

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

(підпис)

(ПІБ)

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри автоматики
та робототехнічних систем

ім. акад. Г.Г. Мартиненка

(назва кафедри)

В.П. Лисенко

(підпис)

(ПІБ)

«__» _____ 2022 р.

«__» _____ 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

02.06.-КМР.176"С".2021.02.01.009.ПЗ

на тему «**РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ ПОВІТРЯ В ПРОМИСЛОВІЙ ТЕПЛИЦІ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ КТЗ ОВЕН**»

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

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

Виконав

(підпис)

Д.Т. Бісовецький

(ПІБ студента)

Керівник магістерської роботи

(підпис)

І.М. Болбот, д.т.н., доц.

(ПІБ, науковий ступінь та вчене звання)

Рецензент

(підпис)

КИЇВ-2022

ЗАТВЕРДЖУЮ

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

В.П. Лисенко

2022 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ
(бакалаврської, дипломної)

Бісовецькому Данилу Тарасовичу

(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 «РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ
КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ
ТЕМПЕРАТУРОЮ ПОВІТРЯ В ПРОМИСЛОВІЙ ТЕПЛИЦІ ІЗ
ВИКОРИСТАННЯМ КТЗ ОВЕН»,

затверджена наказом від 01.02.2021 року №176 «С»

Термін подання студентом магістерської роботи 15.05.2022 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. Технологічна характеристика об'єкта автоматизації.
2. Дослідження промислової теплиці для вирощування овочів як об'єкта автоматичного керування.
3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань.
4. Дослідження цифрової системи керування.
5. Схеми системи автоматизації.
6. Економічна ефективність впровадження комплексних систем забезпечення параметрів мікроклімату у промисловій теплиці.
7. Охорона навколишнього середовища і безпека виробництва.

Дата видачі завдання «08» лютого 2022 року

Керівник магістерської роботи

(Підпис)

Завдання прийняв до виконання

(Підпис)

Болбот І.М.

(Прізвище та ініціали)

Бісовецький Д.Т.

(Прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ

РОЗДІЛ 1. Технологічна характеристика об'єкта автоматизації

- 1.1. Вирощування овочів у гідропонних теплицях
- 1.2. Загальна характеристика та класифікація споруд закритого ґрунту
- 1.3. Параметри мікроклімату при вирощуванні томату способом малооб'ємної гідропонної технології на мінеральній ваті
- 1.4. Мета і задачі магістерської роботи

РОЗДІЛ 2. Дослідження промислової теплиці для вирощування овочів як об'єкта автоматичного керування

- 2.1. Параметричний аналіз овочевої теплиці як об'єкта автоматичного керування
- 2.2. Розробка та дослідження математичної моделі системи керування температурним режимом у промисловій теплиці
- 2.3. Розробка та дослідження математичної моделі системи керування температурним режимом у промисловій теплиці в літній період

РОЗДІЛ 3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань

- 3.1 Вибір алгоритму керування та розрахунок параметрів настройки регулятора
- 3.2. Розробка цифрової системи керування

РОЗДІЛ 5. Схеми системи автоматизації

- 5.1. Вибір апаратури захисту та керування
 - 5.1.1. Вибір автоматичних вимикачів
 - 5.1.2. Вибір електромагнітних пускатів
 - 5.1.3. Вибір проміжних реле
- 5.2. Вибір проводів та кабелів
- 5.3. Розробка електричних схем з'єднань та підключень
- 5.4. Вибір щита керування

РОЗДІЛ 6. Економічна ефективність впровадження комплексних систем забезпечення параметрів мікроклімату у промисловій теплиці

РОЗДІЛ 7. Охорона навколишнього середовища і безпека виробництва

- 7.1. Фактори впливу тепличного виробництва на навколишнє середовище та їх характеристики
- 7.2. Заходи з охорони навколишнього середовища у процесі експлуатації тепличного комбінату
- 7.3. Організаційно-технічні заходи
- 7.4. Охорона навколишнього середовища в аварійних ситуаціях

Література

ВСТУП

НУБІП України

Споруди закритого ґрунту – багатофакторне середовище, яке об'єднане

поняттям мікроклімату. Основні фактори, які здійснюють вплив на систему –

характеристики навколишнього середовища: температура, вологість повітря, швидкість вітру, довжина світлового дня та інтенсивність сонячного випромінювання. Мікроклімат в приміщеннях закритого ґрунту

характеризується температурами: ґрунту, повітря, рослинної маси (листя,

стебла, плоди), а також вологістю та вмістом CO₂ у повітряному середовищі

теплиці. На тепловий режим в приміщенні теплиці впливають не тільки параметричні чинники, а також обмеження конструкції будівлі (стіни, скління,

перекриття). Фактори мікроклімату, які підлягають регулюванню –

температура, вологість, концентрація CO₂ і освітленість. Вони змінюються в функції часу.

Рослини під впливом умов зовнішнього середовища і технологічного впливу з боку людини, піддаються впливу різноманітних факторів:

освітленості, теплового режиму, зволоженню і надходженню поживних

речовин, від яких залежить формування врожаю і якість одержуваної продукції, наявність вітамінних і поживних для людини якостей овочів.

Овочівництво закритого ґрунту дає змогу одержати з 1 м² у 5 – 10 разів

більший урожай, ніж за умов відкритого овочівництва. Урожайність огірків,

томатів може сягати 40–70 кг/м², тоді як відкритий ґрунт дає продукції не

більше 10 кг/м². В Україні побудовано понад 3 тис. га теплиць, у тому числі –

п'ята частина під склом, решта – весняно-літні плівкові теплиці. Основне

виробництво овочів зосереджене на 64 тепличних комбінатах, найбільші з яких

розташовані поблизу великих міст (ПАТ комбінат «Тепличний» смт.

Капівка, Броварського району Київської області, Державне підприємство

«Науково-дослідний виробничий агрокомбінат «Пуна-Водиця», ПОСП

«Уманський тепличний комбінат» та ін.) ПАТ комбінат "Тепличний" сьогодні має 48 га теплиць під склом.

У наукових дослідженнях основний орієнтир спрямований на модернізацію існуючих виробничих потужностей тепличного господарства.

Ефективність таких підприємств значною мірою залежить від запровадження сучасних технологій і менеджменту енергозбереження. У структурі

собівартості продукції спеціалізованих овочевих комбінатів спостерігається відчутне зростання частки енергоносіїв через зростання цін на природний газ

та електроенергію. Тому питання пошуку дійових організаційно-економічних

заходів ефективного використання виробничих ресурсів і природно-кліматичних умов виробництва продукції овочівництва закритого ґрунту є

актуальними і своєчасними.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 1

ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

НУБІП України

1.1. Вирощування овочів у гідропонних теплицях

НУБІП України

Варто ще раз нагадати що гідропоніка – це метод вирощування рослин без використання ґрунту. Замість нього рослина висаджується в нейтральний субстрат (гравій, керамзит, тирса тощо) [3, 4]. Субстрат потрібен для затримки

НУБІП України

вологи та корисних речовин які буде споживати рослина. Всі корисні речовини рослина отримує з поживного розчину. Поживний розчин це суміш води та всіх необхідних для росту та розвитку рослини мікроелементів.

Гідропонічні системи можна поділити на дві групи: активні та пасивні.

НУБІП України

В пасивних системах поживний розчин дістається кореня рослин з допомогою капілярних сил. В активних системах для циркуляції використовується насос. Більшість з них додатково потребують системи аерації (насичення розчину киснем). До основних типів гідропонічних систем можна віднести такі:

- капілярні;
- DWC (Deep Water Culture);
- системи періодичного затоплення;
- системи неживного шару;
- системи крапельного поливу;
- системи аеропоніки.

НУБІП України

Капілярні системи гідропоніки це пасивні системи в яких поживний розчин дістається до кореня рослин за допомогою капілярного ефекту. Для

НУБІП України

такого методу рослини висаджуються в горщик наповнений нейтральним субстратом (гравієм, керамзитом, тирсою тощо). Під горщик встановлюється резервуар з поживним розчином який за допомогою трубок з'єднується з горщиком. За допомогою капілярного ефекту розчин з резервуару поступово просочується в горщик. Даний метод є самим простим в реалізації, але як і всі

інша має свої переваги та недоліки. Схематичне зображення ГС капілярного типу зображено на рисунку 1.1.

Переваги ГС капілярного типу:

- простота. Не потребує будь-якого обладнання тільки субстрат та горщик;

- мінімальні фінансові затрати;

- надійність. В даних системах просто нічому ламатися. Недоліки ГС капілярного типу:

- обмежений доступ кисню в резервуар може призвести до деяких проблем з вирощуванням;

- повільний розвиток рослин.

Підсумовуючи можна сказати що даний тип систем більше підходить для вирощування декоративних рослин які не потребують до себе великої уваги.

Часто такими системами можна зустріти у квіткових магазинах.

Системи DWS або Deep Water Culture використовують в собі метод аерації (насичення розчину киснем). Рослина висаджується в горщик таким чином щоб її корені були занурені в резервуар з розчином, а повітряний насос збагачує цей розчин киснем. Корені рослин в такій системі мають набагато більше місця для росту ніж в ґрунті, що забезпечує швидкий ріст рослин.

Системи такого типу можуть також використовувати плавучі платформи з рослинами. Резервуар в такому разі буде нагадувати великий басейн в якому плавають невеликі «плоти» з рослинами. Цей метод дозволяє поставити вирощування рослин на конвеєр. Коли з одного боку басейну знаходяться вже вирості рослини їх збирають та посувають решту плотів. З іншої сторони в цей момент починають додавати плоті з новими рослинами які тільки починають рости. Схематичне зображення DWS систем зображено на рисунку 1.2.

Переваги DWC систем:

- дешевизна;

- простота конструкції;

- рослини досить швидко ростуть та розвиваються;

– надійність.
У випадку поломки великий резервуар з розчином забезпечить збереження рослини ще дуже довгий час.

Недоліки DWS систем:

– вимагає ретельної чистки резервуару від кореневого гнилля;

– постійно високий рівень поживних речовин може призвести до загнивання коренів; резервуар потребує частого поповнення поживним розчином.

В системах періодичного затоплення горщики з рослинами періодично

заливають поживним розчином який потім стікає назад в резервуар. При стіканні розчин також провітрює кореневу систему рослини приносячи в субстрат свіже повітря. Наявність в даній системі обладнання для

перекачування розчину робить її активною. По суті вона є повністю

автоматичною. Але вона є дуже уразливою до непередбачуваного відімкнення електроенергії. Також при поганій затримці вологі субстратом рослина буде відчувати недостачу у воді. Схематичне зображення ГС періодичного затоплення зображено на рисунку 1.3.

Переваги ГС періодичного затоплення:

- відносна простота та можливість недорого отримати дешеву автоматизовану систему гідропоніки;

- коренева система гарно насичується поживними речовинами що веде за собою швидкий розвиток рослин.

Недоліки ГС періодичного затоплення:

- при постійній циркуляції поживного розчину є ризик зараження шкідливими мікроорганізмами;

- чутлива до відімкнення електроенергії;

- є вірогідність додаткових поломок.

В системі що використовує метод поживного шару поживний розчин циркулює безперервно. Розчин з резервуару потрапляє в смінь розташовану під кутом з вищого її краю. Під дією сили гравітації вода стікає в інший кінець

ємності. На її шляху розміщують горщики з рослинами які постійно отримують дозу вологи та поживних речовин. Стікши в кінець ємності розчин знову потрапляє в резервуар. На цьому цикл роботи даної системи замикається.

Субстрат в таких системах майже не використовують. У попередніх розглянутих системах він використовувався для затримки вологи та поживних речовин. В даній же системі потреби в цьому не має. Схематичне зображення ГС поживного шару зображено на рисунку 1.4.

Переваги ГС поживного шару:

- коренева система отримує багато кисню що позитивно впливає

на розвиток рослин;

- компактність та ефективне використання

корисної площі. Недоліки ГС поживного шару:

- є велика ймовірність заторів що потребує постійного догляду

за системою;

- необхідність в частій зміні поживного розчину;

- поломка насоса або відключення електрики може призвести до

занепаду всього урожаю, якщо вчасно не прийняти необхідних заходів по його збереженню.

Система крапельного поливу наразі є найрозповсюдженішою в світі серед систем гідропоніки. Принцип її роботи досить простий. Насос з таймером перекачують поживний розчин в трубу яка йде до горщиків з рослинами. З цієї труби до кожного горщика йдуть трубки меншого розміру через які ПР скапує в горщик з рослиною. Схематичне зображення ГС крапельного поливу зображено на рисунку 1.5.

Переваги ГС крапельного поливу:

- рослина гарантовано отримує потрібну кількість поживних речовин

та вологи;

- її ефективність перевірена багатьма фермерами з усього світу;

- компактність та ефективне використання корисної площі.

Недоліки ГС крапельного поливу – чутливість до відімкнення

електроенергії та пелюмок.

Аeropоніка є самим технологічним типом гідропонічних систем. В таких системах корені рослин знаходяться в підвищеному стані в повітрі. В нього саме й розпилюється поживний розчин забезпечуючи кореневу систему рослини поживними речовинами. Дані системи мають найкращий доступ кисню до коренів рослин що дуже гарно впливає на їх ріст. Темпи дозрівання рослин в таких системах є найшвидшим що дозволяє збирати урожай багато раз на рік. Схематичне зображення систем aeroponіки зображено на рисунку 1.6.

Переваги aeroponіки:

– рослини отримують максимальну кількість поживних речовин та кисню що забезпечує їх швидкий розвиток.

Недоліки aeroponіки:

- потреба в постійному догляді за системою зумовлена її складністю;
- неможливість використання густих розчинів через пропускну здатність форсунок;
- необхідність в дуже точному налаштуванні системи.

Як видно існує дуже багато типів ГС. Основною відмінністю в них є спосіб доставки поживного розчину до рослин. Зрештою всі вони мають спільні риси. Невід'ємною частиною ГС є резервуар з поживним розчином. Варто ще раз нагадати що поживний розчин це суміш води та всіх необхідних для рослини мікроелементів. Зазвичай його створення та контроль якості здійснюється вручну. Контроль якості є досить кропітким

1.2. Загальна характеристика та класифікація споруд закритого ґрунту

У даний момент тепличне господарство України набирає обертів у своєму розвитку. На ринок збуту все більше потрапляє продукції саме українського виробника. Упроваджуючи нові технології та автоматизацію

виробництва, вони націлені на зниження собівартості продукції, що в даний час є дуже актуально. Впроваджено системи крапельного зрошування, клімат-контролю, системи подачі (відбору та підкормки) CO₂, змінено системи обігрівання теплиць, впроваджено енергозберігаючі екрани, установки для накопичення теплової енергії (ККД 95-97%), комп'ютерне управління технологічними процесами та використано високопродуктивний насіннєвий матеріал [1].

Тепличні комбінати України за час дії спеціальних режимів оподаткування багато зробили для свого відродження після занепаду 1990-1999 років. У період з 2003 року побудовано більше ніж 100 га нових сучасних теплиць, реконструйовано понад 97 відсотків старих тепличних споруд, здійснено перехід на сучасні світові технології вирощування овочів [2].

Як результат, відновлено щорічні об'єми валового виробництва овочів у скляних теплицях, створено конкурентне середовище на українському ринку тепличних овочів. Господарства тепличної галузі, маючи постійно зростаючу частину виграт на енергоносії, інтенсивно впроваджують передові енергозберігаючі технології. Значна частина тепличних комбінатів вийшла на європейський рівень по врожайності овочів.

Теплиці є сільськогосподарськими спорудами, призначеними головним чином для вирощування позасезонних овочів, плодів, квітів, а також розсади.

Вирощування овочів в спорудах відрізняється від вирощування у відкритому ґрунті тим, що овочеві культури них захищені від несприятливих впливів зовнішнього середовища заскленними огорожувальними поверхнями або світлопрозорими синтетичними плівками.

У приміщеннях теплиць створюється штучний клімат і встановлюється такий режим, при якому забезпечуються швидке зростання і висока врожайність овочевих культур незалежно від пори року, погоди і клімату.

Вирощування овочів у захищеному ґрунті отримує все більший розвиток. Для цілорічного постачання населення свіжими овочами навколо багатьох великих міст і промислових центрів створені великі тепличні

господарства і щороку збільшуються обсяги будівництва різноманітних культивацийних споруд.

При проектуванні і будівництві різноманітних культивацийних споруд основне завдання полягає у створенні всередині них штучного клімату, відповідає оптимальним умовам, необхідним для нормального розвитку і високої продуктивності вирощуваних культур.

Конструкція раціонально побудованої споруди повинна забезпечувати максимальне проникнення в нього прямого і розсіяного сонячного світла, рівну, без різких коливань температури, мінімальні тепловтрати, природний повітрообмін для регулювання температурно-вологісного режиму і можливість максимальної механізації виробничих процесів.

Усім перерахованим вимогам найбільше відповідають теплиці, в яких легко і зручно механізувати виробничі процеси, внаслідок чого продуктивність праці, кількісний і якісний вихід продукції в тепличному господарстві завжди вище, ніж у парниковий.

Для оцінки будівельних і експлуатаційних якостей різних видів теплиць з урахуванням перерахованих вище вимог користуються спеціальними показниками, основні з яких:

- виробнича або інвентарна площа, зайнята під тепличні культури, включаючи робочі проходи між ними;

- корисна площа, яка визначається як сума виробничих площ і підсобних площ обслуговуючого призначення (з'єднувальні коридори, тамбури тощо);

- коефіцієнт затінення теплиць несучими конструкціями, визначається як відношення площ проекції несучих конструкцій (при кутах 20, 45 і 70° на площину огородження) до загальної площі огорожень;

- коефіцієнт огорожі, що виражає відношення площі зовнішніх огорожувальних поверхонь до виробничої площі. За допомогою коефіцієнта огорожі можна об'єктивно порівняти кількість витрачених матеріалів на влаштування огорожі та питомі тепловитрати, що припадають на одиницю

виробничої площі. Очевидно, що найменші питомі тепловтрати при мінімальному щодо площі всіх зовнішніх огорожень теплиці до її виробничої площі, тобто при найменшому коефіцієнті огороження, із збільшенням коефіцієнта огорожі відповідно будуть збільшуватися витрати матеріалів на огорожувальні конструкції, питомі тепловтрати, і, отже, еквівалентні витрати на обігрів/культивацийного приміщення:

- коефіцієнт природної освітленості, що представляє собою виражене у відсотках відношення освітленості точки всередині приміщення до одночасної освітленості точки під відкритим небом при розсіяному (дифузному) світлі небосхилу.

- Сьогодні теплиці, які призначені для вирощування різних культур, можуть поділятися за різними принципами

- за технічними ознаками: квіткові (оранжереї), комбіновані, овочеві, селекційні;

- за сезонними ознаками: весняні, зимові;
- за технологією вирощування: гідропонні, стекальні, ґрунтові;
- по використанню будівельних матеріалів: металеві, дерев'яні,

полімерні каркаси;

- за типом покриття: скляні панелі, покриття із стільникового полікарбонату, поліетиленові плівки;

- за типом споруди: односхилі, двосхилі, блокові, теплиці з парниковими рамами ;

- за особливостями конструкції: прямі, арочні, блочні, ангарні.

1.3. Параметри мікроклімату при вирощування томату способом малооб'ємної гідропонної технології на мінеральній ваті

Умови вирощування дорослих рослин томату.

Температура до початку плодоношення (до утворення квітки): +20...+22°C в сонячний день, +19...+20°C – в похмурий, +16...+18°C вночі.

З початком плодоношення температурний режим змінюється, оскільки запліднення квітки відбувається в діапазоні +24...+32°C. При температурі нижче +15°C томат не цвіте, при +10°C зростання призупиняється. Підвищена температура є також несприятливою; при температурі >32°C пилокві зерна не проростають і фотосинтез уповільнюється.

Тому з початком плодоношення температуру підвищують: в сонячний день +24...+26°C, в похмуру +20...+22°C, вночі +17...+18°C.

Наприкінці плодоношення температуру знову дещо знижують: +20...+22°C в сонячний день, +18...+20°C – в похмурий, +16...+18°C вночі.

