

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістр
(рівень вищої освіти)

на тему

Дослідження та удосконалення системи автоматизації при вирощуванні
грибів в тепличному господарстві

Виконав: студент 2 курсу, групи
601ME

спеціальності 141
«Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Сузима А.О. 
(прізвище та ініціали)

Керівник Кожушко. Г.М. 
(прізвище та ініціали)


Рецензент Кислиця С.Г.
(прізвище та ініціали)

Полтава - 2025 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та
робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Рівень вищої освіти Магістр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматичної,
електроніки та телекомунікацій


О.В. Шефер
« 15 » 09 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Сузимі Андрію Олеговичу

1. Тема проекту (роботи) **«Дослідження та удосконалення системи автоматизації при вирощуванні грибів у тепличному господарстві»**
керівник проекту (роботи) Кожушко Григорій Мефодійович, д.т.н., професор
затверджена наказом вищого навчального закладу від « 03 » 09 2025 року
№ 1025-ф.а.
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 22.12.2025 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи). Статичний момент об'єкту керування: $M_n = 20 \text{кГм}$; Момент інерції об'єкту керування: $J_n = 120 \text{кГм} \cdot \text{с}^2$; Максимальна кутова швидкість об'єкту керування: $\omega_n = 1.5 \text{с}^{-1}$; Максимальне кутове прискорення об'єкту керування: $a_n = 0.4 \text{с}^{-2}$; Спектральна густина білого шуму, прикладеного на виході: $S_0 = 2 \cdot 10^{-6} \text{рад}^2 \cdot \text{с}^{-1}$. Розробити систему для реєстрації режимів в електричних мережах тепличного господарства; Розробити ефективну систему автоматичного керування температурним режимом у теплицях; Розробити систему автоматичного керування екрануванням;
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз технології вирощування грибів у тепличному господарстві. Проведення та аналіз експериментів задля визначення впливів першої та другої групи . Розроблення системи для реєстрації режимів у електричних мережах тепличного господарства. Розроблення систем керування мікрокліматом теплиць.. Висновки по роботі.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
 - 1) Мета та об'єкт дослідження
 - 2) Генеральний план тепличного господарства

- 3) Структурна схема керування температурним режимом
- 4) Структурна схема сервоприводу
- 5) Графіки активного та пасивного експериментів
- 6) Схеми обігріву та регулювання температури
- 7) Система регулювання мікроклімату з низьким та високим ЖБЕ
- 8) Блок-схема алгоритму роботи формування керуючих впливів у системі керування екрануванням
- 9) Принципова електрична схема захисного вимикаючого пристрою
- 10) Висновки по роботі.

6. Дата видачі завдання 15.09.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів магістерської роботи	Термін та обсяг виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
		Термін	Категорія	Обсяг	
1	Аналіз технології вирощування грибів у тепличному господарстві. Постановка завдань на магістерську роботу	07.10.25		15%	Пл. 1
2	Дослідження теплиці як об'єкта системи автоматичного регулювання.	21.10.25	I	25%	Пл. 2
3	Проведення пасивного та активного експериментів задля визначення впливів першої та другої групи	04.11.25		40%	Пл. 3
4	Аналіз експериментів та формування висновків за ними	11.11.25		50 %	Пл. 4
5	Розроблення системи для реєстрації режимів у електричних мережах тепличного господарства	18.11.25	II	60%	Пл. 5
6	Розроблення систем керування мікрокліматом теплиць.	25.11.25		70%	Пл. 6,7
7	Розрахунок слідкуючої системи керування вузькополосними екранами	09.12.25		90%	Пл. 8,9
8	Оформлення пояснювальної записки	22.12.25	III	100%	Пл. 10

Магістрант


(підпис)

Сузима А.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Кожушко Г.М.
(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Актуальною проблемою сьогодення є нестача харчового білка. Повноцінним джерелом є гриби. Їх можна вирощувати цілорічно, незалежно від світлової зони, погодних і ґрунтових умов, збирати урожай з 1 га до 11 тис. ц в рік.

Світове виробництво грибів за останні два десятиліття різко зросло. У 2010 році воно досягло 1,2 млн. т, зокрема 700 тис. т — печериць і близько 75 тис. т — гливи. У 2014 році в Голландії, наприклад, вироблено 60 тис. т печериць — 7 кг на людину в рік. Виробництво їстівних грибів як додаткового джерела білка, висуває перед виробниками нові завдання. У найближчий час в Україні передбачене створення проєкти автоматизованих комплексів вирощування печериць на вітчизняному обладнанні.

Для того, щоб суттєво підвищити врожайність грибів, необхідно визначити шлях і способи, які забезпечують отримання якісних і дешевих субстратів, скоротити і спростити цикл їх підготовки для досягнення максимальної економічності процесу вирощування

Вирощування грибів у теплицях отримало прискорений розвиток в кінці 90-х років переважно за рахунок будівництва великих тепличних господарств, які використовують передову технологію при високому рівні механізації.

Вирощування грибів у теплицях отримало прискорений розвиток в кінці 90-х років переважно за рахунок будівництва великих тепличних господарств, які використовують передову технологію при високому рівні механізації.

Тепличне грибноцтво Тепличне господарство – це енергоємна галузь. У середньому витрати на опалення теплиць становлять від 40% до 50% виробничих витрат. Наприклад, для опалення теплиці площею 0,5 гектара взимку потрібно понад 100 тонн умовного палива на рік. Тому підвищення енергоефективності має велике значення для національної економіки. Підвищенню ефективності функціонування системи автоматизації теплиць і присвячена дана магістерська робота.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Технологія вирощування печериць

У промисловому грибництві застосовують однозональну й багатозональну системи вирощування печериць, що відрізняються плануванням, механізацією й автоматизацією.

Однозональна система (стелажі, гряди, інколи контейнери) має переваги: добра теплоізоляція камер; можливість розширення комбінату; покращення якості компосту регулюванням терміну запотівання; обробка камер паром наприкінці обороту (ефективна проти шкідників і вірусів); менші витрати праці; рентабельність дрібних виробництв за централізованого приготування субстрату; зручність заповнення камер компостом.

