного року.

Таким чином, система автоматизації теплиці для вирощування спаржі повинна враховувати не тільки поточні параметри мікроклімату, але й сезонність розвитку культури. Вона має працювати у декількох режимах: зимовому, весняному, режимі активного росту, режимі післязбирального догляду та аварійному режимі. Кожен із цих режимів потребує власних налаштувань температури, вологості, поливу та вентиляції.

Особливу увагу слід приділяти аварійним режимам. Для спаржі небезпечними є різке зниження температури ґрунту, тривале перезволоження, перегрів теплиці та відмова системи вентиляції. Тому система автоматизації повинна не лише керувати обладнанням у звичайному режимі, а й фіксувати аварійні ситуації. При виході параметрів за допустимі межі система повинна подавати сигнал оператору, вмикати резервне обладнання або переводити теплицю у безпечний режим роботи.

З технологічної точки зору найбільш доцільним для спаржі є використання крапельного поливу. Такий спосіб дозволяє подавати воду безпосередньо у прикореневу зону, не створюючи надмірної вологості повітря. Це важливо, оскільки надлишкова вологість у теплиці може сприяти утворенню конденсату та розвитку хвороб. Автоматизація крапельного поливу дає можливість точно дозувати воду відповідно до фактичної потреби рослин.

Для контролю поливу доцільно використовувати кілька давачів вологості ґрунту, розміщених у різних зонах теплиці. Це дозволяє враховувати нерівномірність зволоження, яка може виникати через особливості ґрунту, ухил поверхні, різну інтенсивність випаровування або нерівномірну роботу крапельних ліній. У більших теплицях доцільно застосовувати зональне керування поливом, коли окремі ділянки можуть зрошуватися незалежно одна від одної.

Також важливо враховувати, що в теплиці зі спаржею автоматизація повинна бути розрахована на довготривалу експлуатацію. Оскільки культура є багаторічною, система не повинна створювати незручностей при обслуговуванні грядок, зборі врожаю або сезонних роботах. Давачі, кабелі, клапани та інші елементи мають бути розміщені так, щоб вони не заважали технологічним операціям і водночас забезпечували достовірні вимірювання.
Важливою перевагою автоматизації є можливість накопичення даних про стан теплиці. Для багаторічної культури це має особливе значення, оскільки оператор може аналізувати, як зміни температури, вологості та режимів поливу впливали на врожайність у різні роки. На основі цих даних можна поступово уточнювати налаштування системи та підвищувати ефективність вирощування.

Отже, біологічні та технологічні особливості спаржі визначають специфічні вимоги до автоматизованої системи мікроклімату теплиці. Спаржа є багаторічною культурою з потужною кореневою системою, для якої критично важливими є стан ґрунту, стабільність температурного режиму, відсутність перезволоження та достатній повітрообмін. Саме тому система автоматизації повинна забезпечувати контроль температури повітря і ґрунту, вологості повітря і ґрунту, роботу вентиляції, поливу та аварійного захисту.

У порівнянні з багатьма однорічними культурами спаржа потребує більш уважного підходу до прикореневої зони та сезонних режимів роботи. Неправильне керування мікрокліматом може мати наслідки не лише для поточного врожаю, але й для продуктивності рослин у наступні роки. Тому автоматизація теплиці для вирощування спаржі є не просто засобом зручності, а необхідною умовою стабільного, якісного та економічно ефективного виробництва.

1.5 Висновки до розділу1

У першому розділі дипломної роботи було розглянуто теоретичні основи автоматизації мікроклімату теплиці та визначено основні фактори, що впливають на ефективність вирощування рослин у закритому ґрунті. Проведений аналіз показав, що сучасне тепличне господарство потребує постійного контролю параметрів навколишнього середовища, оскільки від їх стабільності безпосередньо залежать швидкість росту рослин, врожайність, якість продукції та економічна ефективність виробництва. Ручне керування технологічними процесами не здатне забезпечити необхідну точність та оперативність реагування на зміни умов вирощування, тому впровадження автоматизованих систем є необхідною умовою функціонування сучасних тепличних комплексів.

У ході дослідження було встановлено, що вибір елементної бази системи автоматизації повинен здійснюватися з урахуванням умов експлуатації обладнання та особливостей вирощуваної культури. Давачі, контролери та виконавчі механізми повинні забезпечувати високу точність вимірювань, надійність роботи в умовах підвищеної вологості, стійкість до перепадів температур та можливість тривалої безперервної експлуатації. Також було показано, що вимоги до складу системи автоматизації можуть суттєво відрізнятися залежно від біологічних особливостей рослин, їх чутливості до змін мікроклімату та технології вирощування.

Особливу увагу в роботі приділено багаторічній культурі спаржі, яка була обрана як основний об’єкт автоматизації. Аналіз біологічних та технологічних особливостей спаржі показав, що ця культура має потужну багаторічну кореневу систему, від стану якої залежить не лише врожай поточного року, а й продуктивність рослин у наступні сезони. На відміну від більшості однорічних культур, спаржа висуває підвищені вимоги до стабільності умов вирощування, особливо до температури та вологості ґрунту. Саме тому підтримання оптимального мікроклімату набуває вирішального значення для забезпечення її нормального росту та розвитку.

У результаті проведеного аналізу було визначено основні параметри мікроклімату, які повинні контролюватися автоматизованою системою. До них належать температура повітря, температура ґрунту, вологість повітря, вологість ґрунту та параметри вентиляції. Саме ці показники найбільшою мірою впливають на стан кореневої системи, швидкість формування пагонів, ризик виникнення захворювань та загальну врожайність культури. Крім основних параметрів, доцільним є контроль освітленості, концентрації вуглекислого газу та аварійних режимів роботи обладнання, що дозволяє підвищити ефективність та надійність функціонування тепличного комплексу.

Проведене дослідження підтвердило, що для вирощування спаржі особливе значення мають автоматизація поливу та автоматизація вентиляції. Використання давачів вологості ґрунту дозволяє уникнути небезпечного для культури перезволоження, а автоматичне керування вентиляцією забезпечує підтримання необхідного повітрообміну та запобігає утворенню надлишкової вологості й конденсату. Завдяки цьому створюються сприятливі умови для розвитку рослин та зменшується ймовірність виникнення грибкових захворювань.

Таким чином, результати першого розділу дозволили визначити біологічні, технологічні та технічні вимоги до майбутньої системи автоматизації теплиці для вирощування спаржі. На основі виконаного аналізу сформовано перелік контрольованих параметрів, обґрунтовано необхідність їх автоматичного регулювання та визначено напрямки подальшого проєктування системи. Отримані результати є теоретичною основою для розроблення структури автоматизованої системи керування мікрокліматом, вибору технічних засобів автоматизації, побудови алгоритмів керування та виконання інженерних розрахунків у наступних розділах дипломної роботи.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Загальні вимоги до технічних засобів автоматизації теплиць

Ефективність роботи будь-якої автоматизованої системи значною мірою визначається правильністю вибору її технічних засобів. Саме елементна база забезпечує отримання інформації про стан об'єкта керування, обробку сигналів, формування команд та виконання необхідних технологічних операцій. У тепличному господарстві вимоги до технічних засобів автоматизації є особливо високими, оскільки від надійності роботи обладнання безпосередньо залежить стан рослин, урожайність та економічна ефективність виробництва.

На відміну від багатьох промислових об'єктів, теплиця характеризується специфічними умовами експлуатації обладнання. Усередині тепличного приміщення постійно присутня підвищена вологість повітря, яка виникає внаслідок поливу, випаровування вологи з поверхні ґрунту та природних фізіологічних процесів рослин. Крім того, у різні періоди року можуть спостерігатися значні перепади температури, а на конструкціях теплиці часто утворюється конденсат. У таких умовах обладнання повинно забезпечувати стабільну роботу протягом тривалого часу без погіршення своїх характеристик.

Однією з найважливіших вимог до технічних засобів автоматизації є надійність. Система керування мікрокліматом повинна працювати безперервно протягом усього циклу вирощування культури. Навіть короткочасна відмова окремих елементів може призвести до порушення технологічного процесу та створення несприятливих умов для рослин. Особливо небезпечними є відмови систем опалення у зимовий період, вентиляції в умовах високих температур або систем поливу під час активної вегетації рослин.

Надійність обладнання визначається не лише якістю виготовлення окремих пристроїв, а й правильністю їх підбору відповідно до умов

експлуатації. Технічні засоби повинні мати достатній запас міцності та ресурс роботи. Бажано використовувати обладнання, яке спеціально розроблене для промислових систем автоматизації, оскільки воно розраховане на безперервний режим експлуатації та здатне працювати в умовах впливу несприятливих зовнішніх факторів.

Важливою вимогою є стійкість обладнання до підвищеної вологості. Волога є одним із головних факторів, що негативно впливають на електронні пристрої. Вона може викликати корозію контактів, погіршення ізоляційних властивостей матеріалів та виникнення коротких замикань. Через це обладнання, яке встановлюється безпосередньо у теплиці, повинно мати відповідний ступінь захисту від проникнення пилу та вологи.

Особливе значення мають захисні характеристики датчиків, розподільчих коробок, виконавчих механізмів та електротехнічних шаф. У більшості випадків доцільно використовувати обладнання зі ступенем захисту не нижче IP54, а для елементів, які працюють поблизу систем поливу або безпосередньо контактують із зовнішнім середовищем, рекомендується застосовувати пристрої зі ступенем захисту IP65 і вище. Такий підхід дозволяє значно підвищити довговічність обладнання та зменшити витрати на його обслуговування.

Ще однією важливою вимогою є точність роботи вимірювальних засобів. Автоматизована система приймає рішення на основі інформації, отриманої від датчиків. Якщо показники вимірювань будуть недостовірними, система керування почне працювати неправильно незалежно від якості програмного забезпечення або виконавчих механізмів. Через це датчики повинні забезпечувати достатню точність та стабільність характеристик упродовж усього терміну експлуатації.

Для тепличного господарства особливо важливими є точні вимірювання температури та вологості. Навіть незначні відхилення можуть впливати на процеси росту рослин, швидкість випаровування вологи, розвиток кореневої системи та ризик виникнення захворювань. Саме тому

при виборі технічних засобів автоматизації необхідно враховувати метрологічні характеристики обладнання та можливість його періодичної перевірки або калібрування.

Крім точності, важливим показником є швидкодія системи. Параметри мікроклімату можуть змінюватися досить швидко, особливо у весняний та літній періоди. Наприклад, під впливом сонячного випромінювання температура всередині теплиці може значно зрости протягом короткого часу. Якщо система буде повільно реагувати на такі зміни, можливе виникнення перегріву, що негативно вплине на рослини. Тому технічні засоби автоматизації повинні забезпечувати швидке отримання, обробку та передачу інформації.

Сучасні системи автоматизації повинні також мати можливість масштабування та модернізації. У процесі експлуатації тепличного комплексу можуть виникати нові вимоги, пов'язані зі зміною технології вирощування або розширенням виробництва. У таких випадках система повинна дозволяти підключення додаткових датчиків, виконавчих механізмів або програмних модулів без необхідності повної заміни обладнання.

Особливу увагу необхідно приділяти сумісності елементів системи між собою. У сучасних автоматизованих системах використовуються різноманітні датчики, контролери, приводи та засоби зв'язку, які повинні працювати як єдиний комплекс. Для цього необхідно використовувати стандартизовані інтерфейси та протоколи обміну даними. Такий підхід спрощує монтаж, налагодження та подальше технічне обслуговування системи.

Важливим критерієм вибору технічних засобів є їх енергетична ефективність. У сучасних умовах вартість електричної енергії суттєво впливає на собівартість продукції тепличного господарства. Через це обладнання повинно забезпечувати мінімальне споживання електроенергії при збереженні необхідної функціональності та надійності. Особливо це

стосується систем вентиляції, освітлення та циркуляційних насосів, які можуть працювати тривалий час.

Не менш важливою є ремонтопридатність обладнання. Будь-яка система автоматизації потребує періодичного технічного обслуговування та може вимагати ремонту окремих вузлів. Тому бажано використовувати обладнання, яке має доступну сервісну підтримку, поширені запасні частини та достатню кількість технічної документації. Це дозволяє скоротити час простою обладнання та зменшити експлуатаційні витрати.

При виборі технічних засобів автоматизації також необхідно враховувати вимоги електробезпеки. Теплиця належить до об'єктів із підвищеною небезпекою через наявність вологи та великої кількості металевих конструкцій. Усі елементи системи повинні відповідати вимогам нормативних документів щодо електробезпеки та мати необхідні засоби захисту від коротких замикань, перевантажень і ураження електричним струмом.

Сучасні тенденції розвитку автоматизації передбачають використання засобів дистанційного моніторингу та керування. Тому обладнання повинно підтримувати можливість інтеграції з диспетчерськими системами, локальними мережами або хмарними сервісами. Це дозволяє оператору отримувати інформацію про стан теплиці в режимі реального часу, контролювати роботу обладнання та своєчасно реагувати на виникнення аварійних ситуацій.

Таким чином, вибір технічних засобів автоматизації теплиці повинен здійснюватися з урахуванням комплексу вимог, серед яких основними є надійність, точність, швидкодія, стійкість до впливу навколишнього середовища, сумісність, енергоефективність та можливість подальшої модернізації. Виконання зазначених вимог є необхідною умовою створення ефективної системи керування мікрокліматом, здатної забезпечити стабільні умови вирощування рослин та високу ефективність роботи тепличного господарства.

2.2 Аналіз засобів контролю температури в системах автоматизації теплиць

Температура є одним із найважливіших параметрів мікроклімату будь-якої теплиці. Саме вона значною мірою визначає швидкість фізіологічних процесів у рослинах, інтенсивність фотосинтезу, розвиток кореневої системи, засвоєння поживних речовин та формування врожаю. Для культури спаржі контроль температури має особливе значення, оскільки температура впливає не лише на надземну частину рослини, але й на багаторічну кореневу систему, від якої залежить продуктивність рослини протягом багатьох років.

У процесі автоматизації теплиць контроль температури здійснюється за допомогою спеціальних давачів, які безперервно вимірюють температуру середовища та передають інформацію до системи керування. Отримані дані використовуються для автоматичного керування опаленням, вентиляцією, системами охолодження та іншими виконавчими механізмами. Від правильності вибору температурних давачів значною мірою залежить точність підтримання заданого мікроклімату та ефективність роботи всієї системи автоматизації.

Сучасна промислова автоматизація використовує декілька основних типів температурних давачів, які відрізняються принципом роботи, точністю, швидкодією, вартістю та сферою застосування. До найбільш поширених належать терморезистори, термопари, напівпровідникові температурні давачі та промислові цифрові або аналогові вимірювальні перетворювачі.

Одними з найстаріших та найбільш поширених засобів вимірювання температури є терморезистори. Принцип їх роботи базується на зміні електричного опору провідника або напівпровідника залежно від температури навколишнього середовища. При підвищенні температури електричний опір змінюється за визначеним законом, що дозволяє визначати значення температури з достатньо високою точністю.

Серед терморезисторів особливого поширення набули платинові датчики типу Pt100 та Pt1000. Їх перевагами є висока точність, стабільність

характеристик упродовж тривалого часу та широкий діапазон вимірювання температури. Такі давачі активно використовуються у промисловій автоматизації, енергетиці, хімічній промисловості та системах керування технологічними процесами.

Для тепличних господарств платинові терморезистори є досить привабливим рішенням завдяки своїй точності та довговічності. Водночас їх використання потребує спеціалізованих вимірювальних модулів або перетворювачів сигналу, що збільшує складність та вартість системи. Крім того, при неправильному монтажі на результати вимірювань можуть впливати довжина кабельних ліній та електричні перешкоди.

Іншим поширеним типом температурних давачів є термопари. Принцип їх роботи базується на виникненні термоелектричної напруги у місці з'єднання двох різнорідних металів при зміні температури. Величина цієї напруги пропорційна температурі та може використовуватися для її визначення.

Основною перевагою термопар є широкий діапазон вимірювання температури. Деякі типи термопар здатні працювати при температурах понад 1000 °C, що робить їх незамінними у металургії, енергетиці та інших галузях промисловості. Також термопари характеризуються високою механічною міцністю та відносно простою конструкцією.

Проте для тепличних систем автоматизації переваги термопар використовуються лише частково. Температурні режими теплиць знаходяться у значно нижчих межах, а точність термопар зазвичай поступається платиновим терморезисторам та сучасним цифровим датчикам. Крім того, для роботи термопар необхідні спеціальні вимірювальні підсилювачі та компенсація температури холодного спаю. Через це їх застосування у тепличних комплексах є відносно обмеженим.