Відносну вологість повітря підтримують відповідно до нормативних значень (таблиця 1.1). Особливу увагу приділяють підтриманню відносної вологості повітря під час опилення. Томат є самозапилюваною культурою, тому в період опилення повітря не повинно бути дуже вологим – тільки сухий пилок може відокремитись від тичинок і потрапити на рильце пестика.

Полив томатів здійснюється за допомогою системи крапельного зрошення, коли полив суміщається з живленням рослин (добрива розчинюються в живильному розчині).

Таблиця 1.1.

Нормативні технологічні параметри мікроклімату в теплиці при вирощуванні томату

Параметр середовища	Од. вимір.	Вирощування розсади	Вирощування рослин (початок плодоношення)	Перші збори – кінець вегетації
Культура - томат				
Температура повітря:	°C			
- нічна		16...18	18...20	16...18
- денна (похмуро)		20...26	20...22	18...20
- денна (сонячно)		20...26	24...26	20...22
Відносна вологість повітря	%			
- нічна		50...70	60...70	75...80
- денна (похмуро)		50...70	50...60	70...75
- денна (сонячно)		50...70	50...60	65...70
Концентрація CO ₂ в повітрі	%	0,05...0,1	0,1...0,18	0,1...0,15
Природна освітленість ярусу листя:	кЛк	10...40	20...40	20...40
- верхнього		-	10...20	10...20
- нижнього				
Рухомість повітря	м/с	0,1...0,5	0,1...0,5	0,1...0,5

Коефіцієнт водоспоживання в зимово-весняній культурі томата складає 45 – 50 д/кг плодів. Тому декілька разів на день проводять невеликий полив, щоб підтримувати певну вологість ґрунту.

Вологість ґрунту в різні періоди вирощування:

- висадка розсади – початок плодоутворення – 65-75% НВ;
- початок плодоутворення – перші збори – 70-80% НВ;
- перші збори – кінець вегетації – 80-85% НВ.

Для фотосинтезу рослини необхідне підживлення вуглекислим газом.

Вміст CO₂ в атмосфері 0,03%, але у повітрі споруд захищеного ґрунту в денний час при інтенсивному фотосинтезі може знижуватись до 0,01%. Нормативні значення концентрації CO₂ в теплиці наведені в таблиці 1.1.

1.4. Мета і задачі магістерської роботи

Автоматизація технологічних процесів у захищеному ґрунті різко скорочує витрати праці і собівартість продукції, підвищує енергооснащеність праці, поліпшує умови праці персоналу і підвищує загальну культуру виробництва.

Об'єктом дослідження є процес створення мікроклімату в промисловій блочній теплиці для вирощування томатів.

Предметом дослідження є вплив трубної системи опалення на динамічні властивості теплиці як об'єкта керування.

Метою магістерської роботи є наукове обґрунтування і розробка удосконалених систем забезпечення мікроклімату в теплиці та створення методики їх розрахунку.

Задачі магістерської роботи:

– побудувати математичну модель розповсюдження повітряних потоків та провести аналітичні дослідження процесів повітряного тепломасообміну всередині робочого об'єму теплиці з системою забезпечення мікроклімату та без неї;

– проаналізувати алгоритмічні та структурні рішення, які враховують обмеження в системі керування, та дослідити можливість їх використання в типовій системі керування;

– на основі використаного аналізу, удосконалити систему автоматичного регулювання показників мікроклімату в теплиці;

– обґрунтувати вибір комплексу сучасних засобів автоматизації для реалізації САР та розрахувати показники якості роботи системи;

– провести техніко-економічний розрахунок доцільності впровадження результатів магістерської роботи.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОМИСЛОВОЇ ТЕПЛИЦІ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ
ОВОЧІВ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ2.1. Параметричний аналіз оwoчевої теплиці як об'єкта
автоматичного керування

Розглянемо модель теплиці для вирощування оwoчевої продукції як об'єкта автоматичного керування (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Модель теплиці як об'єкта автоматичного керування:

Y – керувана величина; X – керуюча дія; Z – збурюючий контрольований вплив;
 W – збурюючий неkontrolьований вплив

Відповідно до викладеного у попередньому розділі, основними керуваними величинами у промисловій теплиці є температура (Y_1), відносна вологість повітря (Y_2), концентрація вуглекислого газу CO_2 як речовини для підживлення рослин (Y_3), рівень освітленості (Y_4). Наступним кроком визначимо керуючі дії. Для створення необхідного температурного режиму в теплиці необхідна робота системи опалення культивацийного приміщення у зимовий та перехідний періоди (X_1 – температура води в реєстрах при трубній системі опалення), а також робота вентиляційної системи у літній період (X_2 – величина повітрообміну системи вентиляції).

Для підтримання відносної вологості повітря на заданому рівні при нестачі необхідне додаткове зволоження повітря (X_3 – продуктивність системи зволоження повітря), а при надлишковому рівні – видалення зайвої вологи за допомогою системи вентиляції (X_2).

Для забезпечення необхідного рівня фотосинтезу протягом світлової частини доби необхідно забезпечити активне споживання рослинами CO_2 (X_4 – продуктивність системи забезпечення вуглекислим газом).

Для забезпечення світлового режиму, особливо в зимовий період, використовується система досвічування рослин (натрієві ДНаТ або світлодіодні світильники) (X_5 – тривалість роботи системи досвічування).

Збурюючі впливи на теплицю як об'єкт керування поділяються на два різновиди. Перший – так звані *контрольовані* збурення (впливи, вимірювання дії яких не тільки можливе, але і є бажаним). До них відноситься температура зовнішнього повітря Z_1 . Другий різновид – *неконтрольовані* збурення (дію таких впливів неможливо виміряти, або це не є необхідним). До таких відносять швидкість руху повітряних мас W_1 , відкриття воріт і дверей W_2 , значення відносної вологості повітря назовні W_3 , рівень вуглекислого газу навколишнього повітряного середовища W_4 , рівень сонячної радіації W_5 , кількість теплоти від виробничого обладнання та світильників системи досвічування рослин W_6).

В результаті наведеного аналізу узагальнену модель теплиці як об'єкта керування можна подати у наступному вигляді (рис. 2.2).

Динамічні характеристики теплиці як об'єкта керування температурою повітря визначаються конструктивними параметрами внутрішніх елементів та їх фізичними властивостями. При створенні математичної моделі повітряного середовища в культивацийній споруді, як правило, враховують наступні складові: параметри повітряного середовища та ґрунту всередині теплиці; параметри огорожуючих конструкцій; агрофітоценоз, параметри атмосферного середовища та ґрунту на зовні теплиці.

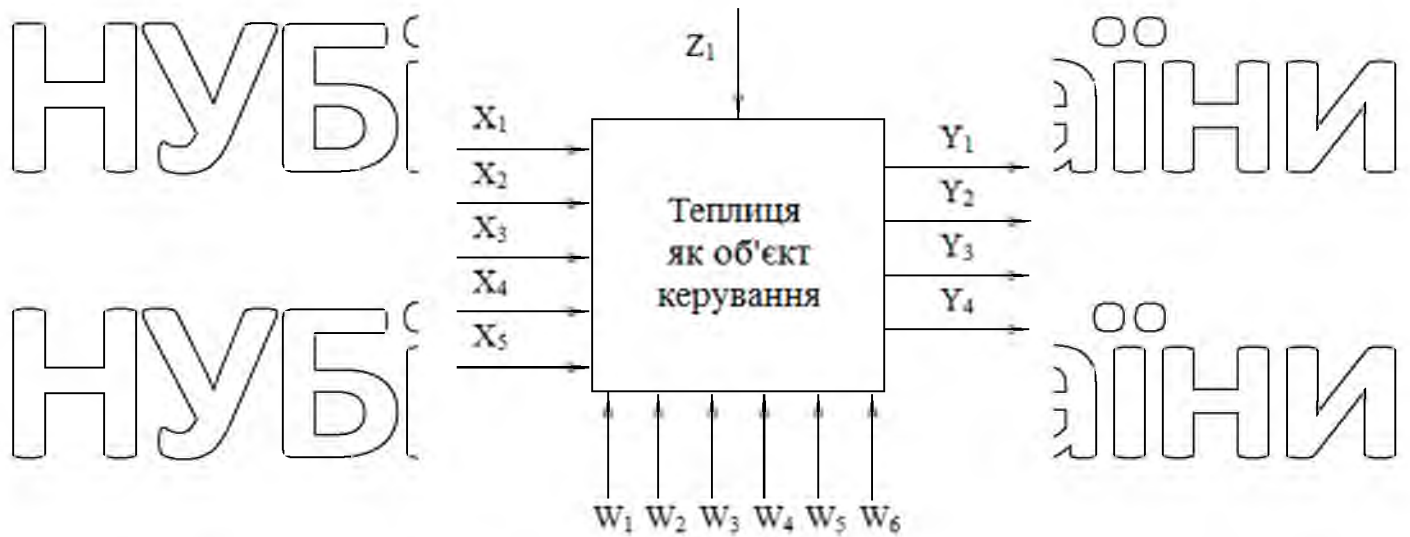


Рис. 2.2. Узагальнена модель теплиці для вирощування овочів як об'єкта автоматичного керування

У випадку, якщо подати структуру моделі культивацийної споруди так, як це зображено на рис. 2.3, частина складових не враховується, оскільки їх можна вважати зовнішніми впливами на динамічний об'єкт.

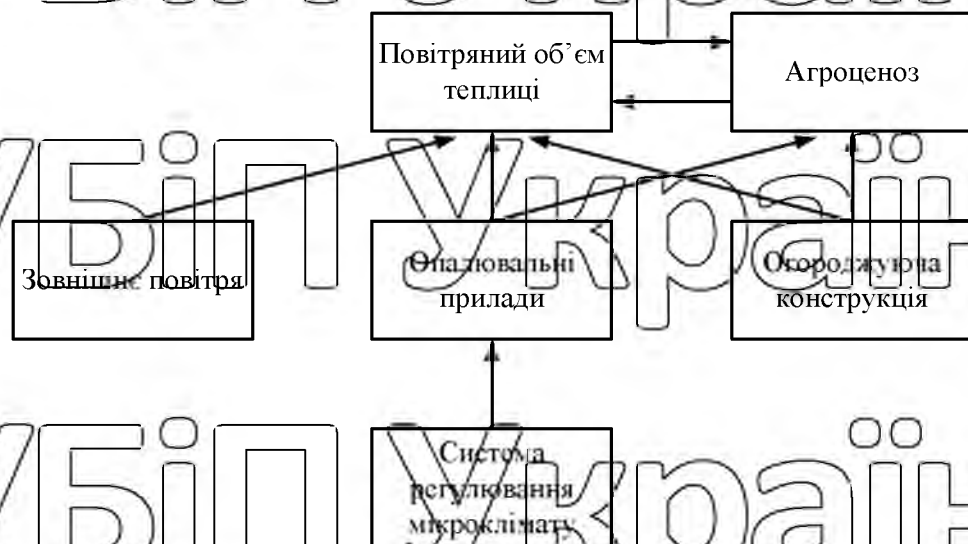


Рис. 2.3. Структура і складові елементи моделі мікроклімату в культивацийній споруді

Тоді складовими частинами моделі є параметри повітряного середовища в теплиці; параметри конструктивних елементів культивацийної споруди; характеристики обладнання для створення та керування параметрами мікроклімату; агрофітоценоз (вважається, що він знаходиться на початковій стадії власного розвитку і на зміну теплових процесів суттєво не впливає).

Складемо інформаційну схему (рис. 2.4) культивацийної споруди як об'єкта керування температурним режимом. Температура повітря в теплиці t_B є керованою величиною. Керуючими впливами в холодний та перехідні періоди року є витрата G та температура гарячої води t_T як теплоносія в трубній системі обігріву теплиці, в теплий період відповідно зміна положення вентиляційних фрамуг покрівлі теплиці. Зміна температури назовні теплиці t_3 , відносної вологості повітря зовнішнього середовища w , зміна швидкості вітру v та його напрямку, зміна рівня сонячної радіації E , хмарність, наявність опадів та інші метеорологічні фактори являються неконтрольованими збурюючими впливами.

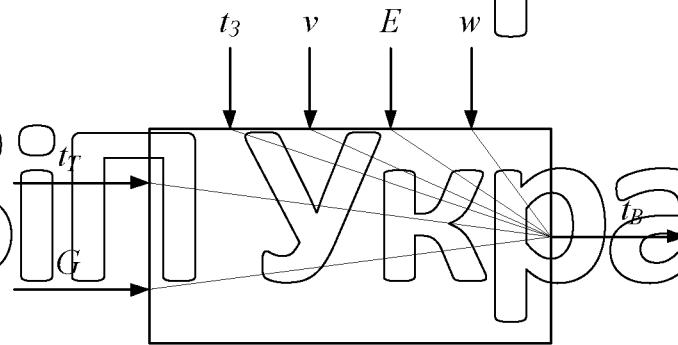


Рис. 2.4. Інформаційна схема культивацийної споруди як об'єкта керування температурним режимом

2.2. Розробка та дослідження математичної моделі системи керування температурним режимом у промисловій теплиці

Тепличні споруди характеризуються певними характерними рисами, які повинні бути враховані при створенні системи забезпечення теплом. По-перше, значні втрати теплоти через великі площі перекриття та огорожуючих конструкцій внаслідок їх малих термічних опорів (скло, полімерна плівка), а також велику інфільтрацію зовнішнього повітря. Вказані втрати складають 10...40% від основних теплових втрат залежно від зовнішньої температури. По-друге, швидкоплинний характер зміни добового зокрема та сезонного загалом теплового навантаження на культивацийну споруду на фоні її малої теплової стійкості. По-третє, підвищені вимоги до мікрокліматичних параметрів вирощування овочевих культур, пов'язані не тільки з агротехнічними вимогами, а й з критеріями економічної ефективності виробництва. По-четверте, необхідність виконання технологічних операцій, які потребують додаткових витрат теплової енергії (полив рослин та ін.).

Для забезпечення необхідних мікрокліматичних параметрів у теплиці необхідно кількісно оцінити показники температурного та вологісного, світлового, газового та інших режимів, які є визначальними у створенні процесів тепломасообміну у споруді.

Для вирішення цієї задачі теплицю розглядають як єдину енергетичну систему, для якої складається система рівнянь, кожне з яких відображає певний тепломасообмінний процес.

Перед початком математичного моделювання теплофізичних процесів у промисловій теплиці приймають певні спрощення:

- впливом на вологісний режим продуктів життєдіяльності рослин у культивацийній споруді нехтують (наприклад, транспірація рослин вночі майже припиняється);
- за значення температури поверхонь приймаються усереднені значення;

- вважаються стаціонарними тепломасообмінні процеси всередині теплиці і у зовнішньому середовищі, приймається, що шар рослин між ґрунтового поверхнею і огорожуючими конструкціями теплиці не впливає на променистий потік від ґрунту до скляних поверхонь.

Моделювання теплофізичних процесів у культивацийній споруді проводять для зимового періоду для визначення найбільш можливих теплових втрат у навколишнє середовище, і, відповідно, максимально необхідної продуктивності теплоенергетичної системи тепличного комбінату.

Для розробки математичної моделі опалювальної системи та подальших теоретичних досліджень процесів тепломасообміну в просторі теплиці розглянемо одне виробниче приміщення промислової блочної теплиці загальною площею 3,6га і скористаємось методологією досліджень, розроблену авторами [16].

Для покращення умов керування параметрами мікроклімату теплиця розділена технологічні зони, при чому кожену зону можна визначити як об'єкт із зосередженими параметрами.

Розмір секції (рис. 2.5) складає $4,5\text{м} \cdot 8,0\text{м} = 36\text{м}^2$.

Кількість секцій 180 шт.

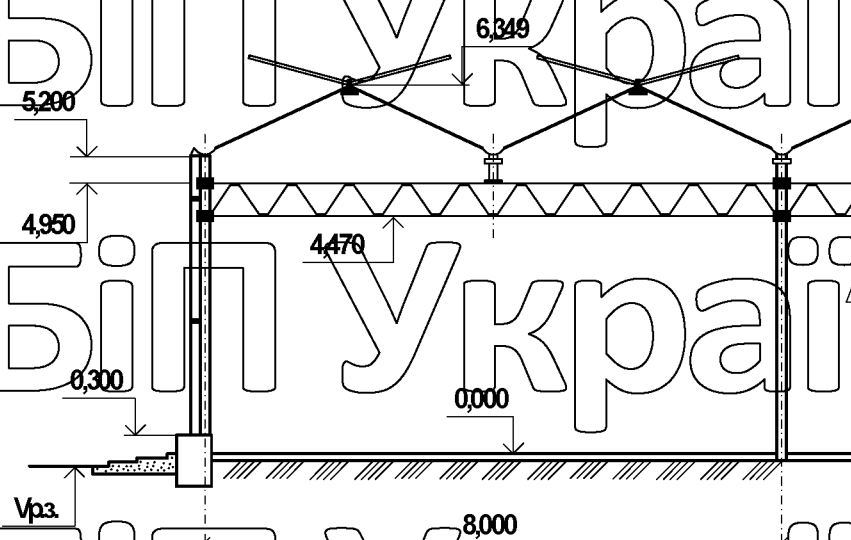


Рис. 2.5. Габаритні розміри секції блочної теплиці

Площа виробничого приміщення

$$180 \cdot 36 \text{ м}^2 = 90 \text{ м} \cdot 72 \text{ м} = 6480 \text{ м}^2.$$

Висота колон у центрі приміщення 4,5 м, по краях приміщення 4,0 м.

Площа скляних огорожуючих поверхонь

$$F_{ог} = 6480 \text{ м}^2 \cdot 1,008 + 2 \cdot 4 \text{ м} \cdot 72 \text{ м} = 7108 \text{ м}^2.$$

Товщина скла складає 4 мм $\approx 0,004 \text{ м}$.

Об'єм культивацийного приміщення

$$V_p = 6480 \text{ м}^2 \cdot 4,25 \text{ м} = 27540 \text{ м}^3.$$

Довжина труб надгрунтового технологічного обігріву (одночасно труб,

що виконують функцію транспортної системи для пересування возиків)

$$10 \cdot 4,5 \text{ м} \cdot 180 = 8100 \text{ м}.$$

Довжина труб бокової системи опалення (опалення бічних стін

культивацийного приміщення) дорівнює $4 \cdot 2 \cdot 72 \text{ м} = 576 \text{ м}$.

Довжина труб розподільчих ліній складає 142 м, середній діаметр

приймається 0,127 м.

Температура теплоносія (гарячої води) у трубній системі опалення

складає 95°C .

Загальна площа поверхні труб системи опалення культивацийного

приміщення $3,14 \cdot 0,051 \text{ м} \cdot (8100 \text{ м} + 576 \text{ м}) = 1389 \text{ м}^2$.

Загальна площа труб розподільчих ліній

$$3,14 \cdot 0,127 \text{ м} \cdot 142 \text{ м} = 57 \text{ м}^2.$$

Внутрішній об'єм труб системи обігріву

$$3,14 \cdot 0,0465^2 / 4 \cdot 8676 = 14,73 \text{ м}^3.$$

Внутрішній об'єм труб розподільчих ліній

$$3,14 \cdot 0,127^2 / 4 \cdot 142 = 1,61 \text{ м}^3.$$

Розрахункова внутрішня температура повітря в теплиці 18°C .

Значення коефіцієнта огороження приміщення $1,097 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Розробку математичної моделі трубної системи опалення проведемо

для 1 зони теплиці, до складу якої входять 180 секцій. Вважаємо, що ця зона є об'єктом із зосередженими параметрами. При цьому приймаємо, що для усього

об'єму теплиці температура t_p у зазначеній зоні є однаковою, температура теплоносія t_r в трубах системи опалення приймається такою, що дорівнює середньоарифметичному значенню між температурою теплоносія на виході з котельні t_g та температурою теплоносія на виході системи опалення теплиці t_y .

До складу зазначеної виробничої зони культивационної споруди входять дві складові, які акумулюють теплову енергію: внутрішнє повітря теплиці, яке нагрівається, і ланка нагрівання теплоносія системи опалення (рис. 2.6).