Багатозональна система (дерев'яні та плівкові контейнери) потребує менших капвкладень, економніша в опаленні, вентиляції й кондиціонуванні. Висока температура необхідна лише в камері пастеризації та пророщування. Перепад 25—15°C спрощує автоматику, апаратуру встановлюють на місці вирощування. Останні 8—10 років застосовують термообробку субстрату в масі: субстрат насипають у камеру шаром, через нього продувають повітря, що покращує тепло- і газообмін, прискорюючи перехід речовин у доступну форму. Камеру заповнюють повністю, контролюють герметичність дверей. Повітря подають зверху, щоб уникати пересушування. Передбачають чергування подачі повітря зверху й знизу. Субстрат розігрівають термофілами до 60°C, утримують 4—6 год, далі — 50—55°C. При відсутності аміаку температуру знижують до 25°C для інокуляції міцелію.

Поряд із традиційними способами широко застосовують вирощування в поліетиленових мішках: механізація, контрольована ферментація, простіша дезінфекція, нижча собівартість.

У НДР мішки 35 см заповнюють 30-см шаром кінського гною, присипають ґрунтом, вносять міцелій і ставлять у картоплесховище.

Температура 18—20°C, після першого урожаю — 14—16°C. Вологість — близько 100%. За червень-вересень отримують 7 урожаїв по 4+ кг з мішка. Мішки після використання продають кооперативам.

Аргентинська фірма «Шемпіньєн грандмонт» готує щонеділі 11 т компосту (N 2,2—2,3; вологість 70—72%). У мішку — 20 кг компосту. У приміщенні 16×4,6 м розміщують 550—600 мішків, підтримують 65—69% вологості компосту й 2,16—2,28% азоту. Мішки після збору закривають і використовують для вирощування квітів.

В Італії застосовують плівкові контейнери на 40 кг субстрату: 50% кукурудзяних стебел + 50% соломи, вологість 70%, пастеризація при 70°C, інокуляція при 25—30°C (3% міцелію). Через 11—14 днів контейнери розрізають, температуру знижують до 5—10°C, вентиляція ≤ 2 м/с. Перед збором зменшують вологість. Інший італійський метод — вирощування в тунелях з пластиковим покриттям і механізованими платформами.

У Франції використовують великі металеві контейнери. Підтримують природну вентиляцію: температура компосту 23—25°C, повітря 14—17°C. Урожай — 192 кг/т свіжого і 260 кг/т пастеризованого компосту за 6 тижнів.

У Швейцарії гриби вирощують на грядках з електрообігрівом і подачею води знизу, гряди вкривають торфом.

У ФРН застосовують алюмінієві лотки, що в 1,5 раза довговічніші за дерев'яні й сумісні з механізованим доглядом.

У США й Канаді вирощують у піддонах: температура 15,6°C, вологість 90%, 6 повітрообмінів/год.

У Болгарії створена технологія з поліетиленовими мішками, що підвищує врожай на 1 т компосту до 140 кг (12—13 кг/м³), прискорює обороти. Використовують зерновий міцелій, шар компосту до 40 см.

На «Київській овочевій фабриці» вже 10 років вирощують за багатозональною системою в поліетиленових контейнерах: металевий каркас 1×1 м, маса 20 кг, плівковий футляр 1,4×1,4 м на 100 кг субстрату. Контейнери наповнюють у ферментаційному приміщенні та штабелями перевозять у камери. За день 3—4

навантажувачі заповнюють камеру на 750 контейнерів. Субстрат у плівкових контейнерах нагрівається до 59—60°C за 4—5 год. Пастеризація проходить з коливаннями 2—3°C та добрим повітрообміном, вологість утримується завдяки конденсації. Використовують солом'яні й гнойові компости. Урожай — 29 т у літній період.

1.2 Загальна характеристика тепличного господарства

Печериці вирощують як в спеціальних спорудах так і в не спеціалізованих — овочевих теплицях. У спорудах культивації для вирощування печериць слід підтримувати постійну температуру 12—16°C, сюди не повинне проникати сонячне світло. Приміщення має бути обладнане установками для кондиціонування і вентиляції повітря. Розміри і конфігурація його повинні сприяти виконанню всіх етапів технологічного процесу. Комплекс вирощування печериць, наприклад, радгоспу-комбінату «Львівська овочева фабрика» складається з комплексу вирощування печериць площею 3 тис. м² і компостного цеху — 12 тис. м².

Комплекс спроектований для однозональної системи вирощування грибів, проте в результаті реконструкції, що проводиться в даний час, в найближчі два роки планується перехід на багатозональну систему вирощування печериць. Компостний цех (18X42 м) складається з приміщення для ферментації компосту, закритого складу для гіпсу і доломіту, відсіків для складання курячого посліду і торфу, приміщення для переробки і хімічної дезінфекції торфу, місця для складання компосту і ємності для жажі місткістю 15 м³. Компостний цех розрахований на переробку 2 тис. т компосту.

Опалювання з нижньою розводкою передбачено проектом лише в приміщенні переробки торфу. Вентиляція точно-витяжна з механічним і природним збурювачем. Комплекс для вирощування печериць є системою із 12 камер вирощування, розташованих двома рядами, одного чистого і двох «брудних» коридорів, ряду допоміжних і підсобних приміщень. Камера — 250

м² корисної площі, довжина — 24 м, ширина — 6 і висота — 4,15 м. Усередині камери два ряди п'ятирусних стелажів шириною 1,4 м кожен. Глибина шару компосту на стелажі — 20 см, відстань між кронштейнами без компосту — 61 см. У камері є центральна, дві бокові (біля стінок), а також дві торцеві доріжки. Ширина доріжки до робочої частини коридору 1,5 м, а до протилежної стінки — 1 м. Цикл вирощування грибів — три місяці річна кількість циклів — чотири. Періодичність завантаження і розвантаження — одна камера в тиждень.

