

**ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ  
«НІЖИНСЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ»**

**ВІДДІЛЕННЯ ТЕХНІЧНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ТА ЗАСОБІВ  
АВТОМАТИЗАЦІЇ**

**Циклова комісія з електроенергетики та систем автоматизації**

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНИЙ  
Завідувач відділення технічно-  
енергетичних систем та засобів  
автоматизації

\_\_\_\_\_ Олександр ЛАНДИК  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

**до дипломного проєкту фахового молодшого бакалавра  
на тему:  
«РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ  
МІКРОКЛІМАТОМ ДЛЯ ГРИБНИХ ТЕПЛИЦЬ»**

ДП.151.211.003.00 ПЗ

Виконав студент ІV курсу, групи АН211  
спеціальності 151 «Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології»

\_\_\_\_\_ Володимир НІЧИПОРУК

Керівник \_\_\_\_\_ Роман ЗАЛОЗНИЙ

**ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ  
«НІЖИНСЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ»**

**Відділення технічно-енергетичних систем та засобів автоматизації**

Циклова комісія з електроенергетики та систем автоматики

Освітньо-професійний ступінь «Фаховий молодший бакалавр»

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Голова циклової комісії

\_\_\_\_\_ Роман ЗАЛОЗНИЙ

«24» лютого 2025 року

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ**

**Нічипоруку Володимирі Володимировичу**

1. Тема проєкту **«Розробка системи автоматичного керування мікрокліматом для грибних теплиць»**

керівник проєкту (роботи) Залозний Роман Васильович,

затверджені наказом від «10» лютого 2025 року № 16 «С».

2. Строк подання студентом проєкту 26 травня 2025 року

3. Вихідні дані до проєкту \_\_\_\_\_

Короткі відомості про об'єкт автоматизації, відомості про умови експлуатації  
об'єкта автоматизації та вимоги до системи автоматизації Матеріали  
переддипломної практики. \_\_\_\_\_

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Організаційна частина.

2. Технологічна частина.

3. Спеціальна частина.

4. Економічна частина.

5. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Управління вентиляцією в теплиці. Схема автоматизації функціональна,  
Управління мікрокліматом теплиці. Схема автоматизації функціональна,  
Модель регулювання температури теплоносія в теплиці. Схема автоматизації  
об'єднана,  
Імітаційна модель камери для вирощування печериць. Схема автоматизації  
об'єднана.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Роман ЗАЛОЗНИЙ	24.02.2025	
2	Роман ЗАЛОЗНИЙ	24.02.2025	
3	Роман ЗАЛОЗНИЙ	24.02.2025	
4	Роман ЗАЛОЗНИЙ	24.02.2025	
5	Роман ЗАЛОЗНИЙ	24.02.2025	

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Організаційна частина	24.02-13.03	
2	Технологічна частина	14.03-03.04	
3	Спеціальна частина	04.04-24.04	
4	Економічна частина	25.04-08.05	
5	Охорона праці	09.05-24.05	

Студент \_\_\_\_\_ Володимир НІЧИПОРУК  
 ( підпис )

Керівник проєкту \_\_\_\_\_ Роман ЗАЛОЗНИЙ  
 ( підпис )

## **АНОТАЦІЯ**

Даний дипломний проєкт присвячений автоматизації системи керування мікрокліматом у теплиці для вирощування грибів. Розглянуто технологію вирощування, охарактеризовано особливості тепличного середовища. Побудовано математичну модель тепло-вологісного режиму, розроблено імітаційну модель у MATLAB Simulink, проведено моделювання перехідних процесів. Обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації, розраховано економічну ефективність та розроблено заходи з охорони праці.

## **ABSTRACT**

This diploma project is dedicated to the automation of the microclimate control system in a greenhouse for growing mushrooms. The cultivation technology is considered, the features of the greenhouse environment are characterized. A mathematical model of the heat-humidity regime is built, a simulation model is developed in MATLAB Simulink, and transient processes are simulated. The choice of technical means of automation is justified, economic efficiency is calculated, and occupational safety measures are developed.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
1 ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА .....	8
1.1 Технологія вирощування грибів .....	8
1.2 Загальні характеристики грибних теплиць .....	10
1.3 Аналіз існуючих систем контролю та керування мікрокліматом .....	12
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	16
2.1 Підготовка живильного субстрату.....	16
2.2 Технологічне устаткування .....	18
2.3 Опис окремих елементів системи керування мікрокліматом грибних теплиць .....	19
2.4 Функціонально-технологічна схема автоматичного управління мікрокліматом... ..	23
3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	26
3.1 Математична модель тепло-вологісного режиму грибної теплиці .....	26
3.2 Функціонально-структурна система САК регулювання температури в теплиці.....	28
3.3 Дослідження моделі керування температурою в теплиці .....	29
3.4 Імітаційна модель тепличної камери для вирощування грибів .....	32
3.5 Імітаційна модель тепличної камери для вирощування грибів .....	33
3.6 Підбір технічних засобів для реалізації системи керування .....	39
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	43
4.1 Вхідні параметри проекту .....	43
4.2 Перелік обладнання та розрахунок вартості.....	43
4.3 Енергоспоживання та експлуатаційні витрати.....	44
4.4 Амортизація обладнання та загальні річні витрати .....	45
5 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	47
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55

<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>				
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Нічипорук В.В..</i>		
<i>Перевір.</i>		<i>Залозний Р.В.</i>		
<i>Реценз.</i>				
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кубрак Р.Д..</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Залозний Р.В.</i>		
<i>Розробка системи автоматичного керування мікрокліматом для грибниць теплиць</i>				
<i>Пояснювальна записка</i>				
		<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
			5	56
<i>НФК гр. АН-211</i>				

## ВСТУП

Харчова промисловість однією з перших серед інших галузей адаптувалася до ринкових умов, пододала наслідки економічної кризи 90-х років і досягла позитивних результатів. Починаючи з 1999 року, спостерігається зростання обсягів виробництва та підвищення питомої ваги галузі в загальній структурі промислового виробництва. Одним із ключових факторів такого зростання стало імпортозаміщення, яке стало можливим завдяки покращенню якості вітчизняної продукції та стабільності курсу національної валюти в 1997–1998 роках [3]. У результаті харчова промисловість стала привабливою для інвестування, зокрема все більше уваги приділяється перспективному напрямку – вирощуванню грибів.

Однак стримувальним фактором розвитку грибівництва залишається його висока енергоємність, що, з іншого боку, стимулює впровадження інноваційних технологій. Це вимагає від господарств не лише ефективного використання ресурсів, а й пошуку нових підходів до організації процесів.

У вирощуванні грибів істотну частку витрат становить енергоспоживання, зокрема на підтримку мікроклімату. Зменшення цих витрат можливе завдяки комплексному впровадженню наступних заходів [1]:

- 1) оптимізації температурно-вологісного режиму з урахуванням біологічних особливостей грибів;
- 2) впровадженню алгоритмів автоматизованого регулювання параметрів мікроклімату;
- 3) удосконаленню конструкцій теплиць із непрозорим покриттям.

У даному дипломному проєкті розглядається саме комплексний підхід до вирішення проблеми енергоефективності – шляхом розробки системи автоматичного керування мікрокліматом у грибних теплицях із використанням сучасних технологій автоматизації та конструктивних рішень у сфері захищеного ґрунту.

Сьогодні вирощування грибів здебільшого здійснюється в адаптованих приміщеннях – овочесховищах, підвалах тощо [10]. Це свідчить про потенціал для

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		<b>6</b>

подальшого розвитку спеціалізованих теплиць із непрозорим покриттям, які можуть забезпечити оптимальні умови для вирощування грибів.

Вибір саме грибів як об'єкта дослідження зумовлений їх високою поживною цінністю, особливо в умовах дефіциту білка та високої вартості м'ясної продукції [4]. Крім того, технологія вирощування грибів, зокрема вешенки, вимагає ізоляції від зовнішнього середовища, що ідеально узгоджується з концепцією непрозорих теплиць та автоматизованого мікроклімату. Вешенка користується попитом, має поживну цінність, що не поступається таким продуктам, як картопля чи шампінйони. Важливо також, що субстрат для її вирощування може виготовлятися з відходів рослинництва, а врожайність за правильної технології може сягати 25–35% від маси субстрату [6].

Таким чином, впровадження автоматизованої системи керування мікрокліматом у грибних теплицях дозволяє не лише знизити енергоспоживання, а й підвищити ефективність та рентабельність виробництва.

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		7

# 1 ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

## 1.1 Технологія вирощування грибів

У даній роботі розглядається використання інтенсивної технології вирощування грибів у нестерильному середовищі. Такий підхід дозволяє суттєво знизити обсяг капіталовкладень, зберігаючи при цьому високу якість урожаю. Однак для досягнення стабільних результатів необхідно суворо дотримуватись технологічних вимог та санітарно-гігієнічних норм [10].

Інтенсивна технологія вирощування у спеціалізованих приміщеннях з контрольованими параметрами мікроклімату має низку переваг порівняно з екстенсивним методом. Зокрема, така система забезпечує можливість безперервного циклу виробництва протягом усього року. Крім того, вона гарантує стабільніші показники врожайності завдяки підтримці оптимальних умов для розвитку грибниці та плодоношення [4, 10, 13].

Важливою перевагою інтенсивного методу є скорочення тривалості виробничого циклу шляхом використання субстратів, що пройшли термічну обробку. Також цей підхід відкриває можливість широкого впровадження механізації та автоматизації процесів вирощування.

У якості субстрату застосовуються відходи сільськогосподарського виробництва, такі як солома зернових культур, лушпиння насіння соняшника, стебла та качани кукурудзи, деревна стружка тощо. Проте важливо забезпечити відповідність цих матеріалів вимогам якості (табл. 1.1), зокрема їхню чистоту від плісняви та інших інфекційних уражень [3, 10].

У рамках цього дослідження передбачається застосування інтенсивної технології вирощування грибів у нестерильному середовищі. Такий підхід дозволяє знизити капітальні витрати без погіршення якості врожаю, за умови суворого дотримання технологічних процесів та санітарно-гігієнічних норм [10].

До складу субстрату можуть входити різноманітні добавки – переважно сухі або подрібнені у борошно відходи первинної сировини харчової та легкої

					ДП.151.211.003.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

промисловості як рослинного, так і тваринного походження. Ці компоненти додаються з метою підвищення поживної цінності субстрату.

Таблиця 1.1 – Умови для вибору субстрату

Умови вибору	Характеристики
Виробничі	Доступність, транспортування, вартість, зберігання
Технологічні	Однорідність, технологічність
Біологічні	Інфікованість, селективність
Фізичні	Структура, міцність, дисперсність, вологість, вологоємкість
Хімічні	Склад, відношення вуглецю до азоту, кислотність, поживність
Мікологічні	Ріст міцелія (біологічна ефективність)
Екологічні	Екологічна чистота (пестициди, важкі метали, радіонукліди)

Підготовка субстрату включає етапи подрібнення, зволоження та ферментації. Подрібнення, наприклад, соломи до довжини 5 см дозволяє мінімізувати порожнини в структурі, які міцелій повинен подолати під час росту. Після подрібнення субстрат замочують у воді до насичення вологою. Надлишок води усувається спеціальними пристроями. Оптимальний рівень вологості субстрату становить 70%. На практиці його визначають так: при стисканні субстрату в руці між пальцями з'являються краплі води. При початковій вологості субстрату 15%, для його зволоження необхідно близько 3000–4000 літрів води на тонну маси.

Ферментація передбачає одночасну дію тепла та свіжого повітря. Температуру субстрату піднімають до 60–70 °С і витримують протягом 8–12 годин (етап пастеризації). Після цього субстрат поступово охолоджують до 45 °С упродовж 48–72 годин – процес конденсації. Вологість субстрату під час ферментації повинна залишатися в межах 70–80%, а температура не перевищувати 70 °С. Після завершення ферментації субстрат охолоджують до температури 25–28 °С за допомогою примусового повітрообміну.

