

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 681.536.5:631.445.5

ПОГОДЖЕНО

Директор Інституту енергетики,
автоматики і енергозбереження
(назва Інституту)

В.В. Каплун
(ПІБ)
(підпис)

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри автоматики
та робототехнічних систем
ім. акад. Г.П. Мартиненка
(назва кафедри)

В.П. Лисенко
(ПІБ)
(підпис)

«__» _____ 2023 р.

«__» _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

02.06.-КМР.2067"С".2021.12-08.019.ПЗ

на тему «**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВДОСКОНАДЕННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПІДТРИМКИ МІКРОКЛІМАТУ В ТЕПЛИЦІ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ КОМПЛЕКСУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОВЕН**»

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(цифр і назва)

Магістерська програма: Комп'ютерно-інтегровані системи управління технологічними процесами у галузях АПК
(назва)

Гарант освітньої програми

Виконав

Керівник магістерської роботи

(підпис)

(підпис)

(підпис)

В.В. Коваль, д.т.н., професор
(П.І.Б., науковий ступінь та вчене звання)

А.О. Самовтор
(П.І.В студента)

Л.Є. Никифорова, д.т.н., проф.
(П.І.Б., науковий ступінь та вчене звання)

КИЇВ-2023

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

автоматики та робототехнічних
систем ім. акад. І.І. Мартиненка

В.П. Лисенко

2023 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ
(бакалаврської, дипломної)

Самовтору Андрію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність: 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Магістерська програма: Комп'ютерно-інтегровані системи управління
технологічними процесами у галузях АПК

Тема магістерської роботи «ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ
КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ
ПІДТРИМКИ МІКРОКЛІМАТУ В ТЕПЛИЦІ З ВИКОРИСТАННЯМ
КОМПЛЕКСУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОВЕНЬ»

затверджена наказом ректора НУБІП України від 08.12.2021 року №2067 «О»

Термін подання студентом магістерської роботи 15.05.2023 року

Вихідні дані до магістерської роботи: завдання кафедри на виконання
магістерської роботи; нормативні документи по проектуванню об'єктів
автоматизації; матеріали дослідження та аналізу; наукова література з
тематики магістерської роботи.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз технологічного процесу вирощування овочів у промисловій теплиці як об'єкта автоматизації.
2. Математичне моделювання температурного режиму в промисловій блочній теплиці.
3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань.
4. Розробка цифрової системи керування.
5. Схеми системи автоматизації.
6. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Дата видачі завдання «10» грудня 2021 року

Керівник магістерської роботи

(Підпис)

Никифорова Л.С.

(Прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(Підпис)

Самовтор А.О.

(Прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| Вступ | 4 |
| РОЗДІЛ 1. Аналіз технологічного процесу вирощування овочів у промисловій теплиці як об'єкта автоматизації | 7 |
| 1.1. Конструктивні особливості споруд закритого ґрунту | 7 |
| 1.2. Системи технологічного та інженерного обладнання для створення мікроклімату у промисловій теплиці | 10 |
| 1.3. Енергозберігаючі технології у тепличному господарстві | 19 |
| РОЗДІЛ 2. Математичне моделювання температурного режиму в промисловій блочній теплиці | 22 |
| РОЗДІЛ 3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань | 46 |
| 3.1. Функціональна схема автоматизації системи керування параметрами мікроклімату у промисловій теплиці | 46 |
| 3.2. Вибір алгоритму керування | 47 |
| 3.3. Реалізація алгоритму керування | 50 |
| 3.3.1. Вибір ПЛК | 50 |
| 3.3.2. Вибір датчика температури | 51 |
| 3.3.3. Вибір виконавчого механізму системи керування температурним режимом у теплиці | 52 |
| РОЗДІЛ 4. Розробка цифрової системи керування | 55 |
| 4.1. Визначення часу квантування сигналів цифрової системи | 55 |
| 4.2. Дослідження цифрового ПІ-регулятора | 57 |
| РОЗДІЛ 5. Схеми системи автоматизації | 61 |
| 5.1. Розробка схеми електричної принципової системи автоматичного керування параметрами мікроклімату в промисловій теплиці | 61 |
| 5.2. Нейронна мережа | 63 |
| 5.3. SCADA-система | 67 |
| РОЗДІЛ 6. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях | 70 |
| 6.1. Система управління охороною праці на підприємстві | 70 |
| 6.2. Основи стійкості роботи об'єктів | 77 |
| 6.3. Оцінка можливості виникнення пожеж на об'єкті | 78 |
| ЛІТЕРАТУРА | 81 |

ВСТУП

НУБІП України

Актуальність теми. Висока залежність економіки України від

паливно-енергетичних ресурсів, геополітична складова процесу їх

забезпечення та нестабільність ринкових цін суттєво впливають на

конкурентоспроможність вітчизняних виробників овочевої продукції і

визначають специфічні особливості їх функціонування. В умовах інтеграції

національної економіки у світову зазначена ситуація зумовлює зниження

ефективності діяльності аграрних підприємств в Україні, насамперед,

внаслідок зростання витрат на енергоносії у структурі собівартості їх

продукції. Окрім цього, швидке підвищення цін на матеріальні й енергетичні

ресурси значно випереджає зростання цін на продукцію тепличних

господарств, що суттєво ускладнює розвиток сільськогосподарського

виробництва. Наведені проблемні питання, багатofакторність впливу

процесів споживання паливно-енергетичних ресурсів українськими

виробниками, широке коло зацікавлених у їх діяльності сторін, обумовлюють

актуальність забезпечення енергонезалежності шляхом підвищення

енергоефективності та вимагають розробки відповідних підходів до

енергозбереження.

Тепличне овочівництво є складною наукомісткою галуззю і вимагає

постійного аналізу виробничо-економічних показників роботи зимових

теплиць, скорочення енерговитрат на виробництво овочів закритого ґрунту та

впровадження сучасних технологій. За кількістю одержуваної овочевої

продукції 1га закритих теплиць відповідає 20-30га овочів відкритого ґрунту,

а за вартістю овочевої продукції – 100га [2].

Згідно із законом України "Про енергозбереження" [34] заходи для

його забезпечення, зокрема, передбачають: комплексне застосування

економічних важелів та стимулів для орієнтації науково-технічної,

управлінської та господарської діяльності підприємств, установ і організацій

на раціональне використання і економію паливно-енергетичних ресурсів; визначення джерел і напрямів фінансування енергозбереження; створення бази для реалізації економічних заходів управління енергозбереженням; використання системи державних стандартів у сфері енергозбереження; надання юридичним і фізичним особам субсидій, дотацій, податкових, кредитних та інших пільг для стимулювання розробок, впровадження патентних винаходів та використання енергозберігаючих технологій, матеріалів, устаткування.

Важливим елементом ефективного використання сучасних промислових теплиць є оптимізація складових для керування режимами мікроклімату теплиць, мінерального живлення, а також генетичного потенціалу продуктивності гібридів.

Вирощування рослин на поживних розчинах дозволяє зменшити затрати виробничих ресурсів, що пов'язано з використанням ґрунту (замість ґрунту використовують штучні субстрати). Нині великі виробничі площі з вирощування овочів на поживних розчинах у закритих спорудах є у ряді областей України: Київській, Харківській, Черкаській, Рівненській, Тернопільській.

Найбільше гідропонне підприємство в Україні – ПАТ "Комбінат Тепличний" Броварського району Київської області. Тут площа закритого ґрунту становить 47,2 га.

Останнім часом із зростанням площі на овочеву продукцію та намаганням збільшення обсягів вітчизняного виробництва, українські тепличники стикнулися із здороженням енергоносіїв, зокрема природного газу. В результаті доля енергоресурсів у собівартості продукції складає такі значення, що рентабельність тепличних господарств знизилася майже втричі нанівець, а деякі комбінати, зокрема ПАТ "Комбінат Тепличний", взагалі згорнули виробництво. Поєднання несучих конструкцій теплиці із системою водяного шатрового опалення, розташованою у верхній зоні споруди, призводить до істотного збільшення енерговитрат на обігрівання теплиці. Це змушує великі тепличні комбінати до переходу на вирощування овочевої

продукції із зимово-весняного на весняно-літнє, і поряд із необхідністю зниження втрат теплової енергії через перекриття постає проблема усунення перегрівання рослин в об'ємі теплиці.

Тому ефективність тепличних господарств значною мірою залежить від запровадження сучасних технологій і менеджменту енергозбереження, і питання пошуку альтернативних джерел енергії та дієвих організаційно-економічних заходів ефективного використання виробничих ресурсів і природно-кліматичних умов виробництва продукції закритого ґрунту є актуальними і своєчасними.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 1

НАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОЩУВАННЯ ОВОЧІВ У ПРОМИСЛОВІЙ ТЕПЛИЦІ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1. Конструктивні особливості споруд закритого ґрунту

Теплиця представляє собою найдосконалішу промислову споруду, що має свою власну аграрну екосистему, на яку не впливають негативні фактори зовнішнього середовища. Основна ціль даної споруди є висока врожайність протягом усього року, незалежно від зовнішніх кліматичних умов. На відміну від парникових споруд теплиця є значно більшою і представляє собою комплекс, який зможе забезпечити більший спектр можливостей.

Є декілька способів класифікувати теплиці:

1. За призначенням (розсадні, селекційні, овочеві, оранжереї, об'єднані).
2. За терміном використання (протягом усього року або сезонні).
3. За конструкцією (аграрні або блочні).
4. За технологічним виконанням (гідропоніка, степаж, фітотрони, ґрунтові).
5. За системою обігріву (повітряний, водяний).
6. За матеріалом стінок (плівка, скло, полімери).
7. За профілями (односхильні, двосхильні).
8. За матеріалом каркасу (дерево, полімери, метал).
9. За каркасом (куполподібні, багатокутні, аркові).
10. За розмірами (промислові, фермерські, індивідуальні).

На рис. 1.1 показані теплиці блочного типу, що призначені для вирощування овочів, фруктів та інших культур. Такі сучасні теплиці спроможні забезпечити врожайність томатної культури від 60 до 65 кілограмів з 1 м², а огіркової – від 30 до 45 кілограмів з 1 м².



Рис. 1.1. Блочна теплиця

Однією з найважливіших частин тепличної споруди є каркас.

Найчастіше розробники використовують оцинковані сталеві конструкції. Причин на це декілька – вони міцні, захищені від корозії через цинкування, не потребують фарбування; не підвлясні гниттю та шкідникам; стійкі до високої вологості у теплиці. Стінки теплиці у більшості випадків виконують з прозорого матеріалу – скла, полімерів або плівки. Бетонний фундамент та залізобетонний цоколь забезпечують міцність споруди. Схема блочної теплиці на рис. 1.2.

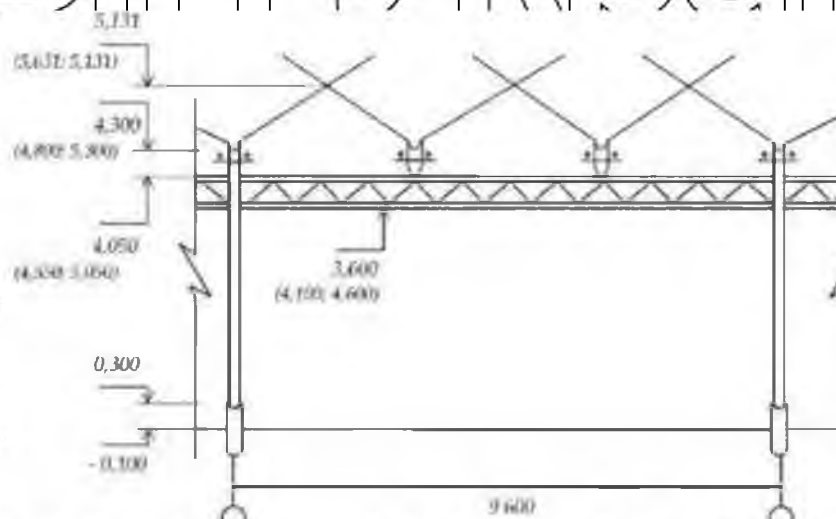


Рис. 1.2. Схема блочної теплиці

Під час проектування споруди слід взяти до уваги погодні умови

регіону, а саме:

- опади;
- швидкість вітру;

НУБІП України

освітленість;
температурний режим;
Не слід залишати без уваги й інші показники місцевості, де планується звести теплицю:

НУБІП України

грунт;
наявність водопостачання;
комунікації
Якщо брати до уваги, що теплиця, яку я розглядаю у даній роботі, знаходиться у Київській області, то для неї слід орієнтуватися на показники, зазначені на рис. 1.3)

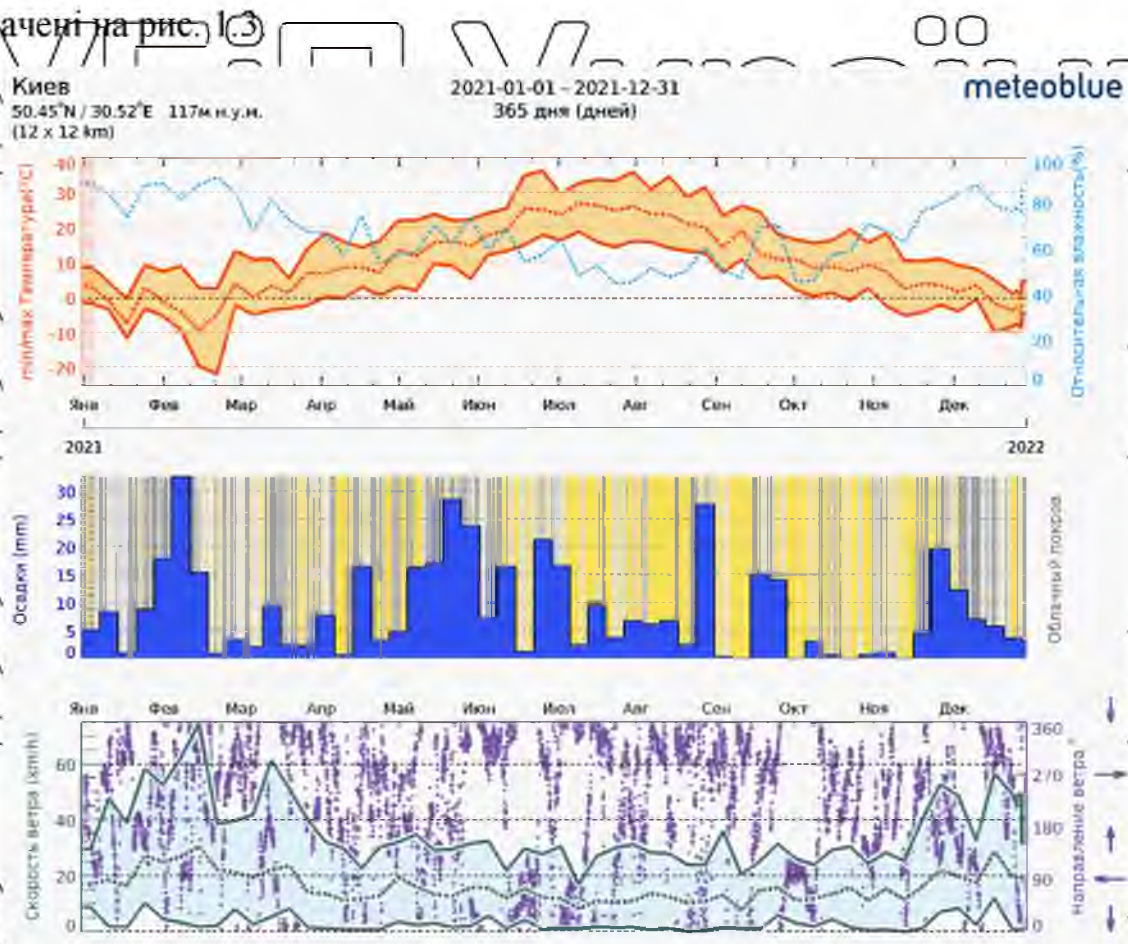


Рис. 1.3. Кліматичні показники

Також існує необхідність передбачити сучасні технології та рішення, що вони пропонують задля забезпечення збільшення врожаю, економії енергетичних ресурсів, зниження вартості продукції, використання вкладених коштів, збереження навколишнього середовища, оскільки зараз потрібно

будувати тепличні комплекси, враховуючи можливості, які дають альтернативні джерела енергії.

Дотримуючись усіх наведених вище факторів, необхідно дотримуватись і вимог до спорудження теплиць, що написані у таких документах, як: ДБН Б.24-3-95 «Генеральні плани сільськогосподарських підприємств»; СНіП 2.09.02-85; СНіП 2.09.04-87.

1.2. Системи технологічного та інженерного обладнання для створення мікроклімату у промисловій теплиці

У тепличних комплексах відбувається повний процес вирощування рослин – від посіву до отримання овочевої продукції. Кожний етап має технологічні особливості і для його реалізації використовується значні обсяги енерговитрат.

Обладнання теплиць складається з таких систем: для обігріву ґрунту й повітря; зрошення; внесення рідких мінеральних добрив та позакоренових підживлень, подачі вуглекислого газу, вентиляції, зашторювання, систем для функціонування побутових приміщень.

Дані про температуру, вологість та інші фактори росту рослин у теплицях передаються датчиками на пульт керування, де зосереджено апаратуру керування автоматикою й контролю за її роботою.

Тепловий режим. Система опалення споруд закритого ґрунту включає в себе: котельню з двома котлами потужністю по 8 тис. кВт, 18 насосів для подачі та розподілу теплоносія в шатрі теплиці загальною потужністю 35 кВт та тепломережу. Вентилювання повітря забезпечується двома шляхами: природнім – за допомогою відкриття фрагуг, та примусовим – з використанням вентиляторів. Споживча потужність мотор-редукторів, що

відкривають чи закривають фрамуги, складає 18,5 кВт, потужність вентиляторів – 1,2 кВт.

Водний режим забезпечується різними системами зрошення (надгрунтове, підгрунтове, крапельне). Режим підживлення забезпечується підтриманням необхідної концентрації мінеральних добрив. Потужність системи підготовки живильного розчину складає 93 кВт.

Газовий режим в атмосфері споруди закритого ґрунту передбачає контроль і підтримання концентрації вуглекислоти на рівні 0,1–0,35%.

Потужність двигуна подачі CO₂ становить 11 кВт.

Світловий режим. Для додаткового доосвітчування при вирощуванні розсади в спорудах закрито ґрунту використовують штучне освітлення.

Таблиця 1.1.

Технічні характеристики обладнання електротехнічного комплексу

| Технологічний процес | Назва обладнання | К-ть, шт. | Потуж., кВт | Призначення |
|----------------------|---------------------|-----------|-------------|---|
| Тепловий режим | Котел | 2 | 1600 | Нагрів теплоносія |
| | Циркуляційний насос | 18 | 35 | Подача теплоносія всередину теплиці |
| Вентилювання | Мотор-редуктор | 8 | 18,5 | Відкриття/закрита фрамуг |
| | Вентилятор | 10 | 1,2 | Циркуляція повітря в шапці теплиці |
| Водний режим | Циркуляційний насос | 9 | 93 | Подача живильного розчину до рослин, дренаж |
| Газовий режим | Циркуляційний насос | 2 | 11 | Підтримання концентрації CO ₂ |
| Зашторювання | Мотор-редуктор | 4 | 9,2 | Підняття/опускання штор |

Технологічний аналіз обладнання теплиць.

Система опалення складається з таких елементів як:

- котельня;

буфер;
розширювальна система;
транспортна група;

- змішувальна група;

- тепломережа.

Котельня включає в себе 2 водогрійних котла, горілку економайзер.

Економайзер призначений для підвищення ККД котла, за рахунок додаткового нагрівання теплоносія продуктами згорання газу та його охолодженні при отриманні CO₂. Теплоносій подається до економайзера через циркуляційний насос, встановлений на вході економайзера.



Рис. 1.4. Загальний вигляд водогрійного котла

Буфер запасає надлишкову енергію. Коли котел працює на виробіток CO₂, а в теплицю подача тепла не виконується, то нагрітий теплоносій накопичується у ємнісний буфер, звідки при потребі першочергово збирається для подачі теплоносія до теплиці.

Розширювальна система призначена для підтримки робочого тиску в системі. Компресор підіймає тиск, автоматичний клапан скидає надлишковий тиск.

Транспортна група призначена для подачі теплоносія. Складається із двох колекторів подачі і повернення теплоносія. До складу транспортної

групи входять циркуляційні насоси, трьох ходові клапани, датчики вимірювання, регулятори.



Рис. 1.5. Загальний вигляд транспортної групи

Змішувальна група розміщена безпосередньо всередині теплиці і призначена для подачі води в кожний контур опалення. До складу змішувальної групи входять циркуляційні насоси, трьох ходові клапани, датчики вимірювання, регулятори.



Рис. 1.6. Загальний вигляд змішувальних груп

Тепломережа. У теплиці використовуються система з розподілом контурів опалення. Кількість контурів визначається в залежності від культури, що вирощується. Цех №9 має три контури обігріву: два надгрунтового опалення і один загальний під покривельного опалення. Завдяки цьому вирівнюється теплове поле по усій площі теплиці.

Основний надґрунтовий контур опалення розташований по всій площі між рядками і також виступає в якості рейок для технологічних візків. Являє собою металеву трубу з діаметром 51 мм. Труби ліфтового надґрунтового обігріву проходить в зоні росту рослин для забезпечення максимально комфортних умов росту рослин. Під покрівельне опалення розташоване в площині верхніх горизонтальних несучих конструкцій, служить для запобігання утворенню намерзань на склі, фрамуг і відкладання снігу, допомагає у тримати в теплиці заданий температурний режим. Обігрівальні труби приєднані до системи опалення через розподільчі трубопроводи.



Рисунок 1.7. а) надґрунтовий контур опалення; б) труба ліфтового обігріву; в) під покрівельний обігрів

Система підготовки живильного розчину являє собою ряд послідовно з'єднаних елементів (труб, насосів, датчиків рівня води, датчиків тиску, баків-змішувачів) за допомогою яких готується і подається живильний розчин, необхідний для життєзабезпечення і розвитку рослин.



Рис. 1.8. Елементи системи підготовки живильного розчину

Таблиця 1.2.