У приміщеннях камер комплексу для вирощування печериць і передбачена водяна система обігріву, розрахована на підтримку температури 17°C. Нагрів камери (до 60°C) здійснюється паром низького тиску (0,7 атм.), яка подається по перфорованих трубопроводах з отворами діаметром 6 мм. Витрати на енергоресурси для забезпечення необхідного мікроклімату у теплицях наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Витрата тепла, ккал/год. приміщення	Парозабезпечення	Опалювання	Вентиляція	Гаряче водопостачання
Компостний цех	2000	22200	30000	--
Комплексу для вирощування печериць на 12 камер	182700	486500	50000	330220
Разом	202700	508700	80000	330220

Кондиціонування зовнішнього повітря відбувається за допомогою двох кондиціонерів типу КД-20А номінальною продуктивністю 20 тис. м³/год.

повітря кожен. Зовнішнє повітря в кондиціонері очищується від середнього малодисперсного пилу за допомогою повітряного сітчастого фільтру, потім завдяки системі калориферів підігривається до потрібної температури, зволожується (80—40°C, відносній вологості) і охолоджується шляхом контактної обробки холодною (6—12°C) водою за допомогою форсунок.

Далі повітря через центральні повітродувки відцентровими вентиляторами подається до камер вирощування грибів. Автоматизація процесу кондиціонування зовнішнього повітря включає регулювання температури і вологості повітря за допомогою напівпровідникових регуляторів температури шляхом послідовної дії на використані механізми клапана зворотного теплоносія, клапана приточного повітря, клапана на обводі повітронагрівника, триходового клапана, холодної і крижаної води, а також захисту системи калориферів від заморожування. Комплекс для вирощування печериць має холодильну установку. Необхідна витрата холоду складає 160 тис. ккал/год.

Як джерело холодозабезпечення служить фреонова холодильна машина продуктивністю 78 тис. ккал/год. Холодоносієм для системи кондиціонування служить вода, яка поступає в камеру зрошування кондиціонера. Передбачена напірна система холодозабезпечення кондиціонерів із камерами зрошування. Підігріта вода з піддону зрошувальної камери надходить в холодильну установку, а з неї в баки акумуляторів. Із баків охолодження вода за допомогою насосів подається до форсунок камери зрошування. Автоматизація виробничих процесів в комплексі для вирощування печериць і включає:

- регулювання температури повітря, що подається в камери. Схема передбачає дві системи: Р-1 — регулювання температури повітря перед камерою зрошування і Р-2 — після камери зрошування;
- автоматизацію роботи камери вирощування грибів в наступних режимах: пастеризація компосту, інокуляція грибниці, проростання грибниці, зростання і збір грибів, виведення камери з технологічного режиму, провітрювання камери;
- автоматизацію роботи холодильного циклу;

- регулювання вологості повітря в камерах за допомогою пари.

Вся апаратура управління, контролю і сигналізації зосереджена на щитах управління мікрокліматом камери, а апаратура холодильного циклу і кондиціонера — в приміщенні для кондиціонерів.

Тепличне господарство для вирощування грибів розташоване в селищі Нові Санжари Полтавської області. Сполучення з обласним центром здійснюється по автомобільній дорозі з твердим покриттям. Джерелом водопостачання є артезіанські свердловини. Електропостачання здійснюється від державної електромережі.

Зона розташування характеризується помірно – континентальним кліматом. Середньомісячна температура повітря у січні – 15⁰С, у липні +25⁰С. У даному кліматичному районі переважно північні вітри в осінньо – зимовий період, та південно – західні – у весняно – літній.

Генеральний план тепличного господарства наведено на аркуші 1 графічної частини роботи та рис. 1.2 ПЗ.

Ґрунти представлені важкими та легкими чорноземами.

Кормові угіддя представлені широким спектром трав та злакових культур.

Господарство забезпечене сільськогосподарською технікою та автотранспортом, механізовані та частково автоматизовані виробничі процеси.

Об'єктом проектування є блок зимових теплиць площею 0,6 га для вирощування грибів способом малооб'ємної гідропоніки. В якості субстрату використовується гранітний щебінь. Компонування теплиць виконано таким чином:

багатопрольотні теплиці (шість одиниць по 0,1га з виділенням в одній теплиці допоміжного відділення);

- допоміжні приміщення;
- енергетичний вузол;
- шатровий нагрів (включає в себе даховий, підлотковий, цокольний, та повітряний);

- підсубстратний нагрів;
- надсубстратний нагрів;
- Для системи дахового нагріву використовується вода з температурою 70-150⁰С, для системи надсубстратного, бокового та торцевого нагріву використовується вода з температурою 70-95⁰С. Для системи підсубстратного нагріву – вода 33-40⁰С, що подається за допомогою регулюючих триходових клапанів, які розташовані у енергетичному вузлі. У якості нагрівальних елементів для системи дахового нагріву використовуються гладкі труби, для системи надсубстратного нагріву – поліетиленові труби низької щільності типу “С”. Підтримка режиму температури та вологості здійснюється автоматично з допомогою індивідуальних установок пропорційного регулювання, які встановлені у тепловому пункті та вузлів регулювання, що розташовані у з’єднуючому коридорі.

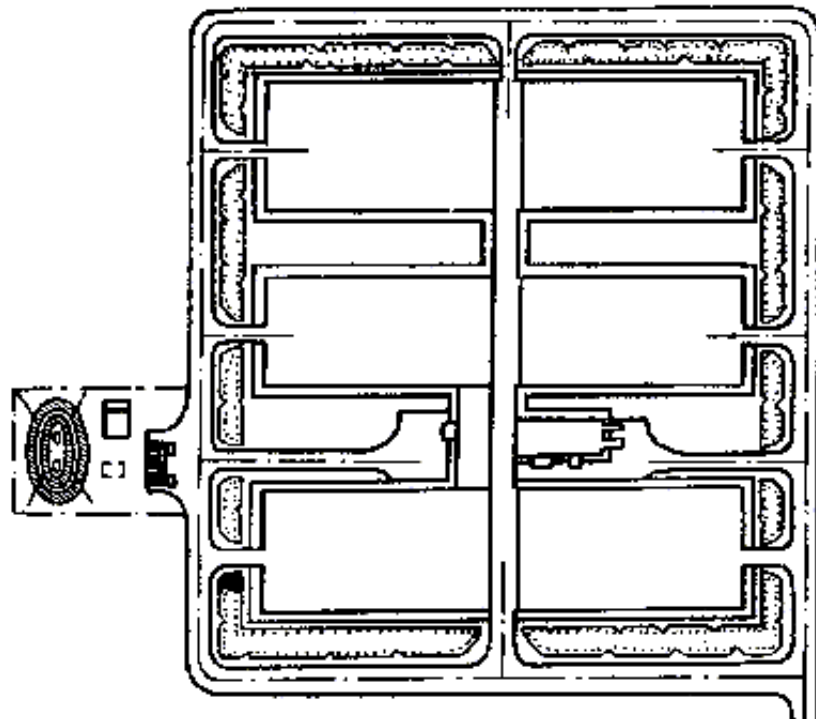


Рисунок.1.1 Генеральний план тепличного господарства

I, II, III, IV, V, VI – теплиці; 1 – розчинний вузол; 2 – побутові приміщення;