З розвитком електроніки широкого поширення набули напівпровідникові температурні давачі. Їх робота ґрунтується на зміні параметрів напівпровідникових елементів залежно від температури. Такі

датчики можуть формувати як аналоговий, так і цифровий сигнал, що значно спрощує їх інтеграцію до систем автоматизації.

Перевагою напівпровідникових давачів є компактність, низька вартість, достатня точність та простота підключення. Вони широко використовуються у побутовій автоматиці, системах клімат-контролю та різноманітних електронних пристроях. Для невеликих теплиць такі датчики можуть бути економічно вигідним рішенням.

Разом з тим слід враховувати, що побутові напівпровідникові датчики не завжди забезпечують необхідну надійність у складних умовах тепличного господарства. Підвищена вологість, конденсат та електромагнітні перешкоди можуть негативно впливати на їх роботу. Тому для професійних систем автоматизації перевага зазвичай надається промисловим виконанням таких пристроїв.

Окрему групу становлять сучасні цифрові температурні давачі. Такі пристрої мають вбудовану електроніку для обробки сигналу та передають до контролера вже готове цифрове значення температури. Це дозволяє зменшити вплив завад та підвищити точність вимірювань.

Цифрові давачі характеризуються простотою інтеграції, можливістю роботи на значній відстані від контролера та високою точністю вимірювання. Крім того, вони дозволяють реалізувати функції самодіагностики та контролю працездатності. Саме тому цифрові температурні давачі широко використовуються у сучасних автоматизованих системах.

Для промислових тепличних комплексів особливий інтерес становлять температурні давачі з уніфікованими аналоговими виходами. Найбільш поширеним є стандарт струмового сигналу 4–20 мА. Такий спосіб передачі інформації має ряд переваг, серед яких висока завадостійкість, можливість передачі сигналу на значні відстані та простота інтеграції до промислових контролерів.

Системи з виходом 4–20 мА широко застосовуються на промислових підприємствах, електростанціях, насосних станціях та інших відповідальних

об'єктах. Для тепличних комплексів вони також є привабливими завдяки високій надійності та стійкості до впливу навколишнього середовища.

Окремої уваги заслуговує питання розташування температурних давачів у теплиці. Навіть найточніший датчик не забезпечить достовірної інформації при неправильному монтажі. У теплиці температура може суттєво відрізнятися у різних точках приміщення через вплив сонячного випромінювання, роботу вентиляційних систем, розташування опалювального обладнання та особливості циркуляції повітря.

Через це у сучасних системах автоматизації часто застосовується декілька температурних давачів, розташованих у різних зонах теплиці. Такий підхід дозволяє отримувати більш об'єктивну інформацію про стан мікроклімату та підвищує ефективність роботи системи керування.

Для теплиць, призначених для вирощування багаторічної спаржі, додатково виникає необхідність контролю температури ґрунту. Саме температура прикореневої зони значною мірою визначає швидкість пробудження рослини після зимового періоду та інтенсивність розвитку кореневої системи. У таких випадках використовуються спеціальні ґрунтові температурні давачі, які мають герметичне виконання та стійкі до тривалого контакту з вологою землею.

При виборі температурних давачів необхідно враховувати не лише технічні характеристики, але й економічну доцільність. Надмірно дорогі вимірювальні системи можуть бути невиправданими для невеликих тепличних господарств. Водночас використання надто дешевих датчиків може призвести до втрати точності та зниження надійності системи автоматизації.

Аналіз існуючих засобів контролю температури показує, що кожен тип давачів має власні переваги та недоліки. Термопари відзначаються широким діапазоном вимірювання, терморезистори забезпечують високу точність, напівпровідникові датчики характеризуються простотою використання, а

промислові цифрові та аналогові перетворювачі поєднують точність, надійність та зручність інтеграції до автоматизованих систем керування.

Таким чином, для систем автоматизації теплиць найбільш перспективними є сучасні промислові температурні давачі, які забезпечують достатню точність вимірювання, стійкість до впливу зовнішнього середовища та сумісність із сучасними контролерами. Остаточний вибір конкретного типу та моделі температурних давачів буде виконано у третьому розділі під час розроблення автоматизованої системи керування мікрокліматом теплиці для вирощування спаржі, де будуть враховані особливості технологічного процесу та вимоги до роботи обладнання.

2.3 Аналіз засобів контролю вологості повітря в системах автоматизації теплиць

Одним із найважливіших параметрів мікроклімату теплиці поряд із температурою є вологість повітря. Саме вона суттєво впливає на процеси випаровування вологи рослинами, інтенсивність фотосинтезу, розвиток кореневої системи та загальний фізіологічний стан культур. Для тепличного господарства контроль вологості повітря має особливе значення, оскільки в умовах закритого ґрунту природний повітрообмін обмежений, а кількість вологи у повітрі постійно змінюється під впливом поливу, транспірації рослин та погодних умов.

Для багаторічної спаржі підтримання оптимальної вологості повітря є важливою умовою стабільного розвитку рослин. Надлишкова вологість створює сприятливе середовище для розвитку грибкових та бактеріальних захворювань, а також сприяє утворенню конденсату на внутрішніх поверхнях теплиці. У свою чергу занадто сухе повітря може призводити до посиленого випаровування вологи рослинами та виникнення стресових умов росту. Саме тому система автоматизації повинна забезпечувати постійний контроль цього параметра та своєчасне реагування на його зміни.

На відміну від температури, яка відносно легко піддається вимірюванню, визначення вологості повітря є більш складним процесом. Для цього використовуються спеціальні давачі, принцип роботи яких базується на зміні певних фізичних характеристик чутливого елемента під впливом вологи. У сучасних системах автоматизації найбільшого поширення набули резистивні, ємнісні, психрометричні та комбіновані датчики вологості.

Одними з перших засобів контролю вологості стали резистивні датчики. Їх робота базується на зміні електричного опору спеціального чутливого матеріалу залежно від кількості вологи у навколишньому середовищі. При збільшенні відносної вологості змінюється провідність матеріалу, що дозволяє визначати значення контрольованого параметра.

Основною перевагою резистивних датчиків є відносна простота конструкції та невисока вартість. Вони широко використовувалися у різноманітних побутових системах контролю клімату та простих автоматизованих установках. Проте такі датчики мають і ряд суттєвих недоліків. Їх характеристики можуть змінюватися з часом під впливом забруднення, пилу та конденсату. Крім того, вони часто потребують періодичного калібрування та мають обмежений термін служби.

Для тепличних умов резистивні датчики не завжди є оптимальним рішенням. Постійна підвищена вологість та наявність конденсату можуть призводити до поступового погіршення їх характеристик. Саме тому в сучасних системах автоматизації їх застосування поступово скорочується.

Значно ширше поширення отримали ємнісні датчики вологості. Принцип їх роботи базується на зміні електричної ємності спеціального діелектричного матеріалу залежно від кількості поглинутої вологи. Така конструкція дозволяє отримувати стабільні та достатньо точні результати вимірювання у широкому діапазоні значень відносної вологості.

Головною перевагою ємнісних датчиків є висока довговічність та стійкість до впливу зовнішніх факторів. Вони мають хорошу точність, невеликий час реакції та відносно просту інтеграцію до систем автоматизації.

Крім того, такі датчики добре працюють у середовищах із підвищеною вологістю, що робить їх особливо привабливими для використання у тепличних господарствах.

Сучасні ємнісні датчики здатні забезпечувати високу стабільність показань протягом тривалого часу без необхідності частого обслуговування. Саме тому вони сьогодні є одним із найпоширеніших рішень для автоматизованих систем керування мікрокліматом.

Окрему групу становлять психрометричні засоби вимірювання вологості. Їх принцип роботи базується на порівнянні температури сухого та зволоженого термометрів. Різниця між цими значеннями дозволяє визначити відносну вологість повітря за спеціальними таблицями або математичними залежностями.

Психрометри тривалий час використовувалися у метеорології та лабораторних дослідженнях завдяки своїй високій точності. Водночас для сучасних автоматизованих теплиць їх використання є обмеженим через складність конструкції, необхідність постійного обслуговування та неможливість безпосередньої інтеграції до автоматизованих систем керування без додаткових перетворювачів.

Незважаючи на це, психрометричний метод і сьогодні використовується як еталонний під час перевірки та калібрування інших типів датчиків вологості.

У сучасних автоматизованих системах широкого застосування набули комбіновані датчики температури та вологості. Такі пристрої поєднують в одному корпусі два чутливих елементи та дозволяють одночасно вимірювати температуру і відносну вологість повітря. Це спрощує монтаж, зменшує кількість обладнання та підвищує зручність експлуатації системи.

Використання комбінованих датчиків особливо доцільне у теплицях, оскільки температура та вологість є взаємопов'язаними параметрами. Зміна температури безпосередньо впливає на здатність повітря утримувати вологу,

тому для правильного аналізу стану мікроклімату доцільно контролювати обидва параметри одночасно.

Особливу увагу при виборі датчиків вологості необхідно приділяти їх захищеності від впливу зовнішнього середовища. У теплицях часто присутній конденсат, пил, залишки добрив та різноманітні аерозолі. Ці фактори можуть поступово накопичуватися на поверхні чутливого елемента та спотворювати результати вимірювань.

Для запобігання таким явищам сучасні датчики оснащуються спеціальними захисними фільтрами, мембранами або вентиляційними ковпачками. Вони забезпечують доступ повітря до чутливого елемента, одночасно захищаючи його від механічних пошкоджень та забруднень.

Не менш важливим є правильне розташування датчиків вологості всередині теплиці. При встановленні поблизу систем поливу або вентиляційних отворів показання можуть не відображати реальний стан мікроклімату. Аналогічна проблема виникає при розміщенні датчиків під прямими сонячними променями або біля опалювального обладнання.

У практиці автоматизації рекомендується встановлювати датчики у характерних зонах теплиці на висоті, близькій до рівня рослин. У великих тепличних комплексах доцільно використовувати декілька датчиків, розташованих у різних частинах споруди. Це дозволяє враховувати нерівномірність розподілу вологості та отримувати більш достовірну інформацію про стан повітряного середовища.

Важливим показником є також швидкодія датчиків вологості. У теплицях параметри повітря можуть змінюватися досить швидко після проведення поливу, відкриття вентиляційних кватирок або зміни погодних умов. Якщо датчик повільно реагує на зміни, система керування буде отримувати застарілі дані, що негативно вплине на якість регулювання мікроклімату.

Значну роль відіграє сумісність датчиків із системою автоматизації. У сучасних тепличних комплексах використовуються як аналогові сигнали, так

і цифрові інтерфейси передачі даних. Вибір конкретного типу залежить від архітектури системи керування, відстаней передачі сигналів та вимог до точності вимірювання.

Для промислових систем автоматизації особливо популярними є датчики з виходом 4–20 мА та цифровими інтерфейсами зв'язку. Такі рішення забезпечують високу завадостійкість та дозволяють інтегрувати обладнання у складні багаторівневі системи керування.

Важливо також враховувати економічну складову вибору засобів контролю вологості. Надмірне спрощення системи шляхом використання дешевих побутових датчиків може призвести до зниження точності вимірювань та погіршення надійності роботи всієї системи автоматизації. Водночас використання надто дорогого обладнання не завжди є виправданим для невеликих тепличних господарств. Тому при виборі необхідно враховувати співвідношення вартості, точності та довговічності обладнання.

Проведений аналіз показує, що серед існуючих засобів контролю вологості найбільш придатними для використання у сучасних теплицях є ємнісні та комбіновані датчики вологості повітря. Вони забезпечують необхідну точність вимірювань, мають високу надійність, стійкі до впливу вологи та добре інтегруються до автоматизованих систем керування.

Таким чином, контроль вологості повітря є невід'ємною складовою автоматизації тепличного господарства. Для ефективного функціонування системи необхідно використовувати надійні та точні засоби вимірювання, здатні працювати в умовах підвищеної вологості та забезпечувати стабільний контроль параметрів мікроклімату. Остаточний вибір конкретних датчиків вологості буде виконано у третьому розділі під час розроблення автоматизованої системи керування мікрокліматом теплиці для вирощування спаржі.

2.4 Аналіз засобів контролю вологості ґрунту в системах автоматизації теплиць

Одним із найважливіших параметрів, який визначає ефективність вирощування рослин у тепличних умовах, є вологість ґрунту. На відміну від температури або вологості повітря, цей параметр безпосередньо впливає на стан кореневої системи, доступність поживних речовин, інтенсивність росту рослин та їх здатність протистояти несприятливим умовам. Для багаторічної спаржі контроль вологості ґрунту має особливе значення, оскільки продуктивність рослини протягом багатьох років значною мірою залежить від стану її кореневища та прикореневої зони.

У процесі вирощування спаржі недостатня кількість вологи призводить до уповільнення росту пагонів, погіршення засвоєння поживних речовин та зниження врожайності. Водночас надлишкове зволоження може бути ще більш небезпечним, оскільки створює умови для розвитку кореневих гнилей, грибкових захворювань та поступового руйнування кореневої системи. Через це підтримання оптимального рівня вологості ґрунту є одним із ключових завдань системи автоматизації теплиці.

Традиційний контроль вологості ґрунту за допомогою візуального огляду або ручних вимірювань не забезпечує необхідної точності та оперативності. Такий підхід значною мірою залежить від досвіду персоналу та не дозволяє своєчасно реагувати на зміни стану ґрунту. Саме тому у сучасних системах автоматизації широко використовуються спеціалізовані датчики вологості ґрунту, які забезпечують безперервний контроль цього параметра та дозволяють автоматично керувати системою поливу.

На сьогоднішній день існує декілька основних типів засобів вимірювання вологості ґрунту. Вони відрізняються принципом роботи, точністю, надійністю, вартістю та сферою застосування. Найбільш поширеними є резистивні, ємнісні, TDR та FDR датчики.

Одними з найпростіших є резистивні датчики вологості ґрунту. Їх принцип роботи базується на вимірюванні електричного опору між двома

металевими електродами, розміщеними у ґрунті. Оскільки волога підвищує електропровідність ґрунту, зміна опору дозволяє оцінити рівень зволоження.

Головною перевагою резистивних датчиків є простота конструкції та низька вартість. Саме тому вони широко використовуються у навчальних проєктах, аматорських системах автоматизації та невеликих експериментальних установках. Їх монтаж не потребує складного обладнання, а результати вимірювань можуть легко оброблятися мікроконтролерами або іншими засобами автоматизації.

Разом із тим резистивні датчики мають ряд суттєвих недоліків. Найбільшою проблемою є поступова корозія електродів, які постійно перебувають у вологому середовищі. З часом це призводить до зміни характеристик датчика та зниження точності вимірювань. Крім того, результати вимірювання можуть залежати від складу ґрунту, вмісту солей та добрив, що також впливає на достовірність отриманих даних.

Для теплиць, де планується тривала експлуатація системи автоматизації, резистивні датчики не завжди є оптимальним рішенням. Особливо це стосується багаторічних культур, де обладнання повинно забезпечувати стабільну роботу протягом багатьох сезонів без необхідності частого обслуговування або заміни.

Значно більшого поширення у сучасних системах автоматизації набули ємнісні датчики вологості ґрунту. Їх робота базується на зміні електричної ємності чутливого елемента залежно від кількості вологи у навколишньому середовищі. Оскільки вода має високу діелектричну проникність, збільшення її вмісту в ґрунті призводить до зміни електричних параметрів датчика.
Основною перевагою ємнісних датчиків є відсутність прямого контакту металевих елементів із ґрунтом. Завдяки цьому вони практично не піддаються корозії та мають значно більший термін служби порівняно з резистивними аналогами. Крім того, такі датчики забезпечують стабільніші результати вимірювань та краще підходять для використання у системах тривалої автоматизації.

Для тепличних комплексів ємнісні датчики вважаються одним із найбільш універсальних рішень. Вони характеризуються відносно невисокою вартістю, достатньою точністю та простотою інтеграції до систем автоматичного керування поливом. Саме тому багато сучасних систем автоматизації використовують саме цей тип датчиків як основний засіб контролю вологості ґрунту.

Окрему категорію становлять TDR-датчики, принцип роботи яких базується на методі часової рефлектометрії. У таких пристроях вимірюється швидкість поширення електромагнітного імпульсу вздовж спеціального зонда, розміщеного у ґрунті. Оскільки швидкість поширення сигналу залежить від вмісту вологи, система може досить точно визначати рівень зволоження.