Технічні характеристики двигунів, що входять до складу транспортної та змішувальних груп

| № п/п | Бойлерна кімната | Потужність, кВт | К-ть, Шт. | Ділянка обігріву |
|-------|---|-----------------|-----------|-----------------------|
| | <i>Транспортна група</i> | | | |
| 1 | Циркуляційний насос | 2,2 | 1 | Нижній обігрів Е |
| 2 | Циркуляційний насос | 1,5 | 2 | Верхній обігрів В + Е |
| 3 | Циркуляційний насос | 7,5 | 1 | Подача С + D |
| 4 | Циркуляційний насос | 3 | 1 | Подача А + В + Е |
| 5 | Циркуляційний насос | 1,1 | 2 | Верхній обігрів А |
| 6 | Циркуляційний насос | 0,25 | 1 | Сервісна зона |
| 7 | Циркуляційний насос | 4 | 1 | Подача з котла |
| 8 | Двигун <i>Змішувальна група А</i> <i>І-пол. А</i> | 11,0 | 1 | Подача CO2 |
| 9 | Циркуляційний насос | 0,37 | 1 | Підґрунтовий обігрів |
| 10 | Циркуляційний насос <i>II-пол. В + Е</i> | 1,1 | 1 | Рельсовий обігрів |
| 11 | Циркуляційний насос | 0,75 | 1 | Підґрунтовий обігрів |
| 12 | Циркуляційний насос | 2,2 | 1 | Рельсовий обігрів |
| | <i>Змішувальна група С</i> <i>II-пол. С + D</i> | | | |
| 13 | Циркуляційний насос | 0,75 | 1 | Нижній обігрів |
| 14 | Циркуляційний насос | 1,5 | 2 | Верхній обігрів |
| 15 | Циркуляційний насос | 2,2 | 1 | Рельсовий обігрів С |
| 16 | Циркуляційний насос | 2,2 | 1 | Рельсовий обігрів D |

Таблиця 1.3.

Технічні характеристики двигунів, що входять до складу системи підготовки живильного зрошення

| № п/п | Система підготовки живильного зрошення Вид двигуна | Потужність, кВт | К-ть, шт. | Призначення |
|-------|---|-----------------|-----------|---|
| 1 | Циркуляційний насос | 7,5 | 3 | Подача живильного розчину до зрошувальної системи |
| 2 | Циркуляційний насос | 1,4 | 2 | Подача мінеральних добрив в баки-змішувачі |
| 3 | Циркуляційний насос | 2,2 | 1 | Подача води до в баки-змішувачі |
| 4 | Циркуляційний насос | 50 | 1 | Подача води |
| 5 | Циркуляційний насос | 7,5 | 2 | Підготовка маточного розчину |

Система вентилявання. Вентилювання повітря в тепличному блоці забезпечується двома шляхами: природнім – за допомогою відкриття фрамуг, та примусових – з використанням вентиляторів.

Природнім шляхом вентиляція здійснюється через фрамуги, розташовані по краях покрівлі в шаховому порядку. Загальна площа вентиляційних фрамуг в покрівлі теплиці становить 25-30% від площі теплиці.

Кут відкривання фрамуг становить 46-60 °.

Застосовується система відкривання фрамуг рейкового типу з горизонтальним ходом приводу. В якості приводу застосовуються мотор-редуктори і рейкові редуктори. Основний приводний вал з оцинкованої труби Ø 42x3 мм. Штовхаючі штанги з оцинкованої труби Ø 27x1,5 мм. Для механічного зв'язку з фрамугою застосовуються 4 алюмінієві штанги Ø 19 мм на кожну фрамугу.



Рис. 1.9. Загальний вигляд двигуна, для відкриття фрамуг

Штучна вентиляція здійснюється за допомогою вентиляторів, основна функція яких полягає в забезпеченні циркуляції повітря в теплиці. При цьому відбувається рівномірний розподіл теплого повітря від працюючих систем опалення. Однак в неопалюваних теплицях вентилятор теж необхідний. З його допомогою підтримується нормальна для зростання і розвитку рослин атмосфера



Рис. 1.10. Загальний вигляд промислового вентилятора

Таблиця 1.4.

Технічні характеристики засобів, що входять до складу системи вентиляції

| № п/п | Вид двигуна | Потужність, кВт | К-ть, шт | Призначення |
|-------|----------------|-----------------|----------|------------------------------------|
| 1 | Мотор-редуктор | 2,3 | 8 | Відкриття/закриття фрамуг |
| 2 | Вентилятор | 0,12 | 10 | Циркуляція повітря в шапці теплиці |

Система зашторювання. Однією з найважливіших складових сучасної теплиці є система зашторювання яка дозволяє забезпечити стійкий мікроклімат в теплиці за рахунок регулювання температури, вологості, і ступеня освітленості, а також дозволяє досягти значної економії тепла.

Система розроблена для уникнення високих температур в приміщенні в спекотні періоди року. Надмірна кількість сонячної радіації скорочується під впливом затемнення. Можна так само скоротити втрати тепла в зимовий період. Дана система стане запорукою створення рівномірного і сприятливого кліматичного поля для будь-якого виду рослин. Втрати тепла скорочуються до 40 %. Це забезпечується шляхом зменшення просочування теплової енергії через купольну частину теплиці.

Розрізняють кілька видів систем зашторювання: Горизонтальний (верхнє) та Вертикальний (бічне). Горизонтальне зашторювання розташовується у верхній частині теплиці і цією системою як правило оснащені практично всі сучасні теплиці. Вертикальне зашторювання менш популярно, воно розміщується на одній з бічних стінок приміщення і встановлюється набагато рідше.



Рис. 1.11. Загальний вигляд системи зашторювання

Таблиця 1.5.

Технічні характеристики зашторювального екрану

| Вид екрану | Використовувана тканина | Характеристики тканини |
|----------------|-------------------------|--|
| Горизонтальний | SLS 10 ULTRA Plus | Коеф. світлопроникності в сонячну погоду 88% Коеф. світлопроникності в пахмурну погоду 81% Коеф. енергозбереження 43 % |

Таблиця 1.6.

Технічні характеристики двигунів, що входять до складу зашторювання

| № п/п | Вид двигуна | Потужність, кВт | К-ть, шт | Призначення |
|-------|----------------|-----------------|----------|--------------------------|
| 1 | Мотор-редуктор | 2,3 | 4 | Підймання/опускання штор |

1.3. Енергозберігаючі технології у тепличному господарстві

Основне завдання овочівників щодо зниження затрат виробничих ресурсів полягає у зменшенні затрат газу й електроенергії. Переважна більшість тепличних підприємств України витрачає до 70м³ газу на 1м² площі теплиці. Для порівняння ПАТ "Комбінат Тепличний" – 61м³, у Нідерландах цей показник не перевищує 30м³ [9].

Одним з вагомих важелів економії ресурсів є вибір палива, а саме: рідкого (продукти перегонки нафти), твердого – бурі та кам'яне вугілля, деревина, солома, різні відходи виробництва та життєдіяльності людини, газоподібного – біогаз, газ.

Паливо можна економити за рахунок заміни котлів з високим ККД та застосування акумулюючих резервуарів, в яких запасється гаряча вода та подається в теплиці при відключеному котлі у нічний час. Застосування

аккумуляційних резервуарів дозволяє заощадити до 0,5 млн. м³ газу на рік для спеціалізованих тепличних господарств за наявності теплиць голландського типу та міні-котельні.

ПАТ "Комбінат Тепличний" також застосовує нові котли з палинковим пристроєм марки "Zantingh" (Нідерланди). Відмінна особливість використовуваних палиників – широкий діапазон регульованої потужності – від 10 до 100%. Порівнюючи нові палиники із попередніми, необхідно зазначити наявність частотних перетворювачів на вентиляторах подачі повітря, що дозволяє істотно економити на електроенергії.

Для підвищення ККД горіння, а також для можливості відбору CO₂ котли обладнуються економайзерами відпрацьованих газів (рис. 1.10, пп. 1.2). Ефект підвищення ККД полягає у тому, що у економайзері відпрацьовані гази охолоджуються з 180°C до 60°C, нагріваючи при цьому теплоносії, а охолоджені таким чином гази після вимірювання рівня вуглекислого газу можна безперешкодно подавати в теплицю. Використання CO₂ для підживлення рослин забезпечує до 15% приросту врожайності [2].

Централізоване опалення тепличних споруд дуже витратне з низьким ККД через значні втрати. Кардинальне рішення – окрема міні-котельня в кожній теплиці, що зводить втрати до мінімуму. Усі труби обігріву, що оперізують внутрішню частину промислових теплиць, у більшості випадків можна розділити на 4 контури: шатровий (покрівельний), надземний, торцевий (у блочних теплицях по периметру стін по шість труб), підземний. З метою економії теплової енергії застосовують окреме керування контурами, що дозволяє економити до 20% від загального об'єму затрат тепла [2].

Ще одним технологічним прийомом для економії теплової енергії є встановлення в цехах із голландською технологією на рівні переkritтя термоекранів (система зашторювання), які захищають споруду від втрат тепла через скати, адже через них теплиця втрачає 87% тепла. Використання системи зашторювання в нічний час зменшує щорічне споживання енергії на

16%. Термоекрани використовують також для захисту від перегрівання в літній період [9].

Недоліком технології застосування екранів є та обставина, що при значному зменшенні теплового потоку через світлопрозору огорожу погіршується сніготанення на даху теплиці, тому під час снігопадів екрани повинні бути згорнуті для більш повного прогрівання покрівлі та поліпшення сніготанення.

Проведений науковцями аналіз показав, що суттєву економію в сучасних теплицях дає система контролю, яка отримує інформацію від зовнішніх датчиків: швидкості і напрямку вітру, температури повітря, освітленості, вологості, наявності дощу, інтенсивності опадів, положення вентиляційних фрамуг і екрану, а також датчиків, розташованих всередині теплиці: температури і вологості в різних частинах відділень, концентрації CO₂, температури рослин (одна спеціальна ІЧ-камера здатна "бачити" температуру рослин на площі до 15 м², передаючи дані в систему), датчиків ФАР, що вимірюють природне і штучне світлове випромінювання у найбільш важливій для фотосинтезу області спектра – між 400 і 700 нм.

Останнім часом в сучасному тепличному виробництві з розвитком енергозберігаючих технологій все більшого поширення набуває використання LED-світильників (світлодіодних світильників). При цьому використовують комбінації червоних та синіх світлодіодів у різних пропорціях в залежності від призначення. Наприклад, при вирощуванні томатів у розсадних відділеннях (рослини, що активно розвиваються і переходять до цвітіння в умовах червоного світла) дослідники частіше використовують пропорцію 4:1 (на 4 червоних припадає 1 синій світлодіод). Світлодіодні світильники встановлюються над рослинами або у міжряддях. Висновки про енергозберігаючі характеристики будь-яких світлових приладів можна зробити за таким їх показником, як світловіддача. Так, світловіддача ламп розжарювання становить до 15 Лм/Вт, люмінесцентних – 60 Лм/Вт, металогалогенних – 85 Лм/Вт, а світлодіодних – 100 Лм/Вт і більше.

РОЗДІЛ 2

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ В
ПРОМИСЛОВІЙ БЛОЧНІЙ ТЕПЛИЦІ

Математичне моделювання термодинамічних процесів, що протікають у теплиці, полягає у встановленні та розв'язанні відповідних рівнянь математичної фізики. Встановлено, що сучасний інженерний дизайн теплиць дозволяє ввести припущення під час побудови математичної моделі термодинамічних процесів, що теплиця є об'єктом з рівномірним розподілом температури в зоні вирощування. Отже, базовим рівнянням під час побудови математичної моделі процесу моніторингу температури є:

$$\frac{dT_{air\ in}(t)}{dt} = \frac{Q_{total}(t)}{V_g \cdot \rho_{air} \cdot C_{\rho_{air}}}, \quad (2.1)$$

де $T_{air\ in}$ – температура зони вирощування теплиці, °С;

Q_{total} – загальна теплова енергія в зоні вирощування, Вт;

t – час, год.;

V_g – об'єм зони вирощування, м³;

ρ_{air} – густина повітря, кг/м³;

$C_{\rho_{air}}$ – питома теплоємність повітря, Дж/(кг·°С).

На динаміку температури в теплицях чинять вплив різні процеси тепло- і масопереносу. Отже, для розробки відносно точної та адекватної моделі, що описує розподіл тепла в зоні вирощування теплиць, важливо детально дослідити механізми цих процесів. Таким чином, в основу розроблюваної математичної моделі покладено рівняння балансу маси та енергії всередині теплиці:

$$Q_{total} = Q_{gain} - Q_{loss}, \quad (2.2)$$

де Q_{total} – загальна теплова енергія, Вт;

Q_{gain} – кількість енергії, що надходить до теплиці, Вт;

Q_{loss} – кількість енергії, що споживається в теплиці, Вт.

На кількість теплової енергії, що надходить до теплиці в значній мірі впливають наступні фізичні процеси та явища: енергія від сонячної радіації; енергія, що надходить від систем опалення; тепла складова енергії від дії штучних систем доосвітлення. Таким чином, у загальному вигляді кількість енергії, що надходить до теплиці, може бути обчислена за формулою:

$$Q_{gain} = Q_s + Q_h + Q_l. \quad (2.3)$$

де Q_s – корисна сонячна енергія, що надходить до теплиці, Вт;

Q_h – тепла енергія, що надходить від систем опалення, Вт;

Q_l – тепла складова енергії від дії штучних систем доосвітлення, Вт.

Втрати теплової енергії в теплиці в значній мірі обумовлено наступними процесами та явищами: втрати тепла внаслідок теплопровідності; втрати тепла через поглинаючу здатність ґрунту; тепловіддача за рахунок вентиляції та інфільтрації; теплопередача шляхом конденсації. Отже, у загальному вигляді кількість теплової енергії, що втрачається у теплиці, може бути обчислена наступним чином:

$$Q_{loss} = Q_k + Q_g + Q_v + Q_i + Q_c. \quad (2.4)$$

де Q_k – втрати тепла через теплопровідність, Вт;

Q_g – втрати тепла через поглинаючу здатність ґрунту, Вт;

Q_v – тепловіддача через вентиляцію, Вт;

Q_i – тепловіддача через інфільтрацію, Вт;

Q_c – теплопередача через конденсацію, Вт.

На підставі вищесказаного було запропоновано узагальнену структурну схему моніторингу температури в зоні вирощування теплиць, що описує впливи вищезазначених фізичних явищ на процеси теплообміну



Рис. 2.1. Структурна схема моніторингу температури зони вирощування

У відповідності до принципу енергетичного балансу можна встановити енергетичну модель кожного динамічного процесу. Одним із найбільш визначальних факторів, що обумовлює надходження теплової енергії до теплиці, є сонячна радіація. Теплова енергія, що поступає до теплиці від сонця, може бути оцінена за наступним співвідношенням:

$$Q_s = A_g \cdot \gamma \cdot K_n \cdot I_{total} \quad (2.5)$$

де A_g – площа поверхні (даху та бокових склянок) теплиці, м²;

γ – константа частки сонячної радіації, що надходить до теплиці та обумовлює збільшення температури, відн. од.;

K_n – пропускна здатність поверхні теплиці, відн. од.;

I_{total} – сонячна енергія, що падає на поверхню теплиці, Вт/м².

На теперішній час існує декілька теоретичних моделей, які описують динаміку сонячної радіації. В якості базової моделі під час знаходження оціночного значення загальної сонячної енергії, що падає на поверхню теплиці, було обрано наступну узагальнену емпіричну залежність:

$$I_{total} = k_{decr} \cdot I_{SC} \cdot \left(1 + 0,033 \cdot \cos \left(360 \cdot \frac{(n-3)}{365} \right) \right), \quad (2.6)$$

де I_{total} – загальнодобове сонячне випромінювання, Вт/м²;

k_{decr} – коефіцієнт послаблення сонячної радіації, що змінюється в діапазоні від 0,47 до 0,85, відн. од.;
 I_{sc} – сонячна постійна, рівна 1367 Вт/м^2 , n – наскрізний номер доби.

Отримані результати моделювання річного розподілу сонячної радіації, які отримано на підставі формули (2.7), наведено на рис. 2.2. На підставі аналізу отриманих даних моделювання було встановлено необхідність уточнення моделі розподілу сонячної радіації з обліком її сезонної та добової динаміки для помірно-континентального клімату. Для весняно-літнього періоду середнє значення довжини світлового дня прийнято рівним 13 год. (з 6:00 до 19:00 GMT+3), а для осінньо-зимового – 8 год. (з 8:00 до 16:00 GMT+3).

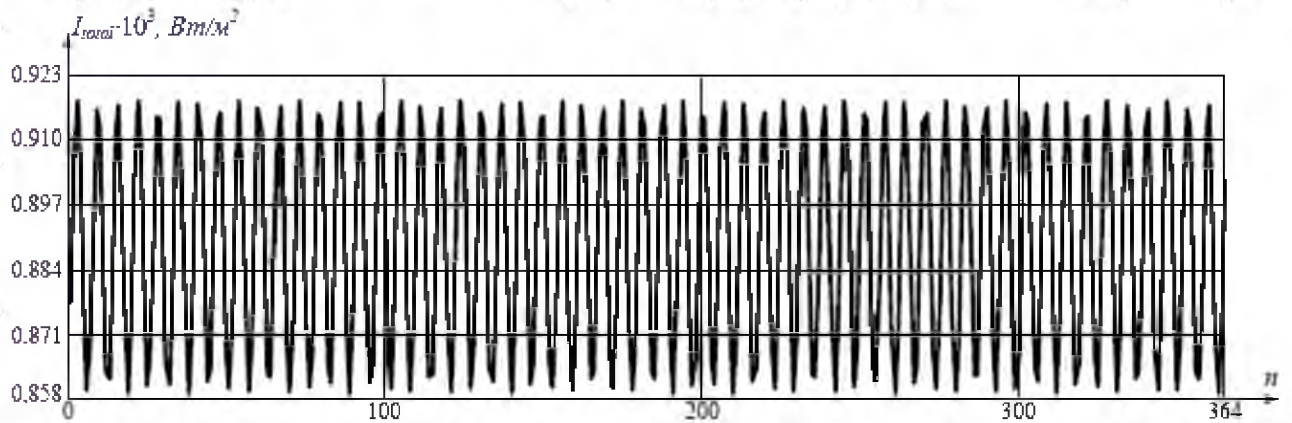


Рис. 2.2. Річна динаміка сонячної радіації

На підставі цього аналітичний вираз для опису добової динаміки сонячної радіації з обліком сезонності має наступний вигляд [169 – 172]:

– для весняно-літнього періоду:

$$\begin{cases} I_{total} = |k_{decr} (I_{sc} \cdot \sin(\omega t - \varphi) + I_{sc} \cdot \sin(\omega))|, \text{ якщо } 6n \leq t \leq 19n \\ I_{total} = 0, \text{ у іншому випадку} \end{cases} \quad (2.7)$$

– для осінньо-зимового періоду:

$$\begin{cases} I_{total} = |k_{decr} (I_{sc} \cdot \sin(\omega t - \varphi) + I_{sc} \cdot \sin(\omega))|, \text{ якщо } 8n \leq t \leq 16n \\ I_{total} = 0, \text{ у іншому випадку} \end{cases} \quad (2.8)$$

де ω – циклічна частота зміни сонячної радіації, яка визначається як $2\pi/24$ рад;
 θ – аргумент синусоїдальної варіації сонячної радіації (для весняно-літнього періоду – 13 год., для осінньо-зимового – 8 год.);

n – наскрізний номер доби.

Таким чином, отриманий за формулами (2.8) і (2.9) графік залежності добової динаміки сонячної радіації, наведено на рисунку 2.3.

Під час оцінки значення корисної сонячної енергії, що надходить до теплиці, прийнято чисельні значення у відповідності до таблиці 2.1.

Результати моделювання у нормованому до максимального значення енергії (для теплиць стандартних типорозмірів: 1500 м^2 дорівнює $378,5 \text{ кВт}$ і $3000 \text{ м}^2 = 757 \text{ кВт}$) наведено на рис. 2.4.

Таблиця 2.1.

Прийняті значення моделювання корисної сонячної енергії

| Параметр | Прийняте значення | Одиниці вимірювання |
|--|-------------------|------------------------|
| Площа поверхні (A_e) | 1500; 3000 | м^2 |
| Константа частки сонячної радіації (γ) | 0,5 | відн. од. |
| Пропускна здатність поверхні теплиці (K_t) | 0,7 | відн. од. |
| Сонячна радіація (I_{total}) | див. рис. 2.1 | $\text{Вт}/\text{м}^2$ |
| Коеф. послаблення сонячної радіації, (k_{ext}) | 0,65 | відн. од. |

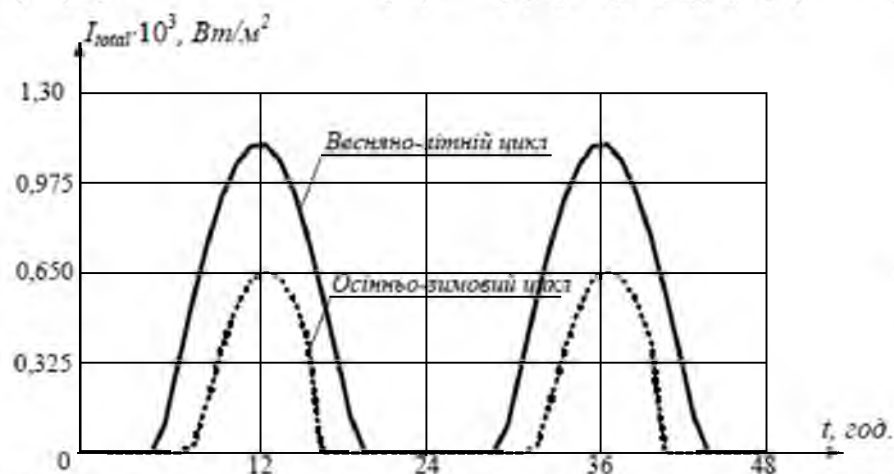


Рис. 2.3. Оціночне значення добового розподілу сонячної радіації

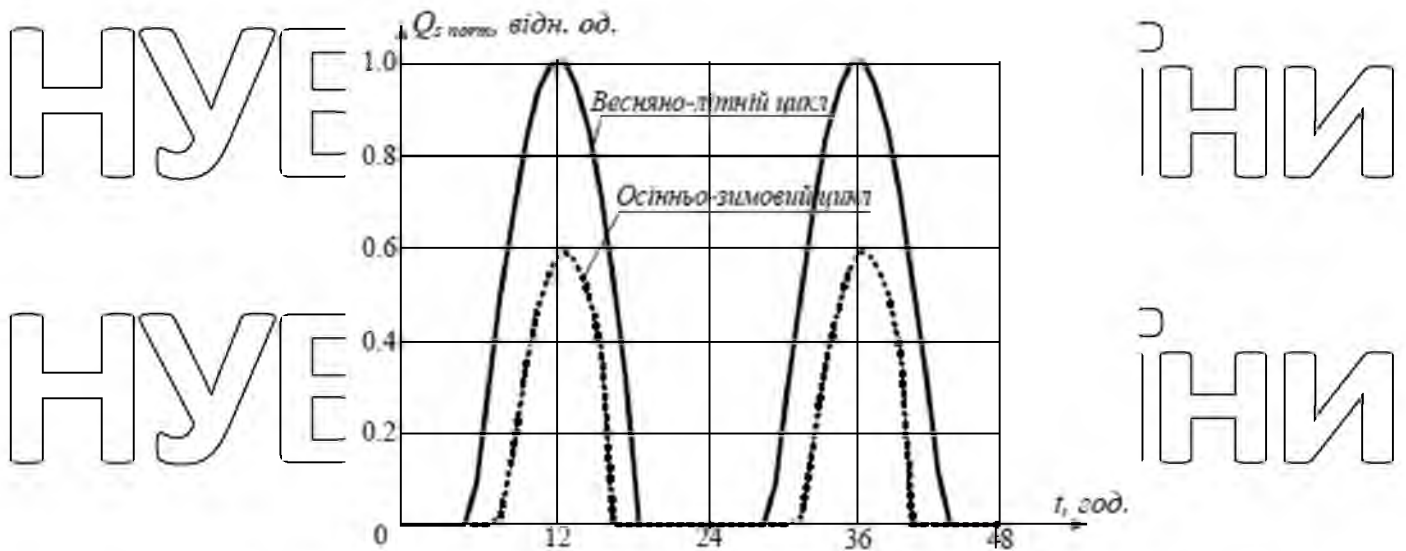


Рис. 2.4. Нормована характеристика розподілу корисної сонячної енергії

Отримані результати моделювання, які наведено на рис. 2.4,

довели необхідність обліку сезонної та добової динаміки сонячної радіації під час оцінки теплової енергії, що надходить до зони вирощування теплиць від сонця.