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		9

Альтернативно субстрат можна обробляти у кормозапарниках: туди завантажують суху сировину та заливають її гарячою водою температурою 80–85 °С. Підтримання високої температури здійснюється через періодичне подавання пари. Для пшеничної соломи обробка триває 3–4 години.

Посівний міцелій, який зберігався в холодильнику, за добу до використання вивантажується в приміщення з кімнатною температурою для термостабілізації. Після цього його поміщають у продезінфіковану ємність, де вручну подрібнюють до зернистої маси. Робота з міцелієм виконується виключно у чистих гумових рукавичках, які регулярно миють і знезаражують у 1% розчині гіпохлориту натрію. Міцелій вносять у субстрат або пошарово, або шляхом рівномірного перемішування. Норма внесення складає 3–5% від маси субстрату для вітчизняного міцелію і 1,5–1,8% – для імпортного.

Формування субстратних блоків відбувається при температурі субстрату в межах 20–30 °С. Оптимальне значення рН для росту грибів – 5–6, вологість – 70–80% [10].

На виробництві оброблений субстрат надходить із камери у змішувач, де встановлено дозатор для внесення міцелію. Після інокуляції субстрат розфасовується в перфоровані поліетиленові мішки або формується в блоки. У межах цього дипломного проєкту використовується традиційний спосіб вирощування – субстрат розміщується в одноразових мішках, які згруповано та підвішено на тросах, закріплених до стелі. Така конфігурація дозволяє створити робочі «коридори» для обслуговуючого персоналу та переміщення візків.

## 1.2 Загальні характеристики грибних теплиць

Теплиця – це особливий будинок або скляна оранжерея, в якому можна вирощувати різні рослини, а також гриби. Вона створює ідеальні умови для розвитку і зростання грибів, що дозволяє отримувати великий врожай протягом

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		10

усього року. Однак, для успішного вирощування грибів у теплиці, необхідно дотримуватися певних правил та рекомендацій, які надають професіонали.

Основні правила вирощування грибів у теплиці включають вибір відповідного сорту грибів, стерильність усього обладнання та матеріалів, які використовуються, температурний режим, вологість, освітлення та правильне добриво для грибів. Кожне з цих правил має велике значення для успішного вирощування грибів у теплиці.

Професіонали рекомендують починати з вибору сорту грибів, який відповідає умовам теплиці. Для цього варто звернутися до досвідчених грибників або консультантів, які допоможуть підібрати найкращий варіант. Важливо також забезпечити стерильність усього обладнання та матеріалів, що використовуються, оскільки гриби дуже чутливі до забруднення. Температурний режим, вологість та освітлення мають бути належним чином налаштовані для гарантованого зростання грибів. Для додаткового живлення грибів, їх можна підживлювати спеціальним добривом, яке допоможе забезпечити оптимальні умови росту.

Одним з основних правил для успішного вирощування грибів у будинку або скляній оранжереї є створення оптимального режиму температури та вологості. Нижче наведені рекомендації щодо цих параметрів:

1) Температура:

Оптимальна температура для більшості грибів становить від 18 до 24 градусів Цельсія. Не допускайте перепадів температури, оскільки це може негативно вплинути на ріст і розвиток грибів. Уникайте прямого сонячного проміння, оскільки воно може призвести до перегрівання теплиці та пошкодження грибів.

2) Вологість:

Оптимальна вологість для вирощування грибів зазвичай становить 80-90%. Забезпечте постійну вологість шляхом регулярного зволоження поверхні ґрунту або дрібних дерев'яних опилок. Використовуйте спеціальні системи зволоження, які допоможуть підтримувати стабільну рівень вологості. Дотримуючись цих

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		11

рекомендацій щодо температури та вологості, ви забезпечите оптимальні умови для вирощування грибів у вашій теплиці або оранжерей.

### 1.3 Аналіз існуючих систем контролю та керування мікрокліматом

Сучасні технології у сільському господарстві активно розвиваються у напрямку автоматизації виробничих процесів, зокрема у галузі грибівництва, де мікрокліматичні умови є критично важливими для отримання стабільного та якісного врожаю. Забезпечення оптимального мікроклімату у грибних теплицях вимагає точного й стабільного контролю параметрів, таких як температура, вологість, вміст вуглекислого газу, вентиляція та іноді освітлення (для певних етапів роботи).

Найпоширенішими є системи регулювання на основі електромеханічних реле або програмованих таймерів, які вмикають і вимикають відповідне обладнання у заданий час або при досягненні певних значень температури чи вологості. Такі рішення є відносно дешевими, однак мають низьку точність, відсутність адаптивності до змін зовнішніх умов і не забезпечують гнучкого керування. Особливої проблеми набуває керування вентиляцією та вмістом CO<sub>2</sub>, що вимагає частого ручного втручання.

Більш сучасним варіантом є автоматизовані системи з використанням ПЛК (програмованих логічних контролерів), або мікроконтролерів типу Arduino, ESP32 або Raspberry Pi, які дозволяють реалізувати складніші алгоритми контролю, зокрема поетапне керування, PID-регулювання, зворотний зв'язок, тощо. Такі системи можуть бути інтегровані з датчиками температури, вологості, освітленості, газових датчиків (наприклад, CO<sub>2</sub>), а також з виконавчими механізмами – вентиляторами, обігрівачами, зволожувачами, клапанами. Системи на базі Arduino або ESP32 дозволяють здійснювати моніторинг у режимі реального часу, передавати дані на дисплей, мобільний застосунок або у хмарне сховище. Крім того, можлива реалізація віддаленого доступу, що особливо

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		12

важливо у випадках автономної роботи теплиці або її розташування поза межами постійного нагляду персоналу.

Деякі виробники пропонують готові промислові рішення, які включають контролери, сенсори, приводи, ПЗ для візуалізації даних та інтерфейс оператора (НМІ). Прикладом таких систем є «Climavent», «Agrolux», «GSM-контролери теплиць» та інші. Проте вартість таких систем часто є занадто високою для дрібних або середніх господарств.

Таким чином, сьогодні існує широкий спектр рішень – від простих ручних систем до повноцінних автоматизованих комплексів. Проте більшість дрібних виробників не мають доступу до високотехнологічного обладнання через його вартість. Це зумовлює потребу у розробці доступної, ефективної та адаптивної системи автоматичного керування мікрокліматом, яка поєднує точність керування, надійність і можливість масштабування, що й реалізується у цьому дипломному проєкті.

У загальному випадку, систему управління можна розглядати як взаємозв'язок декількох процесів управління і об'єктів. Узагальненою метою автоматизації управління є підвищення ефективності використання потенціалівних можливостей об'єкта управління. На рисунку 1.1 схематично зображено систему контролю та регулювання параметрів мікроклімату теплиці.

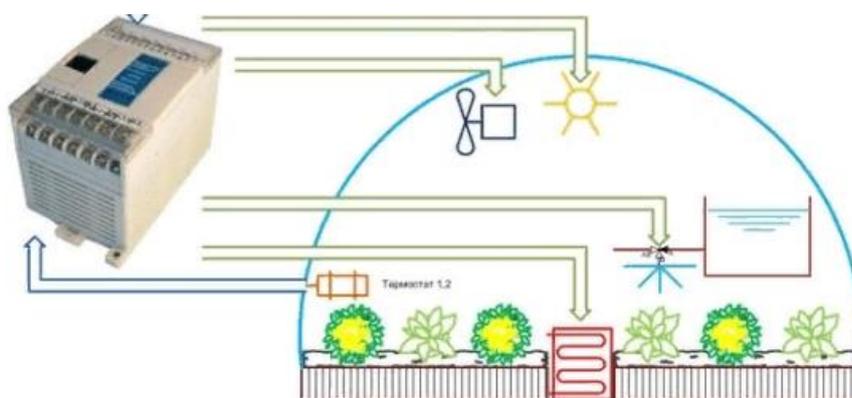


Рисунок 1.1 – Система контролю та регулювання параметрів мікроклімату теплиці

Виділяють три наступні види систем управління мікрокліматом.

1) Часткова автоматизація. Ці агрегати являють собою поєднання ручного управління та часткової автоматизації. Вони багато в чому схожі на блоки ручного управління, але вони зменшують витрати праці, пов'язані з поливом та контролем параметрів.

2) Ручне керування. Ці заходи включають візуальний контроль росту рослин, штучний полив, включення регулятора температури, штучне обприскування добрив та пестицидів. Це займає багато часу, і, швидше за все, трапляються помилки людини, тому точність і надійність цих параметрів не є високими.

3) Повністю автоматизований. Ці пристрої є складними і можуть впоратися з більшістю кліматичних змін, що відбуваються в теплиці. Ці системи засновані на принципі зворотного зв'язку, що допомагає їм ефективно реагувати на зовнішні подразники. Хоча такі пристрої повинні подолати більшість проблем, пов'язаних з людським фактором, вони дуже дорогі. На рисунку 1.2 зображено схему бездротового зв'язку між оператором і об'єктом управління.

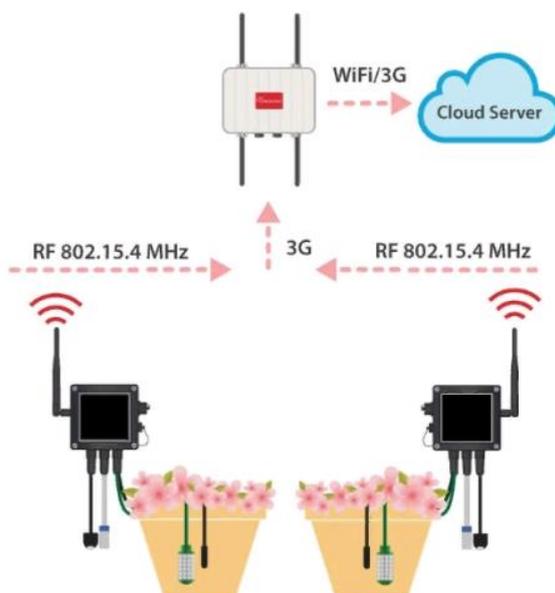


Рисунок 1.2 – Схема підключення

					ДП.151.211.003.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Системи моніторингу таких теплиць, як правило, мають наочний і інтуїтивно-зрозумілий інтерфейс. Контролювати всі процеси можна за допомогою ноутбука, планшета, смартфона.

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		15

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Підготовка живильного субстрату

Тривалість виробничого циклу вирощування грибів залежить від декількох чинників: типу обраного субстрату, якості посівного міцелію, параметрів мікроклімату та точності дотримання технологічного процесу. У середньому цикл триває 8–10 тижнів — це час від моменту інокуляції (внесення міцелію) до повного вилучення відпрацьованих блоків із субстратом.

Період інкубації становить 21 день. У цей час необхідно ретельно контролювати мікроклімат, зокрема температурні й вологісні умови, відповідно до даних, наведених у таблиці 2.1. Саме в цей період відбувається активне розростання міцелію всередині субстрату. Етап плодоносіння триває приблизно 42 дні, при цьому основна маса врожаю припадає на першу та другу хвилю плодоношення. За умов дотримання встановленої технології можна досягти врожайності до 20% від маси використаного субстрату.

Таблиця 2.1 – Умови плодоносіння грибів і параметри мікроклімату

Фаза	Тривалість (доба)	Параметри мікроклімату			
		Температура повітря, °C	Освітленість, Вт/м <sup>2</sup>	Вологість повітря, %	Вентиляція, м <sup>3</sup> /година на 1т субстрату
Інкубація	16-20	20-24	-	50-70	Для охолодження субстрату
Індукція плодворення	2-3	10-14	-	70-80	100-200
Запліднення	5-3	14-16	3-5	85-95	100-200
Плодоносіння	3-7	14-16	3-5	80-90	100-200
Період відпочинку	5-7	20-24	-	70-80	Рециркуляція для вирівнювання температури

Після збору грибів їх сортують і якнайшвидше охолоджують до температури +2 °С у спеціальному холодильному приміщенні. Надалі продукцію перевозять у холодильні камери для зберігання при такій самій температурі (+2 °С). Транспортування здійснюється спеціалізованими транспортними засобами з контрольованим температурним режимом.