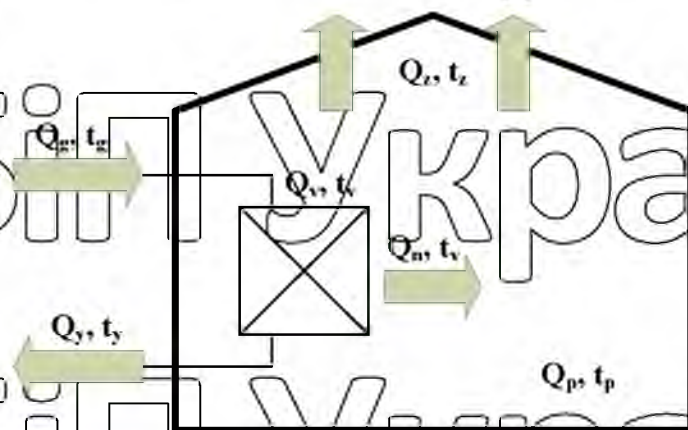


Рис. 2.6. Схема теплових потоків у виробничій зоні теплиці

Складемо математичну модель теплиці для каналу керування температурним режимом у статичному режимі. Кількість теплоти, яку містить теплоносієвий контур системи опалення (гаряча вода) Q_r і теплоти, яку містить повітря теплиці Q_p , залишається незмінним, і рівняння теплового балансу мають

наступний вигляд

$$\text{для теплоносія: } Q_g - Q_r - Q_n = 0,$$

$$\text{для повітря теплиці: } Q_n - Q_p = 0,$$

де Q_g – кількість теплоти, що надходить із теплоносієм трубої системи опалення; Q_r – кількість теплоти на виході системи опалення; Q_n – кількість теплоти, отримане повітрям у теплиці; Q_p – кількість теплоти, що втрачається через огорожуючі конструкції теплиці у навколишнє середовище.

Кількість теплоти, яку отримує трубна система опалення теплиці і яку вона віддає у простір теплиці, залежить від продуктивності насоса подачі води в систему G_n , теплоємності води як теплоносія C_v , густини води ρ_v , температури води t_v , об'єму води у трубах системи опалення V_v . Можемо записати наступні

рівняння

$$\begin{aligned} Q_g &= C_v \cdot G_n \cdot \rho_v \cdot t_g, \\ Q_y &= C_v \cdot G_n \cdot \rho_v \cdot t_y, \\ Q_v &= C_v \cdot G_v \cdot \rho_v \cdot t_v, \end{aligned}$$

Кількість теплоти, що знаходиться у внутрішньому об'ємі теплиці, залежить від температури повітря t_p , теплоємності повітря C_p , густини повітря ρ_p , внутрішньому об'єму теплиці V_p

$$Q_p = C_p \cdot V_p \cdot \rho_p \cdot t_p$$

Кількість теплоти, що передається від теплоносія через труби системи опалення до повітря теплиці, і від повітря теплиці через скляне перекриття у до зовнішнього середовища, розраховується за законом Фур'є

Тепло, яке передається від води через стінку труби до повітря і від повітря через скло теплиці до навколишнього повітря, визначається за законом Фур'є:

$$Q_n = k_l \cdot F_{mp} \cdot (t_v - t_p)$$

де k_l – коефіцієнт теплопередачі через труби системи опалення;

F_{mp} – площа поверхні труб системи опалення.

Коефіцієнт теплопередачі k_l визначається за виразом

$$k_l = N_{\Sigma p} \cdot \lambda_p / D_{mp}$$

Чисельні значення параметрів повітря визначаємо залежно від температури повітря у межах -50°C . $+60^{\circ}\text{C}$ за допомогою рівнянь, отриманих методом найменших квадратів.

Густина повітря ($\text{кг}/\text{м}^3$) визначається за виразом

$$\rho_p = 1,2934 - 4,8735 \cdot 10^{-3} \cdot t_p + 1,7287 \cdot 10^{-5} \cdot t_p^2$$

Кінематичний коефіцієнт в'язкості повітря ($\text{м}^2/\text{с}$) визначається за формулою

$$\nu_p = (13,3154 + 0,08647 \cdot t_p + 1,1144 \cdot 10^{-4} \cdot t_p^2) \cdot 10^{-6}$$

Коефіцієнт теплопровідності повітря ($\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$) визначається за наступним виразом

$$\lambda_p = (2,4373 + 7,8736 \cdot 10^{-3} \cdot t_p - 1,3487 \cdot 10^{-6} \cdot t_p^2) \cdot 10^{-2}$$

Чисельне значення критерію Прандтля для повітря визначається як

$$\text{Pr}_p = 0,70876 - 3,3487 \cdot 10^{-4} \cdot t_p - 2,1179 \cdot 10^{-6} \cdot t_p^2$$

Значення коефіцієнту об'ємного розширення повітря ($1/^{\circ}\text{K}$) дорівнює

$$\beta_p = 1 / (t_p + 273).$$

Чисельне значення критерію Нуссельта при тепловіддачі від трубної системи опалення до повітря теплиці визначається за виразом

$$\text{Nu}_p = C \cdot (\text{Gr}_p \cdot \text{Pr}_p)^n,$$

де для множини значень $1000 < \text{Gr}_p \cdot \text{Pr}_p < 10^9$ $C = 0,5$ та $n = 0,25$.

Чисельне значення добутку $\text{Gr}_p \cdot \text{Pr}_p$ розраховується за формулою

Значення комплексу $\text{Gr}_p \cdot \text{Pr}_p$ визначаємо за виразом:

$$\text{Gr}_p \cdot \text{Pr}_p = 9,81 \cdot \beta_p \cdot (t_v - t_p) \cdot \text{Pr}_p \cdot D_{\text{мп}}^3 / \nu_p^2$$

У промислових блочних теплицях переважна більшість втрат теплової енергії припадає на скляне дахове перекриття внаслідок того, що його площа є на порядок більшою, ніж площа бічних огорожуючих стін.

Кількість теплоти, що втрачається у зовнішній простір через скляне покриття (рис. 2.7), розраховуємо за формулою

$$Q_z = k_z \cdot F_{\text{ок}} \cdot (t_p - t_z) \cdot \eta_o$$

де k_z – коефіцієнт теплопередачі через скляне покриття теплиці;

$F_{\text{ок}}$ – площа скляного покриття теплиці;

η_o – коефіцієнт створдження теплиці, що визначається за виразом

$$\eta_o = F_{\text{ок}} / F_{\text{инв}}$$

де $F_{\text{инв}}$ – площа підлоги всередині теплиці (інвентарна площа теплиці).

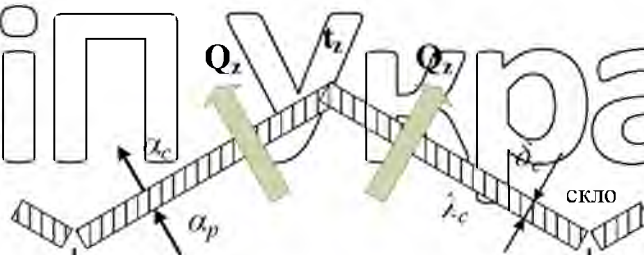


Рис. 2.7. Структура втрат теплової енергії у зовнішнє середовище у промисловій блочній теплиці

Коефіцієнт теплопередачі через скляне покриття теплиці

$$k_z = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_p} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_c}}$$

де α_p, α_c – коефіцієнти тепловіддачі від внутрішнього повітря теплиці до скляного покриття та від скляного покриття до повітря зовнішнього середовища відповідно;

λ_c – коефіцієнт теплопровідності скляного покриття;

δ_c – товщина скляного покриття.

Коефіцієнт тепловіддачі α_p приймемо незмінним $\alpha_p = 6,4 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ [7].

Коефіцієнт теплопровідності скляного перекриття λ_c залежить від зовнішньої температури теплиці і приймається у межах 0,698...0,814 Вт/(м²·°С) [7].

Значення коефіцієнта тепловіддачі α_c розраховується за виразом [9]

$$\alpha_c = Nu_z \cdot \lambda_c / L_0,$$

де L_0 – лінійний розмір секції, що складає половину ширини секції теплиці ($L_0 = 2,25$ м).

Число Нуссельта розраховується залежно від кліматичних умов, а саме від швидкості руху вітру назовні теплиці

$$Nu_z = 0,67 \cdot Re_z^{1/2} \cdot Pr_p^{1/3},$$

де число Рейнольдса визначається за формулою

$$Re_z = V_z \cdot L_0 / \nu_z$$

де V_z – швидкість руху вітру назовні теплиці, м/с.

За умови оснащення теплиці енергозберігаючим шторним екраном (рис. 2.8) відбувається зниження теплових втрат у зовнішнє середовище

внаслідок зменшення різниці температури у верхній технологічній зоні (зона

шатрового обігріву) t_1 та температури зовнішнього повітря t_z .

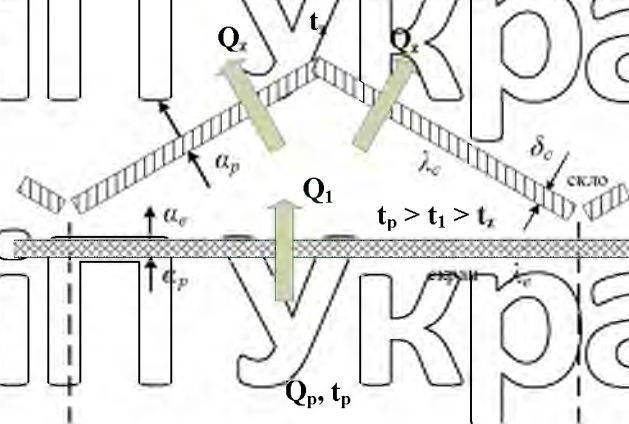


Рис. 2.8. Схема втрат теплової енергії у зовнішнє середовище в блочній теплиці при оснащенні енергозберігаючим шторним екраном

У цьому випадку

$Q = k_{EK} \cdot F_{inv} \cdot (t_p - t_z)$

де k_{EK} – коефіцієнт теплопередачі через енергозберігаючий шторний

екран.

Коефіцієнт теплопередачі за наявності шторного екрану визначається

за формулою

$$k_{EK} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_p} + \frac{\delta_{EK}}{\lambda_{EK}} + \frac{1}{\alpha_{EK}}}$$

де α_p, α_{EK} – коефіцієнти теплопередачі від внутрішнього повітря в теплиці до екрану та від екрану до повітря верхньої технологічної зони (шатрової зони) теплиці;

λ_{EK} – коефіцієнт теплопровідності енергозберігаючого шторного

екрану;

δ_{EK} – товщина шторного екрану.

У виразі (2.19) приймається значення коефіцієнта огороження $\eta_p = 1$ оскільки площа горизонтального екрану F_{EK} дорівнює інвентарній площі теплиці F_{inv} .

Кількість теплоти, що втрачається у зовнішній простір через скляне перекриття за умови оснащення теплиці системою екранування

$Q_z = k_z \cdot F_{oz} \cdot (t_1 - t_2) \cdot \eta_{oz}$

Теплофізичні параметри води розраховуємо за допомогою формул, які

отримані залежно від температури води за допомогою методу найменших квадратів [16].

Густина води ($\text{кг}/\text{м}^3$) розраховується за виразом

$$\rho_v = 1000,6 - 0,0719 \cdot t_v - 3,5501 \cdot 10^{-3} \cdot t_v^2$$

Чисельне значення теплоємності води ($\text{Дж}/\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$) визначається як

$$C_v = (4,2074 - 1,4878 \cdot 10^{-3} \cdot t_v + 1,64693 \cdot 10^{-5} \cdot t_v^2) \cdot 1000$$

Від моделювання статичного режиму переходимо до динамічного режиму. Використовуючи наведені вище рівняння, складаємо систему диференціальних рівнянь, що відображають зміну кількості теплової енергії у теплоносії трубної системи опалення та у повітряному просторі теплиці.

Враховуючи ті параметри, значення яких прийняті незмінними (густина і теплоємність теплоносія (гарячої води) і повітря, об'єми повітряного простору і труб системи опалення), знаходимо похідні за температурою повітря у теплиці t_p і середньою температурою води t_v

$$C_v \cdot V_v \cdot \rho_v \cdot \frac{dt_v}{d\tau} = C_g \cdot G_g \cdot \rho_g \cdot t_g - C_y \cdot G_y \cdot \rho_y \cdot t_y - \alpha_p \cdot F_t \cdot (t_v - t_p)$$

$$C_p \cdot V_p \cdot \rho_p \cdot \frac{dt_p}{d\tau} = \alpha_p \cdot F_t \cdot (t_v - t_p) - k_z \cdot F_c \cdot (t_p - t_z) - \eta_0$$

З рівняння $t_v = (t_g + t_y)/2$ визначимо температуру на виході системи

опалення і підставимо у відповідне рівняння (2.24), і після спрощення

приведемо їх до вигляду Коші

$$\frac{dt_v}{d\tau} = \frac{C_g \cdot G_g \cdot \rho_g \cdot t_g - C_y \cdot G_y \cdot \rho_y \cdot (2 \cdot t_v - t_g) - \alpha_p \cdot F_t \cdot (t_v - t_p)}{C_v \cdot V_v \cdot \rho_v}$$

$$\frac{dt_p}{d\tau} = \frac{\alpha_p \cdot F_t \cdot (t_v - t_p) - k_z \cdot F_c \cdot (t_p - t_z) - \eta_0}{C_p \cdot V_p \cdot \rho_p}$$

Як було зазначено у попередньому розділі, у переважній більшості промислових тепличних комбінатів теплопостачання забезпечується власними

теплопунктами із водогрійними котлами, спеціально розробленими для роботи

у тепличній галузі з метою не тільки нагрівання води як теплоносія системи технологічного трубного обігріву, але і отримання вуглеводневого газу для системи підживлення рослин. При цьому температура води на вході системи

опалення теплиці дорівнює 95...70°C, вода на виході системи опалення повітря

надходить до трубопроводу підґрунтового обігріву з температурою 40°C.

За допомогою математичного середовища MATLAB Simulink складена імітаційна модель енерговитрат (рис. 2.9) для дослідження динамічних характеристик теплиці, а саме зміни температури теплоносія в трубній системі технологічного обігріву теплиці та температури повітря в об'ємі теплиці.

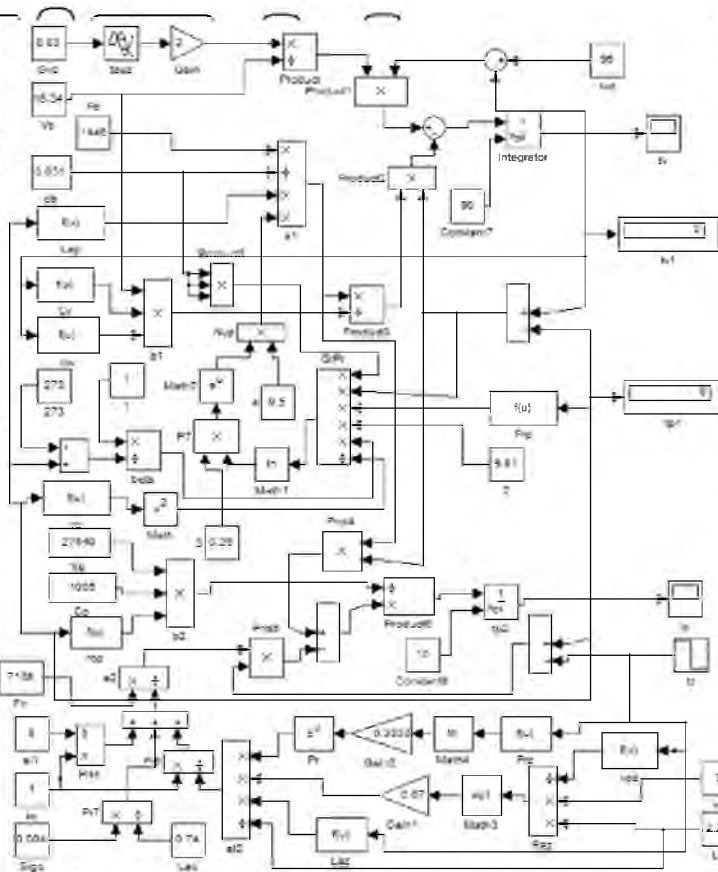


Рис. 2.9. Схема імітаційної моделі енерговитрат у теплиці з використанням середовища MATLAB Simulink

Дослідження розробленої математичної моделі енерговитрат у теплиці показали, що за умови температури зовнішнього повітря -15°C , швидкості руху повітряних мас надсвіт теплиці 5 м/с для досягнення температури повітря в об'ємі теплиці $+18^{\circ}\text{C}$ температура теплоносія у трубах системи опалення повинна дорівнювати $89,2^{\circ}\text{C}$ (рис. 2.10). При цьому постійна часу системи керування температурним режимом у теплиці складає 1150 с , системи керування температурою теплоносія в системі опалення – 500 с .

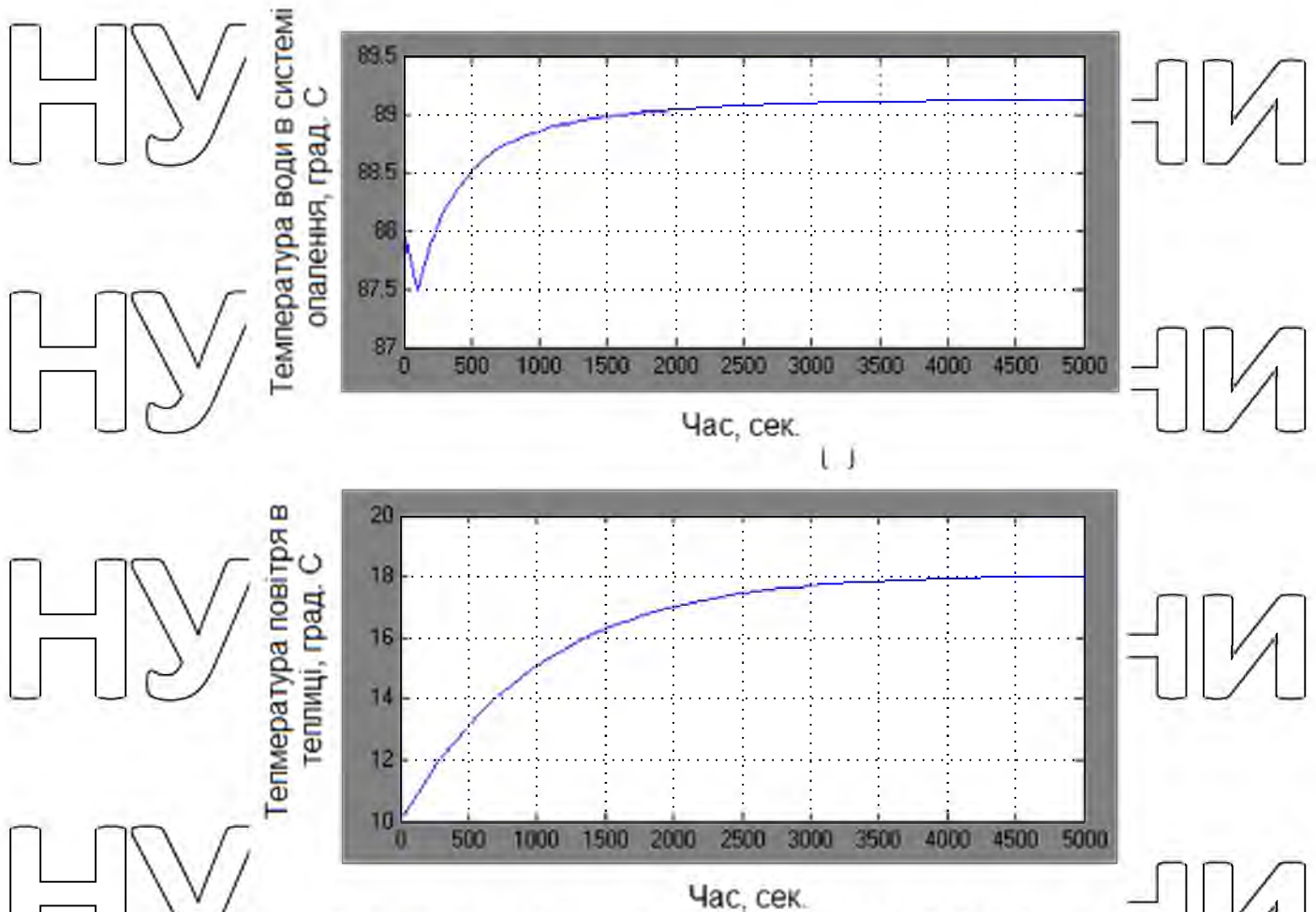


Рис. 2.10. Динаміка зміни середньої температури теплоносія в трубах системи опалення та температури повітря у теплиці без системи

зашторювання

При оснащенні теплиці системою зашторювання із одинарним енергозберігаючим екран (коефіцієнт теплопровідності дорівнює $\lambda_{ЕК} = 0,03$ Вт/(м²·°С)) для зазначених умов (зовнішня температура повітря -15°C , швидкість вітру 5 м/с, температура повітря в теплиці $+18^{\circ}\text{C}$) температура теплоносія в трубах технологічного обгріву повинна становити $83,3^{\circ}\text{C}$ (рис.2.11). При цьому постійна часу системи керування температурним режимом у теплиці складе 1250с, системи керування температурою теплоносія в системі опалення 400с.