3 – з’єднувальний коридор; 4 – огорожа; 5 – енергетичний вузол.

Температура повітря в теплиці регулюється в межах від 16 до 28⁰С, а відносна вологість від 60 до 90%.

З метою економії тепла, в теплицях передбачено пристрій теплоізоляційного екрану для зменшення тепловтрат через дах. По периметру теплиць з цією метою встановлено пристрій другого плівкового огороження з поліетиленової плівки. Для запобігання перегріву передбачена система випарювального охолодження. Також може використовуватись спеціальний теплоізоляційний екран з нетканого полотна.

У теплицях також змонтовані наступні технічні системи:

- система живлення грибів розчином;
- система поливання грибів;
- система стерилізації субстрату;
- система дренажу;
- система розчинів отрутохімкатів;
- система вуглекислотного підживлення;

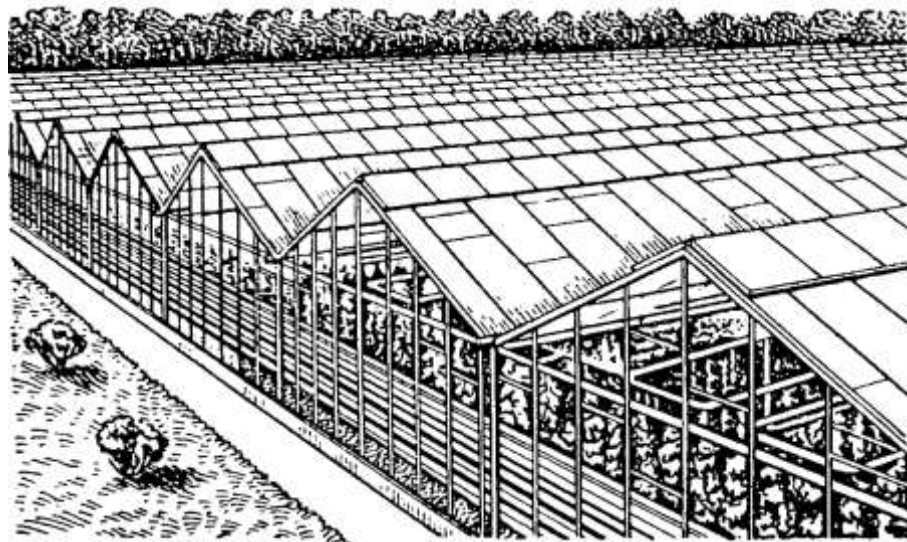


Рисунок.1.2 Зовнішній вигляд блоку теплиць

Температура розчину для живлення підтримується в межах 18-22⁰С.
Температура субстрату від 15 до 24⁰С.

Для відводу атмосферних опадів з даху теплиць застосовуються внутрішні водовідводи.

Накопичування снігу на теплицях недопустиме - при снігопадах, для запобігання перевищення розрахункового навантаження від снігу, форсується система опалення.

1.3 Основні технологічні операції вирощуванні грибів у теплицях

Основними технологічними операціями вирощування грибів у теплицях є: водяний розчин), 15 кг кельтану (20% концентрат емульсій). Обробка проводиться двічі: спочатку, після кожного збирання врожаю обробляють гриби, потім, після видалення рослинних залишків обробляють субстрат та конструкції теплиць.

б) Підготовка субстрату до нового сезону вирощування.

Стабільний та високий урожай грибів значною мірою залежить від якості субстрату, який, у свою чергу, залежить від оптимізованого підбору його компонентів та підтримки встановлених параметрів, таких як ферментація, пастеризація та дозрівання. Донедавна вважалося, що найкращим субстратом може бути лише кінський гній без трави. Однак, через обмежену доступність кінського гною, вчені та практики запропонували інші органічні субстрати. Ці субстрати, відомі як синтетичний або штучний компост, можна виготовляти з гною інших тварин (великої худоби, свиней, птиці) та різних виробничих відходів (соняшниковий шрот та соняшниковий шрот, солод, буряковий жом, кукурудзяні качани, рибне борошно). За вмістом азоту та вуглеводів, органічні субстрати можна розділити на такі три категорії:

– Вміст азоту 10-14%, переважно складається з білка (кров'яне борошно, казеїн тощо);

- Вміст азоту 4-6%, переважно складається з білка, але також багатий на вуглеводи (солод, люцернове борошно, бавовняне борошно, курячий послід, пивна дробина, соєвий шрот тощо);
- Вміст азоту 1-1,5%, майже повністю складається з вуглеводів (буряковий жом, картопляне борошно, сорго).

Друга категорія матеріалів є найефективнішою. Під час компостування мікроорганізми використовують вуглеводи та азот для синтезу білків, вітамінів та інших сполук. Ці речовини не тільки накопичуються в компості, але й забезпечують поживними речовинами грибний міцелій.

У грибництві успішно можна застосовувати суміші з матеріалів першої і третьої груп. Питання полягає лише у виборі найбільш дешевих і доступних для господарства матеріалів. Для приготування компосту використовується солома зернових культур.

Так, у Великобританії для цих цілей витрачається в рік 150, у Франції — 370 тис. т соломи. При цьому значна частка її спочатку використовується як підстилка для коней.