Утилізація відпрацьованого субстрату виконується у декілька етапів. Спершу блоки піддають пропарюванню при температурі 70 °С протягом 12 годин у спеціальній термокамері. Після цього субстрат або вивозиться на сміттєзвалище, або використовується як органічне добриво. Це можливе завдяки здатності грибів руйнувати целюлозу та лігнін у рослинній сировині, вивільняючи при цьому доступні поживні елементи.

Для успішного вирощування грибів необхідно забезпечити належну вентиляцію. Це особливо важливо, коли подача повітря супроводжується його охолодженням, підігрівом або зволоженням. Гриби потребують інтенсивнішого повітрообміну – у 4–5 разів більшого, ніж у звичайному приміщенні. Потужність вентиляторів може сягати 300–500 м<sup>3</sup>/год, залежно від сезону та температури навколишнього середовища. При цьому концентрація CO<sub>2</sub> у повітрі має залишатися в межах 0,5–0,6%. Конкретні параметри вентиляції доцільно визначати експериментальним шляхом.

Водночас надмірний рух повітря або протяги є шкідливими: за сухого повітря маленькі гриби можуть висихати, а великі — набувають деформацій, зокрема скручування та пожовтіння країв капелюшків. З метою регулювання повітряного потоку використовують повітропроводи, розташовані під стелею. Отвори направляють або вгору, або в проходи між рядами грибів. Обов'язково слід передбачити можливість рециркуляції повітря, оскільки іноді повна подача свіжого повітря є зайвою, однак повітрообмін має залишатися стабільним.

Використане повітря відводиться через отвори, розміщені в нижній частині бокових стін приміщення. Для його безпечного виведення назовні рекомендується використання витяжних труб заввишки 3–4 м. Вкрай важливо уникати скупчення

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		17

вуглекислого газу навколо мобільних блоків із грибами – така повітряна «подушка» має бути постійно руйнована шляхом організованої циркуляції повітря.

## 2.2 Технологічне устаткування

Електрощитова, в якій розміщуються групові щити, шафа управління, а також приміщення для вирощування грибів із встановленим технологічним обладнанням, за характером навколишнього середовища та ступенем ризику ураження електричним струмом класифікуються як особливо небезпечні.

Камера інкубації та плодоношення, відповідно до параметрів середовища, відноситься до категорії особливо вологих приміщень із хімічно активним середовищем. Це обумовлено високим рівнем відносної вологості, який у межах технологічного процесу має підтримуватись у діапазоні 75–95%. За таких умов можлива поява водяної пари, що конденсується при незначному зниженні температури. Крім того, у процесі вирощування виділяються хімічно активні сполуки грибного походження. З огляду на вказані фактори, а також наявність бетонних покриттів, підвищену вологість, можливість одночасного дотику до струмопровідних частин обладнання під напругою та заземлених металевих елементів, це приміщення відноситься до категорії особливо небезпечних за ступенем ризику ураження електричним струмом.

Електрощитова також характеризується підвищеним рівнем небезпеки, що зумовлено вологим мікрокліматом, струмопровідними підлогами та потенційною можливістю одночасного контакту з частинами електрообладнання під напругою й заземленими конструкціями приміщення.

Для забезпечення необхідних параметрів мікроклімату в процесі виробництва інокульованого субстрату обирається відповідне енергетичне обладнання. Вибір електродвигунів для цього обладнання здійснюється з

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		18

урахуванням рекомендованої встановленої потужності, яка передбачена виробником.

### **2.3 Опис окремих елементів системи керування мікрокліматом грибних теплиць**

1) Система накачування включає електричний вентилятор, гофровані шланги, елементи кріплення та з'єднання. До складу системи наддуву входять насос із зворотним клапаном, монтажні компоненти, гнучкі гофровані шланги та програмований таймер.

Електродвигун насоса має потужність 70 Вт. Для тунелів довжиною понад 32 метри встановлюють два насоси. Щоб забезпечити стабільне підтримання необхідного об'єму повітря в просторі між шарами плівки, потрібне безперебійне живлення насосів.

2) Промислові теплиці обладнуються спеціалізованою вентиляційною системою. Вона забезпечує природну циркуляцію повітря як у самій теплиці, так і в сполучених коридорах, за рахунок вентиляційних отворів, розміщених у покрівлі або верхньому шарі плівки.

Вентиляційна система дозволяє відкривати до 25% площі покриття у кожному прольоті, що забезпечує надходження достатньої кількості свіжого повітря для підтримання оптимального температурного режиму, особливо в умовах інтенсивного сонячного випромінювання.

Керування відкриванням вентиляційних отворів може здійснюватися як вручну (натисканням кнопки), так і автоматично. Залежно від погодних умов зовні встановлюється необхідний кут відкривання кватирок, що визначає відповідну площу для провітрювання.

На рисунку 2.1 подано схему системи автоматичного керування вентиляцією теплиці. Відкривання та закривання вікон здійснюється мотор-редуктором, який синхронно працює на всіх ділянках кожного прольоту.

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		19



Рисунок 2.1 – Схема управління вентиляцією в теплиці

Усі механізми комплектуються прямою рейковою системою, встановленою у верхній частині ферми по центру теплиці. Вона складається з напрямних рейок, стержнів і роликів кронштейнів. Загальний вигляд вентилятора приведений на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд вентилятора

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		20

3) Система зашторювання в промислових теплицях виконує дві ключові функції: вона зменшує перегрів повітря в періоди надмірного сонячного освітлення шляхом затінення, а також знижує тепловтрати через стінки теплиці в холодну пору року.

Оснащення теплиці шторною системою дає змогу підтримувати рівномірну, комфортну температуру для рослин, підвищувати вологість повітря, що сприяє кращому росту рослин на всій площі теплиці, при цьому не порушуючи вентиляцію.

Система складається з штор і механізмів управління, які поділяються на горизонтальні та вертикальні.

Горизонтальні штори встановлюються на напрямних кабелях і коліях. Залежно від потреб, можна застосовувати як одинарну, так і подвійну систему затінення.

У випадку одинарного зашторювання штори монтуються між верхніми поясами ферм. При подвійній системі — між верхніми та нижніми поясами. Таку систему можна встановлювати в усіх прольотах промислової теплиці, включаючи кожне окреме відділення.

Вертикальна шторна система зазвичай розташовується по периметру теплиці. Її використання значно знижує тепловтрати та підвищує ефективність роботи системи штучного освітлення тепличного господарства.

Крім того, вертикальні екрани можуть слугувати для поділу внутрішнього простору теплиці на окремі ізольовані зони з кращим утепленням. Керування шторами може здійснюватися дистанційно — натисканням кнопки або в автоматичному режимі через систему мікрокліматичного контрол

4) Система рециркуляції повітря в теплиці призначена для штучного перемішування повітряного середовища з метою вирівнювання температурних шарів у внутрішньому об'ємі споруди, зниження перегріву рослин, стимуляції біологічних процесів, а також зменшення зон із підвищеною вологістю. Це

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		21

особливо актуально в періоди, коли вентиляція через квартирки неможлива або малоефективна.

Система рециркуляції включає осьові вентилятори та електротехнічне обладнання, її робота може здійснюватися як у напівавтоматичному, так і в повністю автоматичному режимі.

5) Опалювальна система промислових тепличних комплексів складається з джерела тепlopостачання, зовнішніх і внутрішніх тепломереж, а також споживачів тепла. Основним завданням системи є забезпечення стабільного температурного режиму всередині теплиць відповідно до технологічних вимог.

Система опалення містить два контури – верхній і нижній. В якості теплоносія використовується вода з розрахунковими параметрами температури. Нагрів теплоносія відбувається в котельні, оснащених когенераційними установками або газовими котлами. У системі передбачені регулюючі пристрої – дистриб'ютори, які забезпечують необхідний температурний рівень у кожному контурі. Котел системи опалення зображено на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Котел системи опалення

Кожен елемент системи функціонує автономно та підключений до головних тепломагістралей. Окремі вузли обслуговують опалення конкретних відділень теплиці.

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		22

Управління системою здійснюється через вузол, розташований у сервісному приміщенні, який включає циркуляційні насоси, змішувальні клапани, трубопроводи й арматуру. Автоматична робота системи підтримується завдяки температурним датчикам.

б) Промислові теплиці обладнані системами водопостачання та каналізації. Тепличний блок забезпечує наступні системи обладнання для водопостачання та каналізації: зрошувальну систему водопостачання, систему водопостачання питної води, систему крапельного зрошення (або іншу), систему зрошення резервного шланга, випарну систему охолодження, внутрішню дренажну систему, технічну дренажну систему, промислову каналізацію.

#### **2.4 Функціонально-технологічна схема автоматичного управління мікрокліматом**

На функціональній схемі рисунок 2.4 об'єктом управління ОУ є теплиця, VO1 і VO2 - сприймають органи датчиків температури SK1 ... SK4, CO1 і CO2 - порівнюють органи цих же датчиків, налаштовані на максимальну і мінімальну температури, VO3 і 33 - сприймає і порівнює органи датчика вологості Sf, ПО1 і ПО2 - програмні органи, реле часу KT1 і KT2; підсилювальні органи: УО1 - реле KV2, УО2 - реле KV3, УО3 - реле KV1, УО4 - реле KV4, УО5 - реле KV5, УО6 - реле KV6, УО7 - магнітні пускачі KM3 і KM5, УО8 - реле KV7, УО9 - магнітний пускач KM6, УО10 - магнітний пускач KM1; IO1 – виконавчий орган, електродвигун лебідка M2 і M3; IO2 - електродвигуни вентиляторів і калориферів M4 і M5; IO3 - електродвигун M1 водонасосної станції.

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		23

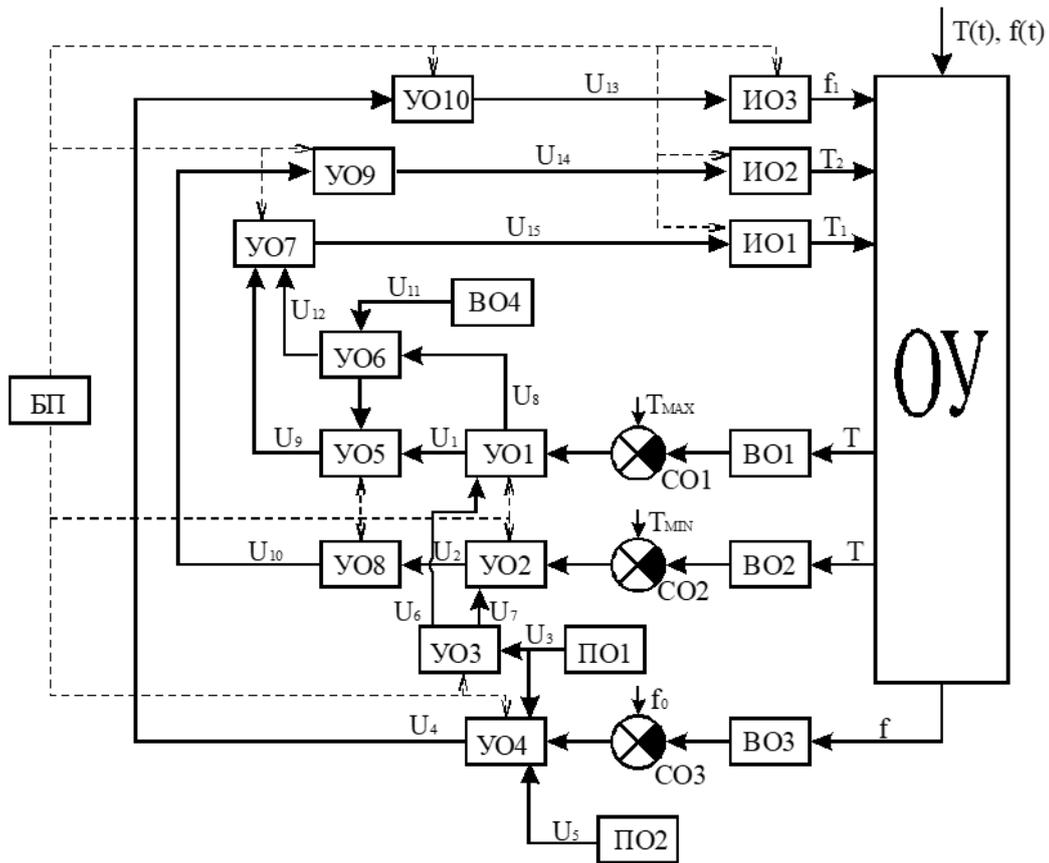


Рисунок 2.4 – Функціональна схема управління мікрокліматом теплиці

Елементи функціонально-технологічної схеми (рисунок 2.5):

- 1-1 – первинний вимірювальний перетворювач для вимірювання вологості, (датчик вологості Sf) встановлений за місцем;
- 1-2 – прилад, що задає програму тривалості дощування (реле часу КТ2);
- 1-3 – пускова апаратура для керування електродвигуном водонасосної станції (магнітний пускач КМ1);
- 1-4 – електродвигун водонасосної станції М1;
- 1-5 – закриває регулюючий орган при припиненні подачі енергії або керуючого сигналу (електромагнітний вентиль YA1);
- 2-1, 2-2 – прилади для вимірювання температури, безшкальний з контактним пристроєм (електроконтактні термометри SK1 і SK2);
- 2-3 – прилад, що задає денний або нічний режим (реле часу КТ1);

2-4 – пускова апаратура для управління електродвигунами вентиляторів (магнітний пускач КМ6);

2-5 – електродвигуни вентиляторів калориферів (М4 і М5);

2-6 – закриває регулюючий орган при припиненні подачі енергії або керуючого сигналу (електромагнітний вентиль YA2 і YA4);

2-7 – калорифер.