TDR-датчики забезпечують дуже високу точність вимірювань та практично не залежать від складу ґрунту або концентрації розчинених солей. Саме тому вони широко використовуються у наукових дослідженнях, професійних агротехнологіях та високотехнологічних тепличних комплексах. Разом із тим TDR-системи характеризуються складнішою конструкцією та значно вищою вартістю. Через це їх використання економічно виправдане переважно у великих промислових господарствах або на об'єктах, де потрібна максимально висока точність контролю.

Ще одним сучасним рішенням є FDR-датчики, робота яких базується на вимірюванні частотних характеристик електромагнітного поля у ґрунті. Як і TDR-системи, вони забезпечують високу точність та надійність вимірювань. Такі датчики активно використовуються у системах точного землеробства та сучасних автоматизованих комплексах.

Перевагою FDR-датчиків є можливість отримання великої кількості інформації про стан ґрунту при відносно компактних розмірах обладнання. Водночас їх вартість також є досить високою, що обмежує використання у невеликих тепличних господарствах.

Важливою характеристикою будь-якого датчика вологості ґрунту є стабільність роботи упродовж тривалого часу. Для багаторічної спаржі ця вимога має особливе значення. Коренева система культури функціонує багато років, тому система автоматизації повинна забезпечувати однаково надійний контроль вологості протягом тривалого періоду експлуатації. Через це перевага зазвичай надається датчикам, які не потребують частого калібрування та здатні працювати у складних умовах без погіршення характеристик.

Не менш важливим є правильне розташування датчиків у ґрунті. Вологість може суттєво відрізнятися на різних глибинах та в різних частинах теплиці. Це залежить від особливостей поливу, складу ґрунту, випаровування вологи та розташування рослин. Через це у сучасних тепличних комплексах часто використовується декілька датчиків, розміщених у різних зонах.

Такий підхід дозволяє отримувати більш повну інформацію про стан прикореневої зони та забезпечує ефективніше керування системою поливу. Особливо актуальним це є для великих теплиць, де нерівномірність розподілу вологи може бути досить значною.

Для промислових теплиць особливо популярними є датчики з виходами 4–20 мА або цифровими інтерфейсами зв'язку. Такі рішення забезпечують високу завадостійкість та дозволяють передавати інформацію на значні відстані без втрати точності.

Важливою складовою аналізу є економічна доцільність використання того чи іншого типу датчиків. Хоча високоточні TDR та FDR системи забезпечують найкращі результати, їх застосування не завжди є виправданим з економічної точки зору. Для багатьох тепличних господарств більш раціональним рішенням можуть бути якісні ємнісні або промислові датчики середнього цінового сегмента.

Проведений аналіз показує, що для автоматизації теплиць можуть використовуватися різні типи засобів контролю вологості ґрунту, кожен із яких має власні переваги та недоліки. Резистивні датчики характеризуються

простотою та низькою вартістю, ємнісні забезпечують добрий баланс між точністю та надійністю, а TDR і FDR системи дозволяють отримувати високоточні результати вимірювань.

2.5 Висновки до розділу 2

У другому розділі дипломної роботи було проведено аналіз основних технічних засобів автоматизації, які можуть бути використані для побудови системи керування мікрокліматом теплиці. Розглянуто вимоги до елементної бази, принципи роботи вимірювальних пристроїв, виконавчих механізмів та засобів керування, а також визначено їх переваги, недоліки та особливості застосування в умовах тепличного господарства.

У результаті аналізу встановлено, що технічні засоби автоматизації теплиць повинні відповідати підвищеним вимогам щодо надійності, точності вимірювань, стійкості до впливу підвищеної вологості та перепадів температур, а також забезпечувати можливість тривалої безперервної роботи. Враховуючи специфіку тепличного середовища, особливе значення мають захист обладнання від вологи, електромагнітна сумісність та можливість інтеграції окремих елементів у єдину систему керування.

Під час аналізу засобів контролю температури було встановлено, що для автоматизованих систем можуть використовуватися терморезистори, термопари, напівпровідникові та цифрові температурні давачі. Кожен із зазначених типів має власні переваги та недоліки, однак для сучасних систем автоматизації найбільш перспективними є промислові цифрові та аналогові температурні перетворювачі, які забезпечують високу точність вимірювань, надійність та зручність інтеграції з контролерами.

Аналіз засобів контролю вологості повітря показав, що найбільш поширеними є резистивні, ємнісні та комбіновані датчики. Встановлено, що для тепличних господарств найбільш доцільним є використання ємнісних та комбінованих датчиків температури і вологості, які характеризуються

високою точністю, довговічністю та стійкістю до несприятливих умов експлуатації.

Під час дослідження засобів контролю вологості ґрунту було розглянуто резистивні, ємнісні, TDR та FDR датчики. Встановлено, що для систем автоматизації теплиць особливий інтерес становлять ємнісні та промислові датчики вологості ґрунту, які забезпечують необхідний рівень точності при прийнятних економічних витратах. Також встановлено, що для багаторічних культур контроль вологості ґрунту є одним із найважливіших елементів автоматизованого керування технологічним процесом.

Проведений аналіз засобів контролю освітленості показав, що сучасні системи автоматизації можуть використовувати фоторезистори, фотодіоди, фототранзистори та цифрові люксметричні датчики. Для професійних тепличних господарств найбільш доцільним є використання цифрових датчиків освітленості, які забезпечують високу точність вимірювань та можливість автоматичного керування системами штучного освітлення.

У ході аналізу виконавчих механізмів було встановлено, що основними пристроями впливу на параметри мікроклімату є вентиляційне обладнання, приводи кватирок, насоси, електромагнітні клапани, системи опалення та освітлення. Визначено, що саме ці пристрої забезпечують реалізацію алгоритмів керування та підтримання необхідних параметрів середовища у теплиці. Також встановлено, що до виконавчих механізмів висуваються підвищені вимоги щодо довговічності, енергоефективності та надійності роботи.

Під час аналізу контролерів для систем автоматизації було розглянуто мікроконтролерні платформи, програмовані реле, одноплатні комп'ютери та програмовані логічні контролери. Проведене дослідження показало, що для побудови надійних систем автоматизації теплиць найбільш перспективними є програмовані логічні контролери, які забезпечують високу стабільність роботи, підтримують промислові протоколи зв'язку та дозволяють реалізовувати складні алгоритми керування технологічними процесами.

Узагальнюючи результати виконаного аналізу, можна зробити висновок, що сучасний ринок технічних засобів автоматизації пропонує широкий спектр обладнання для побудови систем керування мікрокліматом теплиць. Вибір конкретних технічних рішень повинен здійснюватися з урахуванням особливостей технологічного процесу, вимог до точності та надійності системи, а також економічної доцільності їх використання.

Отримані у другому розділі результати створюють необхідну технічну основу для подальшого проєктування автоматизованої системи керування мікрокліматом теплиці. На основі проведеного аналізу в наступному розділі буде виконано розроблення рекомендаційної системи автоматизації для вирощування багаторічної спаржі, здійснено вибір конкретних технічних засобів, сформовано структуру системи керування та розроблено алгоритми її функціонування з урахуванням біологічних особливостей культури та вимог до технології вирощування.

РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Характеристика об'єкта автоматизації

Об'єктом автоматизації в даній дипломній роботі є теплиця, призначена для вирощування багаторічної спаржі в умовах закритого ґрунту. На відміну від традиційних тепличних господарств, орієнтованих на вирощування однорічних овочевих культур, таких як томати, огірки або перець, технологія вирощування спаржі має ряд особливостей, які суттєво впливають на вимоги до системи автоматизації мікроклімату. Головною відмінністю є багаторічний характер культури, внаслідок чого система керування повинна забезпечувати не лише отримання високого врожаю у поточному сезоні, але й створення умов для збереження продуктивності рослин протягом багатьох років експлуатації теплиці.

Для розроблення системи автоматизації приймається арочна теплиця промислового типу загальною площею 500 м². Подібні теплиці широко використовуються у сучасному тепличному господарстві завдяки відносній простоті конструкції, хорошим аеродинамічним характеристикам та ефективному використанню внутрішнього простору. Несучий каркас теплиці виготовляється із сталевих оцинкованих конструкцій, що забезпечують необхідну механічну міцність та стійкість до корозії. Як світлопрозоре покриття використовується стільниковий полікарбонат, який характеризується високою світлопроникністю, добрими теплоізоляційними властивостями та тривалим терміном експлуатації.

Вибір саме такої конструкції обумовлений необхідністю забезпечення стабільних умов вирощування культури упродовж усього року. Спаржа належить до культур, які чутливо реагують на різкі зміни температури та

вологості, тому конструкція теплиці повинна мінімізувати вплив зовнішніх погодних факторів на внутрішній мікроклімат. Крім того, використання полікарбонатного покриття дозволяє зменшити тепловтрати у холодний період року та скоротити витрати на обігрів.

Вирощування спаржі у тепличних умовах має ряд переваг порівняно з відкритим ґрунтом. Насамперед це можливість контролювати основні параметри навколишнього середовища та створювати оптимальні умови для розвитку рослин незалежно від погодних умов. Завдяки цьому можна отримувати більш ранню продукцію, підвищувати врожайність та забезпечувати стабільну якість пагонів. Крім того, тепличне вирощування дозволяє захистити рослини від несприятливих кліматичних факторів, сильних опадів, заморозків та різких перепадів температури.

Особливістю спаржі як культури є наявність потужної багаторічної кореневої системи, яка зберігає свою життєздатність протягом багатьох років. Саме кореневище є основним накопичувачем поживних речовин та джерелом формування нових пагонів. Від стану кореневої системи безпосередньо залежить продуктивність рослин, тому система автоматизації повинна приділяти особливу увагу контролю умов у прикореневій зоні.

На відміну від більшості однорічних культур, спаржа не потребує частого пересаджування або повної заміни насаджень після завершення сезону. Після закладання плантації рослини можуть експлуатуватися протягом тривалого часу. З одного боку, це дозволяє знизити витрати на посадковий матеріал та підготовку ґрунту, а з іншого — висуває підвищені вимоги до підтримання стабільних умов вирощування.

Технологічний процес вирощування спаржі включає декілька основних етапів. На початку сезону відбувається активізація ростових процесів та формування молодих пагонів. Саме цей період є найбільш відповідальним з точки зору контролю температури та вологості. Після завершення збору врожаю рослини переходять до фази формування надземної вегетативної

маси, під час якої відбувається накопичення поживних речовин у кореневій системі. Цей етап також має важливе значення для майбутньої врожайності.

Для забезпечення необхідного водного режиму у теплиці передбачається використання системи крапельного поливу. Такий спосіб зрошення дозволяє подавати воду безпосередньо до прикореневої зони рослин та мінімізувати втрати вологи внаслідок випаровування. Крім того, крапельний полив дозволяє уникнути надмірного зволоження поверхні ґрунту та зменшує ризик розвитку грибкових захворювань.

Вибір крапельного поливу, Рисунок 3.1, для спаржі є особливо важливим через високу чутливість культури до перезволоження. Надлишок води у прикореневій зоні може призводити до погіршення аерації ґрунту, розвитку кореневих гнилей та зниження продуктивності рослин. Саме тому система автоматизації повинна забезпечувати точний контроль вологості ґрунту та подавати воду лише у необхідній кількості.



Рис 3.1 Крапельний полив

Для підтримання необхідної температури та вологості повітря у теплиці передбачається використання комбінованої системи вентиляції. Вона

включає природну вентиляцію через автоматизовані кватирки та примусову вентиляцію за допомогою електричних вентиляторів. Такий підхід дозволяє забезпечити ефективний повітрообмін у різних режимах роботи та підтримувати стабільні параметри мікроклімату.

Особливого значення вентиляція набуває у весняний та літній періоди, коли інтенсивне сонячне випромінювання може викликати швидке підвищення температури всередині теплиці. За відсутності належного повітрообміну температура може перевищувати допустимі значення, що негативно впливає на розвиток рослин та якість продукції. Автоматизована система вентиляції дозволяє своєчасно реагувати на такі зміни та підтримувати комфортні умови для росту спаржі.

У холодний період року важливу роль відіграє система обігріву теплиці, Рисунок 3.2. Для забезпечення необхідного температурного режиму передбачається використання водяної системи опалення. Подібне рішення широко застосовується у промислових теплицях завдяки високій енергоефективності та можливості рівномірного розподілу тепла по всьому об'єму приміщення.

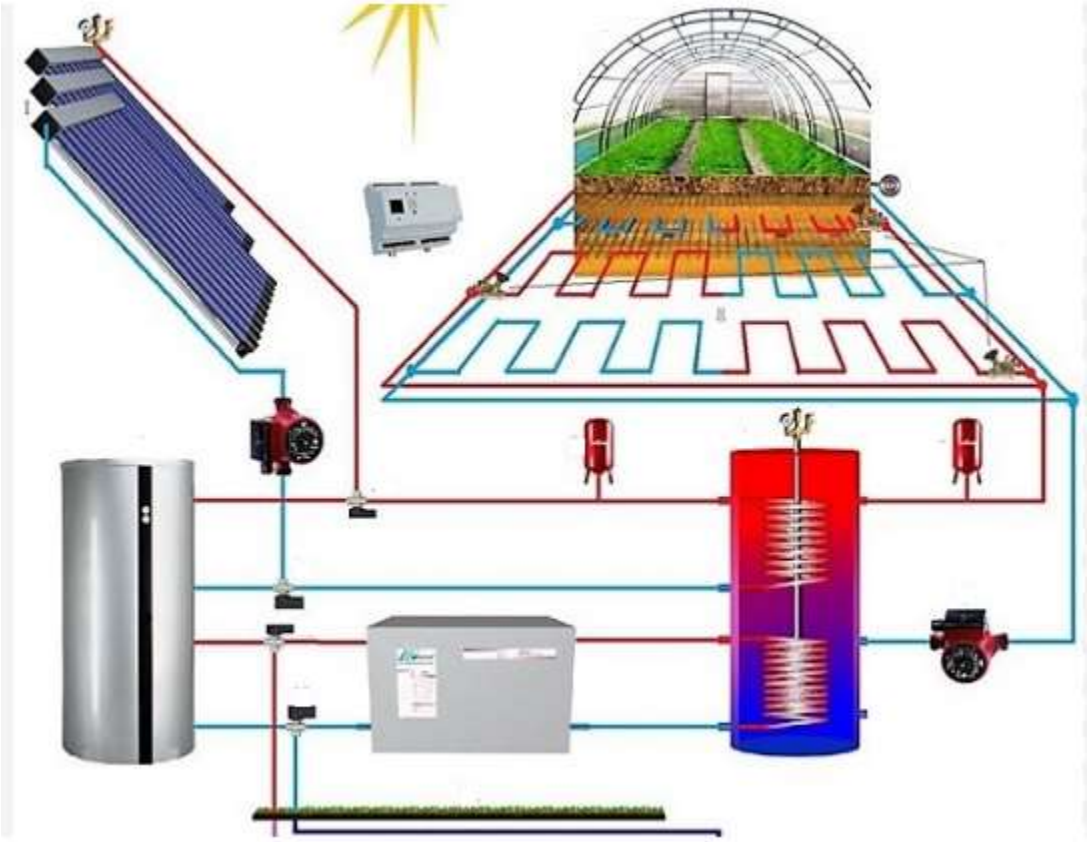


Рис 3.2 Система обігріву теплиці

Крім підтримання температури повітря, система обігріву повинна забезпечувати захист кореневої системи від переохолодження. Для багаторічної спаржі цей фактор має особливе значення, оскільки стан кореневища визначає продуктивність рослин у наступних сезонах. Саме тому контроль температури ґрунту розглядається як один із пріоритетних напрямків автоматизації теплиці.

Для забезпечення ефективного функціонування всіх технологічних підсистем необхідно створити єдину автоматизовану систему керування. Її основним завданням буде безперервний контроль параметрів мікроклімату та автоматичне регулювання роботи обладнання відповідно до поточних умов. Система повинна забезпечувати збір інформації від давачів, аналіз отриманих даних та формування керуючих впливів на виконавчі механізми.

Особливістю проєктованої системи є орієнтація на мінімізацію впливу людського фактора. Більшість технологічних операцій повинна виконуватися

автоматично без постійного втручання оператора. Людина при цьому виконує функції контролю, налаштування та технічного обслуговування обладнання.

Крім нормальних режимів роботи система повинна забезпечувати контроль аварійних ситуацій. До таких ситуацій належать перегрів теплиці, переохолодження ґрунту, вихід вологості за допустимі межі, несправності обладнання та відключення електроживлення. У разі виникнення аварії система повинна вживати заходів щодо мінімізації можливих наслідків та інформувати оператора про проблему.

