

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 636.5252/58:62 503.51

**ПОГОДЖЕНО**

Директор ННІ енергетики,  
автоматики і енергозбереження  
(назва ННІ)

\_\_\_\_\_ В.В. Каплун  
(підпис) (ПІБ)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

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

\_\_\_\_\_ О.О. Опришко  
(підпис) (ПІБ)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**

**02.06.-КМР.1664"С".2024.09.26.032.ПЗ**

на тему **«АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ  
МІКРОКЛІМАТОМ ГРИБАРНІ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ  
ЛОГІКИ»**

Спеціальність:

174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»  
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма:

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка  
(назва)

Гарант освітньої програми \_\_\_\_\_ І.М. Болбот, д.т.н., професор  
(підпис) (П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

Виконав \_\_\_\_\_ Д.В. Мельничук  
(підпис) (П.І.Б студента)

Керівник магістерської роботи \_\_\_\_\_ В.В. Іващук, д.т.н., доцент  
(підпис) (П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

**КИЇВ-2024**

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри  
автоматики та робототехнічних  
систем ім. акад. І.І. Мартиненка  
О.О. Опришко  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**

ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ  
(бакалаврської, дипломної)

**Мельничуку Дмитру Володимировичу**

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність: 174– «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Освітньо-професійна програма: Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Тема магістерської роботи **«АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ГРИБАРНІ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ»**,

затверджена наказом ректора НУБіП України від 26.09.2024 року №1664«С»

Термін подання студентом магістерської роботи 15.11.2024 року

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

**Перелік питань, що підлягають дослідженню:**

1. Аналіз технологічного процесу промислового вирощування печериць як об'єкта автоматизації.
2. Розробка та дослідження імітаційної моделі температурно-вологісного режиму в камері для вирощування печериць.
3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань.
4. Аналіз якості функціонування системи автоматичного керування.
5. Схеми системи автоматизації.
6. Економічна ефективність виробництва їстівних грибів.

**Дата видачі завдання «27» вересня 2024 року**

**Керівник магістерської роботи**

\_\_\_\_\_ (Підпис)

Іващук В.В.

(Прізвище та ініціали)

**Завдання прийняв до виконання**

\_\_\_\_\_ (Підпис)

Мельничук Д.В.

(Прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна магістерська робота присвячена підвищенню продуктивності промислового виробництва печериць шляхом покращення якості управління температурно-вологісним режимом на різних стадіях вирощування та використання енергозберігаючого обладнання (теплоутилізаторів).

В роботі досліджені стадії сучасного промислового вирощування печериць і, враховуючи технологічні вимоги до створення параметрів мікроклімату на цих стадіях, розроблена функціональна схема автоматизації системи керування температурно-вологісним режимом, а також проведене удосконалення методики аналізу камери вирощування як об'єкта керування температурою та вологістю повітря із побудовою його імітаційної моделі. Обґрунтовані основні параметри технічних засобів автоматизації та енергозберігаючого вентиляційно-опалювального обладнання для культиваційних приміщень для вирощування грибів, проведена оцінка стійкості та показників якості роботи розробленої системи автоматичного керування, розроблена електрична принципова схема САК із необхідним програмним забезпеченням. Проведена економічна оцінка ефективності виробництва печериць та використання енергозберігаючого обладнання в камерах для вирощування печериць.

## ЗМІСТ

Вступ .....	6
1 Аналіз технологічного процесу промислового вирощування печериць як об'єкта автоматизації .....	9
1.1 Ботанічні та біологічні особливості печериць .....	9
1.2 Системи і способи промислового вирощування печериць .....	11
1.3 Розробка функціональної схеми автоматизації системи керування мікрокліматом в камері для вирощування грибів .....	20
2 Розробка та дослідження імітаційної моделі температурно-вологісного режиму в камері для вирощування печериць .....	25
2.1 Розробка математичної моделі температурно-вологісного режиму в камері для вирощування печериць .....	25
2.2 Дослідження імітаційної моделі температурно-вологісного режиму в камері для вирощування печериць .....	30
2.3 Визначення передатної функції камери для вирощування грибів для каналу "температура повітря – потужність нагрівача" .....	36
2.4 Аналіз варіантів установки теплоутилізатора в системі вентиляції культиваційного приміщення для вирощування печериць .....	38
3 Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань	49
3.1 Вибір алгоритму керування .....	49
3.2 Реалізація алгоритму керування об'єктом .....	55
4 Аналіз якості функціонування системи автоматичного керування ...	63
5 Схеми системи автоматизації .....	68
5.1 Розробка електричної принципової схеми САК .....	68
5.2 Вибір апаратів захисту та керування .....	71
5.3 Вибір проводів та кабелів .....	80
5.4 Вибір щита управління .....	83
6 Економічна ефективність виробництва їстівних грибів .....	84
7 Техніка безпеки та охорона праці .....	94
Висновки .....	101
Література .....	102
Додатки .....	104

## ВСТУП

Печериця двоспорова (шампінйон) – безумовний лідер серед штучно культивованих грибів: загальний обсяг вирощуваних печериці складає 75 – 80% від світового виробництва грибів.

Назва "шампінйон" походить від французького слова, що означає загальне поняття "гриб". З Франції він потрапив до Великобританії, Германії та інших європейських країн. В Швеції в 1754 році функціонувала теплиця – шампінйонниця.

Через деякий час печериця з'явилася і в Росії. Про її вирощування писав в 1778 році в журналі "Экономический магазин" агроном А. Т. Болотов. В 1861 році в Петербурзі існувало 10 печеричних теплиць, а до 1900 року їх нараховувалося вже біля сотні. В Москві в 1913 році існувало біля 300 печеричниць. Вирощували ці гриби і в Києві. Київські мариновані печериці купували ресторани великих міст Російської імперії.

В наш час цей гриб культивується більш ніж в 70 країнах світу. Печериця покорила Європу, Азію, Північну та Південну Америку, Африку, Австралію, інакше кажучи, всі заселені континенти земної кулі. Головний виробник печериці – США, на долю яких припадає 25% світового виробництва. За Сполученими Штатами йдуть Великобританія, Північна Корея та Тайвань.

До речі, в 1990 році виробництво печериці в СРСР ненабагато перевищувало 2 тис. тон, що складало менше 0,5% світового виробництва. Для порівняння, наш найближчий сусід – Польща – щорічно виробляє до 19 тис. тон грибів, а Україну, нажаль, необхідно шукати в самому кінці списку країн – виробників печериці.

Для країн з розвиненою економікою печериця двоспорова – звичний продукт харчування, їх річне споживання там складає від 6 до 10кг на 1 особу, при чому попит на культивовані гриби постійно зростає. Це пояснюється тим, що цей гриб є корисним для організму. Вченими в 1985-1988 роках в плодкових

тілах печериці двоспорової були знайдені речовини, що руйнують холестеринові бляшки та мають протипухлинну активність.

Вміст води в печериці складає 87-90%, що можна співставити з кількістю води в овочах (капуста – 92%, огірок – 95%), але тим не менше це не зменшує їх харчову цінність. Сухі гриби вміщують 20-25% білку, 18 амінокислот, причому 8 з них є незамінними, тобто не синтезуються організмом людини. Жирів небагато – лише 2-3% від сухої маси, причому холестерин в складі ліпідів відсутній. Вуглеводи складають біля 30% від сухої маси, п'ята їх частина приходить на глюкозу, фруктозу, сахарозу. В невеликій кількості міститься хітин. З макроелементів багато калію, фосфору, заліза, містять вони і мікроелементи – цинк, барій, бор, ванадій, молібден, марганець, нікель, кремній, кобальт, йод та ін.

Печериця також є джерелом вітамінів – B1, B2, B6, D4, D5, біотину, нікотинової і пантотенової кислоти. І хоча гриби є низькокалорійним продуктом, навіть невелика їх кількість викликає відчуття ситості.

Зростання попиту на гриби як на Україні, так і в усьому світі, дає підстави для подальшого розвитку і вдосконалення технології виробництва: приготування високоякісного компосту та міцелію, використання новітніх засобів механізації та автоматизації технологічних процесів вирощування грибів, одним з найважливіших з яких є підтримання оптимальних параметрів мікроклімату в камері для вирощування грибів.

**Об'єктом дослідження** є процес створення мікроклімату в камері для вирощування печериць.

**Предметом дослідження** є обґрунтування ефективних технологічних та технічних параметрів енергозберігаючого вентиляційно-опалювального обладнання для культиваційних приміщень вирощування грибів.

**Метою дослідження** є підвищення продуктивності промислового виробництва печериць шляхом покращення якості управління температурно-вологісним режимом на різних стадіях вирощування та використання енергозберігаючого обладнання (теплоутилізаторів).

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні *задачі*:

- дослідити стадії сучасного промислового вирощування печериць і, враховуючи технологічні вимоги до створення параметрів мікроклімату на цих стадіях, розробити функціональну схему автоматизації системи керування температурно-вологісним режимом;
- провести удосконалення методики аналізу камери вирощування як об'єкта керування температурою та вологістю повітря з побудовою його імітаційної моделі;
- обґрунтувати основні параметри технічних засобів автоматизації та енергозберігаючого вентиляційно-опалювального обладнання для культиваційних приміщень для вирощування грибів;
- провести оцінку стійкості та показників якості роботи розробленої системи автоматичного керування, розробити електричну принципову схему САК з необхідним програмним забезпеченням;
- провести економічну оцінку ефективності виробництва печериць та використання енергозберігаючого обладнання в камерах для вирощування печериць.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОЩУВАННЯ ПЕЧЕРИЦЬ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

#### 1.1 Ботанічні та біологічні особливості печериць

Печериця (рис. 1.1) – гетеротрофний сапрофітний гриб. Він живиться готовими органічними й мінеральними речовинами, які засвоює з напівперепрілих рослинних і тваринних решток. Як і більшість базидіоміцетів, має два основних органи: підземний – міцелій (грибниця), який представляє собою переплетення численних гіф; надземний – плодове тіло, яке є продуктивним органом гриба (рис. 1.2).



Рис. 1.1. Розвиток плодового тіла печериці

Плодове тіло (карпофор) складається з шапинки і ніжки. Шапинка може мати гладку, волокнисту або лускату поверхню білого чи білуватого кольору, рідше темнозабарвлену. Залежно від цього розрізняють дві різновидності печериці двоспорової: білу (*var. albidus* /Lange/ Sind/) і коричневу (*var. avellaneus* /Lange/ Sind/). Деякі вчені виділяють ще проміжну, або кремову, різновидність. Розмір шапинки печериці двоспорової коливається в межах 2–10см. Пластинки вільні, тонкі, рожевуваті, пізніше з червонуватим відтінком, потім темно-коричневі. Ніжка 3–6см, центральна, рівна, циліндрична. М'якоть біла, при натискуванні стає рожевуватою.

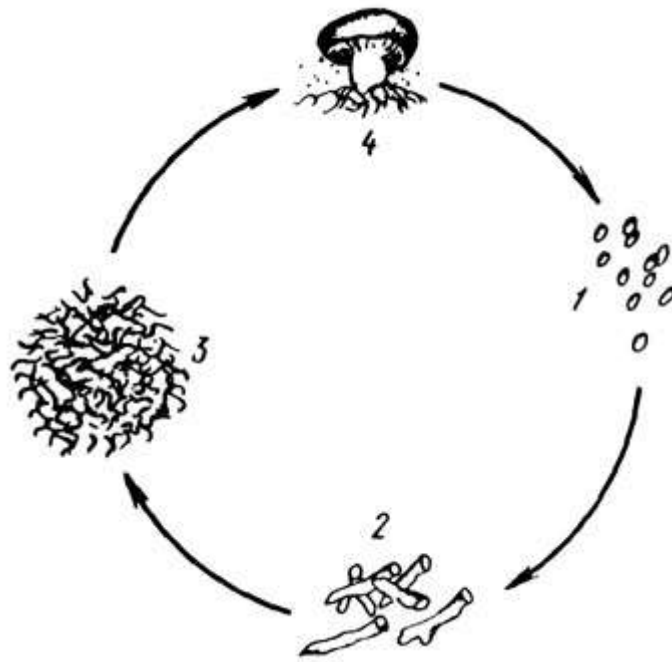


Рис. 1.2. Цикл розвитку печериці:

1 – спори; 2 – гіфи первинного міцелію; 3 – міцелій; 4 – плодове тіло

Розмножується печериця вегетативно (поділом грибниці) і спорами. При вегетативному способі – шматочки гіф, пересажені на стерильне поживне середовище, швидко розростаються, утворюючи густий міцелій, який в подальшому використовують для вирощування грибів. Цей спосіб називають тканинним. Вегетативний спосіб розмноження грибів є основним у промисловій культурі. Для цього використовують грибницю, яку отримують в лабораторії на стерильному середовищі.

Печериця дуже вимоглива до умов вирощування [19]. Для її розвитку не потрібне світло. Більше того, сильна освітленість негативно впливає на розвиток гриба. Вимоги печериці до температурного режиму залежить від фази розвитку. Для проростання міцелію температура субстрату повинна становити 24–28°C, а в період плодоношення - 16–18°C. При 33°C грибниця гине, а при 3°C ріст її припиняється, хоча життєздатність зберігається навіть при температурі нижчій 0°C. Оптимальною температурою повітря для розвитку плодового тіла є 16°C. Плодоношення практично припиняється при  $t < 10^{\circ}\text{C}$  і  $t > 20^{\circ}\text{C}$ . Печериця вимагає певних параметрів вологості поживного середовища і

повітря. Під час росту міцелію субстрат повинен містити 65-70% вологи, а під час плодоношення - 60–65%. Різкі коливання температури і відносної вологості повітря негативно впливають на розвиток культури. Свіже повітря є обов'язковим для печериці двоспорової під час плодоутворення і плодоношення. Збільшення концентрації CO<sub>2</sub> понад 0,2% погіршує якість плодових тіл і навіть зумовлює припинення плодоутворення. Гриб не переносить сильного і особливо сухого повітряного потоку. Велику шкоду культурі завдають аміак і сірчані гази.

Найбільше значення у живленні гриба відіграють азотні сполуки, з яких він використовує білки, пептони, амінокислоти і солі, та вуглеводи (целюлоза, геміцелюлоза і лігнін). Для розвитку потрібні також калій, магній, сірка, фосфор, залізо і кальцій. Щоб забезпечити отримання високих урожаїв, всі перераховані елементи повинні знаходитись у субстраті в певному співвідношенні. Оптимальна величина рН середовища для росту гриба близька до нейтральної (рН 6,5-7,5).

## **1.2 Системи і способи промислового вирощування печериць**

Технологічний процес вирощування печериці включає в себе 4 самостійні, але взаємопов'язані технології:

- 1) приготування субстрату (компосту);
- 2) приготування покривного матеріалу;
- 3) вирощування посадкового матеріалу - міцелію (грибниці);
- 4) вирощування культури.

Відповідно до схеми технологічного процесу (рис. 1.3), в промисловому грибовництві використовують дві системи вирощування – однострунну та багатозональну.



Рис. 1.3. Технологічний процес промислового вирощування печериці

*Однозональною* називається система вирощування, при якій передбачається виконання усіх виробничих процесів, починаючи з моменту наповнення приміщення субстратом, в одній культивацийній споруді – камері вирощування. При однозональній системі використовують декілька способів культивування грибів: на плоских грядках, двох- і трьохгребневих грядках, в ящиках або контейнерах, на стаціонарних багатоярусних стелажах, в мішках з полімерного матеріалу тощо.

*Багатозональною* називається система вирощування, при якій весь цикл проходить в двох або більше спеціалізованих приміщеннях, які мають оптимальні умови для кожної фази росту і розвитку грибів. Наприклад, при двохзональній системі – в першому приміщенні проводять термічну обробку субстрату, а в другому – пророщування міцелію і вирощування продукції, тобто відбувається плодоутворення і плодоношення. Застосування багатозональної системи вирощування вимагає неодноразового переміщення місткостей з культурою, тому найбільш доцільно використовувати спосіб культивування в ящиках або контейнерах.

Останнім часом розроблений і широко застосовується в практиці грибівництва новий спосіб термічної обробки субстрату і пророщування міцелію "в масі". При його застосуванні пастеризацію і кондиціонування компосту виконують у спеціальному приміщенні з активним вентиляванням – тунелі, пророщування міцелію – у споруді такої ж конструкції. Вирощування культури проводять будь-яким з відомих способів: на багатоярусних стаціонарних стелажах, у ящиках або контейнерах, у мішках з полімерної плівки, на плоских грядках або двох- чи трьохгребневих валиках. Практика грибівництва свідчить про значні переваги технології вирощування печериць з пастеризацією субстрату і пророщування міцелію "в масі". Цей спосіб нині набув найбільшого поширення.

*Культиваційні споруди для вирощування печериць.* Печерицю вирощують в спеціалізованих спорудах – печеричницях, а також в різноманітних пристосованих приміщеннях: підвалах, утеплених хлівах, погребях, овочевих теплицях, каменоломнях, шахтах, парниках тощо. Однак, усі пристосовані споруди не мають умов, які б повністю відповідали біологічним особливостям культури, тому їх необхідно оснащувати пристроями для створення оптимальних параметрів мікроклімату.

Основні вимоги до культиважних споруд для вирощування печериці наступні:

1. Повинна підтримуватись постійна температура при незначному її коливанні відповідно з вимогами культури за періодами вирощування.
2. Приміщення повинно бути вентиляваним, з рівномірним розподілом повітря.
3. Повинно мати достатню вологоізоляцію, яка б дозволяла підтримувати вологість повітря на рівні 90% з коливаннями  $\pm 5\%$ .
4. Не повинно проникати пряме сонячне світло.
5. Розмір і конфігурація повинні дозволяти виконувати основні виробничі операції механізованим способом. Тривалість виконання найбільш трудомістких операцій – не більше одного робочого дня.

Відповідно до вказаних вимог, найбільш придатними для вирощування культури є спеціалізовані споруди (печеричниці), а також каменоломні, печери й підвали, обладнані для виробництва грибів.

Печеричниці – це споруди спеціально побудовані для культивування грибів з урахуванням усіх біологічних особливостей культури. Печеричниця для вирощування грибів представляє собою блоки камер культивування, розміщені одним або двома рядами в споруді ангарного типу. Між ними проходить центральний технологічний коридор, вздовж протилежних торцевих камер є широкі коридори, які дозволяють механізовано проводити роботи із завантаженням і видалення субстрату, нанесення покривного матеріалу тощо. Печеричниця складається з камери для пастеризації і кондиціонування субстрату, камери для пророщування міцелію і камери вирощування. При загальній тривалості циклу культивування 12 тижнів у складі комплексу повинні бути мінімум дві камери пастеризації субстрату, дві камери для пророщування міцелію і 9 камер вирощування. Мінімальна площа печеричниці складає 0,36га, оптимальна - 0,7га корисної площі [19].

Застосування в практиці грибівництва нового способу пастеризації субстрату і пророщування міцелію "в масі" пов'язане з деякими змінами планування печеричниць. Використання в технологічному процесі вирощування приготування компосту "в масі" перетворює однозональну систему в багатозональну. Печеричниця при такій системі культивування представляє собою блок приміщень, мінімальна кількість яких наступна: два тунелі пастеризації субстрату "в масі", два тунелі для пророщування міцелію "в масі" і вісім камер вирощування грибів. Мінімальна загальна площа камер вирощування складає 0,36га.

При вирощуванні печериць у підвалі необхідно, щоб він не був дуже сирым і в нього не потрапляли ґрунтові й верхові води, а температура в холодну пору року не опускалась нижче 12-15°C. Обов'язковим є обладнання таких споруд системою вентиляції з механічними фільтрами. Якщо площа підвалу велика, то доцільно розділити його на декілька окремих відсіків, щоб мати

можливість виконувати технологічні операції на протязі одного робочого дня. Найбільш зручними для вирощування шампінйонів з підземних приміщень є каменоломні і печери, розміщені на глибині 20-25м від поверхні, які мають зручні під'їзні шляхи і можливість обладнання системою вентиляції. Як правило, температура і вологість повітря в них на вказаній глибині практично стабільні протягом всього року і становлять 12-15°C і 85-90% відповідно, що дозволяє цілорічно їх використовувати.

### ***Одержання садивного матеріалу для вирощування печериць.***

Садивний матеріал, що використовується в процесі вирощування їстівних грибів, називається *посівним міцелієм* або *грибницею*. Він повинен відповідати ряду основних вимог: мати високу життєздатність; забезпечувати швидке розростання гіф у субстраті; належати селективному штамові з високою врожайністю, стійкістю до хвороб, хорошими товарними якостями; бути вільним від збудників бактеріальних, грибних і вірусних захворювань.

Залежно від субстрату, який використовують в процесі приготування, розрізняють компостний і зерновий посівний міцелій. Компостний продукується на основі шампінйонного компосту. Основним субстратом для приготування зернового посівного міцелію є зерно культурних злаків (пшениці, жита, ячменю, проса). В останні роки перевага надається саме зерновому міцелію.

***Субстрати, їх склади і способи підготовки.*** Субстрати для культивування печериці називають компостами, а процес їх приготування – компостуванням або ферментацією. Компостування полягає у перетворенні мікроорганізмами поживних речовин складових компонентів компосту у форми, доступні для міцелію гриба і знищенні під впливом підвищеної температури патогенних мікроорганізмів і шкідників.

Існує 3 види компостів: натуральні, напівсинтетичні і синтетичні. Натуральні готують на основі кінського гною. Основою напівсинтетичних (містять до 20% кінського гною) і синтетичних (кінський гній взагалі відсутній) є солома злаків. До неї додають органічні матеріали і мінеральні добрива, які

забезпечують суміші подібність за структурою і вмістом елементів до натурального субстрату. Склади найбільш поширених у світовому і українському грибовництві компостів наведені в таблиці (Додаток А).

Для отримання повноцінного компосту суміш його складових частин потрібно піддати *ферментації*. Її метою є створення селективного середовища для росту міцелію печериці, яке б забезпечувало поживними речовинами грибницю, але було непридатним для конкуруючих мікроорганізмів. Під впливом ряду факторів (температури, вологості, аерації і рН) проходить активна життєдіяльність мікроорганізмів, які використовують органічні речовини вихідного субстрату, одночасно утворюючи поживні речовини (лігнін-протеїновий комплекс) для розвитку міцелію печериці.

Існує два способи компостування: традиційний і сучасний. Вони відрізняються тим, що при першому весь *процес ферментації* закінчується в бурті за 16-21 добу, тобто за одну фазу, а при сучасному – за дві. *Перша фаза* компостування - спонтанна ферментація - проходить у буртах, а *друга* - пастеризація і кондиціонування – в пастеризаційних камерах за контрольованих умов.

Другу фазу ферментації поділяють на два етапи:

А). Пастеризація – коли температуру компосту підвищують до 55-60°C на 6-12 год., що є достатнім для знищення небажаних мікроорганізмів й шкідників. Така температура сприяє розвитку корисних термофільних бактерій і актиноміцетів.

Б). Кондиціонування – проходить в наступні 2-7 діб при температурі 45-55°C. Метою його є стимуляція росту корисних мікроорганізмів, а також завершення виділення аміаку.

Друга фаза компостування проходить наступним чином. Субстрат після спонтанної ферментації набивають в ящики, на стелажі й ущільнюють до висоти 20см при звичайному способі пропарювання, або вкладають в тунелі шаром 1,8-2м – при термообробці "в масі". З допомогою пари температуру повітря підвищують до 57-60°C. У цей час температура субстрату збільшується

від поверхні (55-57°C) до внутрішніх шарів, де часто досягає 60°C. Таку температуру необхідно підтримувати протягом 5-6 год. Після цього подачу пари припиняють і починають вентиляцію таким чином, щоб температура компосту протягом 6 год. утримувалась на рівні 55-57°C. Потім починають кондиціонування. Для цього збільшують вентиляцію, щоб температура компосту знижувалась рівномірно на 1-1,5°C за добу. В цей період субстрат самонагрівається, і всередині температура може досягти 52-54°C, а температура повітря - 39-42°C. Чим більша різниця між цими температурами, тим активніше проходить процес ферментації, а значить якіснішим буде компост. Кондиціонування закінчують через 7 днів при повній відсутності запаху аміаку. Після цього охолоджують субстрат до температури 25-28°C шляхом сильної продувки. Компост вважається готовим, і його ввозять у приміщення, де буде проходити культивування.

**Висівання міцелію.** Інокуляція – засів субстрату міцелієм проводять при температурі останнього 25-28°C. Залежно від типу використаної грибниці визначають норму її висіву. На 1м<sup>2</sup> вносять 500г компостного міцелію або 300-400г зернового. При цьому слід знати, що на 1м<sup>2</sup> стелажу або грядки розміщують, в середньому, 100кг субстрату. Основу масу посівної грибниці, біля 80%, вносять на глибину 12-15см, решту – рівномірно розкидають по поверхні і злегка ущільнюють.

Після інокуляції поверхню накривають папером, який щоденно зволожують. Температуру субстрату в цей період підтримують в межах 22-25°C, повітря - на 1-3°C нижчою (таблиця 1.1). Вологість компосту має становити близько 68%, повітря - 93-98%. Під час розростання міцелію свіже повітря в культивацийне приміщення можна не подавати. Грибниця добре росте навіть при 2% концентрації CO<sub>2</sub>.

Фази росту: I - розростання міцелію; II - перехід від вегетативного росту до плодоношення (починається, приблизно, через 2 тижні після нанесення покривного матеріалу і закінчується з початком плодоношення); III - плодоношення.

Добре приготовлений компост на 14-20 добу буде пронизаний білим, густим міцелієм гриба. Після цього папір акуратно знімають і викидають.

Таблиця 1.1.

Значення окремих параметрів мікроклімату у різні фази  
росту печериці двоспорової (за Гейслером)

Показник	Фази росту		
	I	II	III
Температура повітря, °С:			
оптимальна	20-23	17-20	15-17
максимальна	30	21	22
мінімальна	15	13	11
Температура субстрату, °С:			
оптимальна	22-25	18-22	16-18
максимальна	28	26	28
мінімальна	18	16	13
Відносна вологість повітря, %:			
оптимальна	93-98	93-98	85-88
максимальна	99	99	95
мінімальна	85	85	75
Вміст CO <sub>2</sub> , % за об'ємом:			
нормальний	0,5	0,05-0,15	0,05-0,15
максимальний	2,0	0,2	0,3
Потреба в притоці свіжого повітря, м <sup>2</sup> на 1 м <sup>2</sup> корисної площі на год.	Незначна	1-4	4-7

**Приготування і нанесення покривного ґрунту.** Після обростання компосту міцелієм потрібне гобтування – нанесення покривного матеріалу. Він необхідний для утворення і росту плодових тіл. Водночас покривний ґрунт запобігає висиханню поверхні компосту, утримує вологу, необхідну для росту грибів, сприяє газообміну між субстратом і зовнішнім середовищем, за рахунок слаболужної реакції (оптимальне рН 7,4) переводить у зв'язані форми кислі продукти метаболізму печериці.

Для приготування покривного ґрунту найчастіше використовують торф (90%) з додаванням піску і крейди (по 5%). Покривні суміші готують також з супіщаних і легкосуглинкових ґрунтів, річкового піску, перліту, цеоліту тощо. Складові частини перемішують і просіюють через сито з діаметром отворів 3-4см, після чого дезінфікують. Для цього використовують розчин формаліну

(10л 3-4% розчину на 1 т покривного ґрунту) або пропарюють суміші протягом 6-10 год. при температурі 60-70°C.

Покривний ґрунт наносять на поверхню компосту рівним шаром завтовшки 3-5см. Перший тиждень після його нанесення для швидкого розростання міцелію температуру компосту підтримують на рівні 22-25°C. Покривний ґрунт щоденно поливають, щоб вода проходила через нього, але не змочувала верхній шар компосту з грибницею шампінйона. Приблизно через 2 тижні після гобтування міцелій досягає поверхні покривного ґрунту. В цей час за допомогою вентиляції знижують температуру в приміщенні до 18°C. Протягом 2-3 діб після цього поливи продовжують. Однак зразу після утворення зародків плодових тіл – примордіїв, яке припадає на 15-17 добу з моменту нанесення покривного ґрунту, полив припиняють. В цей період проводять провітрювання приміщення: концентрація CO<sub>2</sub> не повинна перевищувати 0,2%. Коли зародки плодових тіл досягнуть розмірів горошини, поливи відновлюють. Норма витрати води - 1л на 1м<sup>2</sup> за добу (у два прийоми).

**Збирання, сортування, упаковка врожаю.** Плодоносити печериця починає через 21-23 доби після гобтування. Плодові тіла з'являються періодично. Таке явище у грибівництві називається хвилями плодоношення. Воно зумовлене тим, що після появи максимальної кількості грибів і їх збору, відбувається поповнення міцелію поживними речовинами і водою для появи наступної хвилі, яка розпочинається через 6-10 діб. Найбільш урожайними є перші дві хвилі.

У період плодоношення оптимальна температура повітря – 16°C, відносна вологість - 85-90%, концентрація CO<sub>2</sub> – до 0,1%. Для забезпечення оптимальних параметрів газового режиму потрібна вентиляція приміщення з розрахунку 3-4 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·год. Період збирання врожаю триває 30-60 діб протягом яких утворюють 5-6 хвиль. Проте перші три хвилі, які закінчуються на 30-40 добу, забезпечують 70-80% загального врожаю. Тому продовжувати період збирання понад ці строки економічно недоцільно. Збір плодових тіл проводять вручну. Ямки, що утворились, засипають новим покривним ґрунтом.

При збиранні продукцію одночасно сортують на стандартну і нестандартну. До стандартної відносяться цілі, чисті, здорові плодові тіла із закритими шапинками діаметром не менше 15мм, блідо-рожевими пластинками, білою, кремовою або кореневою поверхнею шапинки, підрізаною ніжкою. Допускається незначне пошкодження плодових тіл. До нестандартних відносяться гриби з відкритою шапинкою, бурими чи коричневими пластинками, з пошкодженням понад 1/4 шапинки, її розломами або відломом ніжки, з плямами іржі площею понад 1/4 поверхні шапинки.