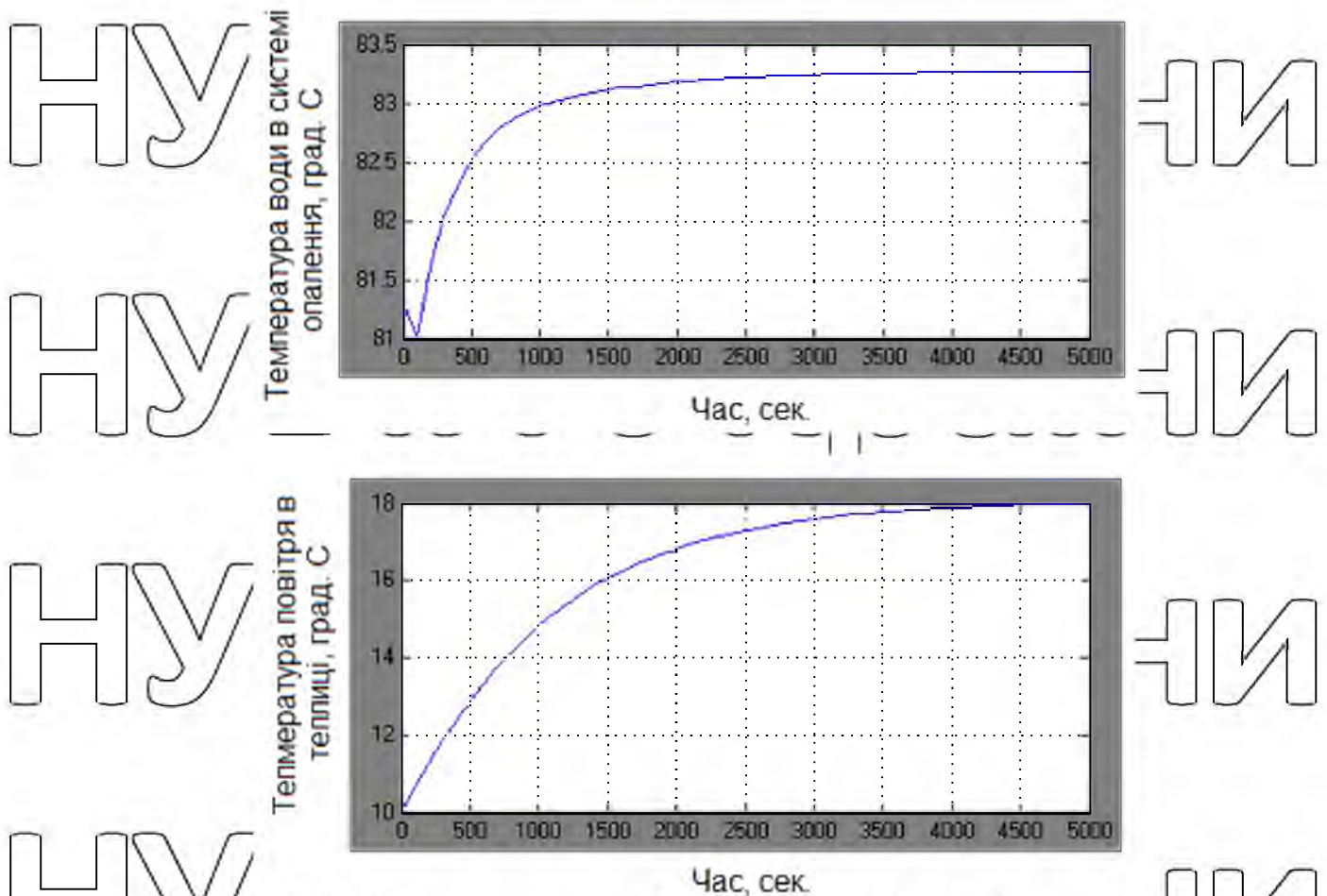


Рис. 2.10 Динаміка зміни середньої температури теплоносія в трубах системи опалення та температури повітря у теплиці за наявності системи

зашторювання з одинарним енергозберігаючим екраном

За умови оснащення теплиці системою зашторювання із подвійним енергозберігаючим екраном для зазначених умов (зовнішня температура повітря -15°C , швидкість вітру 5 м/с , температура повітря в теплиці $+18^{\circ}\text{C}$) температура теплоносія в трубах технологічного обігріву повинна становити $67,8^{\circ}\text{C}$ (рис. 2.12). При цьому постійна часу системи керування температурою повітря у теплиці складе 1650 с , системи керування температурою теплоносія в системі опалення – 320 с .

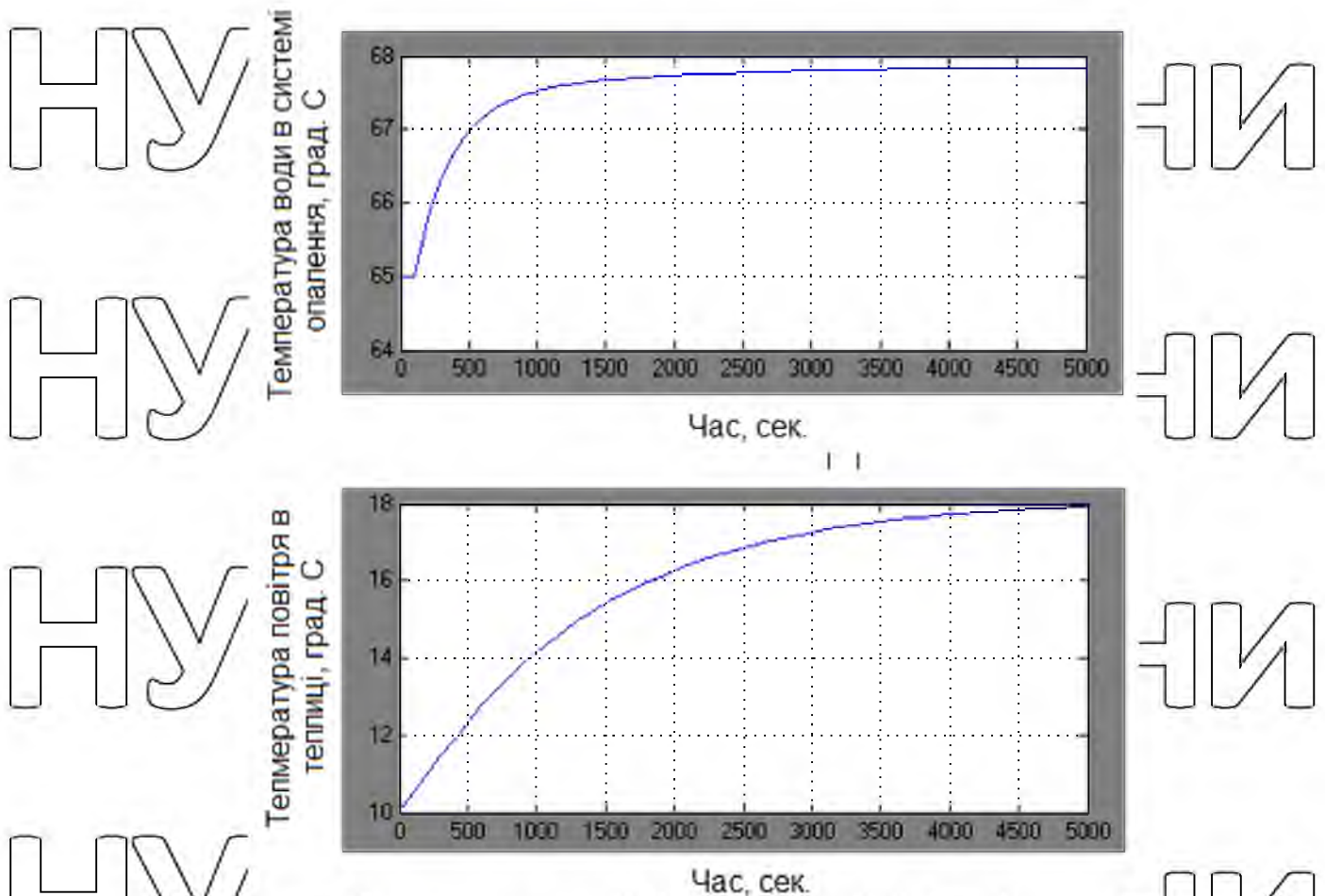


Рис. 2.11. Динаміка зміни середньої температури гарячої води і температури повітря в теплиці при встановленні

подвійного енергозберігаючого шторного екрану

Проведення теоретичних досліджень енергетичних процесів створення температурного режиму у промисловій теплиці за допомогою розробленої математичної моделі показало, що улаштування системи зашторювання дозволяє значно підвищити термічний опір теплопередачі тепличної споруди. Так, у теплиці площею 6480 м^2 при зазначених умовах навколишнього середовища застосування одинарного енергозберігаючого шторного екрану дозволяє знизити втрати теплоти у зовнішній простір з 3270 кВт до 3041 кВт (на 7%), а за умови застосування подвійного екрану – з 3270 кВт до 2485 кВт (на 24%).

2.3. Розробка та дослідження математичної моделі системи керування температурним режимом у промисловій теплиці в літній період

Основним збурюючим фактором на теплові процеси у промисловій теплиці влітку є величина сонячної радіації. Тривалість перегрівання повітряного середовища в культивацийній споруді залежно від кліматичної зони сягає від 25 до 40% від усього часу експлуатації. Перегрівання рослин призводить до зменшення транспірації вологи зеленою масою, внаслідок чого зменшується продуктивність виробництва і рослини можуть загинути.

Використання системи зашторювання із затінюючими екранами є найпоширенішим і найефективнішим способом усунення перегрівання і теплового стресу рослин в промислових блочних теплицях. Ці системи оснащуються системами автоматики для точного позиціонування екрану. Як матеріал екрану використовуються тканини або плівки, склад яких дозволяє ефективно відбивати сонячні промені та затримувати теплову енергію.

Крім системи зашторювання, для ефективного зниження температури повітря в теплиці використовується також поєднання системи випаровувального охолодження (розпилювання водяного аерозолю) та вентиляції повітря при відкриванні вентиляційних фрамуг (аерація повітря). Слід зазначити, що за умови відсутності вітру назовні теплиці повітрообмін у теплиці практично відсутній.

Для покращення повітрообміну використовуються різні способи посилення аерації: наприклад, улаштовуються додаткові вентиляційні фрамуги у бічних стінках теплиці, збільшуються розміри технологічних входних отворів (ворота, двері). Розпилювання водяного аерозолю, при випаровуванні якого знижується температура у теплиці, здійснюється через форсунки розпилення води під тиском, які розміщені по усьому об'ємі теплиці.

Із урахуванням впливу температури повітря в культивацийній споруді на вологість повітря і навпаки, визначимо динамічні характеристики теплиці

для каналу регулювання температури повітря у теплиці. Схема, що відображає балансів рівняння зміни температури та вологості повітря, зображені на рис. 2.12.

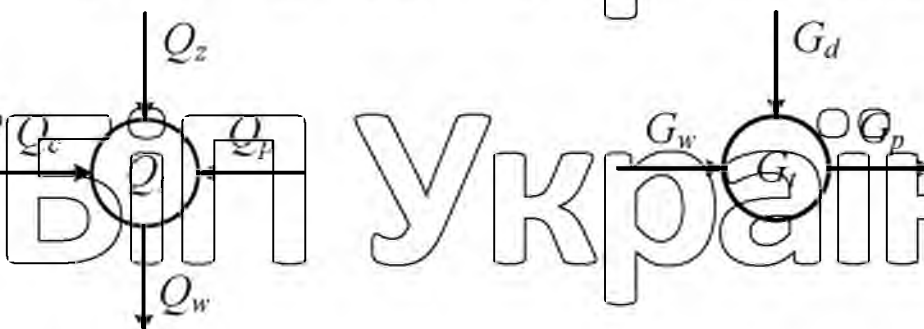


Рис. 2.12. Структура балансових рівнянь для каналу керування температурою та вологістю повітря в теплиці

а – по каналу регулювання температури повітря; б – по каналу регулювання відносної вологості повітря

Балансові рівняння для каналу керування температурним режимом:

- для статичного режиму

$$Q_c + Q_z + Q_p + Q_w = 0,$$

- для динамічного режиму

$$\frac{dt_i}{dt} = \frac{Q_c + Q_z + Q_p - Q_w}{V_i \cdot \rho_p \cdot C_p},$$

де Q_c - кількість теплоти від сонячної радіації, що потрапляє на скляне покриття теплиці;

Q_z - кількість теплової енергії, яка за допомогою конвекції потрапляє всередину культивационної споруди із зовнішнього середовища;

Q_p - кількість теплової енергії, що вноситься у простір теплиці з вентиляцією;

Q_w - кількість теплоти, що забирає система випарувального охолодження на випаровування розбризканої води;

V_i - об'єм повітря у теплиці, м³;

ρ_p - густина повітря у теплиці, кг/м³;

C_p - теплоємність повітря у теплиці, Дж / (кг·°C).

Балансові рівняння для каналу керування відносною вологістю повітря в культивацийній споруді:

- для статичного режиму $G_W + G_D - G_P = 0$

- для динамічного режиму,

$$\frac{dd_t}{dt} = \frac{G_w + G_d - G_p}{V_t \cdot \rho_p}$$

де G_W – вологість повітря, яку потрібно внести у простір теплиці для

компенсації впливу сонячної радіації на скляне покриття теплиці;

G_D – вологість повітря, обумовлена продуктивністю системи випаровувального охолодження повітря;

G_P – відносна вологість повітря, що виводиться з культивацийної споруди через вентиляційну систему.

Із використанням математичного середовища MathCAD за наведеними балансовими рівняннями для статичного та динамічного режимів розроблена програма (додаток Б) розрахунків математичної моделі, за допомогою якої можна дослідити зміну температури та відносної вологості повітря в теплиці в

літній період.

Результатами дослідження зазначеної моделі температурного і вологісного руху в просторі культивацийної споруди виступають наступні графічні інтерпретації.

НУБІП України

НУБІП України

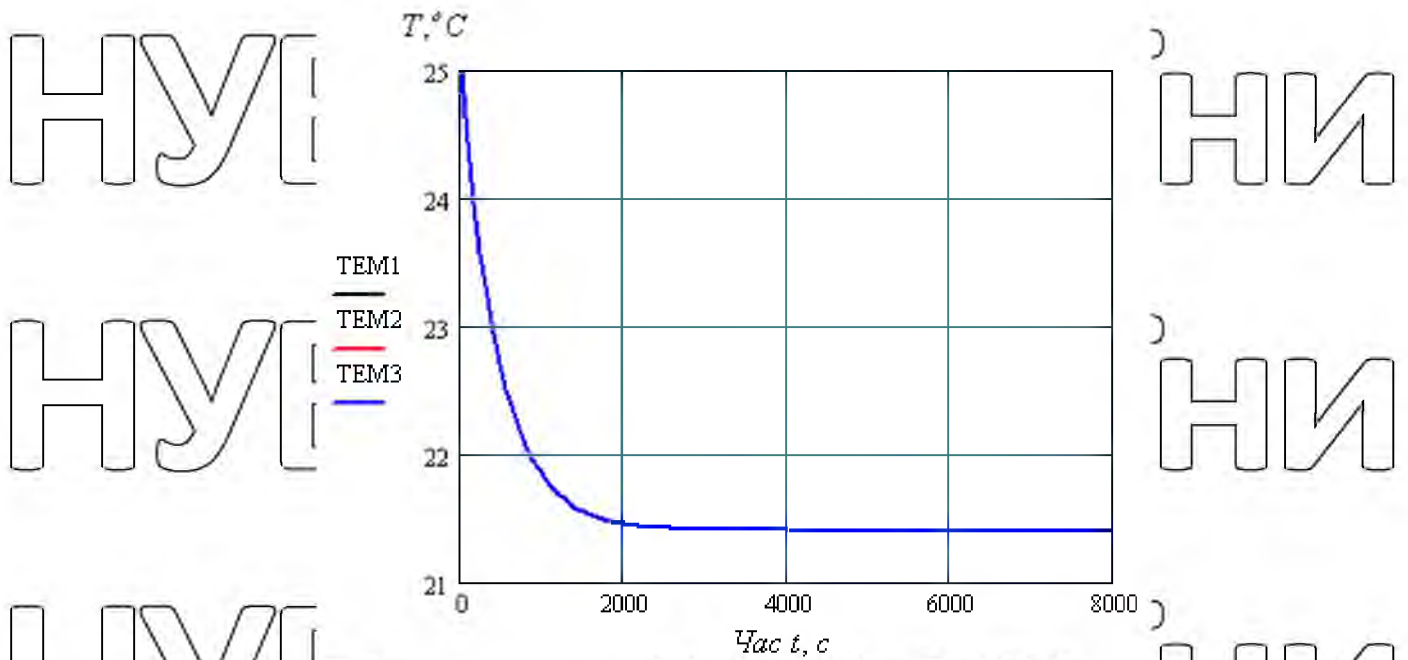


Рис. 2.13. Рух зміни температури повітря в культивацийній споруді в ранковий час (6 – 12 година) при визначених умовах навколишнього середовища

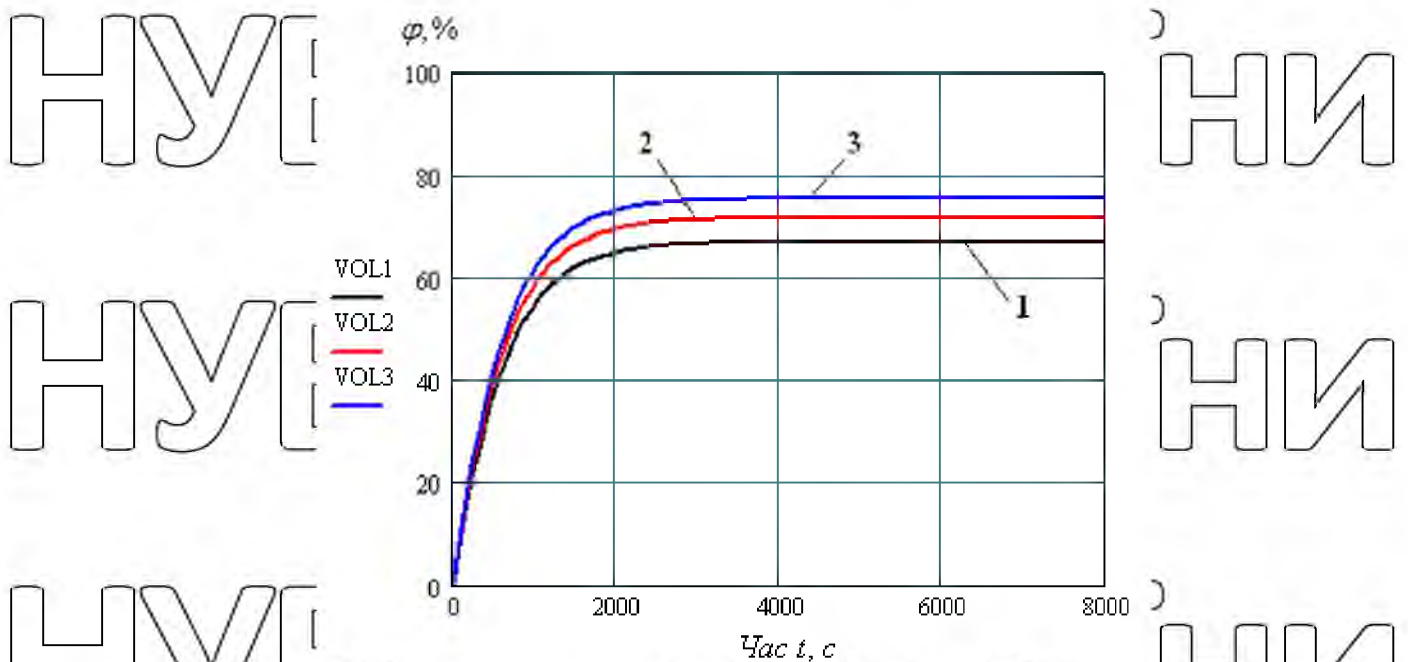


Рис. 2.14. Рух зміни вологості повітря в культивацийній споруді три заданих в ранковий час від (6 - 12 година) при визначених умовах навколишнього середовища (1 – 6 год. ранку; 2 – 9 год. ранку; 3 – 12 год.)

