

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ПОГОДЖЕНО

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Декан факультету
інформаційних технологій

Болбот І.М., д.т.н, проф.

підпис

ПІБ, вчене звання і ступінь

Завідувач кафедри

Комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки

Касаткін Д.Ю., к.п.н., доц.

підпис

ПІБ, вчене звання і ступінь

«__» _____ 2024 р.

«__» _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему: «Мікроконтролерна система управління параметрами
мікроклімату споруди захищеного ґрунту»

Спеціальність – 123 «Комп'ютерна інженерія»

15.04 - КМР.1999 «С» 2023.11.01.17 ПЗ

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Освітня програма: "Комп'ютерні системи і мережі"

Гарант освітньої програми

д.т.н., доцент

науковий ступінь, вчене звання

/ Шкарупило В.В./

підпис

ПІБ

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доцент

підпис

/ Волошин С.М./

ПІБ

Виконав: _____

підпис

/ Чаїнський М.М./

ПІБ

КИЇВ-2024

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
завідувач кафедри
комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки
/ Касаткін Д.Ю., к.п.н., доц. /
підпис ПІБ, вчене звання і ступінь
«__» _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я

ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ СТУДЕНТУ

Чаїнський Михайло Михайлович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність (напрямок підготовки): 123 «Комп'ютерна інженерія» _____

1. Тема кваліфікаційної магістерської роботи: «Мікроконтролерна система управління параметрами мікроклімату споруди захищеного ґрунту»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «01» листопада 2023р. № 1999 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2024 р.

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 08 12 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: Використання нейронних мереж у системі управління, точність та адаптивність системи, процеси прийняття рішень; Ефективне використання ресурсів системи управління, оптимальне споживання енергії та інших ресурсів, необхідні умови для фотосинтезу та росту рослин

Об'єкт дослідження – Мікроконтролерна система управління параметрами мікроклімату.

Перелік графічного матеріалу (за потреби) _____

Дата видачі завдання «08» листопада 2023 р.

Керівник магістерської роботи _____ Волошин С.М., к.т.н., доц.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____ Чаїнський М.М.
(підпис) (прізвище та ініціали студента)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 57 сторінок, 18 ілюстрацій, 3 таблиці та 1 додаток.

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена дослідженню та моделюванню системи управління мікрокліматом у теплиці, побудованій із захищеним ґрунтом. Для проведення дослідження використовується комп'ютерна модель, створена в середовищі Matlab/Simulink, яка дає змогу симулювати та аналізувати процеси, пов'язані з керуванням освітленістю та концентрацією вуглецевого газу.

Дослідження охоплює вивчення взаємозв'язків між інтенсивністю світла, концентрацією CO₂ та швидкістю фотосинтезу. Використання нейронних мереж в управлінні системою дозволяє підвищити точність та адаптивність процесів.

Основна увага в роботі зосереджена на енергозбереженні, зокрема на регулюванні інтенсивності світла для оптимізації фотосинтезу з урахуванням сонячного світла. В результаті досліджень було встановлено, що співвідношення між концентрацією CO₂ та потужністю світла варіюється від 0,57 до 0,6, що дозволяє регулювати інтенсивність освітлення відповідно до рівня CO₂ з коефіцієнтом 0,6.

Результати досліджень і моделювання дають важливі висновки для ефективного управління мікрокліматом теплиці, підвищення продуктивності рослин і раціонального використання ресурсів. Використання комп'ютерних моделей та нейронних мереж сприяє автоматизації процесів контролю та прийняття рішень, що забезпечує оптимальну роботу системи управління мікрокліматом теплиці.

ЗМІСТ

Вступ.....	9
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ДИСТАНЦІЙНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ СПОРУД ЗАХИЩЕНОГО ГРУНТУ (ТЕПЛИЦЬ).....	10
1.1. Аналіз доступних систем керування мікрокліматом.....	10
1.1.1. Системи автоматичного керування вологістю.....	11
1.1.2. Системи автоматичного керування температурою	11
1.1.3. Системи автоматичного керування CO ₂	12
1.1.4. Стратегічні завдання реалізації проекту:	23
1.2. Дослідження технологій зв'язку	28
1.3. Застосування нейронних мереж для контролю середовища теплиці.....	30
РОЗДІЛ 2 ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ТЕПЛИЦІ ДЛЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....	34
2.1 Розробка функціональної схеми теплиці для імітаційного моделювання.....	34
2.1.1 Система датчиків	36
2.1.2 Мікроконтролер	38
2.1.3 Актуатори.....	40
2.1.4 Керуюче програмне забезпечення.....	42
2.1.5 Комунікаційна мережа	43
2.1.6 Контроль та моніторинг	44
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ ТЕПЛИЦІ.....	46
3.1 Система керування освітленістю	46
3.2 Результати моделювання.....	50

Висновок.....	56
Використані джерела.....	57
Додаток.....	58

Вступ

Зв'язок людини з природою є важливою складовою нашого життя. З розвитком технологій виникає все більше можливостей для взаємодії з навколишнім середовищем, зокрема землеробством. Одним з сучасних рішень для вирощування рослин є теплиці, які дозволяють розпочинати вирощування раніше та продовжувати його пізніше взимку. Проте, ручне керування умовами мікроклімату може бути складним та вимагати значних зусиль.

У зв'язку з цим, у цій дипломній роботі розглядається розробка комп'ютерно-інтегрованої системи віддаленого керування мікрокліматом смарт теплиці. Ця система дозволить автоматизувати керування умовами мікроклімату та забезпечити оптимальні умови для росту рослин у теплиці.

Метою дослідження є розробка системи віддаленого керування мікрокліматом смарт теплиці, що забезпечує автоматизований контроль температури, вологості, освітлення та інших параметрів середовища. Для досягнення цієї мети були сформульовані наступні завдання:

- Аналіз існуючих рішень для смарт теплиці;
- Розробка архітектури системи;
- Вибір інструментів та технологій;
- Розробка та тестування функцій системи.

Ця робота є актуальною та важливою, оскільки може сприяти покращенню якості вирощування рослин та забезпечити економію часу та зусиль для виробників.

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ДИСТАНЦІЙНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ СПОРУД ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ (ТЕПЛИЦЬ)

1.1. Аналіз доступних систем керування мікрокліматом

Аналіз доступних систем керування мікрокліматом для смарт теплиць включає дослідження наявних технологій і засобів автоматизації процесів контролю температури, вологості, освітлення та інших параметрів вирощування рослин.

Для цього можна розглянути такі системи керування мікрокліматом, як:

- Системи автоматичного керування вологістю: включають в себе автоматичні зволожувачі, які контролюють рівень вологості повітря і регулюють його за допомогою системи насосів або форсунок. Такі системи можуть бути встановлені як на земляних, так і на гідропонних системах вирощування рослин.
- Системи автоматичного керування температурою: включають в себе датчики температури, які контролюють температуру повітря в теплиці та регулюють її за допомогою системи вентиляції, кондиціонерів або систем опалення. Ці системи можуть бути підключені до системи керування освітленням для забезпечення оптимальних умов росту рослин.
- Системи автоматичного керування освітленням: включають в себе датчики світла, які контролюють рівень освітлення в теплиці та регулюють його за допомогою системи освітлювальних приладів. Такі системи можуть бути підключені до системи керування температурою для забезпечення оптимальної температури в теплиці.
- Системи автоматичного керування CO₂: включають в себе датчики вмісту CO₂ в повітрі, які контролюють його рівень і регулюють за допомогою системи подачі CO₂ в теплицю.

1.1.1. Системи автоматичного керування вологістю є важливим компонентом в системах керування мікрокліматом смарт теплиць. Вони дозволяють контролювати та регулювати вологість повітря в теплиці, що є критично важливим для забезпечення оптимальних умов росту рослин.

Системи автоматичного керування вологістю можуть використовувати різні методи зволоження повітря, такі як насосні системи, форсунки або ультразвукові дифузори. Для контролю рівня вологості повітря в теплиці використовують датчики вологості, які постійно моніторять рівень вологості повітря та надсилають дані до системи керування.

Системи автоматичного керування вологістю можуть бути налаштовані на різні режими роботи, залежно від потреб кожного типу рослин. Наприклад, для деяких рослин, таких як кущі, потрібна висока вологість повітря, тоді як для інших, таких як кущі-релікти, потрібна нижча вологість повітря.

Системи автоматичного керування вологістю є ефективним способом підтримання необхідного рівня вологості повітря в теплиці, що дозволяє досягати кращих результатів вирощування рослин та знижувати витрати на зволоження.

1.1.2. Системи автоматичного керування температурою є ще одним важливим компонентом в системах керування мікрокліматом смарт теплиць. Вони дозволяють контролювати та регулювати температуру в теплиці, що є критично важливим для забезпечення оптимальних умов росту рослин.

Системи автоматичного керування температурою можуть використовувати різні методи, такі як вентиляція, опалення або кондиціонування повітря. Для контролю температури в теплиці використовують датчики температури, які постійно моніторять температуру повітря та надсилають дані до системи керування.

Системи автоматичного керування температурою можуть бути налаштовані на різні режими роботи, залежно від потреб кожного типу рослин. Наприклад, для деяких

рослин, таких як томати, потрібна висока температура, тоді як для інших, таких як огірки, потрібна нижча температура.

Системи автоматичного керування температурою є ефективним способом підтримання необхідної температури в теплиці, що дозволяє досягати кращих результатів вирощування рослин та знижувати витрати на опалення чи кондиціонування.

1.1.3. Системи автоматичного керування CO₂ (вуглекислим газом) є ще однією важливою складовою систем керування мікрокліматом смарт теплиць. Вони дозволяють контролювати та регулювати рівень вуглекислого газу в теплиці, що є критично важливим для забезпечення оптимальних умов росту рослин.

Для контролю рівня CO₂ використовують датчики, які постійно моніторять рівень вуглекислого газу в теплиці та надсилають дані до системи керування. Системи керування CO₂ можуть використовувати різні методи, такі як контроль рівня CO₂ в повітрі, контроль вентиляції та контроль додавання додаткового CO₂.

Керування рівнем CO₂ в теплиці має важливе значення для росту рослин, оскільки вони використовують вуглекислий газ в процесі фотосинтезу для виробництва глюкози та інших органічних речовин. Контроль рівня CO₂ може забезпечити більш ефективне використання вуглекислого газу та покращити зростання та врожайність рослин.

За допомогою систем автоматичного керування CO₂ можна знизити витрати на енергію та забезпечити оптимальні умови для росту рослин, що дозволяє збільшити виробництво та поліпшити якість продукту.

Збереження стабільної температури в нічний та денний час - основне завдання зимової теплиці. Відсутність належного обігріву робить конструкцію безкорисною з похолоданням. Тому більшість дачників, не шкодуючи коштів, часу та сил, намагаються організувати опалення теплиці взимку своїми руками. Щоб не заплутатися в різноманітті варіантів і обрати оптимальний тип опалення, слід вивчити

і порівняти технічні особливості, ефективність роботи і грошові інвестиції кожного з методів.

Вибір методу зимового обігріву полікарбонатною теплиці - завдання непросте. Незважаючи на достаток різних технологій, питання опалення часто заводить у глухий кут навіть бувалих хліборобів. Необхідно забезпечити стабільний температурний режим з мінімальними затратами на облаштування та обслуговування теплового комплексу.

Визначення оптимального варіанта базується на наступних факторах [1]:

1. Габарити конструкції. Зрозуміло, що для опалення компактного парника недоцільно купувати потужний котел. Для невеликої площі підійде саморобна піч по типу «Буржуйки» або теплові гармати. Універсальна технологія - інфрачервоні обігрівачі для зимових теплиць з полікарбонату.

2. Особливості будови. Тут до уваги береться форма купола і глибина залягання теплиці. Підземні споруди краще акумулюють тепло, тому на обігріві вийде трохи заощадити - використовувати біо-опалення або ІЧ-плівку.

3. Клімат місцевості. В умовах помірно-континентального клімату зими морозні і сніжні. Відповідно, для цілорічного вирощування необхідно організувати капітальне опалення. Доступні варіанти: водяне, пічне, повітряне або електричне.

4. Тип вирощуваних культур. Теплолюбні рослини дають хороший урожай при стабільно високих температурах, невибагливі культури стійкі до кліматичних коливань.

5. Близькість до комунікацій. Якщо зимова теплиця прибудована до будинку, то найправильніше економічно обґрунтоване рішення - «врізання» до загальної опалювальної системи.

6. Фінансові можливості - зіставлення вартості організації і витрат на експлуатацію «теплового контуру». Наприклад, доступні за ціною електрокалорифери витрачають багато електрики. І навпаки, витрати на покупку дорогого

твердопаливного котла окупаються протягом двох-трьох сезонів. Незалежно від обраного для реалізації методу, опалювальна теплиця з полікарбонату повинна забезпечувати «рівний» температурний режим і достатню вологість. Важливо - зручне управління і контроль обігріву.