Таким чином, об'єкт автоматизації являє собою сучасну промислову теплицю для вирощування багаторічної спаржі, оснащену системами поливу, вентиляції та обігріву. Особливості біології культури визначають підвищені вимоги до стабільності мікроклімату та необхідність постійного контролю стану прикореневої зони. Саме ці особливості будуть враховані під час подальшого розроблення автоматизованої системи керування та вибору конкретних технічних засобів автоматизації.

3.2 Вибір та обґрунтування контрольованих параметрів системи автоматизації

Після визначення характеристик об'єкта автоматизації та аналізу біологічних особливостей вирощування спаржі необхідно встановити перелік параметрів, які повинні контролюватися автоматизованою системою керування. Правильний вибір контрольованих параметрів є одним із найважливіших етапів проєктування, оскільки саме на їх основі формується структура системи автоматизації, визначається склад вимірювального обладнання та розробляються алгоритми керування технологічними процесами.

На відміну від багатьох промислових об'єктів, де контролюється лише декілька технологічних величин, у тепличному господарстві всі параметри мікроклімату тісно пов'язані між собою. Зміна одного показника неминуче

впливає на інші характеристики середовища. Наприклад, підвищення температури повітря призводить до зміни його вологості, збільшення інтенсивності випаровування води та прискорення фізіологічних процесів у рослинах. Саме тому система автоматизації повинна розглядати мікроклімат як єдиний комплекс взаємопов'язаних параметрів.

Для вирощування багаторічної спаржі найбільш важливими параметрами є температура повітря, температура ґрунту, вологість ґрунту, вологість повітря та параметри вентиляції. Саме ці показники безпосередньо впливають на розвиток кореневої системи, швидкість формування пагонів, накопичення поживних речовин та загальну врожайність культури.

Першим і одним із найважливіших параметрів є температура повітря всередині теплиці. Вона безпосередньо впливає на інтенсивність біологічних процесів, швидкість росту рослин та загальний стан культури. Для спаржі особливе значення має весняний період, коли після завершення зимового спокою починається активне формування молодих пагонів. У цей час температура визначає швидкість пробудження рослин та темпи розвитку врожаю.

При недостатній температурі повітря процеси росту суттєво сповільнюються. Рослина витрачає більше енергії на підтримання життєдіяльності та менше ресурсів спрямовує на формування пагонів. Внаслідок цього зменшується продуктивність культури та збільшується тривалість вегетаційного періоду.

Не менш небезпечним є перегрів повітря. У теплицях температура може швидко підвищуватися під дією сонячного випромінювання, особливо у весняно-літній період. Надмірно висока температура викликає посилене випаровування вологи, погіршує водний баланс рослин та може призводити до пригнічення росту. Саме тому контроль температури повітря є одним із головних завдань системи автоматизації.

Для забезпечення необхідної точності регулювання доцільно використовувати декілька температурних датчиків, розташованих у різних

частинах теплиці. Це дозволить враховувати нерівномірність температурного поля та забезпечити більш об'єктивну оцінку стану мікроклімату.

Особливістю даного проєкту є те, що поряд із температурою повітря необхідно контролювати температуру ґрунту. Для більшості тепличних культур основна увага приділяється саме температурі навколишнього середовища, однак для багаторічної спаржі стан прикореневої зони має не менше значення.

Температура ґрунту визначає активність кореневої системи та швидкість пробудження бруньок відновлення. Саме від неї значною мірою залежить початок формування молодих пагонів навесні. Якщо температура ґрунту залишається недостатньою, рослина навіть за сприятливої температури повітря не може повноцінно перейти до активного росту.

Крім того, температура ґрунту впливає на інтенсивність поглинання води та поживних речовин. У холодному ґрунті коренева система працює менш ефективно, що негативно позначається на загальному стані рослин. Через це контроль температури прикореневої зони є обов'язковим елементом системи автоматизації теплиці для вирощування спаржі.

Особливе значення цей параметр має у зимовий період. Кореневище багаторічної спаржі повинно бути захищене від критичного переохолодження, оскільки пошкодження кореневої системи може призвести до зниження врожайності протягом декількох наступних сезонів. Саме тому температура ґрунту розглядається як один із пріоритетних параметрів автоматичного контролю.

Наступним ключовим параметром є вологість ґрунту. Аналіз біологічних особливостей спаржі показав, що саме цей показник найбільше впливає на довговічність кореневої системи та ефективність вирощування культури.

На відміну від деяких овочевих рослин, які здатні переносити короткочасне перезволоження, спаржа дуже чутливо реагує на надлишок води в прикореневій зоні. Надмірне зволоження призводить до зниження

вмісту кисню у ґрунті, що погіршує умови функціонування кореневої системи. У таких умовах створюється сприятливе середовище для розвитку патогенних мікроорганізмів та виникнення кореневих гнилей.

Разом із тим недостатня кількість вологи також негативно впливає на рослини. При дефіциті води знижується інтенсивність росту пагонів, погіршується транспортування поживних речовин та зменшується врожайність. Через це система автоматизації повинна підтримувати вологість ґрунту у відносно вузькому діапазоні значень.

Для реалізації такого режиму необхідно застосовувати автоматичний контроль вологості ґрунту та систему керування крапельним поливом. Саме ця підсистема стане однією з найважливіших складових розроблюваної системи автоматизації.

Ще одним параметром, який підлягає контролю, є вологість повітря. Незважаючи на те, що спаржа не належить до культур із надзвичайно високими вимогами до цього показника, підтримання оптимального рівня вологості є важливою умовою створення сприятливого мікроклімату.

При надмірній вологості повітря підвищується ймовірність утворення конденсату на поверхнях теплиці. Краплі води можуть накопичуватися на конструкціях, покритті та рослинах, створюючи сприятливі умови для розвитку грибкових захворювань. Особливо небезпечними такі явища є у холодний період року, коли вентиляція обмежується з метою збереження тепла.

Низька вологість повітря також небажана, оскільки призводить до надмірного випаровування вологи через листкову поверхню рослин. Це може викликати водний стрес та погіршувати загальний стан культури.

Контроль вологості повітря дозволяє своєчасно коригувати роботу вентиляційної системи та підтримувати оптимальні умови вирощування. Саме тому даний параметр включається до складу контрольованих величин автоматизованої системи.

Важливою складовою керування мікрокліматом є контроль роботи вентиляції. Формально вентиляція не є фізичним параметром середовища, проте її функціонування безпосередньо впливає на температуру, вологість та повітрообмін у теплиці.

Для спаржі вентиляція виконує одразу декілька функцій. Вона забезпечує видалення надлишкового тепла у теплий період року, сприяє зниженню вологості повітря та запобігає утворенню конденсату. Крім того, вентиляція покращує циркуляцію повітря та створює сприятливі умови для розвитку рослин.

У проєктованій системі вентиляція, Рисунок 3.3, буде працювати в автоматичному режимі на основі показників температури та вологості повітря. Це дозволить забезпечити оптимальний баланс між збереженням тепла та підтриманням необхідного повітрообміну.

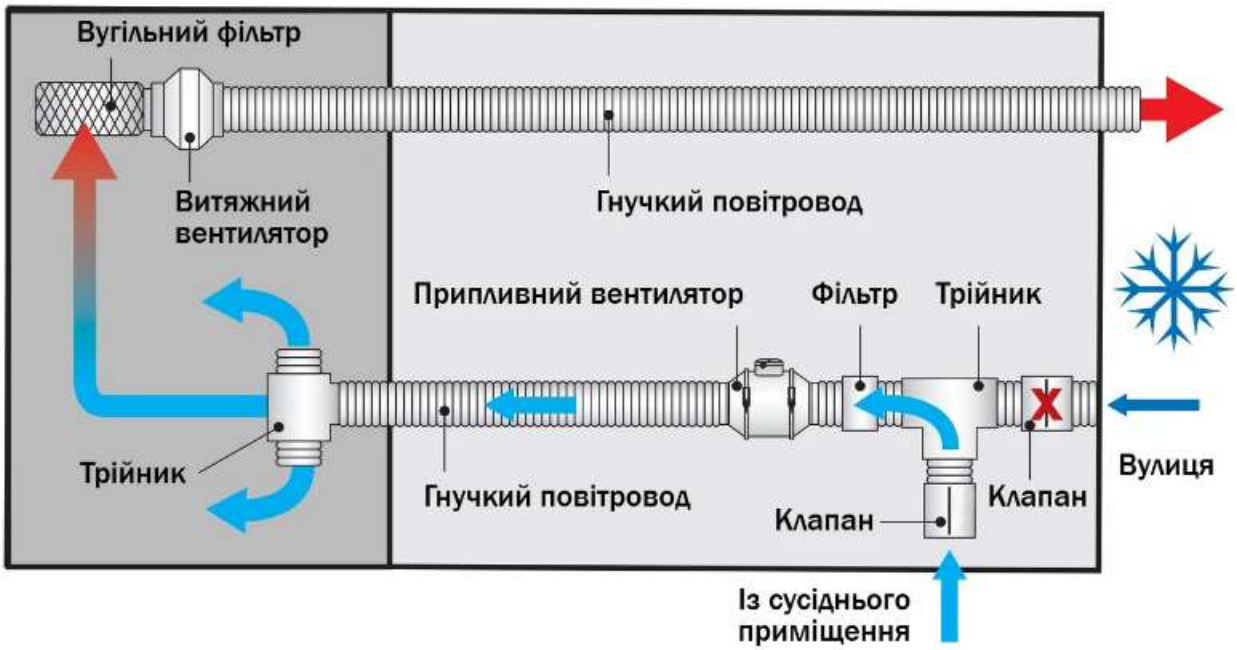


Рис 3.3 Вентиляція теплиці

Окрему категорію становлять параметри аварійного контролю. У процесі експлуатації теплиці можуть виникати різні позаштатні ситуації, які здатні негативно впливати на стан рослин та роботу обладнання. До таких ситуацій належать перегрів теплиці, переохолодження ґрунту, вихід

вологості за допустимі межі, несправності датчиків та відключення електроживлення.

Для багаторічної спаржі аварійні ситуації становлять особливу небезпеку, оскільки наслідки пошкодження кореневої системи можуть проявлятися протягом декількох наступних років. Саме тому система автоматизації повинна забезпечувати не лише контроль технологічних параметрів, але й своєчасне виявлення аварійних режимів.

У разі виникнення небезпечних відхилень система повинна автоматично формувати сигнали тривоги, переводити обладнання у безпечний режим роботи або повідомляти оператора про необхідність втручання. Такий підхід дозволяє підвищити надійність експлуатації теплиці та зменшити ризик пошкодження рослин.

Таким чином, для автоматизованої системи керування мікрокліматом теплиці, призначеної для вирощування багаторічної спаржі, до складу основних контрольованих параметрів включаються температура повітря, температура ґрунту, вологість ґрунту, вологість повітря та параметри вентиляції. Саме ці показники найбільшою мірою визначають умови розвитку рослин та впливають на ефективність технологічного процесу.

Додатково система повинна здійснювати контроль аварійних режимів роботи та забезпечувати своєчасне реагування на виникнення небезпечних ситуацій. Такий підхід дозволить створити стабільні умови вирощування спаржі, підвищити врожайність культури та забезпечити довготривале функціонування тепличного комплексу.

3.3 Вибір технічних засобів автоматизації теплиці

Після визначення переліку контрольованих параметрів необхідно виконати вибір конкретних технічних засобів автоматизації, які будуть використовуватися у складі системи керування мікрокліматом теплиці. Саме на цьому етапі відбувається перехід від загального аналізу обладнання,

виконаного у другому розділі, до формування реальної структури майбутньої автоматизованої системи.

Основною метою вибору обладнання є створення надійної, функціональної та економічно обґрунтованої системи, здатної забезпечувати стабільні умови вирощування багаторічної спаржі протягом тривалого часу. При цьому необхідно враховувати специфіку тепличного господарства, особливості біології культури та умови експлуатації обладнання.

На відміну від багатьох промислових об'єктів, де основну увагу приділяють лише надійності роботи обладнання, у тепличному господарстві важливими є також простота обслуговування, стійкість до підвищеної вологості та можливість тривалої роботи без постійного втручання персоналу. Саме ці фактори визначали критерії вибору технічних засобів для даного проєкту.

Основу всієї системи автоматизації становить програмований логічний контролер. Саме він забезпечує збір інформації від давачів, обробку сигналів та формування команд керування для виконавчих механізмів. Після аналізу різних варіантів обладнання для даної системи обрано програмований логічний контролер Siemens LOGO! 8, Рисунок 3.4



Рис 3.4 Контролер Siemens LOGO! 8

.

Вибір даного контролера обумовлений декількома факторами. По-перше, він спеціально призначений для автоматизації невеликих та середніх технологічних об'єктів. По-друге, контролер має достатню кількість входів та виходів для реалізації поставленого завдання без використання великої кількості додаткових модулів. По-третє, обладнання Siemens широко використовується у промисловості та має високу репутацію щодо надійності та довговічності.

Додатковою перевагою контролера є підтримка мережевих технологій та можливість організації віддаленого моніторингу. Це дозволяє оператору отримувати інформацію про стан теплиці та контролювати роботу обладнання без необхідності постійного перебування безпосередньо на об'єкті.

Для контролю температури повітря у теплиці доцільно використовувати промислові датчики температури типу Pt100 із відповідними вимірювальними перетворювачами. Платинові термометри опору характеризуються високою точністю, стабільністю показань та тривалим терміном служби. Вони широко використовуються у промисловій автоматизації та забезпечують необхідну точність вимірювання температури у всьому робочому діапазоні тепличного господарства.

Особливістю використання Pt100 є можливість отримання стабільних результатів навіть при значній довжині кабельних ліній. Для теплиці площею 500 м² це має важливе значення, оскільки давачі можуть розташовуватися на значній відстані від шафи керування.

Для контролю температури ґрунту також пропонується використовувати промислові датчики на основі платинових терморезисторів. Таке рішення дозволяє уніфікувати вимірювальну систему та спростити технічне обслуговування обладнання. Крім того, використання однакового принципу вимірювання забезпечує порівнянність результатів та спрощує інтеграцію до системи автоматизації.

Враховуючи багаторічний характер вирощування спаржі, датчики температури ґрунту повинні мати герметичне виконання та бути розрахованими на тривалу експлуатацію у вологому середовищі. Саме тому перевага надається промисловим виконанням із високим ступенем захисту від проникнення вологи.

Для контролю вологості повітря доцільно застосувати комбіновані промислові датчики температури та вологості. Одним із можливих варіантів є використання датчиків серії EE210 виробництва E+E Elektronik, Рисунок 3.5, або аналогічних пристроїв промислового класу.



Рис 3.5 Датчик температури та вологості EE210 виробництва E+E Elektronik

Вибір комбінованих датчиків дозволяє одночасно контролювати два взаємопов'язані параметри та зменшує кількість обладнання, що встановлюється у теплиці. Крім того, такі датчики мають високу точність, добру стабільність показань та здатні працювати в умовах підвищеної вологості.

Для контролю вологості ґрунту пропонується використання ємнісних промислових датчиків. У порівнянні з резистивними аналогами вони характеризуються значно вищою довговічністю та меншою залежністю

результатів вимірювання від складу ґрунту. Для багаторічної культури це має принципове значення, оскільки система повинна працювати протягом багатьох років без необхідності регулярної заміни вимірювального обладнання.

Ємнісні датчики дозволяють здійснювати безперервний контроль стану прикореневої зони та забезпечують достатню точність для автоматичного керування крапельним поливом. Саме на їх показниках базуватиметься алгоритм подачі води до рослин.

Для реалізації системи вентиляції передбачається використання двох типів виконавчих механізмів. Першу групу становлять електроприводи вентиляційних кватирок. Вони забезпечують автоматичне відкривання та закривання вентиляційних отворів залежно від поточного стану мікроклімату.

Використання електроприводів дозволяє реалізувати плавне регулювання вентиляції та уникнути різких змін температури всередині теплиці. Це особливо важливо для спаржі, яка негативно реагує на значні коливання параметрів навколишнього середовища.

Другу групу вентиляційного обладнання становлять осьові витяжні вентилятори. Вони забезпечують примусовий повітрообмін у випадках, коли природної вентиляції недостатньо для підтримання необхідного мікроклімату.