Показник тепловіддачі від стаціонарної системи опалення до зони вирощування в залежності від конструктивних характеристик може бути розрахований за формулою:

$$Q_h = m_{h.c.} \cdot c_{h.c.} \cdot (T_{direct} - T_{back}), \quad (2.9)$$

де $m_{h.c.}$ – витрата теплоносія, кг/с;

$c_{h.c.}$ – питома теплоємність теплоносія, Дж/(кг·°C);

T_{direct} – температура подачі теплоносія, °C;

T_{back} – температура теплоносія, що відводиться з системи опалення, °C.

Під час оцінки значення теплової енергії, що надходить до теплиці від стаціонарних систем опалення, прийнято чисельні значення параметрів, що входять до формули (2.10), у відповідності до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2.

Прийняті значення моделювання теплової енергії від систем

| Параметр | Прийняте значення | Одиниці вимірювання |
|--|-------------------|---------------------|
| Витрата теплоносія ($m_{h.c.}$) | 10 | кг/с |
| Питома теплоємність теплоносія ($c_{h.c.}$) | 4200 | Дж/(кг·°C) |
| Допустима різниця температур прямої та зворотної гілок системи тепlopостачання ($T_{direct} - T_{back}$) | 10 | °C |

Таким чином, оціночне значення теплової енергії, що надходить до зони вирощування теплиць від стаціонарних систем тепlopостачання, яке обчислене за формулою (2.10), дорівнює 420 кВт. Отримані результати розрахунків складової теплової енергії від систем тепlopостачання довели необхідність їх обліку під час дослідження математичної моделі процесу інструментального моніторингу температури зони вирощування промислових теплиць.

Теплова складова енергії від дії штучних систем доосвітлення може бути оцінена з обліком відомих рекомендацій за формулою:

$$Q_i = E_i \cdot F_i \cdot q_i \cdot \eta_i \quad (2.10)$$

де E_i – необхідний рівень освітлення зони вирощування, лк;

F_i – площа підстилючої поверхні теплиці, яка коливається від 0,2 до 0,3 від загальної площі для теплиць різної конструкції, м²;

q_i – показник питомого виділення тепла, Вт/(лк·м²);

η_i – частка тепла, що надходить до приміщення, відн. од.

Під час оцінки значення теплової енергії, що надходить до теплиці від стаціонарних систем штучного доосвітлення, прийнято чисельні значення параметрів, що входять до формули (2.11), у відповідності до таблиці 2.3

Таблиця 2.3.

Прийняті значення моделювання теплової енергії від систем штучного доосвітлення

| Параметр | Прийняте значення | Одиниці вимірювання |
|---|-------------------|-------------------------|
| Необхідний рівень освітлення (E_d) | не менше 6 315 | лк |
| Площа підстилаючої поверхні теплиці ($F_{tl} = Ag/4$) | 375; 750 | м ² |
| Показник питомого виділення тепла за умови використання СВД-пристроїв (q_l) | 0,018 | Вт/(лк·м ²) |
| Частка тепла, що надходить до приміщення (η) | 1 | відн. од. |

Результати оцінки теплової енергії, що надходить до зони вирощування теплиць від систем штучного доосвітлення, є наступними: 42,6 кВт – для теплиць площею 1500 м²; 85,2 кВт – для теплиць площею 3000 м².

Отже, сумарна кількість теплової енергії, що надходить до теплиці з обліком вищезаявлених складових, які обчислено за формулами (2.6) – (2.11), може бути оцінена за формулою (2.4). Під час моделювання процесу надходження теплової енергії до теплиць також враховано вимоги до тривалості фітоперіоду штучного опромінення тепличних культур, який має становити від 12 год. до 16 год. Таким чином, на якісному рівні надходження тепла до теплиці є наступним: корисна сонячна енергія – див. рис. 2.4; тепла енергія від системи опалення – цілодобово; тепла енергія від систем штучного доосвітлення – з 4:00 до 20:00 год.

Отримані результати моделювання нормовано до максимального значення енергії (для теплиць 1500 м² дорівнює $Q_{gain\ max}=841,1$ кВт, для теплиць 3000м² – $Q_{gain\ max}=1262,2$ кВт). Графік добового розподілу теплової енергії в нормованому вигляді з обліком площі теплиць наведено на рис. 2.5.

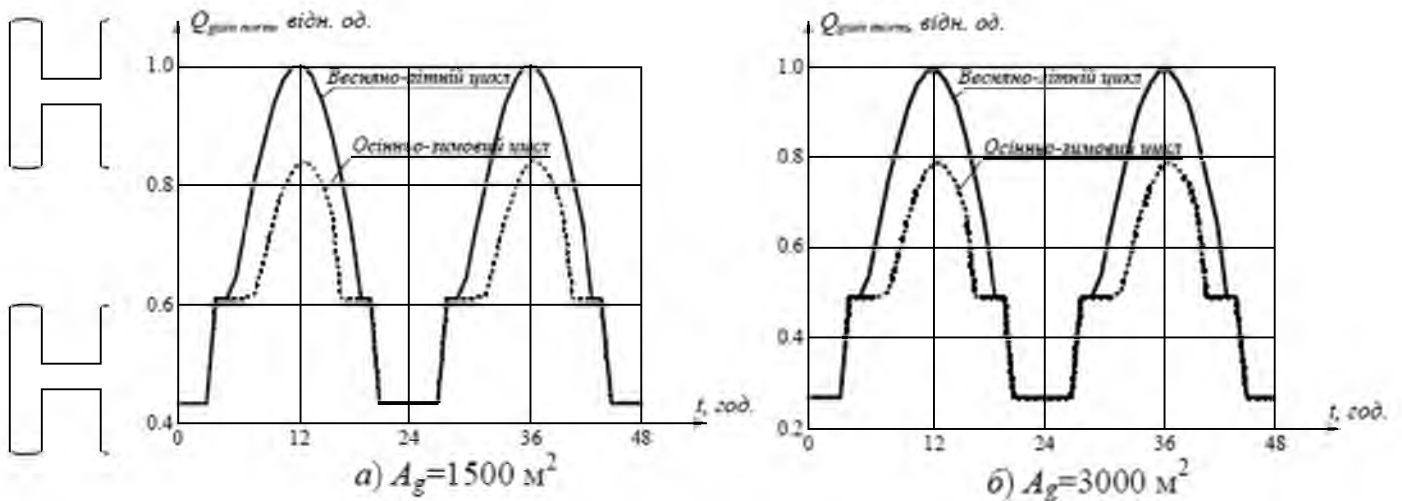


Рис. 2.5. Нормована характеристика розподілу теплової енергії, що

надходить до теплиці

На підставі аналізу результатів моделювання, які наведено на рис.

2.5, встановлено оціночні діапазони зміни сумарної теплової енергії для

теплиць із типовими розмірами 1500 м² і 3000 м², відповідно, становлять:

від 420 кВт до 841,1 кВт та від 420 кВт до 1262,2 кВт. Також було

встановлено середню швидкість наростання / спадання теплової енергії: для

теплиць 1500 м² становить 46,8 кВт/год.; для теплиць 3000 м² – 93,6 кВт/год.

Виходячи з аналізу залежності (2.5) видно, що втрати теплової енергії обумовлено значною кількістю фізичних процесів, одним із яких є втрати тепла через теплопровідність. Цю складову втрат теплової енергії можна розрахувати за наступним емпіричним рівнянням [163]:

$$Q_k = K_U \cdot A_g \cdot (T_{air\ in} - T_{air\ out}), \quad (2.11)$$

де K_U – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·°С); A_g – площа поверхні теплиці, м²; $T_{air\ in}$ – температура повітря зони вирощування теплиці, °С; $T_{air\ out}$ – температура повітря довколишнього середовища, °С.

Коефіцієнт теплопередачі, який входить до складу рівняння (2.12), може бути розрахований у залежності від швидкості руху повітря в теплиці за формулою (2.13). З оглядом того, що гранично допустиме

значення швидкості руху потоків повітря для промислових теплиці дорівнює 1 м/с, то отримуємо:

$$K_U = 2.8 + 1.2 \cdot v_{air\ in} = 4,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}), \quad (2.12)$$

де $v_{air\ in}$ – швидкість руху потоків повітря, м/с.

Оптимальна температура всередині теплиці залежить від типів і періодів вегетації вирощуваних культур. Детально вимоги до температурних режимів вирощування описано в п. 1.1. Статистичні дані

щодо динаміки температури за 2022 рік за офіційними даними Українського гідрометеорологічного центру є наступними: для осінньо-зимового циклу становить $+3,77^\circ\text{C}$, для весняно-літнього $+15,6^\circ\text{C}$.

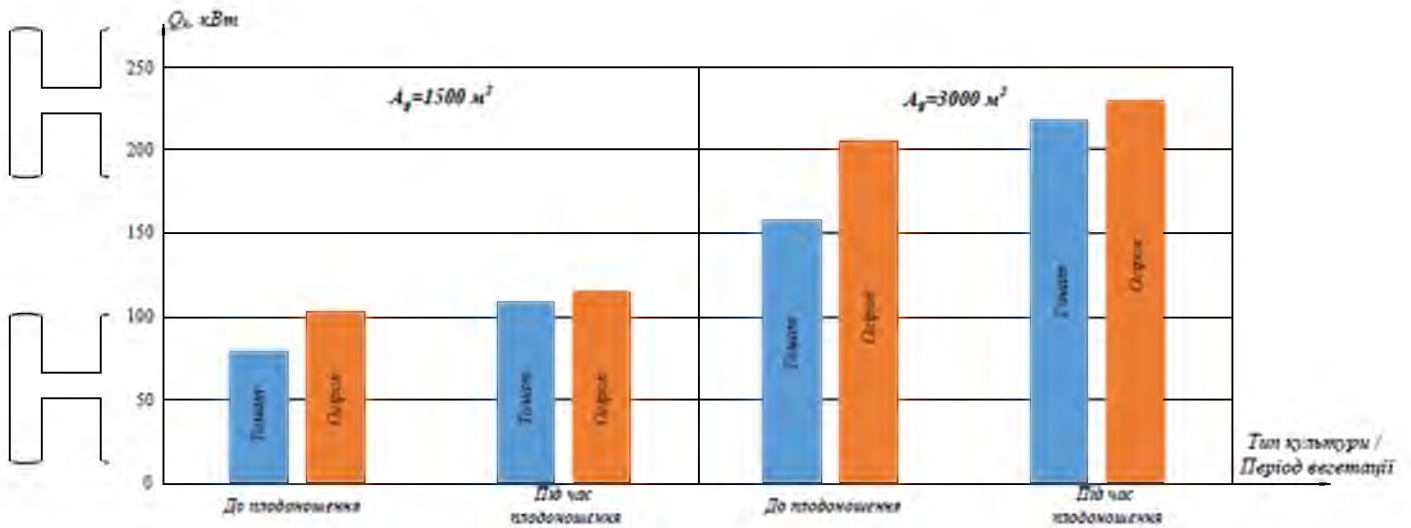
Отже, під час оцінки значень втрат теплової енергії через процес теплопередачі, прийнято чисельні значення параметрів, що входять до формули (2.12), у відповідності до таблиці 2.4. Отриманий

графік розподілу оціночних значень втрат теплової енергії через ефект теплопередачі з обліком сезонності, геометричних розмірів теплиць та типів і періодів вегетації вирощуваних культур наведено на рисунку 2.6.

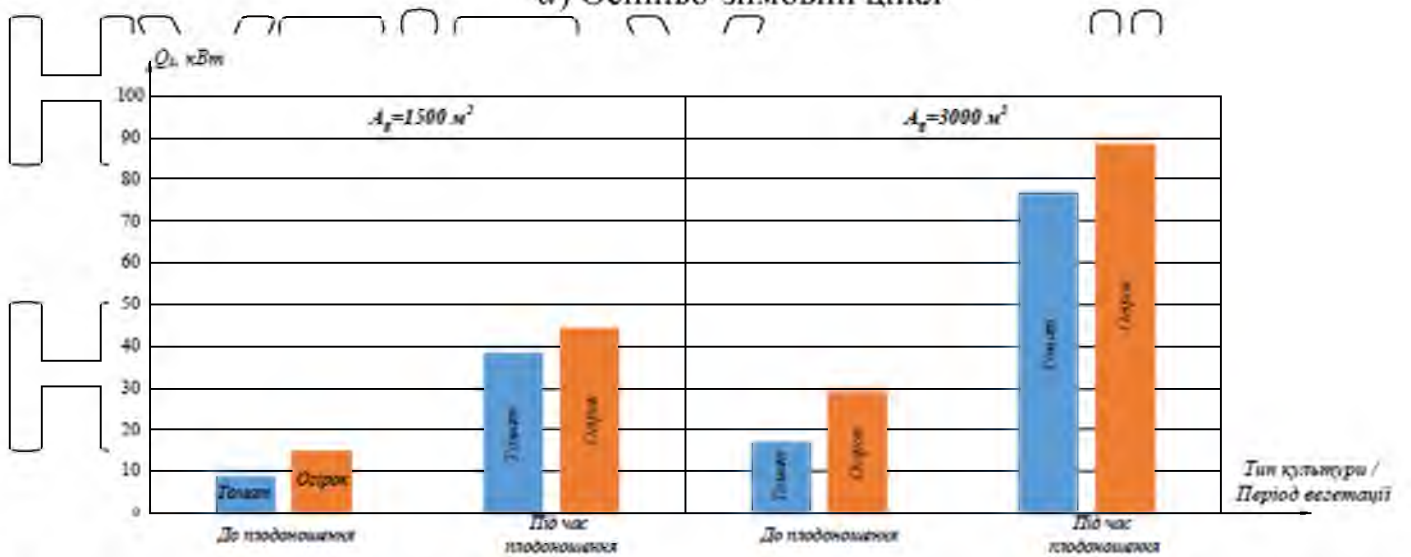
Таблиця 2.4.

Прийняті значення моделювання втрат теплової енергії через теплопровідність

| Параметр | Прийняте значення | Одиниці вимірювання |
|---|-------------------|-------------------------|
| Коефіцієнт теплопередачі (K_U) | 4 | Вт/(м ² ·°C) |
| Площа поверхні (A) | 1500; 3000 | м ² |
| Середня температура довколишнього середовища ($T_{air\ out}$) | +3,77; +15,6 | °C |
| Температура в зоні вирощування ($T_{air\ in}$) | див. табл. 1.9 | °C |



а) Осінньо-зимовий цикл



б) Весняно-літній цикл

Рис. 2.6. Втрати теплової енергії через ефект теплопередачі

Результати розрахунків, які наведено на рис. 2.6, доводять необхідність обліку ефекту теплопередачі енергії зі зони вирощування культур до навколишнього середовища під час побудови та дослідження математичної моделі процесу моніторингу температурного режиму вирощування.

Наступним фізичним процесом, який підлягає обліку під час оцінки втрат теплової енергії в теплиці (2.5), є поглинаюча здатність ґрунту. Січне значення показника втрат тепла через поглинаючу здатність ґрунту може бути обчислене за формулою:

$$Q_g = \frac{k_g}{Z_g} \cdot F_l \cdot (T_{air\ in} - T_{soil}), \quad (2.13)$$

де k_g – коефіцієнт теплопровідності ґрунту, Вт/(м·°С);

Z_g – товщина шару ґрунту, м;

F_l – площа підстиляючої поверхні теплиці, м²;

$T_{air\ in}$ – температура повітря в зоні вирощування теплиці, °С;

T_{soil} – температура ґрунту, °С.

Розрахунок втрат тепла проводиться з обліком актуальних

вимог до температурних режимів повітря й ґрунту теплиць, товщини шару ґрунту та типових розмірів промислових тепличних комплексів, як показано в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5.

Прийняті значення під час моделювання втрат теплової енергії через

поглинаючу здатність ґрунту

| Параметр | Прийняте значення | Одиниці вимірювання |
|---|-------------------|---------------------|
| Коефіцієнт теплопровідності ґрунту (k_g) | 1,52 | Вт/(м·°С) |
| Площа основи поверхні теплиці (F_l) | 375; 750 | м ² |
| Товщина шару ґрунту (Z_g) | 0,5 | м |
| Допустима різниця температур ($T_{air\ in} - T_{soil}$) | 3 | °С |

Отримані результати розрахунків втрат теплової енергії через

поглинаючу здатність ґрунту є наступними: для теплиць розміром 1500 м²

становить 3,42 кВт, для теплиць 3000 м² – 6,84 кВт, що складає від 5 % до 20

% від втрат енергії через теплопровідність поверхні теплиці та потребує

подальшого обліку під час дослідження математичної моделі процесу

моніторингу температури в теплиці.

Ефектами, які обумовлюють втрати тепла зі зони вирощування

культур під дією теплового й вітрового тиску, є вентиляція (примусова та

природна) (Q_v) та інфільтрація (Q_i). Оцінка втрат тепла через вентиляцію може бути виконана за наступною формулою [166, 183, 184]:

$$Q_v = \frac{r_v \cdot V_g \cdot k_{air} \cdot (T_{air\ in} - T_{air\ out}) \cdot C_{p,air} \cdot \rho_{air}}{3600} \quad (2.14)$$

r_v – відсоток відкриття механізмів системи вентиляції, відн. од.;

V_g – об'єм теплиці, м³;

k_{air} – кратність обміну повітрям, 1/год.;

$C_{p,air}$ – питома теплоємність сухого повітря, Дж/(кг·°C);

$T_{air\ in}$ – температура повітря в зоні вирощування теплиці, °C;

$T_{air\ out}$ – температура довколишнього середовища, °C;

ρ_{air} – густина повітря, кг/м³.

Чисельне значення показника втрат теплової енергії через процес інфільтрації, який обумовлено нещільністю поверхонь теплиці, може

бути оцінене за наступною формулою:

$$Q_i = \frac{0.5 \cdot V_g \cdot k_{air} \cdot (T_{air\ in} - T_{air\ out})}{3600} \quad (2.15)$$

Таким чином, сумарні втрати теплової енергії (Q_{v+i}), які обумовлено процесами вентиляції та інфільтрації, можуть бути знайдені за формулою:

$$Q_{v+i} = \frac{r_v \cdot V_g \cdot k_{air} \cdot (T_{air\ in} - T_{air\ out}) \cdot C_{p,air} \cdot \rho_{air} + 0.5 \cdot V_g \cdot k_{air} \cdot (T_{air\ in} - T_{air\ out})}{3600} \quad (2.16)$$

Під час моделювання процесу втрат тепла за рахунок процесів вентиляції та інфільтрації теплиці у відповідності до формули (2.17) було прийнято чисельні параметри з обліком сезонності, типів і періодів вегетації культур, а також інженерного дизайну теплиць, як показано в таблиці 2.6.

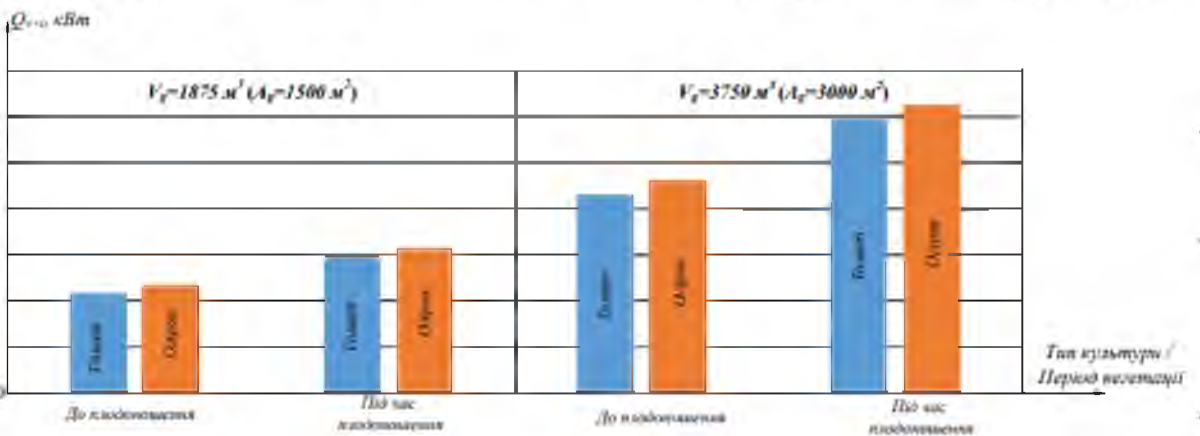
Отриманий графічний вигляд характеристики розподілу оціночних значень сумарних втрат теплової енергії через ефекти вентиляції (природної й

механічно) та інфільтрації з обліком сезонності, геометричних розмірів теплиць та типів і періодів вегетації культур наведено на рисунку 2.7.