Незалежно від обраного для реалізації методу, опалювальна теплиця з полікарбонату повинна забезпечувати «рівний» температурний режим і достатню вологість. Важливо - зручне управління і контроль обігріву.

Все різноманіття способів тепличного опалення ділиться на дві категорії: природний і технічний обігрів. До першого варіанту відносять сонячний і біологічний методи. Друга група - більш обширна і налічує близько десятка різновидів. Щоб вибрати відповідний обігрів і розробити проект, слід дізнатися особливості і технологічні нюанси, ознайомитися з фото і відео-прикладми реалізації опалення закритого ґрунту.

Кімнатний парник в зимовий час використовується для вирощування розсади, заготовлі живців до посадки та отримання врожаю зелені круглий рік. Температури в приміщенні не завжди достатньо, щоб рослини прийнялись. Найчастіше, крім природного обігріву, необхідне примусове опалення, яке легко зробити власноруч.

Варіанти опалення домашнього міні-парника:

1. Натрієва лампа. Цей спосіб підходить для кімнатних оранжерей, розташованих на балконі чи в підвалі (поза межами житлового приміщення). Лампа високого тиску випромінює тепло.

2. Обігрів на «теплій бані». Метод реалізується для маленьких теплиць на підвіконні. Знизу встановити пару патронів для електролампочок. Між дном і лампами розташувати ємність з водою. Після підключення до електромережі рідина почне нагріватися і передавати тепло в ґрунт.

3. Використання електрогрівки. Деякі домашні агрономи під тепличний короб кладуть висушувач для взуття. Спосіб економний і практичний, але при тривалому використанні висока ймовірність висушування повітря.

Сонячний метод.

Природне сонячне опалення підходить для теплих кліматичних зон, де весь рік світить сонце. У регіонах з помірно-континентальним кліматом «сонячний» парник починають використовувати в кінці березня.

Суть методу: розсіяні та прямі промені проникають в теплицю через прозору покрівлю та перетворюються в теплову енергію. Скло і полікарбонат практично не пропускають інфрачервоні (теплові) промені - в замкнутому приміщенні виникає ефект парника. Поліетилен не має такої властивості, тому плівкова споруда вночі охолоджується.

Обов'язкові умови побудови теплиці з підігрівом від сонця: розташування на добре освітленій ділянці з мінімальним вітровим навантаженням; використання прозорого теплоізоляційного укриття - полікарбонату; утеплення стін або будівництво «теплиці-термоса»; зведення конструкції невеликої висоти.

Відмінним накопичувачем тепла є вода. Під неї потрібно підібрати пластикову герметичну ємність чорного кольору. Зазвичай, використовують поліетиленовий рукав. Акумулятор розташовують між грядками і наповнюють водою. Плівка поглинає сонячне тепло, передає його у воду, а вночі поступово повертає повітря.

Біологічний спосіб.

Перевіреним методом обігріву парника з полікарбонату є використання органіки. В якості біопалива використовують: сміття, вологу соломку, гній та листя дерев.

Сутність біо-обігріву: органічні речовини розкладаються виділяючи тепло, тим самим нагрівають ґрунт. Через тиждень після закладки в ґрунт, гній розігрівається до 70° С, протягом 45 днів його температура падає до 30° С.

Відмінні риси природного органічного опалення: доступність біопалива і організації своїми руками; насичення атмосфери вуглекислим газом, а ґрунту - поживними компонентами, корисними для рослин; підтримання вологості повітря за рахунок постійних випарів органіки; скорочення кількості поливів; необхідність періодичного оновлення «теплого» прошарку ґрунту.

Технічний метод.

В умовах тривалої та морозної зими складно обійтися без штучного опалення. Технічний обігрів теплиці з полікарбонату - основний зимовий метод, а природний - додатковий. Залежно від джерела тепла і використовуваного обладнання, розрізняють наступні типи штучного опалення [2]:

1. Електричний. Реалізується за допомогою обігрівачів повітря, прокладкою кабелю в ґрунті, який гріє або використання інфра-червоних технологій.

2. Водяний. Основні вузли системи опалення: котел, насос і трубопровід-змійовик. Споруду з полікарбонату обладнують твердопаливним, газовим, електричним чи рідкопаливним котлом. При опаленні парника за рахунок житлового приміщення - установка додаткового котла не потрібно.

3. Пічний. Комплектація системи: піч, димар і стояк. Варіанти палива: дрова, вугілля або газ. При пічному опаленні складно регулювати подачу і рівномірність розподілу тепла, тому такий метод частіше використовують для опалення компактних теплиць.

4. Газовий (рис. 1.1). Стабільна подача тепла, необхідність облаштування вентиляційної системи - основні особливості газового опалення. У теплицях використовують газові калорифери і пальники.

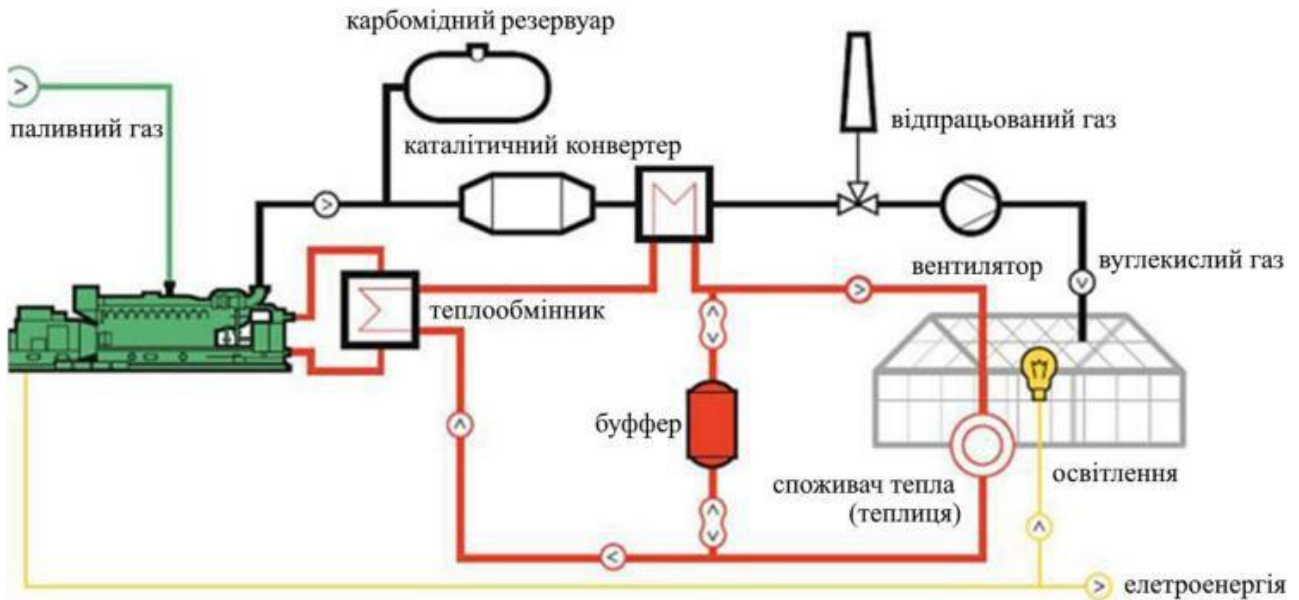


Рис. 1.1 Будова зимових теплиць з газовим опаленням

Більш детальний опис найпопулярніших технічних методів для зимового обігріву наведено нижче.

Інфрачервоний підігрів.

Серед електричних методів опалення інфрачервоне обладнання стає все більш затребуваним. Принцип роботи інфрачервоних обігрівачів - нагрівання рослин і ґрунту, а не повітря. Завдяки цьому витрати на опалення вдається мінімізувати.

Варіанти інфрачервоного обігріву: лампи і плівка.

ІЧ-лампи та обігрівачі. Інфрачервоні випромінювачі поміщені в захисний кожух з рефлектором, що забезпечує ефективний розподіл променів. Обігрівачі підвішують до стелі або кріплять до стін. Відстань між приладами - 1,5-3 м (залежить від потужності ламп).

ІЧ-плівка. Плівкове покриття може розміщуватися різними способами: укладання в ґрунт, «драпірування» стін і стелі.

Кабельне опалення.

По суті, в зимовій теплиці роблять «тепла підлога» - електрокабель укладають в ґрунт, електричний струм проходить по змійовику за допомогою понижувального трансформатора.

Переваги кабельного обігріву взимку:

- автоматична настройка температурного режиму;
- легкість управління;
- рівнозначне розподіл тепла і утримання стабільної температури;
- невисокі витрати на інсталяцію системи.

Потужність кабелю, що гріє підбирають відповідно до площі обігріву, середнім значенням температури взимку і типом укривного матеріалу. При обшивці теплиці полікарбонатом беруть кабель меншої потужності, при склінні продуктивність комплексу повинна бути більше. Середній показник потужності - 80-120 Вт/кв. м. Важлива вимога до кабелю - наявність надійної ізоляції, розрахованої на експлуатацію у вологому середовищі.

Установка печі або теплових гармат.

Незважаючи на достаток нових технологій, пічне опалення утримує лідируючі позиції при обігріві домашніх теплиць взимку. Основні причини: можливість будівництва печі своїми руками і доступність палива. У хід йдуть дрова, відходи деревини, палети, вугілля, паливні брикети [1].

На рис. 1.2 прийняті наступні позначення:

1. – нагрівальний котел;
2. бак-термос;
3. циркуляційний насос;
4. реле регулятор;
5. реєстри;
6. термопара.

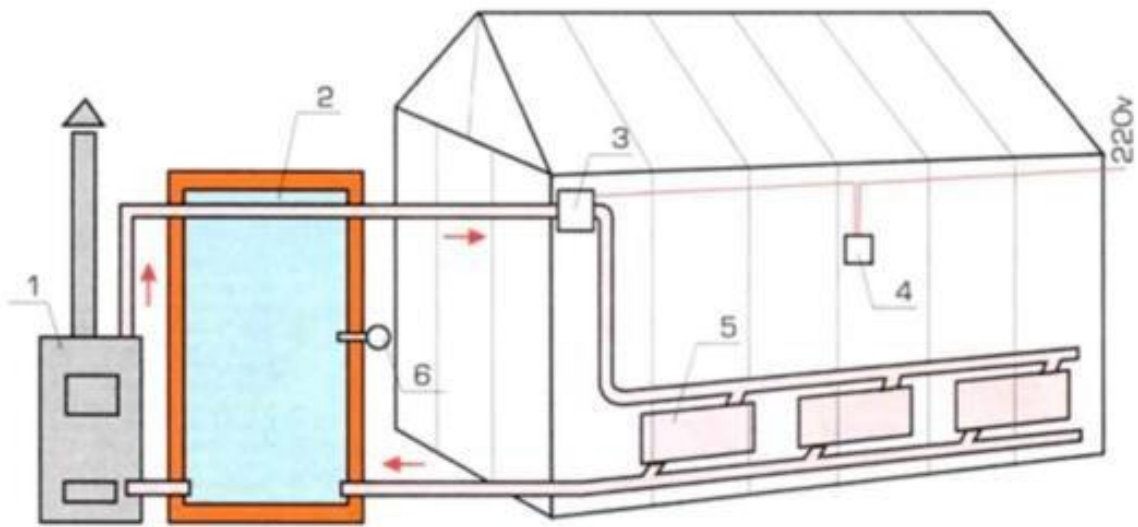


Рис. 1.2 - Пристрій зимової теплиці з паровим опаленням

Зимова опалювальна теплиця з полікарбонату може бути обладнана металевою або цегляної піччю.

Переваги першого варіанту: мобільність і компактність агрегату; відсутність необхідності укладання фундаменту; доступна вартість готової моделі і проста збірка.

Мінуси саморобних металевих виробів: ручна топка, неможливість автоматизації, пересушування повітря. Печі промислового виробництва прості в установці і надійні.

Цегляні печі теплоємність і ефективні навіть у люті морози. Мінус методу - складність самостійного будови.

Теплові гармати переважно використовують як резервне джерело тепла. Незважаючи на компактність і високий рівень ККД, агрегати не користуються великим попитом. Основна причина - високе енергоспоживання.

Залежно від застосовуваного джерела енергії, теплогенеруючі гармати бувають: електричні, газові і рідкопаливні.

У зимових промислових теплицях краще встановлювати газові гармати - їх теплової потужності досить для опалення великих площ. Цікаве рішення - комбіновані гармати, що працюють на тирсі, солярці або відпрацьованому машинному маслі. Устаткування дороге, але економія на паливі істотна.

Побудова цифрової економіки передбачає впровадження інформаційних технологій в усі сфери діяльності держави на різних рівнях. Одним з ключових напрямків є створення і практичне застосування сукупності програмно-апаратних рішень і роботизованих інтелектуальних технологій вирощування сільськогосподарських рослин в закритих системах («розумних теплицях»), дозволяють знизити витрати виробництва і підвищити продуктивність робіт. Практичне застосування зазначених технологій дозволяє комплексно вирішувати цілий ряд наявних і нових завдань обробки великих масивів даних в цифрову економіку і сприяти подоланню більшості технологічних бар'єрів.