Для теплиці площею 500 м² доцільним є використання декількох вентиляторів середньої продуктивності, рівномірно розподілених по об'єму споруди. Такий підхід дозволяє забезпечити рівномірний розподіл повітряних потоків та уникнути локальних зон перегріву.

Система поливу базуватиметься на використанні крапельного зрошення. Основними елементами даної підсистеми є насосне обладнання, трубопроводи, крапельні лінії та електромагнітні клапани.

Для керування подачею води обираються електромагнітні клапани промислового виконання. Вони дозволяють автоматично відкривати або

перекривати потік води за сигналом від контролера та забезпечують високу швидкодію системи.

Використання клапанів дає можливість реалізувати зональне керування поливом та створює умови для подальшої модернізації системи. У разі необхідності теплиця може бути поділена на декілька незалежних зон зрошення з різними режимами роботи.

Для забезпечення циркуляції води використовується насосна установка, характеристики якої підбираються відповідно до площі теплиці та продуктивності системи поливу. Насос повинен забезпечувати стабільний тиск у крапельних лініях та безперебійну роботу системи протягом усього сезону.

Важливою складовою проєкту є система обігріву. Для даної теплиці приймається водяна система опалення як найбільш економічно доцільна та ефективна. У якості виконавчих механізмів використовуються циркуляційні насоси, Рисунок 3.6, та електроприводні регулюючі клапани, Рисунок 3.7.



Рис 3.6 Циркуляційні насос



Рис 3.7 Електроприводний регулюючий клапан

Таке рішення дозволяє автоматично змінювати інтенсивність подачі теплоносія залежно від температури повітря та ґрунту. Завдяки цьому підтримується стабільний температурний режим при мінімальних енергетичних витратах.

Для забезпечення взаємодії оператора із системою доцільно передбачити використання панелі керування або операторського інтерфейсу. За допомогою цього обладнання можна здійснювати налаштування режимів роботи, перегляд поточних параметрів та аналіз аварійних повідомлень.

Додатково передбачається можливість передачі інформації на персональний комп'ютер або мобільний пристрій. Це дозволяє реалізувати дистанційний моніторинг роботи теплиці та своєчасно реагувати на виникнення нестандартних ситуацій.

Важливим критерієм під час вибору всього обладнання була можливість його подальшої модернізації. У майбутньому система може бути доповнена новими датчиками, модулями зв'язку або функціями автоматичного аналізу параметрів мікроклімату. Використання промислових

стандартів та уніфікованих інтерфейсів забезпечує необхідний резерв для такого розвитку.

Таким чином, для автоматизації теплиці з вирощування багаторічної спаржі обрано комплекс технічних засобів, який включає програмований логічний контролер Siemens LOGO! 8, промислові датчики температури та вологості, ємнісні датчики вологості ґрунту, систему автоматичної вентиляції, крапельний полив із електромагнітними клапанами та водяну систему опалення. Запропонований комплекс обладнання забезпечує необхідну точність контролю параметрів мікроклімату, високу надійність роботи та створює основу для подальшої реалізації алгоритмів автоматичного керування процесом вирощування спаржі.

3.3 Вибір технічних засобів автоматизації теплиці

Після визначення переліку контрольованих параметрів необхідно виконати вибір конкретних технічних засобів автоматизації, які будуть використовуватися у складі системи керування мікрокліматом теплиці. Саме на цьому етапі відбувається перехід від загального аналізу обладнання, виконаного у другому розділі, до формування реальної структури майбутньої автоматизованої системи.

Основною метою вибору обладнання є створення надійної, функціональної та економічно обґрунтованої системи, здатної забезпечувати стабільні умови вирощування багаторічної спаржі протягом тривалого часу. При цьому необхідно враховувати специфіку тепличного господарства, особливості біології культури та умови експлуатації обладнання.

На відміну від багатьох промислових об'єктів, де основну увагу приділяють лише надійності роботи обладнання, у тепличному господарстві важливими є також простота обслуговування, стійкість до підвищеної вологості та можливість тривалої роботи без постійного втручання персоналу. Саме ці фактори визначали критерії вибору технічних засобів для даного проєкту.

Основу всієї системи автоматизації становить програмований логічний контролер. Саме він забезпечує збір інформації від давачів, обробку сигналів та формування команд керування для виконавчих механізмів. Після аналізу різних варіантів обладнання для даної системи обрано програмований логічний контролер Siemens LOGO! 8.

Вибір даного контролера обумовлений декількома факторами. По-перше, він спеціально призначений для автоматизації невеликих та середніх технологічних об'єктів. По-друге, контролер має достатню кількість входів та виходів для реалізації поставленого завдання без використання великої кількості додаткових модулів. По-третє, обладнання Siemens широко використовується у промисловості та має високу репутацію щодо надійності та довговічності.

Додатковою перевагою контролера є підтримка мережевих технологій та можливість організації віддаленого моніторингу. Це дозволяє оператору отримувати інформацію про стан теплиці та контролювати роботу обладнання без необхідності постійного перебування безпосередньо на об'єкті.

Для контролю температури повітря у теплиці доцільно використовувати промислові датчики температури типу Pt100, Рисунок 3.6, із відповідними вимірювальними перетворювачами. Платинові термометри опору характеризуються високою точністю, стабільністю показань та тривалим терміном служби. Вони широко використовуються у промисловій автоматизації та забезпечують необхідну точність вимірювання температури у всьому робочому діапазоні тепличного господарства.



Рис 3.8 Датчик температури типу Pt100

Особливістю використання Pt100 є можливість отримання стабільних результатів навіть при значній довжині кабельних ліній. Для теплиці площею 500 м² це має важливе значення, оскільки давачі можуть розташовуватися на значній відстані від шафи керування.

Для контролю температури ґрунту також пропонується використовувати промислові датчики на основі платинових терморезисторів. Таке рішення дозволяє уніфікувати вимірювальну систему та спростити технічне обслуговування обладнання. Крім того, використання однакового принципу вимірювання забезпечує порівнянність результатів та спрощує інтеграцію до системи автоматизації.

Враховуючи багаторічний характер вирощування спаржі, датчики температури ґрунту повинні мати герметичне виконання та бути розрахованими на тривалу експлуатацію у вологому середовищі. Саме тому перевага надається промисловим виконанням із високим ступенем захисту від проникнення вологи.

Для контролю вологості повітря доцільно застосувати комбіновані промислові датчики температури та вологості. Одним із можливих варіантів

є використання датчиків серії EE210 виробництва E+E Elektronik або аналогічних пристроїв промислового класу.

Вибір комбінованих датчиків дозволяє одночасно контролювати два взаємопов'язані параметри та зменшує кількість обладнання, що встановлюється у теплиці. Крім того, такі датчики мають високу точність, добру стабільність показань та здатні працювати в умовах підвищеної вологості.

Для контролю вологості ґрунту пропонується використання ємнісних промислових датчиків. У порівнянні з резистивними аналогами вони характеризуються значно вищою довговічністю та меншою залежністю результатів вимірювання від складу ґрунту. Для багаторічної культури це має принципове значення, оскільки система повинна працювати протягом багатьох років без необхідності регулярної заміни вимірювального обладнання.

Ємнісні датчики вологості SICK, Рисунок 3.7, дозволяють здійснювати безперервний контроль стану прикореневої зони та забезпечують достатню точність для автоматичного керування крапельним поливом. Саме на їх показниках базуватиметься алгоритм подачі води до рослин.



Рис 3.9 Ємнісні датчики вологості SICK

Для реалізації системи вентиляції передбачається використання двох типів виконавчих механізмів. Першу групу становлять електроприводи вентиляційних кватирок. Вони забезпечують автоматичне відкривання та закривання вентиляційних отворів залежно від поточного стану мікроклімату.

Використання електроприводів дозволяє реалізувати плавне регулювання вентиляції та уникнути різких змін температури всередині теплиці. Це особливо важливо для спаржі, яка негативно реагує на значні коливання параметрів навколишнього середовища.

Другу групу вентиляційного обладнання становлять осьові витяжні вентилятори. Вони забезпечують примусовий повітрообмін у випадках, коли природної вентиляції недостатньо для підтримання необхідного мікроклімату.

Для теплиці площею 500 м² доцільним є використання декількох вентиляторів середньої продуктивності, рівномірно розподілених по об'єму споруди. Такий підхід дозволяє забезпечити рівномірний розподіл повітряних потоків та уникнути локальних зон перегріву.

Система поливу базуватиметься на використанні крапельного зрошення. Основними елементами даної підсистеми є насосне обладнання, трубопроводи, крапельні лінії та електромагнітні клапани.

Для керування подачею води обираються електромагнітні клапани промислового виконання. Вони дозволяють автоматично відкривати або перекривати потік води за сигналом від контролера та забезпечують високу швидкодію системи.

Використання клапанів дає можливість реалізувати зональне керування поливом та створює умови для подальшої модернізації системи. У разі необхідності теплиця може бути поділена на декілька незалежних зон зрошення з різними режимами роботи.

Для забезпечення циркуляції води використовується насосна установка, характеристики якої підбираються відповідно до площі теплиці та

продуктивності системи поливу. Насос повинен забезпечувати стабільний тиск у крапельних лініях та безперебійну роботу системи протягом усього сезону.

Важливою складовою проєкту є система обігріву. Для даної теплиці приймається водяна система опалення як найбільш економічно доцільна та ефективна. У якості виконавчих механізмів використовуються циркуляційні насоси та електроприводні регулюючі клапани.

Таке рішення дозволяє автоматично змінювати інтенсивність подачі теплоносія залежно від температури повітря та ґрунту. Завдяки цьому підтримується стабільний температурний режим при мінімальних енергетичних витратах.

Для забезпечення взаємодії оператора із системою доцільно передбачити використання панелі керування або операторського інтерфейсу. За допомогою цього обладнання можна здійснювати налаштування режимів роботи, перегляд поточних параметрів та аналіз аварійних повідомлень.
Додатково передбачається можливість передачі інформації на персональний комп'ютер або мобільний пристрій. Це дозволяє реалізувати дистанційний моніторинг роботи теплиці та своєчасно реагувати на виникнення нестандартних ситуацій.

Важливим критерієм під час вибору всього обладнання була можливість його подальшої модернізації. У майбутньому система може бути доповнена новими датчиками, модулями зв'язку або функціями автоматичного аналізу параметрів мікроклімату. Використання промислових стандартів та уніфікованих інтерфейсів забезпечує необхідний резерв для такого розвитку.

Таким чином, для автоматизації теплиці з вирощування багаторічної спаржі обрано комплекс технічних засобів, який включає програмований логічний контролер Siemens LOGO! 8, промислові датчики температури та вологості, ємнісні датчики вологості ґрунту, систему автоматичної вентиляції, крапельний полив із електромагнітними клапанами та водяну

систему опалення. Запропонований комплекс обладнання забезпечує необхідну точність контролю параметрів мікроклімату, високу надійність роботи та створює основу для подальшої реалізації алгоритмів автоматичного керування процесом вирощування спаржі.

3.4 Розроблення системи автоматичної вентиляції та регулювання температури

Одним із найважливіших завдань під час вирощування рослин у тепличних умовах є підтримання оптимального температурного режиму. Саме температура визначає інтенсивність фізіологічних процесів, швидкість росту рослин, засвоєння поживних речовин та формування врожаю. Для багаторічної спаржі цей фактор має особливе значення, оскільки від стабільності температурних умов залежить не лише якість продукції поточного року, але й стан кореневої системи, яка забезпечує продуктивність культури протягом багатьох сезонів.

Особливістю тепличного господарства є те, що температура всередині споруди може значно відрізнятися від температури навколишнього середовища. Завдяки парниковому ефекту навіть у прохолодні дні повітря всередині теплиці здатне нагріватися до високих значень. У весняний та літній періоди інтенсивне сонячне випромінювання може призводити до швидкого перегріву повітря, що створює несприятливі умови для розвитку рослин.

Для спаржі перегрів становить серйозну проблему. При надмірно високій температурі збільшується інтенсивність випаровування води, порушується водний баланс рослин та зростає навантаження на кореневу систему. У результаті може спостерігатися уповільнення росту пагонів, зниження якості продукції та загальне пригнічення розвитку культури.

Разом із тим недостатня температура також негативно впливає на рослини. Особливо це проявляється у ранньовесняний період, коли відбувається активізація ростових процесів після зимового спокою. При

переохолодженні уповільнюється розвиток пагонів, зменшується активність кореневої системи та погіршується засвоєння поживних речовин.

З огляду на це система автоматизації повинна забезпечувати безперервний контроль температури та своєчасне реагування на будь-які відхилення від оптимальних значень. Досягнення цієї мети можливе лише шляхом комплексного використання систем вентиляції та обігріву, які працюють під керуванням програмованого логічного контролера.

Основу системи контролю температури становлять температурні давачі, встановлені у різних частинах теплиці. Їх використання дозволяє отримувати інформацію про фактичний стан повітряного середовища та визначати необхідність коригування режимів роботи обладнання.

Вибір декількох точок контролю обумовлений тим, що температура у різних частинах теплиці може відрізнятися. Це пов'язано з впливом сонячного випромінювання, розташуванням вентиляційних отворів, особливостями циркуляції повітря та конструктивними характеристиками споруди. Використання декількох давачів дозволяє підвищити точність оцінки стану мікроклімату та забезпечити більш ефективне керування системою.

Першим засобом регулювання температури є природна вентиляція через вентиляційні кватирки. Вона використовується як основний спосіб видалення надлишкового тепла у періоди помірного перегріву. Коли температура перевищує встановлене значення, контролер формує команду на відкривання кватирок, забезпечуючи надходження більш прохолодного зовнішнього повітря.

Перевагою природної вентиляції є її висока енергоефективність. Для забезпечення повітрообміну не потрібно використовувати значну кількість електроенергії, що позитивно впливає на економічні показники експлуатації теплиці. Крім того, поступове відкривання кватирок дозволяє плавно змінювати інтенсивність вентиляції та уникати різких коливань температури.

Для реалізації автоматичного керування використовуються електроприводи вентиляційних кватирок. Вони забезпечують можливість точного позиціонування вентиляційних елементів та дозволяють змінювати їх положення залежно від поточного стану мікроклімату.

Алгоритм роботи передбачає поетапне відкривання вентиляційних отворів. При незначному перевищенні температури кватирки відкриваються частково, а при подальшому зростанні температури ступінь відкривання поступово збільшується. Такий підхід забезпечує плавність регулювання та дозволяє підтримувати стабільний температурний режим.

У випадках, коли природної вентиляції недостатньо, до роботи залучається система примусової вентиляції. Вона реалізується за допомогою осьових вентиляторів, розташованих у різних частинах теплиці. Основним завданням вентиляторів є прискорення повітрообміну та забезпечення рівномірного розподілу повітряних потоків.

Особливо важливою примусова вентиляція стає у спекотні літні дні, коли температура зовнішнього повітря також є досить високою. У таких умовах навіть частково відкрита теплиця може накопичувати надлишкову кількість тепла. Робота вентиляторів дозволяє ефективніше видаляти нагріте повітря та підтримувати прийнятні умови для рослин.

Для спаржі додатковою перевагою примусової вентиляції є покращення циркуляції повітря між рослинами. Це сприяє більш рівномірному розподілу температури та вологості по всьому об'єму теплиці, а також знижує ризик утворення локальних зон із надмірною вологістю.

Особливу увагу під час проєктування системи вентиляції необхідно приділити контролю вологості повітря. Температура та вологість є взаємопов'язаними параметрами, тому вентиляція використовується не лише для охолодження теплиці, але й для регулювання вмісту вологи у повітрі.

У процесі вирощування спаржі джерелами вологи є ґрунт, система поливу та самі рослини, які постійно випаровують воду через листкову поверхню.

Якщо повітрообмін є недостатнім, відносна вологість починає зростати, а на внутрішніх поверхнях теплиці може утворюватися конденсат.

Наявність конденсату є небажаним явищем, оскільки створює сприятливі умови для розвитку грибкових захворювань. Крім того, краплі води можуть накопичуватися на конструкціях теплиці та потрапляти на рослини. Саме тому система вентиляції повинна автоматично реагувати не лише на температуру, але й на підвищення вологості повітря.

Для цього використовуються комбіновані давачі температури та вологості. Контролер постійно аналізує показники обох параметрів та визначає необхідність увімкнення вентиляції навіть у тих випадках, коли температура знаходиться у допустимих межах.

Особливе значення контроль вологості має у весняний та осінній періоди, коли різниця між денною та нічною температурою може бути досить значною. Саме у цей час ризик утворення конденсату є найбільшим, а ефективна робота вентиляційної системи дозволяє уникнути багатьох проблем.