В Іспанії для компостування використовують зернову солому, пташиний послід, кінський гній, сечовину та сульфат амонію. Всі матеріали звожують і залишають на 15 днів, періодично перемішуючи протягом цього періоду. Після цього компостну суміш поміщають у кондиціоноване приміщення для контрольованого бродіння на 7-10 днів. Кінцевий компост має вологість 65-68%, рН 7,0-7,5 та загальний вміст азоту 1,8-2%. Заслужують на увагу способи скорочення термінів підготовки компосту. Так, у Великобританії у виробничих дослідах розроблені прийоми підготовки компосту за 3—4 дні. Зволожену до 70% суміш із соломи, пивної дробини, торфу і винищити ретельно перемішують і в контейнерах поміщають в камеру для пастеризації парюю при температурі 60—65 °С. Наступного дня температуру знижують до

53—55°C, а на третій-четвертий день — до 22—25°C. Після цього висаджують міцелій.

При підготовці компосту прискореним методом вміст вуглеводів в ньому не повинен перевищувати (особливо в період висадки міцелію) 1% мас сухої речовини компосту.

У господарствах Франції компост готують в закритих приміщеннях за 5—9 днів замість звичних 14—19 днів при активній вентиляції (80 мс/год повітря на 1 т компосту). Температуру компосту в перший період швидко доводять до 60—62°C із збереженням його вологості. У подальший період в компості підтримують температуру 50—54°C, вологість 62—70%. Вентиляція необхідна для видалення вуглекислоти.

У Данії для спеціалізованих господарств розроблена технологія приготування компосту з суміші соломи і кінського гною в співвідношенні 4 : 1, із додаванням на 1 т суміші 26 кг гіпсу. При використанні соломи і підстилки з пташиного посліду (співвідношення 3 : 2) норму гіпсу збільшують до 60 кг/т.

У Австралії розроблена технологія відновлення відпрацьованого торф'яного компосту з подальшим його використанням. На спеціальній установці відпрацьований компост заздалегідь знезаражують гарячою водою, потім у міру просування по транспортеру його промивають зустрічним струменем холодної води.

Багаторічними дослідженнями, проведеними в лабораторних умовах і на товарних фермах, встановлено, що така обробка крім зниження вмісту солей в компості сприяє знищенню всіх збудників хвороб. Застосування суміші свіжого і відновленого компосту в співвідношенні 50 : 50 дозволяє одержувати урожай печериць 85 кг/м² в рік.

У господарстві «Болгарські гриби» (м. Каблешково) механізованим способом щорічно готують 2500 т компосту. До складу компосту входить пшенична солома, кінський гній, мінеральні добрива, вапняне борошно. За 16 днів ферментації компост перебивають три рази за допомогою машин.

У США і Канаді для приготування компосту без кінського гною використовують 15 т серцевин кукурудзяних качанів, 7 т лугового сіна, 4 т конюшиного або люцерного сіна, 0,5 т гіпсу, 255 кг аміачної селітри, 225 кг хлористого калію, 1,5 т сухої, сухого пташиного посліду. Складові компост компоненти перемішують и укладають в штабель шириною 1,8 м і заввишки 1,5-2,4 м. Перебивання проводять на 2, 6, 9 і 12-й день. Готовий компост (температура 21—24°C, рН 7,5—8, вологість 65—70 %) подають транспортером в камери. На 1 м² витрачається 114 кг компосту.

У Польщі для приготування компосту застосовують дослідний зразок машин продуктивністю 10—20 т/год., розроблений в Інституті овочівництва в Ськерневіце. Пастеризується компост в спеціальній камері з високою теплоізоляцією стін і сітчастою підлогою за допомогою пари, що подається через вентилятор. При продуктивності вентилятора 100 м²/т за 1 год. і витраті пари 2 кг/м³ компосту через 12 год. температура субстрату досягає 60—62°C. Готовність субстрату визначають за змістом вуглекислого в повітрі, що виходить (не більше 2%). Перемішування грибниці з компостом механізоване.

В Україні також існує безліч формул для приготування синтетичного компосту, який дозволяє стабільно та ефективно культивувати гриби шиїтаке. Загальновідомо, що мікробний синтез найкраще досягається за допомогою ферментів, спеціально розроблених для цієї мети. Ферменти заводського виробництва є складними та дорогими, що робить компост, виготовлений з них, дуже дорогим. Тому знайдено компромісне рішення між складною конструкцією і захищеною в ангар гнойовою купою. Ферментер, розроблений і побудований винахідником кандидатом біологічних наук В.Г. Кожемякіним, нагадує голубник. Це проста і дешева установка, що складається з водостійкої фанери, шиферу, пінопласту і поліетиленової плівки. Субстрат, приготований в такому ферменті, має запах не аміаку, а листя, що трохи підпірло. В. Г. Кожемякін відпрацював технологію отримання високоякісного компосту безпосередньо з відходів господарства. Прямо у фермент засівають компост

грибницею, а коли вона розростається, переносять в комплекс для вирощування печериць (її оборотність набагато збільшується). Компост після вирощування печериць йде на поля. Таким чином гриби стають побічним продуктом в безвідходному циклі сільськогосподарського виробництва.

Нижче приведені три найбільш поширені рецептури приготування синтетичного компосту.

Рецептура 1. Солома легко-суха — 1000 кг; пташиний послід — 1000 кг, гіпс або алебастр — 60 кг.

Рецептура 2. Солома легко-суха — 1000 кг, пивна дробина — 625 кг, гній сирий або сухий (вміст азоту 4%) — 125 кг, сечовина — 25 кг, алебастр — 60 кг, вапно — 25 кг, суперфосфат — 20 кг.

Рецептура 3. Солома легко-суха — 1000 кг, гній сільськогосподарських тварин — 1000 кг, сечовина - 25 кг (або аміачна селітра — 35 кг), гіпс або алебастр — 85 кг, крейда (порошок) — 50 кг, суперфосфат — 20 кг.