Штучне середовище для вирощування рослин сприяє цілорічному зняттю врожаю. Серед систем автоматизації тепличних комплексів лідирує апаратно-програмне забезпечення Arduino, яке дозволяє роботизувати домашнє господарство навіть людям, мало розуміючим в електроніці.

Життєдіяльність рослин безпосередньо пов'язана з температурним режимом, вологістю, освітленістю і іншими факторами. Найменші відхилення в навколишньому середовищі негативно позначається на темпах зростання і врожайності. Дотримання строгих тепличних умов – кропіткий і трудомісткий процес, який потребує постійного контролю. Розумна теплиця своїми руками зводить до мінімуму людський участь, звільняє час і дозволяє управляти зростанням овочевих і фруктових культур на відстані.

Автоматизація створення і підтримки необхідних умов навколишнього середовища має на увазі управління: температурним режимом; поливом і збільшити обсяги виробництва; освітленням; підігрівом ґрунту; підкормкою CO₂.

Особлива роль відводиться моніторингу процесів, автономності та оперативної реакції на найменші відхилення.

Зчитування даних і зміна стану навколишнього середовища проводиться за допомогою датчиків і виконавчих пристроїв. Головну роль грає контролер, який пов'язаний з системою дистанційного керування. Кожен пристрій, що входить в робото-технічний комплекс, виконує певні функції. Устаткування розумної теплиці складається з систем:

- підтримки оптимального температурного режиму. Для зниження температури застосовуються актуатори. За допомогою цих пристосувань регулюється повітрообмін між приміщенням і зовнішнім середовищем. Отримуючи сигнал ззовні, кроковий двигун, пневматичний або гідравлічний пристрій призводить кватирку в необхідне положення. Відповідні сигнали генеруються датчиками температури і вітру;

- підігріву ґрунту. Оптимальна температура в теплиці досягається за допомогою терморегуляторів, тенів, електрокабеля або інших нагрівальних приладів, інтенсивність роботи яких залежить від команд температурних датчиків;

- поливу. Автоматизація поливу забезпечується сенсорами вологості (гігрометрами). З економічних міркувань система обладнується датчиками витрати води. Найпростіші пристрої представлені таймерами, які включають і вимикають зрошення в задані проміжки часу;

- освітлення. Система включає лампи і датчик освітленості, головною деталлю якого є фоторезистор. Формування керуючого сигналу відбувається за рахунок зміни опору в залежності від інтенсивності світлового потоку. Крім освітлювальних приладів, в регулюванні освітленості можуть брати участь автоматичні штори;

- контролю рівня CO₂. Відповідний датчик пов'язаний з вентиляторами, за допомогою яких приміщення звільняється від виробленого рослинами кисню. Підживлення рослин двоокисом вуглецю підвищує врожайність на 30%.

При уявній простоті, вибір обладнання для автоматизації тепличного господарства ускладнює навіть фахівців. Ідеальною умовою вважається підбір автоматики одного виробника. Оскільки цей критерій важкодоступний, перед тим, як автоматизувати теплицю необхідно:

- визначитися з її площею і призначенням (вирощувані культури);
- вирахувати кількість датчиків і виконавчих пристроїв;
- в залежності від попереднього пункту підібрати контролер або використовувати конструктор;
- вирішити питання з управлінням і контролем.

Для промислових теплиць великої площі сучасний ринок пропонує комплексні рішення, що забезпечують автоматизацію всіх основних процесів: опалення; вентиляції; контролю вологості; поливу; контролю вмісту в атмосфері вуглекислоти; підживлення рослин мінеральними добривами.

Система опалення теплиць в даному випадку є повноцінною котельню, яка працює на газі. Всі основні параметри - температури подачі і зворотки, робочий тиск в контурі водяного опалення, витрата газу - контролюються звичайним комп'ютером під керуванням ОС Windows.

Той же комп'ютер, оснащений дуже специфічним програмним забезпеченням, контролює за допомогою сервоприводів положення кватирок. Воно поєднується не тільки з внутрішньою температурою, але і з показаннями зовнішніх термодатчиків, з напрямком вітру, рівнем освітленості і кількістю CO₂ в атмосфері теплиці.

Для захисту від прямих сонячних променів служить рухливий теплозахисний екран. При нестачі світла включається локальна система освітлення.

Полив - крапельний. Разом з водою до коріння рослин подається автоматично дозована підгодівля.

Для рівномірного нагріву і вологості служить примусова вентиляція всередині теплиці. Вона може використовуватися і для повітрообміну з навколишнім простором.

Розумна теплиця - автономний, роботизований і ізолюваний від зовнішніх впливів сільськогосподарський об'єкт для отримання рослинницької продукції в автоматичному режимі, максимально мінімізує участь оператора, агронома, інженера.

Система оптимізує економіку об'єкта з урахуванням витрат і споживчої активності, дотримується екологічні та санітарно-гігієнічні регламенти, використовуючи цифрові технології (штучний інтелект, інтернет речей, RFID та ін.) з урахуванням агроекологічної оцінки гібридів і сортів рослин, аналізу ґрунтів, тощо.

Розробка сучасної комплексної і завершеною технології «Розумній теплиці», що базується на застосуванні інтернету речей (від захищеного зв'язку, сенсорів і носяться пристроїв до хмарних аналітичних систем) для виробництва продуктів харчування, які дозволять знизити витрати для вже існуючих комплексів без істотних фінансових вкладень в їх технічне переоснащення, або спроектувати інноваційні об'єкти.

Забезпечення стабільного зростання виробництва продукції рослинництва в захищеному ґрунті, отримання висококонкурентних субстратів і добрив, вітчизняних інноваційних систем (мікроклімат, освітлення, ефективне енергопостачання, універсальний модуль, харчування, автономність та ін.) Для закритого ґрунту, методів контролю якості продукції, сировини і продовольства, зниження енергоємності виробництва і збільшення поживної цінності овочів.

1.1.4. Стратегічні завдання реалізації проекту:

1. Розвиток інтелектуальних продуктів в області біоінженерії і закритих систем вирощування рослин.

2. Розробка автоматизованих систем збору, аналізу даних, а також віддаленого управління теплицями з застосуванням бездротових сенсорів, мікроелектронних комплексів з цифровим форматом обробки і передачі сигналів.

3. Розробка бездротових платформ для збору, передачі, обробки та візуалізації даних з промислових пристроїв інтернету речей для тепличного господарства.

4. Розробка методів і алгоритмів аналізу великих масивів даних для інтелектуального управління теплицями, моніторингу та прогнозування врожайності сільськогосподарських культур в тепличному господарстві.

5. Взаємодія з бізнесом в частині актуалізації освітніх програм, підвищення кваліфікації викладачів, створення центру можливостей для стартапів в області технологій інтернету речей і розумних теплиць для сільського господарства.

Цільові індикатори та показники:

- зниження витрат виробництва продуктів харчування в закритих системах із застосуванням технології «Розумна теплиця» - більш ніж на 15% порівняно з аналогами без застосування технологій;
- кількість об'єктів переоснащених з застосування елементів «Розумна теплиця», або спроектованих за технологією «Розумна теплиця» (од.) - понад 500 на рік закінчення проекту;
- зниження рівня імпортозалежності в виробництві овочів за рахунок впровадження "Розумних" теплиць більш ніж на 70% [3].

Недоліки з автономністю розумної теплиці вирішуються за допомогою акумуляторів, генераторів і ємностей з водою.

Найбільшою повагою користується розумна теплиця на Ардуіно. Головним компонентом плати-контролера є процесор, оснащений мікросхемою пам'яті. Використовувані для розумних теплиць схеми відрізняються марками процесорів і функціоналом.

Крім місцевого управління, розумна теплиця на Ардуіно надає можливість дистанційного контролю обладнання та обміну даними за допомогою пульта, мобільних гаджетів і персональних комп'ютерів. Як інтерфейс може використовуватися USB, Bluetooth, Wi-Fi, GSM і інтернет.

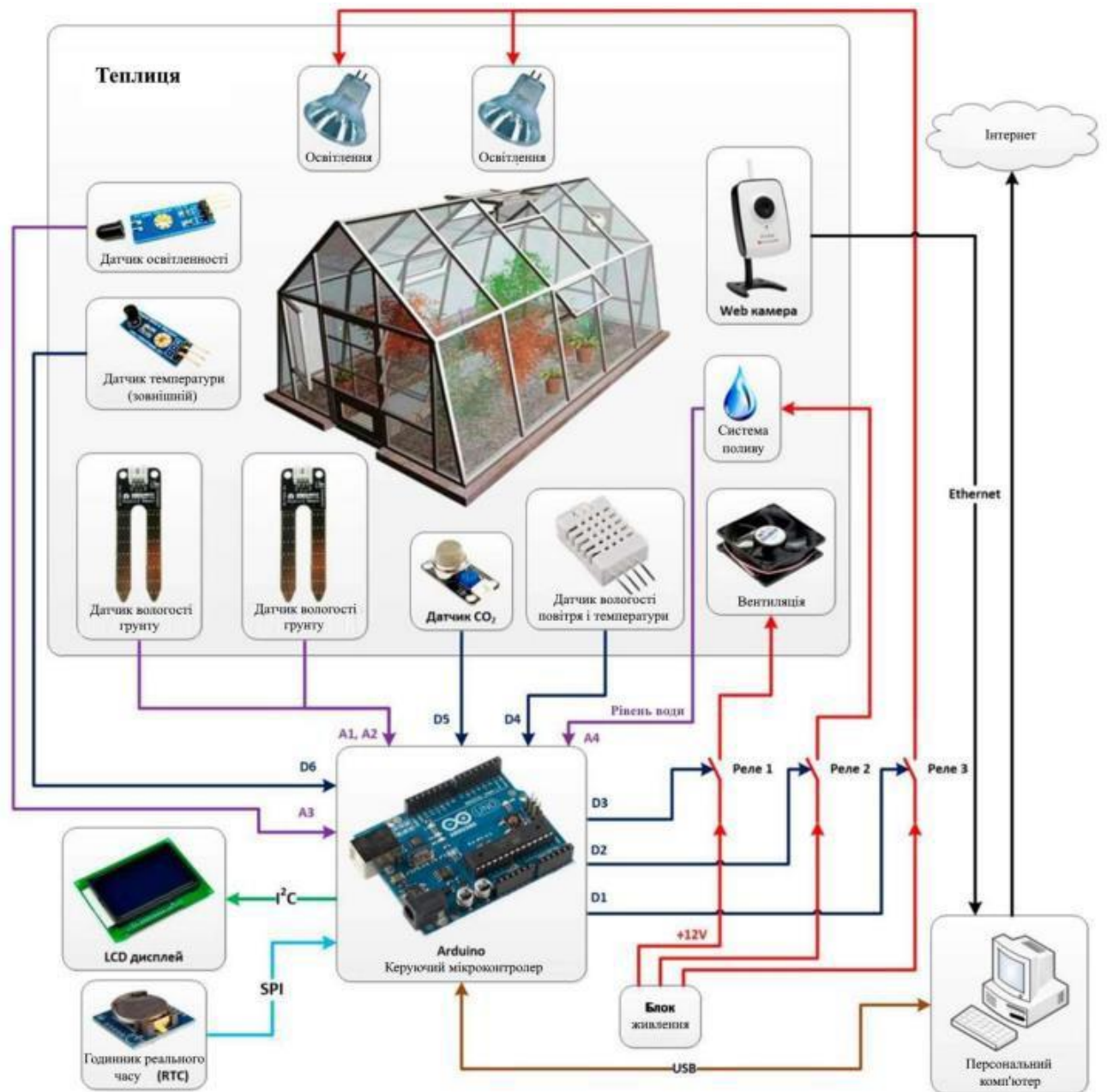


Рис. 1.3 - Структурна схема «Розумної теплиці»

Посередниками в даному процесі служать відповідні модулі та додатки, які представлені:

- RemoteXY;
- Blynk; 24
- Virtuino;
- Bluino Loader;
- Arduino Bluetooth Control та ін.

Контроль клімату Priva [4].

За допомогою садівничої автоматизації можна мінімізувати виробничі витрати. Потрібно швидко переглянути звіти про стан, для змоги контролювати температуру, вентиляцію, екрани, вентилятори, туман, освітлення, опалення та управління котлом. Тобто повинна бути можливість відповідно регулювати зрошення та запліднення, а також можливість встановити певні параметри, щоб система могла контролювати клімат та водні системи.

Щоб отримати максимальну віддачу від зростаючих систем та установок, обробний комп'ютер для інтеграції всіх даних про клімат та зрошення є важливою частиною вирощування. І вона повинна бути гнучкою та здатною адаптуватися до ваших очікувань та будь-яких змін, що попереду.

Системи Priva Nutri-line можуть функціонувати як автономний блок або управлятися централізовано за допомогою «обробного комп'ютера» Priva, також відомого як «кліматичний регулятор».