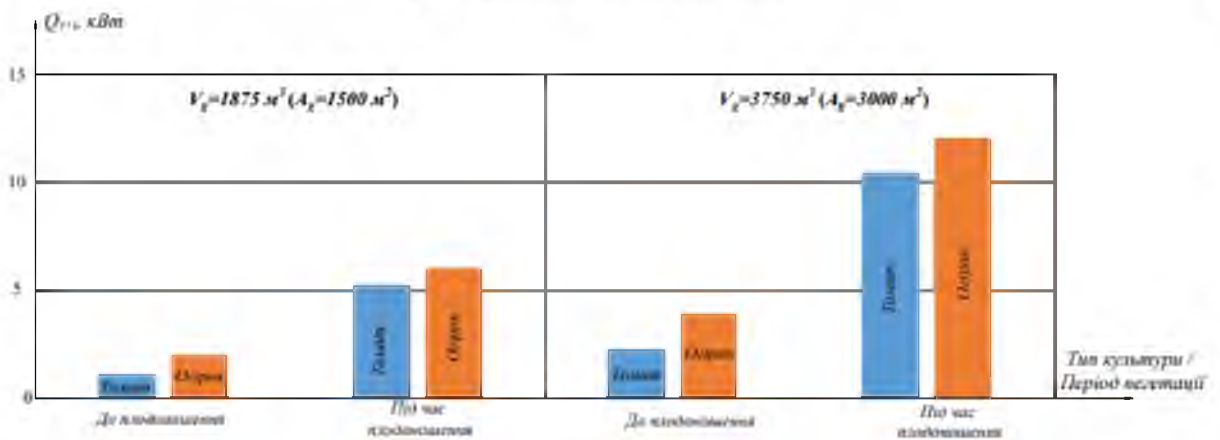
Таблиця 2.6.

Прийняті значення моделювання втрат теплової енергії через вентиляцію та інфільтрацію

| Параметр | Прийняте значення | Одиниці вимірювання |
|--|-------------------|---------------------|
| Питома теплоємність повітря | 1010 | Дж/(кг·°C) |
| Середня довколишня температура ($T_{air\ out}$) | +3,77; +15,6 | °C |
| Температура в зоні вирощування ($T_{air\ in}$) | див. табл. 1.9 | відн. од. |
| Густина повітря (ρ_{air}) | 1,292 | кг/м ³ |
| Кратність обміну повітрям (k_{air}) | 2 | 1/год. |
| Об'єм теплиці ($V_g = A_g \cdot h_g / 4$) | 1875; 3750 | м ³ |
| Відсоток відкриття механізмів системи вентиляції (r_v) | 0,6 | відн. од. |



а) Осінньо-зимовий цикл



б) Весняно-літній цикл

Рис. 2.7. Втрати теплової енергії через вентиляцію та інфільтрацію

Результати чисельного моделювання, які наведено на рисунку 2.7, доводять необхідність обліку ефекту втрат теплової енергії з теплиці шляхом вентиляції та інфільтрації під час побудови та дослідження математичної моделі процесу інструментального моніторингу температури зони вирощування теплиць.

До обмеження надходження теплової енергії до зони вирощування теплиць призводить ефект конденсації, який обумовлено постійним виділенням вологи рослинами. Втрати теплової енергії, які обумовлено ефектом конденсації на поверхні теплиці, можуть бути чисельно оцінені за умови обліку геометричних характеристик теплиць та фактору сезонності за наступною формулою [167]

$$Q_c = C_c \cdot L_v \cdot A_g, \quad (2.17)$$

де C_c – швидкість конденсації на поверхні теплиці, яка обумовлена різницею зовнішньої та внутрішньої температури й вологості, $\text{кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$,
 L_v – ентальпія насиченої пари, Дж/кг,
 A_g – площа поверхні теплиці, м^2 .

Як зазначалось, показник швидкості конденсації на поверхні теплиці залежить від фактору сезонності та визначається поточними значеннями співвідношень температури й вологості зони вирощування і довколишнього середовища. Оціночні значення цього показника отримано авторами наукового дослідження для помірно континентального клімату, як показано в таблиці 2.7. Також авторами цього дослідження встановлено, що втрати енергії через конденсацію збільшуються, якщо температура поверхні теплиці нижче, ніж температура точки роси внутрішнього повітря. Отже, з обліком цього ефекту можна зробити припущення, що швидкість конденсації у весняно-літній цикл вирощування наближається до нуля.

Таблиця 2.7.

Прийняті значення моделювання втрат теплової енергії через

| Параметр | Прийняте значення | Одиниці вимірювання |
|--|---------------------|---------------------|
| Площа поверхні (A_g) | 1500; 3000 | m^2 |
| Ентальпія насиченої пари (L_v) | $2,45 \cdot 10^6$ | Дж/кг |
| Швидкість конденсації в зимовий період (C_c) | $2,5 \cdot 10^{-6}$ | $kg/(c \cdot m^2)$ |

Таким чином, результати розрахунків втрат теплової енергії через ефект конденсації на підставі формули (2.18) та прийнятих чисельних значень, які наведено в таблиці 2.7, є наступними: для весняно-літнього циклу $Q_c = 0$ Вт, для осінньо-зимового – 12,7 кВт (для теплиць із типорозміром $1500m^2$) та 25,7 кВт (для теплиць із типорозміром $3000m^2$).

Результати розрахунків доводять необхідність обліку ефекту конденсації під час побудови математичної моделі процесу вимірювального моніторингу температури повітря теплиць.

Отже, сумарна кількість теплової енергії, що втрачається у теплиці через ефекти теплопровідності, поглинаючої здатності ґрунту, вентиляції, інфільтрації та конденсації, може бути оцінена за формулою (2.5) на підставі результатів розрахунків за формулами (2.12) – (2.18). Під час моделювання процесу втрат теплової енергії в теплиці було прийнято до уваги регламентовані вимоги до інженерного дизайну теплиць, температуро-вологісного режиму вирощування тепличних культур та факторів сезонності вирощування. Отримані результати моделювання розподілу сумарних втрат теплової енергії у нормованому графічному вигляді (для теплиць $1500 m^2$ дорівнює $Q_{loss max} = 160$ кВт, для теплиць $3000 m^2$ – $Q_{loss max} = 320$ кВт) наведено на рис. 2.8.

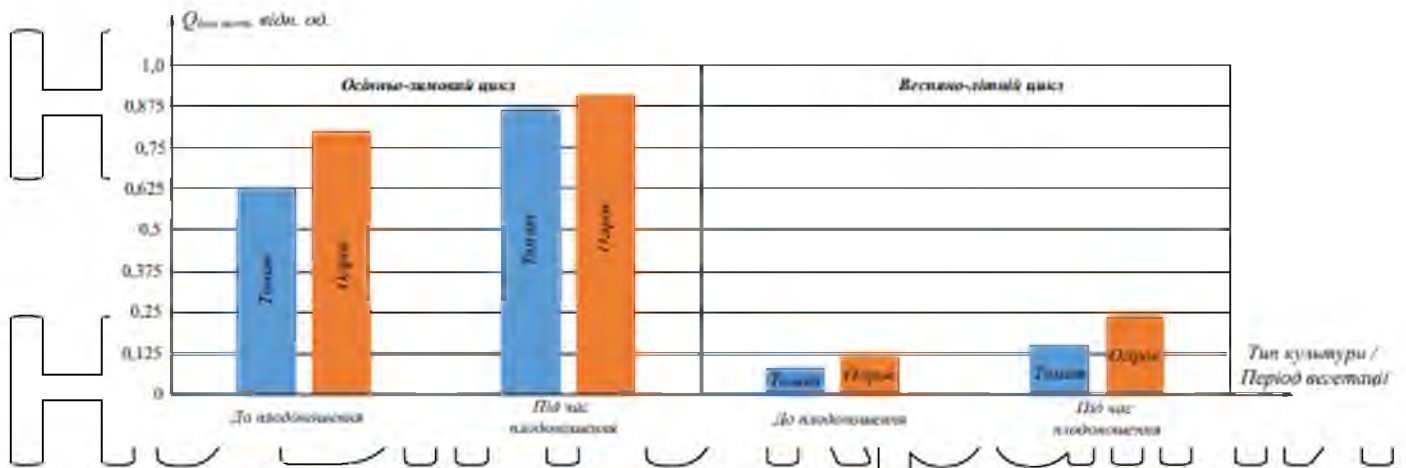


Рис. 1.8. Нормована характеристика розподілу теплової енергії, що втрачається в теплиці

На підставі аналізу результатів моделювання, які наведено на рисунку 2.8, встановлено оціночні діапазони зміни втраченої сумарної теплової енергії для теплиць із типовими розмірами 1500 м² і 3000 м², відповідно, становлять: від 13,1 кВт до 145,8 кВт та від 26,2 кВт до 291,6 кВт із обліком факторів сезонності та типів і періодів вегетації вирощуваних культур. Таким чином, із обліком отриманих оціночних значень складових надходження (2.4) та втрат (2.5) теплової енергії в теплиці, може бути обчислена загальна теплова енергія (2.3), що генерується в зоні вирощування. Оціночний діапазон зміни теплової енергії в зоні вирощування стримано з обліком таких факторів: сезонність, добова динаміка інтенсивності сонячної радіації, актуальні вимоги до температуро-вологісного режиму вирощування певних типів і періодів вегетації культур, інженерний дизайн промислових тепличних комплексів. Стримані результати моделювання динаміки теплової енергії у графічному вигляді наведено на рисунках 2.9 і 2.10.

На підставі отриманих даних, які наведено на рисунках 2.9 і 2.10, може бути оцінена динаміка температури в теплицях на базі рівняння (2.2). Диференціальне рівняння розв'язано аналітично за наступних початкових умов: $T_{air\ in}(0) = 3,77\text{ }^{\circ}\text{C}$ – для осінньо-зимового циклу вирощування та $T_{air\ in}(0) = 15,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ – для весняно-літнього циклу вирощування. Отримані

результати моделювання добової динаміки температури в зоні вирощування теплиць для огірків і томатів в бодіком-період в вегетації та сезонності вирощування наведено на рисунках 2.11 і 2.12.

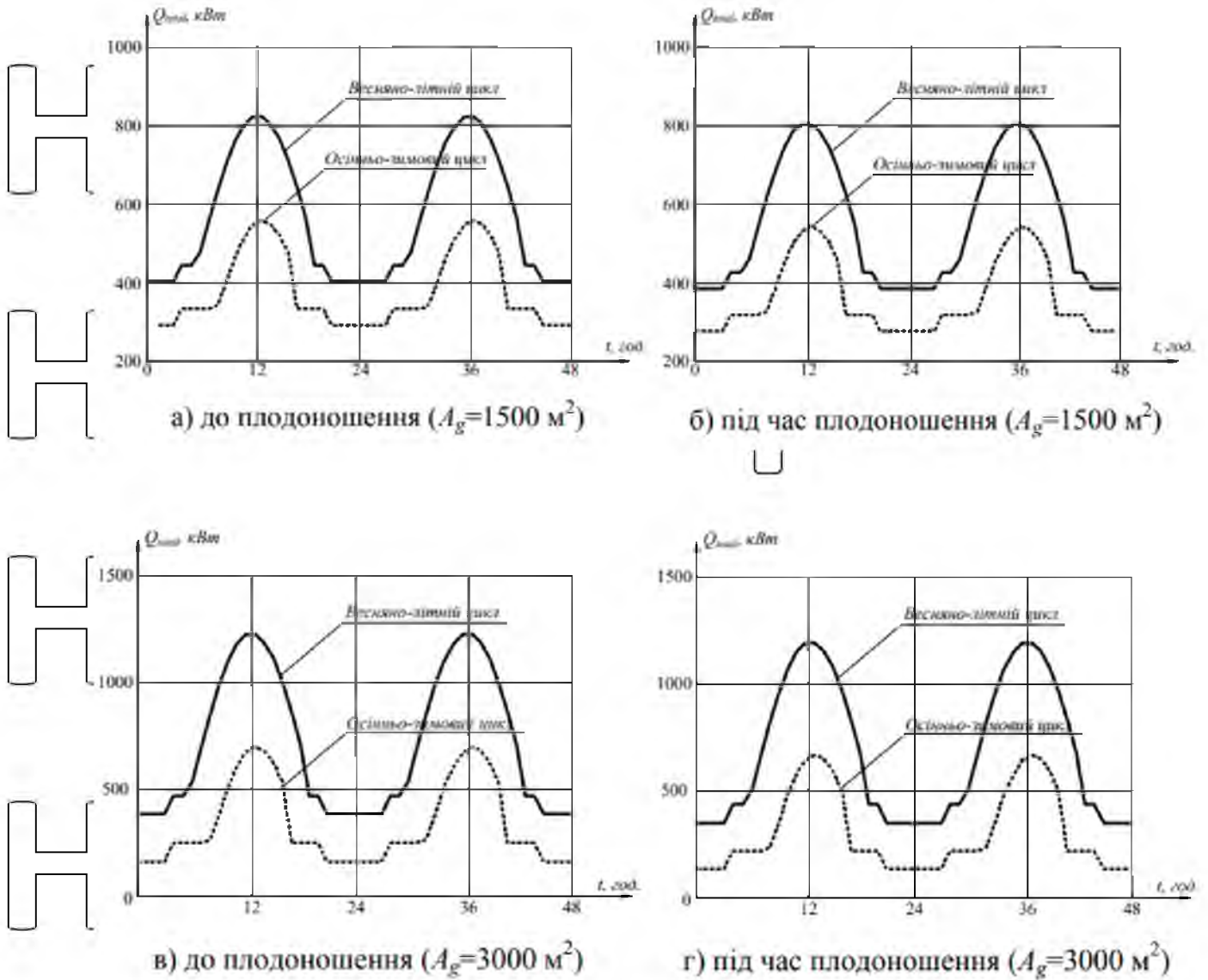


Рис. 2.9. Залежності розподілу теплової енергії в теплиці під час вирощування огірків

НУБІП України

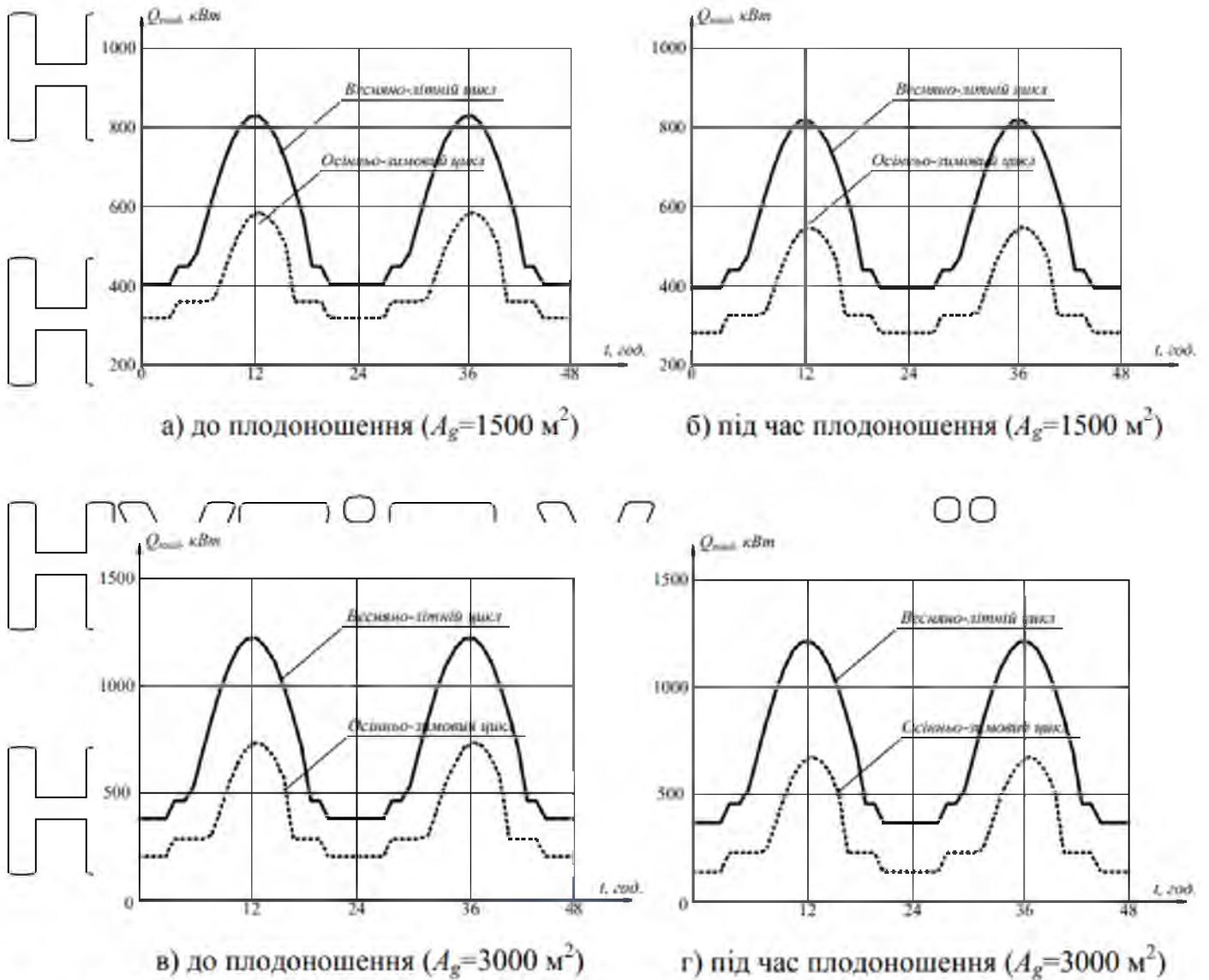


Рис. 2.10. Залежності розподілу теплової енергії в теплиці під час вирощування томатів

НУБІП України

НУБІП України

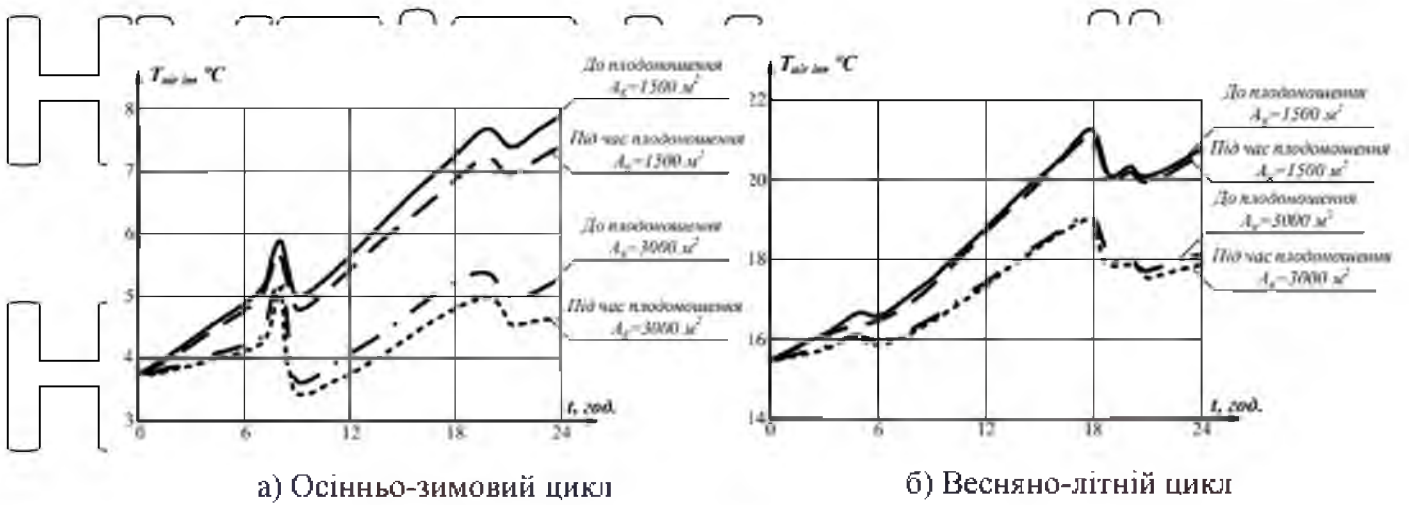
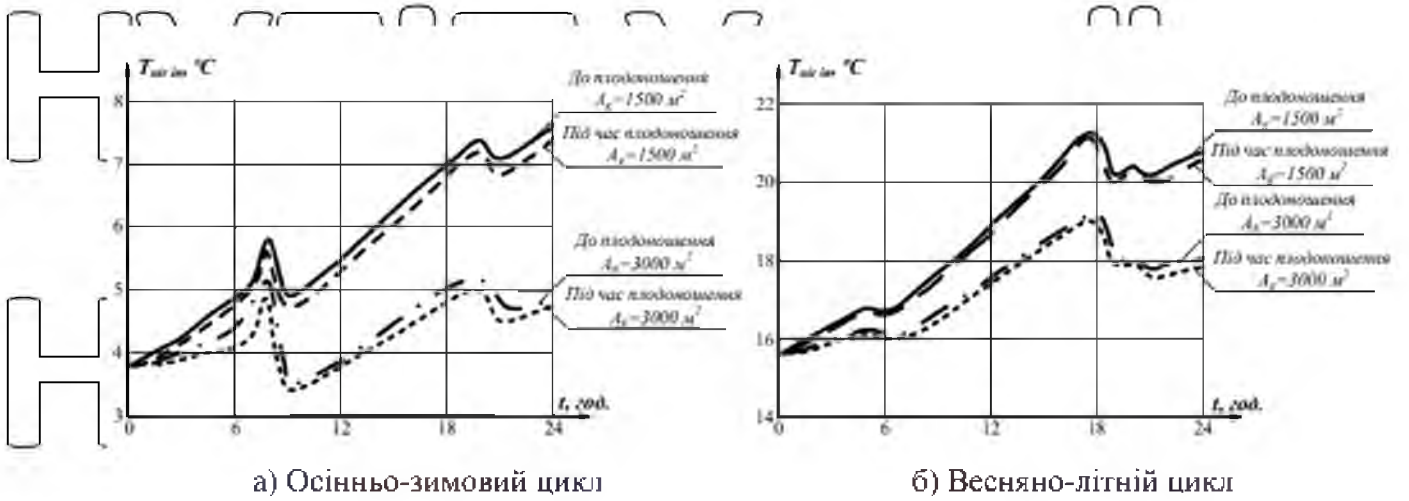


Рис. 2.11. Добова динаміка температури під час вирощування огірків у промислових теплицях

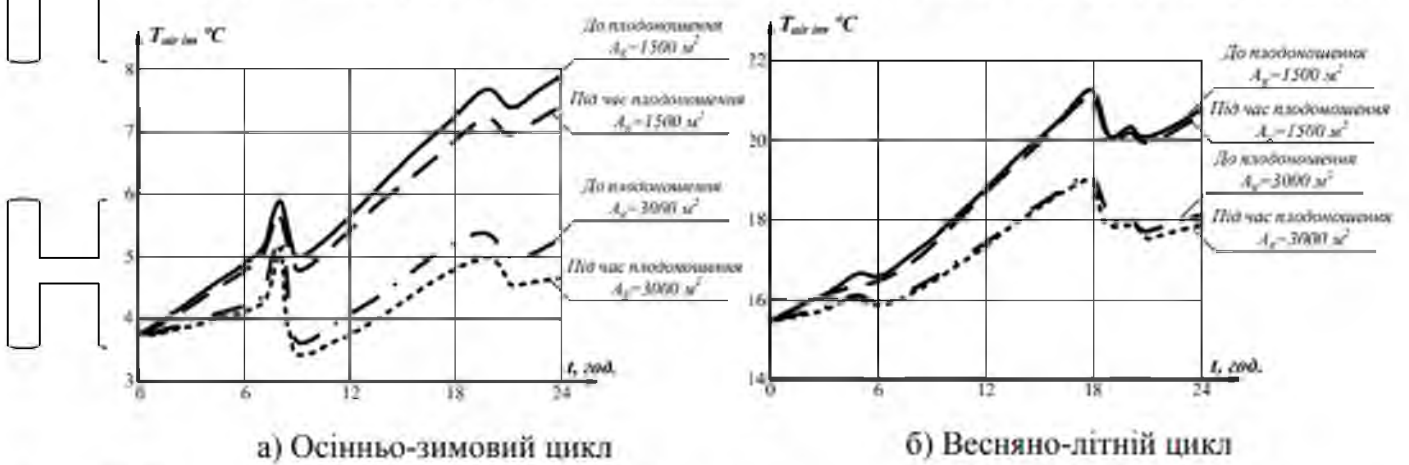


Рис. 2.12. Добова динаміка температури під час вирощування томатів у промислових теплицях

На підставі розробленої математичної моделі з обліком даних щодо місячної динаміки температури повітря за довгостроковий період було оцінено необхідне значення сумарної питомої теплової енергії ($Q_{\text{total}}^{\text{спр}}$, кВт·год/м³) в зоні вирощування, як показано на рисунках 2.13 і 2.14.