НУБІП України

Підвищення продуктивності водоаерозольного охолодження повітря в культуривній споруді (за умови, що інші вихідні параметри є константою) істотно впливає на температуру повітря: відбувається зниження температури (рис. 2.15) від 23 до 18°C (при збільшенні витрат води відповідно з 0,4 до 0,6кг/с) із одночасним збільшенням відносної вологості повітря.

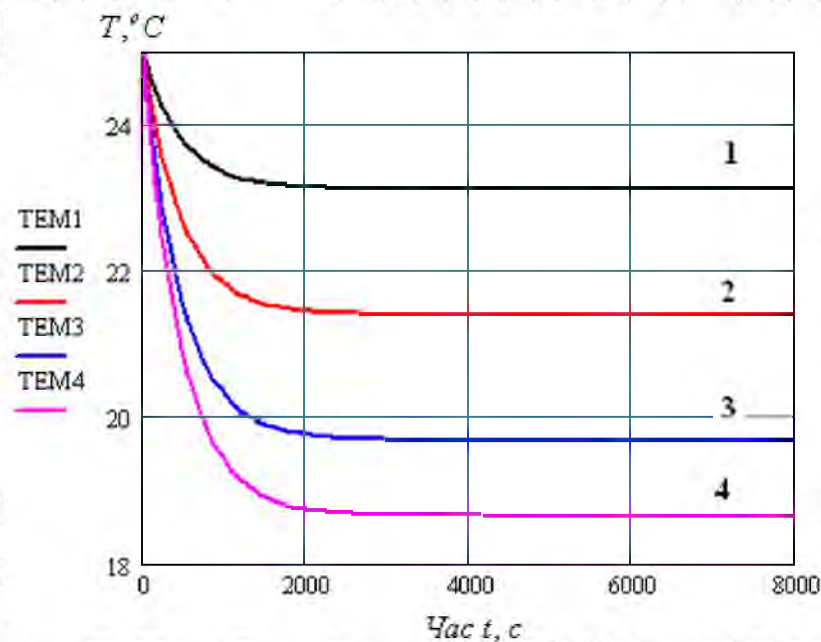


Рис. 2.15. Зміна температури повітря в теплиці при різних значеннях продуктивності системи водоаерозольного охолодження

1 - $G_d = 0,4 \text{ кг/с}$; 2 - $G_d = 0,5 \text{ кг/с}$; 3 - $G_d = 0,6 \text{ кг/с}$; 4 - $G_d = 0,66 \text{ кг/с}$

РОЗДІЛ 3

ВИБІР РЕГУЛЯТОРА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ
ЙОГО НАЛАШТУВАНЬ3.1 Вибір алгоритму керування та розрахунок параметрів
настройки регулятора

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

Регулятор обирають за величиною відношення часу запізнення до постійної часу об'єкта керування:

$0,2 \leq \tau/T \leq 1$ - лінійний алгоритм керування;

$\tau/T > 1$ - імпульсний алгоритм керування;

$\tau/T < 0,2$ - позиційний алгоритм керування.

$$\frac{\tau}{T} = \frac{75}{2075} = 0,067$$

За розрахунками підходить лінійний алгоритм керування.

Динамічний коефіцієнт регулювання дає змогу обрати найкращий алгоритм для об'єкта керування.

Методика вибору найкращого алгоритму керування полягає у визначенні динамічного коефіцієнта регулювання.

Для статичних об'єктів:

$$R_d = y_1 / (K_0 u_{max}) \quad (3.1)$$

де y_1 – максимальне динамічне відхилення

K_0 – коефіцієнт передачі об'єкта керування

u_{max} – максимально можливе значення збурення по навантаженням.

За даними нашого об'єкта визначаємо динамічний коефіцієнт регулювання:

$$R_d = 1.5 / (0.117 \cdot 595) = 0.02$$

Далі за графічними залежностями (рис. 3.1) дістаємо алгоритм керування.

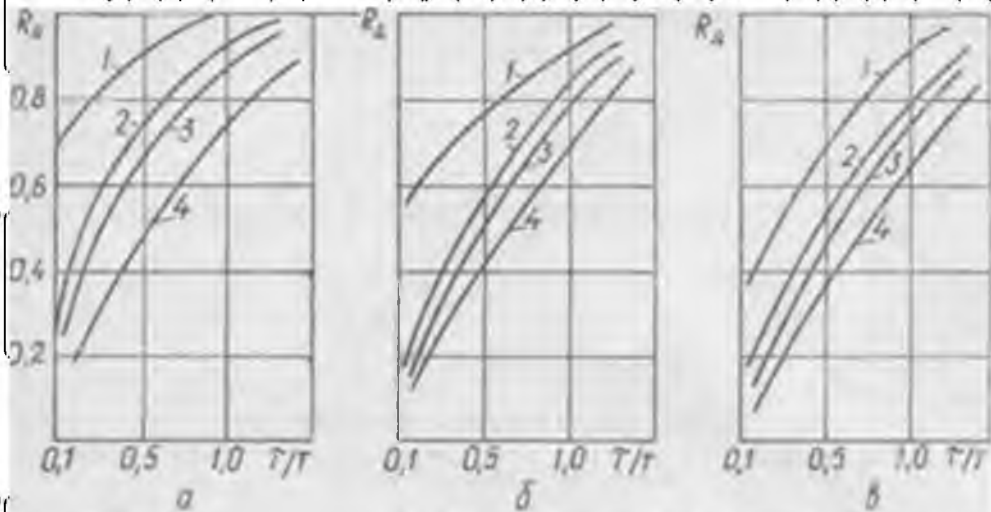


Рис. 3.1. Графічні залежності для визначення алгоритму керування

Обираємо для даного об'єкта аперіодичний перехідний процес.

За рис. 3.1 (а) обираємо пропорційний алгоритм керування.

Перевіримо, чи забезпечується при цьому потрібний час регулювання: за таблицею 3.1 беремо $\Psi = 4.5$, тоді $t_{rp} = 4.5 \cdot 0.5 = 2.25$. Оскільки $t_{rp} < t_p$, тобто $2.25 < 595$, перевіримо виникнення при цьому статичної похибки. Визначаємо $\Delta = K_o \cdot u_{max} \cdot 0.37 = 25.75^\circ\text{C}$

Відносний час регулювання

Алгоритм керування	Об'єкт	Відносний час регулювання		
		аперіодичний	із 20% перерегулюванням	із мінімальним інтегральним показником
Пропорційний	Статичний	4,5	6,5	9,0
	Астатичний	6,0	8,0	-
Пропорційно-інтегральний	Статичний	8,0	12,0	16,0
	Астатичний	14,0	16,0	18,0
Пропорційно-інтегральний-диференціальний	Статичний	5,5	7,0	10,0
	Астатичний	9,0	12,0	13,0

Оскільки $0.3 < 20.52$, то П-алгоритм керування не задовольняє всіх вимог.

Для ПІ-регулятора $tp_{PI} = 8.0 \cdot 0.5 = 4$. Оскільки, $tp_{PI} < tp$, то ПІ-алгоритм керування забезпечує час регулювання, який вимагається.

3.2. 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 зворотнє 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.

Визначення періоду квантування сигналів ЦСК. Дискретизація (квантування) – заміна неперервного сигналу тими чи іншими дискретними значеннями.

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 навантаження 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 $T_k = \pi/\omega_c$.

Визначення передавної функції неперервної частини розімкнутої системи:

$$W_{\text{роз}}(p) = \frac{K_e K_o}{T_e p + 1 T_o p + 1} = \frac{K_e K_o}{T_e T_o p^2 + (T_e + T_o)p + 1}$$

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

Визначаємо передавну функцію неперервної частини замкненої системи:

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

Визначення амплітудно-частотної характеристики неперервної частини замкненої системи:

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

У результаті розв'язання рівняння

$$A(\omega) = \frac{K_s K_o}{\sqrt{(-T_s T_o \omega^2 + 1 + K_s K_o)^2 + (T_s T_o)^2 \omega^2}} = 0.01$$

Отримаємо значення частоти за рис. 3.2.

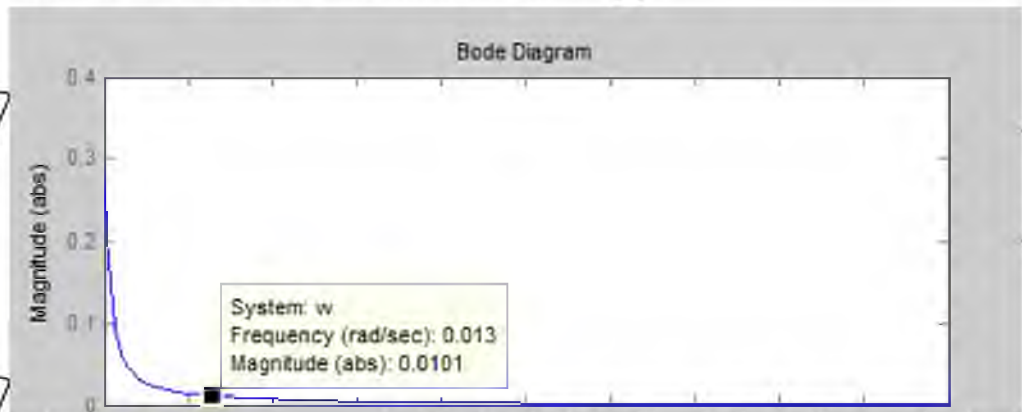


Рис. 3.2. АФЧХ системи керування

$$\omega_c = 0.013$$

і значення часу квантування:

$$T_k = \frac{\pi}{\omega_c} = 241 \text{ c}$$

Дослідження цифрового ПІ-регулятора. Аналогічно з

неперервними системами в цифрових системах можна реалізувати ПІ закон регулювання (рис 3.3).

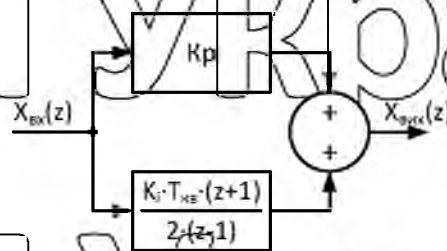


Рис. 3.3. Структурно-алгоритмічна схема цифрового ПІ-регулятора

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

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

Добротність за швидкістю визначається залежно від постійної часу об'єкта (табл. 3.2)

Таблиця 3.2

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, використовуючи операції завдання передаточної функції

неперервної системи $w = tf([K_o], [T_b \cdot T_o \quad T_b + T_o \quad 1])$ 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 BM , оскільки ПІ-регулятор компенсує лише один полюс Z-перетворення неперервної частини.

```

>> w=tf([0.273],[3195.5 2076.54 1],'OutputDelay',75)
Transfer function:
          0.273
exp(-75*s) * -----
          3196 s^2 + 2077 s + 1

>> bode(w)
>> wz=c2d(w,241)
Transfer function:
0.0208 z^2 + 0.009133 z + 5.07e-019
-----
z^3 - 0.8903 z^2 + 9.885e-017 z

```

Лістинг 3.1. Z – перетворення у MATLAB

Тоді

$$K_i = \frac{0.008}{\left(\frac{0.0208 \cdot 1 + 0.009133 - 0.000000000000000000507}{1^3 - 0.8903 \cdot 1^2 + 0.0000000000000000009885 \cdot 1 + 0} \right)} = 0.029$$

Після знаходження K_i параметр K_p визначасмо таким чином, щоб компенсувати полюс Z-перетворення неперервної частини системи.

Передаюча функція П-регулятора має вигляд:

$$\begin{aligned}
 W_{PI}(z) &= \frac{K_i \times T z + 1}{2(z-1)} = \frac{2 \times K_p \times z - 2 \times K_p + K_i \times T \times z + K_i \times T}{2z - 2} = \\
 &= \frac{(2 \times K_p + K_i \times T)z + (K_i \times T - 2 \times K_p)}{2(z-1)} = \\
 &= \frac{(2 \times K_p + K_i \times T) \left[z + \frac{K_i \times T - 2 \times K_p}{2 \times K_p + K_i \times T} \right]}{2(z-1)}
 \end{aligned}$$

Для компенсації полюсу необхідно знайти такий K_p , який би задовольняв рівняння:

Given

$$\frac{K_i T - 2 K_p}{K_i T + 2 K_p} = 0.0001974$$

$$\text{Find}(K_p) = 8.031$$

Для дослідження показників якості роботи системи використовуємо модель у програмному середовищі MATLAB/Simulink (рис. 3.4).

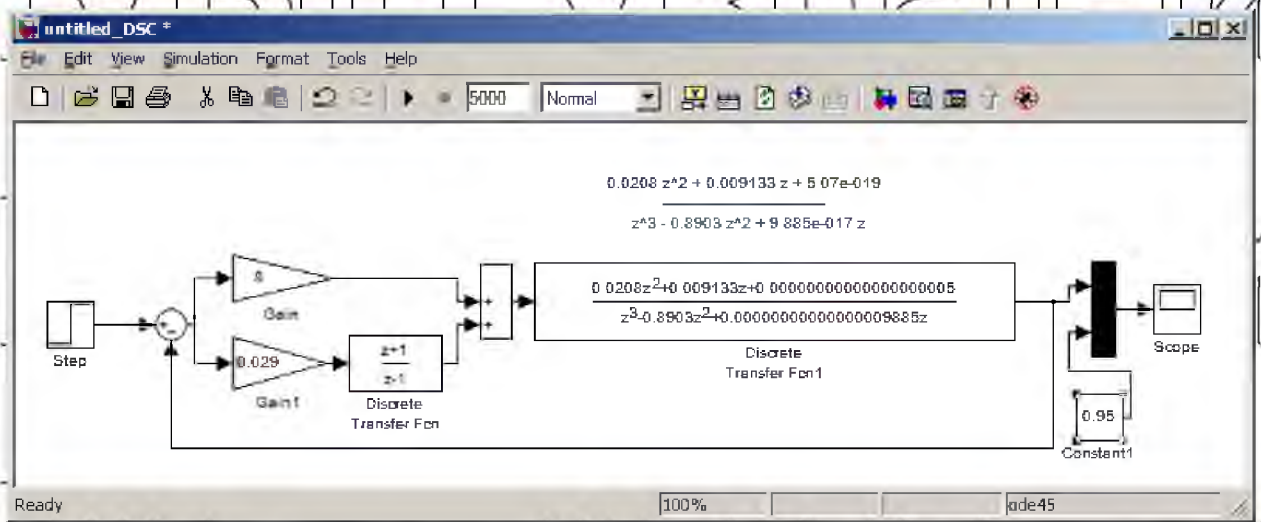


Рис. 3.4 Структурна модель цифрової системи

Та отримаємо перехідний процес цифрової системи системи з ПІ-регулятором (рис. 3.5).

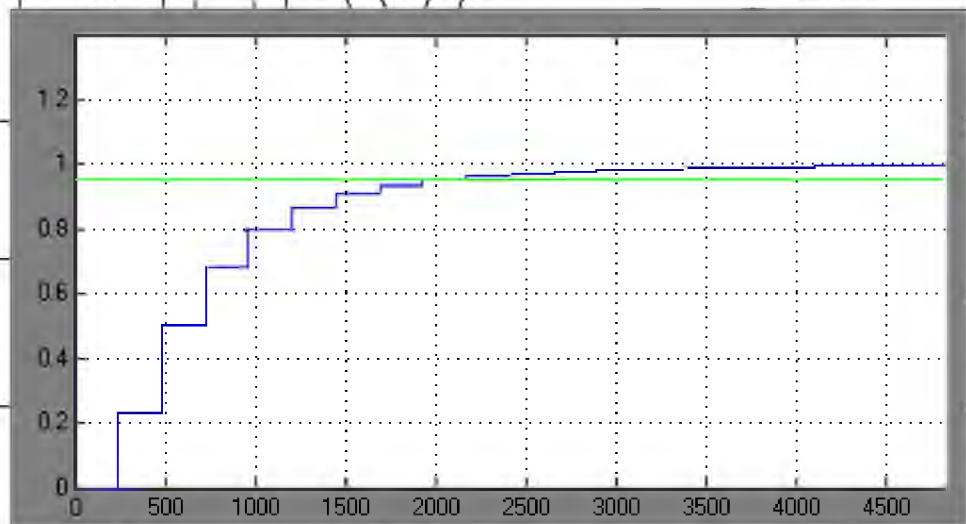


Рис. 3.5. Перехідний процес цифрової системи з ПІ-регулятором

Згідно перехідного процесу визначаємо:

- час регулювання $t_p = 1970$ с;

- перерегулювання $\sigma = 0$

- коливальність $\eta = 0$.

РОЗДІЛ 5
СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1. Вибір апаратури захисту та керування

Технічні характеристики електродвигунів, що використовуються у технологічних процесах у промисловій теплиці, наведені у табл. 5.1, 5.2.

Технічні характеристики асинхронних трифазних електродвигунів

АИР180М8У3 та АИР132S4У3

Таблиця 5.1.

Характеристика електродвигуна	Марка електродвигуна та позначення за принциповою схемою	
	АИР180М8У3 (М1)	АИР132S4У3 (М2)
Потужність, кВт	15	7,5
Напруга живлення, В	380/660	220/380, 380/660
Номінальний струм, А	34,1	15,6
Частота обертання поля статора, об./хв.	750	1500
Частота обертання валу, об./хв.	730	1450
cosφ	0,76	0,84
ККД, %	88,0	87,0
Відношення моментів $M_{пуск}/M_H$	2,0	2,3
Відношення моментів M_{max}/M_H	2,0	2,3
Відношення струмів $I_{пуск}/I_H$	6,6	7,0
Момент інерції, кг·м ²	0,1	0,0227
Режим роботи	Тривалий, S1	Тривалий, S1
Термічний клас ізоляції обмоток	F – до 150°С	F – до 150°С
Ступінь захисту від вологи та пилу	IP54	IP54
Вага, кг	172,0	67,0

НУБІП України

Таблиця 5.2.

Технічні характеристики асинхронних трифазних електродвигунів

AIP100S4Y3 та AIP100L6Y3

Характеристика електродвигуна	Марка електродвигуна	
	AIP100S4Y3 (M3)	AIP100L6Y3 (M4, M5, M6)
Потужність, кВт	3,0	2,2
Напруга живлення, В	3ф, 220/380, 50Гц	3ф, 220/380, 50Гц
Номинальний струм, А	6,8	5,6
Частота обертання поля статора, об./хв.	1500	1000
Частота обертання валу, об./хв.	1410	935
$\cos\phi$	0,82	0,76
ККД, %	82,6	79,0
Відношення моментів $M_{пуск}/M_H$	2,3	2,0
Відношення моментів M_{max}/M_H	2,3	2,1
Відношення струмів $I_{пуск}/I_H$	7,0	6,5
Момент інерції, кг·м ²	0,01	0,02
Режим роботи	Тривалий, S1	Тривалий, S1
Термічний клас ізоляції обмоток	F до 150°C	F до 150°C
Ступінь захисту від вологи та пилу	IP54	IP54
Вага, кг	38,0	36,3

Крім зазначеного обладнання, у колі керування встановлені кнопкові пости керування SB1, SB2, кнопки керування SB3- SB8, проміжні реле KL1, KL7, перемикач режимів роботи (ручний, автоматичний) SA1, лампи світлової сигналізації.