Упаковують гриби в ящики, кошики, лотки або в картонні коробки шаром до 15см. Коробки масою до 1кг вкладають у великі ящики в один шар. Транспортують печериці на невеликі відстані автомашинами із закритим кузовом, а на великі – в авторефрежераторах. Зберігати гриби рекомендується при температурі 0...+2°C не більше 2-3 діб.

### **1.3 Розробка функціональної схеми автоматизації системи керування мікрокліматом в камері для вирощування грибів**

Особливостями кліматичних установок для промислового вирощування печериці є:

- наявність контуру рециркуляції повітря;
- розміщення "холодного" калорифера перед "гарячим";
- температура поверхні холодообмінника в режимі охолодження при постійному вологовмісті дорівнює точці роси;
- температура поверхні холодообмінника в режимі охолодження з одночасним підсушуванням повинна бути нижчою за точку роси;
- температура поверхні холодообмінника в при адіабатичному охолодженні дорівнює температурі вологого термометра (як при психрометричному методі вимірювання значення відносної вологості повітря);

- весь процес підготовки повітря (нагрівання, охолодження, зволоження) повинен здійснюватись у повітропроводі.

Контур рециркуляції дозволяє заощаджувати енергоресурси господарства, що вирощує печериці, оскільки енергія, затрачена на підігрів (охолодження), зволоження (осушення) повітря, що подається в камеру, не викидається в навколишнє середовище через витяжну шахту. В зимовий період, коли повітря на зовні є дуже холодним із низьким вологовмістом, без використання рециркуляції не виключене короткотривале потрапляння потоку цього повітря до зони плодоношення, що позначиться на врожайності.

Технологічна схема рекомендованої до використання припливної установки зображена на рис. 1.4, 1.5.

Розміщення "холодного" калорифера перед "гарячим" дозволяє здійснювати осушення повітря в камері, знижуючи значення його температури нижче точки роси "холодним" калорифером, а потім підігріваючи до необхідної температури "гарячим" калорифером.

Функціональна схема автоматизації системи керування мікрокліматом в камері для вирощування грибів зображена на рис. 1.6.

Як припливний рекомендованим до використання є відцентровий вентилятор як більш потужний за продуктивністю, що розраховується, виходячи із завантаження камери субстратом.

Призначення обладнання, що входить до складу системи штучного мікроклімату, може змінюватись на різних фазах вирощування.

**Завантаження камери.** Після завантаження камери температура компосту дуже нерівномірна. Вирівнювання показів датчиків компосту здійснюється припливним та рециркуляційним вентилятором. При цьому заслінка камери підготовки повітря працює повністю в режимі рециркуляції повітря без домішки свіжого повітря. Калорифери (як правило, на цій фазі працює гарячий калорифер) підтримують задану температуру компосту. Вологість не регулюється.

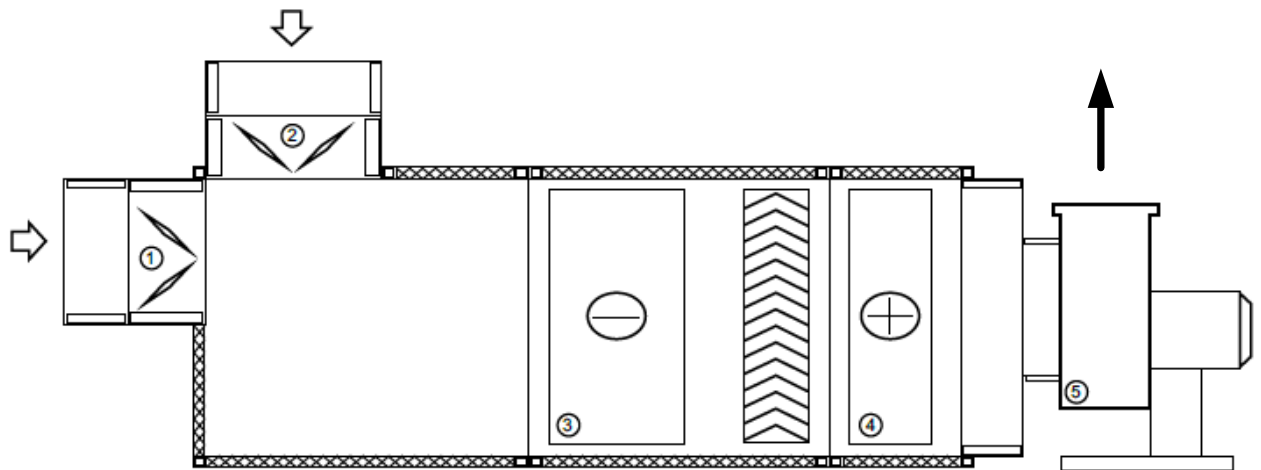


Рис. 1.4. Схема припливної установки камери  
для вирощування печериць

1 – заслінка свіжого припливного повітря; 2 – заслінка рециркуляції; 3 – секція холодообмінника; 4 – секція теплообмінника; 5 – припливний вентилятор

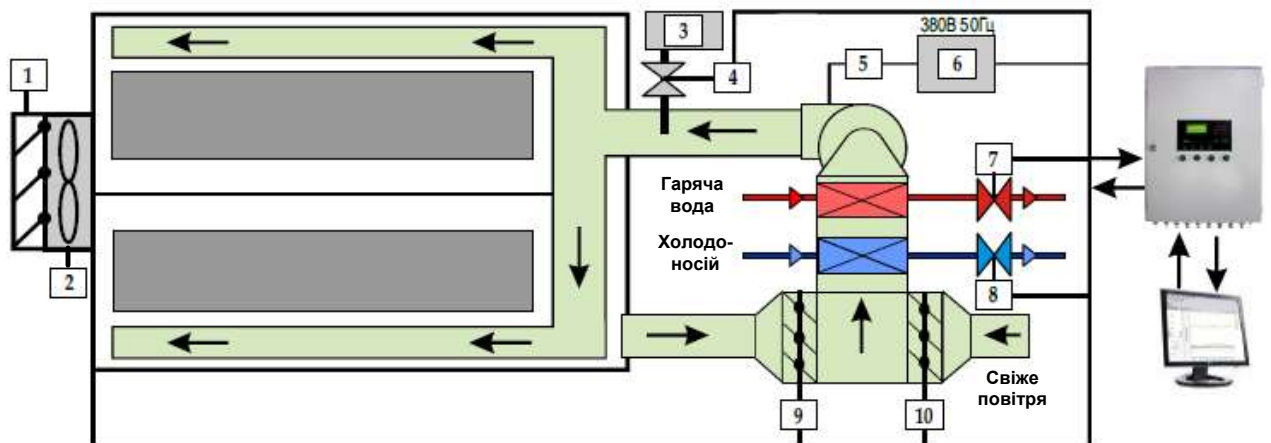


Рис. 1.5. Технологічна схема створення штучного мікроклімату в камерах  
промислового вирощування печериць

1 – заслінка надлишкового тиску; 2 – витяжний осьовий вентилятор відпрацьованого повітря; 3 – зволожувач повітря; 4 – клапан зволоження; 5 – припливний відцентровий вентилятор; 6 – частотний інвертор припливного вентилятора; 7 – клапан гарячої води; 8 – клапан холодної води; 9 – заслінка рециркуляції; 10 – заслінка свіжого повітря.

Коли температура компосту стала рівномірною, припливний вентилятор працює на мінімальних обертах, калорифер, якщо необхідно, працює на нагрівання, охолодження можна проводити свіжим повітрям, але кількість свіжого повітря слід обмежувати. При необхідності на цій фазі починають зволоження повітря.

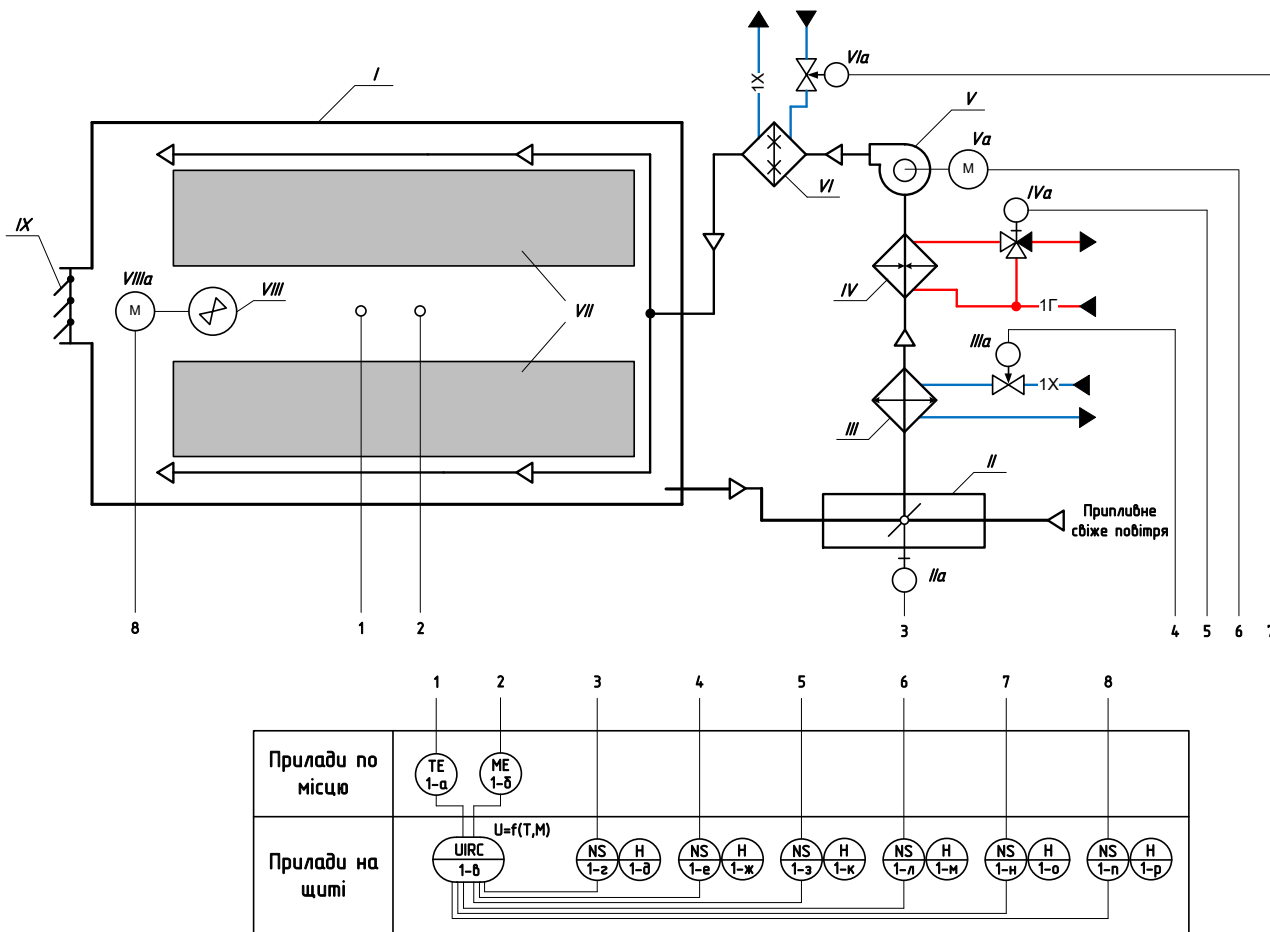


Рис. 1.6. Функціональна схема автоматизації системи керування мікрокліматом в камері для вирощування грибів зображена

Позиц. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
I	Камера для вирощування шампінйонів	1	
II	Камера підготовки повітря	1	
III	Охолоджувач повітря	1	
IIIa, VIa	Клапан електромагнітний	2	
IV	Калорифер водяний	1	
IVa	Клапан трьохходовий з регулюючим клапаном МЭО	1	
V	Вентилятор припливний В-Ц4-70-3,15	1	
Va	Електродвигун приводу вентилятора АИР90L4УЗ	1	
VI	Зволожувач повітря	1	
VII	Стелаж з кампостом	2	
VIII	Вентилятор циркуляційний ВО-Ф-5,6А	1	
VIIIa	Електродвигун приводу циркуляційного вентилятора АИР80А8УЗ	1	
IX	Заслінка надлишкового тиску	1	
1-а	Датчик температури	1	
1-б	Датчик вологості	1	
1-в	Керуючий елемент регулятора на базі контролера	1	
1-г,е,ж,н	Реле напруги проміжне	4	
1-л,п	Пускач електромагнітний	2	
1-д,ж,к,м,о,р	Пост кнопковий ручного керування	6	

**Нанесення покривного матеріалу.** Після нанесення покривного матеріалу кількість свіжого припливного повітря все ще обмежується або, по

можливості, припиняють подачу зовсім (на цій фазі накопичується  $\text{CO}_2$ ). Температура компосту та повітря, вологість підтримуються постійними.

Рівень концентрації  $\text{CO}_2$  взагалі не вимірюють для запобігання виходу з ладу датчика  $\text{CO}_2$ .

**Охолодження.** Охолодження проводять свіжим повітрям і калорифером, знижуючи температуру компосту із заданою швидкістю. Від того, як проводиться фаза охолодження, залежить якість та розмір майбутніх грибів. Одночасно зменшується концентрація  $\text{CO}_2$ . Наприкінці фази охолодження починають вимірювати концентрацію  $\text{CO}_2$ . На цій фазі оберти припливного вентилятора залежать від температури компосту (чим більше необхідно охолоджувати, тим вища швидкість обертання вентилятора).

На фазах **"Плодоутворення"** та **"Збирання урожаю"** заслінка камери підготовки повітря та припливний вентилятор використовуються для управління рівнем  $\text{CO}_2$ , калорифер – для підтримання температури повітря, зволожувач – рівня вологості в камері на заданому технологічному рівні. В залежності від поточних обставин технолог може змінювати пріоритет – змусити працювати свіже повітря та припливний вентилятор на охолодження або на осушення повітря. Калорифер при необхідності також використовують для осушення.

До складу САК температурно-вологісним режимом входять: датчик температури повітря в камері вирощування (ТЕ (1а)); датчик рівня відносної вологості повітря в камері (МЕ (1б)); припливний відцентровий вентилятор з двигуном електроприводу; рециркуляційний осьовий вентилятор із двигуном електроприводу; охолоджувач повітря (теплообмінник, електромагнітний клапан холодної води); підігрівач припливного повітря (водяний калорифер, трьохходовий регулюючий клапан гарячої води з електроприводом); зволожувач повітря з електромагнітним клапаном; камера підготовки повітря (КПП) (заслінка зміни співвідношення рециркуляційного та свіжого повітря).

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ТЕМПЕРАТУРНО-ВОЛОГІСНОГО РЕЖИМУ В КАМЕРІ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ПЕЧЕРИЦЬ

#### 2.1 Розробка математичної моделі температурно-вологісного режиму в камері для вирощування печериць

Умови вирощування грибів мають свої особливості. Так, температура повітря в період зростання шампінйонів повинна підтримуватися у діапазоні 18... 20°C. Вихід за межі діапазону викликає погіршення якості плодових тіл і зниження врожайності. Очевидно, такі жорсткі умови можуть бути забезпечені лише при обладнанні теплиці системою кондиціонування повітря.

Теплиця для вирощування грибів повинна мати хорошу вентиляцію, але освітлення їй не обов'язкове.

Шампінйони відносяться до організмів, які вимагають для нормального росту і плодоносіння підвищеної вологості субстрату на якому вони ростуть. Щоб підтримати цей параметр на рівні 45...50%, але без частих поливів, що негативно позначаються на рості і плодоносінні шампінйонів, забезпечують високу вологість повітря — 85...90%.

Особливість технології вирощування шампінйонів полягає в тому, що оптимальні параметри мікроклімату залежать від фази розвитку рослин, міняючись впродовж циклу вирощування кілька разів.

Враховуючи тепло, що під дією мікроорганізмів виділяє субстрат, в камеру для зниження температури подають охолоджене до 13°C і попередньо зволожене до 80% повітря.

Печериці в процесі свого росту і з субстрату в наслідок дії мікроорганізмів виділяється вуглекислий газ. Оптимальним вмістом його в повітрі має бути вміст 0,06 – 0,07% CO<sub>2</sub>. Для підтримання такого складу повітря камера обладнана системою вентиляції. З повітрям також виходить і

волога, тому об'єкт управління для підтримання високого рівня вологості повітря обладнаний мілко дисперсними розпилювачами води.

Таким чином розгляд технології вирощування печериць показує що об'єкт управління складний, де канали управління по температурі і вологості зв'язані між собою і вимагають попереднього дослідження на імітаційній або фізичній моделі.

Побудуємо схеми балансів статички вмісту тепла і вологи в камері для вирощування печериць (рис. 2.1, 2.2.)

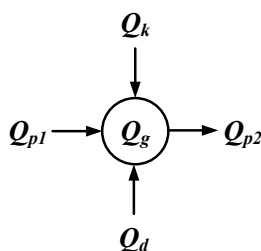


Рис. 2.1. Схема теплового балансу в камері для вирощування печериць

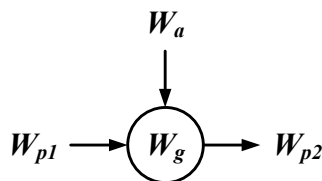


Рис. 2.2. Схема балансу вологи в камері для вирощування печериць

Виходячи із статичних балансів тепла і вологи отримані рівняння динаміки зміни вказаних параметрів в камері:

$$\frac{dQ_g}{d\tau} = Q_{p1} + Q_k + Q_d + Q_a - Q_{p2} \quad (2.1)$$

$$\frac{dW_g}{d\tau} = W_{p1} + W_a - W_{p2} \quad (2.2)$$

де  $Q_g$  – кількість теплоти, що міститься в повітрі камери;

$Q_{p1}$  – кількість теплоти, що надходить до камери з вентиляційним повітрям;

$Q_{p2}$  – кількість теплоти, що видаляється з камери з вентиляційним повітрям;

$Q_k$  – кількість теплоти, що утворюється при само розігріванні субстрату і потрапляє до повітря камери;

$Q_d$  – теплота, що надходить до камери вирощування від нагрівального пристрою системи опалення;

$W_g$  – вологовміст повітря в камері;

$W_{p1}$  – вологовміст припливного вентиляційного повітря;

$W_{p2}$  – вологовміст повітря, що видаляється з камери при вентиляції;

$W_a$  – кількість вологи, що потрапляє до камери у вигляді водяної пари від системи зволоження повітря.

Розглянемо рівняння, які описують складові рівнянь балансу.

Кількість теплоти, що міститься в повітрі камери, Вт:

$$Q_g = V_k \cdot C_p \cdot \rho_p \cdot t_p \quad (2.3)$$

де  $V_k$  – об'єм повітря в камері, м<sup>3</sup>;

$C_p$  – теплоємність повітря в камері, Дж/кг·град.;

$\rho_p$  – густина повітря в камері, кг/м<sup>3</sup>;

$t_p$  – температура повітря в камері, °С;

Кількість теплоти, яка потрібна для нагрівання вхідного повітря, Вт:

$$\Delta Q_p = Q_{p1} - Q_{p2} = V_v \cdot \rho_p \cdot C_p \cdot (t_v - t_p) \quad (2.4)$$

де  $V_v$  – витрати вентиляційного повітря, м<sup>3</sup>/с;

$t_v$  – температура вентиляційного повітря, °С.

Кількість теплоти, що утворюється при само розігріванні субстрату і потрапляє до повітря камери, Вт:

$$Q_k = F_k \cdot \mu_k \quad (2.5)$$

де  $F_k$  – площа поверхні субстрату в камері, м<sup>2</sup>;

$\mu_k$  – коефіцієнт тепловиділення субстратом при само розігріванні, Вт/м<sup>2</sup>.

Витрати вентиляційного повітря рахуємо з урахуванням виділеного двоокису вуглецю, м<sup>3</sup>/с і необхідного, за технологічним регламентом, вмісту двоокису вуглецю в камері вирощування печериць,  $C_e = 0,08\%$ .

$$V_V = \frac{G_e}{C_e} \cdot 100\%, \quad (2.6)$$

де  $C_e$  – концентрація CO<sub>2</sub> в повітрі в камері, %;

$G_e$  – кількість CO<sub>2</sub>, що виділяється при диханні грибами;

$$G_e = G'_e \cdot F_k, \quad (2.7)$$

де  $G'_e$  – кількість CO<sub>2</sub>, що виділяється з 1м<sup>2</sup> субстрату з грибами, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>/год.

Отримаємо рівняння витрат вентиляційного повітря м<sup>3</sup>/с.:

$$V_V = \frac{G'_e \cdot F_k}{C_e \cdot 3600} \cdot 100\%. \quad (2.8)$$

Для знаходження вмісту вологи в повітрі при заданих значеннях відносної вологості повітря і температурі повітря використовується рівняння, що приведені нижче. Тиск насичення водяної пари при  $t_p$  – температурі в камері можемо знайти за допомогою рівняння, мм. рт. ст.:

$$P_H = 5,343124 + 0,027872 \cdot t_p + 0,032135 \cdot t_p^2 - 3,40325 \cdot 10^{-4} \cdot t_p^3 + 7,719212 \cdot 10^{-6} \cdot t_p^4 \quad (2.9)$$

Вологовміст повітря, що поступає в камеру при відносній вологості повітря  $\varphi_v$  знаходимо за рівнянням, г/кг сухого повітря:

$$d_v = 0,622 \cdot \frac{\varphi_v \cdot P_H}{100 \cdot P_e - \varphi_v \cdot P_H} \cdot 1000, \quad (2.10)$$

де  $P_e$  – барометричний тиск в камері, мм. рт. ст.

Відповідно, вологовміст повітря в камері вирощування дорівнює, г/кг сух. повітря:

$$W_g = d_p \cdot V_k \cdot \rho_p. \quad (2.11)$$

Кількість видаленої води вентиляційним повітрям дорівнює, г/кг сух. повітря:

$$\Delta W = V_k \cdot \rho_p \cdot (d_v - d_p). \quad (2.12)$$

Де вміст води в повітрі камери  $d_p$  розраховується при технологічно регламентованій відносній вологості,  $\varphi_p = 90\%$ .

Таким чином, підставляючи рівняння (2.3) – (2.8) в рівняння (2.1) і (2.2), їх можна записати у вигляді:

$$V_k \cdot C_p \cdot \rho_p \cdot \frac{dt_p}{d\tau} = V_v \cdot \rho_p \cdot C_p \cdot (t_v - t_p) + F_k \cdot \mu_k + Q_d + W_a \cdot r_a, \quad (2.13)$$

$$V_k \cdot \rho_p \cdot \frac{dd_p}{d\tau} = V_v \cdot \rho_p \cdot (d_v - d_p) + W_a. \quad (2.14)$$

Після перетворення отримаємо систему рівнянь математичної моделі клімату в камері для вирощування печериць, яку можна використати для імітаційного моделювання:

$$\begin{cases} \frac{dt_p}{d\tau} = \frac{V_v \cdot \rho_p \cdot C_p \cdot (t_v - t_p) + F_k \cdot \mu_k + Q_d + W_a \cdot r_a}{V_k \cdot C_p \cdot \rho_p} \\ \frac{dd_p}{d\tau} = \frac{V_v \cdot \rho_p \cdot (d_v - d_p) + W_a}{V_k \cdot \rho_p} \end{cases} \quad (2.15)$$

Математична модель показує, що по каналу регулювання вологості повітря в камері постійна часу об'єкту рахується за формулою, с

$$T_w = \frac{V_k}{V_v} \quad (2.16)$$

А запізнення визначається часом, яким вентиляційне повітря що зволожується досягає камери росту, с:

$$\tau = \frac{V_t}{V_v} \quad (2.17)$$

де  $V_t$  – об'єм вентиляційних каналів від розбризкувача до камери, м<sup>3</sup>.

## 2.2 Дослідження імітаційної моделі температурно-вологісного режиму в камері для вирощування печериць

На рис. 2.3 зображений схематичний план стандартної ферми для вирощування печериць на 6 камер на 20 тон компосту кожна.

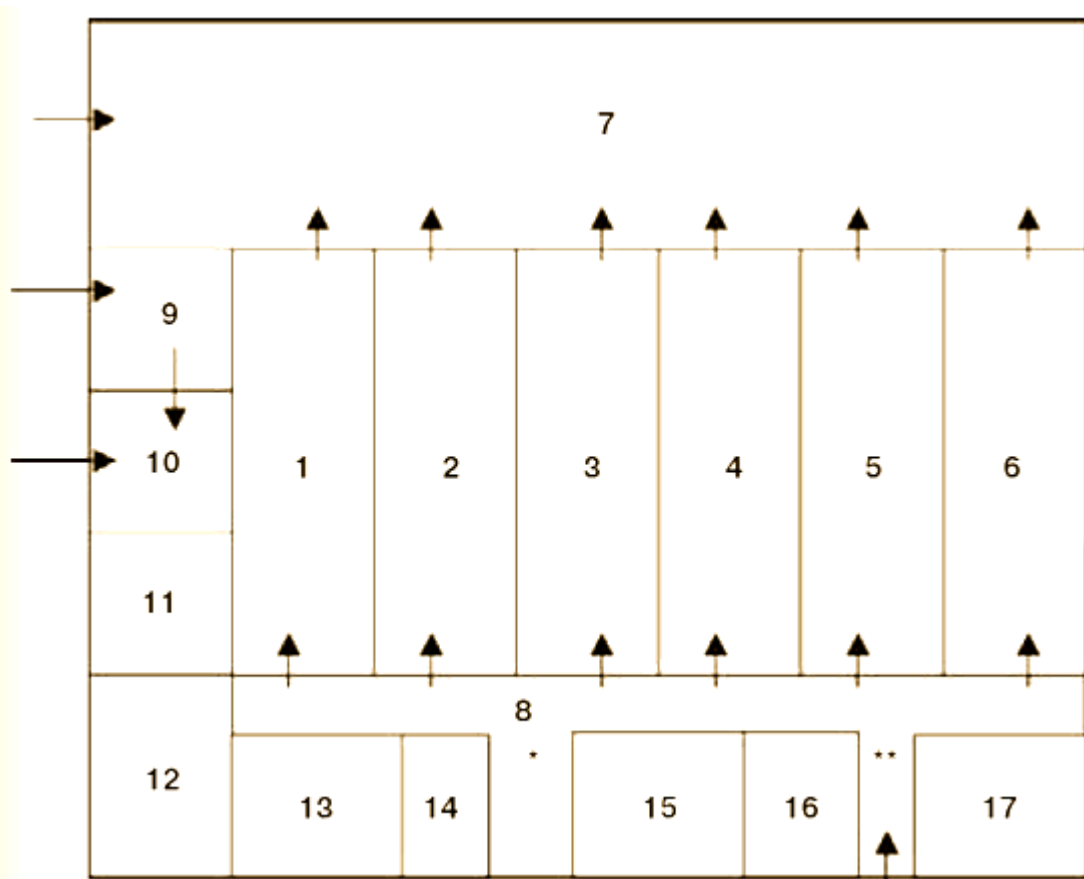


Рис. 2.3. Схематичний план ферми на 6 камер для вирощування печериць

1-6 – камери вирощування; 7 – технологічний коридор (Д х Ш = 42м х 10м); 8 – робочий коридор (Д х Ш = 36м х 5м); 9 – приміщення для приготування покрівельної суміші; 10 – приміщення для зберігання торфу; 11 – котельня; 12 – приміщення для переробки грибів; 13 – холодильник для зберігання грибів; 14 – камера для швидкого охолодження грибів; \* - між 14 та 15 можна розташувати стіл для пакування грибів; 15 – офісне приміщення; 16-17 – побутові приміщення; \*\* - вхід до шампінйонниці.

Розмір ферми –  $42\text{м} \times 35\text{м} = 1470\text{м}^2$ .

Розміри камери вирощування –  $\text{Д} \times \text{Ш} \times \text{В} = 20,0\text{м} \times 6,0 \times 3,8\text{м}$ .

Кількість стелажів у камері – 2 шт.

Кількість ярусів у кожному стелажі – 5.

Розміри стелажу –  $\text{Д} \times \text{Ш} = 17\text{м} \times 1,4\text{м}$ .

Площа вирощування 1-ї камери –  $F_k = 1,4 \times 17,0 \times 5 \times 2 = 238\text{м}^2$ .

Для розробки імітаційної моделі необхідно використати рівняння динаміки зміни температури і вмісту вологи в приміщенні камери для вирощування печериць.

Об'єм камери, і відповідно повітря, становить  $V_k = 20,0 \times 6,0 \times 3,8 = 456\text{ м}^3$ .

Характеристики вентиляційного повітря без додаткового зволоження такі: при температурі  $t_v = 13^\circ\text{C}$  відносна вологість складе  $\varphi_v = 80\%$ , а повітря в камері вирощування такі: при температурі  $t_v = 18^\circ\text{C}$  відносна вологість складе  $\varphi_v = 90\%$ ,

Густина і теплоємність вентиляційного повітря і повітря в камері росту змінюється незначно і тому ми його приймаємо:  $\rho_p = 1,293 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  і

$C_p = 1050 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$ . Кількість вуглекислого газу виділеного з площі субстрату

приймаємо, як для початку періоду хвилі збирання врожаю  $G'_g = 1,6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{год} \cdot \text{м}^2}$ .

Барометричний тиск в камері приймемо  $P_g = 750\text{ мм.рт.ст.}$  Коефіцієнт

тепловиділення субстрату при саморозігріванні складе  $\mu_k = 2.3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ . Об'єм

вентиляційних каналів порохуємо при загальній їх площі перетину  $0,25\text{м}^2$  і довжині каналів у 7 метрів і він складе  $V_t = 1,75\text{м}^3$ .

В середовищі пакету MathCad розрахуємо деякі характеристики об'єкту і коефіцієнти імітаційної моделі.