Отримані значення свідчать про кількість енергії на один кубічний метр, яку потрібно забезпечити в зоні вирощування теплиць протягом однієї години, з обліком регламентованих вимог до оптимальних температур для огірків і томатів до і під час вегетації.

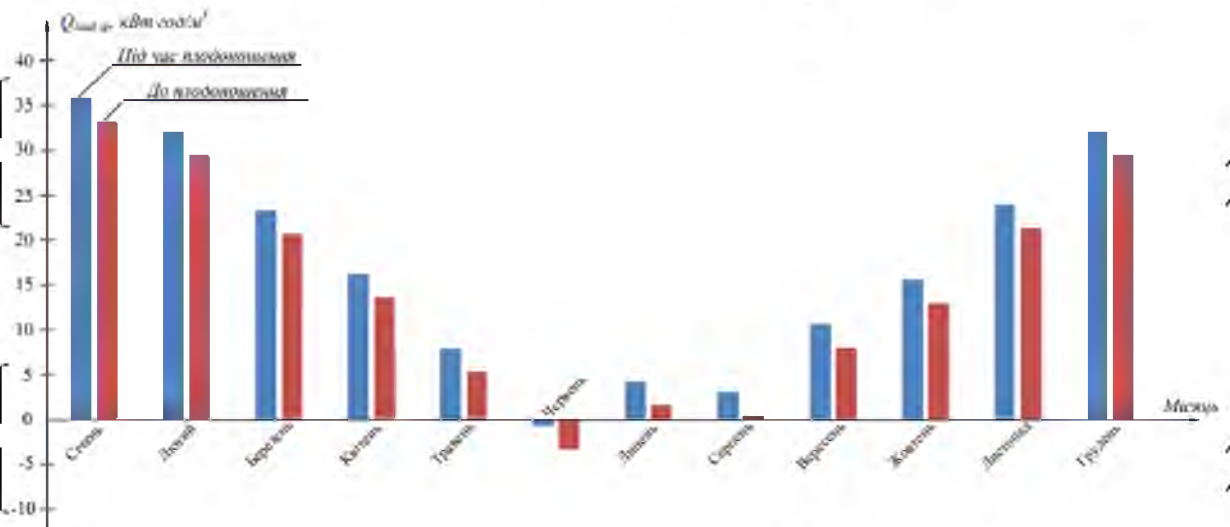


Рис. 2.13. Місячна динаміка сумарної питомої теплової енергії під час

вирощування огірків у промислових теплицях

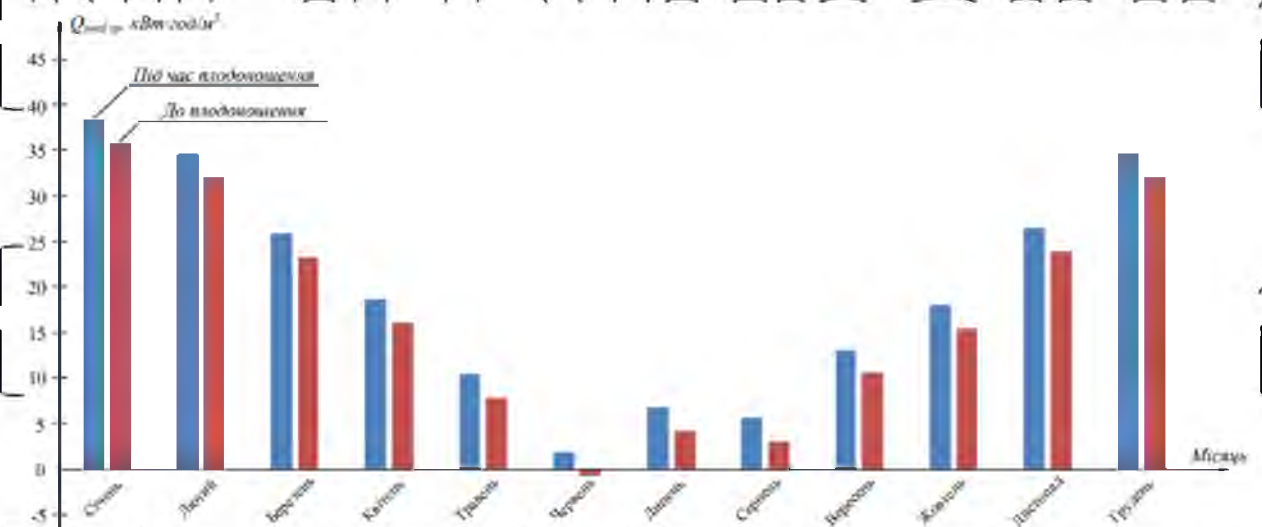


Рис. 2.14. Місячна динаміка сумарної питомої теплової енергії під час

вирощування томатів у промислових теплицях

Шляхом аналізу результатів моделювання динаміки температури в зоні вирощування теплиць, які наведено на рисунках 2.11–2.14, встановлено наступне:

– під час вирощування культур у осінньо-зимовий цикл за умови надходження теплової енергії від сонця, систем опалення і штучних систем доосвітлення в кількості отриманій за вищевикладених кліматичних умов і параметрів джерел є недостатньою, що обумовлює необхідність збільшення потужності систем опалення та прецизійного керування ними за результатами комп'ютеризованого моніторингу внутрішніх і зовнішніх кліматичних параметрів;

– під час вирощування культур у весняно-літній цикл за умови надходження теплової енергії від сонця, систем опалення і штучних систем досвічування, а також сумарних втрат енергії у кількості отриманій за вищевикладених параметрів джерел є завищеною, що обумовлює необхідність прецизійного керування системами вентиляції та затінення за результатами комп'ютеризованого моніторингу внутрішніх і зовнішніх кліматичних параметрів;

– оціночні середні значення постійної сумарної питомої теплової енергії, яка є достатньою для забезпечення регламентованих режимів вирощування типових тепличних культур (див. табл. 1.9), є наступними: в осінньо-плодоношення – $25,1 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$, у весняно-літній цикл: для огірків до плодоношення – $3,5 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$, під час плодоношення – $8,9 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$; в осінньо-зимовий цикл вирощування: для томатів до плодоношення – $25,1 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$, під час плодоношення – $27,6 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$; у весняно-літній цикл: для томатів до плодоношення – $8,9 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$, під час плодоношення – $11,6 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$.

– облік типів і періодів вегетації культур, сезонності й геометричних розмірів теплиць призводить до складного вигляду функції динаміки температури, що обумовлює практичну неможливість реалізації підсистем моніторингу параметрів температурного режиму

вирощування з використанням класичних підходів до трансформації вимірювальної інформації на базі відомих аналітичних залежностей, а отже, виникає необхідність побудови таких підсистем на базі теоретичного апарату нечіткої логіки.

На підставі проведених досліджень із розробки математичної моделі процесу вимірювального моніторингу температури повітря в зоні вирощування теплиць було уточнено функціональну схему процедур отримання й аналізу вимірювальної інформації щодо температурного режиму вирощування в режимі реального часу, як показано на рисунку 2.15.



Рис. 2.15 Уточнена функціональна схема процедури моніторингу параметрів температурного режиму вирощування

На рис. 2.15 введено наступні позначення.

T_{water} – температура поливного розчину;

T_{soil} – температура ґрунту;

$T_{air\ in}$ – температура повітря в зоні вирощування;

$T_{air\ out}$ – температура повітря навколишнього середовища;

$W_{air\ out}$ – вологість повітря навколишнього середовища;

$V_{air\ out}$ – швидкість руху потоків повітря навколишнього середовища;

$D_{air,om}$ – напрямок руху потоків повітря навколишнього середовища;
 T_{total} – загальнодобове сонячне випромінювання;
 $m_{h.c.}$ – витрата теплоносія;

T_{direct} – температура подачі теплоносія;

T_{back} – температура теплоносія, що відводиться з системи опалення;
 $P_{el,soil}$ – споживана електрична потужність системою обігріву ґрунту;
 r_v – відсоток відкриття механізмів системи вентиляції;

k_{air} – кратність обміну повітрям;

α_{open} – кут відкриття механізмів зашторювання системи затінення;

$P_{el,water}$ – споживана електрична потужність системою підігріву поливного розчину.
 Таким чином, запропонована функціональна схема, яку

наведено на рис. 2.15, дозволяє реалізувати функцію адаптивного до

типів і періодів вегетації культур автоматичного керування технологічними режимами вирощування з обліком факторів сезонності та інженерного дизайну теплиць за результатами неруйнівного комп'ютеризованого моніторингу основних характеристик внутрішнього мікроклімату теплиць і зовнішніх атмосферних параметрів у режимі реального часу.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 3 ВИБІР РЕГУЛЯТОРА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЙОГО НАЛАШТУВАНЬ

3.1. Функціональна схема автоматизації системи керування параметрами мікроклімату у промисловій теплиці

Розроблена система здійснює регулювання по ПІ-закону за параметрами мікроклімату, індикацію ТП (технологічних параметрів), контури керування електродвигунами і електроклапанами.

Мікроклімат у теплиці регулюється такими каналами: температура теплоносіїв верхнього й нижнього рівнів, вологість повітря верхнього й нижнього рівнів, а також кут нахилу фрамуг на даху.

Усі сприймаючі елементи надсилають інформацію на мікроконтролер, який її обробляє і відсилає сигнали управління на певний РО або ВМ, якщо існують відхилення від заданих у програмі показників.

Функціональну схему САК мікрокліматом в теплиці представлено на рис. 3.1.

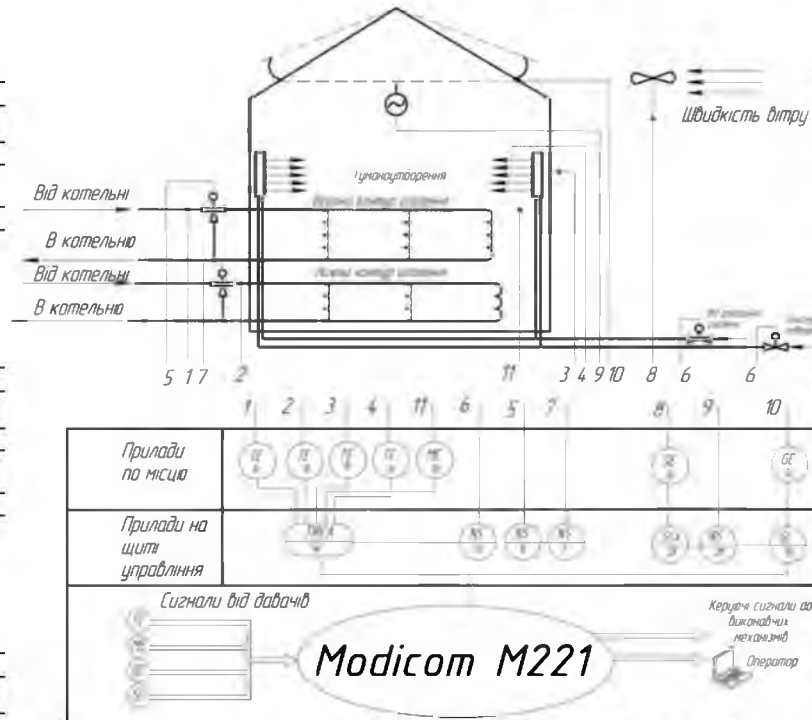


Рис. 3.1. Функціональна схема автоматизації

3.2. Вибір алгоритму керування

Для визначення алгоритму керування визначимо динамічні властивості об'єкта та показники якості, які повинні бути забезпечені по технологічним вимогам.

Алгоритм керування вибирають за величиною відношення часу запізнення до постійної часу об'єкта $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}}$ [14]:

- якщо $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} < 0,2$, перевагу віддають позиційному (релейному) алгоритму керування, але можливе використання і неперервного алгоритму. Рішення приймається в залежності від технологічних вимог до процесу управління.

- якщо $0,2 < \frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} < 1,0$, перевагу віддають неперервному або цифровому алгоритму керування (ПІ-, ПІІ- або ПІІД-алгоритм керування)

- якщо $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} > 1,0$, вибирають спеціальний цифровий регулятор з екстраполятором, який компенсує запізнювання в контурі керування.

Крім того, для обґрунтування алгоритму керування і вибору регулятора, який реалізує такий алгоритм, необхідно знати не тільки властивості об'єкта та вимоги до технологічного процесу, але й деякі конструктивні особливості самих регуляторів. Промислові регулятори реалізують алгоритм керування з певною похибкою, що обов'язково повинно враховуватись при виборі усіх технічних засобів, що входять до складу системи автоматичного керування.

В даному випадку за отриманою передатною функцією (п.п. 2.4)

$$\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} = \frac{75}{2075} = 0,067.$$

За вказаною методикою необхідно обрати позиційний алгоритм керування. Але необхідно врахувати наступні технологічні умови:

- по-перше, використання позиційного алгоритму керування за умови трубної системи обігріву призведе до суттєвих коливань температури повітря в теплиці;

- по-друге, згідно розробленої функціональної схеми автоматизації (рис. 3.1) як виконавчі механізми передбачається використати трьохходові регульовальні клапани, які використовуються для неперервного керування витратами теплоносія в системах обігріву.

Оскільки при відношенні $\frac{\tau_{OY}}{T_{OY}} < 0,2$ можливе використання неперервного алгоритму, зупинимось на виборі останнього.

Методика вибору найкращого алгоритму керування для певного об'єкта полягає у визначенні динамічного коефіцієнта регулювання.

Для статичних об'єктів:

$$R_D = \frac{y_1}{K_{OY} \cdot u_{МАКС}} \quad (3.1)$$

де K_{OY} – коефіцієнт передачі об'єкта керування;

$u_{МАКС}$ – максимально допустиме збурення по навантаженню, в % ходу

РО;

y_1 – максимальне динамічне відхилення, %.

Проведемо розрахунки за умов наступних значень показників якості:

- максимальне динамічне відхилення $y_1 = 1,5\%$;
- статична похибка $\Delta y = 1,5^\circ\text{C}$;
- допустимий час регулювання $t_p = 2000$ с;
- перерегулювання за збуренням $\sigma = 0,2$;
- допустиме можливе значення збурення за навантаженням (у % переміщення регульовального органу) $u_{МАКС} = 30\%$.

За вихідними значеннями величина динамічного коефіцієнту

$$R_d = \frac{1,5}{0,273 \cdot 30} = 0,183.$$

Вибираємо для даного об'єкта перехідний процес із 20% перерегулюванням.

За графічними залежностями [14] (Додаток Г1), визначаємо алгоритм керування – це ПІ-алгоритм.

Перевіримо, чи забезпечуватиметься при цьому необхідний час регулювання за виразом

$$t = \psi \cdot \tau, \quad (3.2)$$

де ψ – відносний час регулювання, для статичного об'єкту із ПІ-алгоритмом керування $\psi = 12$ (Додаток Г2).

Тоді $t_{р.п} = \psi \cdot \tau = 12 \cdot 22 = 900$, видно, що $900 < 2000$, тобто необхідний

час регулювання забезпечується.

Перевіримо на виникнення при цьому статичної похибки.

За графічними залежностями [14], визначаємо

$$\frac{\Delta y}{k_{OY} \cdot y_{МАКС}} = 0,18, \quad \Delta y = k_{OY} \cdot y_{МАКС} \cdot 0,18 = 0,273 \cdot 30 \cdot 0,18 = 1,47^\circ C.$$

Умова $1,47^\circ C < 1,5^\circ C$ виконується, тобто ПІ-алгоритм керування задовольняє технологічні вимоги.

3.3. Реалізація алгоритму керування

3.3.1. Вибір ПЛК

Для отримання інформації про параметри мікроклімату та керування технологічним обладнанням згідно із завданням на виконання магістерської роботи обраний програмно-логічний контролер ПЛК73 ОВЕН (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Програмно-логічний контролер ПЛК73 ОВЕН

Контролер має вбудовані елементи:

- SD карта пам'яті і USB порт
- аналогових входи і широкий вибір I / Os
- Вимикач для пуску і зупинки Run / stop і картридж розширення
- Ethernet і послідовні порти

Також, завдяки високому ступені гнучкості можна легко додати додаткові модулі безпеки, пуску двигунів, додаткові модулі аналогових та цифрових входів/виходів, модулі сервоприводів та крокових приводів.

Контролер програмується інтуїтивно за допомогою програмного забезпечення SoMachine Basic, яке дуже зручним і не потребує додаткового навчання персоналу.

Переваги ПЛК73 ОВЕН: можливість досягти оптимальної продуктивності і збільшення економічної ефективності за допомогою інтуїтивного програмування, готових до застосування прикладів і функціональних блоків, вбудованих функцій, що дозволяють проектувати і програмувати більш ефективно, гнучкого управління, включаючи можливість переходу на більш продуктивні моделі ПЛК та простій інтеграції і управління за допомогою підключення через Ethernet, бездротового доступу або через WEB-сервер.

Таблиця 3.1

Характеристика контролера ПЛК73 ОВЕН

| | |
|---|--------------------------------------|
| Температура робочого середовища | 10...+55 °С |
| Відносна вологість | 10...95% |
| Типи джерел живлення | 24 В с або 100-240 В а, 50/60 Гц. |
| Межа по напрузі (з урахуванням пульсації напруги) | 19.2...28.8 В п.с. /85...264 В зм.с. |
| Макс. споживана потужність: | 17.2 Вт |

3.3.2. Вибір датчика температури

ПЛК повинні забезпечувати виконання технічних вимог системи автоматичного керування. Важливим параметром, який визначає швидкість перетворювача, є його інерційність, яка повинна бути значно меншою, ніж інерційність об'єкта керування. Інерційність визначають за постійною часу

T_0 . За умови, що динамічні властивості об'єкта керування визначаються передатною функцією.

$$W_o(s) = \frac{K_o}{T_o s + 1}, \quad (3.1)$$

а динамічні властивості перетворювача

$$W_{CE}(s) = \frac{K_{CE}}{T_{CE} s + 1}, \quad (3.2)$$

(де k_{CE} визначасмо із залежності вихідної напруги від температури), то при виборі ПП необхідно забезпечити $T_{CE} \leq 0,1 T_0$.

Постійна часу об'єкта T_0 складає 8500 с, максимальна постійна часу вимірювального перетворювача повинна бути не більше $T_0/10=850$ с. Звідси видно, що постійна часу обраного перетворювача температури TOM-100M, рівна 40 с, менша припустимої. Отже, обраний ПП підходить для проєктованої системи.

Коефіцієнт передачі датчика визначається з відношення :

$$k_{CE} = \frac{dR_t}{dt} = \alpha \cdot R_0, \quad (3.3)$$

де $\alpha = 4,2 \cdot 10^{-3}, 1/^\circ\text{C}$ – температурний коефіцієнт опору,

$R_0 = 100 \text{ Ом}$ значення опору при $t = 0, ^\circ\text{C}$.

Звідси $k_{CE} = 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot 100 = 0,4$.

Підставивши отримані значення у формулу (3.2) отримаємо передатну функцію сприймаючого елемента:

$$W_{CE}(s) = \frac{k_{CE}}{T_{CES} s + 1} = \frac{0,4}{40s + 1} = 0,4. \quad (3.4)$$

3.3.3. Вибір виконавчого механізму системи керування температурним режимом у теплиці

Виконавчі механізми встановлюються безпосередньо поблизу регулюючих пристроїв і жорстко пов'язані з ними за допомогою тяг і важелів.

Виконавчі механізми непрямої дії з'єднуються безпосередньо з регулюючим органом об'єкта управління.

Найчастіше виробляються приводи для 2-х, 3-х, 4-х ходових клапанів.

Доступні приводу з різними осьовими зусиллями, що дозволяє отримувати максимальні диференціальні тиску і забезпечує конкурентні рішення.

Приводи призначені для управління дво- і триходові клапанів в системах:

- гарячого водопостачання;
- опалення;
- кондиціонування повітря.

Приводи працюють за сигналом «Збільшити / Зменшити» або по аналоговому сигналу 0-10 В. При аналоговому управлінні швидкість переміщення штока вище, привід легко встановлюється і підключається.