Це дозволяє ще більше зв'язати системи для перехресного посилення та управління параметрами, включаючи воду, рецептури поживних речовин, клімат та споживання енергії. Така управлінська інформація забезпечує широке розуміння та рішення на основі даних для оптимального виробництва рослинництва.

Інтерфейс мобільного додатку контролю клімату Priva зображено на рис. 1.5.



Рис. 1.4 - Інтерфейс додатку для контролю клімату Priva

Автоматичне управління теплицею особистого садового господарства «Розумна теплиця» [5]

Проблема теплиці вимагає щоденної уваги: відкрити двері, закрити, включити полив, вимкнути, включити опалення на ніч. Ціна помилки висока: пропустив два спекотних дня, і всі рослини в теплиці загинуть. Кожна поїздка типу «поїхати на дачу, полити» коштує від 1,5 години часу.

Рішення проблеми - автономний електронний пристрій, забезпечений датчиками і виконавчими механізмами, каналом зв'язку. Функція: підтримка вологості ґрунту і температури всередині теплиці в заданому, оптимальному діапазоні.

Складові системи: керуюча електроніка, GSM і Bluetooth модуль для управління і зв'язку, датчик температури і вологості повітря, водяний кран системи крапельного поливу, датчик фактичної подачі води, датчик вологості ґрунту, силове реле, електропривод стулки вентиляції, корпус, блок живлення, світлодіоди індикації.

Можливості пристрою: повністю автономна робота; підтримка температури повітря в заданому діапазоні; підтримка вологості ґрунту; віддалений моніторинг пристрою (показники температури і вологості, всі події та спрацювання передаються по мережі GSM і видно власнику в мобільному додатку); сигналізація власнику про будь-яких збоях (наприклад, перерва водопостачання, неможливість провентилувати, збій електроживлення); виконання команд (власник в будь-який момент може сам запустити будь-який механізм, або переналаштувати пристрій на нові параметри); управління по Bluetooth, якщо GSM мережу недоступна.

Розумна теплиця кожні п'ять хвилин передає на центральний сервер телеметрію і приймає звіт команди на виконання, якщо вони є. Власник теплиці бачить графіки зміни температури повітря та вологості. Знає, коли включався полив, відкривалися і закривалися двері. Можна в будь-який момент змінити бажані параметри клімату в теплиці, а також виконати будь-яку команду в примусовому режимі. Для передачі даних використовується GSM.

1.2. Дослідження технологій зв'язку

Дослідження технологій зв'язку є важливою складовою систем керування мікрокліматом смарт теплиць. Забезпечення надійного та швидкого зв'язку між різними елементами системи керування є критично важливим для забезпечення ефективної роботи та контролю мікроклімату в теплиці.

Серед технологій зв'язку, що використовуються в сучасних системах керування мікрокліматом смарт теплиць, можна виділити:

- **Wi-Fi** - ця технологія є дуже поширеною та доступною, вона дозволяє передавати дані з високою швидкістю та має високу стабільність зв'язку. Однак, вона має обмежену покриття та може бути вразлива до перешкод, таких як стіни та інші перешкоди.

• **Bluetooth** - ця технологія є досить поширеною в мобільних пристроях та інших пристроях з невеликою відстанню передачі даних. Вона має низький рівень споживання енергії, що є важливим для систем керування, що працюють від батарей. Однак, вона має обмежений радіус дії та може бути нестабільною зв'язком через перешкоди.

• **ZigBee** - ця технологія має низький рівень споживання енергії та може працювати на великій відстані від базової станції. Вона є досить стабільною та надійною, а також має можливість підключення великої кількості пристроїв. Однак, вона має меншу швидкість передачі даних порівняно з Wi-Fi.

• **LoRaWAN** - ця технологія є досить новою та дозволяє передавати дані на великі відстані з низькою швидкістю передачі даних. Це бездротовий протокол, який працює на низькій частоті і забезпечує з'єднання з вузлами, розташованими на відстані до кількох кілометрів від головного вузла зв'язку. Особливістю цієї технології є дуже низький рівень енергоспоживання, що дозволяє використовувати її для довгострокового моніторингу різних параметрів довкілля.

LoRaWAN використовується для створення мереж Інтернету речей (IoT), які можуть включати в себе різні пристрої, такі як датчики, реле та інші. Ця технологія дозволяє передавати дані на відстань до кількох кілометрів без необхідності використання складних антенних систем, що робить її особливо привабливою для застосування в галузі сільського господарства, включаючи дистанційне керування мікрокліматом смарт теплиць.

• **NB-IoT** - це технологія бездротового зв'язку, яка була розроблена спеціально для потреб Інтернету речей (IoT). Вона дозволяє передавати дані на великі відстані з використанням низької швидкості передачі даних, але з високою надійністю та ефективністю витрат енергії. NB-IoT використовується в різних сферах, включаючи системи керування мікрокліматом смарт теплиць, де вона може бути використана для збору даних та віддаленого керування системами контролю мікроклімату.

• **LTE-M** - є однією з найбільш перспективних для використання в системах Інтернету Речей (IoT) і має низькі витрати на передачу даних та високу швидкість передачі. Вона базується на стандарті LTE (Long-Term Evolution) і підтримує передачу даних на великі відстані до 100 км з низькими витратами енергії. Також, ця технологія має високу надійність, оскільки передача даних здійснюється через захищені канали зв'язку. Завдяки цим характеристикам, LTE-M може бути ефективно використана для забезпечення зв'язку в системах керування мікрокліматом смарт теплиць, де важливо забезпечувати надійну та швидку передачу даних на великі відстані з мінімальними витратами енергії.

1.3. Застосування нейронних мереж для контролю середовища теплиці

Застосування нейронних мереж для автоматизації процесу керування розумною теплицею може значно покращити ефективність та точність контролю мікроклімату та росту рослин. Нейронні мережі виявляються потужними інструментами машинного навчання, які можуть аналізувати складні залежності між вхідними сигналами (наприклад, температура, вологість, освітлення) та вихідними діями (наприклад, керування обігрівом, поливом, освітленням).

Одним з основних застосувань нейронних мереж в розумних теплицях є прогнозування оптимальних значень керуючих сигналів на основі попередніх спостережень та параметрів середовища. Наприклад, нейронна мережа може навчитися прогнозувати оптимальні часові розклади поливу рослин, регулювання освітлення чи контролю температури, щоб забезпечити оптимальні умови росту та збільшити врожайність.

Крім того, нейронні мережі можуть використовуватись для реалізації систем автоматичного керування, які здатні адаптуватись до змінних умов середовища. Наприклад, система керування може використовувати нейронну мережу для навчання на реальних даних про реакцію рослин на зміни умов, і потім самостійно приймати

рішення щодо керуючих сигналів, що забезпечуватимуть оптимальні умови росту рослин.

Переваги застосування нейронних мереж для автоматизації процесу керування розумною теплицею включають:

1. Прогнозування та адаптація: Нейронні мережі здатні прогнозувати оптимальні значення керуючих сигналів на основі аналізу даних, а також адаптуватись до змін умов середовища.

2. Висока точність: Нейронні мережі можуть досягати високої точності в прогнозуванні та керуванні, особливо якщо навчаються на великій кількості реальних даних.

3. Автоматизація: Застосування нейронних мереж дозволяє автоматизувати процес керування теплицею, зменшуючи необхідність в ручних втручаннях та оптимізуючи використання ресурсів.

4. Енергоефективність: Нейронні мережі можуть допомогти знизити споживання енергії, регулюючи керуючі сигнали відповідно до актуальних умов та потреб рослин.

Проте, важливо враховувати, що розробка та навчання нейронних мереж вимагає достатньої кількості даних та ресурсів, а також спеціалізованого експертного знання. Налаштування та оптимізація нейронних мереж також можуть бути складними завданнями. Тому, перед застосуванням нейронних мереж для автоматизації процесу керування розумною теплицею, рекомендується провести детальне дослідження та консультацію з експертами у галузі машинного навчання та сільського господарства.

Додатково, застосування нейронних мереж дозволяє вирішувати складні проблеми, які не завжди можуть бути формалізовані аналітичними методами. Нейронні мережі здатні виявляти складні залежності та нелінійні взаємозв'язки між вхідними та вихідними параметрами системи керування. Вони можуть адаптуватися

до змінних умов довкілля та враховувати динаміку системи, що забезпечує більш точне та гнучке управління.

Застосування нейронних мереж також може сприяти енергоефективності системи керування. Вони можуть використовуватись для оптимізації режимів роботи актуаторів, забезпечуючи оптимальне використання енергії та знижуючи витрати. Таким чином, система керування стає екологічно більш стійкою та ефективною.

Застосування нейронних мереж в системах керування мікрокліматом теплиці є одним з перспективних напрямків досліджень. Воно відкриває широкі можливості для автоматизації процесів, підвищення врожайності та оптимізації використання ресурсів. При цьому, важливо проводити відповідні дослідження та розробляти ефективні нейронні мережі, що враховуватимуть специфіку системи керування мікрокліматом теплиці та задачі, які потрібно вирішувати.

Крім того, застосування нейронних мереж дозволяє здійснювати прогнозування та адаптацію системи керування на основі зібраних даних. Нейронні мережі можуть вивчати залежності між вхідними параметрами (наприклад, температура, вологість, освітленість) та вихідними результатами (наприклад, рівень поливу, режим освітлення). Вони можуть самостійно виявляти складні закономірності та робити передбачення на основі цих залежностей.

Нейронні мережі також можуть бути використані для оптимізації режимів роботи системи керування. Вони можуть шукати оптимальні рішення, враховуючи обмеження та цільові функції. Наприклад, нейронна мережа може знаходити оптимальні налаштування для системи поливу, забезпечуючи достатній рівень вологості з урахуванням енергоефективності та економії води.

Іншим застосуванням нейронних мереж є адаптивне керування. Вони можуть вчитися на основі змінних умов довкілля та змінювати параметри керування для підтримки оптимальних умов у теплиці. Наприклад, якщо змінюється зовнішня

температура, нейронна мережа може автоматично адаптувати режими вентиляції та опалення для забезпечення стабільних умов усередині теплиці.

Застосування нейронних мереж для автоматизації процесу керування розумною теплицею дозволяє забезпечити більш точне, ефективне та гнучке управління мікрокліматом. Вони допомагають враховувати складні залежності та нелінійні взаємозв'язки, а також адаптуватися до змінних умов довкілля. Результатом є підвищена продуктивність, енергоефективність та якість вирощуваних рослин в розумній теплиці.

РОЗДІЛ 2 ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ТЕПЛИЦІ ДЛЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.

2.1 Розробка функціональної схеми теплиці для імітаційного моделювання

Моделювання системи слід розділити на декілька етапів:

- Аналіз об'єкта та умови роботи суб'єкта дослідження;
- Теоретичний аналіз сигналів і обробки інформації об'єкта;
- Визначення загальних вимог до системи.

Після цього можлива побудова фізичної моделі системи для аналізу можливостей використання системи автоматичного керування параметрами теплиці.

У випадку, коли використовується автоматизація, виникає необхідність в модернізації конструкції теплиці. Так як раніше було визначено, що домінуючими параметрами контролю є температура та вологість, то в нашому випадку функціональна схема теплиці має наступний вигляд (Рис. 2.1). При цьому структурна схема теплиці має вигляд (Рис. 2.2)[9].

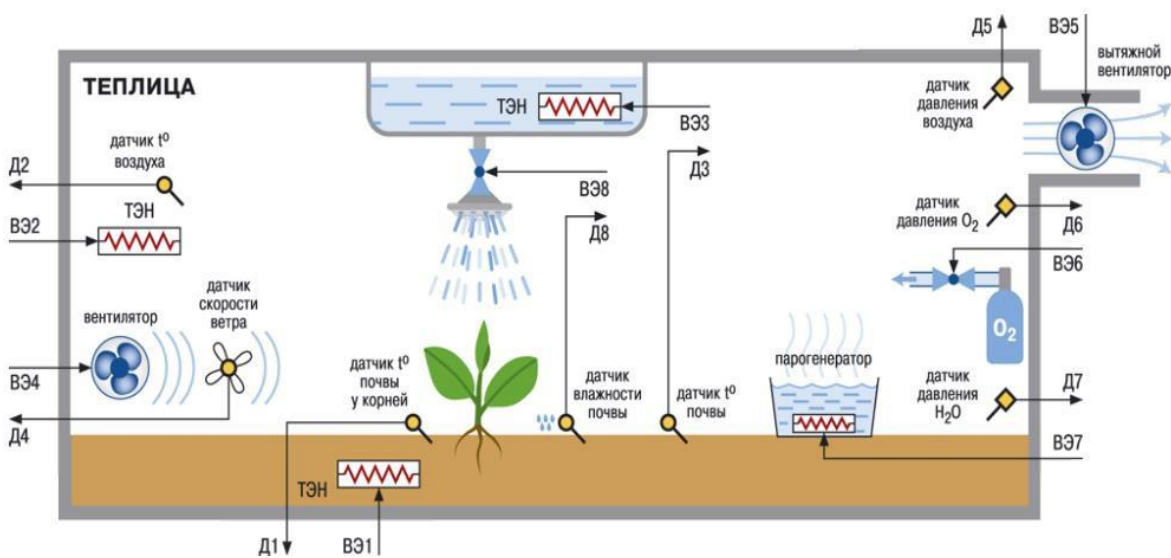


Рис. 2.1 Функціональна схема теплиці[9].