Розрахунок коефіцієнтів імітаційної моделі ТОУ камери вирощування грибів

Вихідні дані:

1. Температура вентиляційного повітря, град С	$t_v := 13$
2. Відносна вологість вентиляційного повітря, %	$\phi_v := 80$
3. Барометричний тиск, мм.рт. ст	$P_b := 750$
4. Площа зайнята субстратом, м <sup>2</sup>	$F_k := 238$
5. Кількість CO <sub>2</sub> виділено з 1 м <sup>2</sup> субстрату, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> /год	$G_{1b} := 0.0016$
6. Концентрація CO <sub>2</sub> в повітрі камери, %	$C_b := 0.08$
7. Коефіцієнт виділення тепла субстратом з 1 м <sup>2</sup> , Вт/м <sup>2</sup>	$\mu_k := 2.3$
8. Об'єм камери вирощування печериць, м <sup>3</sup>	$V_k := 456$
9. Об'єм вентиляційних каналів, м <sup>3</sup>	$V_t := 1.75$

Розрахунки

1. Вміст вологи у вентиляційному повітрі, г/м<sup>3</sup> сух повітря

$$P_v := 5.343124 + 0.027872 \cdot t_v + 0.03135 \cdot t_v^2 - 3.40352 \cdot 10^{-4} \cdot t_v^3 + 7.719212 \cdot 10^{-6} \cdot t_v^4$$

$$P_v = 10.476$$

$$d_v := 0.622 \cdot \frac{\phi_v \cdot P_v}{100 \cdot P_b - \phi_v \cdot P_v} \cdot 1000$$

$$d_v = 7.029$$

2. Витрати вентиляційного повітря, м<sup>3</sup>/с

$$V_v := \frac{G_{1b} \cdot F_k}{C_b \cdot 3600} \cdot 100$$

$$V_v = 0.132$$

3. Тепло, виділене субстратом, Вт

$$Q_k := F_k \cdot \mu_k$$

$$Q_k = 547.4$$

4. Постійна часу об'єкту по каналу регулювання вологості повітря, с.

$$T_w := \frac{V_k}{V_v} \quad T_w = 3796.875$$

5. Час запізнення об'єкту по каналу регулювання вологості повітря, с.

$$\tau_w := \frac{V_t}{V_v} \quad \tau_w = 12.305$$

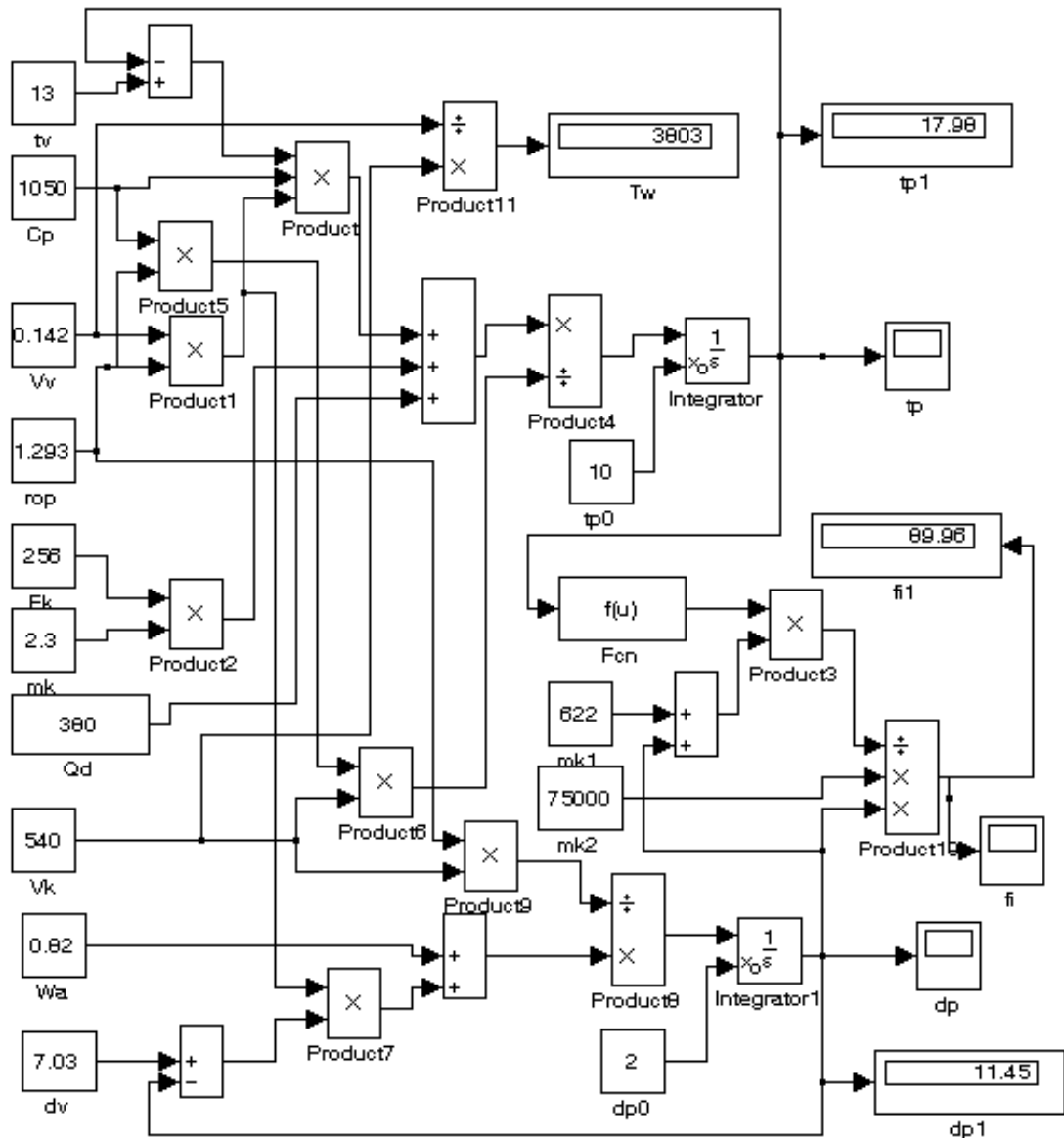


Рис. 2.4. Імітаційна модель в середовищі Simulink MATLAB камери для вирощування печериць

Далі побудуємо в середовищі пакету Simulink MATLAB імітаційну модель камери вирощування печериць, використавши для неї рівняння математичної моделі. Вхідними параметрами моделі будуть характеристики

повітря, позначені  $C_p$ ,  $\rho_{\text{гор}}$ , температура і витрати вентиляційного повітря ( $t_v$ ,  $V_v$ ), площа зайнята субстратом ( $F_k$ ), коефіцієнт виділення тепла субстратом ( $m_k$ ), об'єм повітря в камері ( $V_k$ ), розрахований вміст вологи у вентиляційному повітрі ( $d_v$ ). Також тут приведені параметри керування об'єктом: додатковий нагрів камери ( $Q_d$ ), додаткове зволоження повітря ( $W_a$ ).

На виході моделі виводяться значення постійної часу об'єкту по каналу регулювання вмісту вологи в повітрі ( $T_w$ ), температуру в камері ( $t_p$ ), вміст вологи і відносну вологість повітря ( $d_p$ ,  $f_i$ ).

Початковими значеннями збурення в моделі прийнято для температури ( $t_{p0}$ )  $10^\circ\text{C}$ , для вмісту вологи ( $d_{p0}$ )  $2 \text{ г/кг}$  сухого повітря.

На імітаційній моделі були проведені дослідження по визначенню необхідних значень регулюючих дій для забезпечення нормального режиму вирощування грибів у камері: температури  $18^\circ\text{C}$  і відносної вологості повітря 90%. В результаті дослідження динаміки процесу були отримані розгінні характеристики по каналах температури і вмісту вологи в повітрі (рис. 2.5, 2.6).

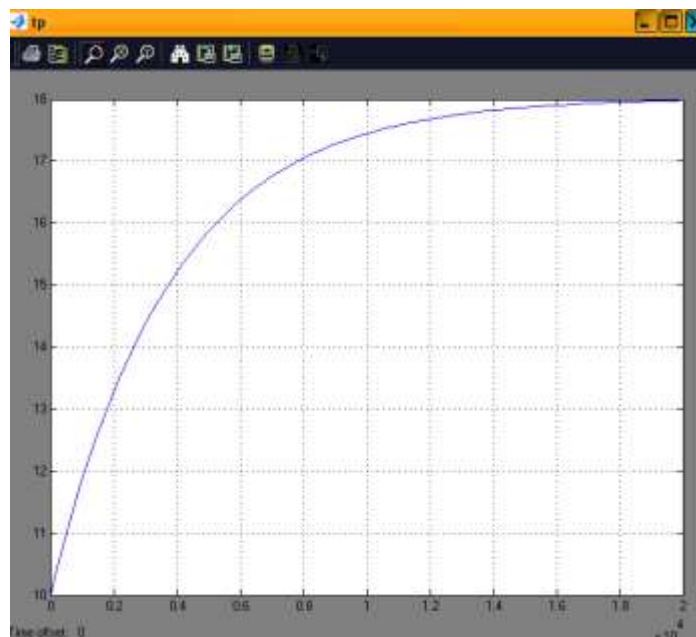


Рис. 2.5. Розгінна характеристика камери по каналу регулювання температури повітря

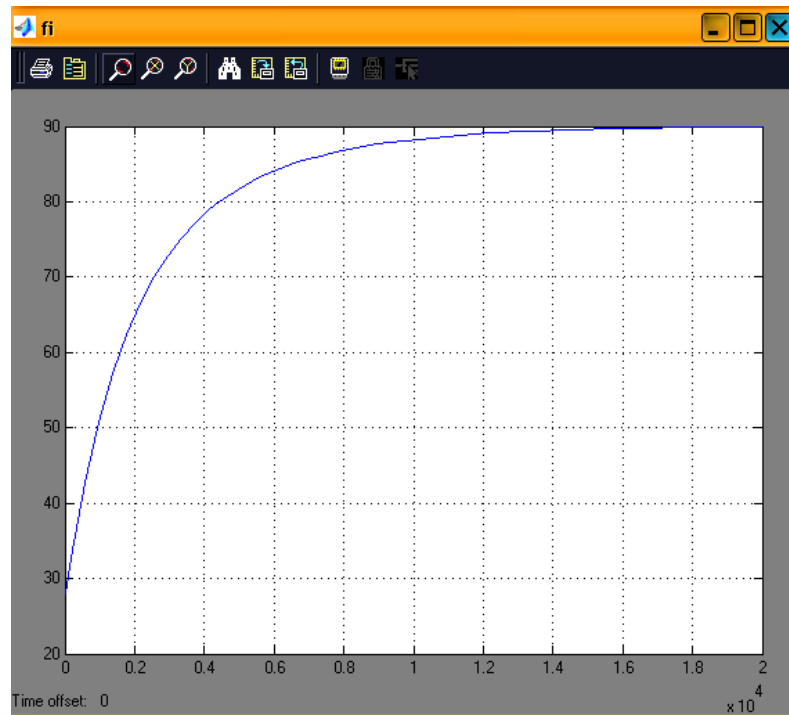


Рис. 2.6. Розгінна характеристика камери по каналу регулювання вмісту вологи в повітрі

Дані криві були отримані при встановленні часу моделювання 20000с. Для забезпечення виходу на задані параметри необхідно було виставити додатковий нагрів камери ( $Q_d$ ) 380 Вт і додатковий розпил вологи в повітрі камери ( $W_a$ ) величиною в 0,82 кг/с.

Постійна часу по каналу вмісту вологи склала  $T_w = 3803$  секунди а запізнення  $\tau_w = 12,3$  секунди.

Для розрахунку передаточного коефіцієнту об'єкту (%/кг води на зволоження) визначили витрати вологи, 0,82 кг/с для підтримання відносної вологості 90%. і витрати вологи для підтримання відносної вологості 85 %. Вони становлять 0,7 кг/с . Відповідно  $\Delta\delta^{\max} = 90\% - 85\% = 5\%$ , а  $\Delta\lambda = 0,82 - 0,7 = 0,12$  кг/с. Передаточний коефіцієнт буде рівний:

$$K_w = \left| \frac{\Delta\delta^{\max}}{\Delta\lambda} \right| = \frac{5}{0.12} = 41.7 \text{ \%/кг/с.}$$

### 2.3 Визначення передатної функції камери для вирощування грибів для каналу "температура повітря – потужність нагрівача"

Властивості об'єктів можуть бути відображені в їх динамічних характеристиках, які, в свою чергу, виражені в їх передатних функціях.

Для визначення передатної функції камери для вирощування шампінйонів для каналу "температура повітря – потужність нагрівача" був використаний графічний метод. Для цього розгінна характеристика була пронормована за виразом

$$y(t_i) = \frac{y(t_i) - y(t_0)}{y(\infty) - y(t_0)} = \frac{y(t_i) - 10}{18,2 - 10} \quad (2.18)$$

Результати розрахунку занесені в таблицю 2.1, нормована крива розгону камери для вирощування шампінйонів зображена на рисунку 2.7.

Таблиця 2.1.

Розрахункові дані для побудови нормованої розгінної характеристики камери для вирощування печериць для каналу "температура повітря – потужність нагрівача"

Час $t_i, c$	Температура $T, ^\circ C$	$y(t_i)$	Час $t_i, c$	Температура $T, ^\circ C$	$y(t_i)$
0	10,000	0	8000	17,233	0,882
500	10,767	0,093	8500	17,367	0,898
1000	11,733	0,211	9000	17,467	0,911
1500	12,667	0,325	9500	17,567	0,923
2000	13,400	0,415	10000	17,633	0,931
2500	14,000	0,488	11000	17,767	0,947
3000	14,500	0,549	12000	17,900	0,963
3500	14,967	0,606	13000	17,967	0,972
4000	15,367	0,654	14000	18,033	0,980
4500	15,733	0,699	15000	18,067	0,984
5000	16,033	0,736	16000	18,100	0,988
5500	16,300	0,768	17000	18,133	0,992
6000	16,533	0,797	18000	18,167	0,996
6500	16,720	0,820	19000	18,200	1,000
7000	16,933	0,846	20000	18,200	1,000
7500	17,100	0,866			

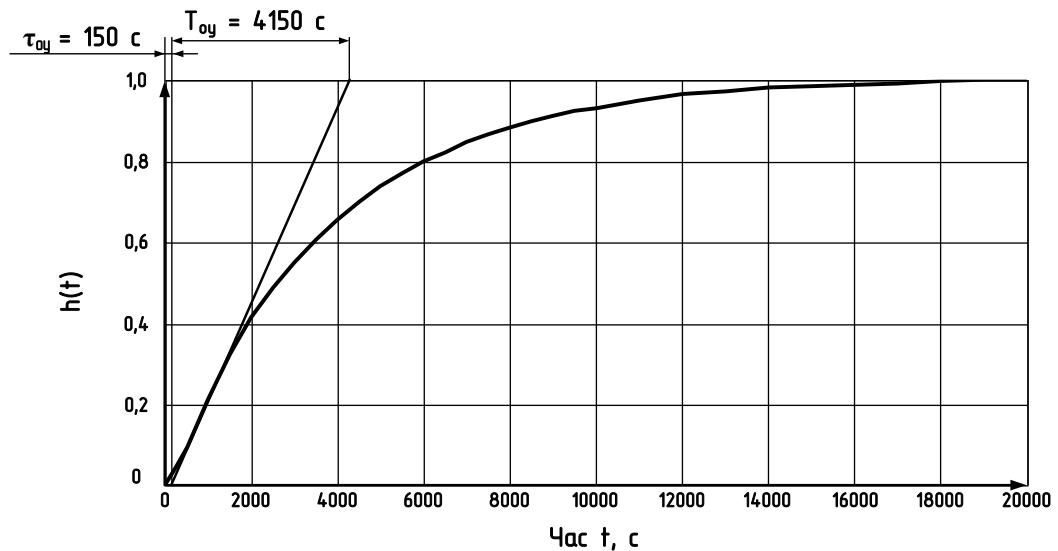


Рис. 2.7. Розгінна характеристика камери для вирощування шампінйонів для каналу "температура повітря – потужність нагрівача"

Для статичних об'єктів передатна функція, отримана за кривою розгону, представляється у вигляді інерційної ланки із запізненням

$$W(s) = \frac{k_{oy} \cdot e^{-\tau_{oy} \cdot s}}{T_{oy} \cdot s + 1}, \quad (2.19)$$

де  $k_{oy}$  - коефіцієнт передачі об'єкта;  $T_{oy}$  - постійна часу об'єкта, що характеризує його інерційність, с;  $\tau_{oy}$  - час чистого запізнення, с.

Чисельне значення постійної часу  $T_{oy}$  та часу запізнення  $\tau_{oy}$  об'єкта знаходять за допомогою дотичної, яку проводять до точки перегину розгінної характеристики (рис. 2.7). Точка перегину відповідає середині відрізка часу, на якому спостерігається максимальний приріст ординати кривої розгону.

Коефіцієнт передачі об'єкта керування визначаємо за формулою

$$k_{oy} = \frac{T_K - T_{II}}{\Delta x}, \quad (2.20)$$

де  $T_K$  та  $T_{II}$  – відповідно кінцеве та початкове значення температури в камері для вирощування шампінйонів, °С;

$\Delta x$  – зміна вхідного впливу, %.

$T_K = 18,2^\circ\text{C}$ ,  $T_{II} = 10^\circ\text{C}$ ;  $\Delta x = 30\%$ .

$$k_{ov} = \frac{18,2 - 10}{30} = 0,273 \left[ \frac{^{\circ}C}{\% \text{ ходу рег. орг.}} \right].$$

Значення постійної часу та часу чистого запізнення, визначені з нормованої розгінної характеристики камери, складають

$$T_{ov} = 4150 \text{ c}, \tau_{ov} = 150 \text{ c}.$$

Передатна функція камери для вирощування шампінйонів для каналу "температура повітря – потужність нагрівача"

$$W_{ov}(s) = \frac{0,273}{4150 \cdot s + 1} \cdot e^{-150 \cdot s}.$$

## **2.4 Аналіз варіантів установки теплоутилізатора в системі вентиляції культиваційного приміщення для вирощування печериць**

Підтримання нормативних параметрів мікроклімату у культиваційних приміщеннях потребує значних витрат енергії на нагрів припливного повітря взимку та його охолодження влітку. Поряд з цим, в навколишнє середовище викидається вентиляційне повітря, яке може служити джерелом тепла для нагріву потоку припливного повітря в рекуперативних теплоутилізаторах взимку та його охолодження влітку. Пропозиція рекуперативних теплоутилізаторів на ринку України останнім часом значно зросла. Як правило, теплоутилізатори пропонуються в складі комплектних установок, які забезпечують повне кондиціювання повітря в приміщеннях. Для оцінки енергетичних параметрів в їх технічних характеристиках використовуються показники, які мають різний фізичний зміст. Це призводить до невідповідності задекларованих та реально отримуваних енергозберігаючих властивостей теплоутилізаторів.

Для недопущення обмерзання теплообмінних пластин теплоутилізаторів розроблені пристрої, які передбачають часткове повернення внутрішнього повітря, яке пройшло через теплоутилізатор. В теплоутилізаторі воно

підсушується, очищується від пилу та ще має позитивну температуру. Змішуючи його із зовнішнім повітрям, можна в теплоутилізатор подати суміш із заданої температурою незалежно від зовнішньої температури. Щоб виключити обмерзання, необхідно підтримувати позитивну температуру повітряного потоку по всій довжині теплообмінної поверхні. При попутному русі повітряних потоків цього можна досягти при низьких зовнішніх температурах, а при зустрічному русі – тільки при незначній довжині теплообмінної поверхні [27].

Встановлено, що при проходженні через вентилятор повітря нагрівається на значення від 1,5 до 2°C за рахунок політропного стискування. Тому вентилятор припливного повітря необхідно встановлювати після теплоутилізатора, а вентилятор викидного повітря – перед теплоутилізатором. Обґрунтовані параметри плівкового теплообмінника типу “труба в трубі” з прямотоком та противотоком [21] та пластинчатого рекуператора із сталевих профільних листів розміром 1400x700мм, товщиною 1мм, на яких штампуванням зроблені овалоподібні виступи. Загальна поверхня нагріву становить 50м<sup>2</sup>, а подача повітря – 2500 м<sup>3</sup>/год. [4].

Існує також спосіб зменшення повітрообміну за рахунок осушування внутрішнього повітря з використанням теплоутилізатора [22]. Встановлено також, що теплотехнічна ефективність нагріву повітря в припливних повітропроводах становить 0,15 відносних од. [12].

Однак використання теплоутилізаторів у системах вентиляції без аналізу енергетичної ефективності часто не дозволяє отримати економічний ефект від зменшення споживання енергії.

Тепловий баланс теплоутилізатора має вигляд [9]:

$$Q_O - Q_{KT}^{BT} - Q_K^{BT} - Q_O^T = Q_H^T - Q_H, \quad (2.21)$$

де  $Q_O$  – тепловий потік із повітрям, що охолоджується перед теплоутилізатором, кВт;

$Q_O^T$  – тепловий потік із повітрям, що охолоджується після теплоутилізатора, кВт;

$Q_{KT}^{BT}$  – тепловий потік втрат на нагрів корпусу теплоутилізатора, кВт;

$Q_K^{BT}$  – тепловий потік втрат із виділенням конденсатом у каналах теплоутилізатора, де проходить повітря, що охолоджується, кВт;

$Q_H^T$  – тепловий потік із повітрям, що нагрівається після теплоутилізатора, кВт;

$Q_H$  – тепловий потік із повітрям, що нагрівається перед теплоутилізатором, кВт.

З рівняння теплового балансу теплоутилізатора видно, що кількість тепла, яка відбирається від потоку повітря, що охолоджується, завжди більша за тепловий потік на нагрів повітря на величину втрат тепла в теплоутилізаторі, оскільки не все тепло від потоку охолоджуваного повітря передається повітрю, що нагрівається. Коефіцієнт утилізації тепла визначається як відношення кількості повернутого тепла до умовного максимального теплового потоку, який міг би бути отриманий при охолодженні теплового потоку до початкових параметрів потоку, що нагрівається. Розділивши обидві частини рівняння теплового балансу теплоутилізатора на максимально можливий тепловий потік, одержимо:

$$\frac{Q_O - Q_{KT}^{BT} - Q_K^{BT} - Q_O^T}{Q^{MAX}} = \frac{Q_H^T - Q_H}{Q^{MAX}}; \quad (2.22)$$

$$\varepsilon = \frac{Q_H^T - Q_H}{Q^{MAX}} = \frac{V_H \rho_H (i_H^T - i_H)}{V_H (\rho_O i_O - \rho_H i_H)} = \frac{i_H^T - i_H}{\frac{\rho_O}{\rho_H} i_O - i_H}, \quad (2.23)$$

де  $\varepsilon$  – коефіцієнти утилізації тепла, відносних од.;

$Q^{MAX}$  – умовно максимальний тепловий потік, який міг би бути отриманий при охолодженні теплового потоку до початкових параметрів потоку, що нагрівається, кВт;

$V_O$  – витрати повітря, що охолоджується, м<sup>3</sup>/год.;

$V_H$  – витрати повітря, що нагрівається, м<sup>3</sup>/год.;

$\rho_O$  – густина повітря, що охолоджується, кг/м<sup>3</sup>;

$i_o$  – ентальпія повітря, що охолоджується перед теплоутилізатором, кДж/кг;

$\rho_H$  – густина повітря, що нагрівається, кг/м<sup>3</sup>;

$i_H, i_H^T$  – ентальпія повітря, що нагрівається відповідно до та після теплоутилізатора, кДж/кг.

У потоці повітря, що нагрівається, вологомісткість повітря не змінюється, а в потоці повітря, що охолоджується, вологомісткість залишається постійною тільки до точки роси, а потім починає зменшуватися. У випадку незмінності вологомісткості повітря коефіцієнт утилізації тепла можна визначати за простішою формулою, яка не потребує вимірювання відносної вологості повітря після проходження через теплоутилізатор

$$\varepsilon = \frac{c_H (T_H^T - T_H)}{\frac{V_o}{V_H} \left( \frac{\rho_o}{\rho_H} i_o - i_H \right)}, \quad (2.24)$$

де  $T_H, T_H^T$  – температура повітря, що нагрівається відповідно до та після теплоутилізатора, °С;

$c_H$  – тепломісткість повітря, що нагрівається, кДж/кг °С.

Цю формулу інколи ще спрощують, вводячи допущення про рівність густини й тепломісткості повітря, що охолоджується та нагрівається, а також вважаючи повітря сухим (у каналі охолодження повітря відсутнє випадання конденсату). Тоді вона використовується для визначення коефіцієнта температурної ефективності теплоутилізаторів [6] і набуває вигляду:

$$\eta = \frac{T_H^T - T_H}{\frac{V_o}{V_H} (T_o - T_H)}, \quad (2.25)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт температурної ефективності, відносних од.;

$T_o$  – температура повітря, що охолоджується перед теплоутилізатором, °С.

Загальновідомо, що в ідеальному випадку при відсутності втрат тепла рівняння теплового балансу теплоутилізатора для вищенаведених умов матиме вигляд:

$$m_o c_o (T_o - T_o^T) = kF \Delta T = m_H c_H (T_H - T_H^T), \quad (2.26)$$

де  $m_o, m_H$  – масова витрата повітря, що відповідно охолоджується та нагрівається, кг/с;

$c_o$  – теплоємність повітря, що охолоджується, кДж/кг °С;

$T_o^T$  – температура повітря, що охолоджується після теплоутилізатора, °С;

$k$  – коефіцієнт теплопередачі через поверхню теплообміну, кВт/м<sup>2</sup> °С;

$F$  – площа поверхні теплообміну, м<sup>2</sup>;

$\Delta T$  – середньоарифметичний температурний напір, °С.

Середньоарифметичний температурний напір у теплоутилізаторі визначається [9]:

$$\Delta T = (T_o - T_H)(1 - \eta). \quad (2.27)$$

Тоді зміна температури повітря під час нагрівання в теплоутилізаторі становитиме:

$$(T_H - T_H^T) = \frac{kF}{m_H c_H} (T_o - T_H)(1 - \eta). \quad (2.28)$$

З урахуванням вищенаведеного, вираз для визначення коефіцієнта температурної ефективності теплоутилізаторів набуває вигляду:

$$\eta = \frac{1}{\frac{m_H c_H}{kF} + 1}. \quad (2.29)$$

Для створення конструкції теплоутилізатора з високим коефіцієнтом температурної ефективності необхідно, щоб при однакових витратах повітря через канали охолодження та нагріву повітря величина знаменника у формулі (2.29) наближалася до одиниці або

$$\frac{m_H c_H}{kF \cdot 10^{-3}} \rightarrow 0. \quad (2.30)$$

Роблячи припущення, що коефіцієнт теплопередачі через поверхню теплообміну не залежить від швидкості повітря в каналах, одержимо:

$$\frac{mc}{kF \cdot 10^{-3}} = \frac{vS\rho c}{kF \cdot 10^{-3}} = \frac{vbh\rho c}{khL \cdot 10^{-3}} = v \frac{b}{L} \frac{\rho c}{k} \cdot 10^3, \quad (2.31)$$

де  $m$  – масова витрата повітря в каналі теплоутилізатора, кг/с;

$v$  – швидкість повітря в каналах теплоутилізатора, м/с;

$S$  – площа перерізу каналу теплоутилізатора, м<sup>2</sup>;

$\rho$  – густина повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$c$  – теплоємність повітря, кДж/кг °С;

$b, h, L$  – відповідно ширина, висота та довжина каналу теплоутилізатора,

м;

Аналіз даного виразу дозволяє зробити висновок, що коефіцієнт температурної ефективності теплоутилізатора залежить від його конструктивних параметрів і збільшується при зменшенні відстані між теплообмінними пластинами та збільшенні їх довжини. Додержання цієї вимоги при виготовленні теплоутилізатора можливе до деякої міри, а згодом призводить до значного збільшення потужності вентиляторів, які продувають повітря через канали теплоутилізатора. Найпоширенішими є теплоутилізатори, в яких довжина каналу дорівнює висоті, а коефіцієнт температурної ефективності близький до 0,5 відносних од. [11].

Фактично коефіцієнт температурної ефективності характеризує ефективність передачі тепла від охолоджуваного повітря через теплопередаючу поверхню до повітря, яке нагрівається, і практично не залежить від температури. Водночас, коефіцієнт утилізації характеризує здатність теплоутилізатора повернути тепло у культивацийне приміщення взимку або охолодити припливне повітря. Як правило, величина коефіцієнта утилізації тепла наполовину менша від коефіцієнта температурної ефективності [26].

Існує декілька варіантів установки теплоутилізаторів у системах вентиляції культивацийного приміщення для вирощування їстівних грибів (рис. 2.8).

Для вибору варіанту установки теплоутилізатора проведемо аналіз даних варіантів при постійному значенні коефіцієнта температурної ефективності, що дорівнює 0,5 відносних од. [2]. Аналіз (рис. 2.9) показав, що подача в теплоутилізатор суміші зовнішнього припливного та внутрішнього рециркуляційного повітря (варіант 1), а також суміші зовнішнього припливного та викидного рециркуляційного (варіант 2) в умовах, коли рециркуляційний потік повітря в декілька разів перевищує потік зовнішнього припливного та відповідно внутрішнього викидного, не забезпечує суттєвого перепаду температури потоків повітря, які надходять у теплоутилізатор. Температура теплообмінної поверхні для цих варіантів у всьому температурному діапазоні температур зовнішнього повітря не досягає нульового.

При установці теплоутилізатора таким чином, щоб змішування потоків припливного та рециркуляційного повітря відбувається після теплоутилізатора (варіанти 3 та 4), перепад температури припливного повітря при проходженні через теплоутилізатор однаковий для обох варіантів. Водночас, у випадку, коли рециркуляційне повітря не проходить через теплоутилізатор (варіант 3), температура теплообмінної поверхні досягає нульового значення при невисоких значеннях температури зовнішнього повітря в межах від мінус 4 до 5°C. При пропусканні рециркуляційного повітря через теплоутилізатор (варіант 4) температура теплообмінної поверхні досягає нульового значення при більш низьких значеннях температури зовнішнього повітря. При цьому усунення обледеніння можливе за рахунок використання технічних засобів для його ліквідації.