ВМ у системі автоматичного керування має так переміщувати РО, щоб при цьому зміни в алгоритмі керування вносились мінімальні. Безпосереднє з'єднання найбільш просте: переміщення і швидкості ВМ та РО однакові. Цей спосіб набув поширення під час використання електромагнітних та багатооборотних ВМ, що приводять у дію запірну трубопроводну.

Часто виробником передбачено використання системи РО-ВМ. Так і Schneider Electric пропонує для керування клапаном V321 використовувати приводи серії Forta, призначених для управління 2-ходовими і 3-ходовими клапанами.

Приводи Forta оснащені платами високого ступеня інтеграції, що забезпечують широкий діапазон робочих параметрів клапана. Програмне забезпечення приводу дозволяє налаштовувати час переміщення і точки перемикання S2 відповідно до обмеженнями ходу штока клапана. Воно може бути налаштоване для різних пропускних характеристик, інверсного сигналу або контролю послідовності операцій. Кріплення за допомогою U-образного болта забезпечує простий і швидкий монтаж приводу. Ручне повернення приводу дозволяє регулювати положення клапана без відключення електроживлення.



Рис. 3.3. Загальний вигляд приводів серії Forta M310, M400

Для забезпечення високої якості регулювання випираємо привод Forta

НУБІП УКРАЇНИ

Технічні характеристики Forta M800

| | |
|----------------------------------|-----|
| Зусилля, Н | 800 |
| Час регулювання (T_{BM}), с | 20 |
| Середня споживана потужність, ВА | 10 |
| Напруга живлення, В | 24 |

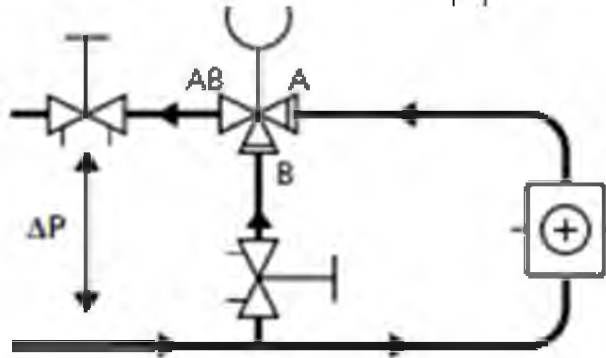


Рис. 3.4. Монтаж клапана V321 із приводом M800

Визначаємо передатну функцію виконавчого механізму:

$$W_{BM}(s) = \frac{K_{BM}}{T_{BM}s} \quad (3.5)$$

Так як виконавчий механізм замкнений зворотнім зв'язком знаходимо еквівалентну передатну функцію $W_{екв}(s)$:

$$W_{екв}(s) = \frac{W_{BM}(s)}{W_{BM}(s)+1} = \frac{1}{T_{екв}(s)+1} \cdot W_{PO}(s) \quad (3.6)$$

Отже передатна функція BM буде мати вигляд:

$$W_{BM}(s) = \frac{1.08}{20s + 1} \quad (3.7)$$

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Цифрові системи керування – це системи, в яких безперервні сигнали перетворюються в цифрові коди і керування здійснюється з використанням алгоритмів обробки цифрової інформації.

Цифрові системи керування передбачають перетворення безперервних сигналів у цифрові коди та зворотне перетворення цифрових кодів у безперервні сигнали. Такі перетворення здійснюють аналогово-цифрові (АЦП) і цифро-аналогові (ЦАП) перетворювачі. У таких перетворювачах здійснюється квантування як за часом так і за рівнем.

4.1. Визначення періоду квантування сигналів ЦСК

Дискретизація (квантування) – заміна неперервного сигналу тими чи іншими дискретними значеннями.

Види дискретизації: за часом; за рівнем; одночасна дискретизація за рівнем і за часом.

Задача вибору раціонального періоду квантування T_k є однією з основних проблем реалізації ЦСК. При зменшенні часу керування точність керування цифровою системою збільшується, але при цьому зростає завантаження мікроЕОМ. При збільшенні часу квантування втрачається важлива інформація про сигнал, що може призвести до неможливості відтворення вихідного сигналу за дискретними вибірками. Тому виникає проблема пошуку раціонального часу квантування T_k , який задовольнив би такі суперечливі вимоги.

Згідно з теоремою Котельникова для можливості безпомилкового відтворення сигналу, як показує аналіз амплітудних спектрів імпульсної системи, найменша частота квантування повинна дорівнювати $2\omega_c$, де ω_c – найвища частота вихідного сигналу, яка має місце в амплітудно-частотній характеристиці неперервної частини системи.

Теорема стверджує, якщо сигнал не містить в собі частот вище, ніж ω_c рад/с, він повністю описується своїми значеннями, вимірними у дискретні моменти часу за інтервалом $T_k = \pi/\omega_c$.

При подальших розрахунках нехтуємо передатною функцією датчика температури внаслідок його малої інерційності.

Визначення передатної функції неперервної частини розімкнутої системи:

$$W_{\text{роз.}}^{\text{н.ч.}}(s) = \frac{K_b}{T_b s + 1} \frac{K_o}{T_o s + 1} = \frac{K_b K_o}{T_b T_o s^2 + (T_b + T_o)s + 1}$$

$$W_{\text{роз.}}^{\text{н.ч.}}(s) = \frac{0,273e^{-75s}}{3196s^2 + 2077s + 1}$$

Визначаємо передатну функцію неперервної частини замкненої системи:

$$W_{\text{зам.}}^{\text{н.ч.}}(s) = \frac{W_{\text{роз.}}^{\text{н.ч.}}(s)}{1 + W_{\text{роз.}}^{\text{н.ч.}}(s)} = \frac{0,273e^{-75s}}{(3196s^2 + 2077s + 1) + 0,273e^{-75s}}$$

Визначення амплітудно-частотної характеристики неперервної частини замкненої системи:

$$W_{\text{зам.}}^{\text{н.ч.}}(j\omega) = \frac{0,273e^{-75j\omega}}{(3196j\omega^2 + 2077j\omega + 1) + 0,273e^{-75j\omega}}$$

У результаті розв'язання рівняння

$$A(\omega) = \frac{K_b K_o}{\sqrt{(-T_b T_o \omega^2 + 1 + K_b K_o)^2 + (T_b T_o)^2 \omega^2}} = 0,01$$

Отримаємо значення частоти за рис. 4.1/.

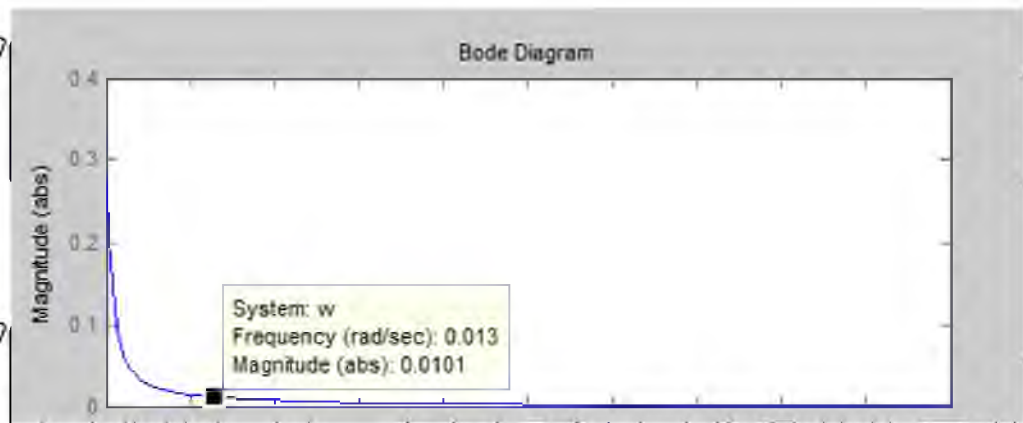


Рис. 4.1. АФЧХ системи керування

і значення часу квантування:

$$T_k = \frac{\pi}{\omega_c} = 241 \text{ с.} \quad (4.1)$$

4.2. Дослідження цифрового ПІ-регулятора

Аналогічно з неперервними системами в цифрових системах можна реалізувати ПІ закон регулювання (рис 4.2).

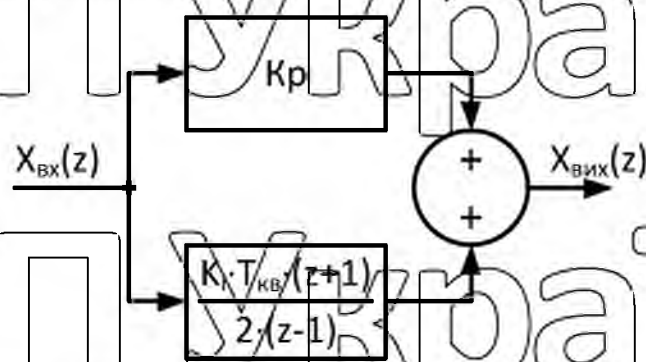


Рис. 4.2. Структурно-алгоритмічна схема цифрового ПІ-регулятора:

K_p , K_i – параметри відповідно пропорційної та інтегральної складових ПІ-регулятора, T_{kv} – період квантування.

Синтез ПІ-регулятора полягає у знаходженні параметрів K_p, K_i .

Параметр інтегральної складової регулятора, який залежить від добротності за швидкістю K_v неперервної частини, визначається за виразом 4.2:

$$K_i = K_v \lim_{z \rightarrow 1} W_{н.ч.}(z) \quad (4.2)$$

Добротність за швидкістю визначається залежно від постійної часу об'єкта (табл. 4.1)

Таблиця 4.1.

Визначення добротності за швидкістю

| T_o, c | K_v |
|-------------|---------------|
| ~ 1 | 3...10 |
| ~ 10 | 0,3...1 |
| ~ 100 | 0,01...0,04 |
| ~ 1000 | 0,004...0,012 |

Згідно з таблицею $K_v = 0,008$, оскільки $T_o = 2075 c$

Для визначення передаточної функції $W_{н.ч.}(z)$ застосовуємо пакет програм MATLAB (лістинг 4.1), використовуючи операції завдання передаточної функції неперервної системи $w = tf([K_o], [T_v T_o T_v + T_o 1])$ та Z-перетворення неперервної передаточної функції на дискретну $wz = c2d(w, T)$, де w – змінна, що отримала вираз неперервної передаточної функції, T – крок квантування.

При синтезі ПІ-регулятора ми нехтуємо малою постійною часу B_M , оскільки ПІ-регулятор компенсує лише один полюс Z-перетворення неперервної частини.

Для дослідження показників якості роботи системи використовуємо модель у програмному середовищі MATLAB/Simulink (рис. 4.3).

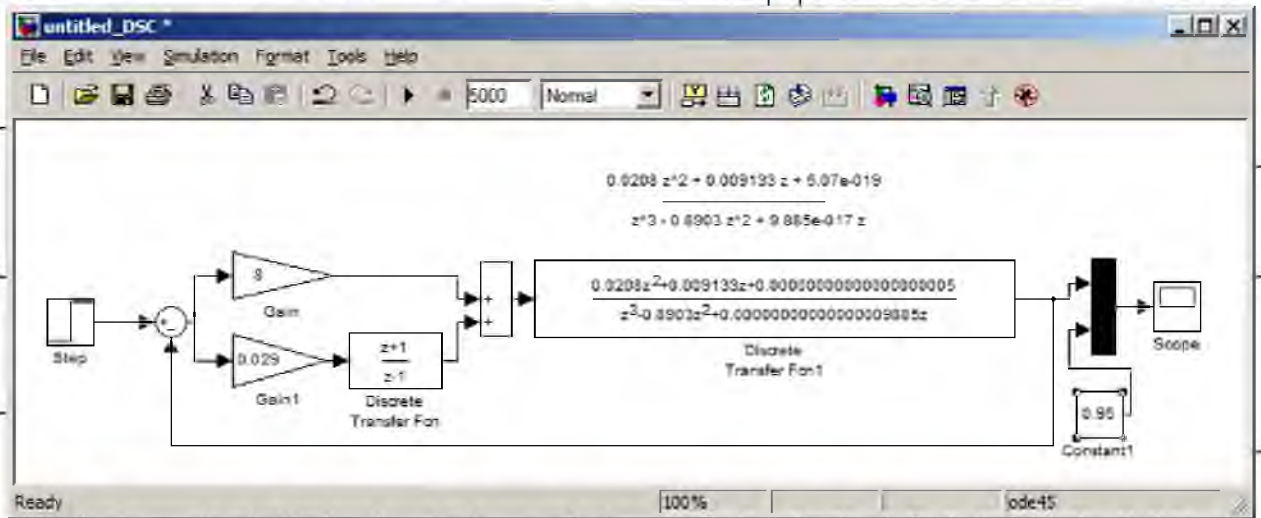


Рис. 4.3. Структурна модель цифрової системи

Та отримаємо перехідний процес цифрової системи з ПІ-регулятором (рис. 4.4).

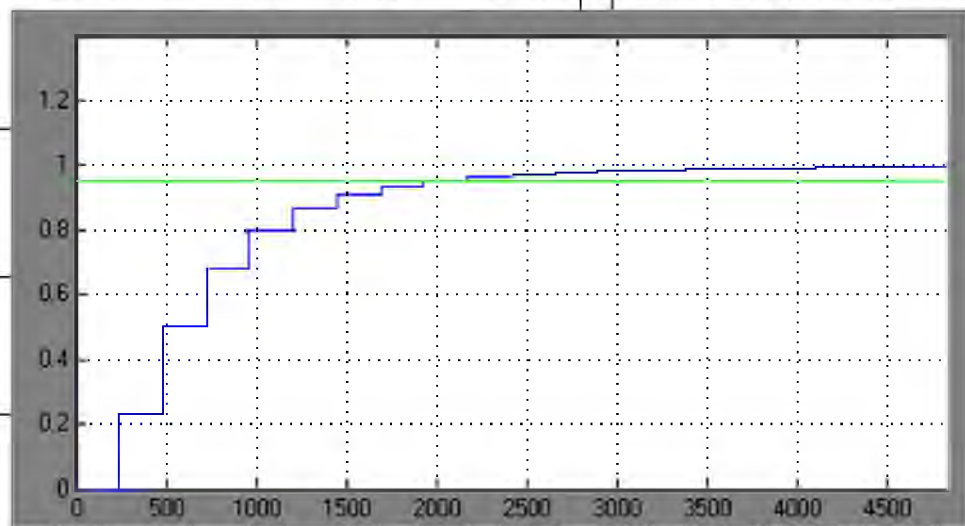


Рис. 4.4. Перехідний процес цифрової системи з ПІ-регулятором

РОЗДІЛ 5

СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

НУБІП України

5.1 Розробка схеми електричної принципової системи

автоматичного керування параметрами мікроклімату в промисловій теплиці

Схема електрична принципова системи автоматичного керування

параметрами мікроклімату в промисловій теплиці зображена на рис. 5.1.

Згідно із завданням схема побудована з використанням обладнання фірми ОВЕН, зокрема програмованого логічного контролера ОВЕН ПЛК73-ККККRRRR-М ПИ73-5 (D1), модулів розширення аналогового вводу ОВЕН МВ110-224.8А (D2) та аналогового виводу ОВЕН МУ110-224.6У (D3), мережевого шлюзу ОВЕН ПМ210 (D4) для підключення ПЛК до хмарного сервісу OwenCloud по GPRS-каналю, та датчиків і обладнання інших виробників.

Схема передбачає роботи системи керування в автоматичному і в ручному (оператором SCADA-системи) режимі.

В автоматичному режимі керування обладнанням системи керування здійснюється програмно-логічним контролером ПЛК73 ОВЕН згідно із програмою керування, введеною оператором у пам'ять пристрою, за певним алгоритмом.

Алгоритм роботи системи автоматичного керування параметрами мікроклімату у промисловій теплиці полягає у наступному:

1) після вмикання автоматичних вимикачів QF1-QF7 подається живлення на силове обладнання та у коло керування;

2) живлення ПЛК автоматично переводить внутрішні програми в стан RUN, що означає виконання запрограмованих програм в циклів,

НУБІП України

3) натисканням кнопки **SB1.1** здійснюється старт виконання програми в ПЛК і починається виконання керування окремими контурами системи: опаленням, вентиляцією, зволоженням повітря, зашторюванням, системою підживлення рослин вуглекислим газом.

4) ПЛК73 ОВЕН отримує значення температури у відповідній технологічній зоні в теплиці за допомогою датчиків температури ОВЕН ДТС125Л (**D5 – D8**), і відповідно до програми формує сигнали керування за ПІ-алгоритмом виконавчими механізмами (**D15 – D18** – сервоприводами, що за допомогою трьохходових клапанів змінюють витрату теплоносія в трубах системи опалення теплиці), та електродвигунами **M3–M6** приводу циркуляційних насосів подачі теплоносія (гарячої води) у теплицю.

Крім того, в зимовий період у нічний час за допомогою мотор-редуктора **M2** здійснюється закривання верхньої зони теплиці енергозберігаючим шторним екраном; у весняний та літній період при пікових значеннях сонячної радіації для запобігання тепловому стресу відбувається закривання загінюючим шторним екраном із одночасним відкриттям вентиляційних фрамуг за допомогою мотор-редуктора **M1** і короткочасним розпиленням вологи відкриттям електромагнітного клапану **YA1** системи зволоження і випарного охолодження повітря.

Електродвигуни мотор-редукторів системи вентиляції та зашторювання керуються напряму магнітними пускачами **KM1-KM4**, а електродвигуни приводу насосів та електромагнітні клапани **YA1-YA2** подачі води у систему зволоження і подачі CO_2 – за допомогою проміжних реле **KL1-KL6** подається живлення на магнітні пускачі **KM5-KM8**.

5) робота системи може бути зупинена натисканням кнопки **SB1.2**.

Схеми підключення відповідних датчиків та виконавчих механізмів до ПЛК, модулів розширення вводу та виводу наведені в додатку Е1.

5.2. Нейронна мережа

Тенденцію росту цін на вичерпні енергоресурси можна спостерігати вже досить тривалий проміжок часу. Звернувши на це увагу, можна зробити висновок, що вона збережеться і надалі. Аби підприємство у таких умовах залишалось прибутковим й конкурентоспроможним слід приділити значну увагу постійній економії енергоресурсів під час його роботи.

Економія на рівні технологічного процесу забезпечується тим фактом, що ми формуємо оптимальні параметри налаштування регулятора. Критерієм якості виступає мінімальний лінійний інтегральний показник якості, що зменшує кількість використаної привідної енергії. Проте у котельні основним джерелом енергії слугує природний газ. Такі об'єкти функціонують в умовах невизначеності, оскільки на них діють природні збурення, що змінюються за випадковим законом. Окрім того, існує неповнота інформації про стан біологічної складової. В таких випадках себе добре показують нейронні мережі.

Зважаючи на це було прийнято рішення підключення до САК нейронної мережі, яка дозволила би підтримувати найкращі показники мікроклімату при мінімальних витратах на енергетичні ресурси.

Впроваджена нейронна мережа (рис. 2.25), побудована в програмному середовищі Fuzzy Logic Toolbox MATLAB на основі результатів тривалих статистичних спостережень за змінами параметрів зовнішнього середовища, атмосфери в теплиці (дослідження проводила кафедра автоматики та робототехнічних систем ім. академіка І.П.Мартиненка НУБІП України). Цей рівень автоматизації забезпечує реалізацію економічного критерія – максимізує прибуток за рахунок оптимізації витрат енергоносіїв (у першу чергу природного газу).

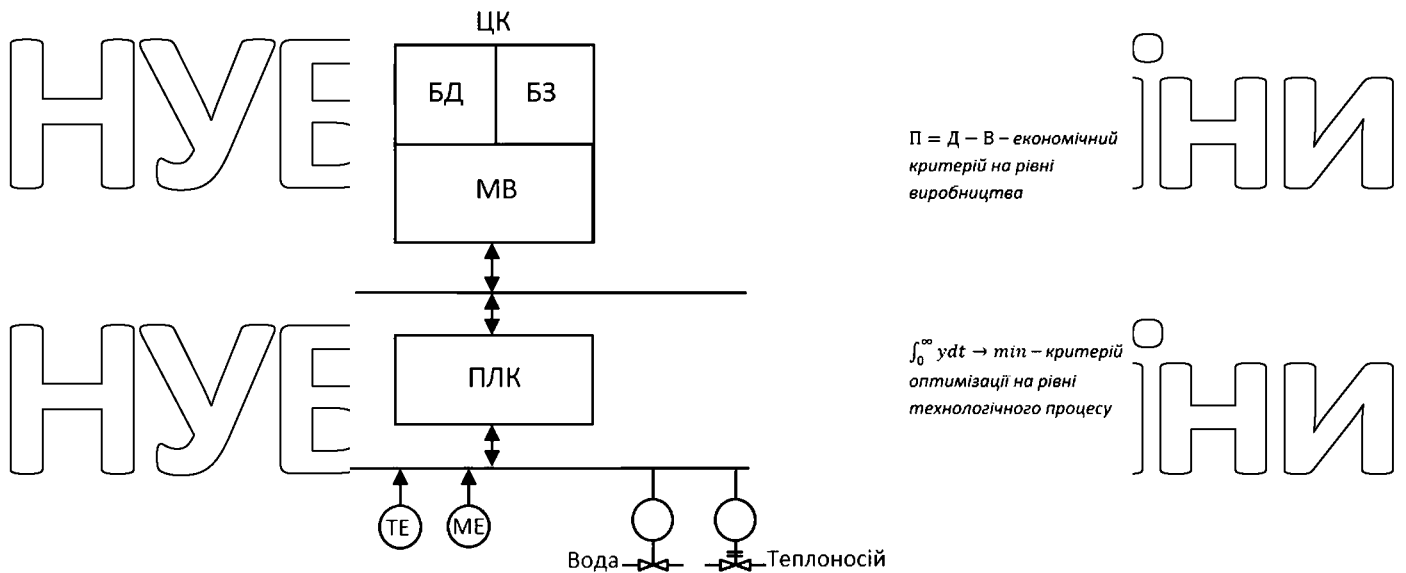


Рис. 5/1. Дворівнева система автоматичного керування мікрокліматом з нейронною мережею.

ЦК – центральний комп'ютер; БД – база даних; БЗ – база знань; МВ – модуль виведення; ПЛК – програмований логічний контролер; П – прибуток; Д – дохід; В – видатки; $\int_0^{\infty} y dt \rightarrow \min$ – лінійний інтегральний критерій.

Нейронна мережа (рис. 5/1) розміщена на центральному комп'ютері.