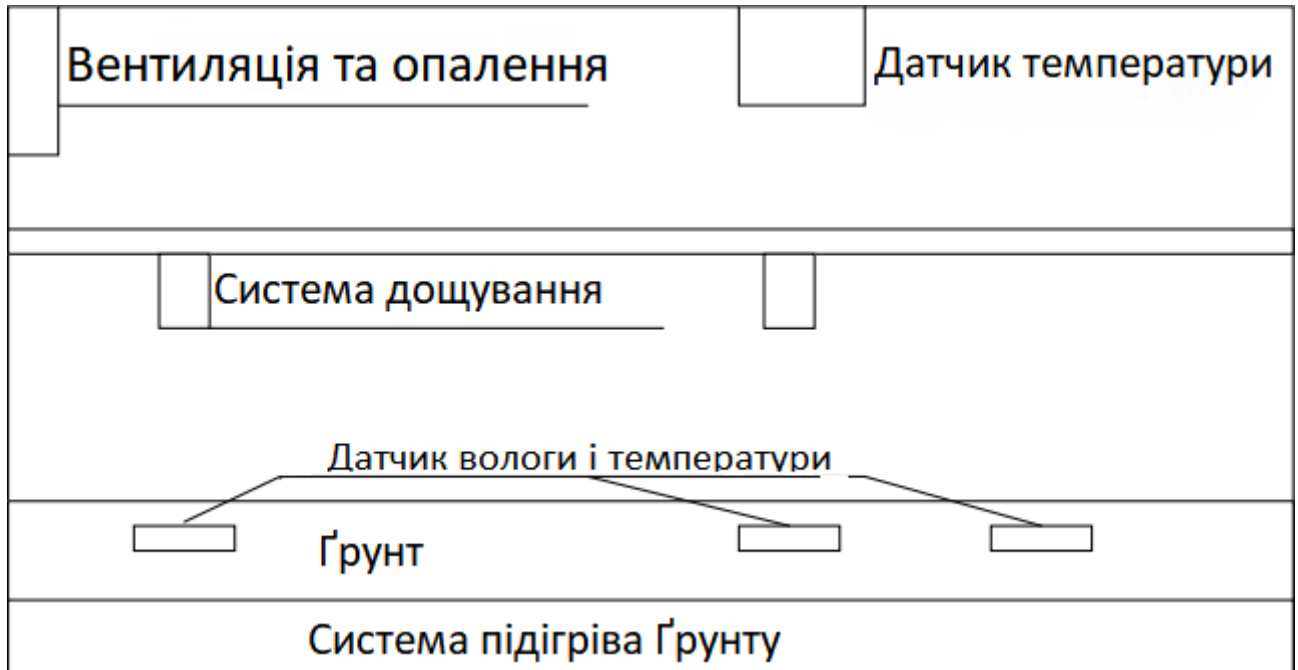


Рис. 2.2 Структурна схема теплиці

Функціональна схема теплиці для імітаційного моделювання може включати наступні основні компоненти:

1. Система датчиків: Включає датчики температури, вологості, освітлення та інших параметрів мікроклімату в теплиці. Ці датчики забезпечують збір даних про стан середовища в теплиці.

2. Мікроконтролер: Відповідає за збір даних з датчиків, обробку цих даних та прийняття рішень щодо управління параметрами мікроклімату. Мікроконтролер може бути програмованим для виконання різних алгоритмів управління.

3. Актуатори: Це різні пристрої, що впливають на мікроклімат в теплиці, такі як система поливу, система освітлення, система обігріву та вентиляції. Вони виконують команди, що надходять від мікроконтролера, для зміни параметрів середовища в теплиці.

4. Керуюче програмне забезпечення: Включає в себе алгоритми управління, які визначають оптимальні значення параметрів мікроклімату, такі як температура, вологість та освітленість. Це програмне забезпечення може бути встановлене на мікроконтролері або на підключеному комп'ютері.

5. Комунікаційна мережа: Використовується для передачі даних з датчиків до мікроконтролера та для передачі команд від мікроконтролера до актуаторів. Мережа може бути бездротовою, такою як Wi-Fi, Bluetooth або LoRaWAN, або дротовою.

6. Контроль та моніторинг: Включає в себе інтерфейс користувача, який дозволяє оператору теплиці відстежувати стан параметрів мікроклімату, налаштовувати параметри управління та отримувати сповіщення про події або помилки.

2.1.1 Система датчиків

Система датчиків в теплиці відіграє важливу роль у зборі даних про мікрокліматні параметри і допомагає в реальному часі контролювати середовище для оптимального росту рослин. Основні компоненти системи датчиків можуть включати:

1. Датчики температури: Вимірюють температуру повітря в теплиці, а також можуть бути розташовані на різних рівнях для вимірювання температури на різних висотах або в різних ділянках.

В табл.1 занесено характеристики різних датчиків.



Рис. 2.3 Бездротові датчики для вимірювання освітленості, температури та вологості повітря / ґрунту в теплиці.[6]

Характеристики датчиків (Табл. 1):

Таблиця 1

№	Параметри	Датчики температури і вологості повітря, освітленості	Датчик температури і вологості ґрунту / субстрату
1	Діапазон вимірювань	температура: -30 .. + 85 ° C вологість: 0..100% освітленість: 5 лк..150 клк	температура: -10 .. + 85 ° C вологість: 0..100%
2	Похибка вимірювання	± 0.5 ° C в діапазоні від -30 ° C до +85 ° C	± 0.5 ° C в діапазоні від -10 ° C до +85 ° C
3	Протокол передачі даних	LoRa	LoRa
4	Умови експлуатації (в яких умовах може працювати)	температура: -40 .. + 85 ° C вологість: 0..100%	температура: -40 .. + 85 ° C (датчик), -40 .. + 85 ° C (модуль) вологість: 0..100%
5	Рівень захисту	вологозахищений корпус, IP66	вологозахищений корпус, IP66

2. Датчики вологості: Вимірюють вологість повітря в теплиці. Це може бути важливо для контролю вологості навколишнього середовища та забезпечення оптимального рівня вологості для рослин.

3. Датчики освітленості: Вимірюють рівень освітленості або освітлення в теплиці. Це може бути корисно для контролю впливу світла на рослини та регулювання режиму освітлення відповідно до потреб рослин.

4. Датчики CO₂: Вимірюють рівень вуглекислого газу (CO₂) в теплиці. Це може бути важливо для контролю рівня CO₂ та забезпечення оптимального рівня кисню для рослин.

5. Додаткові датчики: Залежно від потреб вашого проекту, можуть використовуватись інші датчики, такі як датчики рН рівня ґрунту, датчики електропровідності, датчики рівня води та інші.

Ці датчики збирають дані про мікроклімат в реальному часі, які потім передаються до мікроконтролера або системи управління для подальшого аналізу, прийняття рішень та автоматичного керування параметрами мікроклімату в теплиці.

2.1.2 Мікроконтролер

Мікроконтролер є ключовим компонентом системи керування мікрокліматом в смарт теплиці. Він виконує обробку даних, приймає рішення щодо управління параметрами мікроклімату і взаємодіє з іншими компонентами системи. Основні функції мікроконтролера включають:

1. Збір даних: Мікроконтролер взаємодіє з датчиками, зчитує дані про температуру, вологість, освітленість, CO₂ і інші параметри мікроклімату. Він отримує ці дані для подальшої обробки. Характеристики контролеру наведені в табл. 2.



Рис. 2.4 Контролер для датчиків [7]

Характеристики контролера (Табл. 2):

Таблиця 2

№	Технічні характеристики	
1	Вхідна напруга	12-36 В
2	Акумулятор	3,6 В
3	Модулі передачі даних	Wi-Fi/GSM
4	Приймально-передавач	LoRa
5	Ізольований інтерфейс	RS485
6	Ступінь захисту	IP66
7	Габаритні розміри	160*90*50 мм
8	Захист	Від перенапруги на лінії RS485 Від перенапруги на вході

2. Обробка даних: Мікроконтролер виконує алгоритми обробки даних, які можуть включати аналіз, фільтрацію, нормалізацію та інші операції для отримання корисної інформації з датчиків.

3. Прийняття рішень: На основі оброблених даних, мікроконтролер приймає рішення щодо управління параметрами мікроклімату в теплиці. Наприклад, він може управляти системою поливу, системою освітлення, системою вентиляції та іншими актуаторами.

4. Комунікація: Мікроконтролер може взаємодіяти з іншими пристроями чи системами за допомогою різних інтерфейсів зв'язку, таких як бездротові технології Wi-Fi, Bluetooth, LoRaWAN, GSM або дротові інтерфейси, такі як UART, SPI, I2C

тощо. Це дозволяє передавати дані, отримувати команди або сповіщення з інших джерел, а також забезпечувати зв'язок з центральною системою управління.

5. Управління енергоефективністю: Мікроконтролер може використовувати різні стратегії для зменшення споживання енергії, наприклад, режими сну (sleep mode), пристрої з низьким споживанням енергії (low-power devices) або оптимізація роботи актуаторів.

При виборі мікроконтролера для системи керування мікрокліматом варто враховувати такі фактори, як потужність, швидкість, кількість входів-виходів (I/O), наявність необхідних інтерфейсів зв'язку та можливість програмування.

2.1.3 Актуатори

Актуатори є важливими компонентами системи керування мікрокліматом в смарт теплиці. Вони виконують дії зміни параметрів мікроклімату, які контролюються мікроконтролером або центральною системою управління. Основні види актуаторів, які можуть використовуватися в таких системах, включають:

1. Електромеханічні клапани: Використовуються для керування системою поливу або системою зрошення в теплиці. Вони відкривають або закривають водопостачання до системи залежно від сигналу від мікроконтролера або системи управління (Рис. 2.5).

2. Електромотори: Використовуються для руху вентиляторів, що забезпечують циркуляцію повітря в теплиці або випускного пристрою для регулювання температури теплиці.

3. Електронні реле: Використовуються для керування системою освітлення в теплиці. Вони дозволяють увімкнути або вимкнути освітлення відповідно до заданих умов або режимів.



Рис. 2.5 Електромагнітні клапани для поливання [8]

Характеристики:

- Діапазон робочого тиску — від 1,5 до 10 барів.
- Розміри різі (ВВ): 1" (25 мм), 1 1/2" (40 мм), 2" (50 мм).
- Найпопулярніший електромагнітний клапан, який призначений для експлуатації в чистій воді. Якщо у воді будуть дрібні частинки від 1 мм, є ризик зіпсувати мембрану, внаслідок чого клапан постійно пропускатиме через себе мінімальну кількість води. Має досить швидкознімну кришку, що дає змогу полегшити обслуговування клапана.
- У наявності моделі як із регулюванням, так і без регулювання потоку води.
- Пропускна здатність від 0,05 до 34 м (залежно від моделі).

4. Помпи: Використовуються для перекачування рідин або розподілу розчинів добрив у системі поливу. Вони контролюються мікроконтролером або системою управління для надання необхідного рівня зволоження рослинам.

5. Інші актуатори: Залежно від потреб проекту, можуть використовуватись інші типи актуаторів, такі як електронні заслінки для регулювання пропускнуої здатності світла, або системи нагнітачів для регулювання рівня CO₂ в теплиці.

Ці актуатори виконують команди, отримані від мікроконтролера або системи управління, та забезпечують реалізацію необхідних змін параметрів мікроклімату для оптимального росту рослин і підтримки їхнього здоров'я.

2.1.4 Керуюче програмне забезпечення

Керуюче програмне забезпечення є важливою складовою частиною системи керування мікрокліматом в смарт теплиці. Воно відповідає за управління всіма аспектами мікроклімату, збору та обробки даних, прийняття рішень і взаємодію з іншими компонентами системи. Основні функції керуючого програмного забезпечення включають:

1. Збір даних: Керуюче програмне забезпечення взаємодіє з датчиками для збору даних про температуру, вологість, освітленість, CO₂ та інші параметри мікроклімату. Воно отримує ці дані для подальшої обробки.

2. Обробка даних: Керуюче програмне забезпечення виконує алгоритми обробки даних, які можуть включати аналіз, фільтрацію, нормалізацію та інші операції для отримання корисної інформації з датчиків. Воно також може застосовувати алгоритми прогнозування для передбачення змін мікроклімату та впливу управління на нього.

3. Прийняття рішень: На основі оброблених даних, керуюче програмне забезпечення приймає рішення щодо управління параметрами мікроклімату в теплиці. Воно враховує задані параметри, режими роботи, вимоги рослин та інші фактори для прийняття оптимальних рішень.

4. Управління актуаторами: Керуюче програмне забезпечення взаємодіє з актуаторами, такими як клапани, мотори, реле та інші, для керування системами поливу, освітлення, вентиляції та іншими. Воно передає команди актуаторам залежно від прийнятих рішень.