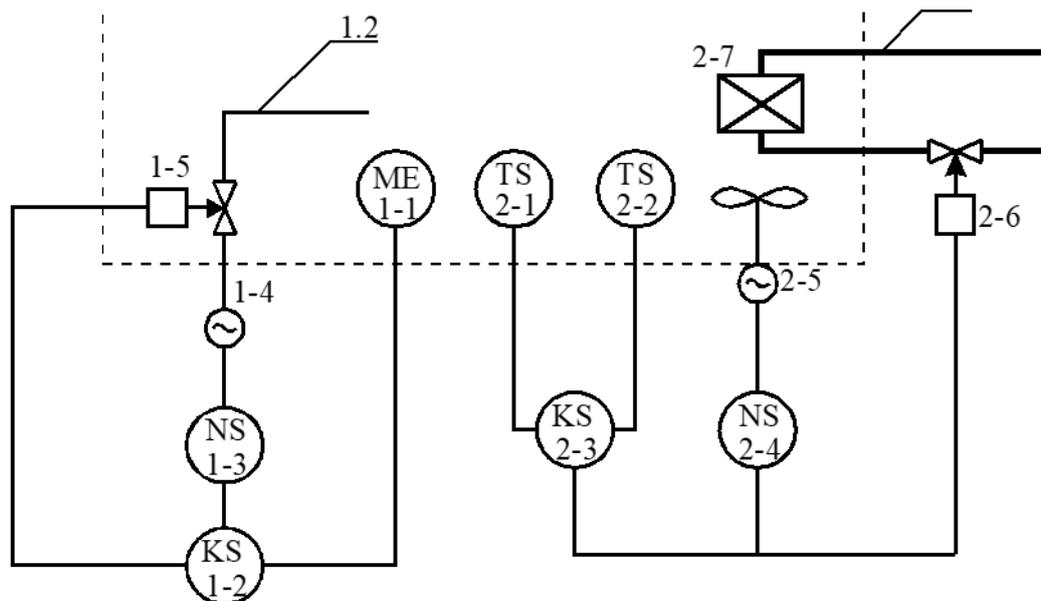


Рисунок 2.5 – Функціонально-технологічна схема управління мікрокліматом теплиці

### 3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Математична модель тепло-вологісного режиму грибної теплиці

Умови вирощування грибів мають низку специфічних вимог. Зокрема, під час росту печериць температура повітря повинна залишатися в межах 18...20 °С. Вихід за межі цього діапазону призводить до погіршення якості грибів і зниження врожайності. Забезпечити настільки стабільний температурний режим можливо лише за допомогою системи кондиціонування повітря.

Теплиця для вирощування шампінйонів повинна мати ефективну систему вентиляції, тоді як освітлення не є обов'язковим. Печериці належать до організмів, які потребують підвищеної вологості субстрату для нормального росту та плодоношення. Щоб підтримувати вологість субстрату на рівні 45...50 %, не вдаючись до частих поливів (які негативно впливають на ріст грибів), необхідно забезпечити високу вологість повітря – 85...90 %.

Особливістю технології вирощування печериць є те, що оптимальні параметри мікроклімату змінюються в залежності від фази розвитку грибів і мають бути скориговані протягом усього циклу вирощування.

З урахуванням тепла, що виділяється внаслідок активності мікроорганізмів у субстраті, до камери подається охолоджене до 13 °С та зволене до 80 % повітря для зниження загальної температури. Під час росту грибів і внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів також утворюється вуглекислий газ. Його оптимальна концентрація в повітрі має бути на рівні 0,06–0,07 % CO<sub>2</sub>. Для підтримання такої концентрації в камері функціонує система вентиляції.

Однак із вентиляцією втрачається і частина вологи, тому для збереження високої вологості повітря в камері застосовуються дрібнодисперсні розпилювачі води.

Отже, аналіз технології вирощування печериць свідчить, що об'єкт управління є складним, оскільки канали керування температурою та вологістю

					ДП.151.211.003.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

пов'язані між собою. Це потребує попереднього моделювання системи на основі імітаційної або фізичної моделі.

На основі цього підходу будуюмо схеми теплового і вологісного балансів для камери вирощування печериць (рисунок. 3.1, 3.2). Виходячи зі статичних балансів тепла та вологи, сформульовано рівняння, що описують динамічні зміни цих параметрів у камері.

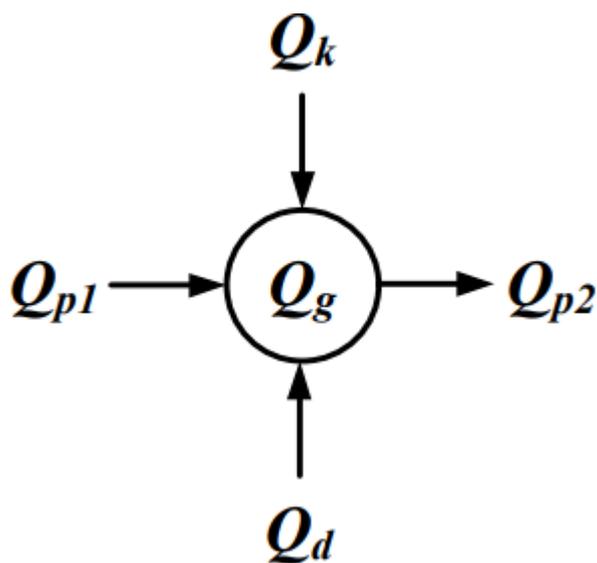


Рисунок 3.1 – Схема теплового балансу в камері для вирощування печериць

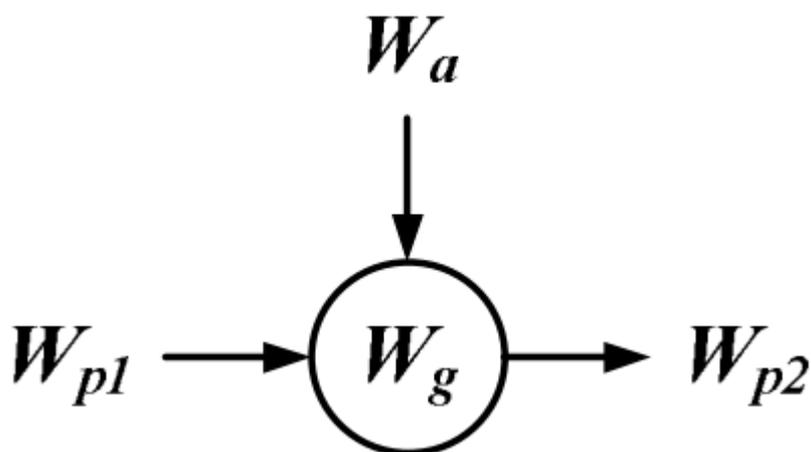


Рисунок 3.2 – Схема балансу вологи в камері для вирощування печериць

### 3.2 Функціонально-структурна система САК регулювання температури в теплиці

Функціонально-структурну систему автоматичного керування (САК) температурою в теплиці можна зобразити у вигляді, поданому на рисунку 3.3. У цій системі:

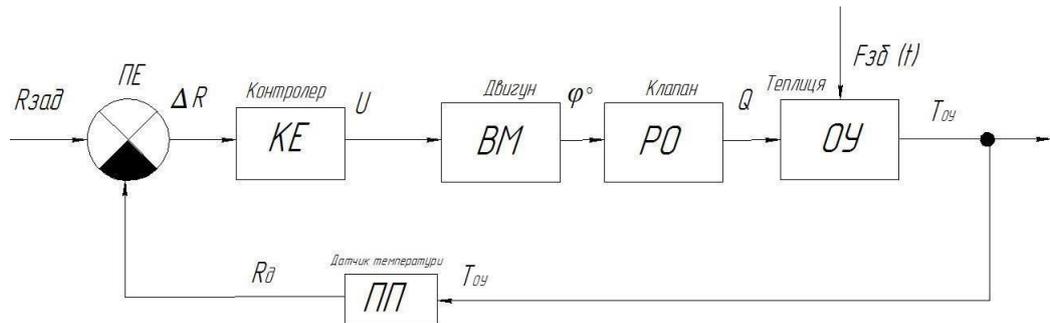


Рисунок 3.3 – Функціонально-структурна система САК регулювання температури в теплиці

КЕ – керуючий елемент, тобто регулятор, який формує сигнал керування на основі відхилення температури від заданого значення;

РО – регулюючий орган, наприклад, клапан, що змінює потік охолодженого або теплого повітря;

ВМ – виконавчий механізм, зокрема електродвигун, що забезпечує фізичне переміщення регулюючого органа;

ОУ – об’єкт управління, тобто сама теплиця, де необхідно підтримувати стабільний мікроклімат;

ПП – первинний перетворювач, який вимірює поточну температуру повітря в теплиці та перетворює її у сигнал, зручний для подальшої обробки;

Rзад – задане (еталонне) значення температури, яке необхідно підтримувати;

R<sub>оу</sub> – фактична температура повітря в теплиці (вимірюване значення);

U – сигнал керування у вигляді електричної напруги, що подається на виконавчий механізм.

Ця система забезпечує автоматичне регулювання температури в теплиці шляхом безперервного порівняння фактичного значення температури із заданим і відповідного впливу на систему керування.