Окрім боротьби з перегрівом та надлишковою вологістю, система повинна забезпечувати підтримання необхідної температури у холодний період року. Для цього використовується система водяного опалення, яка працює під керуванням того ж програмованого логічного контролера.

Принцип роботи системи досить простий. Якщо температура повітря знижується нижче встановленого значення, контролер формує команду на запуск циркуляційного насоса та відкриття регулюючих клапанів системи опалення. У результаті відбувається подача теплоносія до нагрівальних елементів та поступове підвищення температури у теплиці.

Важливою особливістю проєктованої системи є контроль не лише температури повітря, але й температури ґрунту. Для багаторічної спаржі це має принципове значення, оскільки коренева система повинна бути захищена від переохолодження навіть у випадках, коли температура повітря залишається прийнятною.

Контроль температури прикореневої зони дозволяє підтримувати оптимальні умови функціонування кореневища та забезпечувати його довготривалу продуктивність. При необхідності система може збільшувати інтенсивність обігріву для захисту рослин від несприятливих температурних впливів.

Окрему увагу необхідно приділити аварійним режимам роботи. Однією з найбільш небезпечних ситуацій є відмова вентиляційного обладнання у спекотний період року. У такому випадку температура всередині теплиці може швидко досягати критичних значень, що створює загрозу для рослин.
Для запобігання подібним ситуаціям система повинна контролювати працездатність виконавчих механізмів та формувати аварійні повідомлення у випадку виникнення несправностей. Аналогічний підхід застосовується і до системи опалення.

Важливою перевагою автоматизованого керування вентиляцією є можливість забезпечення стабільного мікроклімату незалежно від людського фактора. На відміну від ручного керування, автоматична система реагує на зміни параметрів практично миттєво та підтримує задані режими з високою точністю.

Таким чином, розроблена система автоматичної вентиляції та регулювання температури забезпечує комплексне керування параметрами мікроклімату теплиці. Використання автоматичних кватирок, вентиляторів, температурних та вологісних давачів дозволяє підтримувати оптимальні умови для вирощування багаторічної спаржі протягом усього року. Запропоноване рішення забезпечує захист рослин від перегріву, переохолодження та надлишкової вологості, що створює передумови для підвищення врожайності та довготривалої експлуатації насаджень.

3.5 Очікувані результати впровадження автоматизованої системи

Розроблення та впровадження автоматизованої системи керування мікрокліматом теплиці має на меті не лише модернізацію технологічного

процесу, але й підвищення загальної ефективності вирощування багаторічної спаржі. У сучасних умовах сільськогосподарське виробництво дедалі більше орієнтується на використання інтелектуальних систем керування, які дозволяють підтримувати стабільні умови вирощування, зменшувати витрати ресурсів та забезпечувати прогнозовану якість продукції.

Особливість даного проєкту полягає в тому, що автоматизація спрямована на об'єкт із багаторічним циклом експлуатації рослин. Якщо для однорічних культур помилки в технології часто впливають лише на врожай поточного сезону, то для спаржі наслідки неправильного керування можуть накопичуватися протягом декількох років. Саме тому очікуваний ефект від впровадження системи автоматизації має не лише короткостроковий, але й довгостроковий характер.

Одним із головних результатів впровадження автоматизованої системи є забезпечення стабільності параметрів мікроклімату. У ручному режимі керування оператор не завжди має можливість своєчасно реагувати на зміни температури, вологості чи інших характеристик середовища. Особливо це стосується нічного часу, вихідних днів або періодів різких змін погодних умов.

Автоматизована система здійснює контроль параметрів у безперервному режимі та реагує на відхилення практично миттєво. Завдяки цьому значно скорочується тривалість перебування рослин у несприятливих умовах. Підтримання стабільного мікроклімату створює оптимальні умови для розвитку спаржі та забезпечує більш передбачуваний результат вирощування.

Наступним важливим результатом є покращення водного режиму теплиці. Аналіз біологічних особливостей спаржі показав, що правильне керування поливом має вирішальне значення для збереження здорової кореневої системи. У традиційних умовах полив часто здійснюється за графіком або на основі суб'єктивної оцінки стану ґрунту.

Автоматизована система використовує інформацію від давачів вологості ґрунту та приймає рішення на основі реального стану прикореневої зони. Такий підхід дозволяє підтримувати оптимальний рівень вологості незалежно від погодних умов та стадії розвитку рослин.

У результаті зменшується ймовірність як пересушування, так і перезволоження ґрунту. Особливо важливим це є для багаторічної спаржі, оскільки пошкодження кореневої системи внаслідок неправильного поливу може негативно впливати на врожайність протягом багатьох років.

Використання автоматизованого крапельного поливу також сприяє економії водних ресурсів. Подача води здійснюється лише тоді, коли це дійсно необхідно, і саме в тому обсязі, який потрібен рослинам. У порівнянні з традиційними способами поливу це дозволяє суттєво скоротити споживання води та знизити експлуатаційні витрати.

Ще одним очікуваним результатом є підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів. У тепличному господарстві значна частина витрат пов'язана із забезпеченням необхідного температурного режиму та роботою допоміжного обладнання. Неконтрольована або неефективна робота систем вентиляції та опалення призводить до перевитрат енергії та збільшення собівартості продукції.

Запропонована система автоматизації забезпечує роботу обладнання лише за необхідності. Вентиляція, обігрів та інші виконавчі механізми вмикаються тільки тоді, коли параметри мікроклімату виходять за встановлені межі. Після досягнення необхідних значень обладнання автоматично переходить у режим очікування або вимикається.

Такий принцип роботи дозволяє скоротити непродуктивні витрати електроенергії та теплової енергії, що позитивно впливає на економічні показники експлуатації теплиці.

Особливу увагу необхідно приділити впливу автоматизації на врожайність культури. Спаржа належить до рослин, які дуже чутливо реагують на умови

вирощування. Навіть незначні відхилення температури або вологості можуть впливати на швидкість росту пагонів та їх якісні характеристики.

Підтримання стабільного мікроклімату сприяє формуванню більш рівномірних пагонів із кращими товарними характеристиками. Завдяки цьому підвищується якість готової продукції та збільшується її ринкова цінність.

Крім того, стабільні умови вирощування дозволяють ефективніше використовувати біологічний потенціал рослин. Коренева система працює у сприятливому режимі, що забезпечує накопичення достатньої кількості поживних речовин та позитивно впливає на врожайність наступних років.
Окремим результатом впровадження системи є зниження ризику виникнення захворювань. У тепличних умовах розвиток багатьох грибкових інфекцій безпосередньо пов'язаний із підвищеною вологістю повітря та утворенням конденсату. Ручне керування вентиляцією не завжди дозволяє своєчасно усунути ці небезпечні фактори.

Автоматизований контроль температури та вологості забезпечує підтримання параметрів середовища на безпечному рівні. Завдяки цьому створюються менш сприятливі умови для розвитку патогенних мікроорганізмів, що дозволяє зменшити ризик захворювань та скоротити потребу у використанні засобів захисту рослин.

Важливим наслідком автоматизації є також підвищення надійності технологічного процесу. Система здатна виявляти аварійні ситуації та повідомляти про них оператора. Це дозволяє швидко реагувати на несправності обладнання та мінімізувати можливі збитки.

Особливо важливою така функція є для багаторічних насаджень спаржі. Якщо аварійна ситуація буде вчасно виявлена та усунута, можна уникнути пошкодження кореневої системи та зберегти продуктивність рослин. Таким чином, автоматизація виконує не лише функцію керування, але й функцію захисту об'єкта.

Ще одним позитивним результатом є зменшення впливу людського фактора. У ручному режимі роботи якість керування значною мірою залежить від досвіду та уважності персоналу. Людина може припуститися помилки, неправильно оцінити ситуацію або не встигнути своєчасно відреагувати на зміну параметрів мікроклімату.

Автоматизована система виконує всі основні операції відповідно до заданого алгоритму та забезпечує однакову точність роботи незалежно від часу доби чи зовнішніх умов. Це підвищує стабільність виробничого процесу та дозволяє отримувати більш прогнозовані результати.

Впровадження автоматизації також створює умови для подальшого розвитку тепличного господарства. Використання програмованого логічного контролера та сучасних технічних засобів забезпечує можливість модернізації системи без суттєвої перебудови її структури.

У майбутньому система може бути доповнена новими давачами, функціями дистанційного моніторингу, автоматичним обліком ресурсів або елементами інтелектуального керування. Це дозволяє поступово розширювати функціональні можливості автоматизації відповідно до потреб підприємства.

Особливе значення має накопичення технологічної інформації. Дані про параметри мікроклімату можуть використовуватися для аналізу ефективності вирощування, оцінки роботи обладнання та вдосконалення режимів керування. З часом це дозволяє формувати оптимальні стратегії експлуатації теплиці та підвищувати її продуктивність.

Таким чином, впровадження автоматизованої системи керування мікрокліматом забезпечує комплексний позитивний ефект для теплиці з вирощування багаторічної спаржі. Основними очікуваними результатами є стабілізація параметрів мікроклімату, підвищення врожайності та якості продукції, економія водних і енергетичних ресурсів, зменшення ризику захворювань, підвищення надійності технологічного процесу та скорочення впливу людського фактора. У сукупності це створює передумови для

ефективного та економічно доцільного функціонування тепличного господарства протягом тривалого часу.

3.6 Висновки до розділу 3

У третьому розділі дипломної роботи було виконано розроблення автоматизованої системи керування мікрокліматом теплиці для вирощування багаторічної спаржі. Під час проєктування були враховані біологічні особливості культури, вимоги до стабільності параметрів мікроклімату та необхідність забезпечення довготривалої продуктивності насаджень. На відміну від більшості однорічних тепличних культур, спаржа характеризується багаторічним циклом розвитку, тому система автоматизації повинна забезпечувати не лише отримання високого врожаю в поточному сезоні, але й створювати сприятливі умови для функціонування кореневої системи протягом багатьох років.

У ході виконання роботи було проведено характеристику об'єкта автоматизації та визначено особливості технологічного процесу вирощування спаржі у тепличних умовах. Встановлено, що найбільший вплив на розвиток рослин мають температура повітря, температура ґрунту, вологість ґрунту, вологість повітря та ефективність роботи системи вентиляції. Саме ці параметри були обрані як основні контрольовані величини для подальшої розробки автоматизованої системи керування.

На основі аналізу умов вирощування культури було обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації. Як центральний елемент системи запропоновано використання програмованого логічного контролера, який забезпечує збір інформації від давачів, обробку даних та формування керуючих впливів на виконавчі механізми. Для контролю параметрів мікроклімату передбачено використання датчиків температури повітря та ґрунту, датчиків вологості повітря та ґрунту, а також комплексу виконавчих механізмів для керування вентиляцією, поливом та системою обігріву.

Особливу увагу в роботі приділено розробленню системи автоматичного поливу. Встановлено, що для вирощування спаржі найбільш доцільним є застосування крапельного зрошення з автоматичним контролем вологості ґрунту. Запропонований алгоритм роботи дозволяє підтримувати оптимальний рівень вологості прикореневої зони, запобігати перезволоженню та забезпечувати ефективне використання водних ресурсів. Такий підхід сприяє збереженню здорового стану кореневої системи та створює умови для стабільного розвитку рослин.

У рамках проєкту також було розроблено систему автоматичної вентиляції та регулювання температури. Запропоноване рішення передбачає використання природної вентиляції через автоматизовані кватирки та примусової вентиляції за допомогою вентиляторів. Керування обладнанням здійснюється на основі інформації від температурних та вологісних датчиків, що дозволяє підтримувати стабільний мікроклімат незалежно від змін зовнішніх погодних умов. Додатково передбачено автоматичне керування системою опалення для забезпечення необхідного температурного режиму в холодний період року.

Важливою складовою роботи стала розробка алгоритму функціонування автоматизованої системи. Алгоритм передбачає безперервний моніторинг параметрів мікроклімату, автоматичне керування поливом, вентиляцією та обігрівом, а також контроль аварійних ситуацій. Реалізація такого підходу дозволяє забезпечити оперативне реагування на зміни стану середовища та мінімізувати вплив людського фактора на технологічний процес.

Проведений аналіз показав, що впровадження автоматизованої системи керування мікрокліматом створює передумови для підвищення ефективності тепличного господарства. Очікуваними результатами є стабілізація умов вирощування, підвищення врожайності та якості продукції, скорочення витрат води та енергетичних ресурсів, зменшення ризику виникнення

захворювань рослин і підвищення надійності роботи технологічного обладнання.

Таким чином, у третьому розділі було сформовано завершене технічне рішення щодо автоматизації процесу вирощування багаторічної спаржі у тепличних умовах. Розроблена система враховує біологічні особливості культури, забезпечує підтримання оптимального мікроклімату та створює необхідні умови для ефективного функціонування тепличного комплексу. Отримані результати підтверджують доцільність застосування сучасних засобів автоматизації для підвищення продуктивності та економічної ефективності вирощування спаржі в умовах закритого ґрунту.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів під час експлуатації автоматизованої теплиці

Сучасні тепличні господарства належать до об'єктів, у яких одночасно поєднуються технологічне обладнання, електротехнічні системи, автоматизовані засоби керування та біологічні об'єкти вирощування. Незважаючи на відносно безпечний характер виробничих процесів у порівнянні з багатьма галузями промисловості, під час експлуатації теплиць існує ряд небезпечних та шкідливих факторів, які можуть негативно впливати на здоров'я працівників, безпеку виконання робіт та надійність функціонування обладнання. Саме тому аналіз потенційних небезпек є важливою складовою проєктування автоматизованої системи керування мікрокліматом.

Особливістю теплиць є наявність великої кількості електротехнічного обладнання, яке працює в умовах підвищеної вологості. До складу автоматизованої системи входять контролери, датчики, насосні установки, вентилятори, електроприводи вентиляційних кватирок, освітлювальне обладнання та допоміжні електричні пристрої. Поєднання електричної енергії та вологого середовища створює потенційну небезпеку ураження персоналу електричним струмом.

Підвищена вологість є одним із найбільш характерних факторів тепличного господарства. В процесі роботи систем поливу та внаслідок природного випаровування води відбувається постійне насичення повітря вологою. За певних умов на поверхнях обладнання та конструкцій може утворюватися конденсат. Наявність вологи сприяє зниженню електричного опору ізоляції та збільшує ризик виникнення аварійних ситуацій у електромережах.

Особливо небезпечними є роботи, пов'язані з обслуговуванням електрообладнання безпосередньо у виробничій зоні теплиці. У випадку пошкодження ізоляції або порушення правил експлуатації можливе

виникнення небезпечної напруги на металевих корпусах обладнання. За таких умов працівник може потрапити під дію електричного струму, що становить загрозу для його здоров'я та життя.

Ще одним небезпечним фактором є наявність рухомих механізмів. У системі автоматизації теплиці використовуються вентилятори, електроприводи кватирок, насосне обладнання та інші пристрої, які містять рухомі частини. Під час технічного обслуговування або ремонту існує ризик механічного травмування працівників.

Особливої уваги потребують вентиляційні установки. Робочі колеса вентиляторів обертаються з високою швидкістю та можуть становити небезпеку у випадку відсутності захисних огороджень або порушення правил безпечної експлуатації. Крім того, електроприводи вентиляційних кватирок створюють ризик затискання частин тіла під час руху конструкцій.

У процесі роботи насосного обладнання також виникають певні небезпечні фактори. Насоси працюють під тиском та можуть створювати підвищені механічні навантаження на трубопроводи й арматуру. У випадку розгерметизації системи можливі витоки води, які не лише погіршують умови праці, але й підвищують ризик ураження електричним струмом через потрапляння вологи на електрообладнання.

До шкідливих виробничих факторів належить також мікроклімат виробничого середовища. Незважаючи на те, що система автоматизації забезпечує підтримання оптимальних умов для рослин, параметри мікроклімату не завжди є комфортними для людини. У теплий період року температура всередині теплиці може досягати значних значень, особливо у випадку аварійного відключення вентиляції або обігріву.

Тривале перебування працівників в умовах підвищеної температури може призводити до швидкої втоми, зниження працездатності та погіршення самопочуття. Одночасно високий рівень вологості повітря ускладнює процеси природної терморегуляції організму, що додатково збільшує навантаження на людину.

У холодний період року небезпечним фактором може бути локальне переохолодження під час виконання робіт поблизу вентиляційних отворів або під час обслуговування зовнішніх елементів теплиці. Різкі перепади температур між внутрішнім та зовнішнім середовищем можуть негативно впливати на стан здоров'я персоналу.