5. Візуалізація та моніторинг: Керуюче програмне забезпечення може забезпечувати візуалізацію даних мікроклімату, стану актуаторів та інших параметрів на інтерфейсі користувача. Воно може також забезпечувати моніторинг роботи системи, виявлення несправностей та надання повідомлень про стан системи.

6. Керування та налаштування: Керуюче програмне забезпечення надає можливість налаштування параметрів системи, режимів роботи, графіків поливу, освітлення та інших. Користувач може змінювати налаштування для досягнення потрібного мікроклімату.

Усі ці функції реалізуються за допомогою програмного коду, який розробляється та виконується на мікроконтролері або на окремому сервері в залежності від архітектури системи керування.

2.1.5 Комунікаційна мережа

Комунікаційна мережа є важливим компонентом системи керування мікрокліматом в смарт теплиці. Вона забезпечує передачу даних між різними пристроями, такими як датчики, мікроконтролери, комп'ютери та інші елементи системи. Вибір оптимальної комунікаційної мережі залежить від вимог до швидкості передачі даних, відстані зв'язку, витрат енергії та інших факторів. Деякі з популярних комунікаційних мереж, які використовуються в сучасних системах керування мікрокліматом, включають:

1. Wi-Fi: Wi-Fi є широко поширеною бездротовою технологією зв'язку, яка надає швидку передачу даних і підтримує велику кількість підключених пристроїв.

Використання Wi-Fi може бути зручним в тих випадках, коли теплиця має доступ до мережі Інтернет.

2. Zigbee: Zigbee є комунікаційним протоколом, спеціально розробленим для мереж з низькими витратами енергії та малими відстанями зв'язку. Він підтримує мережеву топологію з вузлами, що спілкуються між собою, і може бути використаний для контролю датчиків та актуаторів в теплиці.

3. Bluetooth: Bluetooth є бездротовою технологією зв'язку, яка забезпечує короткі відстані передачі даних. Використання Bluetooth може бути зручним для локального зв'язку між пристроями в теплиці, наприклад, між мікроконтролером і смартфоном.

4. LoRaWAN: LoRaWAN є дальнодіючою бездротовою технологією зв'язку, яка дозволяє передавати дані на великі відстані з низькою швидкістю передачі та низькими витратами енергії. Це може бути вигідно для систем керування мікрокліматом у віддалених місцях або там, де немає доступу до інших мереж.

Кожна з цих технологій має свої переваги та обмеження, і вибір залежить від конкретних потреб і умов використання системи керування мікрокліматом в смарт теплиці.

2.1.6 Контроль та моніторинг

Контроль та моніторинг є важливою складовою частиною системи керування мікрокліматом в смарт теплиці. Ці функції дозволяють користувачу стежити за станом теплиці, отримувати інформацію про показники мікроклімату, активність датчиків та актуаторів, а також виявляти можливі несправності чи незвичайні ситуації.

Контроль та моніторинг можуть включати такі функціональні можливості:

1. Візуалізація даних: За допомогою графічного інтерфейсу користувач може переглядати дані про температуру, вологість, освітлення та інші параметри мікроклімату в теплиці. Інформація може бути представлена у вигляді діаграм, графіків чи таблиць, що дозволяє аналізувати зміни і виявляти тенденції.

2. Сповіщення та тривоги: Система може надсилати повідомлення або сповіщення користувачеві в разі виникнення несправностей, відхилень від заданих параметрів або критичних ситуацій. Це дозволяє оперативно реагувати на проблеми і приймати відповідні заходи.

3. Журнали та архіви: Система може зберігати історичні дані про мікроклімат, роботу актуаторів, налаштування та інші події. Це дозволяє проводити аналіз, виявляти тренди, а також відновлювати інформацію для подальшого дослідження чи аналізу.

4. Дистанційне керування: Користувач може віддалено керувати системою, змінювати налаштування, режими роботи та інші параметри. Це дозволяє адаптувати мікроклімат до потреб рослин або змінювати умови в залежності від зовнішніх факторів.

5. Аналіз та звітність: Система може надавати звіти, статистику та аналітику щодо роботи теплиці. Це допомагає оцінювати ефективність та продуктивність системи керування мікрокліматом.

Контроль та моніторинг можуть бути реалізовані через спеціальне програмне забезпечення, яке взаємодіє з датчиками, мікроконтролерами та іншими компонентами системи.

РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ ТЕПЛИЦІ

3.1 Система керування освітленістю

Система керування освітленістю в розумній теплиці має на меті забезпечити ефективне використання світла для фотосинтезу рослин, з мінімальним споживанням ресурсів. Основним завданням є збалансування концентрації вуглецевого газу (CO_2) та потужності освітлення ($I_{\text{світло}}$), необхідних для оптимального фотосинтезу рослин.

Одним зі способів керування потужністю випромінювання лампи є використання виразу Ван Хентена (3.1), який враховує співвідношення між концентрацією CO_2 та потужністю світла, необхідних для максимального фотосинтезу. Цей вираз можна представити як відношення чисельника до знаменника, поділеного на множник $c_{\text{rad, phot}} \times I_{\text{світло}}$ (3.4).

$$f_{\text{фотосинтез, max}} = \frac{\{c_{\text{rad, phot}} \times I_{\text{світло}} \times g_{CO_2} \times \rho_{CO_2} \times (CO_2 - \Gamma)\}}{\{c_{\text{rad, phot}} \times I_{\text{світло}} + g_{CO_2} \times \rho_{CO_2} \times (CO_2 - \Gamma)\}}, \quad (3.1)$$

де $c_{\text{rad, phot}}$ – ефективність використання світла – частка випромінювання, яке бере участь у процесі фотосинтезу, $[\text{кг} \times \text{Дж}^{-1}]$;

$I_{\text{світло}}$ – потужність фотосинтетично активного світлового випромінювання на одиницю площі поверхні теплиці, $[\text{Вт} \times \text{м}^{-2}]$;

g_{CO_2} – провідність листів для дифузії вуглецевого газу крізь їх поверхню, $[\text{м}/\text{с}]$;

ρ_{CO_2} – густина вуглецевого газу;

$\rho_{CO_2} = 1,83 \times 10^{-3} [\text{г} \times \text{м}^{-3}] = 1,83 \times 10^{-6} [\text{кг} \times \text{м}^{-3}]$;

CO_2 – концентрація вуглецевого газу в повітрі $[\text{ppm}]$;

Γ – точка компенсації вуглецевого газу, яка відповідає фотосинтезу при високому рівні освітленості [ppm]. Точка компенсації залежить від температури так:

$$\Gamma = c_{\Gamma} \times c_{\text{компенсації}}^{(T-20)/10}, \quad (3.2)$$

де c_{Γ} – точка компенсації вуглецевого газу при температурі 20 °C; $c_{\Gamma} = 40$ [ppm];
 $c_{\text{компенсації}}$ – коефіцієнт, що враховує вплив температури на точку компенсації;
 $c_{\text{компенсації}} = 2$.

Ефективність використання світла $c_{\text{rad,phot}}$ можна розрахувати за таким виразом:

$$c_{\text{rad,phot}} = c_{\text{компенсації}} \times (CO_2 - \Gamma)/(CO_2 + 2\Gamma), \quad (3.3)$$

де $c_{\text{ефективн}}$ – ефективність використання світла під час високої концентрації вуглецевого газу; $c_{\text{ефективн}} = 17 \times 10^{-6}$ [Г × Дж].

Таким чином, ресурсозберігаюча система керування освітленістю теплиці регулює потужність випромінення лампи таким чином, щоб забезпечити оптимальну концентрацію CO_2 та потужність світла для фотосинтезу рослин, використовуючи лише необхідну кількість ресурсів та максимально ефективно використовуючи сонячне світло.

$$f_{\text{фотосинтез, тх}} = g_{CO_2} \times \rho_{CO_2} (CO_2 - \Gamma) / \left\{ 1 + g_{CO_2} \times \rho_{CO_2} \times \frac{(CO_2 - \Gamma)}{(c_{\text{rad,phot}} \times I_{\text{світло}})} \right\}, \quad (3.4)$$

З вищезазначеного виразу можна отримати взаємозв'язок між концентрацією вуглецевого газу (CO_2) і потужністю світла ($I_{\text{світло}}$), які мають значний вплив на

процес фотосинтезу рослин. Але однією з проблем для встановлення такого зв'язку є відсутність даних про максимальну швидкість фотосинтезу.

Для розв'язання цієї проблеми ми можемо використати вираз (3.4) та провести моделювання цього процесу в середовищі Simulink. Це дозволить нам встановити залежність між концентрацією CO_2 і потужністю світла, а також вивчити вплив цих факторів на швидкість фотосинтезу.

Застосовуючи вираз (3.4) та проводячи моделювання в середовищі Simulink, ми матимемо можливість досліджувати цей процес та отримати важливі висновки щодо оптимальних значень концентрації CO_2 та потужності світла для досягнення максимальної швидкості фотосинтезу рослин.

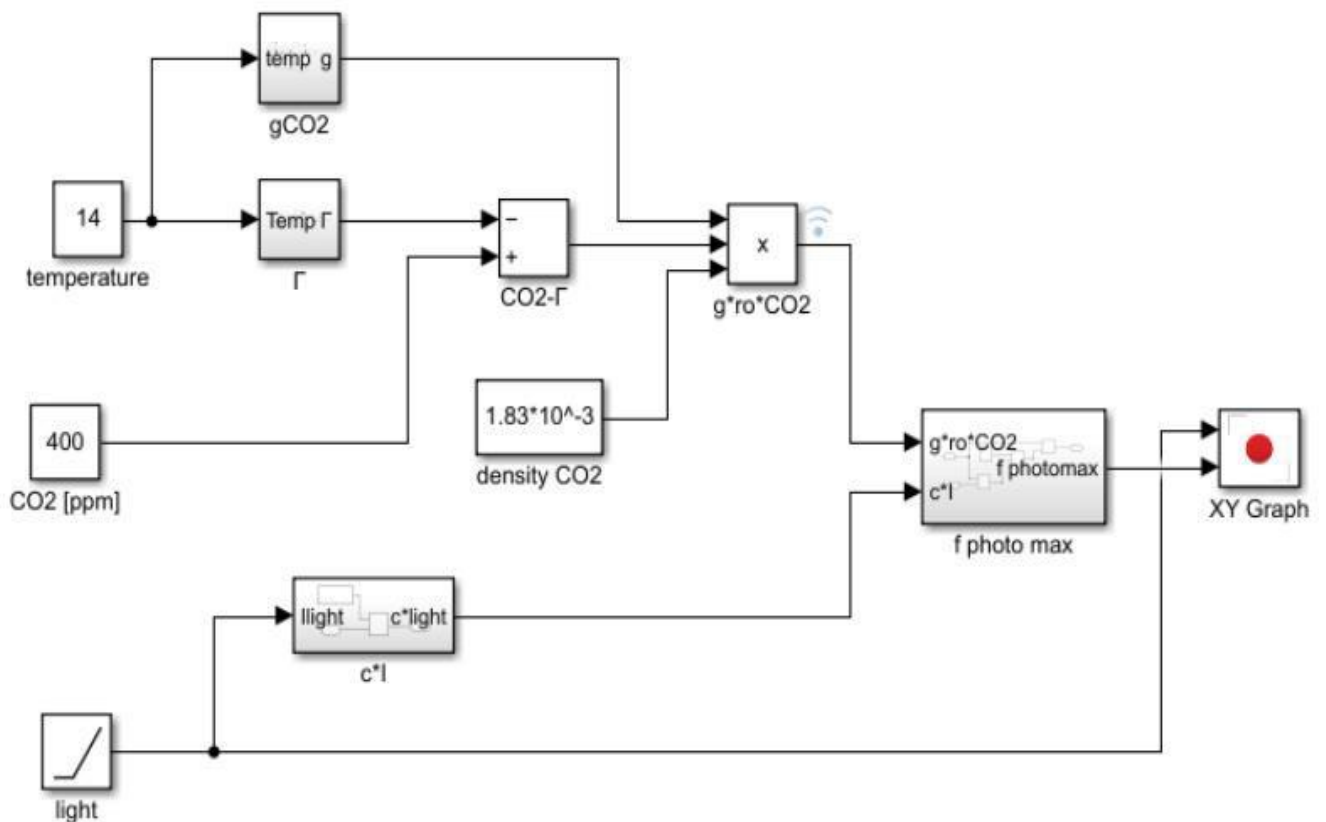


Рис. 3.1 Модель у Matlab Simulink, що реалізує вираз (3.4)

Підсистеми, використані в цій моделі, наведені на рисунках 3.2 – 3.5.