Попередження обмерзання теплообмінної поверхні теплоутилізатора може бути досягнуте за рахунок незначного зменшення притоку зовнішнього повітря при найбільш низьких значеннях його температури або шляхом установки перед теплоутилізатором калорифера для забезпечення підігріву припливного повітря до необхідної температури.

Найбільш доцільно теплоутилізатори в системах вентиляції культивувальних приміщень для вирощування грибів установлювати по схемах,

які передбачають змішування потоків припливного та рециркуляційного повітря після теплоутилізатора.

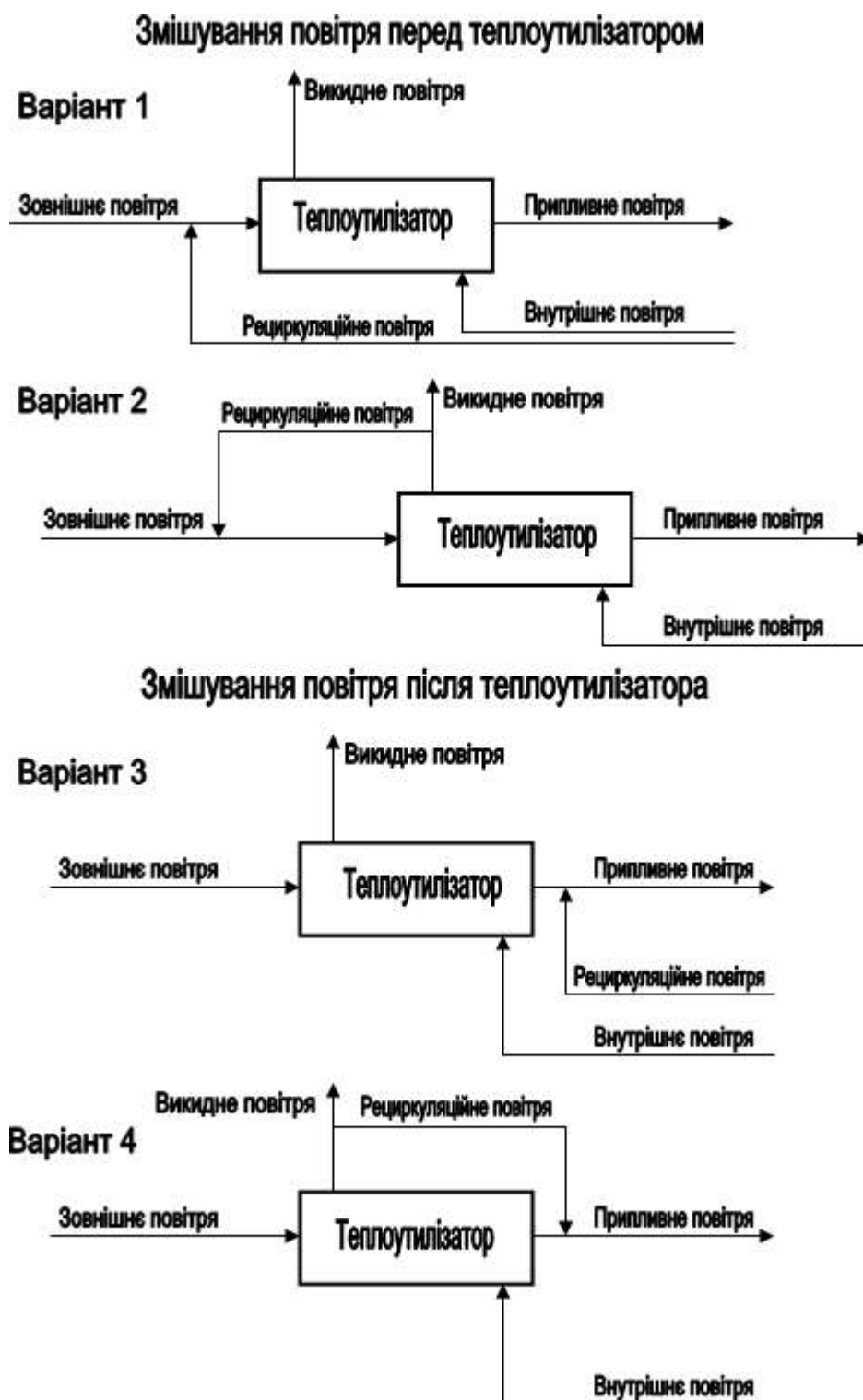


Рис. 2.8. Схеми установки теплоутилізатора в системі вентиляції культивацийного приміщення для вирощування грибів

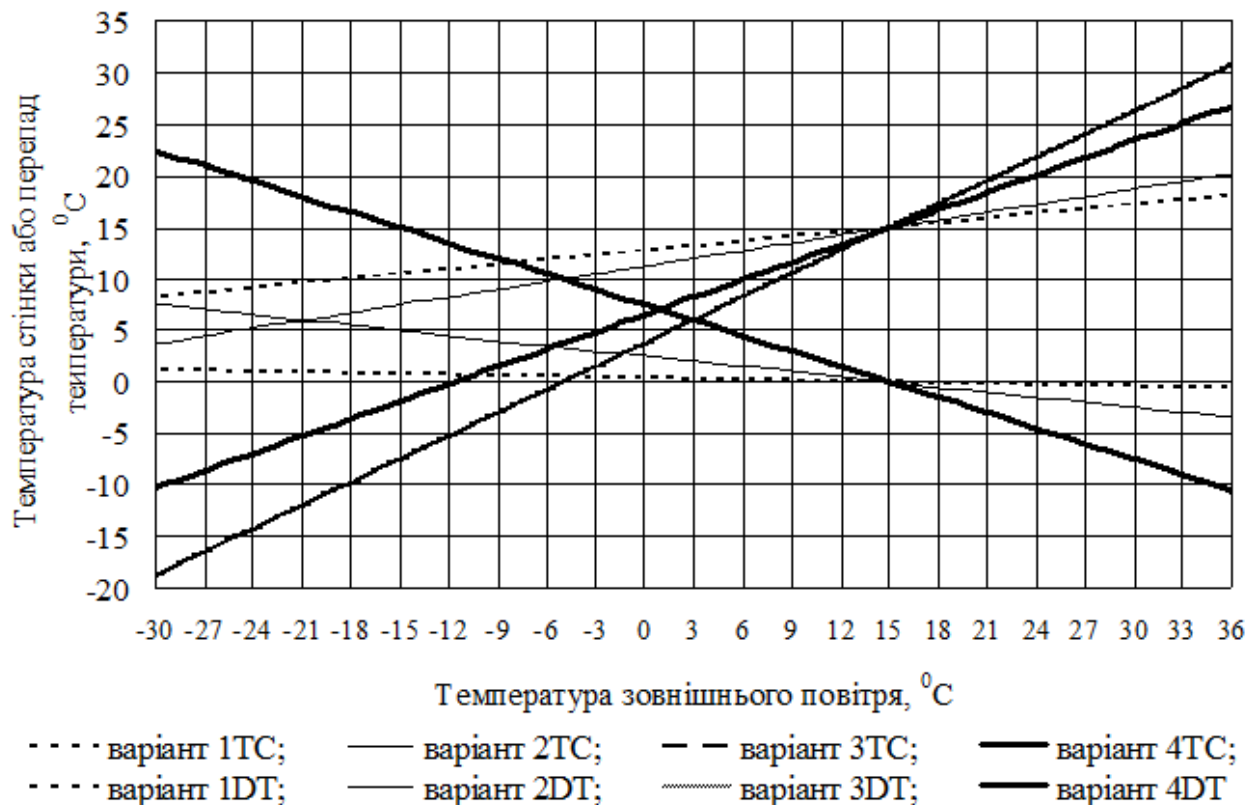
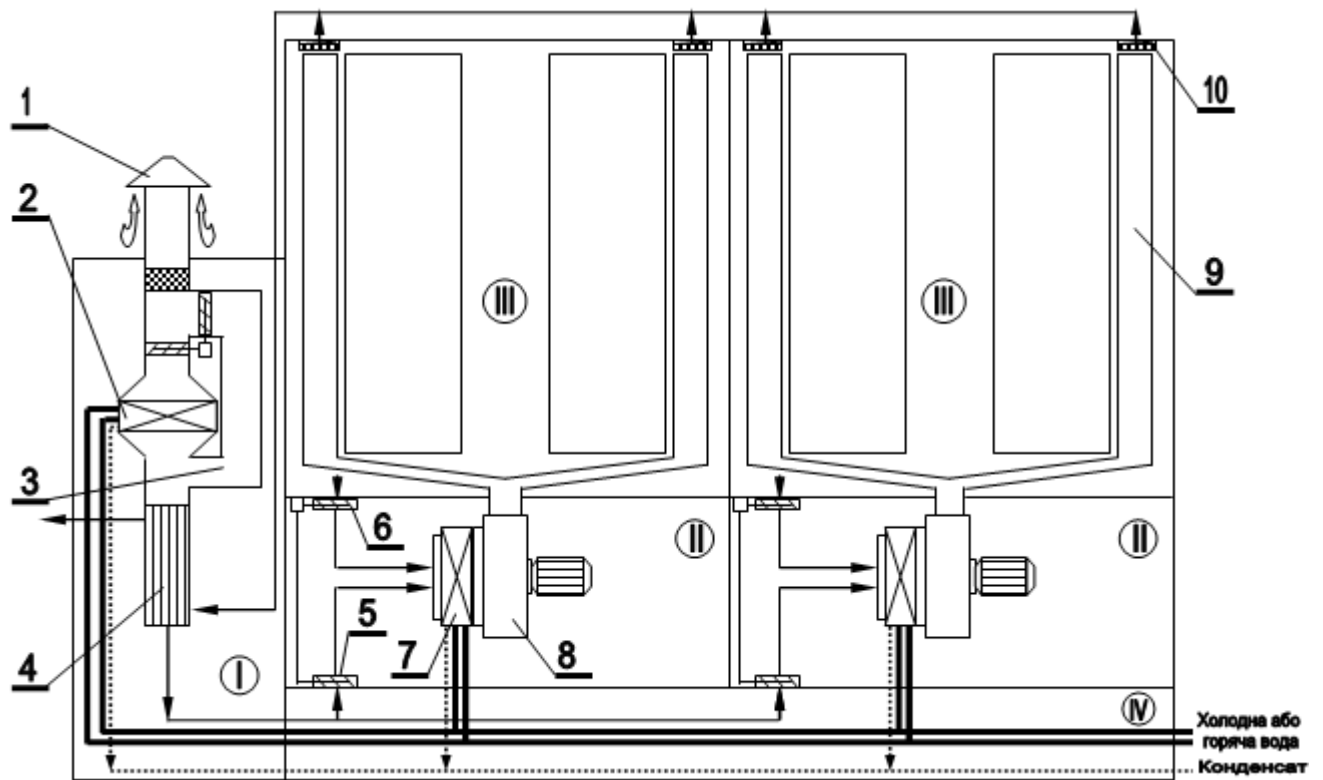


Рис. 2.9. Аналіз температурних режимів установки теплоутилізаторів у системі вентиляції культивацийного приміщення

Опалювально-вентиляційне обладнання доцільно розміщувати за межами культивацийного приміщення, що забезпечить можливість його технічного обслуговування й ремонту, не порушуючи температурно-вологісного режиму.

Схема системи вентиляції культивацийного приміщення з теплоутилізатором наведена на рис. 2.10.

Основна функція системи вентиляції – підтримання заданих параметрів мікроклімату в культивацийних приміщеннях під час вирощування грибів.



I – припливна камера; II – вентиляційна камера культивувального приміщення;  
III – культивувальне приміщення; IV – технологічний коридор

Рис. 2.10. Схема вентиляції культивувальних приміщень для вирощування грибів:

1 – припливна шахта з повітряним фільтром; 2 – центральний водяний теплообмінник; 3 – обвідний канал; 4 – центральний теплоутилізатор; 5,6 – заслінка припливного та рециркуляційного повітря; 7 – автономний водяний теплообмінник; 8 – вентилятор; 9 – повітропровід; 10 – клапан викидного повітря з фільтром

Основні етапи розбудови системи вентиляції культивувального приміщення:

- установка повітропроводів, вентилятора та заслінок припливного та викидного повітря, що забезпечить можливість виробництва грибів у перехідний період;
- монтаж системи опалення та автономних водяних теплообмінників, що забезпечить можливість виробництва грибів також у зимовий період;
- монтаж центрального водяного теплообмінника, що забезпечить зменшення теплового навантаження на автономні водяні теплообмінники;
- монтаж системи охолодження води, що забезпечить можливість виробництва грибів також у літній період;

- монтаж системи зволоження повітря;
- установка центрального теплоутилізатора, що забезпечить можливість економії енергії на нагрів або охолодження повітря.

Під час роботи системи вентиляції суміш припливного і рециркуляційного повітря нагрівається або охолоджується, проходячи через автономний водяний теплообмінник та подається в розподільчі повітропроводи. Припливне зовнішнє повітря забирається через шахту, проходить повітряний фільтр, по розподільчому повітропроводі, який розміщений у технологічному коридорі, а потім через заслінки припливного повітря подається на змішування з рециркуляційним повітрям культивацийних приміщень.

Викидне вентиляційне повітря через повітряні фільтри та клапани викидного повітря надходить у центральний теплоутилізатор, а потім у навколишнє середовище.

## РОЗДІЛ 3

### ВИБІР РЕГУЛЯТОРА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЙОГО НАЛАШТУВАНЬ

#### 3.1 Вибір алгоритму керування

Будь-яка система автоматичного керування складається з регулятора та об'єкта керування. Динамічні властивості останнього відіграють вирішальну роль при виборі найбільш ефективного алгоритму керування.

Встановлено, що критерієм для правильного вибору алгоритму керування може служити значення відношення часу чистого запізнення об'єкта до його постійної часу, тобто  $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}}$  [13, 20]. Для цього передатна функція для статичного об'єкта повинна бути представлена у вигляді (2.17).

- якщо  $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} < 0,2$ , перевагу віддають позиційному (релейному)

алгоритму керування, але можливе використання і неперервного алгоритму. Рішення приймається в залежності від технологічних вимог до процесу управління.

- якщо  $0,2 < \frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} < 1,0$ , перевагу віддають неперервному або

цифровому алгоритму керування (П-, ПІ- або ПІД-алгоритм керування)

- якщо  $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} > 1,0$ , вибирають спеціальний цифровий регулятор з

екстраполятором, який компенсує запізнювання в контурі керування.

Крім того, для обґрунтування алгоритму керування і вибору регулятора, який відповідає цьому закону, необхідно знати не тільки властивості об'єкта та вимоги до технологічного процесу, але й деякі конструктивні особливості самих регуляторів. Промислові регулятори реалізують алгоритм керування з

певною похибкою, що обов'язково повинно враховуватись при виборі усіх технічних засобів, що входять до складу системи автоматичного керування.

В нашому випадку передатна функція камери для вирощування шампінйонів для каналу "температура повітря – потужність нагрівача"

дорівнює  $W_{ov}(s) = \frac{0,273}{4150 \cdot s + 1} \cdot e^{-150s}$ , для неї відношення  $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} = \frac{150}{4150} = 0,04$ .

Як уже було зазначено, у різні фази вирощування шампінйонів призначення технологічного обладнання та його режими роботи можуть змінюватись. Так, після завантаження камери компостом вентиляція працює неперервно, після нанесення покривного матеріалу вона є мінімальною для накопичення CO<sub>2</sub>; у фазі охолодження заслінка камери підготовки повітря постійно збільшує кількість зовнішнього повітря. У фазі плодоношення температура повітря регулюється зміною співвідношення кількості свіжого та рециркуляційного повітря у камері підготовки. Тому лише за співвідношенням  $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}}$  обирати позиційний закон керування обирати неможна. Закон керування повинен бути обраний неперервний.

ПІ-регулятори на практиці є одними з найбільш поширених, яким властиві наступні переваги:

- забезпечують нульову статичну похибку регулювання;
- є достатньо простими в налагодженні, оскільки мають тільки два параметри настройки – коефіцієнт підсилення  $k_p$  і постійну часу інтегрування  $T_I$ . В таких регуляторах існує можливість оптимізації величини співвідношення  $\frac{k_p}{T_I} \rightarrow \min$ , що забезпечує управління з мінімально можливою середньоквадратичною похибкою регулювання;

- мала чутливість до шумів у каналі вимірювання (на відміну від ПІД-регуляторів).

На стадії проектування розрахунок параметрів настройки ПІ-регуляторів, за якими їх вибирають, ведуть здебільшого за трьома інженерними



$$\begin{aligned}\overline{OD} &= W(j \cdot \omega_i) = \overline{OE_i} + \overline{ED_i} = k_P \cdot W_{OY}(j \cdot \omega) - \frac{k_P \cdot W_{OY}(j \cdot \omega)}{T_i \cdot \omega} = \\ &= k_P \cdot \overline{OA_i} - j \cdot \frac{k_P \cdot \overline{OA_i}}{T_i \cdot \omega}.\end{aligned}\quad (3.2)$$

Звідки

$$\overline{OE_i} = k_P \cdot \overline{OA_i}, \quad k_P = \frac{\overline{OE_i}}{\overline{OA_i}}, \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned}\overline{ED_i} &= \frac{k_P \cdot W_{OY}(j \cdot \omega)}{T_i \cdot \omega_i} = \frac{\overline{OE_i}}{T_i \cdot \omega_i}, \\ T_i &= \frac{\overline{OE_i}}{\omega_i \cdot \overline{ED_i}}.\end{aligned}\quad (3.4)$$

Для конкретної частоти вищенаведені векторні співвідношення перетворюються на скалярні.

Розрахуємо параметри ПІ-регулятора за заданим амплітудним показником коливальності  $C = 0,8$  у математичному пакеті Mathcad.

$$r = \frac{1-C}{2}, \quad d = 2 \cdot r \quad (3.5)$$

де  $d$  – діаметр кола;  $r$  – радіус кола;  $C$  – показник коливальності.

Передатна функція ОУ  $W_{OY}(s) = \frac{0,273}{4150 \cdot s + 1} \cdot e^{-150 \cdot s}$

Будуємо годограф АФЧХ, будуємо коло, проводимо декілька відрізків, які відсікають на АФЧХ відрізки ОА на колі ОЕ та ЕД (рис. 3.2).

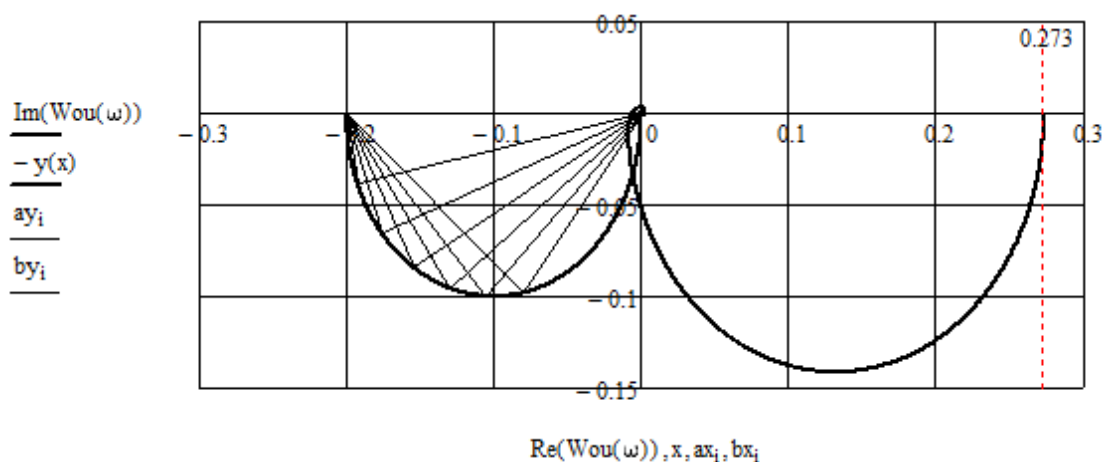


Рис. 3.2. До розрахунку параметрів ПІ-регулятора за умов обмеження системи на заданий запис стійкості за амплітудою

Заданий амплітудний показник коливальності

$$Cz := 0.8$$

$$j := \sqrt{-1}$$

$$\omega := 0, 0.000001.. 0.2$$

$$i := 1.. 12$$

$$r := \frac{1 - Cz}{2}$$

$$r = 0.1$$

$$d := 2 \cdot r$$

$$d = 0.2$$

$$x := 0, -0.00001.. -d \quad y(x) := \sqrt{r^2 - (x + r)^2}$$

Передаточна функція об'єкта управління

$$W_{ou}(\omega) := \frac{0.273 \cdot e^{-150 \cdot j \cdot \omega}}{4150 \cdot j \cdot \omega + 1}$$

Визначаємо довжину відрізків OA, OE, ED.

Вектор OE		Вектор ED		Вектор OA	
$ax_i :=$	$ay_i :=$	$bx_i :=$	$by_i :=$	$cx_i :=$	$cy_i :=$
0	0	-0.2	0	0	0
-0.0796	-0.0979	-0.0796	-0.0979	-0.0084	-0.0111
0	0	-0.2	0	0	0
-0.1064	-0.0998	-0.1064	-0.0998	-0.0084	-0.0087
0	0	-0.2	0	0	0
-0.1304	-0.0952	-0.1304	-0.0952	-0.0084	-0.0067
0	0	-0.2	0	0	0
-0.1543	-0.0840	-0.1543	-0.0840	-0.0079	-0.0043
0	0	-0.2	0	0	0
-0.1755	-0.0656	-0.1755	-0.0656	-0.0074	-0.0029
0	0	-0.2	0	0	0
-0.1925	-0.0379	-0.1925	-0.0379	-0.0069	-0.0014

Визначаємо частоти, при яких відбувається перетин АФЧХ та відрізків (рис. 3.3).

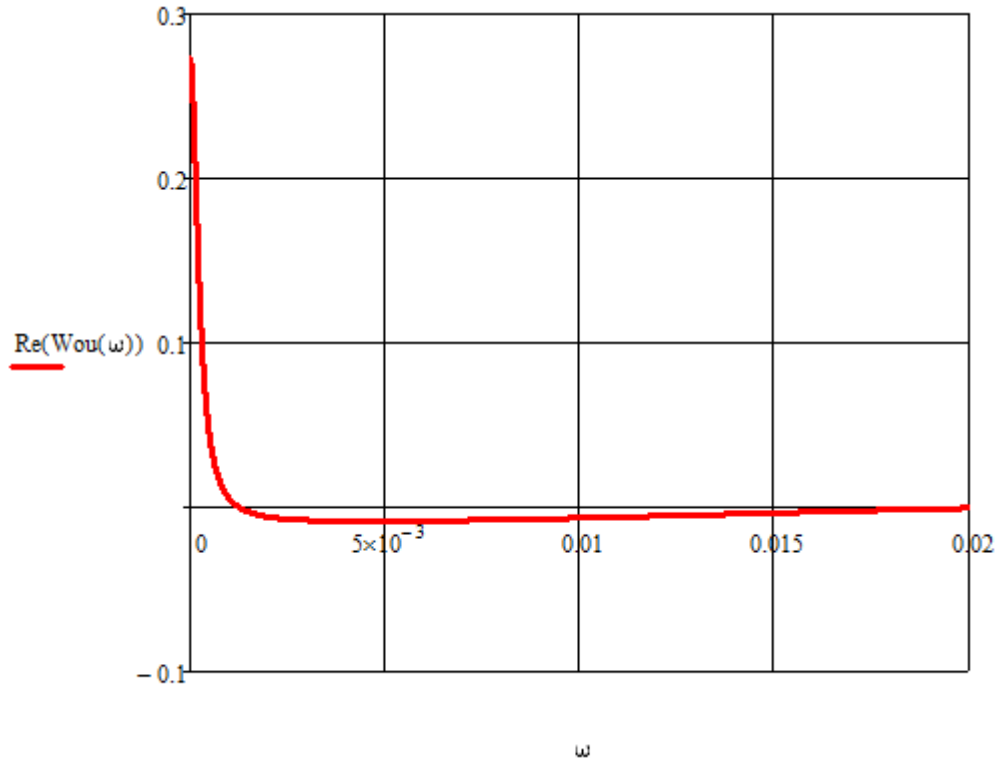


Рис. 3.3. Визначення частот, при яких відбувається перетин АФЧХ та відрізків

$OE_i =$	$ED_i =$	$OA_i =$	$\omega_i :=$
0.126	0.155	0.014	0.0039
0.146	0.137	0.012	0.0039
0.161	0.118	0.011	0.0039
0.176	0.096	$8.994 \cdot 10^{-3}$	0.00296
0.187	0.07	$7.948 \cdot 10^{-3}$	0.00255
0.196	0.039	$7.041 \cdot 10^{-3}$	0.0023

Визначаємо параметри настройки регулятора  $k_p$  та  $T_i$ .

$$Kp_i := \frac{OE_i}{OA_i} \quad Tiz_i := \frac{OE_i}{\omega_i \cdot ED_i} \quad Opt\_par := \frac{Kp}{Tiz}$$

$Kp_i =$	$Tiz_i =$	$Opt\_par_i =$
9.064	208.493	0.043
12.063	273.395	0.044
15.026	350.722	0.043
19.532	620.971	0.031
23.573	$1.05 \cdot 10^3$	0.022
27.866	$2.197 \cdot 10^3$	0.013

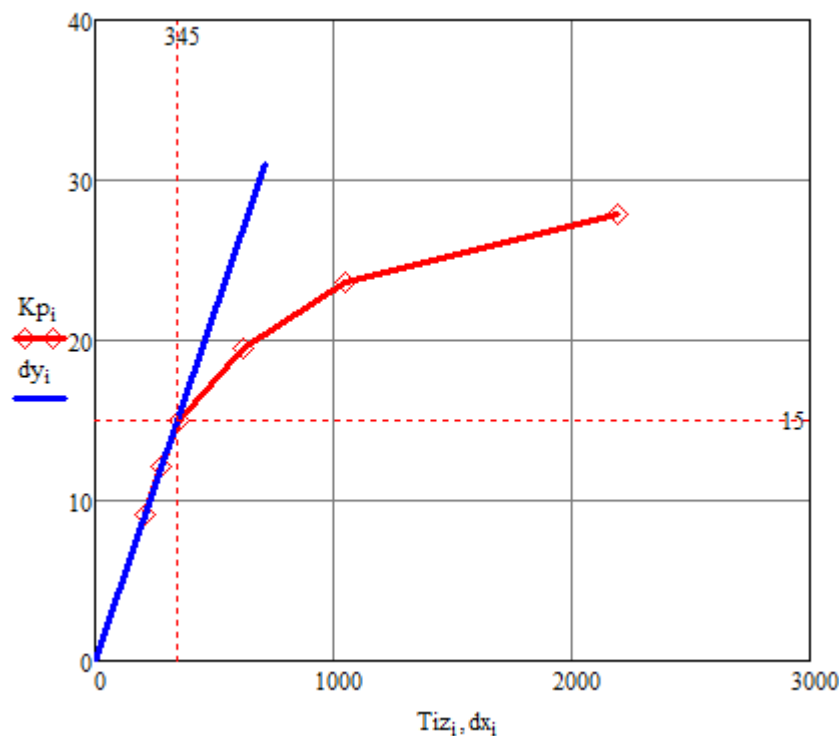


Рис. 3.4. Визначення оптимальних параметрів настройки  
ПІ-регулятора

Оскільки необхідний запас стійкості  $S$  може бути забезпечений при різних співвідношеннях  $k_p$  і  $T_i$ , то постає задача щодо вибору оптимального співвідношення. Ці параметри можуть бути знайдені у разі проведення дотичної з початку координат до лінії межових співвідношень (осями координат з  $k_p$  та  $T_i$  на рис. 3.4). Будуємо лінію межових співвідношень та дотичну до неї.

$$k_p = 15, T_i = 345 \text{ c.}$$

### 3.2 Реалізація алгоритму керування об'єктом

**Вибір керуючого елемента регулятора САК температурним режимом в камері.** В даній системі керуючим елементом регулятора температури в камері для вирощування шампінйонів обраний мікроконтролер.

Мікроконтролер для даної системи автоматичного керування повинен бути зручним у використанні (підключенні), мати невеликі розміри, велику швидкодію, здатність приєднання кількох датчиків. Для нашої системи обираємо мікроконтролер PIC16F876 (МК) (рис. 3.5).



Рис. 3.5. Зовнішній вигляд мікроконтролера PIC16F876

Можливості мікроконтролера:

- Низьковольтний режим програмування
- Вбудований аналогово - цифровий перетворювач;
- 35 однослівних команд;
- більшість команд виконується за 1 цикл довжиною 1 мкс, команди розгалуження відбуваються за два цикли;
- тактова частота 20Гц, довжина машинного циклу 1 мкс;
- 14-розрядна шина команд;
- 8-розрядна шина даних;
- декілька регістрів спеціального призначення РСН;
- внутрішній програмно калібрований 4мГц, RC-генератор;
- вихід тактового сигналу;
- прямий, безпосередній і непрямий режим адресації;
- програмування в готовому пристрої по послідовному каналу;
- 5 - каналний 8 - розрядний АЦП.

Периферія:

- TMR0: 8-розрядний таймер – лічильник з 8 – розрядним програмованим переддільником;
- скидання подачі напруги живлення POR;
- таймер включення живлення PWRT і таймер запуску генератора OST;
- сторожовий таймер WDT з власним RC – генератором на кристалі для великої надійності;
- біт захисту зчитування пам'яті програм;
- режим пониженого енергоспоживання SLEEP;
- переривання по зміні сигналу на вході;
- вбудовані підтягувальні резистори на входах;
- програмний вибір генератора;
- INTRC: вбудований 4 МГц RC - генератор;
- EXTRC: зовнішній RC - генератор;
- XT: звичайний кристал резонатор;
- HS: високочастотний кварцовий генератор;
- вмонтований підтягувальний резистор на вході - MCLR.