5.1.1. Вибір автоматичних вимикачів

Вибираючи автоматичний вимикач для захисту електродвигуна, слід дотримуватися таких умов:

- номінальна напруга автоматичного вимикача має дорівнювати напрузі електричної мережі або перевищувати її:

$$U_{ав} \geq U_M; \quad (5.1)$$

- номінальний струм автоматичного вимикача має дорівнювати номінальному струму електродвигуна або трохи перевищувати його:

$$I_{ном.ав.} \geq I_{ном.ел.дв.}; \quad (5.2)$$

- номінальний струм теплового й електромагнітного розчіплювачів має дорівнювати номінальному струму електродвигуна або трохи перевищувати його з подальшим регулюванням струму неспрацювання теплового розчіплювача на номінальний струм електродвигуна:

$$I_{ном.розч.} \geq I_{ном.ел.дв.}; \quad (5.3)$$

- струм відсічки електромагнітного розчіплювача має становити не менш як 1,5...1,6 від пускового струму електродвигуна:

$$I_{від.розч.} \geq (1,5 \dots 1,6) I_{пуск.}; \quad (5.4)$$

За вказаними умовами для відповідних електродвигунів були вибрані наступні автоматичні вимикачі (табл. 5.3).

Таблиця 5.3.

Вибір автоматичних вимикачів

Електродвигун	Автоматичний вимикач, виконання умов
<p>АИР100S4У3 (М3) Потужність 3,0 кВт Струм $I_H = 6,8A$ Пусковий струм $I_{пуск} = 7 \cdot 6,8 = 47,6A$ $1,6 \cdot I_{пуск} = 76,16A$</p>	<p>İK60N C 20A 3P (трифазний, з електромагнітним розчіплювачем) $U_{ав} = 400V, U_{ав} \geq U_M; 400V > 380V$ $I_{ном.ав} = 20A; I_{ном.ав} \geq I_{ном.ел.дв.}; 20A > 6,8A$ $I_{ном.розч} = (5 \dots 10) I_{ном.ав} = (100 \dots 200)A$ $I_{ном.розч} \geq I_{ном.ел.дв.}; (100 \dots 200)A \geq 6,8A$ $I_{від.розч.} \geq (1,5 \dots 1,6) I_{пуск.}$ $(100 \dots 200)A \geq 76,16A$</p>
<p>АИР180М8У3 (М1) Потужність 15,0 кВт Струм $I_H = 34,1A$ Пусковий струм $I_{пуск} = 6,6/34,1 = 225,06A$ $1,6 \cdot I_{пуск} = 360,1A$</p>	<p>GV2ME36 (трифазний, з електромагнітним та тепловим розчіплювачами) $U_{ав} = 690V, U_{ав} \geq U_M; 690V > 380V$ $I_{ном.ав} = 36A; I_{ном.ав} \geq I_{ном.ел.дв.}; 36A > 34,1A$ $I_{ном.розч} = 416A, I_{ном.розч.} \geq I_{ном.ел.дв.}; 416A > 34,1A$ $I_{від.розч.} \geq (1,5 \dots 1,6) I_{пуск.}; 416A > 360,1A$ Регулювання захисту</p>

теплових розчіплювачів 28...36А

Таблиця 5/3.

Вибір автоматичних вимикачів (продовження)

Електродвигун	Автоматичний вимикач, виконання УМВ
АВР132S4У3 (М2) Потужність 7,5 кВт Струм $I_n = 15,6\text{А}$ Пусковий струм $I_{\text{пуск}} = 7 \cdot 15,6 = 109,2\text{А}$ $1,6 \cdot I_{\text{пуск}} = 174,7\text{А}$	GV2ME21 (трифазний, з електромагнітним та тепловим розчіплювачами) $U_{ав} = 690\text{В}, U_{ав} \geq U_m; 690\text{В} > 380\text{В}$ $I_{ном.ав} = 23\text{А}; I_{ном.ав} \geq I_{ном.ел.дв}; 23\text{А} > 15,6\text{А}$ $I_{ном.розч} = 327\text{А}, I_{ном.розч} \geq I_{ном.ел.дв}; 327\text{А} > 15,6\text{А}$ $I_{від.розч} \geq (1,5 \dots 1,6) I_{пуск}, 327\text{А} > 174,7\text{А}$ Регулювання захисту теплових розчіплювачів 17...23А
АВР100L6У3 (М4, М5, М6) Потужність 2,2 кВт Струм $I_n = 5,6\text{А}$ Пусковий струм $I_{\text{пуск}} = 6,5/5,6 = 36,4\text{А}$ $1,6 \cdot I_{\text{пуск}} = 58,24\text{А}$	GV2ME10 (трифазний, з електромагнітним та тепловим розчіплювачами) $U_{ав} = 690\text{В}, U_{ав} \geq U_m; 690\text{В} > 380\text{В}$ $I_{ном.ав} = 6,3\text{А}; I_{ном.ав} \geq I_{ном.ел.дв}; 6,3\text{А} > 5,6\text{А}$ $I_{ном.розч} = 78\text{А}, I_{ном.розч} \geq I_{ном.ел.дв}; 78\text{А} > 5,6\text{А}$ $I_{від.розч} \geq (1,5 \dots 1,6) I_{пуск}, 78\text{А} > 58,24\text{А}$ Регулювання захисту теплових розчіплювачів 4...6,3А

При виборі автоматичного вимикача для захисту ПЛК та кола керування, необхідно дотримуватись наступних умов:

- номінальна напруга автоматичного вимикача має дорівнювати напрузі живлення електричної мережі або перевищувати її

$$U_{н.ав} \geq U_{ж}; \quad (5.5)$$

- номінальний струм автоматичного вимикача повинен дорівнювати або перевищувати робочий струм ПЛК та кола керування

$$I_{н.ав} > I_{к.кер}, \quad (5.6)$$

- номінальний струм електромагнітного розчіплювача повинен дорівнювати або перевищувати номінальний струм ПЛК та кола керування

$$I_{н.розч} > I_{к.кер}; \quad (5.7)$$

НУБІП України

струм відсічки електромагнітного розчіплювача має становити не менше 1,5...1,6 робочого струму ПЛК та кола керування

$$I_{\text{ВДС.РОЗЧ}} > (1,5...1,6) \cdot I_{\text{К.КЕР}} \quad (5.8)$$

НУБІП України

За принциповою схемою бачимо, що автоматичний вимикач QF7 захищає блок живлення G (блок живлення Hager ST312 230/24В, номінальний

струм споживання 1,04А) та проміжні реле напруги KL1-KL7 (як буде

НУБІП України

показано далі, це реле напруги проміжні MY4-NS 24V DC із напругою живлення 24В постійного струму та споживаною потужністю 0,9Вт, тобто

струмом споживання $0,9/24 = 0,0375$ А, із загальним струмом споживання

$7 \cdot 0,0375 = 0,26$ А). Тому приймаємо, що струм споживання кола керування

дорівнює $1,04 + 0,26 = 1,3$ А. Тому для захисту кола керування вибраний

НУБІП України

автоматичний вимикач **IK60N C 2A** — автоматичний вимикач із номінальним струмом 2А, двохполюсний, із струмом відсічки електромагнітних

розчіплювачів $(5...10)I_n$. Умова 5.8 виконується:

$$I_{\text{ВДС.РОЗЧ}} > (1,5...1,6) \cdot I_{\text{К.КЕР}}$$

$$(5...10) \cdot 2 > (1,5...1,6) \cdot 1,3 \text{А}; \quad 10...20 \text{А} > 1,95...2,08 \text{А}$$

НУБІП України

5.1.2. Вибір електромагнітних пускачів

НУБІП України

Електромагнітні пускачі вибирають за наступними умовами:

- номінальна напруга електромагнітного пускача має дорівнювати

напрузі живлення електричної мережі або перевищувати її

НУБІП України

$$U_{\text{н.ЕП}} \geq U_{\text{ж}} \quad (5.9)$$

• номінальний струм комутації силових контактів електромагнітного пускача повинен дорівнювати або перевищувати номінальний струм груп електродвигунів

$$I_{H.EП} \geq I_H; \quad (5.10)$$

• номінальна напруга живлення втягувальної котушки електромагнітного пускача повинна дорівнювати напрузі кода керування

$$U_{H.KOT} \geq U_{KEP}. \quad (5.11)$$

• за струмом теплового реле та за струмом неспрацювання теплового реле (при відповідній комплектації).

Крім того, слід враховувати необхідність наявності допоміжних контактів магнітного пускача в колі керування.

За вказаними умовами для відповідних електродвигунів були вибрані наступні електромагнітні пускачі (табл. 5.4).

Таблиця 5.4.

Вибір електромагнітних пускачів

Електродвигун	Електромагнітний пускач,
AIP100S4Y3 (M3) Потужність 3,0 кВт Струм $I_H = 6,8A$	LC1D12M7 (трифазний, з 1NO+1NC допоміжними контактами) $U_{H.EП} \leq 690V, 25 \dots 400Гц, 300V$ пост.стр. $U_{H.EП} \geq U_{K}; 690V > 380V$ $I_{H.EП} = 12A; I_{H.EП} \geq I_{ном.ел.дв}; 12A > 6,8A$ $U_{H.KOT} \geq U_{KEP}; 690 > 220 V$
AIP180M8Y3 (M1) Потужність 15,0 кВт Струм $I_H = 34,1A$	LC1D40M7 (трифазний, з 1NO+1NC допоміжними контактами) $U_{H.EП} \leq 690V, 25 \dots 400Гц, 300V$ пост.стр. $U_{H.EП} \geq U_{K}; 690V > 380V$ $I_{H.EП} = 40A; I_{H.EП} \geq I_{ном.ел.дв}; 40A > 34,1A$ $U_{H.KOT} \geq U_{KEP}; 690 > 220 V$
AIP132S4Y3 (M2) Потужність 7,5 кВт Струм $I_H = 15,6A$	LC1D18M7 (трифазний, з 1NO+1NC допоміжними контактами) $U_{H.EП} \leq 690V, 25 \dots 400Гц, 300V$ пост.стр. $U_{H.EП} \geq U_{K}; 690V > 380V$

	$I_{н.ЕП} = 18А; I_{н.ЕП} \geq I_{ном.ел.дв}; 18А > 15,6А$ $U_{н.КОТ} \geq U_{КЕР}; 690 > 220 В$
--	---

Таблица 5.4.

Вибір електромагнітних пускачів (продовження)

Електродвигун	Електромагнітний пускач,
AIP100L6V3 (M4, M5, M6) Потужність 2,2 кВт Струм $I_n = 5,6А$	LC1D09M7 (трифазний, з 1NO+1NC допоміжними контактами) $U_{н.ЕП} \leq 690В, 25...400Гц, 300В$ пост.стр. $U_{н.ЕП} \geq U_{ж}; 690В > 380В$ $I_{н.ЕП} = 9А; I_{н.ЕП} \geq I_{ном.ел.дв}; 9А > 5,6А$ $U_{н.КОТ} \geq U_{КЕР}; 690 > 220 В$

5.1.3. Вибір проміжних реле

Проміжні реле для кола управління вибирають

- за напругою кола керування:

$$U_{н.РЕЛЕ} \geq U_{к.УПР} \quad (5.12)$$

• максимальною комутаційною здатністю допоміжних контактів (струм кола управління повинен дорівнювати або бути меншим за номінальний струм реле):

$$I_{н.РЕЛЕ} \geq I_{к.УПР} \quad (5.13)$$

• за кількістю та призначенням допоміжних контактів (нормально розімкнені, нормально замкнені, перемикаючі).

За вказаними умовами та згідно з технічними характеристиками вибрані проміжні реле напруги **MY4-NS 24V DC** із напругою живлення 24В постійного струму, номінальною напругою комутації кола керування 220В, номінальним струмом комутації кола керування 5А, споживаною потужністю 0,9Вт, струмом епоживання $0,9/24 = 0,0375 А$.

Після вибору кнопочних постів, кнопок керування та сигнальних ламп, відомість електроприладів системи автоматичного керування температурним режимом у теплиці матиме наступний вигляд (табл. 5.5).

Таблиця 5.5.

Відомість електроприладів САК температурою повітря в теплиці

Познач.	Назва	Кільк.	Примітки
M1	Електродвигун асинхронний трифазний АИР180М8У3	1	15кВт
M2	Електродвигун асинхронний трифазний АИР132S4У3	1	7,5кВт
M3	Електродвигун асинхронний трифазний АИР100S4У3	1	3,0кВт
M4-6	Електродвигун асинхронний трифазний АИР100L6У3	3	2,2кВт
QF1	Вимикач автоматичний іК60NC 20А	1	3п
QF2	Вимикач автоматичний GV2ME36	1	3п
QF3	Вимикач автоматичний GV2ME21	1	3п
QF4-6	Вимикач автоматичний GV2ME10	3	3п
QF7	Вимикач автоматичний іК60NC 2А	1	2п
UV	Частотний перетворювач ATV312HU30N4	1	
D1.1	Модульний ПЛК Modicon M238 TM238LFDC24DT	1	
D1.2-3	Датчик рівня	2	
D1.4-5	Модуль розширення аналогових входів TM2AM14LT	2	
D1.6-9	Датчик температури (термометр опору) ДТС125	4	
D1.10-11	Датчик вологості	2	
D1.12	Модуль розширення релейних виходів TWDDRA8RT	1	
KM1	Пускач електромагнітний LC1D12M7	1	1NC+1NO
KM2	Пускач електромагнітний LC1D40M7	1	1NC+1NO
KM3	Пускач електромагнітний LC1D18M7	1	1NC+1NO
KM4-7	Пускач електромагнітний LC1D09M7	4	1NC+1NO
G	Блок живлення Hager ST312 230/24В	1	
KL1-7	Реле напруги проміжне MY4-NS 24V DC	7	
SB1-2	Кнопочний пост "Старт-Стоп" ZB5 AW833743	2	NO, NC
SB3-8	Кнопка "Старт" ZB5 A333	6	NO
SA1	Перемикач пакетний K11023NLH	1	3 положення
HL1-7	Лампа сигнальна A22-RLF-RT220V	7	червона

HL 8-16	Лампа сигнальна AD22-22DS 24V	9	зелена
R1-4	Резистор 2кОм	3	

5.2. Вибір проводів та кабелів

Переріз струмопровідної жили проводу, шнура або кабелю вибирають, виходячи з умов гранично допустимого його нагрівання та достатньої механічної міцності. Під час визначення кількості проводів, які прокладають в одній трубі (або жил багатожильного провідника), нульовий провід чотирипровідної системи трифазного струму (або заземлюючу жилу) не враховують.

Площу поперечного перерізу жил проводів, шнурів і кабелів вибирають за тривало допустимим струмом

$$I_{TR,ДОП} \geq I_{РОЗР} \quad (5.14)$$

де $I_{РОЗР}$ - розрахунковий струм ділянки електричної мережі, А.

Для відгалужень до окремих електроспоживачів за максимальні тривалі робочі струми беруть їх номінальні струми.

Для трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором тривало допустимий струм визначається за формулою

$$I_{РОЗР,ДВ} = \frac{10^3 P_{Н.ДВ}}{\sqrt{3} U_H \eta_H \cos \varphi_H} \quad (5.15)$$

Визначимо тривало допустимі струми для асинхронних трифазних електродвигунів:

АИР180М8У3 (М1)

$$I_{РОЗР,ДВ} = \frac{1000 \cdot 15}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,88 \cdot 0,76} = 34,08 \text{ А.}$$

АИР132S4У3 (М2)

$$I_{РОЗР,ДВ} = \frac{1000 \cdot 7,5}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,87 \cdot 0,84} = 15,59 \text{ А.}$$

АИР100S4У3 (М3)

$$I_{РОЗР,ДВ} = \frac{1000 \cdot 3,0}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,826 \cdot 0,82} = 6,73 \text{ А.}$$

$I_{\text{розр.дв}} = \frac{1000 \cdot 2,2}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,79 \cdot 0,76} = 5,57 \text{ А}$

Враховуючи умову (5.14) та відповідні розраховані значення тривало допустимих струмів, для підключення електродвигунів із відповідними апаратами для пуску і захисту вибрані такі кабелі (таблиця 5.6).

Таблиця 5.6.

Вибір кабелів живлення електродвигунів

Електродвигун	Кабель	Найбільший тривало допустимий струм навантаження, А
АИР180М8У3 (М1) $I_{\text{розр.дв}} = 34,08 \text{ А}$	АВВГ 4х10 (переріз 10 мм ²), алюмінієві жили, полівінілхлоридна ізоляція	39
АИР132\$4У3 (М2) $I_{\text{розр.дв}} = 15,59 \text{ А}$	АВВГ 4х2,5 (переріз 2,5 мм ²), алюмінієві жили, полівінілхлоридна ізоляція	19
АИР100\$4У3 (М3) $I_{\text{розр.дв}} = 6,73 \text{ А}$	АВВГ 4х2,5 (переріз 2,5 мм ²), алюмінієві жили, полівінілхлоридна ізоляція	19
АИР100L6У3 (М4-6) $I_{\text{розр.дв}} = 5,57 \text{ А}$	АВВГ 4х2,5 (переріз 2,5 мм ²), алюмінієві жили, полівінілхлоридна ізоляція	19

Як було зазначено у п. 5.1.1, струм кола керування прийнятий таким, що дорівнює 1,3А. Тому для живлення кола керування вибираємо провід ПВ1х0,5 – провід з мідною жилою перерізом 0,5 мм² в полівінілхлоридній оболонці, тривало допустимий струм якого дорівнює 11А [34]

Для підключення датчиків температури та вологості повітря використовується провід МГТФЕ 3х0,12 із фторопластовою ізоляцією, екранований.

Для вибору кабелю живлення шафи керування необхідно скористатись наступною умовою

$$I_{M.POPP.} = K_o \cdot \sum I_{POPP.DB} + I_{KEP} \quad (5.16)$$

де K_o – коефіцієнт одночасності роботи споживачів електроенергії (приймаємо, що усе обладнання працює одночасно, тому $K_o = 1$).

$$I_{M.POPP.} = K_o \cdot \sum I_{POPP.DB} + I_{KEP} = 34,08 + 15,59 + 6,73 + 3 \cdot 5,57 + 1,3 = 74,41 \text{ A.}$$

Для живлення шафи керування вибраний кабель АВРГ4х35, з алюмінієвими жилами перерізом 35мм², тривало допустимим струмом 85А [34].

5.3. Розробка електричних схем з'єднань та підключень

Схеми з'єднань виконують на підставі таких загальних правил:

- схеми з'єднань розробляють на один щит, пульт, етатор, станцію керування.

- усі типи апаратів, приладів та арматури, що передбачені принциповою електричною схемою, мають бути повністю відображені на схемі з'єднань,

- позиційне позначення приладів та засобів автоматизації, а також маркування ділянок кіл, що прийняті на принципових схемах, потрібно зберегти на схемі з'єднань.

Застосовують три способи виконання схем з'єднань: адресний, графічний і таблицний. Для перших двох, крім зазначених вище правил, слід виконувати ще декілька:

- щит або шафу керування розвертають в одну площину, показуючи лише ті їхні конструкції, на яких розміщуються прилади та засоби автоматизації при цьому зберігають взаємне розміщення приладів та засобів автоматизації;

- прилади та засоби автоматизації показують спрощено без збереження масштабу у вигляді прямокутників, над якими розміщують кола, розподілені рискою навпіл; цифри над рискою вказують порядковий номер виробу (номера присвоюються по-панельно зліва направо і зверху вниз), а під рискою – позиційне позначення цього виробу (відповідно до принципової електричної схеми). За потребою показують внутрішню схему апаратів.

- для кількох реле, що розміщені в одному ряду, внутрішню схему показують один раз, якщо вона у них одна й та сама.

- вивідні затискачі зображують колами, у середині яких показують їхнє заводське маркування; якщо у вивідних апаратів заводського маркування немає, то їх маркують умовно арабськими цифрами, що зумовлено пояснювальними надписами. Слід зазначити, що маркування проводів і позначення затискачів на схемах з'єднань є незалежними.

- платам, на яких розміщуються резистори, конденсатори та інші елементи, присвоюється лише порядковий номер (пропоставляється в колі над рискою); позиційне позначення елементів розміщують у безпосередній близькості від їхнього умовного графічного позначення.