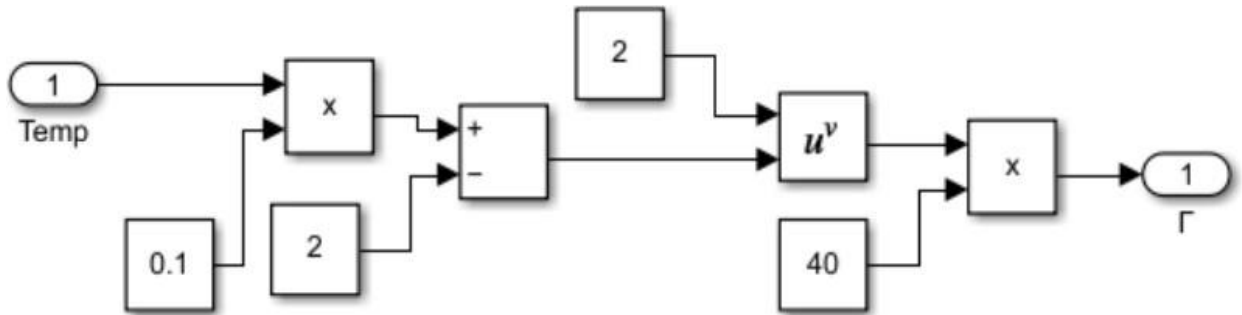


Рис. 3.2 Підсистема Simulink, що реалізує формулу (3.2)

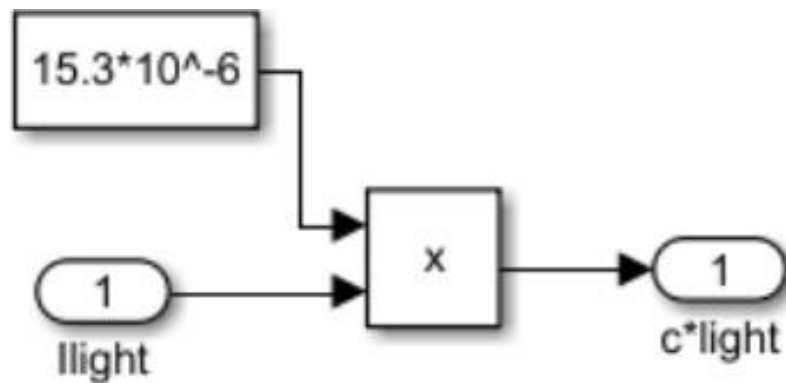


Рис. 3.3 Підсистема Simulink, що реалізує вираз $c_{rad,phot} \times I_{\text{світло}}$

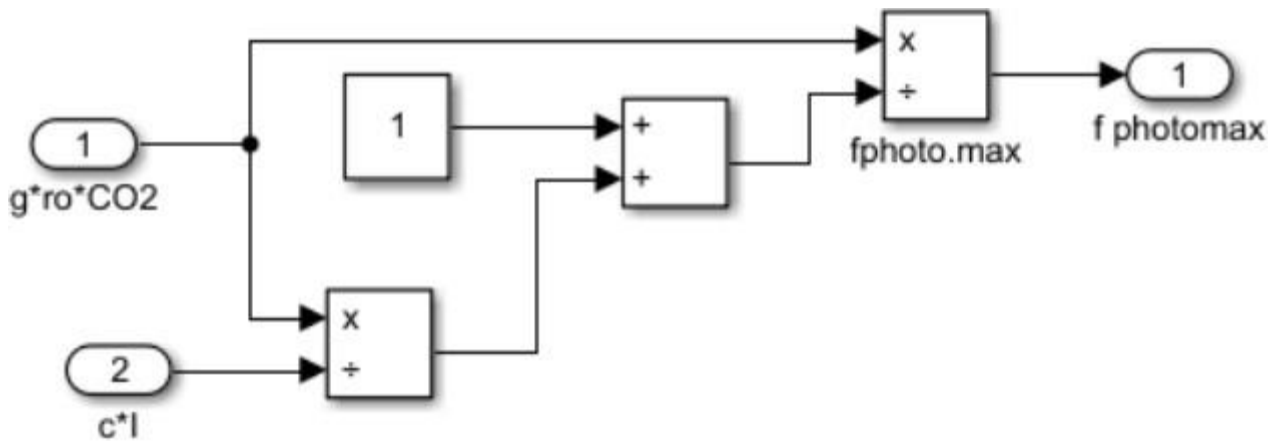


Рис. 3.4 Підсистема Simulink, що реалізує формулу (3.4)

3.2 Результати моделювання

Під час моделювання було досліджено залежність швидкості фотосинтезу від потужності світлового випромінення при різних значеннях концентрації вуглецевого газу. Для цього було побудовано графіки (рис. 3.5, 3.6, 3.7), які ілюструють цю залежність.

На графіках можна спостерігати, як змінюється швидкість фотосинтезу при збільшенні потужності світла при різних рівнях концентрації CO₂. Вони демонструють, як ефективно рослини використовують світлову енергію для фотосинтезу при різних умовах.

Ці графіки дозволяють нам зрозуміти, як взаємодіють ці два фактори та які є оптимальні значення потужності світла для досягнення максимальної швидкості фотосинтезу при різних рівнях концентрації CO₂. Вони також можуть допомогти

встановити оптимальні параметри для системи керування освітленістю теплиці з метою забезпечення оптимальних умов для фотосинтезу рослин.

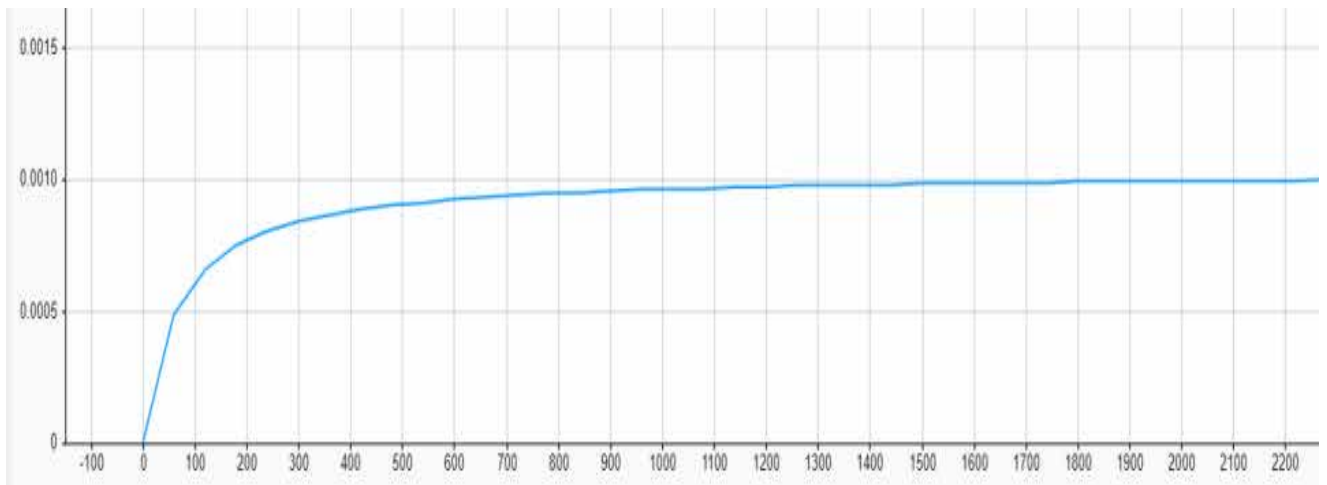


Рис. 3.5 Графік залежності швидкості фотосинтезу від освітленості при концентрації CO_2 , що становить 800 ppm

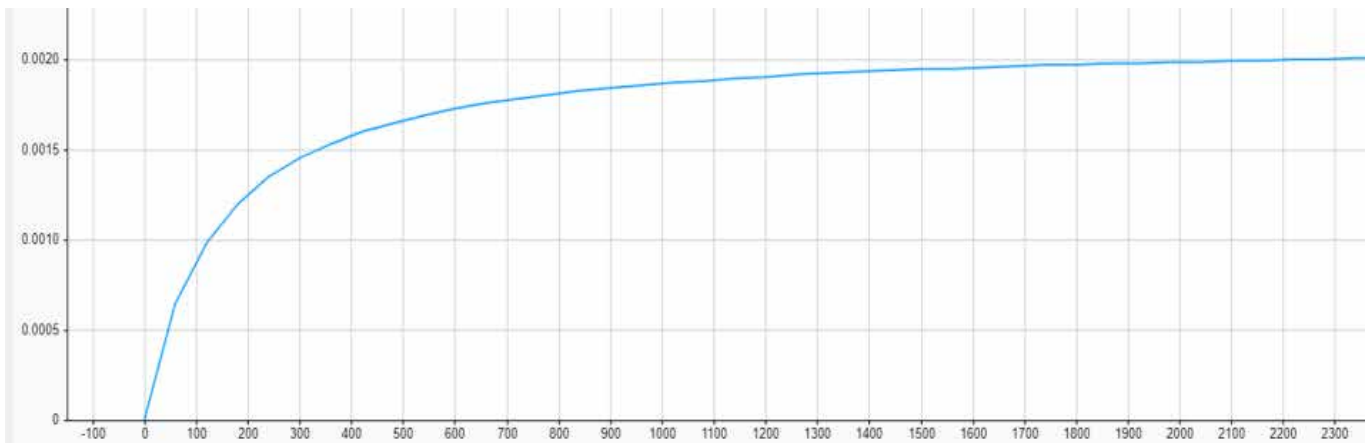


Рис. 3.6 Графік залежності швидкості фотосинтезу від освітленості при концентрації CO_2 , що становить 800 ppm

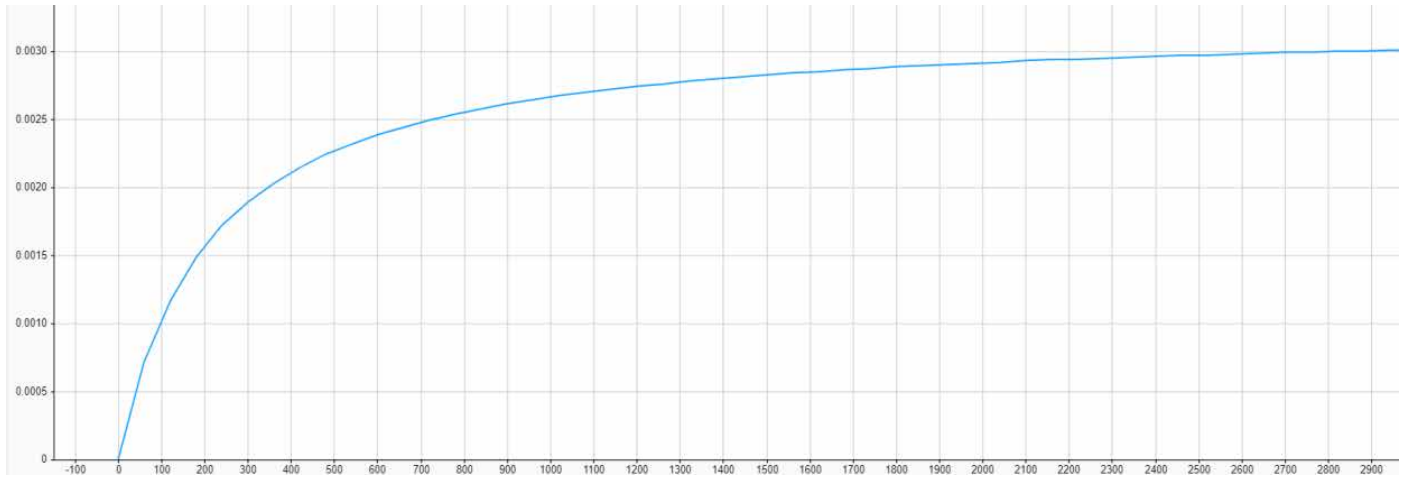


Рис. 3.7 Графік залежності швидкості фотосинтезу від освітленості при концентрації CO_2 , що становить 1200 ppm

Під час моделювання було проведено дослідження для різних значень концентрації вуглецевого газу, що варіювалися від 400 ppm до 1200 ppm з кроком у 200 ppm. Для кожної з цих значень було визначено потужність світла, при якій відбувалося насичення, тобто швидкість фотосинтезу майже не змінювалася при подальшому збільшенні потужності світла. Це свідчить про те, що додаткове збільшення потужності світла було недоцільним, оскільки це не мало значного впливу на швидкість фотосинтезу.

Результати досліджень, зібрані під час моделювання, були представлені в таблиці 3.1. У цій таблиці вказані значення концентрації CO_2 та відповідні потужності світла, при яких відбувалося насичення. Ці дані можуть бути використані для оптимізації системи керування освітленістю теплиці з метою досягнення ефективного фотосинтезу.

Таблиця 3.1 – Результати моделювання у Matlab Simulink

Концентрація CO_2 , [ppm]	400	600	800	1000	1200
Потужність світла, [Ватт / м ²]	700	1000	1400	1700	2100
Співвідношення	0,57	0,6	0,57	0,59	0,57

З аналізу таблиці 3.1 можна зробити висновок, що співвідношення між концентрацією вуглецевого газу і потужністю світла, що використовується для фотосинтезу, знаходиться в діапазоні від 0,57 до 0,6. Це означає, що для регулювання потужності світла на одиницю площі теплиці можна використовувати коефіцієнт 0,6, який залежить від концентрації CO_2 . Такий підхід дозволяє забезпечити оптимальні умови фотосинтезу з урахуванням потреби рослин у світлі і концентрації CO_2 .