База даних результатів тривалих статистичних спостережень за змінами параметрів зовнішнього середовища та атмосфери у теплиці забезпечила якісне навчання мережі. До бази знань внесено перелік правил, керуючись якими НМ обраховує оптимальні значення контрольованих параметрів відповідно до дій збурення. Модуль виведення забезпечує передачу сигналів від нейронної мережі до ПЛК, який, в свою чергу, задає керуючу дію на робочих органах.

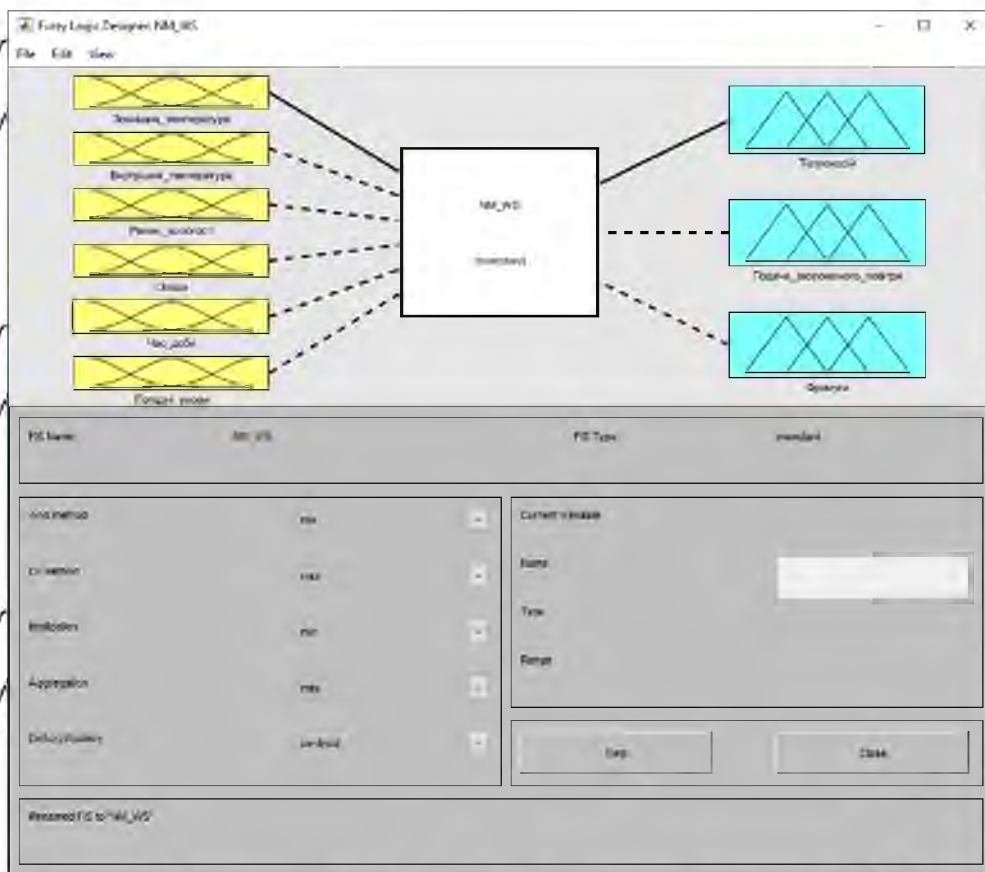


Рис. 5.2. Розроблена нейронна мережа

Нейронна мережа має 6 входів і 3 виходи. Параметри, що подаються на входи НМ наступні:

- Зовнішня температура, °C;
- Внутрішня температура, °C;
- Рівень вологості, %;
- Опади;
- Час доби;
- Погоді умови.

Значення наведених нижче параметрів потрапляють до центрального блоку нейронної мережі, де задано 14 правил (рис. 5.3) створення вихідних сигналів, залежно від вхідних. Правила мають різні вагові коефіцієнти, залежно від їх пріоритетності.



Рис. 5.3. Блок правил у НМ

Після обчислення у блоці правил НМ отримує три вихідні значення (рис. 5.4; рис 5.5) залежно від яких будуть задані:

- температури теплоносія (гарячої води), °С;
- об'єму подачі зволоженого повітря, $\text{м}^3/\text{хв}$;
- кут відкриття фрамуг.

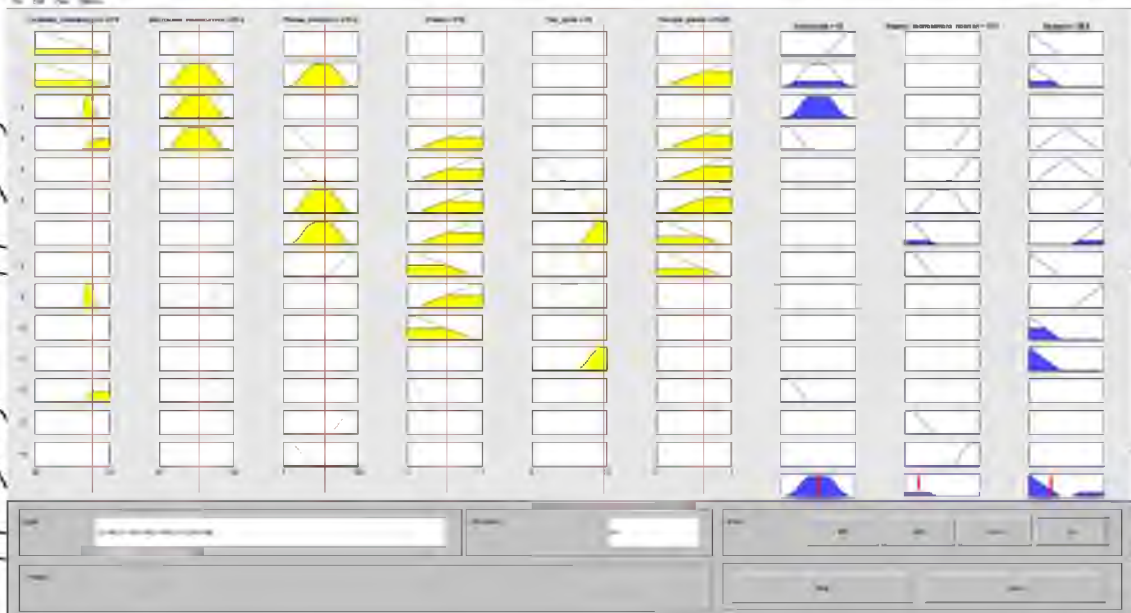


Рисунок 5.4. Залежності вихідних параметрів від вхідних

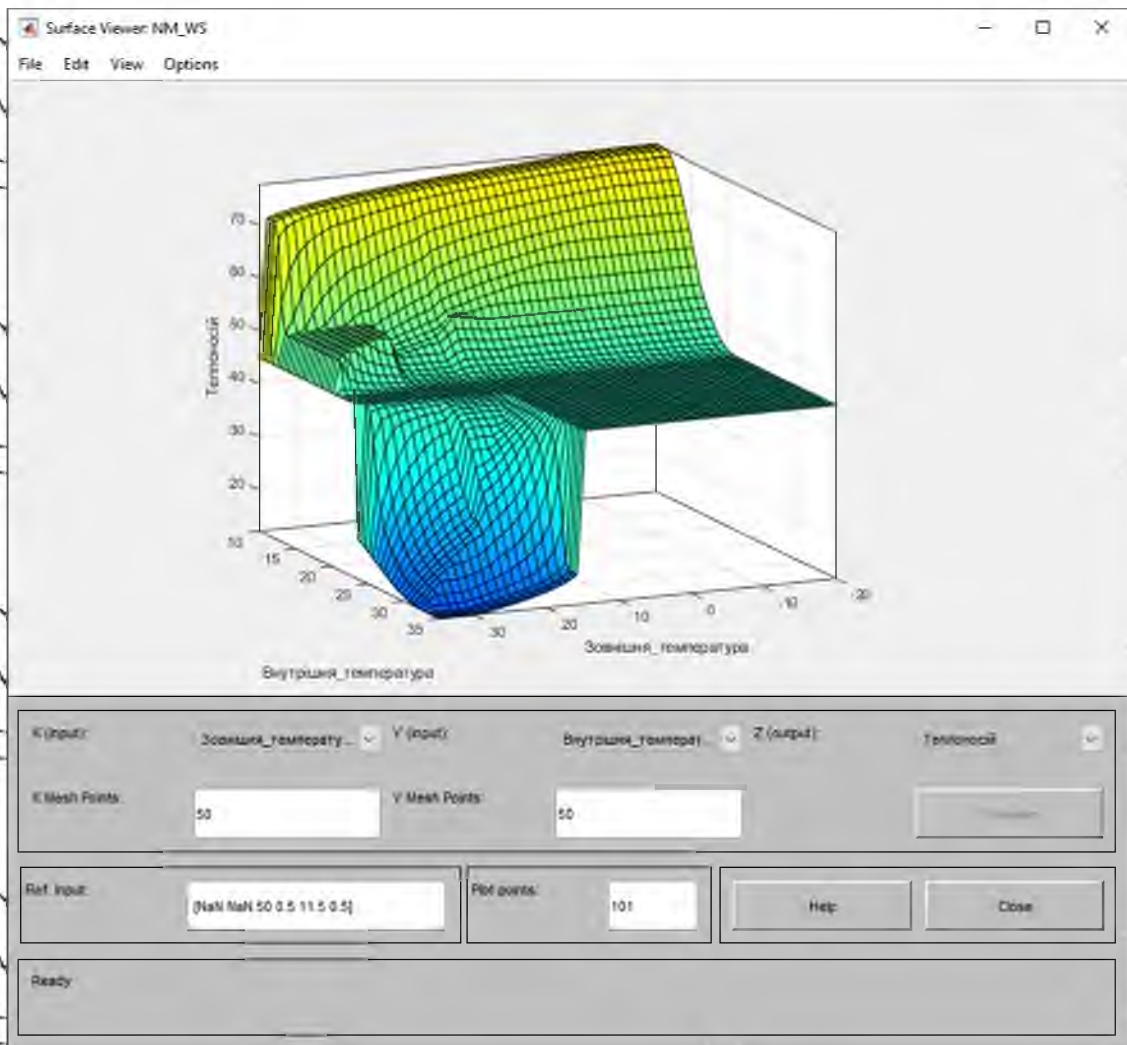


Рисунок 5.5.. Залежність температури теплоносія від зовнішньої і внутрішньої температури у теплиці

5.3. SCADA-система

Оскільки розроблена САК має два режими керування – автоматичний та ручний, у програмному середовищі Easy Builder було розроблено SCADA-систему (рис. 5.6), що дозволяє оператору здійснювати моніторинг параметрів або задавати їх при переході на ручний режим. Оператор може здійснювати перемикання режимів роботи між ручним і автоматичним. У ручному режимі є змога регулювати температуру в середині теплиці, рівень вологості та кут відкриття фрамуг.

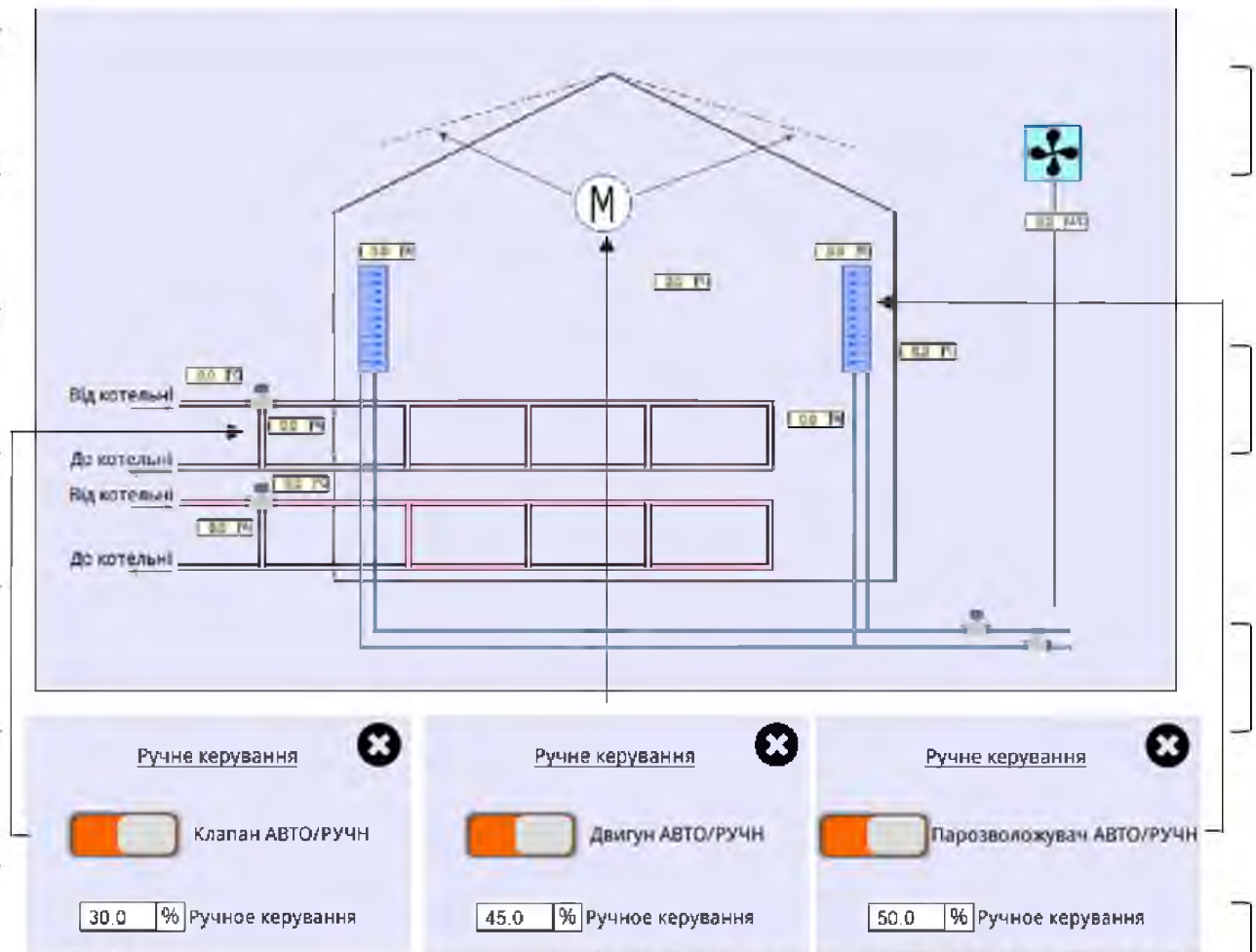


Рис. 5.6. SCADA-система

Розроблена SCADA-система може бути встановлена до сенсорної панелі оператора MT8100iE (рис. 5.7), що широко використовуються у сучасних промислових тепличних комплексах. Ця серія операторських панелей виконана в новому оновленому дизайні, але так само, як і попередні серії, задовольняє клас захисту IP65/NEMA4. Має ультратонкий корпус, що дає можливість встановлення у місцях з обмеженим простором.

Панель оператора MT8100iE є продовженням серії MT8000iE, що добре зарекомендувала себе, і відрізняється від MT8070iE тільки більшою діагоналлю екрана – 10". Вона так само розроблена на базі потужного процесора RISC 600MHz, має вбудовану RAM DDR2 128Mb і DOM 128Mb, що забезпечує передачу даних з великою швидкістю, а також якісне відображення об'єктів графіки.



Рисунок 5.7. Панель оператора MT8000iE

У процесі виробництва даної операторської панелі друкована плата покривається захисним лаком, який забезпечує додатковий захист компонентів від корозії, води та коротких замикань. Це підвищує якість панелей оператора, які і без того відрізняються високою надійністю і стабільною роботою в жорстких виробничих умовах.

Сенсорна панель оператора MT8100iE оснащена двома COM-портами з подвійною ізоляцією інтерфейсів RS-485/422/232, які, крім стандартного протоколу Modbus RTU, також підтримують передачу даних по MPI 187.5K. Порт RJ-45 Ethernet надає можливість зв'язку з пристроями, використовуючи широко відомі протоколи Modbus TCP/IP та BacNET/IP. Список сумісного обладнання, з операторськими панелями Weintek, включає контролери та обладнання найвідоміших і найпоширеніших виробників, а підтримка стандартних протоколів дозволяє налаштувати з'єднання практично з будь-яким пристроєм.

Маючи відмінні обчислювальні та графічні можливості, великі комунікаційні можливості, високий рівень захисту та надійності, операторські панелі виробництва Weintek ідеально підходять для автоматизованих систем контролю та управління.

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Система управління охороною праці на підприємстві

З метою дотримання умов праці відповідно до вимог нормативних актів, а також забезпечення прав працівників, гарантованих законодавством про охорону праці на підприємствах забезпечується функціонування системи управління охороною праці, для чого:

- створюються відповідні служби і призначаються посадові особи, які вирішують конкретні питання охорони праці, затверджуються інструкції про їхні обов'язки, права і відповідальність за виконання покладених на них функцій;

- організовується проведення аудиту охорони праці, лабораторних досліджень умов праці, атестації робочих місць на відповідність нормативним актам з охорони праці в порядку й у терміни, встановлювані законодавством;

- розробляються за участі профспілок і реалізуються комплексні заходи для дотримання встановлених нормативів з охорони праці, впроваджуються прогресивні технології, досягнення науки і техніки, засоби механізації та автоматизації виробництва, вимоги ергономіки, позитивний досвід з охорони праці тощо;

- забезпечується усунення причин, що викликають нещасні випадки, професійні захворювання, контролює виконання профілактичних заходів, визначених комісіями на основі підсумків розслідування цих причин;

- розробляються і затверджуються положення, інструкції, інші нормативні акти про охорону праці, що діють у межах підприємства і встановлюють правила виконання робіт та поведінки працівників на території підприємства, у виробничих приміщеннях, на робочих місцях відповідно до державних міжгалузевих і галузевих нормативних актів з охорони праці;

- здійснюється постійний контроль за дотриманням працівниками технологічних процесів, правил роботи на машинах, устаткуванні та з іншими засобами виробництва, за використанням засобів колективного й індивідуального захисту, виконанням робіт з охорони праці;

- організовується пропаганда безпечних методів праці.

На підприємстві за кошти роботодавця організуються медичні огляди працівників, зайнятих на важких роботах, роботах зі шкідливими чи небезпечними умовами праці. Медичні огляди проводяться при прийомі на роботу (попередній), протягом трудової діяльності (періодичний), при необхідності проведення професійного відбору, а також щорічно обов'язковий медичний огляд осіб у віці до 21 року.

Служба охорони праці входить до структури підприємства, організації або установи як одна з основних виробничо-технічних служб. Служба охорони праці підпорядковується безпосередньо роботодавцю і залежно від кількості працівників може функціонувати як самостійний структурний підрозділ або у вигляді одного співробітника, у тому числі й за сумнісством. Комплектується служба фахівцями, що мають вищу освіту і стаже роботи за профілем цього виробництва не менше трьох років.

Організаційна структура системи управління охороною праці на підприємстві (СУОПП) формується на основі діючої на даному підприємстві структури управління виробництвом і підпорядковується усім властивим їй принципам управління.

Координація робіт у галузі охорони праці здійснюється шляхом розподілу обов'язків і порядком взаємодії осіб, структурних підрозділів і служб, що беруть участь у реалізації задач СУОПП, а також прийняття ними рішень і їх реалізацію. До таких рішень належать накази, розпорядження, вказівки тощо.

Для нормального функціонування СУОПП на підприємстві наказом розподіляють функції з реалізації завдань управління охороною праці між керівними і виконавчими функціональними службами та структурними

підрозділами підприємства. В управлінні охороною праці, крім штатних посадових осіб і структурних підрозділів, бере участь також і комісія з питань охорони праці, створена рішенням трудового колективу і профспівкової організації, а також уповноважені трудових колективів структурних підрозділів підприємства.

Основні завдання управління охороною праці в тепличному господарстві є:

- організаційно-методичне керівництво на регіональному і галузевому рівнях;

- стимулювання інтеграції управління охороною праці в єдину систему загального управління організацією виробництва;

- відпрацювання заходів, що стосуються державної політики з охорони праці на регіональному і галузевому рівнях;

- підготовка, прийняття і реалізація заходів із забезпечення безпечних умов праці, утримання у належному стані обладнання, споруд, інженерних мереж; організація і проведення навчання працівників охорони праці та проведення професійного відбору; облік, аналіз і оцінка стану умов безпеки праці; забезпечення страхування працівників від нещасних випадків на виробництві та від профзахворвань;

- широке впровадження позитивного досвіду у галузь охорони праці.

Основні функції СУОП, пов'язані з її функціонуванням, передбачають:

- планування робіт; розробку, прийняття і скасування нормативних актів; професійний відбір; навчання з питань охорони праці; регламентацію процесу праці; атестацію робочих місць, щодо умов праці; паспортизацію об'єктів, реєстрацію та облік; експертизу; ліцензування і сертифікацію; забезпечення безпеки устаткування, процесів, будинків, споруд і територій; забезпечення санітарно-гігієнічних умов праці, санітарно - побутового, лікувально-профілактичного і медичного обслуговування; узгодження і видача дозволів; попередження про виникнення небезпечних ситуацій; розслідування та облік нещасних випадків, розслідування та облік хронічних професійних

захворювань: розслідування та облік аварій; фінансування робіт з охорони праці, стимулювання охорони праці, пропаганда і виховання безпечної поведінки; контроль та інспектування; наукове забезпечення: міжнародне співробітництво.

Аналіз стану охорони праці в розсадному відділенні. Виходячи з властивостей речовин і матеріалів, умов їх застосування, обробки і у відповідності з нормативними документами приміщення по вибухопожежній і пожежній небезпеці діляться на п'ять категорій – А, Б, В, Т, Д. Приміщення розсадного відділення за пожежонебезпекою наведено в таблиці 6.1:

Таблиця 6.1.

Категорія приміщень по вибухопожежній, пожежній небезпеці і умовами навколишнього середовища

| Найменування приміщення | Класифікація за умовами навколишнього середовища | Категорія приміщень по вибухопожежній і пожежній небезпеці |
|--------------------------------|--|--|
| 1. Теплиця вирощування розсади | Вогке | Г |
| 2. Коридор | | |
| 3. Туалет | Вогке | Д |
| 4. Душова кімната | Особливо вогке | Д |

Обґрунтування заходів з підвищення рівня електробезпеки на підприємстві. Крім найбільш поширених технічних засобів захисту при пошкодженні ізоляції та захисних мір електробезпеки, а саме заземлення та занулення, в доповнення до них та самостійно застосовують і інші міри захисту.