### 3.3 Дослідження моделі керування температурою в теплиці

Визначаємо сталі часу для трубопроводів обігріву теплиці (ТТ) і обігріву ґрунту (ТГ) (3.1):

$$T_T = \frac{V_T}{F_k} = \frac{\pi d_T^2 L / 4}{F_k / 3600} \quad (3.1)$$

$$T_T = \frac{V_T}{F_k} = 221c$$

Передаточні функції трубопроводів обігріву повітря в теплиці і ґрунту представимо у вигляді інерційних ланок 1-го порядку із запізненням (3.2).

$$W_{TT} = \frac{k e}{T p + 1} \quad (3.2)$$

$$W_{TT} = \frac{1}{300s + 1}$$

Для датчика температури повітря, встановленого зовні теплиці (опір якого визначається за його статичною характеристикою), з урахуванням сталої часу 3 с, передаточна функція матиме вигляд, поданий у формулі (3.3), з огляду на те, що  $\Delta R = 96.8 - 50.3 = 46.5$  та  $\Delta t = t_2 - t_1 = 20$

$$W_{TE} = \frac{k}{T p + 1} = \frac{\frac{\Delta R}{\Delta t}}{T p + 1} \quad (3.3)$$

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
						29
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

$$W_{TE} = \frac{0.55}{3s + 1}$$

Передаточна функція давача температури повітря в теплиці буде мати вигляд (3.4) при умові, що  $\Delta U = 10\text{В}$ , а  $\Delta t = 20\text{ с}$ .

$$W_{TE} = \frac{k}{T_{p+1}} = \frac{\Delta U/\Delta t}{T_{p+1}} \quad (3.4)$$

$$W_{TE} = \frac{0.4}{3s + 1}$$

В контурі регулювання температури теплоносія (прямої води) маємо такі передаточні функції виконавчого механізму ВМ та регулюючої заслінки РО при  $k=0.48$ . (3.5)

$$W_{BM} = \frac{k}{T_{BM+1}} \quad (3.5)$$

$$W_{BM} = \frac{0.48}{s}$$

Зміна температури зовнішнього повітря в системі регулювання температури теплоносія виступає збурюючим впливом. Відповідно, модель системи може бути подана у вигляді, наведеному на рисунку 3.4.

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		30

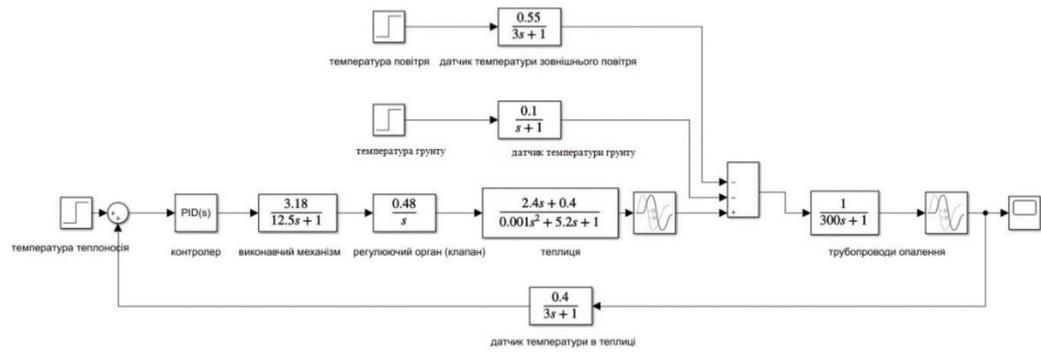


Рисунок 3.4 – Simulink-модель регулювання температури теплоносія в теплиці

Результати моделювання представлені на рисунку 3.5.

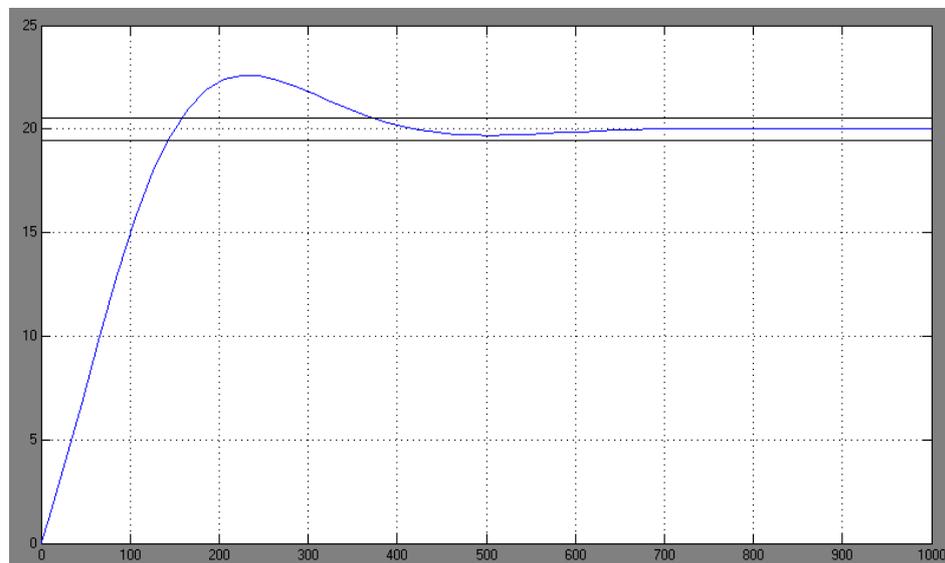


Рисунок 3.5 – Графік перехідного процесу керування температури теплоносія

Величина перерегулювання визначається за формулою 3.6. Вхідні дані вибрані з рисунка 3.5.

$$\delta = \frac{y_{max} - y}{y_{max}} \times 100\% \quad (3.6)$$

$$\delta = \frac{22.5 - 20}{22.5} * 100\% = 11.1\%$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Отримане значення задовольняє умову стійкості системи автоматичного керування, оскільки не перевищує допустимого порогу в 30%. Тривалість перехідного процесу становить приблизно 700 секунд. Зважаючи на те, що гриби не надто чутливі до незначних коливань температури в межах цього часу, таку динамічну характеристику можна вважати прийнятною.

Крім того, варто відзначити майже повну відсутність статичної похибки системи, адже після завершення перехідного процесу вихідний сигнал практично збігається із заданим значенням.

### 3.4 Імітаційна модель тепличної камери для вирощування грибів

Почнемо з визначення об'єму камери. Розміри камери для вирощування грибів на рисунку 3.6. Згідно з наведеними розмірами, об'єм камери, а відповідно і повітря в ній, становить  $V_k = 540 \text{ м}^3$ . Усередині камери розміщено п'ять ярусів стелажів, по чотири стелажі в кожному, загальна площа яких, що також є площею субстрату, дорівнює  $F_k = 256 \text{ м}^2$ .

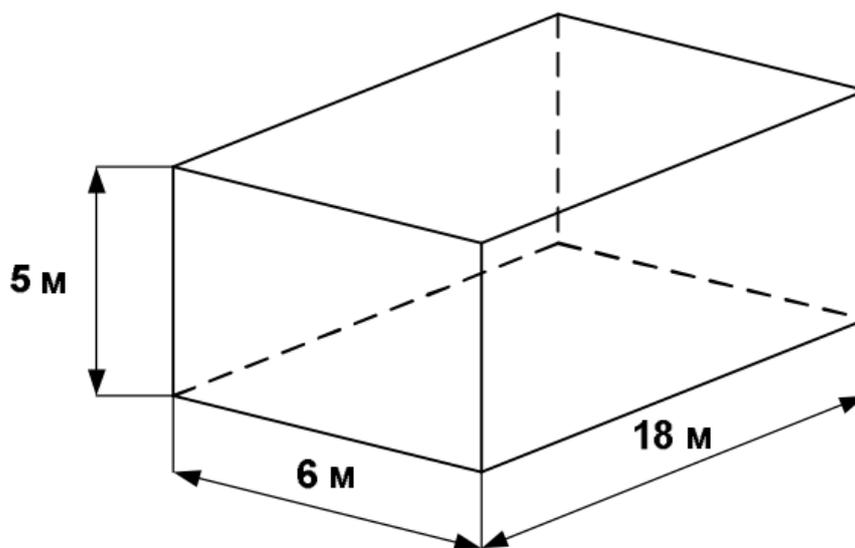


Рисунок 3.6 – Розміри камери для вирощування печериць

Вентиляційне повітря без додаткового зволоження має наступні характеристики: при температурі  $t_v = 13\text{ }^\circ\text{C}$  його відносна вологість становить  $\phi_v = 80\%$ . Водночас у самій камері вирощування при температурі  $t_v = 18\text{ }^\circ\text{C}$  відносна вологість досягає  $\phi_v = 90\%$ .

Оскільки зміни густини та теплоємності повітря як у вентиляційній системі, так і в камері є незначними, можна прийняти усереднені значення: густина  $\rho_v = 1,293\text{ кг/м}^3$ , теплоємність  $C_p = 1050\text{ Дж/(кг}\cdot\text{}^\circ\text{C)}$ .

Початкову кількість вуглекислого газу, що виділяється із субстрату на етапі початку хвилі збору врожаю, приймаємо як  $G_{в'} = 1,6 \cdot 10^{-3}\text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ . Барометричний тиск у камері становить  $P_b = 750\text{ мм рт. ст.}$

Коефіцієнт тепловиділення субстрату внаслідок саморозігрівання приймається рівним  $\mu_k = 2,3\text{ Вт/м}^2$ .

Об'єм вентиляційних каналів визначається за площею їх поперечного перерізу  $S = 0,25\text{ м}^2$  і довжиною  $7\text{ м}$ , що дає загальний об'єм  $V_t = 1,75\text{ м}^3$ .

### 3.5 Імітаційна модель тепличної камери для вирощування грибів

Для знаходження вмісту вологи в повітрі при заданих значеннях відносної вологості повітря і температурі повітря використовується рівняння, що приведені в (3.7). параметри для побудови імітаційної моделі представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри для побудови імітаційної моделі

Параметр	Позначення	Одиниці вимірювання	Значення
Температура вентиляційного повітря	$t_v$	$^\circ\text{C}$	13
Відносна вологість вентиляційного повітря	$\phi_v$	%	80
Барометричний тиск	$P_b$	мм.рт.ст	750
Площа зайнята субстратом	$F_k$	$\text{м}^2$	256

Продовження таблиці 3.1

Кількість CO <sub>2</sub> виділено з 1 м <sup>2</sup> субстрату	G <sub>1b</sub>	м <sup>3</sup> / м <sup>2</sup> /год	0,0016
Кількість CO <sub>2</sub> в повітрі	C <sub>b</sub>	%	0.08
Коефіцієнт виділення тепла субстратом з 1 м <sup>2</sup>	μ <sub>k</sub>	Вт/ м <sup>2</sup>	2.3
Об'єм камери вирощування грибів	V <sub>k</sub>	м <sup>3</sup>	540
Об'єм вентиляційних каналів	V <sub>t</sub>	м <sup>3</sup>	1.75

$$P_v = a + b * t_v + c * t_v^2 - d * t_v^3 + e * t_v^4 \quad (3.7)$$

Де a=5,343124, b=0,027872, c=0,032135, d=3,40325\*10<sup>-4</sup>, e=7,719212\*10<sup>-6</sup>,

$$P_v = 5,343124 + 0,027872 * 13 + 0,03135 * 13^2 - 3,40352 * 10^{-4} * 13^3 + 7,719212 * 10^{-6} * 13^4 = 10,476$$

Вміст вологи у вентиляційному повітрі, г/м<sup>3</sup> сухого повітря (3.8):

$$d_v = 0.622 * \frac{\phi_v * P_v}{100 * P_b - \phi_v * P_v} * 1000 \quad (3.8)$$

$$d_v = 0.622 * \frac{80 * 10,476}{100 * 750 - 80 * 10,476} * 1000 = 7.029$$

Витрати вентиляційного повітря м<sup>3</sup>/с (3.9):

$$V_v = \frac{G_{1b} * F_k}{C_b * 3600} * 100 \quad (3.9)$$

$$V_v = \frac{0.0016 * 256}{0.08 * 3600} * 100 = 0.142$$

Тепло виділене субстратом, Вт (3.10):

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		34

$$Q_k = F_k * \mu_k \quad (3.10)$$

$$Q_k = 256 * 2.3 = 588.8$$

Постійна часу об'єкту по каналу регулювання вологості повітря (3.11):

$$T_w = \frac{V_k}{V_v} \quad (3.11)$$

$$T_w = \frac{540}{0.142} = 3796.875$$

Час запізнення об'єкту по каналу регулювання вологості повітря (3.12):

$$t_w = \frac{V_t}{V_v} \quad (3.12)$$

$$t_w = \frac{1,75}{0,142} = 12,305$$

Далі в середовищі пакету Simulink MATLAB буде побудовано імітаційну модель камери для вирощування печериць, засновану на відповідних рівняннях математичної моделі (рисунок 3.7). Вхідними параметрами цієї моделі є характеристики повітря ( $C_p$ ,  $\rho$ ), температура та витрати вентиляційного повітря ( $t_v$ ,  $V_v$ ), площа, зайнята субстратом ( $F_k$ ), коефіцієнт тепловідлення субстрату ( $\mu_k$ ), об'єм повітря в камері ( $V_k$ ), а також розрахований вміст води у вентиляційному повітрі ( $d_v$ ).