Адресний спосіб є найбільш поширеним і полягає в тому, що лінії зв'язку між окремими елементами апаратів, які встановлюють на щиті або на пульті, не показують, а замість цього у місці приєднання проводу на кожному апараті або елементі пропоставляють цифрову або літерно-цифрову адресу того апарата або елемента, з яким він електрично має бути зв'язаний (позиційне позначення згідно з принциповою схемою) або порядковий номер елемента. Це не загромаджує схему лініями зв'язку, що дає змогу її легко читати.

5.4. Вибір щита керування

НУБІП України

Згідно з нормативними документами щити і пульты розраховано на розміщення їх у закритих приміщеннях із температурою навколишнього середовища від -30 до $+50^{\circ}\text{C}$ за відносної вологості не більше як 80%.

НУБІП України

Промисловість випускає також щити та пульты спеціального призначення, які розраховані на більш високі або низькі температури, підвищену вологість, наявність агресивного середовища тощо.

Щафові щити використовують:

НУБІП України

- у виробничих приміщеннях, що характеризуються запиленістю, великою вологістю та можливістю механічного пошкодження апаратури й внутрішньощитових проводів;

- для розміщення допоміжної апаратури (реле, джерел живлення) всередині щита;

НУБІП України

- для захисту обслуговуючого персоналу від дотиків до відкритих струмоведучих частин апаратури та затискачів.

Враховуючи габаритні розміри пристроїв системи керування, а також

НУБІП України

ту обставину, що частотний перетворювач потребує певного повітряного простору для внутрішнього вентилятора охолодження, вибираємо щит щафовий малогабаритний типу ПЩІМ (1000x800x350)У4ІВ30 [34].

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 6

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОБДЖЕННЯ КОМПЛЕКСНИХ СИСТЕМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ У ПРОМИСЛОВІЙ ТЕПЛИЦІ

В теплий період року експлуатація скляних культивацийних споруд не є рентабельною внаслідок значних втрат (до 30...70%) врожаю, які пов'язані з перегрівом внутрішнього повітря та біомаси в результаті тепличного ефекту, а також зміною вологісного режиму загалом.

З графіків у попередніх розділах можна визначити зниження інтенсивності фотосинтезу при перевищенні температури повітря над фотосинтетичним оптимумом, тобто збитки від перегріву для томатів та огірків (таблиця 6.1).

На основі цих же графіків складена таблиця розрахунку сумарної інтенсивності фотосинтезу протягом світлового дня (таблиця 6.2). Якщо підтримувати температуру всередині теплиці на рівні 35°C різними інженерними системами зняття перегріву, то сумарна інтенсивність фотосинтезу 1м² листової поверхні рослин протягом світлового дня буде дорівнювати максимально можливій інтенсивності, що дорівнює 0,046кг CO₂ на 1м² (таблиця 6.2). Таким чином, інтенсивність фотосинтезу в теплиці при перегріві від сонячної радіації дорівнює 0,021кг CO₂ на 1м² за світловий день, що менше максимально можливого значення в 2,2 рази, а втрати врожаю при цьому складають 55,2%.

В роботі [11] показано, що втрати від перегріву у весняно-літній та осінній періоди експлуатації теплиць можуть складати до 70-75%.

Таким чином, втрати врожаю за рахунок порушення фотосинтезу рослин, викликаних відхиленням від необхідних значень тепловологісного режиму, складають 55,2% від поточного збору, та біля 75% - при експлуатації в реальних умовах. Для орієнтовних розрахунків економічної ефективності

системи забезпечення параметрів мікроклімату прийняте значення 30%, хоча в реальних умовах вона може бути значно вищою

Таблиця 6.1

Зміна інтенсивності фотосинтезу при підвищенні температури над фотосинтетичним оптимумом

Температура внутрішнього повітря в теплиці, °C		Інтенсивність фотосинтезу, %		Інтенсивність фотосинтезу, $\Phi \cdot 10^3, \frac{\text{кг CO}_2}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}$		Ступінь зниження інтенсивності фотосинтезу, %	
томат	огірок	томат	огірок	томат	огірок	томат	огірок
34	36	100	100	3,0	3,0	0	0
39	40	77	83	2,3	2,5	23	17
40	43	66	77	2,0	2,3	34	23
41	44	50	70	1,5	2,1	50	30
42	45	33	50	1,0	1,5	67	50
43	46	23	33	0,7	1,0	77	67
45	48	10	17	0,3	0,5	90	83
47	50	0	7	0	0,2	100	93
	52		0		0		100

Таблиця 6.2

Інтенсивність фотосинтезу в теплиці протягом світлового дня

Інтервал температур, °C	Тривалість дії інтервалу температур t , год.	Інтенсивність фотосинтезу, $\Phi \cdot 10^3, \frac{\text{кг CO}_2}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}$	Сумарна інтенсивність фотосинтезу за час t , $\Phi \cdot 10^3, \frac{\text{кг CO}_2}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}$
При підтриманні температури внутрішнього повітря нижче 35°C			
20...25	2,0	1,5	3,0
25...30	2,0	2,0	4,0
30...35	13	3,0	39,0
Сумарна інтенсивність фотосинтезу			46,0
При температурі внутрішнього повітря вище 35°C			
20...25	2,0	1,5	3,0
25...30	2,0	2,0	4,0
30...35	1,5	2,6	3,9
35...40	2,0	2,5	5,0
40...45	3,0	1,0	3,0
45...50	3,5	0,5	1,75
Сумарна інтенсивність фотосинтезу за світловий період			20,65

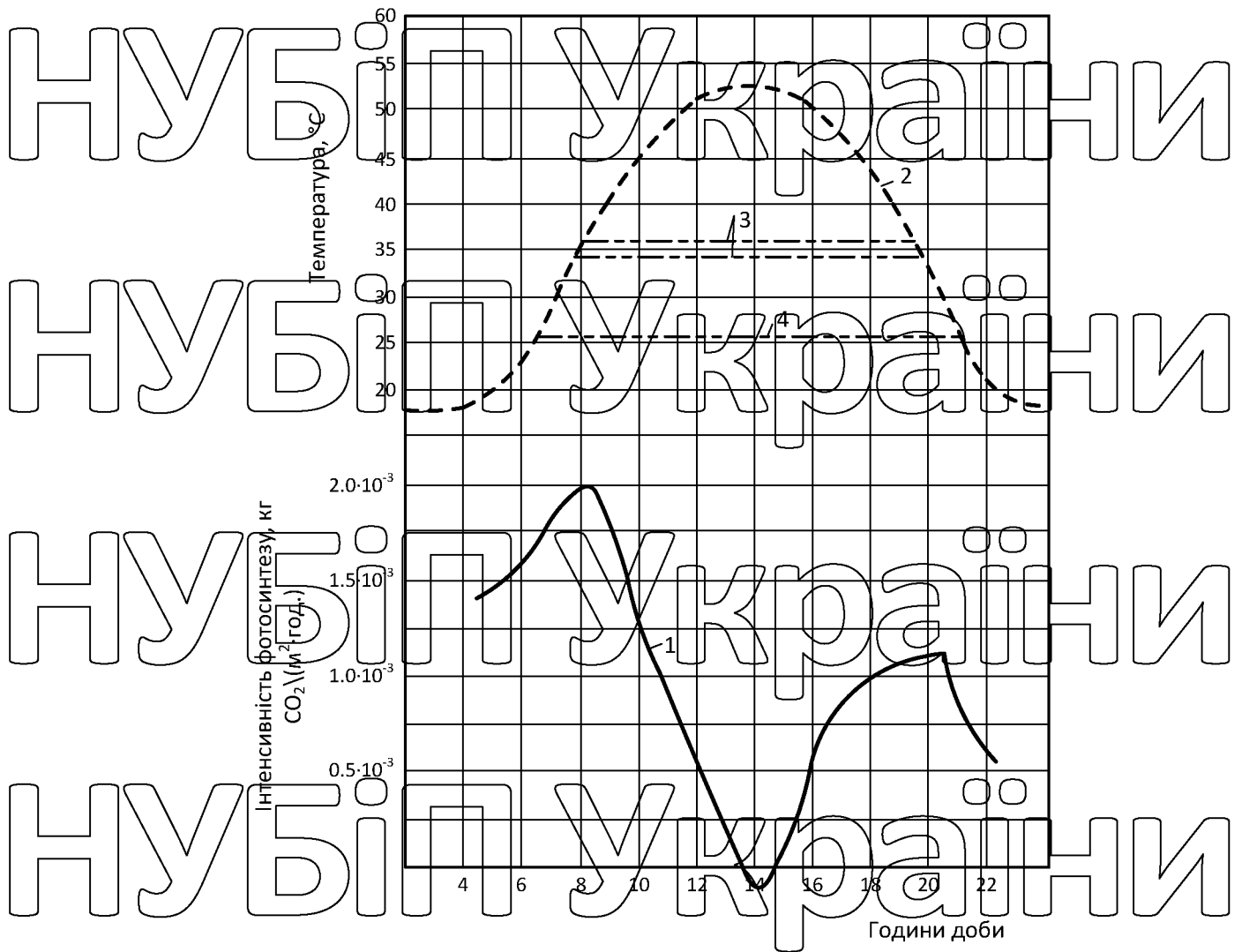


Рис. 6.1. Зміна інтенсивності фотосинтезу та температури

протягом світлового дня в теплиці:

1 – інтенсивність фотосинтезу; 2 – температура повітря; 3 – температура, що відповідає оптимальній інтенсивності фотосинтезу у фітотроні (34°C для томата і 36°C для огірка), 4 – оптимально необхідна температура в умовах експлуатації.

Розрахунок економічної ефективності від впровадження комплексної системи забезпечення параметрів мікроклімату в теплицях виконаний для блочної скляної зимової теплиці (типовий проєкт 810-99 – Гіпронісельпром). Каркас теплиці металевий. Покрівля та стіни виконані з листового скла товщиною 4мм, укріпленого на металевих шпрусах. Ширина ланки блоку 6,4м, висота в коньку 4,5м, в карнизі 2,6м, довжина 43м. Коньок теплиці орієнтований у напрямку "схід-захід".

1. Визначення додаткових витрат пов'язаних з придбанням, монтажем та експлуатацією комплексної системи забезпечення параметрів мікроклімату в теплиці.

1.1. Капітальні затрати K :

а) організоване провітрювання: робота повздовжніх фрамуг, монтаж і переналагодження існуючої системи автоматизації регулювання ступеня відкриття фрамуг – $K1 = 480 \text{ грн./га}$ (за даними налагоджувальних організацій);

б) активна шахтна аерація: вартість витяжної шахти, в т.ч. матеріали на каркас (дерево або метал), на огородження (високоміцна плівка або скло), та монтаж $K2 = 8175 \text{ грн./га}$;

в) механічна вентиляція: вартість осьових вентиляторів 06-300 №6,3 та їх монтаж $K3 = 9180 \text{ грн./га}$;

г) система водоаерозольного охолодження повітря: вартість системи (трубопроводи, форсунки, електромагнітний клапан, запірно-регулююча та контрольна арматура, фільтри) – 29375 грн./га при реконструкції існуючих та 45000 грн./га при будівництві нових споруд, монтаж і налагодження системи 15563 грн./га : $K4 = 60563 \text{ грн./га}$.

Загальні капітальні витрати

$$K_{\text{заг}} = K1 + K2 + K3 + K4 = 78398 \text{ грн./га.} \quad (6.1)$$

Питомі капітальні витрати на м^2 площі теплиці

$$K_n = \frac{K_{\text{заг}}}{10000} = \frac{78398}{10000} = 7,84 \text{ грн./м}^2. \quad (6.2)$$

1.2. Експлуатаційні витрати E складаються з витрат на сплату електроенергії, води, ремонт, заробітку платі і т.д.:

а) організоване провітрювання: $E1 = 2500 \text{ грн./га}$;

б) активна шахтна аерація: $E2 = 6625 \text{ грн./га}$;

в) механічна вентиляція $E3 = 10000 \text{ грн./га}$;

г) система водоаерозольного охолодження $E4 = 15000 \text{ грн./га}$.

Загальні експлуатаційні витрати $E_{заг} = 34125$ грн./га, питомі експлуатаційні витрати $E_n = 3,41$ грн./га.

2. Прибуток від додаткової продукції.

2.1. Вартість додаткової продукції, отриманої за рахунок роботи системи зняття перегріву C_d , грн./м² за оборот, можна визначити за формулою

$$C_d = (P_k \cdot U_1 \cdot C_{II}^{CP}) / 100, \quad (6.3)$$

де P_k - коефіцієнт покращення якості продукції або підвищення врожайності вирощуваних культур, $P_k = 36\%$;

U_1 - врожайність культури до використання системи;

C_{II}^{CP} - середня вартість реалізації продукції, $C_{II}^{CP} = 7,1$ грн.;

$$C_d = (P_k \cdot U_1 \cdot C_{II}^{CP}) / 100 = (36 \cdot 17 \cdot 7,1) / 100 = 43,5 \text{ грн./м}^2 \text{ площі теплиці.}$$

2.2. Собівартість додаткової продукції C_c , грн./кг

$$C_c = P_k \cdot U_1 \cdot C_{II}, \quad (6.4)$$

де C_{II} - собівартість 1кг продукції: 1,73грн./кг огірків та 3,1грн./кг

томатів, середня $C_{II} = 2,4$ грн./кг.

$$C_c = (P_k \cdot U_1 \cdot C_{II}) / 100 = (36 \cdot 17 \cdot 2,4) / 100 = 14,5 \text{ грн./м}^2 \text{ площі теплиці.}$$

2.3. Прибуток від реалізації додаткової продукції:

$$P_d = C_d - C_c, \quad (6.5)$$

$$P_d = C_d - C_c = 43,5 - 14,5 = 29 \text{ грн./м}^2 \text{ площі теплиці.}$$

3. Економічна ефективність від роботи системи.

Чистий прибуток на 1га площі теплиці від роботи системи складає

$$P_{ч} = P_d - E_n, \quad (6.6)$$

$$P_{ч} = P_d - E_n = 29 - 3,41 = 25,59 \text{ грн./м}^2 \text{ площі теплиці.}$$

В перерахунку на 1га площі теплиці чистий прибуток складає 255,9 тис. грн. на рік.

Строк окупності системи:

$$O_k = \frac{K_n}{\Pi_{ч}} = \frac{7,84}{25,59} \approx 0,31, \quad (67)$$
 тобто система окупується приблизно за 115 днів (протягом одного

обороту культури). До складу цього строку окупності не входить та частина
 прибутку, яка досягається за рахунок реалізації додатково отриманої продукції
 в період продовження строку плодоношення.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 7

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА
І БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА

7.1. Фактори впливу тепличного виробництва на навколишнє середовище та їх характеристики

У тепличному комплексі, як об'єкті промислового виробництва, наявні джерела постійного та періодичного негативного впливу на оточуюче середовище у процесі виробництва.

1. Викиди у атмосферу від теплоенергетичного пункту (ТЕП) підприємства, що працює на газоподібному паливі.

Для забезпечення тепло- та електропостачання об'єктів промислових тепличних комплексів використовуються теплоенергетичні пункти, основним паливом для яких є мережевий природний газ, аварійним паливом – дизельне

Окрім виробництва теплової енергії, газовикористовуюче обладнання ТЕП є джерелом вуглекислого газу у відпрацьованих газах, який використовується для підвищення концентрації CO_2 в об'ємі теплиць, чим забезпечується життєдіяльність рослин та підвищення продуктивності тепличного виробництва овочів.

У процесі роботи теплоенергетичного обладнання при неналежній його роботі у відпрацьованих газах може міститись певна кількість чадного газу (CO) та закисів азоту (NO_x). Решта речовин у відпрацьованих газах – не використаний CO_2 і вода не сприять негативного впливу на навколишнє середовище.

2. Викиди у атмосферу транспорту, що обслуговує внутрішні майданчики. Джерелами таких викидів є вантажний і легковий транспорт, що обслуговує виробничі майданчики і оснащений двигунами внутрішнього

згоряння. Окрім вихлопних газів, транспорт є джерелом викидів палива і мастила.

3. Наявність стоків із території тепличного комплексу. Такими є поверхнево-стічні води з покрівлі теплиць, поверхнево-стічні води з доріг, проїздів і газонів, виробничі та побутово-господарські стоки.

Поверхнево-стічні води з покрівлі теплиць не є джерелом негативного впливу на оточуюче середовище, оскільки не містять забруднюючих домішок і можуть бути каналізованими у відкриті водойми без попереднього очищення.

Поверхнево-стічні води з доріг, проїздів і газонів містять певну кількість забруднюючих речовин (автомобільні мастила, паливо, тверді неорганічні включення – пил і пісок, мілкі гумові частинки з покриттів автомобілів).

Виробничі стоки поділяються на: рідкі виробничі відходи, що утворюються при промивці апаратів хімічного захисту рослин, пранні одягу робітників цеху хімічного захисту рослин; не завоєний рослинами поливний розчин (дренаж).

Побутово-господарські стоки містять продукти життєдіяльності людини та миючі засоби.

4. Викиди у атмосферу пилу фіброгенної дії. Пил утворюється внаслідок руйнування гранул або кристалів мінеральних добрив при їх транспортуванні, складуванні та використанні для приготування поливних розчинів мінерального живлення рослин. Джерелами утворення пилу є склад добрив і агро матеріалів, а також технологічна зона приготування поливного розчину.

5. Викиди пилу при пересуванні транспорту дорогами та проїздами внутрішніх майданчиків.

6. Утворення промислових та побутових відходів.

Промислові відходи тепличного комбінату за джерелом їх утворення поділяються на наступні види.

6.1. Рослинні рештки. У процесі вирощування рослин, щоденно протягом усього періоду вирощування, у теплицях видаляються листя і стебла при формуванні рослин. Масове накопичення рослинних залишків відбувається при заміні обороту рослин із періодичністю один-два рази на рік. Рослинні залишки відносяться до малотоксичних відходів, які допускається складувати на відкритих майданчиках.

6.2. Субстрат. Для вирощування рослин методом малооб'ємної гідропоніки використовуються різні субстрати, зокрема і тонкого базальтового волокна. Строк використання субстрату складає 1 рік, після чого він замінюється на новий. Відпрацьований субстрат вивозиться на полігон складування промислових відходів.

6.3. Тара з-під мінеральних добрив та отрутохімікатів. Добрива та отрутохімікати у поліетиленових мішках, банках і каністрах зберігаються на окремому складі агро матеріалів. Використана тара старанно очищується, промивається, і далі як інші тверді відходи утилізується.

6.4. Лампи систем освітлення та електродосвічування. Для забезпечення цілорічного вирощування овочевих культур, розсади і квітів у тепличних комплексах використовується система штучного електродосвічування рослин світильниками із натрієвими лампами високого тиску. Для освітлювання адміністративних та виробничих приміщень використовуються люмінесцентні лампи. Для зовнішнього освітлення території тепличного комплексу використовуються ртутні лампи типу ДРЛ.

Відпрацьовані люмінесцентні і ртутні лампи, а також лампи системи електродосвічування є потенційним джерелом потрапляння токсичних речовин у навколишнє середовище, що визначає необхідність їх селективного збирання і переробки.

6.5. Склняний бій, що з'являється при заміні зовнішнього світлопрозорого огороження теплиць.

6.6. Гумові відходи (гумотканеві рукава контурів систем опалення, шланги і т.д.).

6.7. Лом чорних і кольорових металів, який утворюється при заміні зношених ділянок трубопроводів, запірної арматури і т.п. Внаслідок нетоксичності даного виду відходів, їх можна зберігати до відправлення на пункт складування або переробки на відкритих майданчиках на території підприємства.

6.8. Лакофарбова продукція. Для фарбування труб систем опалення у тепличному комплексі використовуються пентафталеві емалі, металеві банки з під яких збираються у ємності і далі утилізується, як відходи фарбових засобів.

6.9. Відходи, що утворюються при експлуатації внутрішнього електротранспорту (електрокари, електронавантажувачі). Відпрацьовані акумулятори (без зливання електроліту) по мірі накопичування збираються на майданчику із твердим покриттям в ізольованому приміщенні в будівлі матеріального складу.

При заміні зношених шин, у відходи потрапляють відпрацьовані шини із металевим кордом, які по мірі накопичування збираються штабелем на відкритому майданчику із твердим покриттям. Зношені камери від шин потрапляють у такі самі відходи.

Булканізація камер, клейові роботи, заміна технічних рідин, запчастин в тепличному комбінаті не здійснюється, вони проводяться спеціалізованими підприємствами.