У радгоспі-комбінаті «Львівська овочева фабрика» готують компост в компостному цеху по рецептурі 1. Технологія компостування субстрату полягає в попередній підготовці пшеничної соломи, подальшому змішуванні з іншими компонентами і розм'якшенні соломи. Процес підготовки субстрату згідно з цією технологією наведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

1-5.	Закладка і зволоження	3,5 м ³ води
6.	Занесення пташиного посліду	1000 кг
7.	Перемішування пташиного посліду з соломою, відправка в бурт	0,5-0,6 м ³ води
12.	Перебивання і внесення гіпсу	0,5 м ³ води
15.	Перебивання	60 кг+0,3 м ³ води

На початку компостування зволожують солому за допомогою дощової установки. Для цього в компостному цеху пакунки соломи розрізають і рихло укладають шаром 1,2 м на бетонованій підлозі. Надлишкова рідина уловлюється в лотки і прямує в резервуар для повторного використання. Для розм'якшення соломи щодня по 30 хв прокатують трактором. Загальна тривалість дощування сухої соломи (вологість 13—15%) — 4,5—5 днів, за цей період солома поглинає близько 3 5 т рідини. Причому необхідно відмітити, що за перші два дні водопоглинання соломи в 1,5 разу нижча, ніж за наступні два дні.

До кінця п'ятого дня водопоглинання різко знижується. Волога солома (близько 22—24% вологості) найінтенсивніше вбирає воду до кінця першого і впродовж другого дня замочування. У зимовий час для зволоження соломи використовують гарячу воду. Вибір найбільш економічного режиму зволоження соломи дозволяє підвищити якість субстрату. Після того, як солома замочена, в неї вносять сухий курячий послід із розрахунку 1000 кг посліду на 1000 кг сухої соломи, ще раз проводять дощування протягом 30 хв.

Наступного дня соломі з курячим послідом за допомогою фронтального навантажувача Д-561б складають у бурт висотою 1,8 метра і шириною близько 2 метрів, одночасно перемішуючи складові. На 12-й день відбувається перебивання бурту за допомогою формувальника-перебивальника компосту ФПК-30. Через низьку посадку цієї машини важливо забезпечити ідеально рівну поверхню бетонної підлоги у компостному цеху. Під час перебивання до бурту, як правило, додають воду в кількості 0,6–0,8 м³ на тонну соломи.

На 15-й день чергового перебивання до бурту вводять 60 кг гіпсу на кожну тонну соломи, яку перед тим зволожують водою. Гіпс допомагає запобігти втратам аміаку, покращує структуру компосту і нейтралізує потенційно негативний вплив високих концентрацій таких елементів, як кадмій, натрій, марганець і фосфор. Додатково він забезпечує печериці кальцієм і нейтралізує

значні обсяги щавлевої кислоти, яку виділяє міцелій гриба, утворюючи характерні кристали оксалату кальцію.

Наступні три перебивання проводяться через 5, 3 і 2 дні відповідно. При цьому додається вода в кількості від 0,2 до 0,4 м³ на тонну матеріалу.

в) Підтримка оптимальних параметрів мікроклімату в теплицях.

г) Термічна обробка, обеззараження та хімічне промивання міцелію.

1.3.1 Аналіз стану існуючих систем автоматизації та електрифікації технологічних процесів вирощування грибів у теплицях

Аналіз стану електрифікації тепличного господарства показав, що його електрифікація здійснюється від двох незалежних високовольтних мереж напругою 10кВ.

Загальна довжина зовнішніх мереж напругою 0.38 кВ господарства становить близько 10-ти кілометрів. На території господарства встановлено 4 трансформаторні підстанції з загальною повною потужністю 760 кВА. Більшість технологічних процесів електрифіковані. У господарстві налічується 75 електродвигунів з загальною потужністю 600 кВт.

За ступенем забезпеченості надійності електропостачання на тепличному господарстві насосна система водопостачання та водовідведення, центральний тепловий пункт, насосна група для подачі підживлювального розчину відноситься до споживачів 2-ї категорії. Інші електроспоживачі – до 3-ї категорії. Електропостачання протипожежної системи відноситься до споживачів 1-ї категорії.

Прокладка в теплицях розподільчих мереж із кабелів та проводів у пластмасових трубах виконана відкрито у лотках.

Згідно з вимогами СНіП 2.10.04-85 у поїздах теплиць та коридорах передбачено штучне освітлення, переважно люмінесцентними лампами, освітленість на рівні підлоги повинна бути не більше 10лк. Врахована

нерівномірність споживання електроенергії на протязі року. Коефіцієнт попиту при максимальному навантаженні становить 0.8 (ОНТП-СТ.10-85).

У теплицях також передбачений пристрій для під'єднання пересувних електрифікованих механізмів.

Електропостачання блоку теплиць, побутових та допоміжних приміщень, тепло пункту та щитової здійснюється від щита станції керування (ЩСК), встановленого у приміщенні щитової.

Живлення щита станції ЩСК передбачено від трансформаторної підстанції на напрузі 380/220В чотирма розділеними фідерами. У теплицях та з'єднувальному коридорі передбачене чергове освітлення по центральним проходам. Мережа електроосвітлення теплиць та з'єднувального коридору запитується від щитка, встановленого у з'єднувальному коридорі.

Монтаж групових мереж виконано кабелем АНРГ, прокладеним у лотках по будівельним конструкціям. У тепловому пункті та щитовій передбачено спільне чергове та місцеве (переносне) освітлення. Мережа електроосвітлення теплового пункту та щитової живиться від освітлювального щитка, встановленого у приміщенні щитової.

Живлення освітлювальних щитків та автоматичний вимикач чергового освітлення заживлюється від щита станції керування ЩСК кабелем АНРГ.

Силовими струмоприймачами теплопункту є електродвигуни системи опалення та вентиляції. Усі електроприймачі запитані від щита станції керування ЩСК.

Групова мережа виконана кабелем у щитовій – у каналі; у теплопункті – у лотках та трубах; у з'єднувальному коридорі – у лотках; у теплицях – по будівельним конструкціям.

Для забезпечення необхідної освітленості при вирощуванні розсади передбачено електричне досвічування.