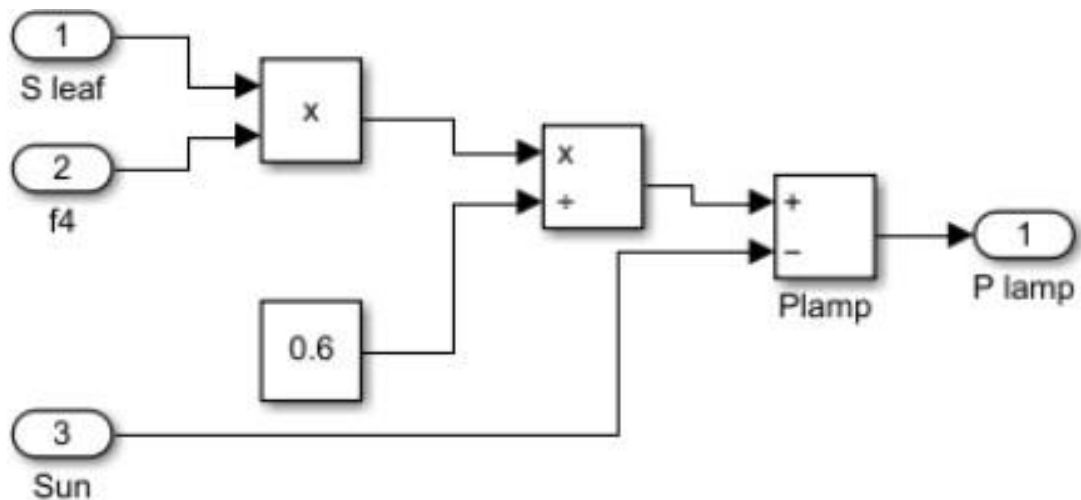


Рис. 3.8 Підсистема Simulink, що відповідає за керування потужністю лампи

Коефіцієнт зворотного зв'язку k в підсистемі $CO_2 = k * Q$ був встановлений після проведення моделювання з метою забезпечення відповідності потужності освітлення даним, представленим у таблиці 4.1. При концентрації вуглецевого газу 800 ppm, потужність становила 1416 Ватт / м², що на 16 Ватт / м² вище ніж вказано в таблиці. Схема підсистеми $CO_2 = k * Q$ наведена на рисунку 3.9.

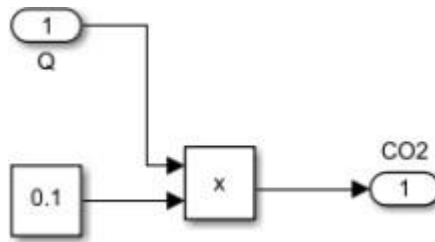


Рисунок 3.9 Підсистема $CO_2 = k * Q$ у Matlab Simulink

Блок "lamp saturation" використовується для врахування відключення лампи, коли сонячного випромінення є достатньо або надто багато для процесу фотосинтезу. Це дозволяє досягти ефективного використання ресурсів та забезпечити оптимальні умови для росту рослин.

Для перевірки адекватності моделі керування освітленістю в теплиці, проводилося зміну потужності сонячного випромінення і виведення цих змін у вигляді графіків. На графіку (рис. 3.10) можна спостерігати зміну потужності сонячного випромінення (пунктирна лінія) та потужності лампи (суцільна лінія). Це дозволяє оцінити, як модель реагує на зміни сонячного випромінення і відповідає, відключаючи або включаючи лампу відповідно до потреб фотосинтезу рослин.

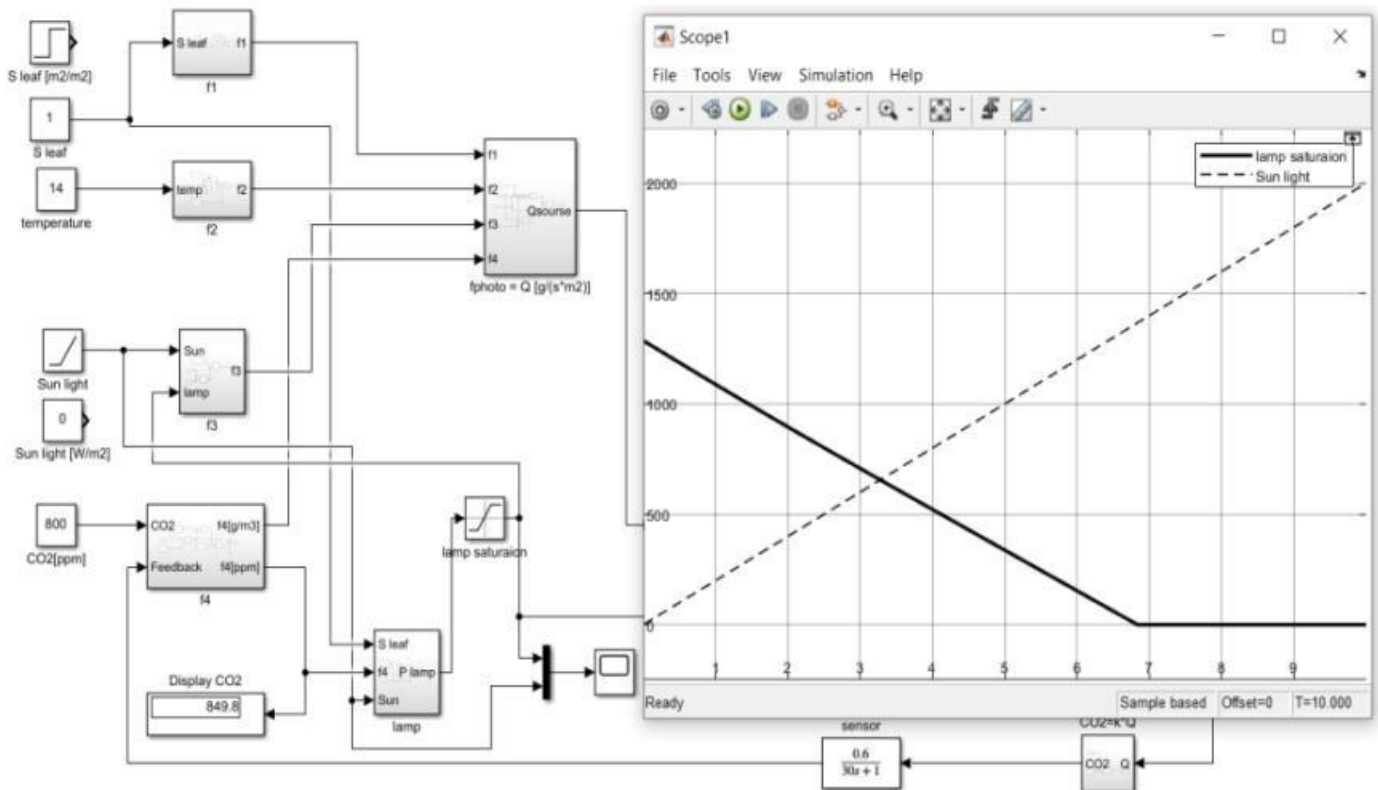


Рисунок 3.10 Моделювання системою керування освітленості в теплиці

На основі рисунку 3.10 можна зрозуміти, що при досягненні певного рівня потужності сонячного випромінювання, а саме 1416 Вт / м^2 , лампа вимикається. Це може бути обумовлено тим, що при такій високій потужності сонячного випромінювання, освітленість у теплиці вже достатня для проведення фотосинтезу рослин, і додаткове використання штучного освітлення втратить ефективність або може навіть бути непотрібним. Тому лампа вимикається, щоб зекономити енергію та забезпечити ефективне використання ресурсів.

ВИСНОВОК

У цій роботі було проаналізовано різні аспекти системи управління мікрокліматом системи захищеного ґрунту (теплиці), включаючи моделювання, дослідження та використання нейронних мереж. Отримані результати дозволяють оцінити важливість ефективного управління мікрокліматом для створення оптимальних умов для росту та розвитку рослин.

Основні висновки, які можна зробити, такі:

Розробка та впровадження комп'ютерної моделі системи управління мікрокліматом теплиці дозволяє досліджувати взаємозв'язки між різними параметрами та здійснювати ефективний контроль за умовами середовища в теплиці.

Використання нейронних мереж у системі управління підвищує точність та адаптивність системи, а також дозволяє автоматизувати процеси прийняття рішень.

Ефективне використання ресурсів є важливим аспектом системи управління, оскільки забезпечує оптимальне споживання енергії та інших ресурсів, підтримуючи лише необхідні умови для фотосинтезу та росту рослин.

Проведені дослідження та моделювання дозволяють визначити оптимальні значення параметрів, таких як концентрація CO₂ і потужність світла, що сприяють найбільш ефективному фотосинтезу та розвитку рослин.

Отже, застосування комп'ютерних моделей, досліджень і нейронних мереж у системі управління мікрокліматом теплиці сприяє створенню оптимальних умов для росту рослин, збереженню ресурсів і підвищенню продуктивності теплиці.

Використані джерела

1. Зимовий обігрів теплиці з полікарбонату [Електронний ресурс] // Ландшафтний дизайн дачної ділянки своїми руками. – Режим доступу: <https://101dizain.ua/postroiki/bit/varianty-obogreva-teplicy.html>
2. Зимова теплиця з обігрівом: Конструкція [Електронний ресурс] // Теплиці та парники своїми руками. – Режим доступу: <https://parnik-teplitsa.ua/zimnyaya-teplica-s-obogrevom-38>
3. Готові проекти розумної теплиці на ардуіно своїми руками - автоматика/контроллер: як автоматизувати системи в теплицях [Електронний ресурс] // Датчики для будинку - створюємо розумний будинок разом!. – Режим доступу: <https://datchikidoma.ru/ylichniye-datchiki/ymniye-teplitsy>
4. Контроль клімату Priva [Електронний ресурс] // AIS Greenworks. – Режим доступу: <https://www.aisgreenworks.com.au/priva-irrigation-fertigation-and-climate-control/>
5. Мікроклімат теплиці [Електронний ресурс] // fast-project.ru. – Режим доступу: <https://fast-project.ua/projects/smart-house/climate-control-greenhouses.html>
6. Бездротові датчики для теплиці: - [Електронний ресурс] // ПРОМИСЛОВІ ТА АГРАРНІ ТОВАРИ ДЛЯ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА. – Режим доступу: <https://euromag.biz/ua/p1006866358-besprovodnye-datchiki-dlya.html>
7. Контролер для датчиків: *ПРОМИСЛОВІ ТА АГРАРНІ ТОВАРИ ДЛЯ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА*. URL: <https://euromag.biz/ua/p1006873681-kontroler-dlya-datchikov.html>
8. Електроклапани для поливання • Інтернет-магазин поливу СпецПоливСервіс. Все для поливу і саду. Купити обладнання для поливу, монтаж автополиву під ключ. Автоматичний полив Hunter. URL: <https://poliv-service.kiev.ua/ua/a287335-elektromagnitnye-klapany-dlya.html>

9. Що таке розумна теплиця і як зробити автоматичне керування своїми руками URL: <http://teplіcno.ua/obustr/umnaya-teplica.html>
10. Контроль і вимірювання в технологічних та енергетичних системах : конспект лекцій / укладачі: С. В. Соколов, О. С. Соколов, С. С. Антоненко. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 242 с.
11. Process-based greenhouse climate models: Genealogy, current status, and future directions David Katzin, Eldert J. van Henten et al. *Agricultural Systems*, 198, 4 2022.
12. Modelling Crop Transpiration in Greenhouses: Different Models for Different Applications Nikolaos Katsoulas, Cecilia Stanghellini *Agronomy* 2019, 9(7), 392.
13. How Do Increased Carbon Dioxide Levels Affect Plant Growth? / URL: <https://csef.usc.edu/history/projects/J2321>
14. Липа О.І., Подмазко Н.О., Аль-Сагаф М.А. Аналіз сучасних проблем вологісної обробки повітря в системах комфортного кондиціонування. Збірник наукових праць 3-ї міжнародної науковотехнічної конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки і технології». — Одеса, 2003, с. 51 — 56
15. І. В. Редіна, А. В. Седова, П. Д. Челишкова – Застосування математичного моделювання для оцінки проектувальних рішень систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря//ВЕСТНИК – 02/2010
16. Кулік А.С. Конспект лекцій по курсу «Теорія автоматичного управління» / А.С. Кулік – Харков, ХАІ, 2014 – 2015.
17. Smart Greenhouse Market / URL: <https://www.alliedmarketresearch.com/smartgreenhouse-market>
18. Спеціалізована БД "Винаходи (корисні моделі) в Україні" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://base.uipv.org/searchINV/>

Комп'ютерна модель Simulink для системи керування освітленості в теплиці
 МОДЕЛЮВАННЯ