Крім того, у моделі враховуються керуючі дії: додатковий обігрів камери ( $Q_d$ ) та зволоження повітря ( $W_a$ ).

					ДП.151.211.003.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

На виході модель формує наступні результати: значення сталої часу об'єкта за каналом регулювання вологості повітря ( $T_w$ ), температуру повітря в камері ( $t_p$ ), а також вміст вологи та відносну вологість повітря ( $d_p, \phi$ ).

Як початкові збурення у моделі прийняті: температура  $t_{p0} = 10^\circ\text{C}$ , вміст вологи  $d_{p0} = 2 \text{ г/кг}$  сухого повітря.

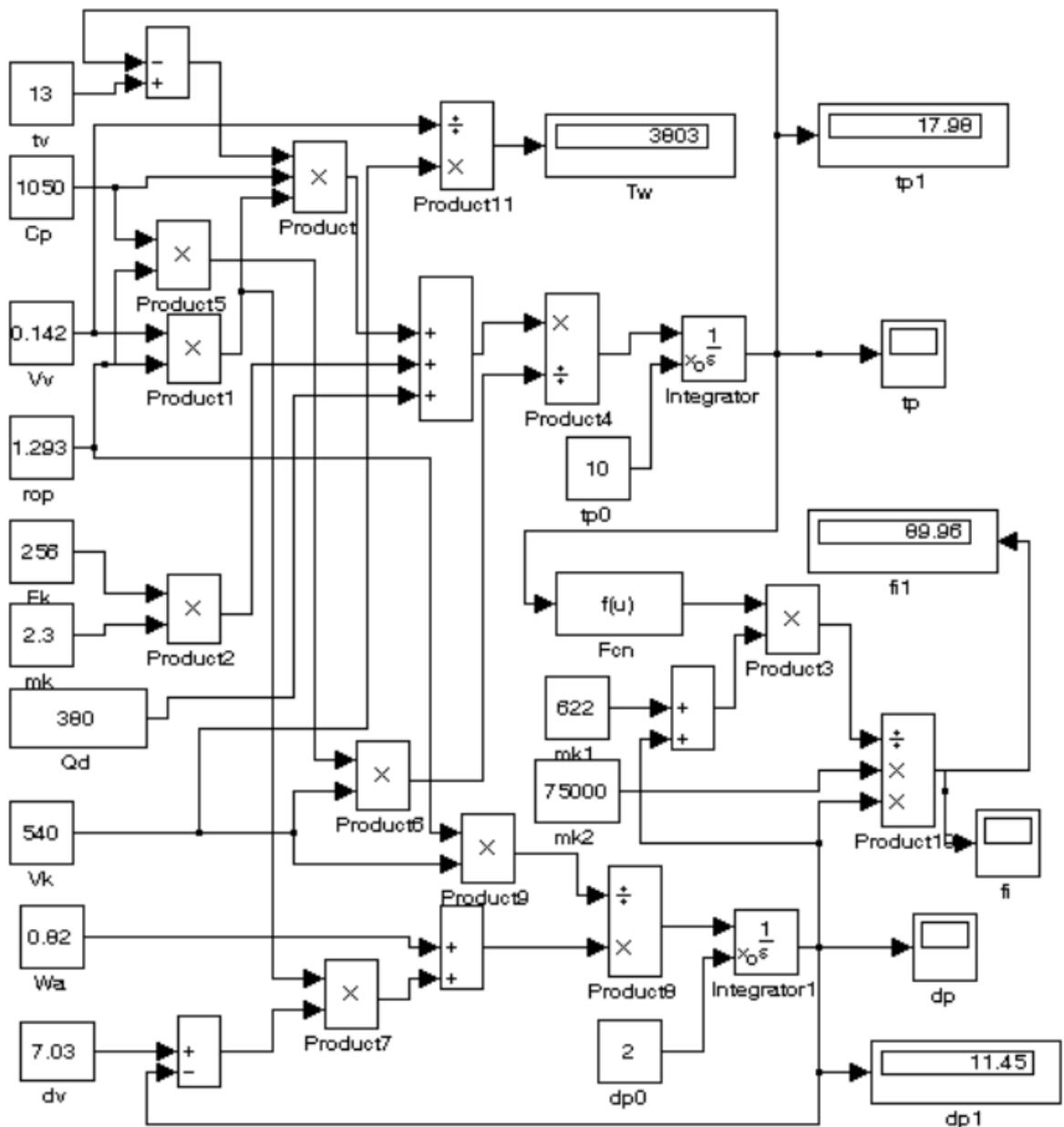


Рисунок 3.7 – Імітаційна модель камери для вирощування печериць в середовищі Simulink MATLAB

На основі імітаційної моделі було проведено дослідження з метою визначення необхідних значень керуючих дій для забезпечення оптимальних умов вирощування грибів у камері – температури 18 °С та відносної вологості повітря 90 %. У результаті моделювання динаміки процесу отримано перехідні характеристики за каналами регулювання температури та вологості повітря (рис. 3.8, 3.9). Ці графіки були побудовані при тривалості моделювання 20000 с.

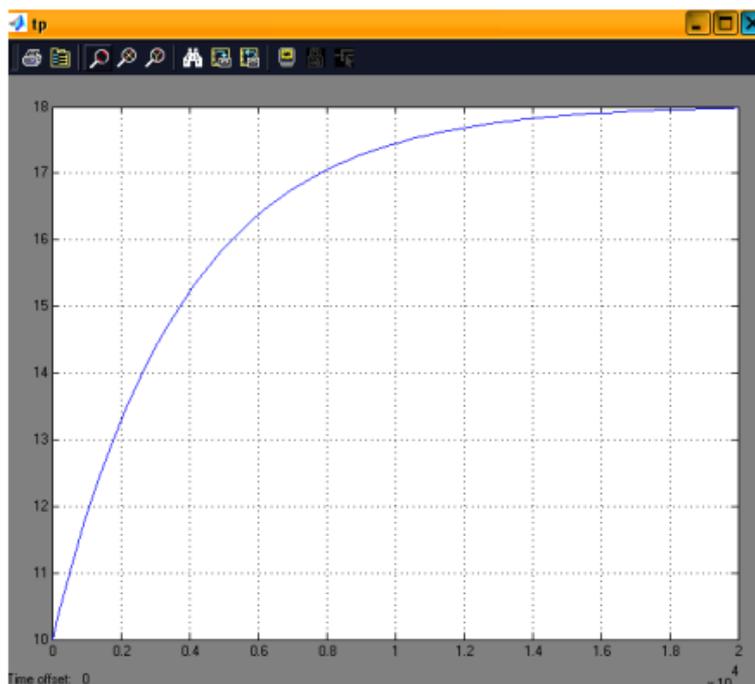


Рисунок 3.8 – Розгінна характеристика по каналу температури повітря

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		37

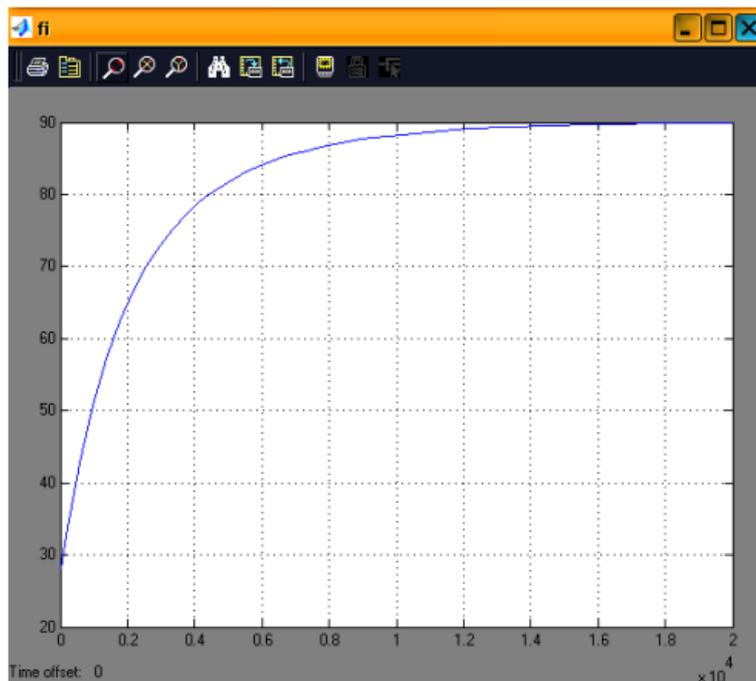


Рисунок 3.9 – Розгінна характеристика по каналу вмісту вологи в повітрі

Для досягнення встановлених параметрів необхідно було задати додаткову теплову потужність у камері ( $Q_d$ ) на рівні 380 Вт та забезпечити розпил вологи в повітря камери зі швидкістю 0,82 кг/с ( $W_a$ ).

Постійна часу за каналом вмісту вологи склала  $T_w = 3803$  с, а час запізнення –  $\tau_w = 12,3$  с.

Для визначення передаточного коефіцієнта об'єкта (у % відносної вологості на кожен кг/с поданої води) були обчислені витрати вологи, необхідні для підтримання заданих рівнів вологості. Так, для забезпечення 90 % відносної вологості потрібна витрата 0,82 кг/с, тоді як для підтримання 85 % – 0,7 кг/с. Отже, зміна відносної вологості становить  $\Delta\delta_{\max} = 90\% - 85\% = 5\%$ , а зміна витрати води –  $\Delta\lambda = 0,82 - 0,7 = 0,12$  кг/с. Передатний коефіцієнт буде рівний (3.13):

$$K_w = \left| \frac{\Delta\delta_{\max}}{\Delta\lambda} \right| \quad (3.13)$$

$$K_w = \left| \frac{5}{0.12} \right| = 41.7 \text{ \%/кг/с}$$

### 3.6 Підбір технічних засобів для реалізації системи керування

1) Вимірювальні засоби (датчики).

Ці прилади відповідають за збирання інформації про умови всередині теплиці (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2. – Прилади для збирання інформації про умови всередині теплиці

Параметр	Датчик	Опис
Температура повітря	DS18B20, PT100	Вимірює температуру всередині камери вирощування. Датчик PT100 точніший і підходить для промислових систем, а DS18B20 – для простих і навчальних проєктів.
Вологість повітря (відносна)	SHT31, DHT22	Дає змогу контролювати вологість повітря, що критично для росту грибів. Наприклад, для печериць потрібна вологість $\approx 90\%$ .
CO <sub>2</sub>	MH-Z19B, SenseAir S8	Контролює концентрацію вуглекислого газу. При надлишку CO <sub>2</sub> система активує вентиляцію для заміни повітря.
Температура субстрату	PT100 або термопара К	Важливо слідкувати за тепловими процесами в субстраті, оскільки він також генерує тепло.
Вологість субстрату	Ємнісний датчик вологості ґрунту	Визначає, коли потрібно додатково зволожити субстрат. Датчик стійкий до корозії.
Освітленість (опціонально, для гливи)	ВН1750	Дає змогу контролювати освітлення, якщо використовуються штучні джерела світла.

2) Виконавчі пристрої.

Ці пристрої фізично змінюють умови в камері на основі команд контролера (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Прилади, що змінюють умови в камері на основі команд контролера

Завдання	Пристрій	Опис
Нагрів	ТЕН + SSR (твердотіле реле)	Для підтримання температури. SSR дозволяє плавно керувати нагрівом без механічного зносу.
Зволоження повітря	Ультразвуковий зволожувач / туманоутворювач	Розпилює дрібнодисперсну вологу для підвищення вологості. Працює за командою від контролера.
Вентиляція / CO <sub>2</sub>	Вентилятори з заслінками	Забезпечують обмін повітря, знижуючи температуру та рівень CO <sub>2</sub> . Клапани керуються сервоприводами.
Полив субстрату	Електромагнітний клапан + насос	Вмикаються при досягненні критичного рівня вологості в субстраті.
Освітлення	LED світильники	Можуть керуватись автоматично (за таймером) або від датчика освітленості.
Жалюзі / шибери	Серводвигуни або актуатори	Регулюють подачу свіжого повітря або перекривають отвори при досягненні заданих параметрів.