Використання: управління пристроями; охоронні системи; приймачі, передатчики з низьким енергоспоживанням; мініатюрні електронні пристрої.

### **Вибір первинного вимірювального перетворювача системи автоматичного керування.**

До первинних вимірювальних перетворювачів (ПВП) висуваються наступні вимоги:

- лінійність і однозначність статичної характеристики (допустима нелінійність не повинна перевищувати 0,1...3,0%);
- висока чутливість;
- стабільність характеристик у часі;
- швидкодія;

- стійкість до хімічних впливів контролюючого і навколишнього середовища (первинні перетворювачі, розміщені у захисній оболонці);
- мінімальний зворотній вплив на контролюючий параметр та зручність монтажу і обслуговування.

Вимірювальні перетворювачі, що входять до складу регулятора, вибирають в два етапи:

- на першому етапі за типом контрольованого параметра об'єкта управління та умовами його роботи визначається різновид перетворювача;
- на другому етапі, після вибору всіх елементів регулятора за каталогами, знаходять його типорозмір.

ПВП рекомендується підбирати таким чином, щоб межі його вимірювання охоплювали діапазон зміни контрольованої ним величини і були якнайближчими до них, не забуваючи про необхідність забезпечення необхідної перевантажувальної здатності ПВП і про можливість його підключення до обраного електронного пристрою управління регулятора. При цьому особливу увагу необхідно приділяти швидкодії (інерційності) ПВП, яка характеризується його постійною часу.

Так, при обґрунтуванні вибору ПВП температури у камері для вирощування шампінйонів необхідно в першу чергу звернути увагу на те, вимірювання якого діапазону зміни температури відповідно до технологічних умов він повинен забезпечити.

Діапазон зміни температури у камері на різних фазах вирощування змінюється. Так, при інокуляції (засівання субстрату міцелієм) значення температури складає 25-28°C, при нанесенні покривного ґрунту 22-25°C із подальшим охолодженням до 18°C, при збиранні грибів – 16-18°C.

Для того, щоб ПВП у процесі вимірювання температури на заданому рівні не вносив недопустиму динамічну похибку вимірювання, його постійна часу  $T_{ПВП}$  повинна бути на порядок меншою від постійної часу об'єкта  $T_{ov}$ .

Постійна часу об'єкту  $T_{ov} = 4150 \text{ с}$ . З огляду на сказане, максимальна постійна часу сприймаючого елементу повинна бути не більше  $\frac{4150}{10} = 415 \text{ с}$ .

Враховуючи вимоги за діапазоном вимірювання та інерційністю, для вимірювання температури повітря у камері для вирощування шампінйонів обраний датчик температури TC 1047A фірми Microchip (рис. 3.6).

TC 1047A – температурний датчик лінійної напруги, що є безпосередньо пропорційною виміряній температурі. Незважаючи на невеликий розмір датчика, в нього вмонтовано операційний підсилювач.

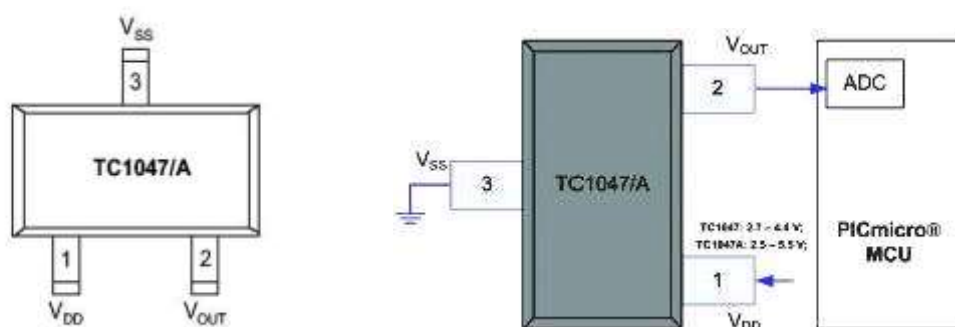


Рис. 3.6. Зовнішній вигляд та схема підключення датчика лінійної напруги TC1047A

Технічні характеристики TC1047A:

Напруга живлення	2,7 – 5,5 В
Струм споживання	35 $\mu\text{A}$
Діапазон температур	– 40...+125°C
Абсолютна похибка	$\pm 0,1^\circ\text{C}$
Інерційність датчика	7с.

Для визначення передатної функції сприймаючого елемента скористаємось його статичною характеристикою (рис. 3.7).

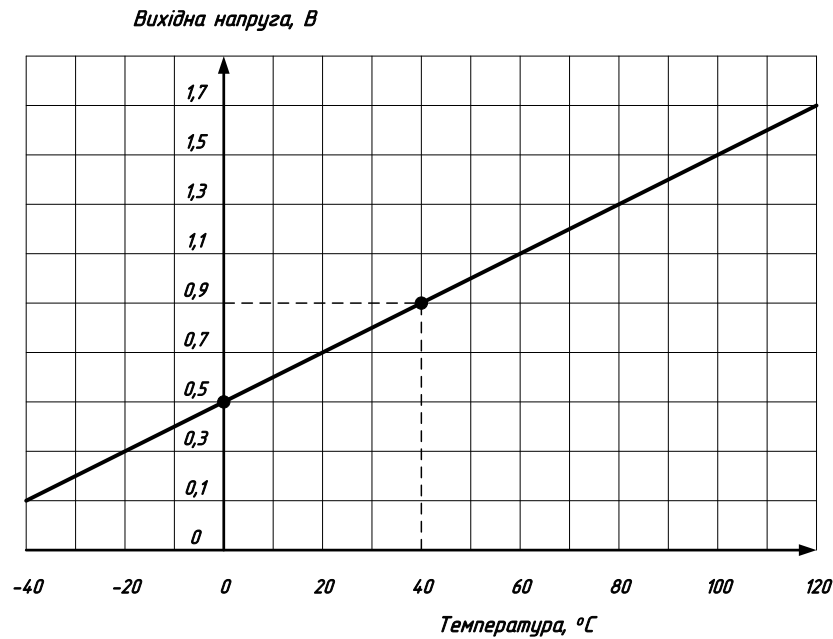


Рис. 3.7. Статична характеристика датчика ТС 1047А

За динамічними властивостями датчик є інерційною ланкою, передатна функція якого має вигляд:

$$W_{ПВП}(s) = \frac{k_{ПВП}}{T_{ПВП} \cdot s + 1}$$

де  $k$  – коефіцієнт передачі (чутливість), визначається за формулою

$$k_{ПВП} = \frac{\Delta U}{\Delta T} = \frac{0,7 - 0,5}{20 - 0} = 0,01 \frac{В}{^{\circ}C}, \quad (3.6)$$

де  $\Delta T$  – різниця значень температури повітря;

$\Delta U$  – різниця значень напруги, що відповідають відповідним значенням температури повітря.

Тоді передатна функція датчика матиме наступний вигляд:

$$W_{ПВП}(s) = \frac{k_{ПВП}}{T_{ПВП} \cdot s + 1} = \frac{0,01}{7 \cdot s + 1}$$

**Вибір виконавчого механізму САК.** Виконавчим механізмом системи автоматичного керування температурним режимом в камері для вирощування шампінйонів є електричний однообертний механізм МЕО 1,6/25–0,25 (рис. 3.8), який керує заслінкою в камері підготовки повітря, за рахунок чого у вентиляційному повітрі змінюється співвідношення кількості рециркуляційного

та свіжого повітря, відповідно змінюється і температура повітря. При низьких зовнішніх температурах використовується водяний калорифер для підігріву повітря. Регулювання температури повітря при цьому здійснюється за допомогою трьохходового клапану, який приводиться в рух за допомогою аналогічного виконавчого механізму – МЕО 1,6/25–0,25.

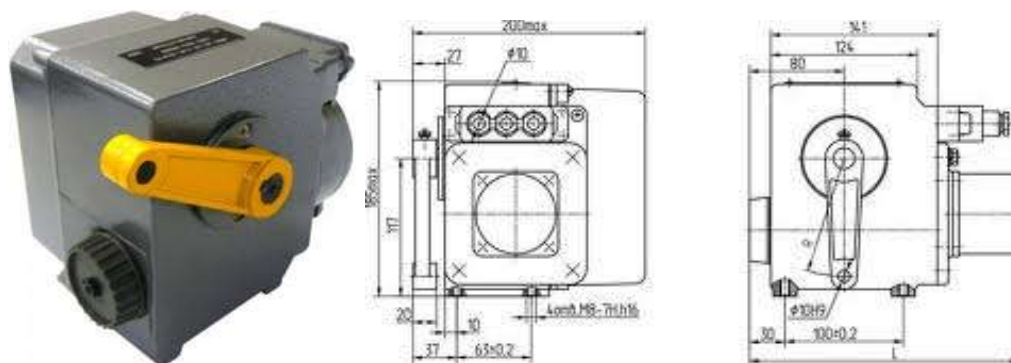


Рис. 3.8. Виконавчий механізм МЕО 1,6/25–0,25

Технічні характеристики МЕО 1,6/25–0,25:

Номінальний момент на валу	15,7 Н·м;
Час одного оберту вихідного валу	25с.;
Максимальний кут повороту вихідного валу	120 град.;
Напруга живлення	220В (50 Гц).

Передатна функція електричного виконавчого механізму типу МЕО є інтегруючою ланкою

$$W_{BM}(s) = \frac{k_{BM}}{s}, \quad (3.7)$$

де  $k_{BM}$  - коефіцієнт передачі виконавчого механізму, град./с.;

$$k_{BM} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}, \quad (3.8)$$

$\Delta t$  - проміжок часу, с;

$\Delta\varphi_{OB}$  - кут повороту вихідного валу МЕО за проміжок часу  $\Delta t$ , град.

$$k_{BM} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{120}{25} = 4,8 \frac{\text{град.}}{\text{с.}}$$

$$W_{BM}(s) = \frac{k_{BM}}{s} = \frac{4,8}{s}$$

Оскільки конструкційно у сервоприводі реалізований зворотний зв'язок за положенням (реостатний датчик положення), то остаточною передатною функцією виконавчого механізму визначається як

$$W_{BM}(s) = \frac{W_{CEPB}(s)}{1 + W_{CEPB}(s)} = \frac{\frac{4,8}{s}}{1 + \frac{4,8}{s}} = \frac{4,8}{s + 4,8} = \frac{1}{\frac{1}{4,8} \cdot s + 1} = \frac{1}{0,21 \cdot s + 1}$$

## РОЗДІЛ 4

### АНАЛІЗ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

Частотні критерії стійкості базуються на використанні частотних характеристик. Одним із названих критеріїв є критерій стійкості Михайлова.

Критерій Михайлова – частотний критерій, який дозволяє судити про стійкість замкненої системи автоматичного керування за характером поведінки її характеристичного вектора (вектора Михайлова) на комплексній площині.

Для оцінки стійкості замкненої системи необхідно скласти характеристичний поліном Михайлова (характеристичне рівняння). Його отримують шляхом заміни у характеристичне рівняння замкненої системи

$$C(s) = c_n \cdot s^n + c_{n-1} \cdot s^{n-1} + \dots + c_1 \cdot s + c_0 = 0 \quad (4.1)$$

параметра  $s$  на уявний параметр  $j \cdot \omega$

$$C(s) = c_n \cdot (j \cdot \omega)^n + c_{n-1} \cdot (j \cdot \omega)^{n-1} + \dots + c_1 \cdot (j \cdot \omega) + c_0 = X(\omega) + j \cdot Y(\omega), \quad (4.2)$$

де  $X(\omega) = c_0 - c_2 \cdot \omega^2 + c_4 \cdot \omega^4 - \dots$  - дійсна складова годографа Михайлова;

$Y(\omega) = c_1 \cdot \omega - c_3 \cdot \omega^3 + c_5 \cdot \omega^5 - \dots$  - уявна складова годографа Михайлова.

Якщо змінювати частоту  $\omega$  від 0 до  $\infty$  і відкладати значення  $X(\omega)$  по вісі абсцис, а значення  $Y(\omega)$  по вісі ординат комплексної площини, то кінець характеристичного вектору окреслить криву, що називається годографом Михайлова.

Критерій формулюється наступним чином: лінійна система  $n$ -го порядку буде стійкою, якщо годограф Михайлова бере свій початок на додатній напіввісі  $X(\omega)$  комплексної площини, проходить в додатному напрямку (проти годинникової стрілки)  $n$  квадрантів, охоплюючи початок координат, і прямує в  $n$ -му квадранті в нескінченність.

Передатна функція розімкненої системи автоматичного керування

$$W_{POZ}(s) = W_{PEG}(s) \cdot W_{BM}(s) \cdot W_{OV}(s) \cdot W_{ПВП}(s). \quad (4.3)$$

$$W_{PO3}(s) = 15 \cdot \left(1 + \frac{1}{345s}\right) \cdot \frac{1}{0,21 \cdot s + 1} \cdot \frac{0,273 \cdot e^{-150 \cdot s}}{4150 \cdot s + 1} \cdot \frac{0,01}{7 \cdot s + 1} =$$

$$= \frac{15 \cdot s + 0,197}{345 \cdot s \cdot (0,21 \cdot s + 1) \cdot (4150 \cdot s + 1) \cdot (7 \cdot s + 1)} \cdot e^{-150 \cdot s}.$$

Передатна функція замкненої системи автоматичного керування без урахування запізнення

$$W_{3AM}(s) = \frac{W_{PO3}(s)}{1 + W_{PO3}(s)}. \quad (4.4)$$

$$W_{PO3}(s) = \frac{\frac{15 \cdot s + 0,197}{345 \cdot s \cdot (0,21 \cdot s + 1) \cdot (4150 \cdot s + 1) \cdot (7 \cdot s + 1)}}{1 + \frac{15 \cdot s + 0,197}{345 \cdot s \cdot (0,21 \cdot s + 1) \cdot (4150 \cdot s + 1) \cdot (7 \cdot s + 1)}}.$$

$$W_{PO3}(s) = \frac{15 \cdot s + 0,197}{345 \cdot s \cdot (0,21 \cdot s + 1) \cdot (4150 \cdot s + 1) \cdot (7 \cdot s + 1) + 15 \cdot s + 0,197}.$$

$$W_{PO3}(s) = \frac{15 \cdot s + 0,197}{10022250 \cdot s^4 + 1434165 \cdot s^3 + 345s^2 + 68 \cdot s + 0,197}.$$

Отримане характеристичне рівняння замкненої системи автоматичного керування 4-го порядку

$$C(s) = 10022250 \cdot s^4 + 1434165 \cdot s^3 + 345 \cdot s^2 + 68 \cdot s + 0,197.$$

$$C(j \cdot \omega) = 10022250 \cdot (j \cdot \omega)^4 + 1434165 \cdot (j \cdot \omega)^3 + 345 \cdot (j \cdot \omega)^2 + 68 \cdot (j \cdot \omega) + 0,197.$$

$$X(\omega) = 10022250 \cdot \omega^4 - 345 \cdot \omega^2 + 0,197;$$

$$Y(\omega) = -1434165 \cdot \omega^3 + 68 \cdot \omega.$$

Годограф Михайлова замкненої системи автоматичного керування температурним режимом в камері для вирощування шампінйонів, побудований за допомогою математичного пакету Mathcad, зображений на рисунках 4.1, 4.2.

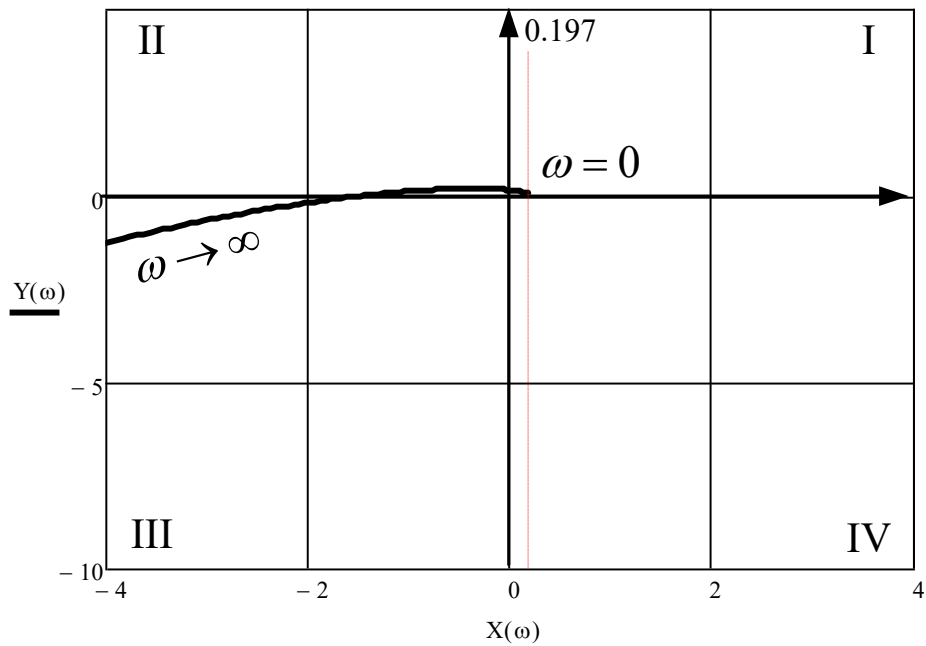


Рис. 4.1. Початок годографу Михайлова

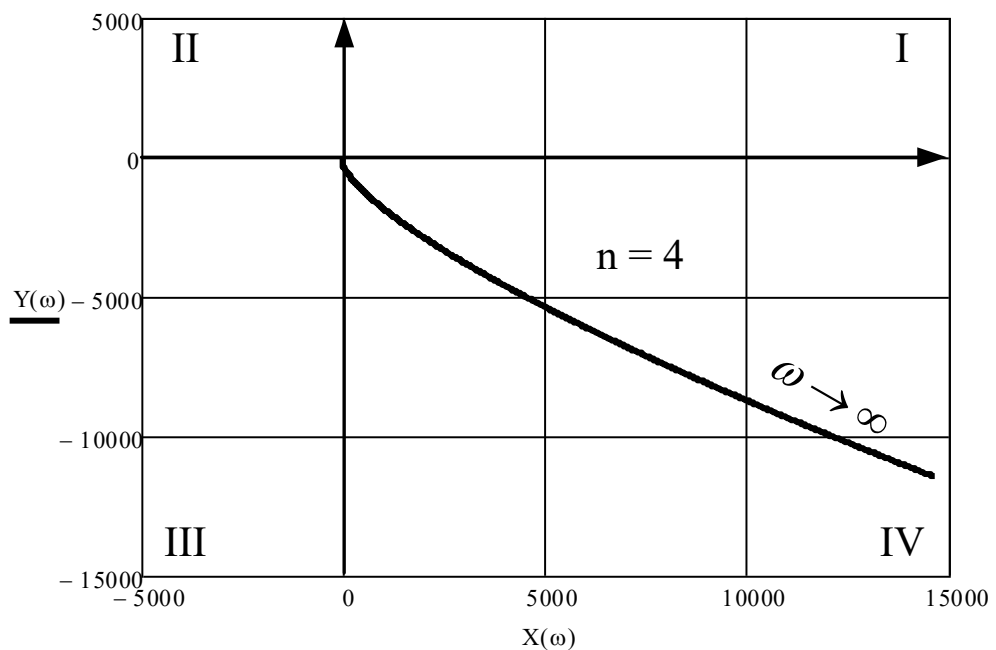


Рис. 4.2. Годограф Михайлова замкненої САК  
вентиляційним комплексом у камері для вирощування грибів

Рисунки 4.1 та 4.2 показують, що годограф Михайлова 4-го порядку бере свій початок на додатній напіввісі  $X(\omega)$  комплексної площини у точці  $c_0 = 0,197$ , проходить в додатному напрямку (проти годинникової стрілки) 4 квадранти, охоплюючи початок координат, і прямує в 4-му квадранті в нескінченність.

За критерієм Михайлова система автоматичного керування вентиляційним комплексом у камері для вирощування грибів є стійкою.

Для визначення показників якості роботи системи зазвичай проводять аналіз реакції системи на різні типові впливи (одинична сходинка, одиничний імпульс, гармонійний вплив, стаціонарний випадковий процес).

Якість роботи системи автоматичного керування визначається рядом показників, основними з яких є:

- швидкодія системи оцінюється часом  $t_{PEI}$ , який визначається проміжком часової вісі від моменту прикладення впливу до моменту, коли різниця між заданою та вихідними величинами в усі наступні моменти часу стає меншою за величину  $\Delta = \pm 5\%$  від усталеного значення вихідної величини  $y(\infty)$ ;

- перерегулювання  $\sigma\%$  характеризує величину максимального динамічного відхилення системи у перехідному процесі

$$\sigma = \frac{y_{MAX} - y(\infty)}{y(\infty)} \cdot 100\%, \quad (4.5)$$

де  $y_{MAX}$  - максимальне значення регульованої величини;

- кількість напівколивань  $n$  за час перехідного процесу  $t_{PEI}$  є мірою коливальності;

- статична похибка в усталеному режимі  $\delta(t)$ .

Для визначення показників якості роботи системи використаємо програму імітаційного моделювання Simulink середовища Matlab.

Імітаційна модель системи автоматичного керування температурним режимом в камері для вирощування грибів зображена на рис. 4.3, а графік перехідного процесу системи керування – на рис. 4.4.

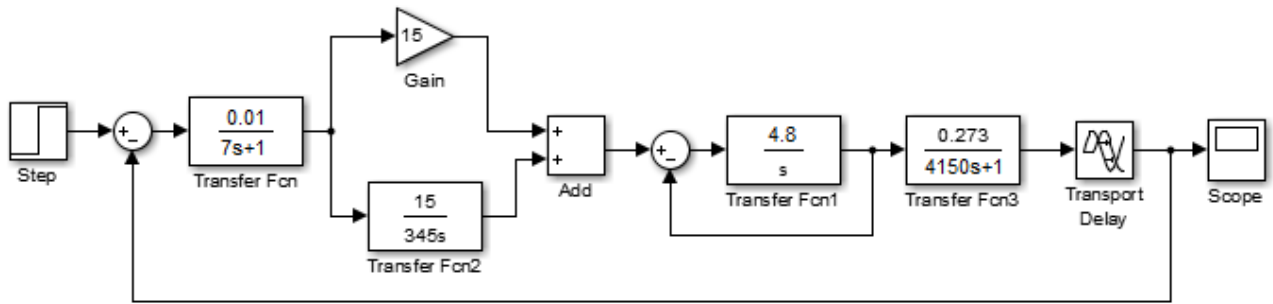


Рис. 4.3. Імітаційна модель САК температурним режимом в камері для вирощування грибів

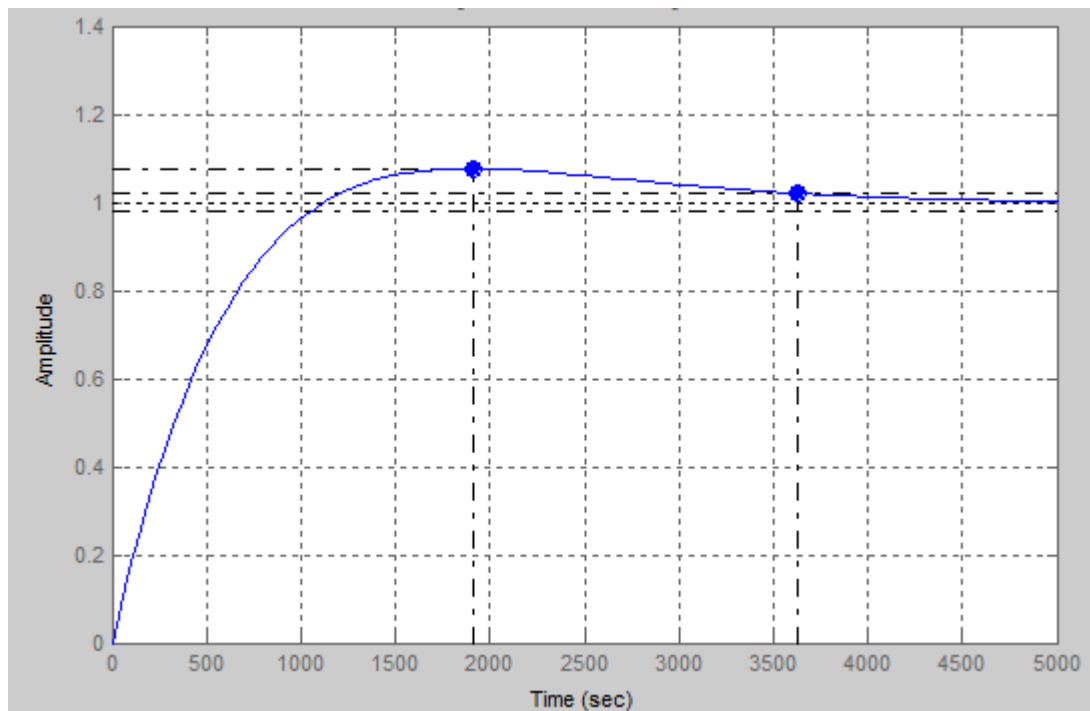


Рис. 4.4. Графік перехідного процесу САК температурним режимом в камері для вирощування грибів в середовищі MATLAB

З рисунка 4.4 видно, що система має прийнятні показники якості:

- перерегулювання  $\sigma = \frac{h(t)_{\max} - h(t)_{\text{уст}}}{h(t)_{\text{уст}}} \cdot 100\% = \frac{1,076 - 1,00}{1,00} \cdot 100\% = 7,6\%$ ;
- коливальність  $n = 1$ ;
- час регулювання  $t_{\text{РЕГ}} = 3630 \text{ c}$ ;
- відсутня статична похибка.

## РОЗДІЛ 5

### СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

#### 5.1 Розробка електричної принципової схеми САК

Схема електрична принципова САК параметрами мікроклімату в камері для вирощування грибів зображена на рис. 5.1 та 5.2.

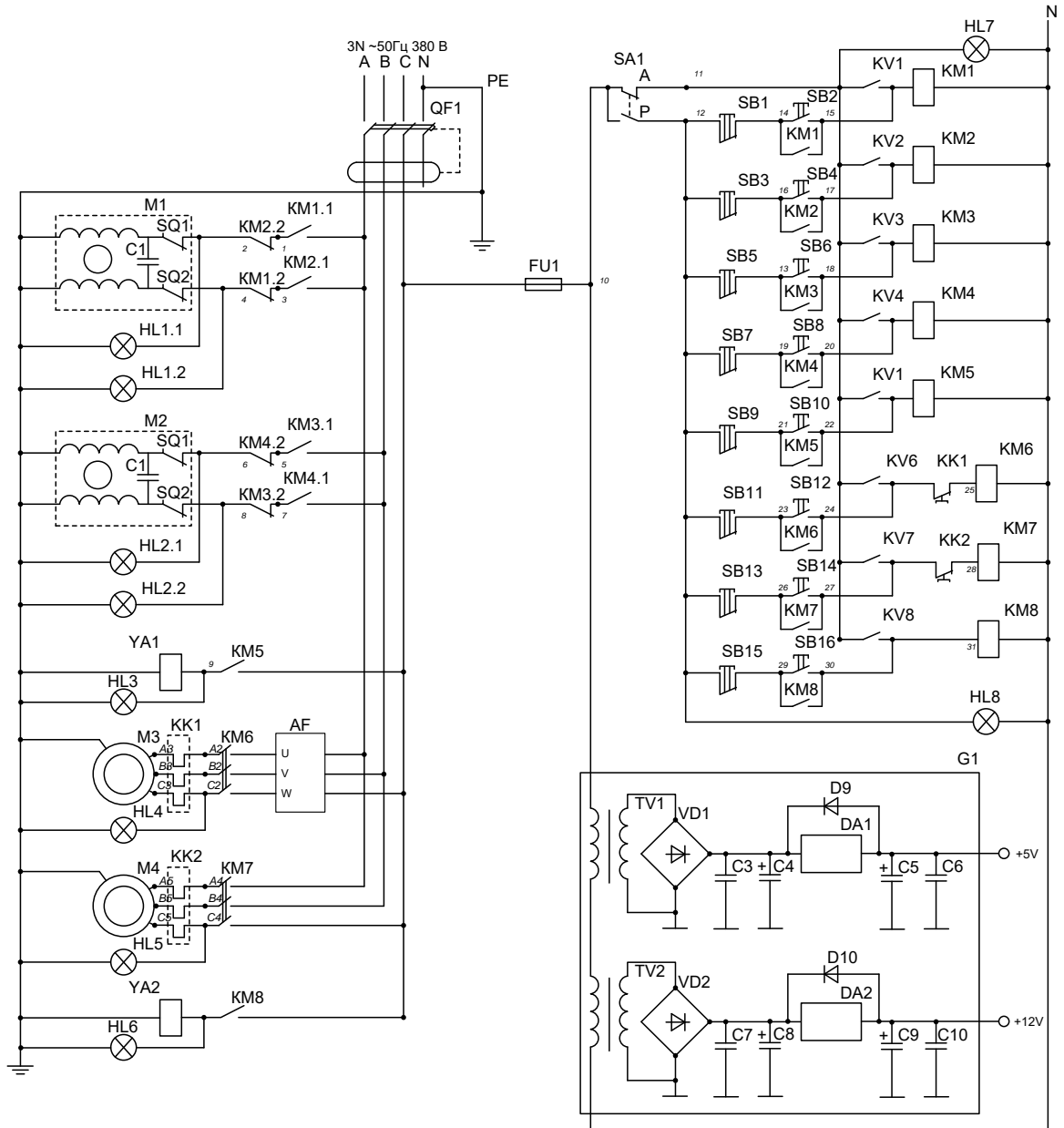


Рис. 5.1. Схема електрична принципова силової частини САК параметрами мікроклімату в камері вирощування печериць

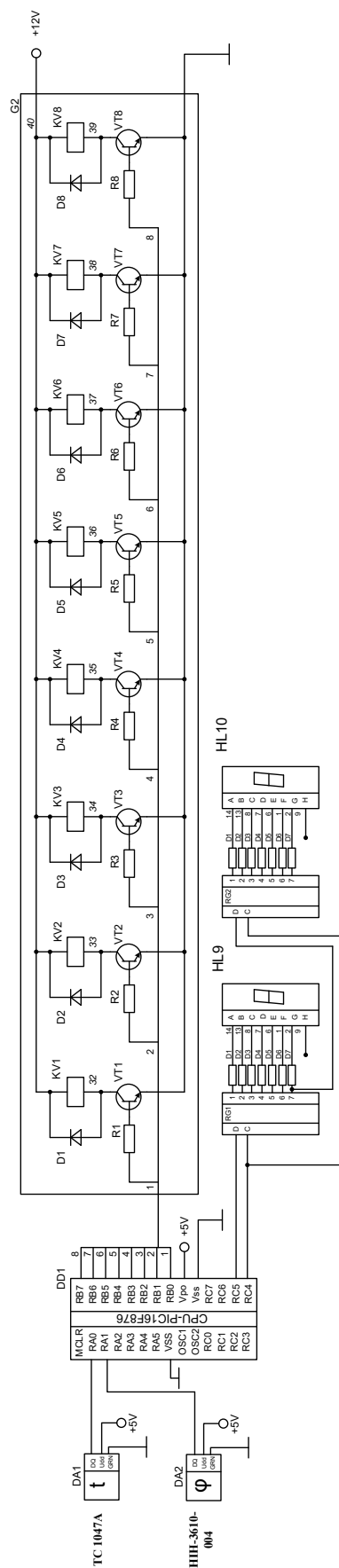


Рис. 5.2. Схема електрична принципова САК параметрами мікроклімату в камері вирощування печериць

В системі керування передбачені два режими роботи: автоматичний та ручний.