6.10. Побутові відходи. У результаті життєдіяльності співробітників комбінату утворюється побутове несортоване сміття, що збирається у побутових та виробничих приміщеннях, із подальшим збиранням в контейнери і утилізацією на полігоні твердих побутових відходів.

7. Вплив об'єкту на навколишнє середовище внаслідок техногенних аварій або стихійних лих: розливу нафтопродуктів із зруйнованого паливного резервуару; викиду в атмосферу і на ґрунт від зруйнованих ламп системи зовнішнього освітлення.

7.2. Заходи з охорони навколишнього середовища у процесі експлуатації тепличного комбінату

Основні принципи охорони оточуючого середовища допускають певні впливи підприємств на природне середовище, виходячи з вимог у області охорони оточуючого середовища. При цьому зниження негативного впливу на навколишнє середовище досягається на основі використання найкращих передових технологій із урахуванням економічних і соціальних факторів.

Пропоновані проектні рішення та організаційно-технічні заходи відповідно по кожному джерелу негативного впливу на навколишнє середовище.

1. Для потреб теплопостачання тепличного комплексу використовується обладнання на природному газі, що дозволяє значно покращити санітарно-гігієнічні умови на території підприємства та прилеглих територіях за рахунок виключення вмісту у повітряному басейні золи, сажі, пилу, сірчаного ангідриду та зниження вмісту окису азоту. Крім того, необхідно передбачити встановлення приладів, що здійснюють неперервний контроль із сигналізацією вмісту окису вуглецю (CO) і окислів азоту (NO_x) в робочій зоні ТКП у порогах концентрації, визначених ГОСТ 12.1.005-88 та ГОСТ 12.2.5.686-98.

Висота димових труб повинна розраховуватись із урахуванням розсіювання шкідливих речовин у об'ємах ПДВ при роботі теплового обладнання на рідкому паливі, із урахуванням виконання вимог ГОСТ 17.2.3.-78 "Охорона природи. Атмосфера. Правила встановлення допустимих викидів шкідливих речовин промисловими підприємствами".

2. Генеральним планом тепличного підприємства внутрішньомайданчикові дороги і проїзди повинні передбачатись таким чином, щоб мінімізувати рух автомобільного транспорту територією підприємства.

Повинні бути передбачені майданчики для стоянки автомобільного транспорту, завантажувально-розвантажувальні та обертальні майданчики у

відповідності до СНіП II-97-79 "Генеральні плани сільськогосподарських підприємств".

3. Стічні води з території тепличного комплексу.

3.1. Стічні води з покрівель теплиць не є джерелом негативного впливу на навколишнє середовище, тому проектні рішення з очищення вод не передбачається.

3.2. Поверхнево-стічні води з доріг, проїздів і газонів. Для скидання води у відкриті водойми необхідно виконати їх очищення від забруднюючих домішок (нафтопродукти, тверді включення). Для цього необхідно передбачити окрему зовнішню мережу каналізації і станцію очищення поверхнево-стічних вод, що обладнана вловлювачем піску, вловлювачами нафтопродуктів та камерами відстоювання води перед випуском на рельєф або у відкриту водойму. Вода, що відводиться, за хімічним складом речовин і зважених частинок повинна відповідати нормативам скидання очищеної води у водойми рибогосподарського призначення у відповідності з СН 2.1.5-980-00 "Гігієнічні вимоги до охорони поверхневих вод".

Вологий осад із вловлювачів піску без проміжного зберігання вивозиться спецтехнікою на очисні споруди. Зібрані нафтопродукти без проміжного зберігання вивозиться спецтехнікою або на пункт регенерації нафтопродуктів, або на пункт утилізації (спалювання) нафтопродуктів.

3.3. Виробничі стоки

- Дренажні стоки. Малооб'ємна технологія вирощування овочевої продукції передбачає використання системи крапельного зрошування зі збором і оборотним використанням дренажу. Не засвоєний рослинами живильний розчин стікає по трубах у заглиблені по кутах теплиць поліетиленові ємності, звідки напірним трубопроводом подається у ємність неочищеного дренажного розчину. У подальшому розчин знезаражується установкою ультрафіолетової очистки (кварцування розчину), після чого повторно подається на полив.

Використання системи оборотного використання дренажних стоків дозволяє виключити потрапляння живильних розчинів на рельєс і у відкриті водойми, і попередити негайний вплив стоків на оточуюче середовище.

- Стоки, що утворюються при промивці апаратів хімічного захисту рослин, пранні одягу працівників цеху хімічного захисту рослин.

Передбачається безпосередньо біля складу улаштування накритего бетонного майданчика для промивання апаратів хімічного захисту. Стікання з майданчика відбувається у заглиблену герметичну закриту ємність.

В цю саму ємність здійснюється стікання від прального обладнання, в якому здійснюється прання спеодягу працівників хімічного захисту рослин.

Ємність повинна бути оснащена гідрозахисною, яка виключає корозійне руйнування стінок із подальшою інфільтрацією рідини в ґрунт. Для запобігання переповнення ємності необхідно передбачити аварійне

перетікання із ємності у буферний бак. Ємність баку повинна бути розрахована на подвійний об'єм стоків, який утворюється в одну зміну проведення хімічної обробки теплиць. При наповненні ємності стоки вивозяться спецтранспортом на полігон знешкодження рідких промислових відходів.

3.4. Побутово-господарські стоки.

Для очищення побутово-господарських стоків використовуються станції біологічної очистки стічних вод, і одним із поширених типів такого устаткування є станція типу "BIOTAL" (Додаток). Станція являє собою комплекс обладнання у складі приймальної камери для затримки сміття і грубих нечистот, SBR-реактори очищення води, і колодязь накопичення і хлорування очищення води перед скиданням. Принцип дії станції розкладання органічних речовин анаеробними бактеріями із постійним барботажем аерацією активного мулу до його повної деактивації.

Установка біологічної очистки являє собою послідовно з'єднані SBR-реактори. Технологія установки влаштована таким чином, що оброблювані стічні води, перетікаючи від першого до останнього SBR-реактора, проходять у кожному з них повний цикл біологічної очистки. При цьому зворотній

активний мул, що постійно циркулює між реакторами, розділений на чотири потоки: стабілізований надлишковий мул видаляється із системи в мулові мішки, а мулова вода повертається в реактори і проходить усі етапи очищення.

Старий активний мул направляється у перший по ходу руху SBR-реактор, більш молодий активний мул направляється в другий SBR-реактор, а мул із

третього відстійника направляється в приймальну камеру. Така циркуляція мулу дозволяє установці справлятися із синтетичними поверхнево-активними речовинами, що потрапляють на неї, поява яких пов'язана з використанням їх у

побуті у якості миючих засобів, у концентраціях, які відповідають побутово-

господарській діяльності людини. Цим досягається поетапна адаптація мікроорганізмів активного мулу із поетапним розчиненням оброблюваних стічних вод зворотними, активними мулами по ходу їх руху від першого до третього SBR-реактора.

В установці BIOTAL реалізована саморегулююча гідропневматична система, яка забезпечує циркуляцію мулової суміші між зонами із інтенсивністю, яка відповідає кількості стічних вод, що прибуває для очищення. Система дозволяє провести коригування ступеня рециркуляції мулової суміші та кількості розчиненого кисню у кожній зоні окремо.

Осад в автоматичному режимі потрапляє в мулові мішки, а потім видаляється механічним (ручним) способом із наступною можливістю його компостування та використання у якості добрива або утилізації згідно вимогам СНіП 2.04.03-85.

Перекачування очищеної води із реакторів у колодязь для скидання води здійснюється аероліфтами. У колодязі перед скиданням води у систему загальної спільної каналізації напірним трубопроводом води додатково.

Ємності реакторів виготовляються із ударостійкого пластику, який хімічно не є активним, не піддається корозії, не пропускає вологу.

Розміщення установки здійснюється приховано, у ґрунті, із використанням стандартних залізобетонних колодязних кілець діаметром 2 м на єдиному залізобетонному фундаменті.

Таблиця 7.1.

Показники ефективності системи ВІОТАЛ

Показники води	Вхідні показники	Вихідні показники
Зважені частинки	360	до 10
БПК ₅	250	4
ХПК	228	до 30
Нітрати	62,7	до 45

4. При наявності викидів у атмосферу пилу фіброгенної дії джерела цих викидів повинні бути обладнані системами припливно-витяжної вентиляції, із показниками кратності повітрообміну згідно діючих будівельних і санітарних нормативів. На викиді повітря для зниження концентрації пилу в повітрі (до 4 мг/м^3) передбачається камера осадження пилу лабіринтного типу, де виключений захват пилу потоком повітря, що здійснюється до гори.

Осадження пилу здійснюється в піддон камери, що може зніматися.

5. Для попередження викиду пилу при пересуванні транспорту по внутрішнім майданчикам необхідно передбачити на території тепличного комбінату пост механічної очистки коліс транспорту, обладнаного апаратами промивки коліс водою під високим тиском.

6. Промислові та побутові відходи виробництва і споживання підлягають збиранню, знешкодженню, транспортуванню, зберіганню і захороненню, умови і способи яких повинні бути безпечними для навколишнього середовища. На стадії проектування тепличного комбінату необхідно передбачити майданчики для збирання і проміжного зберігання побутових і промислових відходів. При організації місць зберігання (накопичення) відходів необхідно прийняти заходи по забезпеченню екологічної безпеки: врахувати можливість сезонних підтоплень ділянки, розташування відносно меж водоохоронних зон відкритих водоймищ, розташування відносно границь санітарно-захисних зон природоохоронних об'єктів і джерел водопостачання.

Обладнання місць зберігання повинно бути виконано із урахуванням класу небезпеки, фізико-хімічних властивостей, реакційної здатності

утворених відходів, а також із урахуванням ДСТУ-Н Б А 3.2-1:2007 "Шкідливі речовини. Загальні вимоги безпеки", Санітарні норми СН-245-76. Місця складування відходів повинні бути обладнані майданчиками для розвороту автомобільного транспорту.

7.3. Організаційно-технічні заходи

1. Для контролю та попередження викидів у атмосферу від ТЕП

тепличного комбінату, що працює на газоподібному паливі необхідно дотримуватись технологічного регламенту роботи теплоенергетичного пункту:

- періодичне налагодження режимів роботи пальникових пристроїв з метою недопущення виділення при згорянні газу надлишкових об'ємів чадного газу (CO) та закисів азоту (NO_x);

- здійснювати періодичний контроль за технічним станом теплоенергетичного обладнання;

- при роботі теплоенергетичного обладнання на рідкому паливі

здійснювати постійний контроль роботи пальників. Виконувати періодичний

опгляд системи постачання рідким паливом на предмет її герметичності;

- здійснювати періодичний контроль за технічним станом газобалізаторів, запірної арматури та електричних машин

2. Для попередження викидів у атмосферу від транспорту, що

обслуговує внутрішні виробничі майданчики, забороняється експлуатація

транспортних і інших пересувних засобів, у викидах яких містяться шкідливі

та забруднюючі речовини, концентрація яких перевищує встановлені технічні нормативи викидів.

3. Стічні води з території тепличного комплексу.

3.1. Поверхнево-стічні води з покрівель теплиць. Виконувати періодичний контроль за станом колекторів дощової каналізації. Виконувати

своєчасне очищення колодязів. Осад, що утворюється при очищенні колодязів, без проміжного зберігання вивозиться спецтехнікою на очисні споруди.

3.2. Поверхнево-стічні води з доріг, проїздів і газонів. Необхідно здійснювати заходи, передбачені технічним регламентом з обслуговування водоочисного обладнання; періодичний огляд і очищення сіток дощових приймальних колодязів, перевіряти ступінь замулення трас каналізації. Видалений з колодязів осад без проміжного зберігання вивозиться спецтехнікою на очисні споруди.

3.3. Виробничі стоки.

3.3.1. Дренажні стоки. Необхідно здійснювати періодичний контроль за технічним станом ємностей і трубопроводів системи зворотного використання дренажу з метою попередження протікань. Для запобігання переливання ємностей необхідно дотримуватись технологічного регламенту з вирощування овочевої продукції в частині контролю витрат живильного розчину та контролювати роботу датчиків граничних рівнів.

3.3.2. Стоки, що утворилися при промивці апаратів хімічного захисту рослин, пранні одягу робочих цеху хімічного захисту рослин.

Необхідно після кожного промивання обладнання, у відповідності зі СДН 1.2.1077-01 "Гігієнічні вимоги до зберігання, використання і транспортування пестицидів і агрохімікатів", виконувати обробку майданчика розчином кальцінованої соди та 10%-вим хлорним вапном. Необхідно постійно здійснювати візуальний контроль за рівнем рідини. При наповненні ємності необхідно забезпечити своєчасне прибуття на майданчик спецтранспорту для вивозу стічних вод.

3.4. Побутово-господарські стоки. Необхідно дотримуватись технічного регламенту із обслуговування обладнання станції, виконувати щоденне очищення приймальної камери від грубих забруднень, періодично видаляти неактивний мул із мулових мішків. Категорично забороняється зливати у систему побутово-господарської каналізації розчини добрив, пестицидів та інших технологічних рідин, оскільки це знищить мікрофлору

станції і порушить процес очищення стічних вод. Неактивний мул у кількості 7-10кг у місяць підлягає вивезенню і складуванню на муловому майданчику.

4. Для контролю викидів у атмосферу пилу фіброгенної дії необхідно здійснювати періодичні перевірки працездатності елементів вентиляції будівель. Очищення піддону від пилу необхідно виконувати по мірі його заповнення. Пиловий осад зберігається у зачиненій тарі, розташованій на складі добрив і агро матеріалів, і у подальшому вивозиться на полігон складування промислових відходів.

5. Для попередження викидів пилу при пересуванні транспорту між виробничими майданчиками тепличного комбінату необхідно здійснювати очищення доріг водою за допомогою автомобільного транспорту, оснащеного щітками та поливним обладнанням.

6. Промислові та побутові відходи повинні збиратися в обладнаних місцях і систематично вивозитись на полігони спеціалізованими підприємствами.

7.4. Охорона навколишнього середовища в аварійних ситуаціях

Аварійні ситуації в тепличному комбінаті можуть виникати як внаслідок техногенного або людського факторів, так і внаслідок стихійних лих (обставин непереборної сили). Аварійні ситуації, наслідки яких можуть спричинити негативний вплив на навколишнє середовище, є наступними.

1. Розливи нафтопродуктів із зруйнованого паливного резервуару. Після усунення загрози загоряння палива необхідно виконати видалення забрудненого ґрунту з території тепличного комбінату. Зняття (рекультивация) ґрунту виконується по усій площі нафтової плями, нижче глибини проникнення палива, зазвичай, механічним способом за допомогою будівельної техніки. Вивезення ґрунту здійснюється на території спеціалізованого підприємства з

утилізації нафтопродуктів. На місце знятого ґрунту завозиться плідючий ґрунт, із наступним плануванням.

2. Викиди в атмосферу і на ґрунт від руйнування ламп систем освітлення. Люмінесцентні і ртутні лампи є потенційним джерелом потрапляння токсичної ртуті у навколишнє середовище, що визначає необхідність їх селективного збирання і переробки. Ртуть є найбільш токсичною речовиною для екосистеми і людини. Ця речовина знаходиться у стані, здатному до активної повітряної, водної та фізико-хімічної міграції.

Правила екологічної безпеки використання з люмінесцентними лампами і лампами типу ДНАТ, відповідають вимогам, що висуваються до умов роботи із ртуттю, відповідно до СанПіН 4607-88 "Санітарні правила при роботі із ртуттю, її сполуками і приладами із ртутним заповненням", ГОСТ 12.2.007.0-75 "Вироби електротехнічні. Загальні вимоги безпеки".

При руйнуванні ламп їх уламки повинні бути зібрані у контейнер для транспортування, а у випадку відокремлення ртуті її нейтралізація здійснюється у 2 стадії: механічна (кульки ртуті збирають вологим папером, після чого цей папір не викидають, а вкладають у банку і заливають розчином (на 1л води 10мл $KMnO_4$ і 5мл концентрованої соляної кислоти) і витримують декілька днів); хімічна (демеркурізація розчином хлорного заліза, 20%-вим розчином $FeCl_3$ (хлорного заліза) змочують поверхні, на які потрапила ртуть, після чого кілька разів протирають щіткою і залишають до повного висихання).

Через 1-2 доби поверхню старанно промивають мильною, а потім чистою водою. Розчин хлорного заліза готують із розрахунку 10л/25-30м³ площі приміщення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алиев Э.А., Смирнов Н.А. Технология возделывания овощных культур и грибов в защищенном грунте. – Ом.: Агропромиздат, 1987, – 352с.

2. Аутко А.А., Долбик Н.Н., Козловский И.П. Тепличное овощеводство. – Минск.: УП "Технопринт, 2003. – 255 с.
3. Барабаш О.Ю. Овощеводство. – К.: Высшая школа, 1994. – 374 с.
4. Брызгалов В.А., Советкина В.Е., Савинова Ю.И. Овощеводство защищенного грунта. – Л.: Колос, 1983. – 352 с.
5. Белоруец Е.С., Гиль Л.С., Зыкова Т.А., Приходько С.Н., Фещенко И.А. Цветоводство защищенного грунта. – К.: Урожай, 1988. – 218 с.
6. Воздушная система отопления и кондиционирования теплиц с использованием геотермального источника / В.Г. Олмиченко, 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. Гиль Л.С. Фертигация – орошение с использованием растворимых удобрений в системах капельного полива. К.: Этнос, 2005. – 93 с.
9. Иваненко П.П., Прилипка А.В. Закрытый грунт. – К.: Урожай, 2001. – 358 с.
10. Иващенко И.Н. Автоматическое регулирование. – М.: "Машиностроение", 1978. – 736 с.
11. Имаев Д.Х., Краснопрошина А.А., Яковлев В.Б. Теория автоматического управления. Ч.1: Линейные системы автоматического управления. – К.: Вища школа, 1992.
12. Имаев Д.Х., Краснопрошина А.А., Яковлев В.Б. Теория автоматического управления. Ч.2: Нелинейные, импульсные и стохастические системы автоматического управления. – К.: Вища школа, 1992.
13. Имитационное моделирование производственных систем / Под ред. А.А. Вавилова. – М.: Машиностроение; Veb Verlag Technik, 1983.
14. Кудрявцев И.Ф., Карасев О.Б., Малютина Л.Н. Автоматизация производственных процессов на животноводческих фермах и комплексах. – М.: Агропромиздат, 1985. – 223 с.
15. Макаров И.М., Менский Б.М. Линейные автоматические системы. – М.: Машиностроение, 1982. – 616 с.
16. 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.: ВЦ НУБіП України, 2013. – Вип. 184, Ч.2 – С. 119-128.
17. Основи автоматики: теорія і практика (ч.1) / Лисенко В.П., Решетюк В.М., Цигульов І.Т. – К.: Освіта України, 2012. – 540 с.
18. Попович М.Б., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування. – К.: КИУДТ, 2007. – 408 с.
19. Промышленное производство овощей в теплицах. Под редакцией С.Ф. Кашенко и М.М. Йорданова. – М.: Колос, 1997. – 353 с.

20. Стефани Е.Н., Панько М.А., Пикина Г.А. Сборник задач по основам автоматического регулирования теплеэнергетических процессов. – Учеб. Пособие для вузов. – М.: Энергия, 1993. – 336 с.
21. СНиП 1 СНиП 2.10.04-85 "Теплицы и парники".
22. СНиП 2 СНиП 2.01.07-85 "Нагрузки и воздействия".
23. СНиП 3 СНиП 2.03.06-85 "Алюминиевые конструкции".
24. СНиП 4 СНиП II-23-81 "Стальные конструкции".
25. СНиП 5 СНиП 2.01.01-82 "Строительная климатология и геофизика"
26. Тараканов Г.И., Борисов Н.В., Климов В.В. Овощеводство защищенного грунта. – М.: Колос, 1992. – 303 с.
27. Теорія автоматичного управління / Г.Ф. Зайцев, В.К. Стеклов, О.І. Брицький; За ред. проф. Г.Ф. Зайцева. – К.: Техніка, 2002. – 688 с.
28. Технология выращивания овощных культур на торфяных и минеральных субстратах. – М.: Агропромиздат, 1998. – 150 с.