Під час експлуатації систем автоматизації можливий вплив шуму. Основними джерелами шумового навантаження є вентилятори, насосні установки та інше механічне обладнання. Хоча рівень шуму в тепличних господарствах зазвичай не досягає критичних значень, його тривалий вплив може сприяти розвитку втоми та зниженню концентрації уваги працівників.
Ще одним характерним фактором є можливість утворення слизьких поверхонь. Робота систем поливу, випадкові витоки води або утворення конденсату можуть призводити до накопичення вологи на підлозі та технологічних проходах. У таких умовах зростає ризик падіння працівників та отримання механічних травм різного ступеня тяжкості.

Необхідно враховувати і фізичні навантаження, пов'язані з обслуговуванням обладнання. Незважаючи на високий рівень автоматизації, певна частина робіт виконується вручну. До таких робіт належать огляд обладнання, заміна датчиків, очищення фільтрів, ремонт трубопроводів та інші технологічні операції. Виконання цих завдань може супроводжуватися підніманням вантажів, роботою у вимушених позах та переміщенням на значні відстані територією теплиці.

Особливу увагу слід приділяти роботам на висоті. Під час обслуговування вентиляційних кватирок, освітлювального обладнання або верхніх конструкцій теплиці працівники можуть використовувати драбини та інші допоміжні засоби доступу. У таких умовах існує ризик падіння з висоти та отримання серйозних травм.

Крім того, під час експлуатації автоматизованої системи можливе виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних із відмовою обладнання. Вихід з ладу насосів, вентиляторів, контролерів або систем електроживлення може

призвести до порушення технологічного процесу та створення небезпечних умов праці. Саме тому питання надійності обладнання та організації аварійного захисту мають важливе значення для забезпечення безпечної експлуатації теплиці.

Проведений аналіз показує, що основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами під час експлуатації автоматизованої теплиці є електричний струм, підвищена вологість повітря, рухомі частини механізмів, несприятливі параметри мікроклімату, шум, слизькі поверхні, фізичні навантаження та можливі аварійні режими роботи обладнання. Врахування цих факторів під час проєктування системи автоматизації дозволяє розробити ефективний комплекс заходів із забезпечення безпечних умов праці та підвищити загальний рівень виробничої безпеки.

4.2 Заходи з охорони праці та електробезпеки під час експлуатації системи автоматизації

Безпечна експлуатація автоматизованої системи керування мікрокліматом теплиці є однією з основних умов забезпечення нормальної роботи персоналу та надійного функціонування технологічного обладнання. Враховуючи наявність електротехнічних установок, систем керування, насосного обладнання, вентиляторів та інших електричних споживачів, особливого значення набувають заходи з електробезпеки та організації безпечних умов праці.

Особливістю тепличного господарства є поєднання електрообладнання з умовами підвищеної вологості. Наявність систем поливу, процесів випаровування води та утворення конденсату створює середовище, у якому ризик виникнення електротравм є вищим порівняно зі звичайними виробничими приміщеннями. Саме тому всі елементи системи автоматизації повинні проєктуватися та експлуатуватися з урахуванням підвищених вимог безпеки.

Одним із найважливіших заходів захисту є правильна організація системи електропостачання. Усі електричні мережі повинні відповідати вимогам чинних нормативних документів та забезпечувати надійну роботу обладнання в умовах тривалої експлуатації. Особлива увага приділяється вибору кабельно-провідникової продукції, яка повинна мати необхідну механічну міцність, стійкість до впливу вологи та достатній запас за допустимим струмовим навантаженням.

Прокладання кабельних ліній необхідно виконувати таким чином, щоб виключити можливість їх механічного пошкодження під час експлуатації теплиці. Кабелі повинні розміщуватися у спеціальних кабельних каналах, захисних трубах або металевих лотках. Подібне рішення забезпечує не лише механічний захист провідників, але й покращує загальний рівень пожежної безпеки об'єкта.

Особливу роль у забезпеченні електробезпеки відіграє захисне заземлення. Усі металеві корпуси електротехнічного обладнання, які за нормальних умов не перебувають під напругою, повинні бути приєднані до системи захисного заземлення. До таких елементів належать шафи керування, корпуси насосів, вентиляторів, електроприводів та інші металеві конструкції.

Призначення захисного заземлення полягає у зменшенні небезпеки ураження людини електричним струмом у випадку пошкодження ізоляції. Якщо фазний провід випадково торкнеться металевого корпусу обладнання, струм замикання проходитиме через заземлювальний контур, що забезпечить спрацювання захисної апаратури та автоматичне відключення пошкодженої ділянки мережі.

Не менш важливим засобом захисту є використання автоматичних вимикачів. Вони забезпечують захист електричних мереж від перевантажень та струмів короткого замикання. У разі виникнення аварійного режиму автоматичний вимикач оперативно відключає пошкоджену ділянку мережі,

запобігаючи перегріванню проводів, пошкодженню обладнання та виникненню пожежі.

Для підвищення рівня безпеки доцільно також використовувати пристрої захисного відключення. Такі пристрої контролюють струми витоку та автоматично вимикають живлення у випадку виникнення небезпечних умов. Особливо ефективними вони є в умовах підвищеної вологості, характерної для тепличних господарств.

У випадку пошкодження ізоляції або дотику людини до струмоведучих частин виникає різниця струмів між фазними та нульовими провідниками. Пристрій захисного відключення фіксує це відхилення та протягом дуже короткого часу знеструмлює мережу, значно зменшуючи ризик важких наслідків електротравми.

Важливим елементом безпеки є правильний вибір ступеня захисту електротехнічного обладнання. Враховуючи умови експлуатації теплиці, шафи керування, датчики, розподільчі коробки та інші електротехнічні пристрої повинні мати відповідний рівень захисту від проникнення пилу та вологи.

Особливу увагу необхідно приділяти шафам автоматизації, у яких розміщується контролер, комутаційна апаратура та інші елементи системи керування. Для таких пристроїв доцільно використовувати шафи з підвищеним ступенем захисту, що дозволяє мінімізувати негативний вплив навколишнього середовища на роботу обладнання.

Значну роль у забезпеченні безпеки відіграє організація технічного обслуговування. Будь-які роботи, пов'язані з ремонтом або перевіркою електрообладнання, повинні виконуватися лише після його повного відключення від мережі живлення. Перед початком робіт необхідно переконатися у відсутності напруги та вжити заходів щодо недопущення випадкового ввімкнення обладнання.

Під час обслуговування електрообладнання персонал повинен використовувати справний інструмент із ізольованими ручками та

дотримуватися встановлених вимог безпеки. Роботи у вологих умовах необхідно виконувати з особливою обережністю, використовуючи відповідні засоби індивідуального захисту.

Важливе значення має також система організаційних заходів. До експлуатації автоматизованої системи допускаються лише працівники, які пройшли відповідне навчання, інструктаж та перевірку знань з питань охорони праці та електробезпеки. Працівники повинні знати принцип роботи обладнання, порядок дій у разі виникнення аварійних ситуацій та правила безпечного виконання робіт.

Необхідною умовою є проведення первинного, повторного та позапланового інструктажів. Регулярне навчання персоналу дозволяє підтримувати належний рівень знань та своєчасно ознайомлювати працівників із новими вимогами безпеки.

Особливу увагу необхідно приділяти використанню засобів індивідуального захисту. Під час виконання робіт персонал повинен бути забезпечений спеціальним одягом, взуттям та іншими засобами захисту відповідно до характеру виконуваних завдань.

Для робіт, пов'язаних із обслуговуванням електрообладнання, можуть використовуватися діелектричні рукавички, інструмент з ізольованими ручками та інші спеціальні засоби захисту. Використання справних засобів індивідуального захисту значно знижує ризик травмування працівників.

Важливою складовою безпеки є забезпечення належного освітлення робочих місць. Недостатнє освітлення може призводити до помилок під час обслуговування обладнання, знижувати концентрацію уваги та підвищувати ризик виникнення травмонебезпечних ситуацій. Саме тому рівень освітленості повинен відповідати вимогам чинних нормативів.

Не менш важливим є підтримання належного санітарного стану виробничих приміщень. Проходи між технологічним обладнанням повинні бути вільними від сторонніх предметів, а поверхні підлоги — своєчасно

очищатися від води та інших забруднень. Це дозволяє зменшити ризик падінь та інших механічних травм.

У процесі експлуатації автоматизованої системи необхідно регулярно контролювати стан заземлювальних пристроїв, захисної апаратури та ізоляції кабельних ліній. Своєчасне виявлення несправностей дозволяє запобігати виникненню аварійних ситуацій та підтримувати необхідний рівень безпеки. Значну роль відіграє система аварійної сигналізації. У випадку виникнення небезпечних режимів роботи обладнання система автоматизації повинна оперативно інформувати персонал про наявність несправності. Це дозволяє швидко вживати необхідних заходів та мінімізувати можливі наслідки аварії.

Таким чином, забезпечення безпечної експлуатації автоматизованої системи керування мікрокліматом теплиці досягається шляхом реалізації комплексу технічних та організаційних заходів. До основних із них належать застосування захисного заземлення, автоматичних вимикачів і пристроїв захисного відключення, використання обладнання з відповідним ступенем захисту, організація належного технічного обслуговування, навчання персоналу та використання засобів індивідуального захисту. Реалізація зазначених заходів дозволяє значно знизити ризик виробничого травматизму та забезпечити надійну й безпечну роботу автоматизованої теплиці.

4.3 Заходи пожежної безпеки та дії персоналу в аварійних ситуаціях

Пожежна безпека є одним із найважливіших напрямків забезпечення безпечної експлуатації тепличних господарств. Незважаючи на те, що основна діяльність теплиці пов'язана з вирощуванням рослин та не належить до категорії особливо пожежонебезпечних виробництв, наявність значної кількості електротехнічного обладнання, кабельних мереж, полімерних матеріалів та допоміжних технічних засобів створює потенційну можливість виникнення пожеж. Саме тому під час проєктування автоматизованої системи керування мікрокліматом необхідно передбачити комплекс заходів,

спрямованих на запобігання пожежам, обмеження їх поширення та забезпечення безпеки персоналу.

Особливістю сучасної теплиці є використання великої кількості електричних споживачів. До них належать системи освітлення, насосне обладнання, вентилятори, електроприводи вентиляційних кватирок, контролери автоматизації, засоби зв'язку та інше допоміжне обладнання. Усі ці пристрої працюють від електричної мережі та можуть стати джерелом займання у випадку виникнення аварійних режимів роботи.

Однією з найбільш поширених причин виникнення пожеж в електроустановках є коротке замикання. Воно виникає внаслідок пошкодження ізоляції провідників або порушення нормальної роботи електричних кіл. При короткому замиканні струм у мережі різко зростає, що призводить до інтенсивного нагрівання провідників, плавлення ізоляційних матеріалів та можливого займання горючих речовин, які знаходяться поблизу.

Іншою поширеною причиною пожеж є перевантаження електричних мереж. Якщо струмове навантаження перевищує допустимі значення, відбувається поступове нагрівання провідників та контактних з'єднань. Тривала робота в таких умовах може призвести до руйнування ізоляції та виникнення осередків займання.

Особливу небезпеку становлять неякісні електричні контакти. Ослаблення контактних з'єднань спричиняє збільшення перехідного опору та локальний перегрів елементів електромережі. Такі явища часто супроводжуються іскрінням, яке може стати джерелом займання горючих матеріалів.

У тепличному господарстві додатковим фактором ризику є використання полімерних матеріалів. Для покриття теплиць широко застосовується полікарбонат, а в системах автоматизації використовуються пластмасові корпуси обладнання, ізоляційні матеріали кабелів та інші

полімерні елементи конструкцій. Під впливом високої температури деякі з цих матеріалів можуть займатися або підтримувати процес горіння.

До потенційно небезпечних джерел займання належать також системи освітлення. У разі використання потужних світильників можливе значне нагрівання окремих елементів обладнання. При порушенні режимів експлуатації або несправності світильників температура може досягати значень, небезпечних з точки зору пожежної безпеки.

Важливу роль у забезпеченні пожежної безпеки відіграє правильне проєктування системи електропостачання. Усі електричні мережі повинні виконуватися відповідно до вимог чинних нормативних документів. Провідники та кабелі необхідно вибирати з урахуванням фактичного навантаження та можливих режимів роботи обладнання.

Одним із найефективніших засобів попередження пожеж є використання автоматичних вимикачів. У випадку короткого замикання або перевантаження вони автоматично відключають пошкоджену ділянку мережі та запобігають небезпечному перегріванню електричних кіл. Завдяки швидкому спрацюванню захисної апаратури значно знижується ризик виникнення займання.

Для додаткового захисту можуть застосовуватися пристрої контролю ізоляції та спеціалізовані засоби моніторингу стану електромереж. Використання таких рішень дозволяє своєчасно виявляти потенційно небезпечні дефекти та усувати їх до виникнення аварійної ситуації.

Особливу увагу необхідно приділяти утриманню електрообладнання у справному технічному стані. Регулярні профілактичні огляди дозволяють своєчасно виявляти пошкодження ізоляції, ослаблені контактні з'єднання та інші дефекти, які можуть стати причиною пожежі.

Важливим заходом пожежної безпеки є правильне розміщення електрообладнання. Шафи керування, розподільчі пристрої та інші електротехнічні засоби повинні встановлюватися таким чином, щоб забезпечувався вільний доступ для обслуговування та аварійного

відключення. Крім того, навколо обладнання необхідно підтримувати достатній вільний простір для запобігання накопиченню горючих матеріалів.
У приміщеннях теплиці повинні бути передбачені первинні засоби пожежогасіння. До них належать вогнегасники відповідного типу, які дозволяють оперативно ліквідувати осередок займання на початковій стадії розвитку пожежі. Вибір типу вогнегасників здійснюється з урахуванням особливостей обладнання та можливих джерел займання.

Для об'єктів, насичених електротехнічним обладнанням, найбільш доцільним є використання порошкових або вуглекислотних вогнегасників. Вони ефективно гасять електроустановки, що перебувають під напругою, та не спричиняють додаткових пошкоджень обладнання.

Не менш важливим елементом системи пожежної безпеки є організація евакуації персоналу. Планування теплиці повинно забезпечувати можливість швидкого та безпечного виходу людей із небезпечної зони у випадку виникнення пожежі. Проходи та евакуаційні виходи необхідно постійно утримувати вільними від сторонніх предметів та обладнання.
Усі працівники повинні бути ознайомлені з порядком дій у разі виникнення пожежі. Навчання персоналу питанням пожежної безпеки проводиться під час вступного та періодичних інструктажів. Працівники повинні знати місця розташування засобів пожежогасіння, аварійних вимикачів електроживлення та шляхів евакуації.

У разі виявлення ознак пожежі працівник повинен негайно повідомити відповідальних осіб та вжити заходів щодо виклику пожежно-рятувальних підрозділів. Якщо ситуація дозволяє, необхідно виконати аварійне відключення електроживлення та розпочати гасіння осередку займання за допомогою наявних первинних засобів пожежогасіння.

Під час ліквідації пожежі необхідно суворо дотримуватися вимог безпеки. Категорично забороняється використовувати воду для гасіння електроустановок, які перебувають під напругою. Такі дії можуть призвести до ураження людей електричним струмом та погіршення аварійної ситуації.

Окрім пожеж, під час експлуатації автоматизованої теплиці можуть виникати інші аварійні ситуації. До них належать відмова систем вентиляції, вихід з ладу насосного обладнання, порушення роботи систем автоматизації та аварійне відключення електроживлення.

Особливо небезпечним для тепличного господарства є тривале зникнення електроживлення. У такому випадку припиняється робота вентиляції, систем поливу та автоматизованого керування. Для мінімізації наслідків подібних ситуацій доцільно передбачати резервні джерела живлення або можливість підключення аварійного генератора.

У випадку виходу з ладу системи автоматизації персонал повинен перевести обладнання у безпечний режим роботи та виконати необхідні заходи щодо усунення несправності. Всі дії повинні виконуватися відповідно до затверджених інструкцій та правил безпеки.

Таким чином, забезпечення пожежної безпеки автоматизованої теплиці базується на комплексному застосуванні технічних та організаційних заходів. До основних напрямків належать правильне проєктування електромереж, використання захисної апаратури, регулярне технічне обслуговування обладнання, забезпечення об'єкта первинними засобами пожежогасіння та підготовка персоналу до дій у надзвичайних ситуаціях. Реалізація зазначених заходів дозволяє значно знизити ризик виникнення пожеж та забезпечити безпечну експлуатацію теплиці протягом усього терміну її роботи.