В автоматичному режимі (положення перемикача SA1 "А") система буде працювати за наступним алгоритмом. Датчики температури DA1 та вологості повітря DA2 надсилають сигнали про відповідне значення параметра повітря в об'єкті керування до мікроконтролера DD1. За закладеною програмою мікроконтролер керує виконавчими механізмами, а саме:

- заслінкою камери підготовки повітря (зміною співвідношення рециркуляційного та свіжого повітря керує електричний виконавчий механізм M1);
- трьохходовим клапаном водяного калорифера (зміною витрати теплоносія у водяному калорифері керує електричний виконавчий механізм M2);
- електромагнітним клапаном подачі холодної води для охолодження повітря YA2;
- електромагнітним клапаном подачі води для зволоження повітря YA1;
- припливним вентилятором (електродвигун приводу M3);
- рециркуляційним вентилятором (електродвигун приводу M4).

При відхиленні значень параметрів повітря від заданого значення мікроконтролер надсилає логічний сигнал ("0" або "1") на відповідний до алгоритму роботи вихід RB0-RB7, відповідно подається напруга до транзисторів VT1-VT8, транзистори відкриваються і проміжні електронні реле KV1-KV8 отримують живлення, в результаті чого вони своїми контактами подають живлення на проміжні реле KV9-KV14 та магнітні пускачі KM1 та KM2, KM5, в результаті чого вмикаються відповідний виконавчий механізм або змінюється напрям обертання валу виконавчих механізмів M1 та M2.

Паралельно виконавчим механізмам ввімкнені сигнальні лампи HL1-HL6, які сигналізують про їх роботу. Також ввімкнена сигнальна лампа HL7, що сигналізує, що система працює в автоматичному режимі.

Живлення (+5В) мікроконтролер та датчики температури та вологості отримують від блоку живлення G1 та схеми стабілізації. Дійсне значення температури або вологості виводиться у відповідності із запитом оператора на восьмисегментні індикатори, за якими оператор контролює правильність роботи системи.

В ручному режимі (положення перемикача SA1 "P") оператор за допомогою кнопок керування SB1 – SB16 вмикає або вимикає відповідний виконавчий механізм.

Про переключення на ручний режим сигналізує сигнальна лампа HL8.

Розроблене програмне забезпечення роботи САК параметрами мікроклімату в камері для вирощування грибів в автоматичному режимі наведене в додатку В.

## **5.2 Вибір апаратів захисту та керування**

За електричною принциповою схемою керування вентиляційним комплексом у пташнику, для керування та захисту електродвигунів приводу вентиляторів використовується наступне обладнання:

- для пуску, зупинки та захисту групи електродвигунів приводу припливного та рециркуляційного вентилятора (відповідно M3 та M4), електричних однооберткових механізмів МЕО (M1 та M2), електромагнітних клапанів YA1 та YA2 від струмів короткого замикання використовується автоматичний вимикач QF1;
- для захисту кола управління від струмів короткого замикання використовується плавкий запобіжник FU1;
- для дистанційного керування електродвигунами приводу припливного та рециркуляційного вентиляторів використовуються електромагнітні пускачі KM1 та KM2;

- для дистанційного керування виконавчими механізмами МЕО та електромагнітними клапанами YA1 та YA2 використовуються проміжні реле напруги KV9-KV14;

- в колі управління для перемикання режимів роботи використовуються пакетний перемикач SA1; для комутації окремих ділянок кола управління використовується проміжне реле напруги KV1-KV8; для світлової сигналізації використовуються сигнальні лампи HL1-HL8.

В якості припливного вентилятора використовується відцентровий вентилятор В-Ц4-70-3.15 (рис. 5.3), призначений для роботи в стаціонарних вентиляційних установках. Технічні характеристики вентилятора В-Ц4-70-3.15 наведені в таблицях 5.1 та 5.2.

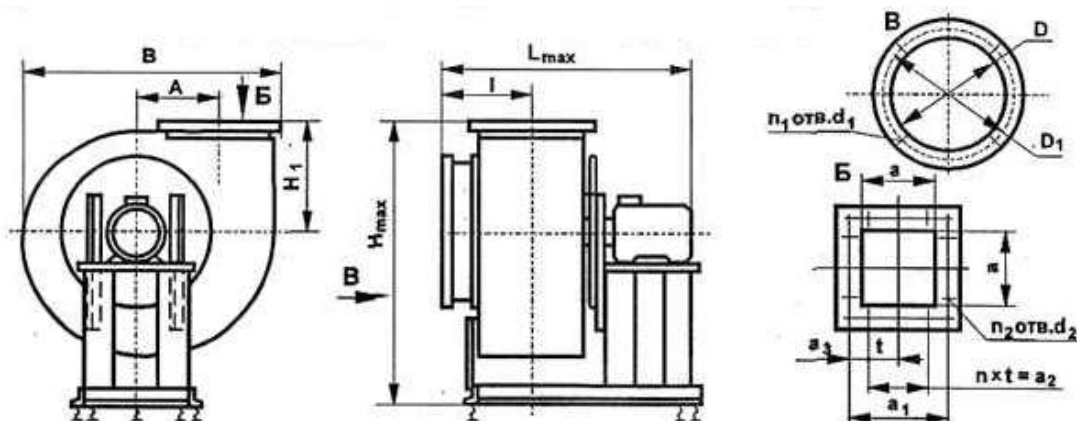


Рис. 5.3. Монтажне виконання вентилятора В-Ц4-70-3.15

Таблиця 5.1.

Габаритні та монтажні розміри вентиляторів типу В-Ц4-70

№ вент.	A	a	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	B	D	D <sub>1</sub>	H <sub>max</sub>	H <sub>1</sub>	L <sub>max</sub>	l	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	n	n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	t
2,5	162,5	175	205	100	52,5	480	253	280	508	197	475	152,5	7	7x10	1	8	8	100
3,15	208	224	255	200	27,5	602	323	345	623	240	541	177	7	7x10	2	8	12	100
4	260	280	310	200	55	742	403	430	762	291	648	205,5	7	7x10	2	8	12	100
5	324	353	380	300	40	915	510	530	988	346	760	255	7x14	7	3	16	16	100
6,3	410	445	470	400	35	1143	640	660	1148	428	937	308,5	7x14	7	4	16	20	100
8	520	560	600	600	-	1448	820	850	1493	583	1179	375	10x14	11	4	16	16	50
10	650	700	750	750	150	1807	1000	1035	1756	656	1484	455	12x20	12x20	3	24	20	130
12,5	812,5	875	925	875	150	2244	1250	1285	2161	811	1776	543	12x20	12x20	5	24	28	125

Технічні характеристики вентилятора В-Ц4-70-3.15

Вентилятор	Потужність електродвигуна приводу вентилятора, кВт	Макс. швидкість обертання, об/хв.	Показники в робочій зоні	
			Продуктивність, $m^3 / год.$	Напір, Па
В-Ц4-70-3.15	2,2	3000	1600	1200...560

Для приводу припливного вентилятора використовується асинхронний трифазний електродвигун АИР90L4У3 з наступними технічними характеристиками:

- номінальна потужність  $P_{ном.}=2,2$  кВт;
- номінальна частота обертання  $n_{ном.}=3000$  об/хв.;
- номінальний струм  $I_{ном.}=5,0$  А;
- $\cos\varphi_{ном.}=0,83$ ;
- $\eta_{ном.}=0,81$ ;
- Номінальна напруга живлення  $U_{ном.}=380$ В.

В якості рециркуляційного вентилятора використовується осьовий вентилятор ВО-Ф-5,6А (рис. 5.4), технічні характеристики якого наведені в таблиці 5.3.

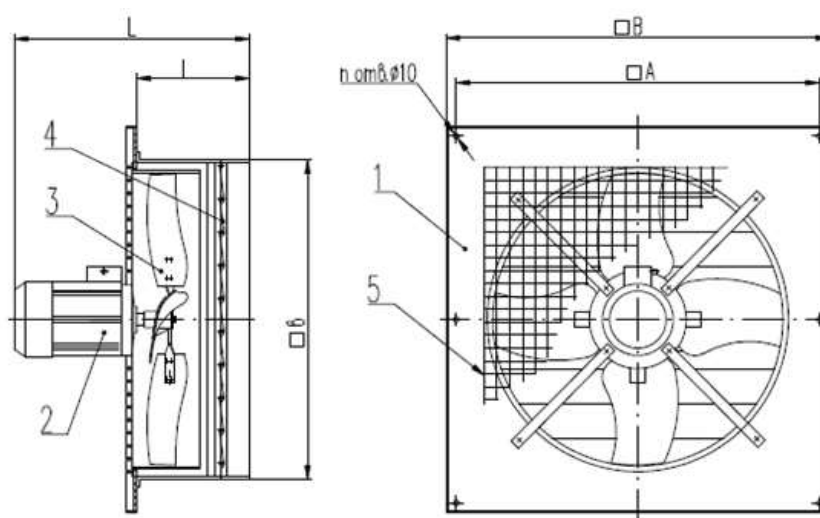


Рис. 5.4. Вентилятор серії ВО-5,6:

1 – корпус; 2 – електродвигун; 3 – робоче колесо; 4 – аеродинамічний клапан

## Технічна характеристика осьових вентиляторів ВО-Ф-5,6А

Параметри	Величина
Діаметр робочого колеса, мм	560
Об'ємна подача при сталому тиску, м <sup>3</sup> /год.	6000±500
Частота обертання робочого колеса, об/хв.	940
Діапазон регулювання частоти обертання	1:6
Тип електродвигуна	АИР80А8У3
Потужність електродвигуна, кВт	0,37
Габаритні розміри, мм	
довжина	650
ширина	750
висота	750
Маса з електродвигуном, кг	46

Оскільки холодна вода, що надходить в калорифер для охолодження повітря та у зволожувач, подається під невисоким тиском, для керування цим процесом використовується електромагнітний клапан ACL Type 30E (рис. 5.5) малої потужності, без застосування додаткових двигунів для приведення робочих органів в рух. Напряга живлення – 220 В. Частота струму – 50 Гц. Даний тип клапанів використовується у камерах вирощування печериць і цілком задовольняє вимоги керування подачею холодної води.

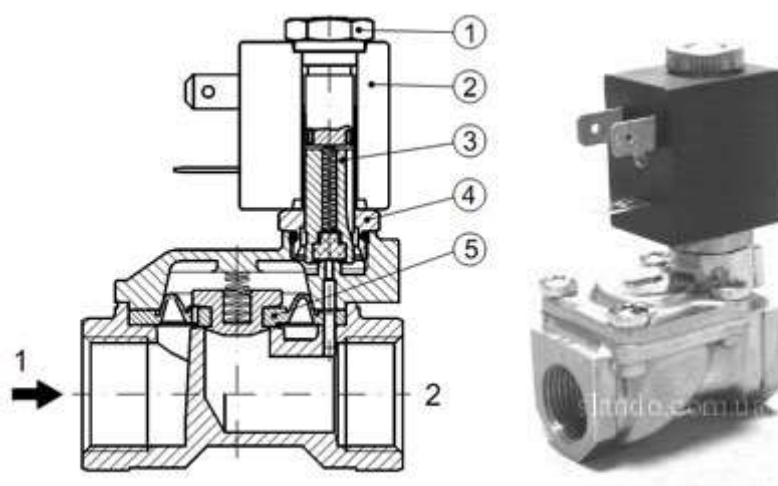


Рис. 5.5. Електромеханічний клапан ACL Type 30E

**Вибір автоматичного вимикача QF1.** При виборі автоматичного вимикача для захисту електричної лінії, яка живить декілька електродвигунів, необхідно дотримуватись наступних умов:

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

$$U_{H.AB} \geq U_{ж}; \quad (5.1)$$

- номінальний струм автоматичного вимикача і номінальний струм електромагнітного розчіплювача повинні дорівнювати або перевищувати суму номінальних струмів одночасно працюючих електродвигунів

$$I_{H.AB} \geq \sum_{i=1}^n I_{H.i}, \quad (5.2)$$

де  $I_{H.i}$  - номінальний струм  $i$ -го одночасно працюючого двигуна, А;

- номінальний струм електромагнітного (та теплового за наявності) розчіплювача має дорівнювати або перевищувати суму номінальних струмів одночасно працюючих електродвигунів

$$I_{H.розч} \geq \sum_{i=1}^n I_{H.i}; \quad (5.3)$$

- струм відсічки електромагнітного розчіплювача в даному випадку

$$I_{ВДС.розч} \geq 1,8 \cdot \left( \sum_{i=1}^n I_{H.i} + I_{ПУСК.НАЙБ.} \right), \quad (5.4)$$

$I_{ПУСК.НАЙБ.}$  - пусковий струм найбільшого за пусковим струмом електродвигуна, А.

У зв'язку з тим, що камера для вирощуванні печериці має високу вологість та в результаті зрошення має вологі стіни та підлогу, виникає можливість ураження електричним струмом працюючого персоналу. Звичайний автоматичний вимикач для даної системи не може захистити від цього, тому нам необхідно використовувати пристрій захисного вимикання. Цей пристрій виконує і звичайні функції автоматичного вимикача, а саме: виконує проведення струму в нормальному режимі і вимикання електричних кіл при коротких замиканнях, перевантаженнях та недопустимих зниженнях напруги.

Згідно з принциповою схемою керування умовами (5.1) - (5.4) вибираємо пристрій захисного вимикання CFI6-25/4/003, який використовуються в електричних схемах змінного струму 50 і 60 Гц і призначений для захисту від ураження електричним струмом шляхом контролю струмів, захист від перевантаження, захист від короткого замикання, протипожежну безпеку. Його технічні характеристики наступні:

- Номінальна сила струму : 25А;
- Номінальна напруга змінного струму : 660В;
- Номінальний струм "витікання": 30 mA;
- Комутаційна здатність – 4 кА, одноразова;
- Маса, кг – 0,5.

**Вибір плавкого запобіжника FU.** Для кола управління запобіжники вибирають за наступними умовами:

- номінальний струм запобіжника повинен дорівнювати номінальному струму в колі управління або перевищувати його

$$I_{H.ЗАП} \geq I_{K.УПР}; \quad (5.5)$$

- номінальна напруга запобіжника повинна дорівнювати або перевищувати номінальну напругу кола управління

$$U_{H.ЗАП} \geq U_{K.УПР}. \quad (5.6)$$

В колах управління, зазвичай, значення струму невеликі. Якщо прийняти для подальших розрахунків, що значення струму в колі управління не перевищує 5 А, то вибираємо плавкий запобіжник ВП2Б-1 з номінальним струмом 5 А, що встановлюється в корпусі ДВП-4-3, розрахований на роботу в мережах змінного струму напругою до 660 В і відповідає міжнародним стандартам IEC269 и VDE0636.

**Вибір електромагнітних пускачів КМ1-КМ2.** Електромагнітні пускачі вибирають за наступними умовами:

- номінальна напруга електромагнітного пускача має дорівнювати напрузі живлення електричної мережі або перевищувати її

$$U_{H.ЕП} \geq U_{Ж}; \quad (5.7)$$

- номінальний струм комутації силових контактів електромагнітного пускача повинен дорівнювати або перевищувати номінальний струм електродвигуна

$$I_{H.ЕП} \geq I_H; \quad (5.8)$$

- номінальна напруга живлення втягуючої котушки електромагнітного пускача повинна дорівнювати напрузі кола керування

$$U_{H.КОТ} \geq U_{КЕР}. \quad (5.9)$$

- 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.

Враховуючи умови (5.7) – (5.9), для даної системи автоматичного керування вибираємо електромагнітні пускачі: ПМЛ-1110ДМ (ДСТУ ІЕС 60947-4-1) – нереверсивний, без оболонки, без теплового реле, із ступенем захисту IP20, із змінним струмом кола управління, з додатковими контактами кола управління, номінальним робочим струмом (категорія використання АС-3) при напрузі  $U_{H.ЕП} = 380 \text{ В}$  силового кола  $I_{H.ЕП} = 10 \text{ А}$ , номінальною напругою втягуючої котушки  $U_{H.КОТ} = 220 \text{ В}$  (50 Гц).

**Вибір теплових реле КК1, КК2.** Теплові реле для захисту електродвигунів від перевантажень вибирають за наступними умовами:

- струм теплового реле повинен дорівнювати або бути більшим за номінальний струм електродвигуна:

$$I_{H.ТР} \geq I_H; \quad (5.10)$$

- струм неспрацювання теплового реле повинен дорівнювати або бути більшим за номінальний струм електродвигуна з подальшим регулюванням струму неспрацювання:

$$I_{HECПP.TP} \geq I_H. \quad (5.11)$$

Враховуючи умови (5.10) – (5.11) та значення номінального струму електродвигунів М3 та М4, вибираємо теплові реле типу РТЛ1022 з наступними показниками (таблиця 5.4).

Таблиця 5.4.

## Технічні характеристики теплових реле КК1 та КК2

Електро-двигун за принциповою схемою	Номінальний струм електродвигуна, $I_H, A$	Теплове реле за принциповою схемою	Тип теплового реле	Номінальний струм теплового реле, $I_{н.тр}, A$	Діапазон регулювання струму неспрацювання, $I_{несп.тр}, A$
М3	5,9	КК1	РТЛ1022	6	5,5-7,5
М4	1,1	КК2	РТЛ1022	1,15	0,9-1,3

**Вибір пакетного перемикача SA1.** Згідно з принциповою схемою, для перемикання в колі керування режимів "Автоматичний" або "Ручний", вибираємо пакетний перемикач типу ПМО, призначений для комутації електричних кіл управління, сигналізації та захисту напругою від 12 до 220В постійного струму та від 24 до 380В змінного струму частотою 50, 60 та 400Гц при струмах від 0,25 до 6,3А в стаціонарних установках.

Структура умовного позначення ПМОФ 90-22/І-Д46 У3:

ПМО – перемикач малогабаритний загальнопромисловий;

Ф – конструктивне виконання (Ф – з фіксацією);

90 – положення фіксації (90 – через 90°);

22 – рухомі контакти (два сегменти на 2 положення);

І – виконання за установкою (І – з монтажного блоку);

Д46 – номер схеми за каталогом виробника;

У3 – кліматичне виконання і категорія розміщення (за ГОСТ 15150-69 та ГОСТ 15543.1-89 відповідно).

Перемикач працює в усіх режимах, встановлених ГОСТ 16708-84.

**Вибір проміжних реле KV1-KV8.** Проміжні реле KV1- KV8 повинні забезпечувати подачу живлення на електромагнітні пускачі KM1-KM2 та проміжні реле KV9- KV14, які в свою чергу подають живлення на

електродвигуни, виконавчі механізми та електромагнітні клапани. Вказані проміжні реле на платі керування повинні мати вхідну напругу спрацювання 5 В, а вихідну – 220 В. Для даної схеми ми не можемо використати низьковольтні механічні магнітні пускачі, тому що мінімальна вхідна напруга для них 6 В, а напруга, яку може подати на вихід мікроконтролер – 5В. Тому в якості проміжних реле KV1- KV8 обрані електронні реле СТХ240D3Q, які мають такі характеристики:

- Напруга управління – 4-10В;
- Струм при 5 В – 15 мА;
- Напруга розмикання – 1,0 В;
- Комутаційна напруга – 24-280 В;
- Вихідний струм – 2,5-6,0 А;
- Виробник – "CRYDOM".

**Вибір проміжних реле KV9-KV14.** Проміжні реле для кола управління вибирають

- за напругою кола управління:

$$U_{Н.РЕЛЕ} \geq U_{К.УПР}; \quad (5.12)$$

- 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).

Згідно з принциповою схемою та умовами (5.12) та (5.13), вибираємо реле загального призначення типу РП-21-210 УХЛЗ із замикаючими та розмикаючими контактами (кожний згідно з принциповою схемою).

Перевагами цього типу реле є малі габаритні розміри, економічність, висока якість виконання контактів, велика комутаційна здатність, тривалий строк служби. Технічні характеристики реле наведені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5.

## Технічні характеристики реле РП-21-210 УХЛЗ

Номінальна напруга, В	240 (50 Гц)
Напруга управління, В	~ 12...220 , - 6...220
Номінальний струм контактів, А	5
Мінімальний струм контактів, А	0,025
Кількість контактів	Згідно з принциповою схемою
Механічний ресурс, циклів	20 млн.
Робоча температура, °С	- 40...+ 55
Кліматичне виконання	УХЛ (за ГОСТ 15150-69)
Категорія розміщення	3 (за ГОСТ 15150-69)
Ступінь захисту корпусу / контактів	IP40 / IP00

**Вибір ламп світлової сигналізації HL1-HL8.** Для світлової сигналізації в колі керування вибираємо сигнальні лампи СКЛ-16.2 А-3М-220 (зелена) з підсвічуванням світлодіодною матрицею на 220 В, з вигнутим розсіювачем світла, з підключенням проводів під заживний гвинт М4.

Ступінь захисту IP54 (за ГОСТ14254-96), гарантований строк служби 10 років, гарантійне напрацювання на відмову – 25000 годин.

**Вибір кнопок керування SB1-SB16.**

Для ручного керування електрообладнанням вибираємо силовий кнопковий вмикач фірми ЕТАЛ KEA-2000 (чорного "Пуск" та червоного "Стоп" кольору).

**5.3 Вибір проводів та кабелів**

Для сільськогосподарських приміщень рекомендовано такі способи виконання електропроводок:

- відкрито проводом – безпосередньо на стінах, на роликах (ізоляторах, клицях), трубах (сталевих або вінілпластових), тросовим проводом;
- сховані – під штукатуркою безпосередньо та у трубах, у замкнених каналах будівельних конструкцій;

- кабелем – безпосередньо на стінах, на тросах.

Проводи напругою вище як 42В, у нормальних приміщеннях без підвищеної небезпеки прокладають відкрито на висоті 2м від рівня підлоги чи площадки обслуговування, а нижче 2м – захищають.

У приміщеннях з підвищеною небезпекою і особливо небезпечні проводки, напругою вище як 42В, прокладають на висоті 2,5м від рівня підлоги чи площадки обслуговування. Спуски до пускової апаратури мають бути захищені до висоти 1,5м.

Зовнішні проводки прокладають на висоті не менш як 2,5м від поверхні землі. Електричні проводки при паралельному прокладанні з трубопроводами повинні мати відстань від них не менше: для трубопроводів з гарячою та легкозаймистою рідиною - 40см, для інших - 10см. У разі пересічення їх з трубопроводами відстань від них має бути не менше: для трубопроводів з гарячою та легкозаймистою рідиною -10см, для інших - 5см.

Відстань від проводів перед вводом у споруду і проводів вводу до поверхні землі повинна бути не меншою за 2,75м.

Для стаціонарних електропроводок застосовують переважно проводи і кабелі з алюмінієвими жилами (проводи АПВ, АППВ, АВТУ, АВТВ; кабелі АВВГ, АПВГ). Для приєднання до електротехнічних пристроїв, встановлених безпосередньо на віброізолюючих опорах, а також внутрішнього монтажу щитових пристроїв, зарядки освітлювальної арматури та в електропроводках вибухонебезпечних зон застосовують проводи та кабелі з мідними жилами. Для живлення переносних і пересувних електроспоживачів застосовують шнури та гнучкі кабелі з мідними жилами.

Внутрішні проводки повинні мати мінімальну протяжність, тому велике значення надають вибору схеми проводки.

Перерізи кабелів та проводів вибираємо за умовою:

$$I_{тр.доп.} \geq I_{роз.}$$

де  $I_{тр.доп.}$  - тривало-допустимий струм,

$I_{роз.}$  – розрахунковий струм ділянки електричної мережі.

### **Вибір проводів живлення виконавчого механізму для керування рециркуляційною заслінкою камери підготовки повітря та трьохходовим клапаном.**

В ролі виконавчого механізму для керування вказаним обладнанням використовується механізм електричний однообертовий МЕО 16/25–0,25. Напруга живлення – 220 В. За розрахунковий струм  $I_{роз.}$  беремо номінальний струм, який обчислюємо за формулою:

$$I_{ном.} = \frac{10^3 \cdot P_{ном.}}{U_{ном.} \cdot \cos\varphi_{ном.}} = \frac{1000 \cdot 0,25}{380 \cdot 0,83} = 0,79 \text{ А.}$$

За [16] підбираємо один алюмінієвий трьохжильний провід з гумовою та полівінілхлоридною ізоляцією прокладений відкрито, який має площу поперечного перерізу струмоведучих жил 2,5 мм<sup>2</sup>. Для цього проводу тривало допустимий струм – 16 А. Отже, приймаємо провід типу АПВ 3х2,5.

### **Вибір проводів живлення електромеханічного клапана для подачі холодної води в калорифер та зволожувач повітря.**

В ролі електромеханічного клапана для подачі холодної води в калорифер обираємо клапан ACL Type 30E. Напруга живлення – 220 В. Оскільки потужність клапана невелика, то за [16] підбираємо один алюмінієвий трьохжильний провід з гумовою та полівінілхлоридною ізоляцією прокладений відкрито, який має площу поперечного перерізу струмоведучих жил 2,5 мм<sup>2</sup>. Для цього проводу тривало допустимий струм – 16 А. Отже, приймаємо провід типу АПВ 3х2,5.

### **Вибір проводів живлення двигуна припливного вентилятора.**

В ролі двигуна для припливного вентилятора використовуємо електродвигун типу АИР90L4У3.

- номінальна потужність  $P_{ном.}=2,2 \text{ кВт}$ ;
- номінальний струм  $I_{ном.}=5,9 \text{ А}$ ;
- $\cos\varphi_{ном.}=0,83$ ;

- $\eta_{ном} = 0,81$ ;
- Номінальна напруга = 380 В.

За розрахунковий струм  $I_{роз.}$  беремо номінальний струм, який обчислюємо за формулою:

$$I_{ном.} = \frac{10^3 \cdot P_{ном.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.} \cdot \cos \varphi_{ном.} \cdot \eta_{ном.}} = \frac{1000 \cdot 2.2}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,83 \cdot 0,81} = 5,9 \text{ А.}$$

За [16] підбираємо один алюмінієвий трьохжильний провід з гумовою та полівінілхлоридною ізоляцією прокладений відкрито, який має площу поперечного перерізу струмоведучих жил 2,5 мм<sup>2</sup>. Для цього проводу тривало допустимий струм – 16 А. Отже, приймаємо провід типу АПВ 3х2,5.

#### **Вибір проводу для виконання монтажною схеми керування.**

Приймаємо ПВ1 1×0,5, оскільки сила струму, який протікає в схемі керування невелика (1 А).

**Вибір проводів для заземлення.** З метою запобігання ураження електричним струмом оператора грибною камери корпуси всіх виконавчих механізмів заземлюємо. Для цього обираємо мідний одножильний провід з гумовою та полівінілхлоридною ізоляцією прокладений відкрито, який має площу поперечного перерізу струмоведучих жил 4 мм<sup>2</sup>. Для цього проводу тривало допустимий струм – 41 А. Отже, приймаємо провід типу АПВ 1х4.

### **5.4 Вибір щита управління**

Зважаючи на габаритні розміри усіх пристроїв та засобів автоматизації, що розміщуються на передній і задній панелях, вибираємо щит панельний з каркасом, закритий з лівої сторони ЩПК-3-ЗЛ-1 (800×600×350) V4IP00 ОСТ 36.13-76.

## РОЗДІЛ 6

### ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА ЇСТІВНИХ ГРИБІВ

На економічну ефективність виробництва їстівних грибів істотний вплив мають, крім цінових показників вартості грибів, показники вартості виробництва субстрату, урожайність грибів та умовно-постійні витрати на виробництво [3].

Вихідні дані для розрахунку – цінові показники без урахування ПДВ. Перерахунок ціни з урахуванням ПДВ у ціну без урахування ПДВ проводився за загальновідомою формулою:

$$C = \frac{C_{\text{ПДВ}}}{1 + \frac{C_{\text{ПДВ}}}{100\%}}, \quad (6.1)$$

де  $C$  – вартість без урахування ПДВ, грн.;

$C_{\text{ПДВ}}$  – вартість з урахуванням ПДВ грн.;

$C_{\text{ПДВ}}$  – ставка ПДВ, %.

Валовий збір грибів за рік

$$Z_G = M_C n_K \frac{P_C}{C_B} B_G, \quad (6.2)$$

де  $Z_G$  – валовий збір грибів за рік, кг;

$M_C$  – маса субстрату в одному культивуваційному приміщенні, т;

$n_K$  – кількість культивуваційних приміщень, шт.;

$P_C$  – річний цикл виробництва грибів, міс.;

$C_B$  – тривалість одного циклу виробництва грибів, міс.;

$B_G$  – вихід грибів з однієї тонни субстрату, кг/т.