Розподільчі електричні мережі електродосвічування виконані кабелем марки АНРГ, групові однофазні – кабелем КРПТ, який надходить у комплекті з опромінювачами; мережі керування – кабелем АКРНГ. Для зручності

монтажу, обслуговування та демонтажу системи електродосвічування, передбачено електричне з'єднання опромінювачів за допомогою штепсельних роз'ємів.

Розподіл електричної енергії за групами здійснено з допомогою розподільчих пристроїв систем керування електродосвічуванням РП – 1, керування яким здійснюється з пульта, встановленого у щитовій, в автоматичному та напіваавтоматичному режимах.

Для попередження ударного навантаження в електромережі розподільчі пристрої вмикають послідовно один за одним з витримкою часу.

Для забезпечення оптимального світлового режиму у зимово-весняний період використовують додаткове електроопромінення розсади огірка та томату.

В якості джерел електроопромінення використовують лампи ДРЛФ-400 з опромінювачами ОТ-400Е та ОТ-400И.

Крім усього система електропостачання тепличного господарства не оптимізована, бо має такі суттєві недоліки:

- фазна та лінійна напруги суттєво відхиляються від стандартного значення;
- не здійснюється реєстрація фазного струму та потужності, що суттєво ускладнює роботу деякого технологічного обладнання.

У зв'язку з цим, у ході виконання магістерської роботи доцільно розробити комплекс заходів по забезпеченню необхідної якості електропостачання тепличного господарства.

Згідно з ОНТП-СГ. 10-85 теплиці круглорічного використання повинні бути обладнані системами:

- автоматичної стабілізації температури повітря на заданому рівні (ніч та день) з урахуванням освітленості, або за заданою програмою;
- автоматичного регулювання відносної вологості повітря;
- автоматичного контролю регульованих параметрів;

- програмного керування системами тепло- та світлозахисних екранів; поливу; підживлення рослин CO_2 в теплицях; опромінення (досвічування) рослин;
- дистанційного контролю метеорологічних факторів зовнішнього середовища (температури зовнішнього повітря, швидкості та напрямку вітру, інтенсивності сонячної радіації);
- автоматичної сигналізації критичних відхилень температури повітря; роботи електромагнітних вентилів систем поливу та зволоження; циркуляційних насосів систем опалення та поливу.

Діапазон регулювання повинен бути заданий у відповідності з ОНТП-СГ.

10-85:

- температура повітря – точність регулювання $\pm 2^\circ\text{C}$ (у місці встановлення датчика), точність контролю $\pm 1^\circ\text{C}$;
- температура теплоносія для обігріву ґрунту $30\dots 50^\circ\text{C}$ з точністю $\pm 2^\circ\text{C}$;
- температура води для поливу – точність $\pm 2^\circ\text{C}$;
- відносна вологість повітря – точність $\pm 5\%$;
- швидкість технологічних температурних переходів день–ніч та ніч–день – 5°C з інтервалом $0.5\dots 1^\circ\text{C}/\text{год}$.

Також необхідно регулювати температуру повітря в теплицях з урахуванням температури зовнішнього повітря, швидкості вітру, відносної вологості повітря у теплиці, сонячної радіації та рівня освітленості.

Аналіз теплиці, як об'єкту керування показав, що основним параметром регулювання теплиці є температура повітря всередині теплиці. При існуючій системі опалення її регулюють зміною температури теплоносія (вода), що пропускається по трубній системі опалення, та керуванням за допомогою фрамуг природної вентиляції.

На рис. 1.3.6 наведено графік зміни температури повітря у досліджуваній теплиці на протязі доби.

У нічний час температуру у теплиці підтримують постійною. За годину до сходу сонця температуру t_1 підвищують до значення t_2 . При цьому повітря в

теплиці підсушується і тим самим припиняється конденсація вологи на рослинах і плодах. У похмуру погоду у теплиці.

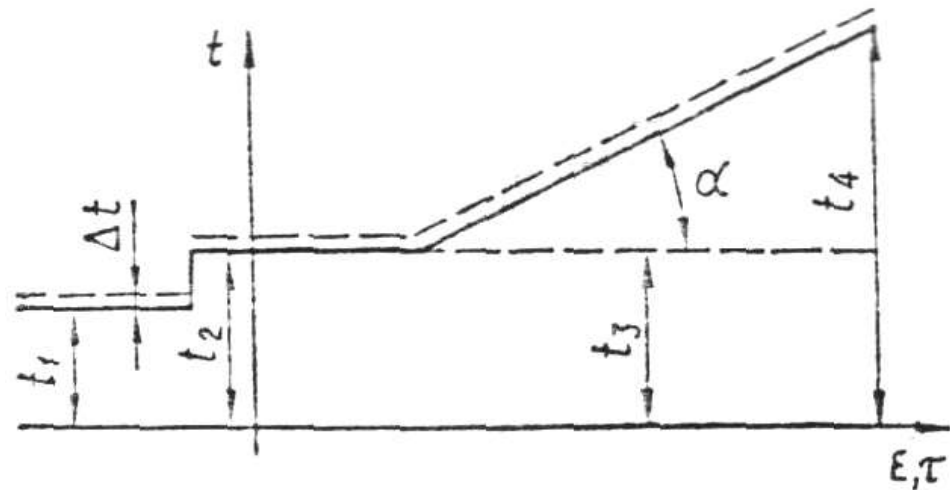


Рисунок. 1.3.6 Графік підтримання температури повітря t на протязі доби з урахуванням освітленості E та часу доби τ

підтримують температуру t_3 рівну температурі t_2 . У сонячну погоду температуру підвищують до t_4 , значення якої визначається інтенсивністю освітленості – чим більше освітленість, тим вище температура t_4 . Це необхідно для нормального протікання процесу фотосинтезу. Для видалення збиткового тепла відкривають фрамуги, що забезпечує природну вентиляцію теплиць.

Перехід від денної температури до нічної проводять аналогічно у зворотному напрямку. Якщо при цьому температура вища, ніж встановлене системою регулювання значення Δt , відчиняють вентиляційні фрамуги.

Передбачено двоступінчате послідовне регулювання кількості теплоти, що надходить до теплиці. Перша сходинка відноситься до регулювання параметрів теплоносія на виході із котла; друга – до температури теплоносія індивідуально в кожній теплиці.