Серед них найбільш сучасним та перспективним являється захисне відключення. Захисним відключенням називають автоматичне відключення всіх фаз (полюсів) ділянки мережі напругою до 1000 В, що забезпечує безпечні для чоловіка силу струму та час його протікання при замиканні на корпус або зниження опору ізоляції нижче деякого значення. Найчастіше час спрацювання сучасних пристроїв захисного відключення (ПЗВ) – десятки

мілісекунд. Цей час можливо врахувати практично безпечним для чоловіка навіть під напругою 220 В. Занулення забезпечує відключення пошкодженої ділянки мережі або електроприймача лише за значно більший проміжок часу, вимірюємий одиницями або десятками секунд. УЗО може захищати людину

смертельного враження електричеством в електроустановках з напругою 220/380 В при використанні його в якості самостійного захисного заходу, але його можливо застосовувати і в доповнення, наприклад до занулення.

В сільському господарстві використовуються наступні 3 принципи дії

ПДВ (рисунок 6.1, а...е): по напрузі яка з'являється на корпусі електроприймача (ПЗВ по напрузі на корпусі); по струму нульової послідовності в установках заземленою нейтралі та зануленням; по струму витоку через ізоляцію на корпус, землю. Хоч струм витоку може мати нульову послідовність, останні ПЗВ звичайно виділяють в окремий різновид, так як

вони можуть бути застосовані в мережах як з заземленою так і з ізольованою нейтралю, мають високу чуттєвість та здатні захищати людей не тільки при пошкодженні ізоляції, але і в випадках доторкання до струмоведучих частин, на які приходиться не менше половини всіх вражень електричним струмом.

На рис. 6.1, а приведена спрощена схема XIOT. Між корпусом електроприймача EA1 та допоміжним заземлювачем EE1 включена котушка реле напруги KV1, яке спрацьовує при появі напруги на корпусі вище уставки реле (наприклад 12 В) та діє на котушку відключення YA11 автоматичного вимикача QF1 (або на котушку магнітного пускача). Допоміжний заземлювач

EE1 простіше та дешевше, ніж захисне, або повторне заземлення в системі занулення, так як може мати набагато більший опір (наприклад 120 Ом, а не 4...30 Ом).

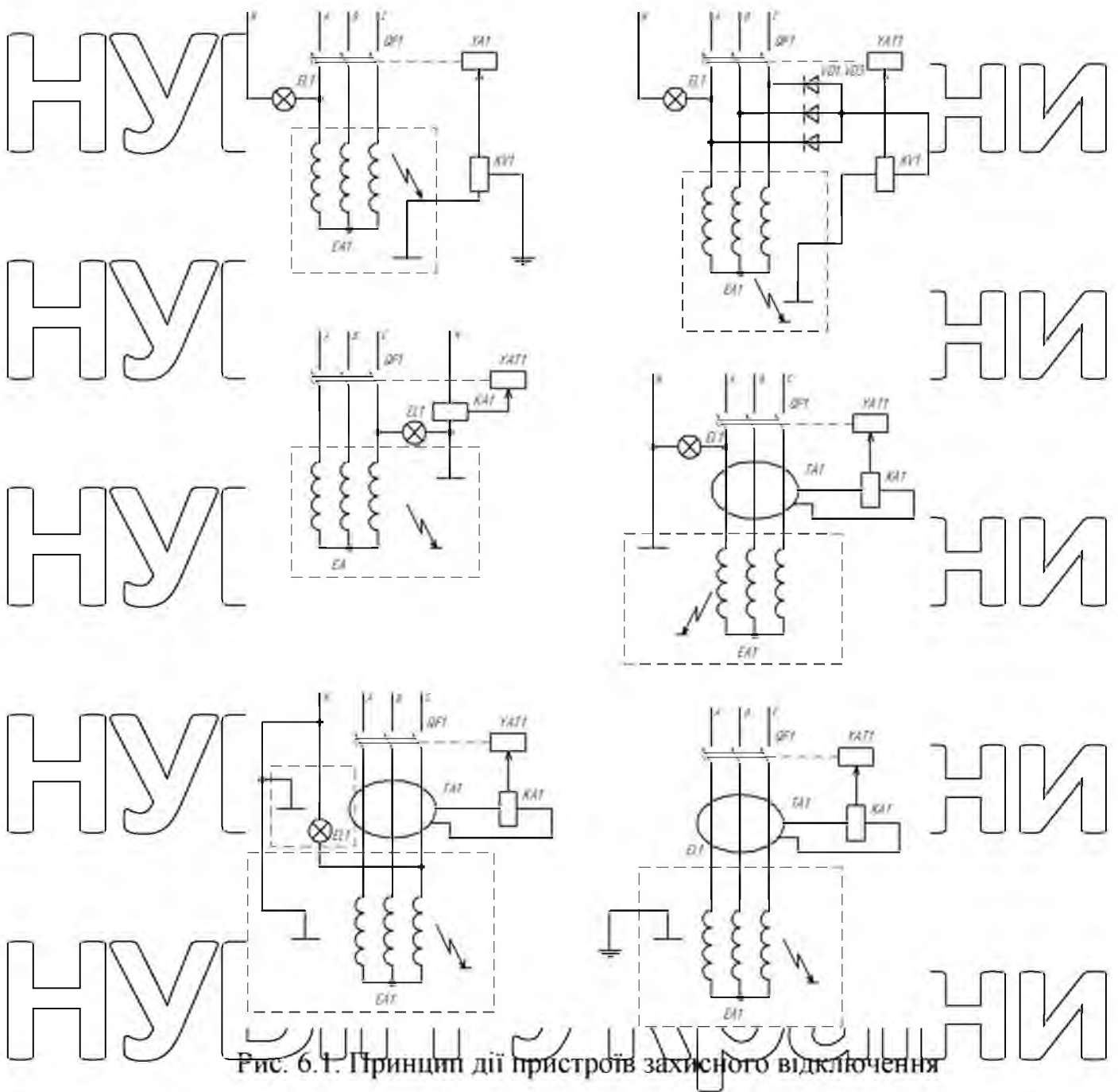


Рис. 6.1. Принципи дії пристроїв захисного відключення

Однак для селективності відключення потрібні допоміжні заходи. Однак такої задачі у випускні роботи не ставилося. Можна обходитися і без допоміжного заземлювача (рис. 6.1, б – схема МГОТ), однак такий ПЗВ менш чуттєвий та надійний, ніж виконаний за схемою 6.1, а із-за недоліків ПЗВ по напрузі їх використовують рідко.

ПЗВ по струму нульової послідовності (рис. 6.1, в, г) має струм спрацювання порядку сотень міліампер або одиниць ампер та вище. Струм спрацювання повинен бути більше робочого струму в нульовому проводі,

коли мають підключення електроприймачі однофазні. Схема (рис. 6.1, в) в більш докладному вигляді представлена на принциповій схемі одного з типів КТП.

На схемах захисного відключення по струму витoku (рис. 6.1, д, е) первинним перетворювачем струму витoku в трансформатор струму нульової послідовності та з кільцевим магнітопроводом, крізь який при чотирьох провідній мережі зі змішаною трифазно-однофазним навантаженням повинні проходити всі 4 робочі проводи. Якщо ПЗВ сполучається з зануленням, то в нульовий захисний провідник (п'ятий) повинен присднуватися к робочому нульовому проводу до ТА1 по ходу енергії, як показано на рис. 6.1, д. При відсутності витoku магнітні потоки від струмів усіх робочих проводів взаємно компенсуються. На рис. 6.2, а...в показано вектори струмів та магнітних потоків у трансформаторі ТА1 цієї схеми при симетричному трифазному навантаженні та відсутності струму витoku (рис. 6.2, а); несиметричний, трифазно-однофазному навантаженні: (остання на фазі С) та відсутності струму витoku (рис. 6.2, б); трифазно-однофазному навантаженні та появи струму витoku В' в фазі В (рис. 6.2, в).

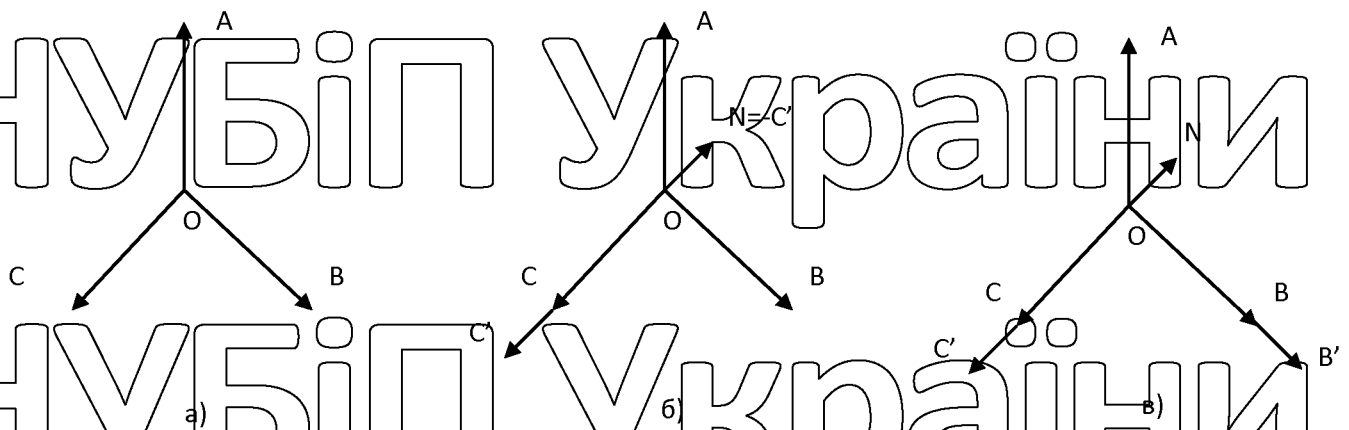


Рис. 6.2. Вектори струмів та магнітних потоків у трансформаторі ТА1

Поява належного магнітного потоку, який в різниці від випадків, показаних на рис. 6.2 а та б, не врівноважується потоками від інших фаз, приводить до появи струму у вторинній обмотці та спрацюванню ПЗВ.

Для використання захисту людини від ураження струмом приймаємо до використання одне з самих сучасних ПЗВ – УЗО ІО.2.010.П.УХЛІ2. Воно трифазне на $U_n = 380$ В, $I_n = 63$ А, що відповідає вимогам до цього пристрою.

Струм спрацювання $I_{спр} = 30$ мА, що задовольняє вимогам електробезпеки при виробництві молока. ПЗВ встановлено в шафі керування.

6.2. Основи стійкості роботи об'єктів

Стійкість роботи об'єкта – це здатність його в надзвичайних ситуаціях випускати продукцію у запланованому обсязі, необхідної номенклатури і відповідної якості, а у випадку впливу на об'єкт уражаючих факторів, стихійних лих та виробничих аварій - у мінімально короткі строки відновити своє виробництво. Залежить вона від таких основних факторів: розміщення

об'єкта відносно великих міст, об'єктів атомної енергетики, хімічної промисловості, великих гідротехнічних споруд, військових об'єктів та ін.; природно-кліматичних умов, технології виробництва; надійності захисту працюючих, населення від впливу уражуючих факторів, наслідків стихійних лих і виробничих аварій, катастроф; надійності системи постачання об'єкта

всім необхідним для виробництва продукції (паливом, мастилами, електроенергією, газом, водою, хімічними засобами захисту рослин, ветеринарними засобами, мінеральними добривами, запасними частинами,

технікою та ін.); здатності інженерно-технічного комплексу протистояти надзвичайним ситуаціям; стійкості управління виробництвом і ЦЗ, психологічної підготовленості керівного складу, спеціалістів і населення до дій в екстремальних умовах; навченості керівного складу ЦЗ об'єкта і населення правильно виконувати комплекс заходів цивільного захисту;

масштабів і ступеня уражаючої дії стихійного лиха, виробничої аварії, катастрофи чи зброї і підготовленість об'єкта до ведення рятувальних та інших невідкладних робіт для відновлення порушеного виробництва. Дані фактори визначають і основні вимоги стійкості роботи об'єктів у

надзвичайних ситуаціях та шляхи її підвищення.

Більш підготовленими до стійкої роботи будуть ті об'єкти, які реально оцінять фактори, їх несприятливий вплив на виробництво і розроблять відповідні заходи. Завчасне проведення організаційних, агрохімічних, агротехнічних, інженерно-технічних, ветеринарно-санітарних, лісотехнічних, лісогосподарських, меліоративних та інших заходів максимально знизить результати впливу уражаючих факторів мирного і воєнного часу і створить сприятливі умови для швидкої ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

6.3 Оцінка можливості виникнення пожеж на об'єкті

Можливість виникнення пожеж встановлюють за займистістю матеріалів від світлового імпульсу ядерного вибуху, руйнування печей, газопроводів, пошкодження електромережі, які можуть виникнути при аваріях, землетрусах, бурях та інших.

Світловий імпульс можна розрахувати за температурою загорання (6.1) або нагрівання матеріалів і виробів (6.2):

$$\Delta T = 1,13 \cdot U_t (\lambda CV t_n)^{-0,5}; \quad (6.1)$$

$$U_{CB} \cong U_T (A \cdot \cos \lambda); \quad (6.2)$$

де ΔT - підвищення температури матеріалу з освітленого боку, °С;

U_t - кількість світлового випромінювання, яке поглинається одиницею поверхні матеріалу (тепловий імпульс), кДж/м²;

λ - коефіцієнт теплопровідності, кВт/(мК);

CV - питома теплопровідність речовини, кДж/(м³·К);

t_n - час початку найбільшої температури вогненого імпульсу,

$$t_n \cong 0,02 \sqrt[3]{g};$$

g - потужність вибуху, Мт;
 A - коефіцієнт поглинання світлової енергії матеріалом;
 λ - кут між напрямком поширення світла і перпендикуляром до освітленої поверхні.

Оцінюючи стійкість об'єкта проти світлового випромінювання ядерного вибуху, необхідно визначити максимальне значення світлового імпульсу $U_{\text{св. max}}$ яке може бути на об'єкті.

Для оцінки стійкості об'єкта проти світлового випромінювання необхідні такі вихідні дані: характеристика будівель і споруд; характер виробництва, які горючі матеріали застосовуються у виробництві; вид готової продукції та місце її зберігання.

Оцінку стійкості об'єкта до світлового випромінювання доцільно проводити у такій послідовності: визначити ступінь вогнетривкості будівель і споруд, виявити горючі матеріали, елементи конструкцій і речовини; розрахувати світлові імпульси, за яких відбудеться спалахування елементів із займистих матеріалів; визначити категорію виробництва за пожежною небезпекою.

Пожежна небезпека виробництва визначається технологічним процесом, матеріалами які застосовуються у виробництві та готовою продукцією. За пожежною небезпекою технологічного процесу всі об'єкти поділяються на п'ять категорій: А, Б, В, Г, Д.

Категорія А - склади бензину; приміщення стаціонарних кислотних і лужних акумуляторних установок.

Категорія Б - цехи приготування і транспортування деревного борошна; розмельні відділи млинів; цехи виготовлення цукрової пудри; мазутне господарство електростанцій.

Категорія В - лісопильні, деревообробні, столярні, меблеві, бондарні й лісотарні цехи; цехи текстильної і паперової промисловості; заводи сухої первинної обробки льону, конопель і дуб'яних волокон; зерноочисні відділення млинів і зернові елеватори; склади наливно-мастильних матеріалів;

відкриті склади мастил і мастильне господарство електростанцій; закриті склади вугілля.

Категорія Г - кузні; зварні цехи; приміщення двигунів внутрішнього згоряння; головні корпуси електростанцій; розподільне обладнання з вимикачами й апаратурою з вмістом мастила 60 кг і менше в одиниці обладнання; високовольтні лабораторії; котельні.

Категорія Д - цехи переробки м'ясних, рибних, молочних продуктів; насосне й водоприймальне обладнання електростанцій; насосні станції для перекачування негорючих рідин.

До категорій А, Б і В не належать виробництва, в яких горючі рідини; гази і пари спалюються як паливо, а також виробництва, в яких технологічний процес протікає із застосуванням відкритого вогню. Склади поділяються на категорії відповідно до пожежної небезпеки матеріалів що знаходяться на них стосовно вказівок даних категорій.

Розрахункові дані зводять у таблицю результатів оцінки і роблять висновки, в яких вказують межу стійкості об'єкта проти світлового імпульсу $U_{sv\ lim}$; очікуваний максимальний світловий імпульс $U_{sv\ max}$; найбільш пожежонебезпечні елементи об'єкта і можлива обстановка на об'єкті. Об'єкт вважається стійким проти світлового імпульсу, якщо $U_{sv\ lim} > U_{sv\ max}$.

На основі висновків розробляють конкретні заходи підвищення пожежної стійкості об'єкта.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алюков В., Куртов В., Куртов Н. Автоматизированная система контроля технологических параметров тепличного комбината // СТА. – 1997. – №4. – С. 52-54.
2. Аутко А.А. Овощеводство защищенного грунта: Технологии, инновации, экономика / А.А. Аутко, Г.И. Гануш, Н.Н. Долбик. – Минск: ВЭВЭР, 2006. – 311 с.
3. Биологические основы овощеводства. Барабан О.Ю., Гараненко Л.К., Сыч З.Д. – М.: Агропромиздат, 1990. – 436 с.
4. Бородин И.Ф., Недилько Н.М. Автоматизация технологических процессов. – М.: Агропромиздат, 1986. – 367 с.
5. Бохан Н.И., Бородин И.Ф., Дробышев Ю.В., Фурсенко С.Н., Герасенков А.А. Средства автоматики и телемеханики. – М.: Агропромиздат, 1992. – 351 с.
6. Воздушная система отопления и кондиционирования теплиц с использованием геотермального источника / В.Г. Олійниченко, А.О. Александров, В.В. Величко. Ин-т возобновляемой энергетики НАН Украины. – К.:, 2007.
7. Герман-Галкин С.Г. Matlab&Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА – Век, 2008. – 368 с.
8. Драганов Б.Х., Міщенко А.В., Борхаленко Ю.О. Основи теплотехніки і гідравліки. Навчальний посібник / За ред. Б.Х. Драганова. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 495 с.
9. Іваненко В.Ф. Енергетичний моніторинг і економічна оцінка тепличних господарств / В.Ф. Іваненко // Продуктивність агропромислового виробництва. – 2012. – №21. С.58–66.
10. Іваненко І.О., Прилипка А.В. Закрытый грунт. – К.: Урожай, 2001. – 358 с.
11. Имитационное моделирование производственных систем / Под ред. А.А. Вавилова. – М.: Машиностроение; Veb Verlag Technik, 1983.
12. Мартыненко И.И., Автоматизированное управление температурно-влажностными режимами с.х. объектов- М.: Колос, 1984. – 314 с.
13. Мартиненко І.І., Лисенко В.П., Тищенко Л.П., Лукач В.С. Проектування систем електрифікації та автоматизації сільського господарства. – К.: Вища школа, 1999. – 201 с.
14. Мартыненко И.И., Лысенко В.Ф. Проектирование систем автоматики. – М., Агропромиздат, 1991.-242 с.
15. Математична модель енерговитрат у теплиці / А.О. Дудник, В.П. Лисенко, В.О. Мірошник // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія "Техніка та енергетика АПК" / Редкол.: Д.О. Мельничук (відп. Ред.) та ін. – К.: ВД НУБіП України, 2013. – Вип. 184, ч.2 – С. 119-128.
16. Овощеводство защищенного грунта / Под ред. В.А. Брызгалова. – М.: Колос, 1995. – 352 с.

17. Основи автоматизації: теорія і практика (ч.1) / Лисенко В.П., Решетюк В.М., Цигульов І.Т. – К.: Освіта України, 2012. – 540 с.
18. Промышленное производство овощей в теплицах. Под редакцией С.Ф. Кащенко и М.М. Йорданова. – М.: Колос, 1997. – 353 с.
19. Решетюк В.М., Мірошник В.О. Типові технологічні процеси і об'єкти виробництва. – К.: Видавничий центр НУБІПУ, 2008. – 62 с.
20. Рысс А.А., Гурвич Л.И. Автоматизированное управление температурным режимом в теплицах – М.: Агропромиздат, 1986. – 156 с.
21. Сигаева Е.С., Гончарук Н. С. Микроклиматические основы тепличного овощеводства: М.: Колос, 1982. – 175 с.
22. СНИП 2 СНИП 2.10.04-85 "Теплицы и парники".
23. СНИП 2 СНИП 2.01.07-85 "Нагрузки и воздействия".
24. СНИП 3 СНИП 2.03.06-85 "Алюминиевые конструкции".
25. СНИП 4 СНИП II-23-81 "Стальные конструкции".
26. СНИП 5 СНИП 2.04.01-82 "Строительная климатология и геофизика".
27. Современное овощеводство закрытого и открытого грунта: Учеб. Пособие для агр. Учеб. Заведений I-IV уровней аккредитации по спец. 1310 "Агрономия" / Белогубова Е.Н., Васильев А.М., Гиль Л.С. и др. – К.: ОАО "Изд-во "Киев. Правда", 2006. – 528 с.
28. Справочник по теплоснабжению сельского хозяйства / Л.С. Герасимович, А.Г. Чубанов, Б.Х. Драганов, А.Л. Синяков и др. – Мн.: Ураджай, 1993. – 368 с.
29. Стефани Е.П., Панько М.А., Пикина Г.А. Сборник задач по основам автоматического регулирования теплоэнергетических процессов. – Учеб. Пособие для вузов. – М.: Энергия, 1993. – 336 с.
30. Токмаков Н.М., Грудинин В.С. Математическая модель системы управления микроклиматом ангарных теплиц // Гавриш. – 2008. – №3. – С.28-32.
31. Чепурна Н.В., Чепурний В.В. Сучасні енергозберігаючі системи застосування теплиць // Нова тема. – 2009. – №2. – С. 29-31.
32. Шишко Г.Г., Потапов В.А., Злобин Л.А. Отопление и вентиляция теплиц. – К.: Будівельник, 1984. – 467 с.
33. Щиренко В.В., П.П. Говоров, І.А. Велит, Р.В. Пилипчук. Джерела світла для вирощування овочів в умовах закритого ґрунту. Навчальний посібник для студентів спеціальності "Світлотехніка та джерела світла". // Тернопіль: Джура, 2011. – 156 с. ISBN 978-966-183-062-9.
34. Закон України "Про енергозбереження" від 1 липня 1994 р. №75/94-ВР // Відомості Верховної Ради України. – офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 1994. – 283 с.
35. Промислові теплиці типу «Venlo»
Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.agrotechnical.net.ua/uk/industrial-greenhouses-of-the-vento-type/>