Виручка від реалізації грибів

$$D = Z_{\Gamma} \cdot \Pi_{\Gamma} = M_{c n_k} \frac{P_{\Pi}}{\Pi B} B \Gamma \cdot \Pi_{\Gamma}, \quad (6.3)$$

де  $D$  – виручка від реалізації грибів, грн./рік;

$\Pi_{\Gamma}$  – середньорічна вартість грибів, грн./кг.

Річна вартість субстрату для вирощування грибів

$$BC = M_{c n_k} \frac{P_{\Pi}}{\Pi B} \cdot \Pi_c, \quad (6.4)$$

де  $BC$  – річна вартість субстрату для вирощування грибів, грн./рік;

$\Pi_c$  – вартість субстрату, грн./т.

$$\Pi_c = B_{KC} + B_{PC}, \quad (6.5)$$

де  $B_{KC}$  – вартість компонентів субстрату, грн./т;

$B_{PC}$  – вартість виробництва субстрату, грн./т.

Прибуток визначається:

$$\begin{aligned} \Pi &= D - (BC + УП) = \\ &= M_{c n_k} \frac{P_{\Pi}}{\Pi B} B \Gamma \cdot \Pi_{\Gamma} - \left( M_{c n_k} \frac{P_{\Pi}}{\Pi B} \cdot \Pi_c + УП \right), \end{aligned} \quad (6.6)$$

де  $\Pi$  – річний прибуток, грн./рік;

$УП$  – умовно-постійні витрати, грн./рік.

$$УП = n_k \frac{P_{\Pi}}{\Pi B} \cdot УП^n, \quad (6.7)$$

де  $УП^n$  – питомі умовно-постійні витрати на одне культиваційне приміщення за один цикл, грн.

Рентабельність виробництва грибів

$$\begin{aligned} P &= \frac{\Pi}{BC + УП} \cdot 100\% = \frac{D - (BC + УП)}{BC + УП} \cdot 100\% = \\ &= \left( \frac{D}{BC + УП} - 1 \right) \cdot 100\%, \end{aligned} \quad (6.8)$$

де  $P$  – рентабельність виробництва грибів, %.

Умовно-постійні витрати враховують заробітну плату з нарахуваннями на соціальні виплати, вартість утримання основних засобів (амортизаційні відрахування, витрати на ремонт та технічне обслуговування), вартість послуг (тепло, електроенергія та вода, витрати на агрохімічне обслуговування, вартість послуг автомобільного та тракторного парку) та інші прямі витрати, а також накладні витрати на управління та обслуговування виробництва. Умовно-постійні витрати визначаються на основі фактичних даних аналізу виробничої діяльності підприємства.

Результати розрахунку економічних показників виробництва печериць приведені в таблиці 6.1 та на рис. 6.1 – 6.4.

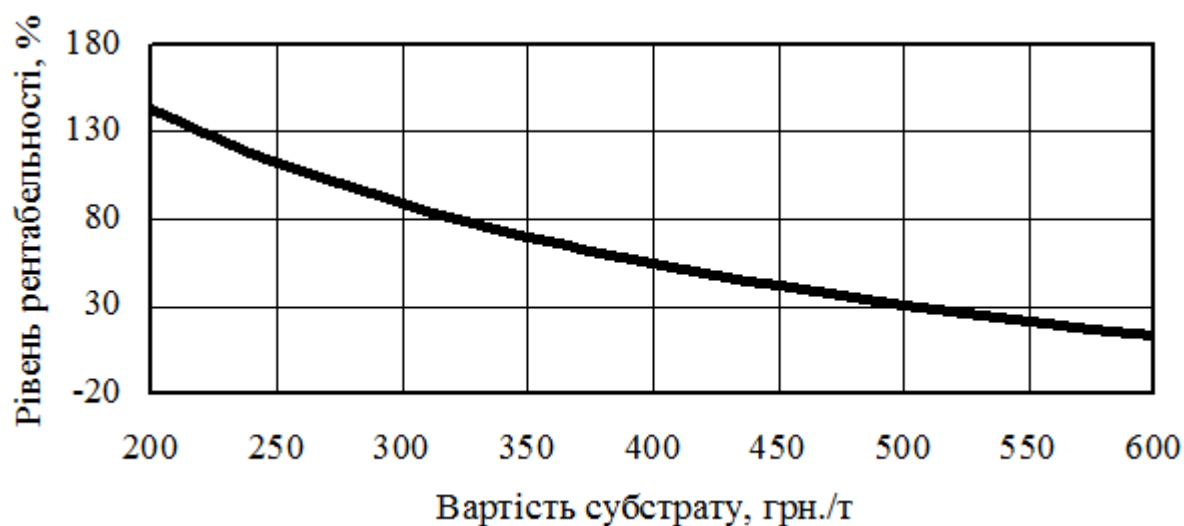


Рис. 6.1. Залежність рівня рентабельності від вартості субстрату для вирощування печериць

Таблиця 6.1.

## Економічна ефективність виробництва печериць

<i>Технологічні показники</i>	Од. виміру	Значення
Кількість культиваційних приміщень	шт.	5.0
Кількість субстрату в одному приміщенні	т	20
Тривалість циклу вирощування	міс.	2.0
Тривалість річного циклу виробництва	міс.	12
Вихід грибів	%	17
Валовий збір грибів за рік	т	102
<i>Вартісні показники</i>		Значення
Вартість субстрату	грн./т	450
Ціна реалізації грибів	грн./кг	5.0
Умовно-постійні витрати на одне приміщення за цикл	грн.	3000
<i>Економічні показники</i>		Значення
Виручка від реалізації грибів	грн./рік	510000
Вартість субстрату для вирощування грибів	грн./рік	270000
Умовно-постійні витрати	грн./рік	90000
Питома вага вартості субстрату у собівартості грибів	%	75
Питома вага умовно-постійних витрат у собівартості грибів	%	25
Річний прибуток	грн./рік	150000
Рівень рентабельності	%	42
Орієнтовне значення величини капіталовкладень	грн.	500000
	міс.	40.0
	років	3.3

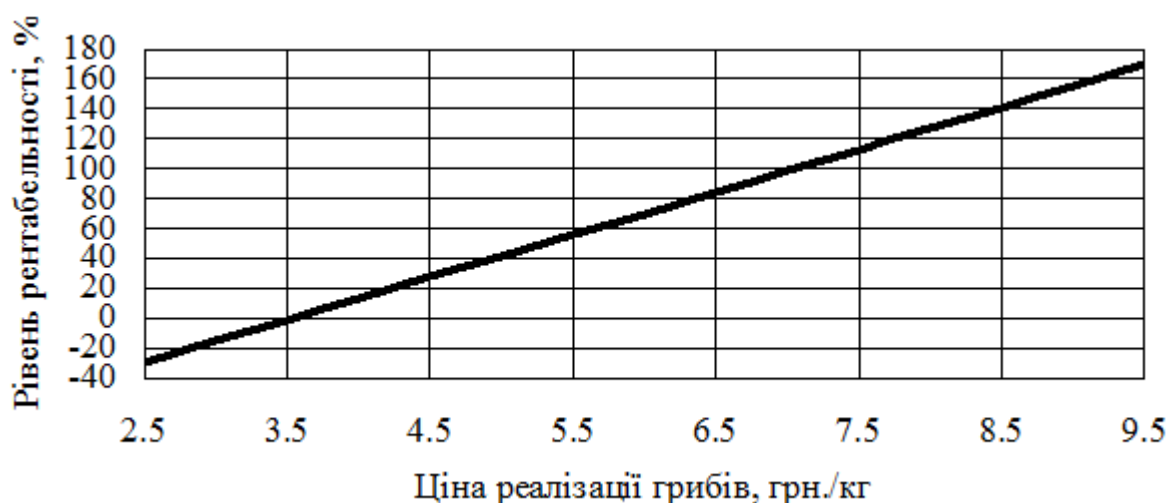


Рис. 6.2. Залежність рівня рентабельності від ціни реалізації печериць

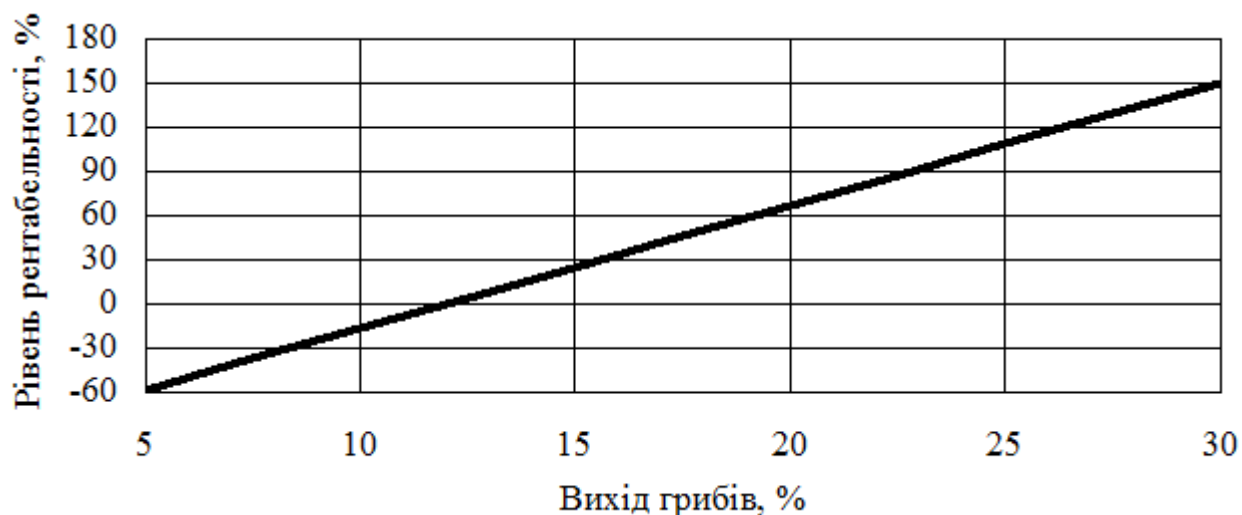


Рис. 6.3. Залежність рівня рентабельності від виходу печериць

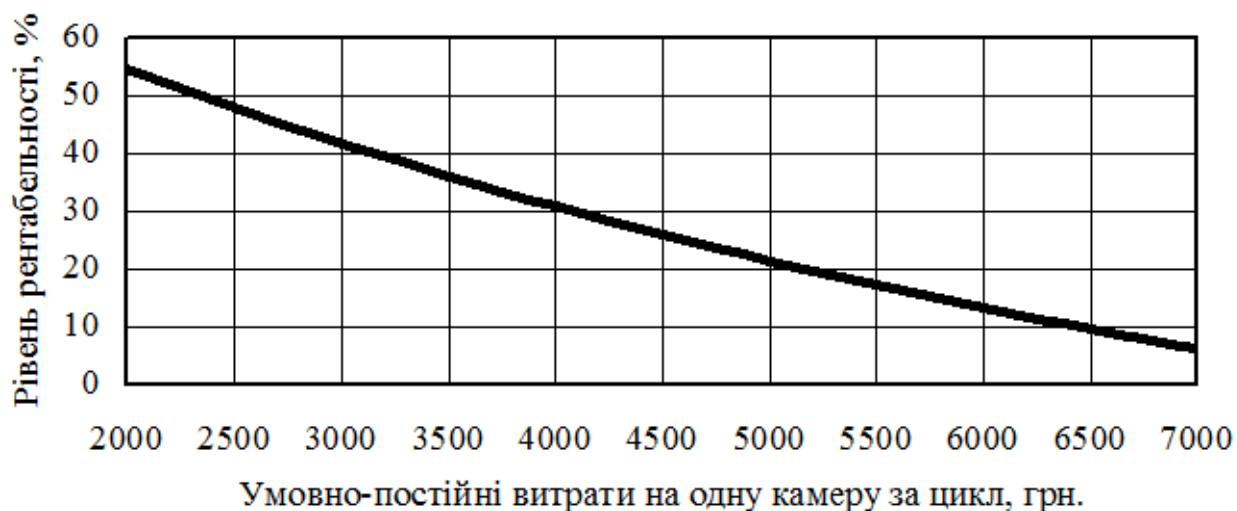


Рис. 6.4. Залежність рівня рентабельності від умовно-постійних витрат

Питома вага вартості субстрату у собівартості грибів становить від 60 до 75%. Рентабельність виробництва грибів становить від 40 до 50%. Термін окупності капіталовкладень, витрачених на організацію виробництва грибів знаходиться в межах від 3 до 4 років.

Використання теплоутилізаторів потребує додаткових капіталовкладень на створення енергозберігаючої системи вентиляції культивацийних приміщень для вирощування грибів, яка забезпечує економію палива. У зв'язку з цим задача вибору конкретного теплоутилізатора для використання в системі вентиляції культивацийного приміщення для вирощування грибів є фактично техніко-економічною задачею [18]. При її рішенні необхідно встановлювати фактичну вартість зекономленого палива та електроенергії, яку забезпечує теплоутилізатор, порівняти її з витратами на його експлуатацію та встановити термін окупності теплоутилізатора.

На рис. 6.5 – 6.8 показано залежність терміну окупності від вартості теплоутилізатора для різних варіантів його установки в системі вентиляції культивацийного приміщення для вирощування грибів та при опаленні газом й вугіллям.

Виявлено, що використання автономного теплоутилізатора, встановленого по варіанту №3 (розділ 2), має більший термін окупності ніж встановленого по варіанту №4 при однаковій вартості. Це пов'язано з більшою ефективністю роботи теплоутилізатора, встановленого по варіанту №4. Крім того, використання центрального водяного теплообмінника (ЦТО), який підігріває припливне повітря перед теплоутилізатором, збільшує надійність роботи теплоутилізатора, але також підвищує його термін окупності, оскільки центральний водяний теплообмінник зменшує температурний перепад в теплоутилізаторі. На термін окупності теплоутилізатора впливає також вид енергоносія, який використовується для опалення культивацийного приміщення. Більший термін окупності буде мати тепло утилізатор, встановлений в системі вентиляції культивацийного приміщення, яке опалюється газом, порівняно з тим, яке опалюється вугіллям. Це пов'язано з більшою вартістю одиниці енергії, одержаної при спалюванні вугілля ніж газу.

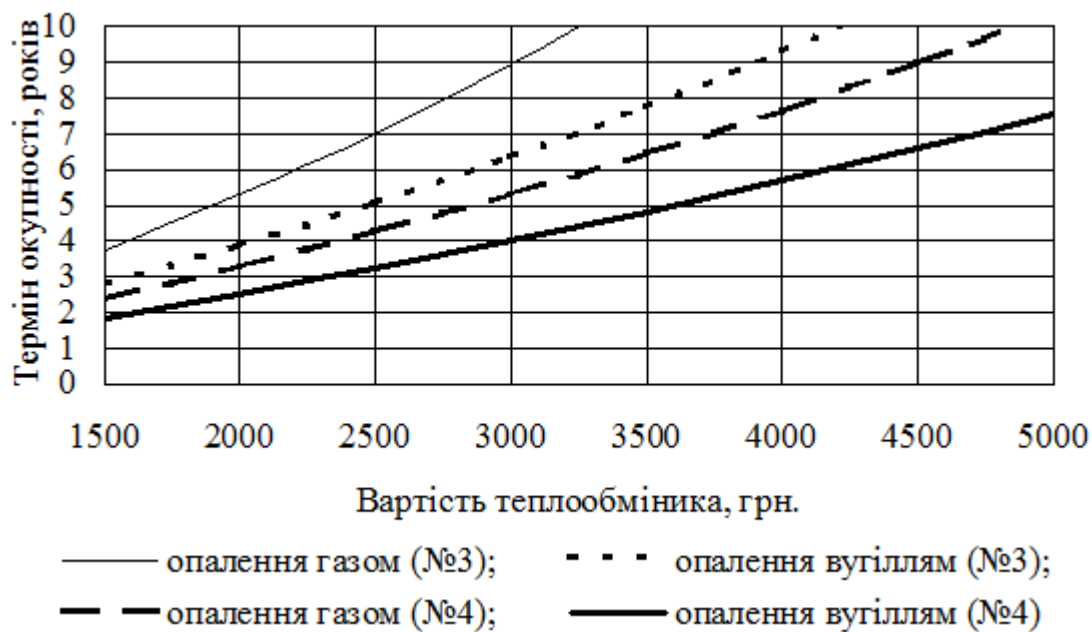


Рис. 6.5. Економічні показники автономного теплоутилізатора без ЦТО

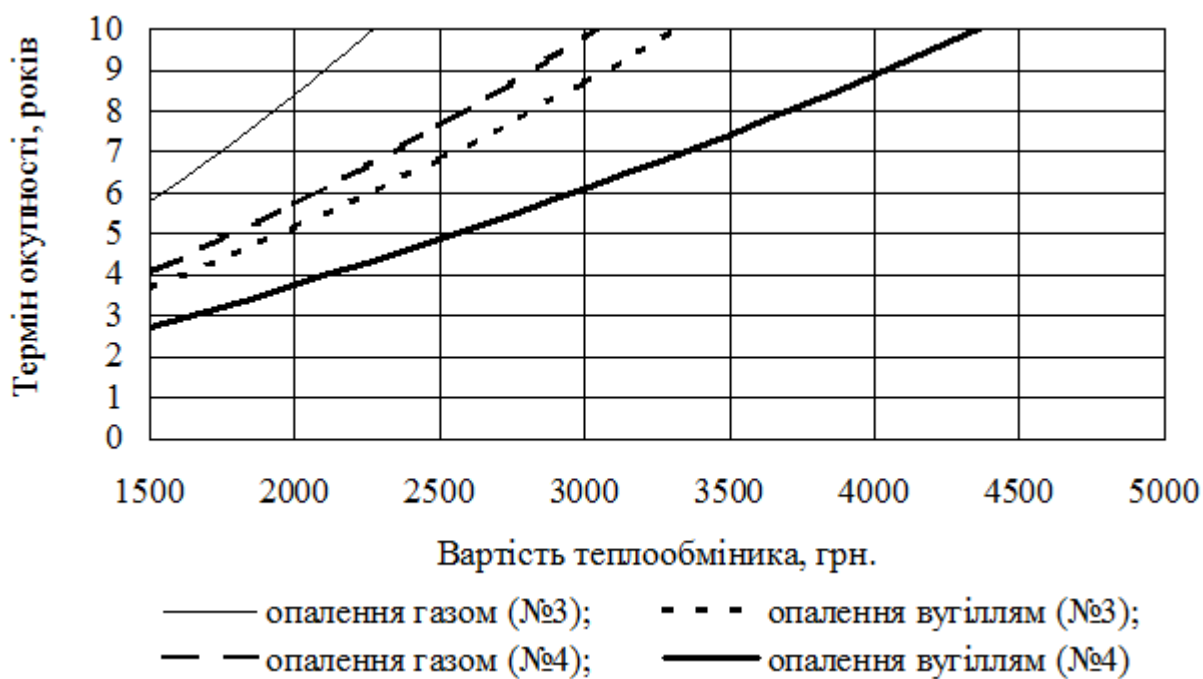


Рис. 6.6. Економічні показники автономного теплоутилізатора з ЦТО

При використанні централізованого теплоутилізатора, який працює на декілька культивацийних приміщень, ефективність його використання різко збільшується.

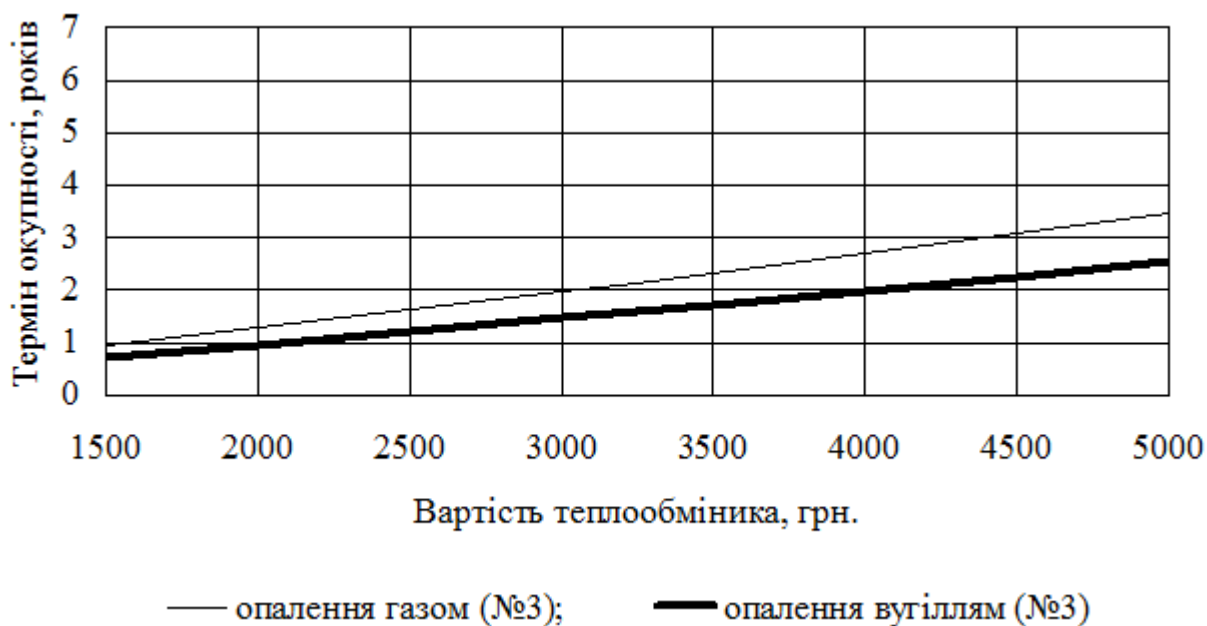


Рис. 6.7. Економічні показники централізованих теплоутилізаторів без ЦТО

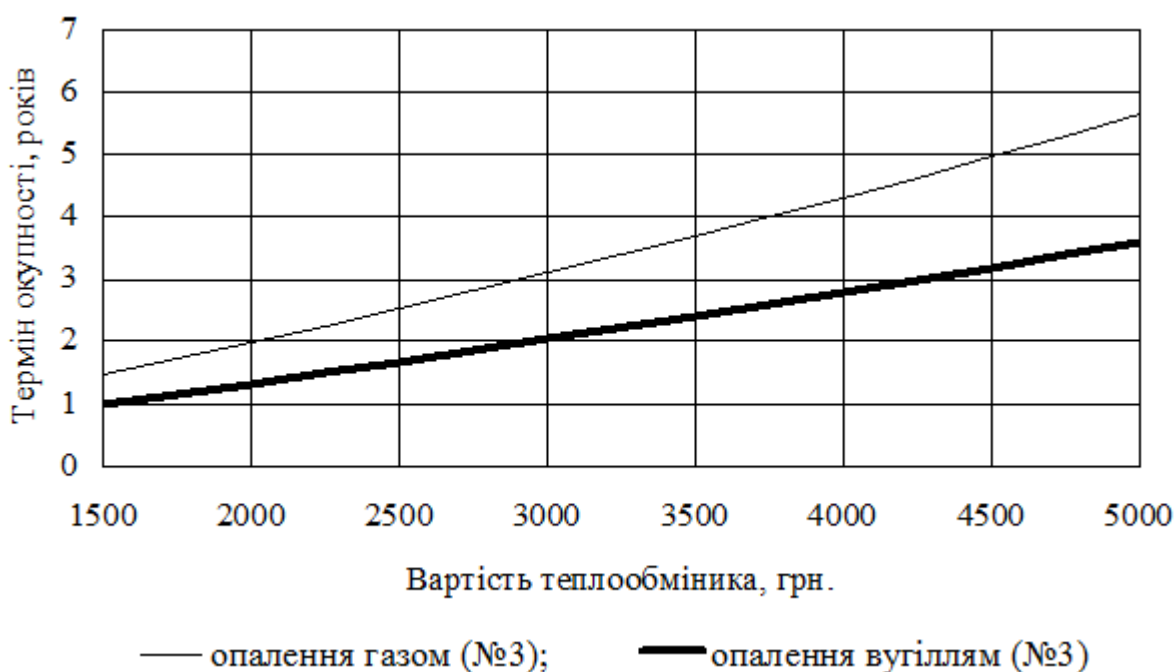


Рис. 6.8. Економічні показники централізованих теплоутилізаторів з ЦТО

Це пов'язано з тим, що при більших витратах повітря ефективність теплообміну в теплоутилізаторі збільшується, а, відповідно, зростає і економія

енергії при його роботі. Підігрів повітря перед централізовано встановленим теплоутилізатором за допомогою центрального водяного теплообмінника, який підігріває припливне повітря перед теплоутилізатором, збільшує надійність роботи теплоутилізатора, але також підіймає його термін окупності, оскільки центральний водяний теплообмінник зменшує температурний перепад у теплоутилізаторі.

Таким чином, теплоутилізатор в системі вентиляції культиваційного приміщення для вирощування грибів повинен встановлюватися централізовано для роботи на декілька приміщень. Для забезпечення необмерзання теплообмінної поверхні теплоутилізатора підігрів припливного повітря повинен забезпечуватися центральним водяним теплообмінником.

### **Економічна ефективність виробництва грибів влітку.**

Виробництво їстівних грибів може проводитися в культиваційних приміщеннях на протязі всього року. Але, якщо в зимовий та перехідний періоди року підтримання параметрів мікроклімату може бути забезпечене за рахунок використання опалювальних приладів та роботи системи вентиляції, то влітку забезпечити нормативні параметри мікроклімату без використання холодильної техніки неможливо. Оскільки система вентиляції культиваційного приміщення обладнана водяними теплообмінниками, доцільно для охолодження припливного повітря використовувати холодильні установки для охолодження води (чіллери). Порівняно з холодильними установками для охолодження повітря вони забезпечують більший ресурс роботи, оскільки мають можливість вимикатися при досягненні водою заданої температури та при зниженні температури припливного повітря. Це досягається завдяки тому, що вода має більшу теплоємність порівняно з повітрям. В той же час зниження ефективності роботи холодильної установки при роботі на воді за рахунок наявності проміжного теплоносія забезпечується зменшенням теплових втрат через меншу поверхню водяних трубопроводів порівняно з повітропроводами.

Ефективність роботи холодильної установки влітку досягається за рахунок збільшення урожайності грибів на 5% порівняно з варіантом без

використання охолодження повітря. Виробничий досвід показав, що фактичні умови вирощування грибів влітку практично дозволяють одержати не більше двох обертів культури в культиваційному приміщенні в умовах України. Без охолодження повітря влітку в культиваційних приміщеннях підвищується вологість повітря, що впливає на здатність грибів випаровувати вологу та забезпечувати своє живлення.

Розрахунки, представлені на рис. 6.9, показали, що використання холодильної машини для охолодження води (чіллера) забезпечує економічний ефект від 7,5 до 10 тисяч гривень за два літніх обороти культури. При цьому термін окупності чіллера не перевищує 4 років.

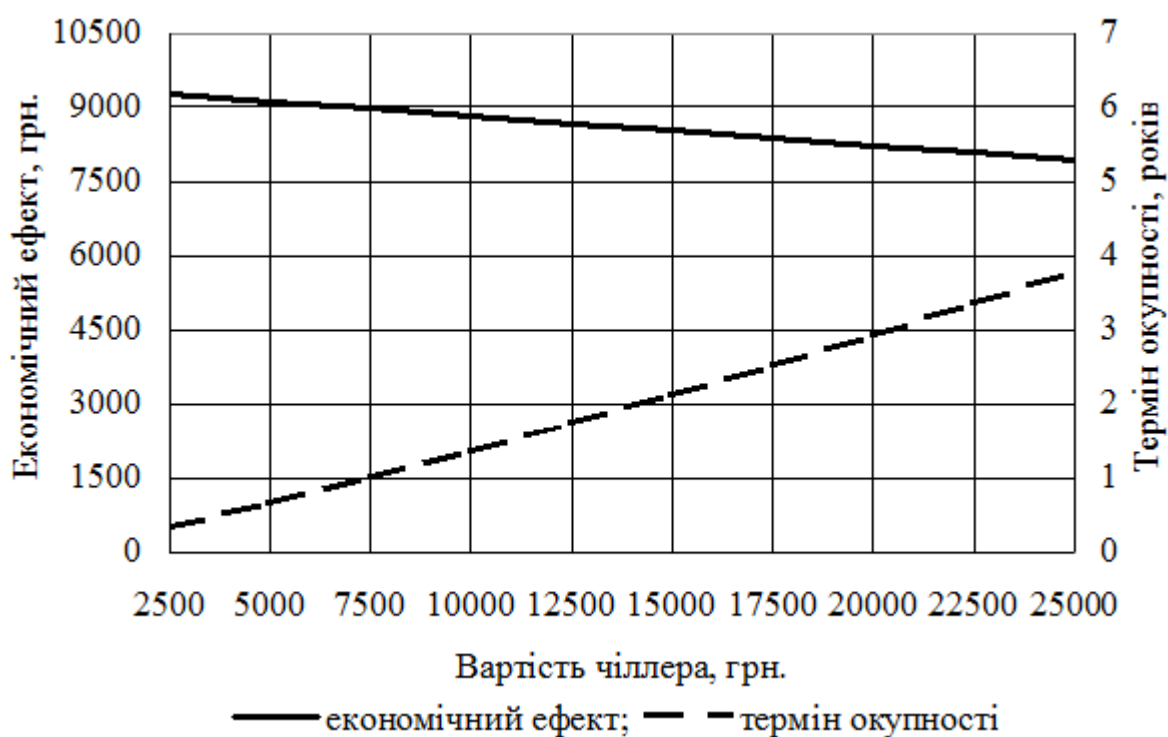


Рис. 6.9. Економічні показники чіллера для охолодження води в ЦТО

Таким чином, існуюче холодильне обладнання для одержання холодної води для охолодження повітря в системі вентиляції культиваційного приміщення для вирощування грибів забезпечує отримання економічного ефекту при вирощуванні грибів влітку при прийнятному терміні окупності.