### 3) Контролер (логіка керування)

Центральний мозок системи, що приймає сигнали від датчиків і формує керуючі сигнали на виконавчі пристрої (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 – Контролери, що приймають сигнали від датчиків і формують керуючі сигнали на виконавчі пристрої

Тип	Опис
ПЛК (промисловий контролер)	Надійне рішення для промислових теплиць. Має модулі введення/виведення, підтримує модулі HMI. Наприклад: Siemens LOGO!, ОВЕН ПР200.
ESP32 / Arduino	Підходить для невеликих проєктів або навчальних задач. Має вбудований Wi-Fi, що дозволяє створити віддалений інтерфейс для керування.

## Продовження таблиці 3.4

Raspberry Pi	Може використовуватись як сервер, керувати процесом через Node-RED, виводити графіки та звіти. Підходить для розширених функцій моніторингу.
--------------	--

### 4) НМІ (людсько-машинний інтерфейс).

Інтерфейс для взаємодії оператора з системою автоматизації (таблиця 3.5).

Таблиця 3.5 – Інтерфейс для взаємодії оператора з системою автоматизації

Засіб	Опис
Сенсорна НМІ панель	Дає змогу переглядати поточні параметри, змінювати установки, переглядати аварійні сигнали. Наприклад: Weintek MT8051iE.
Web-інтерфейс	Доступ до керування з ПК або смартфона через локальну мережу або Інтернет (через Wi-Fi модуль ESP32).
Мобільний застосунок	Наприклад, Vlynk, що дозволяє переглядати показники, керувати зволоженням або нагрівом у реальному часі.

### 5) Силова автоматика.

Елементи, що відповідають за увімкнення/вимкнення силового обладнання (таблиця 3.6.)

Таблиця 3.6 – Елементи, що відповідають за увімкнення/вимкнення силового обладнання

Пристрій	Опис
SSR (твердотіле реле)	Для безшумного та довговічного керування ТЕНами або вентиляторами.
Контактори	Для керування потужними навантаженнями, як-от насоси або компресори.
Автоматичні вимикачі / запобіжники	Захищають лінії живлення від короткого замикання та перевантаження.
Блок живлення 24В / 12В	Забезпечує живлення датчиків і логіки контролера.

### 6) Програмне забезпечення

Інструменти для налаштування, симуляції, керування (таблиця 3.7).

Таблиця 3.7 – Інструменти для налаштування, симуляції та керування

ПЗ	Опис
Simulink (MATLAB)	Для побудови математичних моделей системи теплиці та її аналізу.
TIA Portal / LOGO! Soft Comfort	Програмування ПЛК Siemens. Графічне середовище з візуалізацією логіки.
Arduino IDE / PlatformIO	Для програмування ESP32, Arduino. Простий синтаксис.
Node-RED	Веб-інструмент для побудови візуального інтерфейсу керування і логіки.
Blynk, Telegram API	Підтримка мобільного керування і сповіщень у реальному часі.

## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Вхідні параметри проєкту

Площа теплиці: 256 м<sup>2</sup>. Мета: забезпечення температури 18 °С, вологості 90%. Термін експлуатації системи: 5 років. Режим роботи: безперервний (24/7), 365 днів на рік. Потужність нагріву, визначена за моделлю: 380 Вт на площу 20 м<sup>2</sup>. Потужність нагріву з урахуванням площі (4.1):

$$P_{\text{нагрів}} = P_{\text{баз}} \times (S / S_{\text{баз}}) \quad (4.1)$$

де  $P_{\text{баз}} = 380 \text{ Вт}$  – нагрів для 20 м<sup>2</sup>,  $S = 256 \text{ м}^2$  – площа теплиці,  $S_{\text{баз}} = 20 \text{ м}^2$  – базова площа,

$$P_{\text{нагрів}} = 380 \text{ Вт} \times (256 / 20) = 4864 \text{ Вт} \approx 4.9 \text{ кВт.}$$

Витрати зволоження: 0.82 кг/с на 20 м<sup>2</sup>, отже  $W_{\text{зволож}} = 0.82 \times (256 / 20) = 10.5 \text{ кг/с}$

### 4.2 Перелік обладнання та розрахунок вартості

Таблиця 4.1 – Обране обладнання та розрахунок вартості

	Обладнання	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
1	Контролер (ПЛК Siemens LOGO!)	2 шт	8350	16700
2	Датчики температури і вологості	10 комплектів	500	5000
3	ТЕН (нагрівачі)	5 шт по 1 кВт	1500	7500
4	Ультразвуковий зволожувач	4 шт	4000	16000
5	Вентилятори з сервоприводами	6 шт	3500	21000

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		43

Продовження таблиці 4.1

6	Насоси та клапани для поливу	3 комплекти	5000	15000
7	НМІ панель( Simatic НМІ )	1 шт	21000	21000
8	Блоки живлення, запобіжники	Комплект	3000	3000
9	Монтажні та пусконаладжувальні роботи			35000

Разом вартість обладнання та монтажу: 140200 грн.

### 4.3 Енергоспоживання та експлуатаційні витрати

Енергоспоживання нагріву. За умови, що нагрів працює 12 годин на добу (переважно вночі), споживання електроенергії:

Річне споживання енергії нагріву (4.2):

$$E_{\text{нагрів}} = P_{\text{нагрів}} \times t_{\text{роб}} \times D \quad (4.2)$$

Де  $t_{\text{роб}} = 12$  год — середньодобова робота нагріву,  $D = 365$  днів

$$E_{\text{нагрів}} = 4.9 \text{ кВт} \times 12 \text{ год} \times 365 = 21462 \text{ кВт}\cdot\text{год/рік}$$

Енергоспоживання зволожувачів та вентиляторів. Припустимо, що вентилятори і зволожувачі працюють 24 години на добу, споживаючи сумарно 2 кВт. Річне споживання електроенергії інших пристроїв (4.3):

$$E_{\text{інше}} = P_{\text{інше}} \times 24 \times 365 \quad (4.3)$$

де  $P_{\text{інше}} = 2$  кВт (приблизно),

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
						44
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		

$$E_{\text{інше}} = 2 \text{ кВт} \times 24 \times 365 = 17520 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік}$$

Загальне річне споживання:

$$E_{\text{заг}} = E_{\text{нагрів}} + E_{\text{інше}} \quad (4.4)$$

$$E_{\text{заг}} = 21462 + 17520 = 38982 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік}$$

Вартість електроенергії за тарифом 4 грн/кВт·год. Загальні енергетичні витрати (4.5):

$$C_{\text{ел}} = E_{\text{заг}} \times C_{\text{тариф}} \quad (4.5)$$

$$C_{\text{ел}} = 38982 \times 4 = 155928 \text{ грн}/\text{рік}$$

#### 4.4 Амортизація обладнання та загальні річні витрати

Термін служби – 5 років, тому амортизаційні витрати на рік. Амортизація (4.6):

$$C_{\text{амор}} = C_{\text{обладн}} / T_{\text{служби}} \quad (4.6)$$

$$C_{\text{амор}} = 140200 / 5 = 28040 \text{ грн}/\text{рік}$$

Загальні річні витрати:

$$C_{\text{рік}} = C_{\text{ел}} + C_{\text{амор}} \quad (4.7)$$

$$C_{\text{рік}} = 155928 + 28040 = 183968 \text{ грн}/\text{рік}$$

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		45

Автоматизація теплиці площею 256 м<sup>2</sup> потребує інвестицій близько 140,2тис. грн на обладнання і монтаж. Річні витрати на електроенергію та амортизацію становлять приблизно 184 тис. грн.

Ці витрати окупаються за рахунок підвищення ефективності виробництва, зменшення втрат та покращення якості продукції.

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		46

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Обґрунтування вибору і призначення облаштування технічної безпеки

Аналіз електротравматизму людей [5], проведений інспекторами в сільськогосподарському виробництві і побуті сільського населення, показав, що електротравматизм переважає при експлуатації електроустановок напругою до 1000 В. Причому більшість випадків можна було б попередити, якби в електроустановках використовувалися облаштування захисного відключення (ПЗВ). Небезпечним є випадкове торкання людей до струмопровідних частин електроустановок в сирих, особливо сирих і особливо сирих з хімічно активним середовищем. У аварійному випадку людина потрапляє під фазну напругу, а струм через нього може досягати максимальних значень, що значно перевищують допустимий струм невідпуску 5,5-24мА. Торкання людини струмоведучої частини електроустановки може статися при виконанні робіт на електроустановках, які знаходяться під напругою.

Приміщення, де знаходиться електросилове устаткування для підтримки параметрів мікроклімату, можна віднести до особливо сирих з хімічно активним середовищем [12,] (у якому постійно містяться пари вологи, яка може конденсуватися, і пари субстрату, які можуть утворювати суміші, що можуть зруйнувати ізоляцію і струмоведучі частини електроустаткування).

До небезпек поразки електричним струмом приміщення для електросилового устаткування підтримки параметрів мікроклімату відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою, яке характеризується струмопровідною бетонною підлогою, вогкістю і дотик людини до сполучених із землею металевих конструкцій будівель, технологічних апаратів, механізмів з одного боку, і до металевих корпусів електроустаткування з іншого боку.

					ДП.151.211.003.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Виходячи з цього, доцільно використати УЗО - швидкодіючий захист, який забезпечує автоматичне відключення електроустановки при виникненні в ній можливості поразки електричним струмом

## 5.2 Електробезпека грибної теплиці

Експлуатація апаратури, яка передбачена проектом, повинна виконуватись відповідно до паспортних даних кожного виробу, де зазначені номінальні значення струму і напруги. Техніка безпеки в силовому електроустаткуванні забезпечена вибором відповідного устаткування й апаратів.

Усі електромонтажні роботи виконуються у відповідності до діючих будівельних норм з дотримання норм з охорони праці і техніки безпеки. Усі технологічні струмоприймачі котельного приміщення живляться електроенергією від загального щита автоматизації. Цей щит необхідно підключити до системи електропостачання та обладнання по місцю.

До блока керування насосами входять наступні функції:

- автоматичне відключення циркуляційного насоса у разі падіння тиску на вході насоса нижче встановленого;
- можливість ручного вмикання/вимикання насоса; автоматичне вмикання насоса після перерви в електропостачанні, а також інші функції, які детально описані в технічній документації на щиті автоматизації.

Зв'язок контролера блока керування з комп'ютером забезпечується за допомогою інтерфейсу (RS-232, 485).

Основними споживачами електроенергії в котельному приміщенні є електродвигуни насосних установок, джерела штучного освітлення та електричний нагрівач в бойлері непрямого нагріву.

Живлення електрообладнання здійснюється від мережі змінного струму з глухо заземленою нейтраллю частотою 50Гц.

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		48

### 5.3 Технічні рішення та організаційні заходи по запобіганню електротравм від необережності зі струмовідними елементами електрообладнання

При експлуатації електрообладнання котельного приміщення існує ризик виникнення електротравм. Тому проектом його компоновки передбачені наступні вимоги: нормально струмовідні частини з опором  $R_{зг} \geq 1$  кОм повинні ізолюватись; при зниженні опору ізоляції до 0,5 кОм експлуатація електроустановок допускається; блокуюче та огорожуюче обладнання виконані таким чином, що їх монтаж/демонтаж можливі тільки за допомогою ключів чи інструменту;

- для живлення ламп загального освітлення використовується трифазна мережа змінного струму 380/220 В з глухо заземленою нейтраллю та зануленням;

- для переносного освітлення встановлено мережу розеток 12 В;

- для захисту людей від помилкових дій та випадкового дотику до струмовідних частин застосована різнокольорова ізоляція провідників окремих елементів електросхем, таблички та написи з позначенням робочих напруг, попереджувальні знаки, використання напруги до 42 В для підключення електроінструменту;

- для захисту людей від ураження електричним струмом, від дії електричної дуги, всі установки забезпечуються засобами захисту, а також засобами забезпечення першої медичної допомоги відповідно до «Правила використання і випробування засобів захисту, які використовуються в електроустановках» ;

- частини електрообладнання, які випадково виявились під напругою, та пошкоджені частини електромережі відключаються за рахунок наявності надійного та швидкодіючого автоматичного відключення.