3.4 Висновки до розділу 4

У розділі охорони праці було проведено аналіз умов експлуатації автоматизованої системи керування мікрокліматом теплиці для вирощування багаторічної спаржі та розглянуто основні заходи, спрямовані на забезпечення безпечних умов праці персоналу. Особливу увагу приділено виявленню небезпечних і шкідливих виробничих факторів, питанням електробезпеки, пожежної безпеки та діям працівників у разі виникнення аварійних ситуацій.

У результаті аналізу встановлено, що під час експлуатації автоматизованої теплиці на працівників можуть впливати такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори, як підвищена вологість повітря, можливість ураження електричним струмом, наявність рухомих частин механізмів, несприятливі параметри мікроклімату, шум від роботи технологічного обладнання, слизькі поверхні, фізичні навантаження під час технічного обслуговування та можливі аварійні режими роботи обладнання. Встановлено, що найбільшу небезпеку становлять фактори, пов’язані з використанням електрообладнання в умовах підвищеної вологості, характерної для тепличного господарства.

Для зниження рівня виробничого ризику було розглянуто комплекс технічних та організаційних заходів з охорони праці. Визначено, що безпечна експлуатація системи автоматизації повинна забезпечуватися шляхом застосування захисного заземлення, автоматичних вимикачів, пристроїв захисного відключення, використання електрообладнання з відповідним ступенем захисту від впливу вологи та пилу, а також правильної організації електропостачання та технічного обслуговування обладнання.

Важливим напрямком забезпечення безпеки є проведення регулярних інструктажів, навчання персоналу правилам безпечної роботи та використання засобів індивідуального захисту. Встановлено, що поєднання технічних і організаційних заходів дозволяє значно знизити ймовірність виникнення нещасних випадків та підвищити загальний рівень виробничої безпеки.

У ході дослідження питань пожежної безпеки було встановлено, що основними потенційними джерелами виникнення пожеж у тепличному господарстві є короткі замикання, перевантаження електромереж, несправності електрообладнання, пошкодження ізоляції кабельних ліній та перегрів електротехнічних пристроїв. Для запобігання виникненню пожеж запропоновано використовувати комплекс заходів, який включає застосування захисної апаратури, регулярний контроль технічного стану

обладнання, забезпечення об'єкта первинними засобами пожежогасіння та дотримання вимог пожежної безпеки під час виконання робіт.

Також було розглянуто порядок дій персоналу в аварійних ситуаціях, пов'язаних із виникненням пожежі, відмовою систем автоматизації або аварійним відключенням електроживлення. Встановлено, що своєчасне виявлення несправностей, оперативне реагування персоналу та наявність чітких інструкцій дозволяють мінімізувати наслідки аварій та забезпечити безпечну експлуатацію об'єкта.

Проведений аналіз показав, що впровадження автоматизованої системи керування мікрокліматом не лише підвищує ефективність вирощування багаторічної спаржі, але й сприяє покращенню умов праці персоналу. Автоматизація основних технологічних процесів зменшує обсяг ручних операцій, скорочує вплив людського фактора та дозволяє підтримувати стабільні параметри виробничого середовища.

Таким чином, реалізація запропонованих заходів з охорони праці та пожежної безпеки забезпечує необхідний рівень захисту працівників, підвищує надійність функціонування автоматизованої системи та створює безпечні умови експлуатації теплиці для вирощування багаторічної спаржі. Отримані результати підтверджують, що дотримання вимог охорони праці є невід'ємною складовою ефективної та безпечної роботи сучасних автоматизованих тепличних комплексів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Було розглянуто питання автоматизації мікроклімату теплиці для вирощування багаторічної спаржі. Актуальність обраної теми обумовлена необхідністю підвищення ефективності тепличного виробництва, забезпечення стабільних умов вирощування рослин, раціонального використання водних та енергетичних ресурсів, а також зменшення впливу людського фактора на технологічні процеси. Сучасний розвиток засобів автоматизації дозволяє створювати системи керування, здатні підтримувати оптимальні параметри середовища та забезпечувати високий рівень продуктивності сільськогосподарських об'єктів.

У першому розділі роботи було проведено аналіз необхідності автоматизації тепличного господарства, розглянуто особливості застосування автоматизованих систем у сільському господарстві та визначено вимоги до елементної бази таких систем. Особливу увагу приділено біологічним та технологічним особливостям вирощування багаторічної спаржі у тепличних умовах. Встановлено, що дана культура характеризується високою чутливістю до параметрів мікроклімату, особливо до температури ґрунту, вологості прикореневої зони та стабільності умов вирощування. Аналіз показав, що саме автоматизація створює необхідні умови для забезпечення довготривалої продуктивності рослин та підвищення ефективності виробництва.

У ході дослідження встановлено, що для успішного вирощування спаржі необхідно забезпечувати постійний контроль температури повітря, температури ґрунту, вологості повітря та вологості ґрунту. Також визначено важливу роль вентиляції та своєчасного регулювання мікроклімату для запобігання перегріву, переохолодженню та розвитку захворювань рослин.

У другому розділі виконано аналіз технічних засобів автоматизації, які можуть бути використані для побудови системи керування мікрокліматом теплиці. Розглянуто сучасні засоби вимірювання температури, вологості повітря, вологості ґрунту та освітленості, а також проведено аналіз

виконавчих механізмів і контролерів. У результаті дослідження встановлено, що для умов тепличного господарства найбільш доцільним є використання промислових датчиків із високою точністю вимірювань та підвищеною стійкістю до впливу вологи.

Проведений аналіз контролерів показав, що для реалізації поставленого завдання доцільно використовувати програмовані логічні контролери, які забезпечують високу надійність роботи, можливість реалізації складних алгоритмів керування та підтримку сучасних засобів зв'язку. Також встановлено, що використання автоматизованих виконавчих механізмів дозволяє реалізувати ефективне керування вентиляцією, поливом та системою обігріву.

У третьому розділі виконано безпосередню розробку автоматизованої системи керування мікрокліматом теплиці для вирощування багаторічної спаржі. Визначено основні контрольовані параметри технологічного процесу та обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації. Для забезпечення роботи системи запропоновано використання програмованого логічного контролера, датчиків температури повітря та ґрунту, датчиків вологості повітря і ґрунту, а також комплексу виконавчих механізмів для керування поливом, вентиляцією та обігрівом.

Особливу увагу приділено розробці автоматизованої системи крапельного поливу. Встановлено, що використання датчиків вологості ґрунту та автоматичного керування подачею води дозволяє підтримувати оптимальний водний режим та запобігати перезволоженню прикореневої зони, що є надзвичайно важливим для багаторічної спаржі. Розроблено принцип роботи системи вентиляції та регулювання температури, яка забезпечує підтримання стабільного мікроклімату незалежно від змін погодних умов.

Також розроблено алгоритм функціонування автоматизованої системи, який передбачає безперервний контроль параметрів середовища, автоматичне керування виконавчими механізмами та реагування на аварійні

ситуації. Встановлено, що впровадження запропонованої системи дозволяє підвищити врожайність культури, покращити якість продукції, зменшити витрати ресурсів та підвищити загальну ефективність функціонування тепличного господарства.

У розділі охорони праці проведено аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які можуть виникати під час експлуатації автоматизованої теплиці. Розглянуто питання електробезпеки, пожежної безпеки та організації безпечних умов праці. Визначено основні заходи захисту персоналу від впливу небезпечних факторів, а також запропоновано комплекс організаційних і технічних рішень щодо підвищення рівня безпеки виробництва.

У результаті виконаної роботи досягнуто поставленої мети дипломного проєкту, яка полягала у розробленні автоматизованої системи керування мікрокліматом теплиці для вирощування багаторічної спаржі. Поставлені завдання вирішено в повному обсязі. Проведені дослідження підтвердили доцільність використання сучасних засобів автоматизації для підтримання оптимальних умов вирощування культури та забезпечення ефективної роботи тепличного господарства.

Практичне значення роботи полягає в можливості використання запропонованих технічних рішень під час створення або модернізації тепличних комплексів, призначених для вирощування багаторічної спаржі. Реалізація розробленої системи дозволить підвищити ефективність використання ресурсів, забезпечити стабільний мікроклімат, знизити вплив людського фактора та створити сприятливі умови для отримання високоякісної продукції протягом тривалого періоду експлуатації насаджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. areas. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. URL: https://www.fao.org/4/i3284e/i3284e.pdf (дата звернення: 13.12.2025). FAO.
2. FAO. Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable production in the South East European countries. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017. URL: https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i6787en (дата звернення: 13.12.2025). FAO.
3. Netafim. Asparagus Production Manual. URL: https://www.netafimusa.com/globalassets/asparagus-production-manual.pdf (дата звернення: 13.12.2025). Netafim USA.

4. Brandenberger L., Shrefler J., Rebek E., Damicone J. Asparagus Production. Oklahoma Cooperative Extension Service. URL: https://extension.okstate.edu/fact-sheets/asparagus-production.html (дата звернення: 13.12.2025). Oklahoma State University Extension.
5. Awmack C. Asparagus Production. Cariboo Agricultural Research Alliance. URL: https://cariboo-agricultural-research.ca/documents/CARA_lib_Awmack_1998_Asparagus_Production.pdf (дата звернення: 13.12.2025). Cariboo Agricultural Research Alliance.
6. Siemens. LOGO! System Manual. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/732/109974732/att_1341396/v1/logo_system_manual_en-US_en-US.pdf (дата звернення: 13.12.2025). Siemens Industry Online Support.
7. Siemens. LOGO! 8 Manual. URL: https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:557e34c1-4111-4625-921a-0717d0053571/Manual-LOGO-2020.pdf (дата звернення: 13.12.2025). Siemens.
8. Argus Controls. Greenhouse Control Systems: How a Well Designed Automation System Can Contribute to Increased Yield & Quality. URL: https://arguscontrols.com/uploads/Well-Designed-Automation-System-Yield-and-Quality_v3_2021-12-01-200631_bbfw.pdf (дата звернення: 13.12.2025). Argus Controls.
9. Automatic Irrigation & Climate Control Systems with Understanding of Designs. AquaEnergy Expo. URL: https://kh.aquaenergyexpo.com/wp-content/uploads/2023/08/Document-On-Automatic-Irrigation-Climate-Control-Systems-With-Understanding-Of-Designs.pdf (дата звернення: 13.12.2025). AquaEnergy Expo.
10. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Київ : Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2017. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/v0476732-17 (дата звернення: 13.12.2025). Законодавство України.

11. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/z0093-98 (дата звернення: 13.12.2025). Законодавство України.
12. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074958732556240833?doc_type=2 (дата звернення: 13.12.2025). Єдина державна електронна система у сфері будівництва.
13. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосовування. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64015 (дата звернення: 13.12.2025). Будстандарт Online.
14. Zholdasbai T., Sultanbay A., Dzhulaeva Z. Automation of irrigation and ventilation processes in greenhouses based on smart sensor systems. URL: https://dspace.khadi.kharkov.ua/bitstreams/7741e43e-a7bd-4135-a4f7-7ed7ca866f2c/download (дата звернення: 13.12.2025). ХНАДУ.
15. An Automatic Monitoring and Control System Inside Greenhouse. URL: https://scispace.com/pdf/an-automatic-monitoring-and-control-system-inside-greenhouse-4km29yzu57.pdf (дата звернення: 13.12.2025). SciSpace.
16. Automation in Greenhouse Farming. Mitsubishi Electric. URL: https://emea.mitsubishielectric.com/fa/solutions/industries/agriculture/greenhouse-automation.html (дата звернення: 13.12.2025). Mitsubishi Electric.
17. Greenhouse Climate Control: An Integrated Approach. University of Georgia Extension. URL: https://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=B1162 (дата звернення: 13.12.2025). University of Georgia.
18. Greenhouse Ventilation Systems. Penn State Extension. URL: https://extension.psu.edu/greenhouse-ventilation-systems (дата звернення: 13.12.2025). Pennsylvania State University.

19. Greenhouse Heating Systems. Penn State Extension. URL: https://extension.psu.edu/greenhouse-heating-systems (дата звернення: 13.12.2025). Pennsylvania State University.
20. Greenhouse Temperature Management for Vegetable Crops. University of Florida IFAS Extension. URL: https://edis.ifas.ufl.edu/publication/HS1227 (дата звернення: 13.12.2025). University of Florida.
21. Irrigation Scheduling for Greenhouse Crops. University of Maryland Extension. URL: https://extension.umd.edu/resource/irrigation-scheduling-greenhouse-crops (дата звернення: 13.12.2025). University of Maryland.
22. Soil Moisture Sensors for Irrigation Management. USDA Natural Resources Conservation Service. URL: https://www.nrcs.usda.gov/resources/guides-and-instructions/soil-moisture-sensors-irrigation-management (дата звернення: 13.12.2025). USDA.
23. Temperature and Humidity Monitoring in Greenhouses. Sensirion AG. URL: https://sensirion.com/products/catalog/SHT31/ (дата звернення: 13.12.2025). Sensirion.
24. Asparagus Production Guide. University of California Agriculture and Natural Resources. URL: https://anrcatalog.ucanr.edu/pdf/7234.pdf (дата звернення: 13.12.2025). University of California.
25. Asparagus Cultivation and Management. University of Minnesota Extension. URL: https://extension.umn.edu/vegetables/growing-asparagus (дата звернення: 13.12.2025). University of Minnesota.
26. Programmable Controllers SIMATIC S7-1200 System Manual. Siemens. URL: https://support.industry.siemens.com (дата звернення: 13.12.2025). Siemens Industry Online Support.
27. Allen-Bradley Micro800 Programmable Controllers User Manual. Rockwell Automation. URL: https://literature.rockwellautomation.com (дата звернення: 13.12.2025). Rockwell Automation.

28. Industrial Automation Handbook. Schneider Electric. URL: https://www.se.com/ww/en/work/support/resources-and-tools.jsp (дата звернення: 13.12.2025). Schneider Electric.
29. Drip Irrigation Design Guide. Rain Bird Corporation. URL: https://www.rainbird.com/professionals/design-resources (дата звернення: 13.12.2025). Rain Bird.
30. Greenhouse Irrigation Systems. Netafim. URL: https://www.netafim.com/en/agriculture/greenhouse-irrigation/ (дата звернення: 13.12.2025). Netafim.
31. ДСТУ EN 60529:2018. Ступені захисту, що забезпечуються оболонками (код IP). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018.
32. ДСТУ EN 60204-1:2015. Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015.
33. ДСТУ EN ISO 12100:2016. Безпечність машин. Загальні принципи конструювання. Оцінювання ризику та зниження ризику. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
34. ДСТУ EN 61131-2:2017. Програмовані контролери. Частина 2. Вимоги до обладнання та випробування. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017.
35. ДСТУ IEC 61131-3:2017. Програмовані контролери. Частина 3. Мови програмування. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017.
36. ДСТУ ISO 50001:2020. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020.
37. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
38. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Київ : Мінрегіон України, 2013.
39. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об’єктів будівництва. Загальні вимоги. Київ : Мінрегіон України, 2017.
40. ДСТУ EN 61439-1:2017. Низьковольтні комплектні пристрої. Частина 1. Загальні положення. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017.

41. Закон України «Про охорону праці». Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12 (дата звернення: 13.12.2025). Законодавство України.
42. Кодекс цивільного захисту України. Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17 (дата звернення: 13.12.2025). Законодавство України.
43. Закон України «Про пожежну безпеку». Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3745-12 (дата звернення: 13.12.2025). Законодавство України.
44. ДСТУ ISO 7243:2020. Ергономіка теплового середовища. Оцінювання теплового навантаження на працюючих. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020.
45. ДСТУ EN 62305-1:2012. Блискавкозахист. Частина 1. Загальні принципи. Київ : Мінекономрозвитку України, 2012.
46. ДСТУ IEC 61010-1:2015. Вимоги безпеки до електричного контрольно-вимірювального та лабораторного обладнання. Частина 1. Загальні вимоги. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015.
47. ДСТУ EN 61000-6-2:2015. Електромагнітна сумісність. Стійкість до завад для промислових середовищ. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015.
48. ДСТУ EN 61000-6-4:2016. Електромагнітна сумісність. Норми випромінювання завад для промислових середовищ. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
49. Правила пожежної безпеки в Україні. Наказ Міністерства внутрішніх справ України №1417 від 30.12.2014. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15 (дата звернення: 13.12.2025). Законодавство України.
50. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров’я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.