## РОЗДІЛ 7

### ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

#### **Вимоги безпеки до виробничого обладнання та організації робочих місць.**

Усі види робіт на підприємствах для виробництва грибів слід проводити на справних машинах, механізмах, агрегатах і обладнанні, які відповідають ДСТУ 2189-93, ГОСТ 12 2 003-91, ГОСТ 12.2.013.0-91 і ГОСТ 12.2.019-86.

Технологічне обладнання і засоби механізації повинні бути такими, що мають сертифікати відповідності з урахуванням вимог безпеки й ергономіки відповідно до виробничих процесів вирощування грибів.

Заміну, регулювання й очищення робочих органів машин з приводом від електродвигуна потрібно проводити тільки при заглушеному двигуні. Для виконання цієї роботи слід вимкнути електродвигун і від'єднати його від мережі за допомогою комутаційної апаратури. На важелях (кнопках) комутаційної апаратури потрібно вивісити плакат "Не вмикати! Працюють люди". До виконання робіт приступають після повної зупинки робочих органів і вжиття заходів, що запобігають їх випадковому опусканню або падінню.

При розміщенні і компонуванні технологічного обладнання повинні враховуватися вимоги ДБН В.2.2-2-95, ВНТП-СГіП-46-19-96 і СанПіН №5791-91.

Підіймально-транспортне обладнання повинно задовольняти вимоги ГОСТ 12.2.003-91. Вказане обладнання та небезпечні у відношенні травматизму рухомі частини машин і механізмів слід фарбувати в кольори згідно з ГОСТ 12.4.026-76.

Підключення обладнання до електромережі повинно виконуватися відповідно до Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів ПТЕ і ДНАОП 0.00-1.21-98. Усі підключення до електромережі повинні здійснювати тільки електротехнічні працівники, які мають відповідну групу з електробезпеки.

Кнопкові пульти і рукоятки керування повинні мати відповідні надписи "пуск", "стоп", "відчинено", "зачинено", і пофарбування відповідно до ГОСТ 12.4.026-76.

Повітрязабірні отвори вентиляторів повинні бути постійно закриті сіткою.

Рейкові і тросові приводи систем вентиляції повинні забезпечувати плавне та без перекосів переміщення фрамуг і щільне їх закривання.

Поверхні конструктивних елементів камер для вирощування грибів і технологічного обладнання потрібно фарбувати в сигнальні кольори згідно з ГОСТ 12.4.026-76 і для запобігання від корозії згідно зі СНиП 2.03.11-85.

Під час ремонту і обслуговування технологічного обладнання у камерах для вирощування грибів, розміщеного на висоті, з внутрішнього і зовнішнього боків потрібно застосовувати спеціальні механізми, обладнання і пристрої відповідно до ГОСТ 12.3.002-75 і СНиП III-4-80.

Розміщенні у камерах для вирощування грибів трубопроводи, запірна арматура, насоси і ємності, які використовуються під час застосування гербіцидів і агрохімікатів, повинні постійно підтримуватися у герметичному стані, а матеріали, з яких вони виготовлені, повинні забезпечувати можливість їх багаторазового промивання.

Труби системи поливу повинні бути пересувними. Розміщення зрошувачів у системі поливу повинно бути таким, щоб не викликати травмування працівників та не утруднювати роботу транспортних засобів і механізмів.

Засоби малої механізації, підвісні транспортні лінії й дороги, транспортери, стрічкові талі, електричні візки, що переміщаються по надгрунтових регістрах тощо, які застосовуються під час збирання урожаю й транспортування його у складські приміщення, повинні мати справні гальма.

Робочі місця повинні мати освітленість відповідно до СНиП II-4-79.

У камерах для вирощування грибів із генераторами вуглекислого газу безперервної дії для підживлення грибів вуглекислим газом повинен бути

організований постійний контроль за вмістом вуглекислого газу в повітрі робочої зони. У всіх інших випадках контроль за вмістом вуглекислого газу проводиться щоденно та після кожного підживлення рослин.

Конструктивні елементи обладнання робочого місця, зон обслуговування й органів керування повинні забезпечувати працівникам вільний прохід та доступ зручні й безпечні дії під час виконання технологічних операцій.

### **Вимоги безпеки під час обслуговування обладнання.**

#### **Обслуговування систем тепло-, газопостачання і вентиляції.**

Обслуговування обладнання теплопостачання, яке пройшло випробовування і має паспорт, інструкції і журнали випробовувань, слід проводити у відповідності з ДНАОП 0.00-1.11-98 та ДНАОП 0.00-1.22-72.

Обслуговування теплогенераторів, систем опалення, генераторів вуглекислого газу, працюючих на газовому паливі, а також обладнання газопостачання теплиць, проводять відповідно до вимог експлуатаційної документації і ДНАОП 0.00-1.20-98.

Налагодження й регулювання газового обладнання в камерах для вирощування грибів повинні забезпечувати максимальну повноту згорання палива. Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій відповідно до ГОСТ 12.1.005-88.

Усе обладнання систем теплогазопостачання і вентиляції камер для вирощування грибів потрібно систематично піддавати регулюванню, перевірці на аварійне відключення та іншим профілактичним заходам планово-попереджувальних ремонтів, розроблених відповідно до експлуатаційної документації і затверджених керівником підприємства.

При проведенні вуглекислотного підживлення слід підтримувати такий режим роботи газогенератора, який би забезпечував згорання палива з

мінімальним утворенням оксиду вуглецю. Не допускається експлуатація газогенератора повітряного підживлення:

- при несправній системі вентиляції;
- на видах палива, які не передбачені технологією;
- при несправній системі блокування подачі палива;
- в аварійних або близьких до них температурних режимах теплиць.

При використанні в теплицях генераторів вуглекислого газу для повітряного підживлення рослин потрібно здійснювати постійний контроль за вмістом газу в повітрі робочої зони. Концентрацію вуглекислого газу в повітрі теплиць при повітряному підживленні потрібно підтримувати в межах 0,1...0,3%.

Для запобігання створенню травмонебезпечних ситуацій не дозволяється вносити зміни в обладнання систем теплогазопостачання і вентиляції без погодження з виробником.

Приводи механічного управління системою вентиляції камер для вирощування грибів, які розміщені в робочій зоні, повинні мати захисні огороження сигнальне фарбування та забезпечувати повільне без перекосів переміщення фрамуг і щільне їх закривання.

Для обслуговування обладнання й систем, розміщених на висоті, слід використовувати площадки, драбини, перила та інші пристрої, розміри і конструкція яких повинні забезпечувати зручне і безпечне виконання роботи і виключати можливість падіння працівників.

У процесі обслуговування обладнання й комунікацій, які є травмонебезпечними, слід зберігати заводське фарбування сигнального кольору або відновлювати його згідно з ГОСТ 12.4.026-76.

У процесі обслуговування обладнання в зоні закслених поверхонь теплиць слід вживати заходів які би виключали можливість травмування працівників битим склом.

**Обслуговування електроустановок і електрообладнання.** Роботи в захищеному ґрунті, пов'язані із застосуванням пересувних електрифікованих

машин, підіймально-транспортного обладнання з електроприводом, та усі електротехнічні роботи повинні виконуватися у відповідності з вимогами ГОСТ 12.1.019-79, ГОСТ 12.1.030-81, ДНАОП 0.00-1.21-98, ПВЕ і ПТЕ.

Відповідальність за експлуатацію електроустановок несуть особи, відповідальні за електрогосподарство підприємства. При відсутності особи, відповідальної за електрогосподарство підприємства, виконання її обов'язків наказом покладається на особу зі штату інженерно-технічних працівників енергослужби.

Для гарантування безпеки працівників під час обслуговування електроустановок необхідно передбачити: надійне заземлення (занулення) корпусів електрообладнання і вимірювальних приладів, які застосовуються під час обслуговування; захист від перевантажень і короткого замикання; надійний захист від механічних та інших пошкоджень ізоляції зовнішньої електропроводки; діелектричні килимки або ізоляційні підкладки під ноги по усьому фронту робочого місця електротехнічного персоналу; попереджувальні плакати та інструкції з охорони праці, вивішені на видимих місцях у робочих приміщеннях; знаки безпеки за ГОСТ 12.4.026-76.

На усіх робочих місцях потрібно мати інструкції з експлуатації електроустановок і електрообладнання та схеми з їх обслуговування.

При підключенні пересувних машин з електроприводом до електромережі потрібно застосовувати спеціальні кабелі відповідно до ПВЕ. Перед включенням у роботу пересувних механізмів потрібно візуально перевірити цілісність ізоляції живильного кабелю і правильність під'єднання нульового проводу. Живильний кабель для пересувних електроустановок потрібно вибирати з таким розрахунком, щоб його довжина перевищувала максимальну віддаль переміщення машини. Живильний кабель повинен знаходитися поза зоною переміщення машини.

При відсутності напруги і значних перервах у роботі усі машини і обладнання повинні бути відключені за допомогою комутаційної апаратури, рубильників, автоматів тощо.

На захисних огороженнях електроустановок, які є потенційно небезпечними для працівників, встановлюють знаки безпеки відповідно до ГОСТ 12.4.026-76.

Під час підвішування, розставлення, знімання й зберігання тепличних опромінювачів потрібно дотримуватися вимог експлуатаційної документації і застосовувати засоби й методи, які виключають можливість виникнення травмонебезпечних ситуацій.

Перед включенням системи досвічування перевірячі підлягає стан захисного заземлення (занулення) металевих рам і кронштейнів, на яких кріпляться світильники і металевих корпусів світильників.

Роботи по обслуговуванню систем досвічування дозволяється проводити тільки після відключення живильної напруги.

#### **Обслуговування систем водопостачання та водовідведення.**

Під час обслуговування водопровідних, каналізаційних, гідропонних мереж і споруд у захищеному ґрунті потрібно керуватися ГОСТ 12.3.006-75 і ВНТП- СГіП-46-19-96.

Небезпечні ділянки водопровідних і каналізаційних споруд магістральних мереж, а також приямки, в яких розміщено обладнання гідропонних споруд, повинні бути огорожені та освітлені відповідно до СНиП П-4-79 і позначені знаками безпеки відповідно до ГОСТ 12.4.026-76.

При обслуговуванні систем дощування подачі й зливу поживних розчинів, розчинів пестицидів і мінеральних добрив, слід виконувати вимоги ДНАОП 0.03-1.12-98 та ДНАОП 0.03-1.08-73.

Під час опускання й підймання труб-зрошувачів системи поливу та реєстрів системи обігріву потрібно використовувати спеціальні пристрої.

Під час обслуговування систем із пропарювання ґрунту слід приділяти особливу увагу перевірячі цілісності магістралі з термостійкої плівки й надійності стикових з'єднань.

**Обслуговування обладнання яке працює під тиском.** Експлуатація й обслуговування посудин, які працюють під тиском, повинні здійснюватися відповідно до ДНАОП 0.00-1.07-94.

Ресивери розпилювачів, обприскувачів та іншого обладнання повинні підлягати зовнішньому огляду і гідравлічному випробовуванню перед початком експлуатації. Гідравлічне випробовування проводиться під робочим тиском (час витримки при випробовуванні не менше 300 секунд). Ресивер вважається таким, що пройшов випробовування, якщо не виявлено ознак нагріву, підтікання у зварних швах і в основному металі, та видимих залишкових деформацій. Результати огляду заносяться у паспорт обладнання.

Не допускається до експлуатації обладнання, що має у своєму складі компресор і ресивер, якщо виявлені несправності запобіжного клапана або манометра.

Не допускається заправка ресиверів рідиною вище рівня, вказаного в експлуатаційній документації.

Балони зі стиснутими зрідженими газами потрібно розміщувати у спеціальній рампі. Конструкція рампи повинна забезпечувати надійне кріплення балонів у вертикальному положенні.

Підключення одиничного балону до газорозподільної мережі потрібно виконувати тільки через знижуючий редуктор і гумовий шланг-запобіжник. Тиск, при якому шланг руйнується, повинен становити 0,5 МПа.

При одночасному використанні декількох балонів потрібно застосовувати пристрій високонапірного колектора з установкою одного редуктора на магістралі перед штуцером роздачі газу.

## ВИСНОВКИ

В магістерській роботі досліджений технологічний процес промислового вирощування печериць.

В результаті досліджень отримані наступні результати:

1. Встановлено, що теплоутилізатор у системі вентиляції повинен установлюватися централізовано для роботи на декілька культиваційних приміщень для вирощування грибів; при цьому фактичний коефіцієнт утилізації тепла в зимовий період знаходиться у межах від 0,18 до 0,23 відносних од., а строк окупності теплоутилізатора не перевищує 4 років;

2. Розроблена імітаційна модель температурно-вологісного режиму культиваційного приміщення для вирощування шампінйонів, з якої отримана передаточна функція об'єкта управління по каналу керування температурним режимом з коефіцієнтом передачі  $k_{ov} = 0,273 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{ x.peg.org.}$ , постійною часу  $T_{ov} = 4150 \text{ c}$  та часом запізнення  $\tau_{ov} = 150 \text{ c}$ ;

3. В результаті дослідження технологічного процесу виробництва шампінйонів в камері вирощування розроблена функціонально-технологічна схема автоматизації.

4. Обґрунтований вибір комплексу сучасних технічних засобів автоматизації для реалізації САК температурним режимом в камері для вирощування шампінйонів з використанням датчика температури ТС1047А та мікроконтролера PIC16F876, що реалізує ПІ-закон керування.

5. Дослідження САК показало, що система є стійкою, час регулювання складає 3630с, перерегулювання  $\sigma = 7,6\%$ , коливальність  $n = 1$ .

6. Розроблені електрична принципова схема САК параметрами мікроклімату та необхідне програмне забезпечення, обґрунтований вибір електротехнічного обладнання, проводів і кабелів.

7. Термін окупності капіталовкладень, витрачених на організацію виробництва грибів, знаходиться в межах від 3 до 4 років.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Бабаханов Ю.М., Степанова Н.А. Оборудование и пути снижения энергопотребления систем микроклимата. – М.: Россельхозиздат, 1986. – 232 с.
2. Голуб Г.А. Вибір схеми установки теплоутилізаторів у системі вентиляції грибниць // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції “Агромех – 2004”: Львів, 2004. – С. 70-77.
3. Голуб Г.А. Ефективність виробництва їстівних грибів // Економіка АПК. – 1999. – № 9 – С. 63-65.
4. Гусев Е.К. Новый пластинчатый рекуператор // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1986. – №8. – С. 43-45.
5. Драганов Б.Х., Есин В.В., Зуев В.П. Применение теплоты в сельском хозяйстве. 2-е изд. - К.: Вища шк., 1990. - 319 с.
6. ДСТУ 2671-94. Теплоутилізатори. Методи випробувань. – К.: Держстандарт України, 1994. – 12 с.
7. Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, Д.Г. Войтюк; За ред. Є.Л. Жулая. Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.: іл.
8. Жадан В.З. Теплофизические основы хранения сочного растительного сырья на пищевых предприятиях. - М.: "Пищевая промышленность", 1976.- 238 с.
9. Захаров А.А. Применение теплоты в сельском хозяйстве. – 3-е издание, переработанное и дополненное. – М.: Агропромиздат, 1986. – 288 с.
10. І.І. Мартиненко, В.П. Лисенко, Л.П. Тищенко, В.С. Лукач. Проектування систем електрифікації та автоматизації сільського господарства. — К.: Вища школа, 1989. – 201с.
11. Каталог оборудования для вентиляции и кондиционирования воздуха. VTS CLIMA. – Версия 1.4, 2000. – 330 с.
12. Кокорин О.Я. Энергосберегающие системы микроклимата животноводческих помещений // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1986. – №6. – С. 39-43.
13. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. - Тернопіль: Підручники & посібники, 2001. – 977с.
14. Ладанюк А.П., Перепечаенко В.Г. Оперативное управление технологическими процессами в пищевой промышленности. – К: Урожай, 1987 – 160 с.
15. Макаров. Р.М. Менский Б.М. Линейные автоматические системы (элементы теории, методы расчета и справочный материал). – М.: Машиностроение, 1978г.

16. Мартыненко И.И, Головинкий Б.Л, Проценко Р.Д, Резниченко Т.Ф. Автоматика и автоматизация производственных процессов. М.:1985.- 336с.
17. Мартыненко И.И. Лысенко В.Ф. Проектирование систем автоматики. 2-е изд. перераб. и доп. -М.: Агропромиздат, 1990. – 243 с.
18. Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. – М.: Колос, 1980. – 112 с.
19. Ранчева Ц. Интенсивное производство шампиньонов – Москва: Агропромиздат, 1990 – 190с.
20. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие / А.С. Ключев, Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский, А.А. Ключев; Под ред. А.С. Ключева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.: ил.
21. Пчелкин Ю.Н. О повышении эксплуатационных и энергетических показателей рекуперативных теплообменников // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1985. – №3. – С. 27-31.
22. Рунов Б.А., Бабаханов Ю.М., Шаталов А.П. Энергосберегающая технология создания микроклимата на фермах // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1986. – №2. – С. 39-43.
23. Рысс А.А. Автоматизация технологических процессов в защищенном грунте – М., Россельхозиздат, 1983 – 80с.
24. Рысс А.А., Гурвич Л.И. Автоматизированное управление температурным режимом в теплицах - М.. Агропромиздат, 1986 – 156 с.
25. Франц Дж. Торнли Дж. Математические модели в сельском хозяйстве. – М.: Агропромиздат, 1987. – 400 с.
26. Шаталов А.П. Применение утилизаторов теплоты в системах вентиляции свинарников // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – №9.– 1986. – С. 60-64.
27. Янцен В.К. О возможности применения рекуперативных теплообменников в системах вентиляции животноводческих помещений // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1983. – №2. – С. 19-21.
28. [www.gribovod.kiev.ua](http://www.gribovod.kiev.ua)
29. [www.microchip.ru](http://www.microchip.ru)

## ДОДАТОК А

Склади найбільш поширених у світовому і українському грибівництві  
КОМПОСТІВ

Розробник компосту	Вміст складових елементів, кг											
	солома	кінський гній	курячий послід	гній врх	качани кукурудзи	солодові ростки	сечовина	сульфат амонію	суперфосфат	аміачна селітра	крейда	гіпс
	Н а т у р а л ь н і											
Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАНУ	1000	4000	-	-	-	-	10	10	10	-	15	60
Цв. Ранчева	-	1000	-	-	-	-	4	-	22	10	-	22
	Н а п і в с и н т е т и ч н і											
В.К. Орехов і А.А. Жемойц	-	1000	50	-	-	-	-	-	-	-	-	22,5
Л.А. Девочкін	1000	1000	800	-	-	-	20	-	-	-	-	60
Цв. Ранчева	100	215	150	-	250	-	4,5	-	-	13	-	60
Інститут ботаніки	1000	2000	400	-	-	-	18	15	-	-	15	60
	С и н т е т и ч н і											
І.К. Веддер	1000	-	400	-	-	-	25	-	-	-	-	60
Г.І. Бондаренко і Г.Л. Семенкова	-	-	-	600	300	80	-	-	-	-	-	60
Інститут ботаніки	1000	-	640	-	-	-	5	-	-	-	15	60
- "	1000	-	550	-	-	50	5	-	-	-	-	60
- "	1000	-	1000	-	-	-	-	-	-	-	-	60

## ДОДАТОК Б

Методика розрахунку вмісту загального азоту у печеричному компості

Матеріал	Сирамаса, кг	Вологість, %	Суха речовина, кг	Вміст азоту			Необхідно додати до 2%	
				%	кг	% у суміші	%	кг
Солома	1000	15	850	0,5	4,25	-	-	-
Кінський гній	1000	50	500	1,3	6,50	-	-	-
Курячий послід	800	40	480	3,5	16,80	-	-	-
Разом	2800	-	1830	-	27,55	1,50	0,5	9,15
Добавки: карбамід	20	-	20	46	9,20	-	-	-
Всього	2820	-	1850	-	36,75	2,0	-	-

## ДОДАТОК В

програмне забезпечення роботи САУ вологістю повітря в камері  
вирощування печериць в автоматичному режимі

```

list    p=16f876          ;директива визначення типу процесора
#include <p16f876.inc>    ;включення файлу стандартних імен

__CONFIG_CP_OFF & __WDT_OFF & __BODEN_OFF & __PWRTE_ON & __XT_OSC &
__WRT_ENABLE_ON & __LVP_OFF & __DEBUG_ON & __CPD_OFF

CBLOCK 20H
    _N          ;змінна для задання величини затримки
    LOOP3      ;змінні
    LOOP2      ;для
    LOOP1      ;підпрограм
    LOOP0      ;затримок
    LSD        ;молодший десятковий розряд значення вологості
    MSD        ;старший десятковий розряд значення вологості
    L7         ;7-сегментний код молодшої цифри
    M7         ;7-сегментний код старшої цифри
    LL7        ; 7-сегментний код цифри, що виводить десяткову
                ; вологість
    O_BYTE     ;регістр для передачі байта до НІН-3610-004
    HI         ;значення десятків вологості
    LO         ;значення одиниць вологості
    MOIST      ;прийнятий біт з датчика

                ENDC

;=====
; Основна програма
;=====
    org        0x000
    nop
    goto       main          ;основна програма

    org        0x4
    goto       ServiseInt    ;п/п обробки переривань

main:
    call       init          ;виклик п/п ініціалізації
main1:
    call       CONFIG_DEVISE ;п/п обміну з датчиком
    call       VPORYADKUVANNYA ;п/п, яка впорядковує зчитану          ;вологість по
                бітах в залежності від значення вологості
    callBCD_71
;=====iinit:
                ;п/п ініціалізаці
    clrf       PORTA         ;вивести у зачіпки портів
    clrf       PORTB         ;С, А, В нулі
    clrf       PORTC
    bsf        STATUS,RP0    ;банк регістрів 1

```

```

movlw    b'00000001'           ;RA0 - введення, інші біти --
movwf    TRISA                 ; виведення
movlw    b'00000000'           ;Всі біти --   на виведення
movwf    TRISB                 ;
movlw    b'00000000'           ; Всі біти - на виведення
movwf    TRISC
movlw    b'10001110'           ;режим роботи АЦП
movwf    ADCON1
banksell INTCON
bsf      INTCON,GIE            ;глобальний дозвіл переривань
bsf      INTCON,RBIE           ; дозвіл переривань з порту В
bcf      INTCON,RBIF           ;скидання ознаки переривань
retfie

;=====
;=====
CONFIG_DEVISE:                ;п/п обміну з датчиком
call     reset                 ;п/п скидання датчика та очікування
                                ;відповіді від датчика
                                ;команда пропускання адресації
movlw    h'CC'                 ;команда пропускання адресації
movwf    O_BYTE
call     OUT_BYTE              ;п/п передачі байта до датчика
movlw    h'44'                 ; команда почати перетворення
movwf    O_BYTE
call     OUT_BYTE
call     PIN_HI                 ;п/п встановлення на виході "1"
movlw    .10                   ;затримка 10 мс з високим
call     delay_n_ms            ;виходом для вим. вологості
main2:                          ;затримка 1с для
movlw    .4                    ;закінчення перетворення
movwf    LOOP3
call     delay_250ms
decfsz   LOOP3,f
goto     main2
call     reset
movlw    h'BE'                 ;команда прочитати регістри
movwf    O_BYTE                ;датчика
call     OUT_BYTE
call     IN_BYTE                ;п/п прийому бітів із датчика
return

;=====
OUT_BYTE:                      ;п/п передачі байта до датчика
movlw    .8
movwf    _N
OUT1:
rrf      O_BYTE,f
btfsc   STATUS,C
goto    OUT_1
goto    OUT_0
OUT2:
decfsz  _N,f
goto    OUT1
OUT_1:

```

```

call    PIN_LO
call    PIN_HI
movlw   .8
call    delay_WX10US
goto    OUT2
OUT_0:
call    PIN_LO
call    delay_WX10US
call    PIN_HI
goto    OUT2
return

;=====
PIN_HI:
bsf     PORTB,5    ;ввімкнути двигун для відкриття рециркуляційної заслінки
bsf     PORTB,2    ;ввімкнути двигун для відкриття заслінки свіж. повітря
bsf     PORTB,1    ;відкрити клапан холод. води
bsf     PORTC,7    ;ввімкнути витяжний вентилятор
bsf     PORTB,0    ;ввімкнути припливний вентилятор
call    delay_WX_20US    ;затримка часу
bcf     PORTB,5    ;вимкнути двигун для відкриття рециркуляційної заслінки
bcf     PORTB,2    ;вимкнути двигун для відкриття заслінки свіж. повітря
call    delay_WX10US    ;затримка часу
bcf     PORTB,0    ;вимкнути припливний вентилятор
bcf     PORTC,7    ;вимкнути витяжний вентилятор
bcf     PORTB,1    ;закрити клапан холод. води
bsf     PORTB,3    ; ввімкнути двигун для відкриття заслінки свіж. повітря
bcf     PORTB,4    ; ввімкнути двигун для закриття рециркуляційної заслінки
call    delay_WX_20US    ;затримка часу
bcf     PORTB,3    ; вимкнути двигун для відкриття заслінки свіж. повітря
bcf     PORTB,4    ; вимкнути двигун для закриття рециркуляційної заслінки

return

;=====
PIN_LO:
bsf     PORTB,5    ;ввімкнути двигун для відкриття рециркуляційної заслінки
bsf     PORTB,2    ;ввімкнути двигун для закриття заслінки свіж. повітря
bsf     PORTC,6    ;ввімкнути клапан подачі води в зволожувач
bsf     PORTC,7    ;вимкнути витяжний вентилятор
bsf     PORTB,0    ;ввімкнути припливний вентилятор
call    delay_WX_20US    ;затримка часу
bcf     PORTB,5    ;вимкнути двигун для відкриття рециркуляційної заслінки
bcf     PORTB,2    ;вимкнути двигун для закриття заслінки свіж. повітря
call    delay_WX10US    ;затримка часу
bcf     PORTB,0    ;вимкнути припливний вентилятор
bcf     PORTC,6    ;вимкнути насос подачі води в зволожувач
bsf     PORTB,3    ; ввімкнути двигун для відкриття заслінки свіж. повітря
bcf     PORTB,4    ; ввімкнути двигун для закриття рециркуляційної заслінки
call    delay_WX_20US    ;затримка часу
bcf     PORTB,3    ; вимкнути двигун для відкриття заслінки свіж. повітря
bcf     PORTB,4    ; вимкнути двигун для закриття рециркуляційної заслінки

return

```

```

=====
;
IN_BYTE:                                     ;п/п прийому бітів із датчика
    movlw    .12
    movwf   _N
    clrf    MSD
    clrf    LSD
IN1:
    call    PIN_LO
    nop
    call    PIN_HI
    goto    $+1
    goto    $+1
    goto    $+1
    movf    PORTC,w
    movwf   MOIST
    bcf     STATUS,C
    btfsc   MOIST,1
    bsf     STATUS,C
    rrf     LSD
    decfsz  _N,f
    goto    IN1
    return
=====
;
delay_250ms:                               ;п/п затримки 250мс
    movlw   .250
    movwf   LOOP1
delay_n_ms:
    movlw   .102
    movwf   LOOP2
INNER:
    movlw   .2
    movwf   LOOP0
ININ:
    decfsz  LOOP0,f
    goto    ININ
    decfsz  LOOP2,f
    goto    INNER
    decfsz  LOOP1,f
    goto    delay_n_ms
    return
=====
;
delay_WX10US:                              ;п/п затримки 10мкс*W
    movwf   LOOP1
delay_10US:
    movlw   .2
    movwf   LOOP0
    decfsz  LOOP0,f
    goto    $-1
    decfsz  LOOP1,f
    goto    delay_10US
    return
=====
;

```

```

;=====
delay_WX_20US:                ;п/п затримки 10мкс*W для
    movwf    LOOP1            ;відкриття/закриття
delay_20US:
    movlw    .2
    movwf    LOOP0
    decfsz   LOOP0,f
    goto     $-1
    decfsz   LOOP1,f
    goto     delay_20US
    return
;=====
;=====
VPORYADKUVANNYA:            ;п/п, яка впорядковує зчитану
                            ;вологість по бітах взаємності
                            ;від значення вологісті
    swapf    LSD,f            ;значення десяткової вологісті
    bcf     STATUS,C
    rrf     LSD,f            ;розміщуємо так, щоб число
                            ;відповідало в рег. відповідало своєму
                            ;своєму значенню
    return
;=====
BCD:
    call    BINBCD            ; п/п розпаковки значення вологісті
    call    BCD_7            ; п/п перетворення знач.
                            ; вологісті в код для індикатора
    call    DISPLAY          ;п/п виведення значення вологісті на
                            ;на індикатори
    goto    main1
;=====
BINBCD:                      ; п/п розпаковки значення вологісті
    clrf    HI
    movwf   MSD,f            ;значення вологісті в роб. регістр
    movwf   LO
GTENTH:
    movlw   .10
    subvf   LO,w
    btfsc   STATUS,C
    movlw   .0,f
    movwf   LO
    incf    MSD,f
    goto    GTENTH
;=====
BCD_7:                        ; п/п перетворення знач.
                            ; вологісті в код для індикатора для десятків
    movf    HI
    call    tab7s
    movwf   M7
    comf    M7
BCD_71:
    movf    LO

```



```

movwf   ADCON0           ;каналу порту А
btfsc   ADCON0,GO ;очікування завершення
goto    $-1             ;перетворення
movw    ADRESL,w        ;копіюємо отриманий код в
movwf   MSD             ;регістр MSD
bcf     STATUS,C
rrf     MSD             ;перетворення значення коду
                        ;в значення вологісті

movlw   d'40'
subf    MSD,f
Servise1:
                        ;частина програми, яка висвічує
                        ;значення вологості

callBINBCD
clrfLSD           ;щоб на десятковій індикації був 0
callBCD_7
calldisplay
retfie

;=====
end

```