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		49

## 5.4 Технічні рішення по запобіганню електротравм при переході напруги на неструмовідні частини електроустановок при аварійних режимах їх роботи

З метою захисту людей від ураження електричним струмом при переході напруги на неструмовідні частини установок проектом облаштування котельного приміщення передбачено занулення всіх корпусів електродвигунів насосів та регулюючих клапанів, так як вони можуть бути під напругою при пошкодженні ізоляції.

При пробі на корпус обладнання однієї з фаз мережі занулення дає змогу виключити небезпеку ураження електричним струмом людей. Це досягається завдяки швидкому вимиканню, максимальним струмовим захистом ділянки, на якій виникло замикання на корпус. Пробій на корпус при зануленні приводить до короткого замикання фази (контур: нульовий провідник – фаза – фазовий провідник – корпус споживача – нульовий провідник). Захист від короткого замикання (автомат зі струмовим захистом) спрацьовує, вимикаючи пошкоджений провідник від мережі.

До схеми занулення використовуються наступні вимоги ПУЕ – 2006:

- 1) забезпечується необхідна кратність струму короткого замикання;
- 2) забезпечується цілісність нульового провідника та використання повторних заземлювачів нульового провідника;
- 3) контроль занулення проводиться при вводі в експлуатацію, перевірка здійснюється кожні 5 років;
- 4) у нульовому проводі не дозволяється установка роз'єднувачів та інших приладів розриву електричної мережі;
- 5) не дозволяється використовувати трубопроводи в якості нульового робочого проводу.

					ДП.151.211.003.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

## 5.5 Пожежна безпека та профілактика

Пожежна безпека – стан об’єкта, за якого з регламентованою імовірністю виключається можливість виникнення і розвитку пожежі та впливу на людей її небезпечних факторів, а також забезпечується захист матеріальних цінностей.

Приміщення згідно з НАПБ Б03.002-2007 відноситься до категорії Д (пожежобезпечні – негорючі речовини та матеріали у холодному стані). Джерелом пожежі можуть бути спалення електроізоляції кабелю при короткому замиканні чи дії мешканців будинку, які порушують правила пожежної безпеки (використання відкритого вогню, куріння у недозволених місцях). Таким чином згідно з ПУЕ – 2006 робоче приміщення за вибухо-пожежною небезпекою має клас П – П. Приміщення не відноситься до вибухонебезпечних, тому що не використовуються легкозаймісті речовини та немає умов для створення вибухонебезпечних сумішей.

Системи пожежної безпеки – це комплекс організаційних заходів і технічних засобів, спрямованих на запобігання пожежі та збитків від неї.

Відповідно до ГОСТ 12.1.004-91 пожежна безпека об’єкта повинна забезпечуватися системою запобігання пожежі, системою протипожежного захисту і системою організаційно-технічних засобів.

Системи пожежної безпеки мають запобігати виникненню пожежі і впливу на людей небезпечних факторів пожежі на необхідному рівні . Потрібний рівень пожежної безпеки людей за допомогою зазначених систем, згідно з ГОСТ 12.1.004-91, не повинен бути меншим за 0,9 відвернення впливу на кожну людину, а допустимий рівень пожежної безпеки для людей не може перевищувати 10-6 впливу небезпечних факторів пожеж, що перевищують гранично допустимі значення на рік у розрахунку на кожну людину.

Основні засоби попередження пожеж:

– застосування електрообладнання, яке задовольняє вимогам електростатичної електробезпеки згідно з ГОСТ 12.1.018-79;

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		51

– застосування захисту від короткого замикання на розподільчому щиті котельного приміщення;

В проекті передбачено наступні основні технічні рішення по системі протипожежного захисту котельного приміщення:

– згідно з вимогами ДБН В.2.5-56-2014 для автоматичної пожежної сигналізації застосовані пристрої УОТС-11, які працюють з димовими та тепловими датчиками, що встановлені на стелі;

– передбачені первинні засоби пожежогасіння: вогнегасник ОУ-5 згідно з вимогами ДСТУ 3675-98 IS03941-77 та ГОСТ 7276-77, який розташовано біля входу до котельного приміщення;

– електродвигуни, електропровідники та кабелі за виконанням та ступенем захисту відповідають класу зони і мають арматуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів;

– плавкі вставки запобіжників калібровані, з визначенням на клеймі номінального струму вставки;

– на електродвигуни та світильники передбачається нанесення знаків, які вказують їх ступінь захисту відповідно до стандартів;

– проектом передбачено, що з'єднання, відводи та кінцівки жил проводів виконуються за допомогою опресовки, зварювання, пайки;

– прийнято, що для переносних світильників застосовуються гнучкі кабелі з мідними жилами, з урахуванням їх захисту від можливих пошкоджень.

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		52

## ВИСНОВКИ

У роботі було розглянуто основні аспекти інтенсивної технології вирощування грибів у нестерильному середовищі, що дозволяє значно знизити капіталовкладення без втрати якості продукції. Було описано особливості вибору та підготовки субстрату, зокрема важливість контролю вологості, температурного режиму та санітарно-гігієнічних норм, що є ключовими для успішного розвитку грибниці та отримання високих врожаїв.

Також було проаналізовано загальні характеристики грибних теплиць та наведено рекомендації щодо підтримання оптимальних параметрів мікроклімату, таких як температура і вологість, які є критично важливими для стабільного росту грибів.

Детально вивчено існуючі системи контролю і керування мікрокліматом у теплицях. Встановлено, що на сьогоднішній день наявні рішення варіюються від простих ручних систем до складних автоматизованих комплексів, однак більшість із них мають високі витрати або недостатню гнучкість для малих і середніх господарств.

Це обґрунтовує необхідність розробки доступної, ефективної та адаптивної системи автоматичного керування мікрокліматом для грибних теплиць, яка дозволить забезпечити стабільні умови росту, знизити трудовитрати та підвищити продуктивність виробництва. Наступні розділи роботи будуть присвячені розробці такої системи та її технічному забезпеченню.

У результаті аналізу та опису технологічного процесу вирощування грибів у тепличних умовах встановлено, що ключовим фактором досягнення стабільної та високої врожайності є чітке дотримання параметрів мікроклімату на кожному етапі виробничого циклу. Правильна підготовка живильного субстрату, ретельний контроль температури, вологості, вентиляції та концентрації CO<sub>2</sub> забезпечують сприятливі умови для розвитку міцелію й формування плодових тіл.

Особливу увагу приділено системам автоматичного управління мікрокліматом, які дозволяють не лише зменшити витрати на ручне

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		<b>53</b>

обслуговування теплиць, а й забезпечити точність підтримання необхідних параметрів середовища. Застосування сучасних технологічних рішень, зокрема сенсорів, електромагнітних вентилів, реле часу, магнітних пускачів і виконавчих механізмів, дозволяє реалізувати ефективну взаємодію між усіма елементами тепличного комплексу.

Функціонально-технологічна схема автоматизованого управління мікрокліматом підтверджує можливість інтеграції систем опалення, вентиляції, зрошення та рециркуляції в єдиний контур керування, що значно підвищує загальну продуктивність і енергоефективність господарства.

Таким чином, впровадження автоматизованих систем у грибних теплицях забезпечує стабільні технологічні умови, сприяє підвищенню якості та кількості врожаю, знижує енергетичні витрати й мінімізує ризики, пов'язані з людським фактором.

Було проведено аналіз умов вирощування печериць у тепличному середовищі, що дозволило сформулювати загальні вимоги до підтримання мікроклімату в камері вирощування. Встановлено, що ефективне управління температурно-вологісним режимом є критичним фактором для забезпечення високої врожайності та якості грибів.

Зокрема, оптимальні значення температури (18...20 °C) та відносної вологості повітря (85...90 %) мають динамічний характер і залежать від фази розвитку грибів. Окрім того, у процесі вирощування відбувається значне тепловиділення субстратом і накопичення вуглекислого газу, що також вимагає контролю через вентиляцію. Це зумовлює тісний взаємозв'язок між каналами керування температурою та вологістю, ускладнюючи задачу автоматичного регулювання.

На основі проведеного аналізу побудовано структурні тепловий і вологісний баланси камери вирощування, які лягли в основу математичної моделі. Сформульовано рівняння, що описують динаміку змін температури та вологості в камері. Це дозволяє перейти до побудови імітаційної моделі для подальшого

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		54

аналізу системи керування та вибору оптимальних технічних засобів автоматизації.

					ДП.151.211.003.00 ПЗ	Арк.
						55
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Anderson, C., & Miller, D. (2018). Integrating renewable energy sources into greenhouse electrification: A feasibility analysis. *Energy Policy*, 28(1), 65-78.
2. Brown, L., & Wilson, E. (2017). Impact of electrification on greenhouse gas emissions in agricultural production: A comparative study. *Environmental Science & Technology*, 12(2), 45-57.
3. Johnson, M., & Brown, K. (2019). Modernizing electrical systems in greenhouse facilities: A case study of energy savings and efficiency improvements. *Journal of Sustainable Agriculture*, 25(2), 78-91.
4. Smith, J., & Jones, A. (2020). Electrification of greenhouse production: Opportunities and challenges. *Journal of Agricultural Engineering*, 15(3), 45-56.
5. Williams, R., & Taylor, S. (2021). Advances in electrical equipment for greenhouse operations: A review of current trends and future prospects. *Renewable Energy*, 35(4), 102-115.
6. Гірник, О. М., & Білоус, В. В. (2019). Підвищення ефективності електрифікації виробничих процесів у тепличному господарстві. *Агроінженерія*, 4(48), 25-31.
7. Гречаніков, О. В., & Третяк, І. С. (2020). Електротехнічне обладнання тепличних споруд: проблеми та перспективи. *Вісник аграрної науки*, 2(18), 56-62.
8. Данилов, М. В., & Шевченко, Г. С. (2021). Ефективність використання сучасного електропостачального обладнання в тепличному господарстві. *Електротехнічні системи та комп'ютерні технології*, 3(25), 30-36.
9. Козир, В. І., & Іванова, Л. М. (2017). Електропостачання тепличного господарства: проблеми та перспективи. *Енергетика та електрифікація*, 5(30), 78-84.
10. Кравченко, Л. О., & Стельмах, Г. М. (2019). Оптимізація електропостачання тепличного комплексу з використанням сучасних технологій. *Вісник Львівського аграрного університету*, 2(34), 42-48.

					ДП.151.211.003.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

11. Лісова, Т. О., & Кравченко, С. В. (2020). Тенденції розвитку електрифікації в тепличному комплексі України. Електротехнічні та комп'ютерні системи, 1(21), 12-18.

12. Мельник, С. П., & Петренко, В. І. (2019). Сучасні технології електрифікації в тепличному виробництві овочів. Технології в агроінженерії, 8(64), 17-23.

13. Павленко, О. В., & Левченко, І. П. (2021). Оптимізація використання електропостачального обладнання у тепличному господарстві. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства, 3(45), 102-108.

14. Симонова, О. І., & Дубініна, Г. П. (2018). Вплив електрифікації на ефективність виробничих процесів у тепличному комплексі. Агроінженерія та енергоефективні технології, 2(12), 45-51.

15. Чернов, О. В., & Кириченко, Н. П. (2018). Вплив електрифікації на підвищення продуктивності в тепличному виробництві. Агроінженерія та екологічна безпека, 4(20), 78-83.

					<b>ДП.151.211.003.00 ПЗ</b>	<b>Арк.</b>
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>		57