У теплицях застосовується схема регулювання температури. У ній в якості регулюючого органу використовують триходовий клапан. Згідно з схемою (рис.1.3.7.) циркуляційний насос встановлений за триходовим клапаном.

Система керування мікрокліматом у теплиці складається із комплексу датчиків, пристроїв регулювання електричного обладнання, виконавчих механізмів. Це система регулювання вітчизняного виробництва. Система забезпечує регулювання опалення та вентиляції.

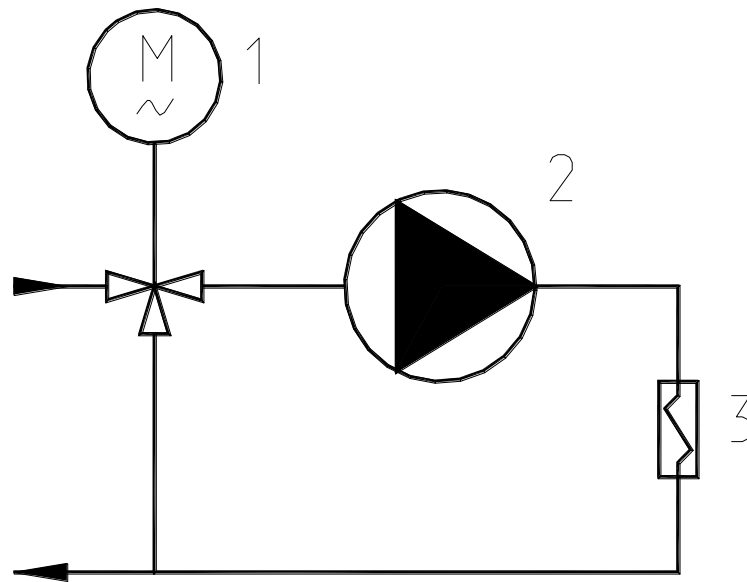


Рисунок. 1.3.7 Схема регулювання температури повітря в теплиці:

1 – змішувальний клапан; 2 – насос; 3 – система опалення

Схема систем регулювання та контролю температури у теплиці показана на рисунку.1.3.8, а. Регулювання температури забезпечується в межах від 0 до 35⁰С і виконується керуванням надходячого теплоносія. У якості виконавчих механізмів використані триходові клапани. Реле часу задає рівень нічної та денної температур.

Система забезпечує контрольний запис температур на паперову стрічку.

Блок-схема регулювання вентиляції наведена на рисунку. У системі використані ті ж датчики температури та регулюючий пристрій, що і в системі регулювання температури повітря. В залежності від значення останньої, пристрій автоматично здійснює закривання та відкривання фрамуг. Точність

підтримання температури $\pm 3^{\circ}\text{C}$. Крім автоматичного керування температурою передбачено також ручне керування.

Температура ґрунту у теплицях підтримується у діапазоні $5\text{...}30^{\circ}\text{C}$ з точністю $\pm 5^{\circ}\text{C}$. Відповідний датчик встановлено на трубопроводі гарячої води, який подає сигнал на змішувальний клапан. Одночасно ведеться контроль та регулювання системи обігріву ґрунту.

Для поливу використовують поливні автомашини АПТ-66, які можуть працювати як у напівавтоматичному так і у автоматичному режимах. Передбачена також можливість ручного керування поливом.

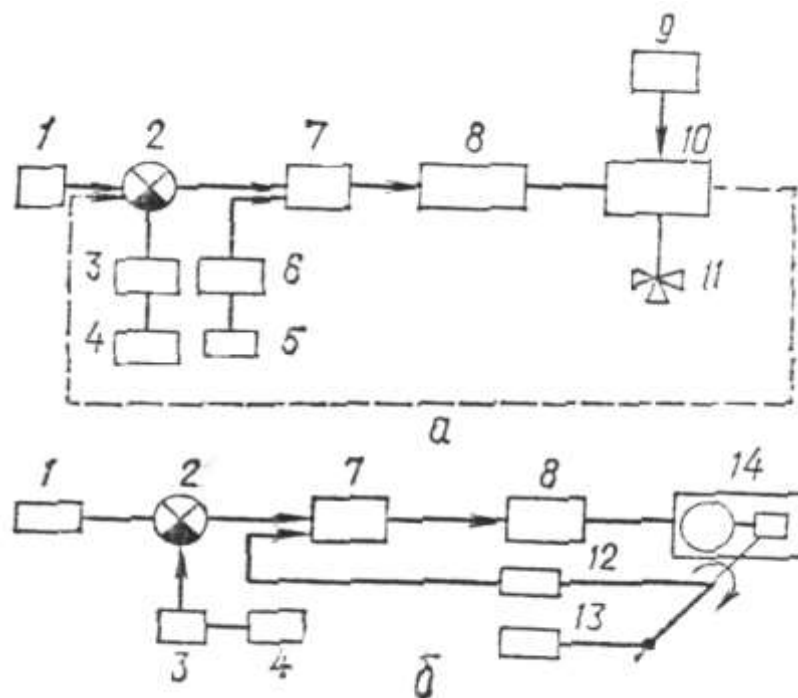


Рисунок.1.3.8 Блок-схема системи автоматичного регулювання та контролю температури повітря у теплиці (а) та вентиляції (б): 1 – датчик температури повітря; 2 – пристрій, зрівнюючий показники; 3 – датчик температури повітря; 4 – реле часу для задання температури у денний та нічний час; 5 – датчик обмеження температури теплоносія; 6 – вимірювальний пристрій; 7 – електронний регулюючий пристрій; 8 – перемикач режиму роботи; 9 – вказівник положення виконавчого механізму; 10 – виконавчий механізм триходового клапана; 11 – триходовий змішувальний клапан; 12 – датчик обмеження відкриття фрагуг; 13 – датчик дистанційного вказівника положення фрагуг; 14 – електричний виконавчий механізм з редуктором.

У якості вимірювальних перетворювачів служать датчики вологості ґрунту або вологості повітря. У зимовий період вода для поливу автоматично підігрівається до 15...20⁰С.

Система автоматизації технологічних процесів включає систему регулювання концентрації розчинів мінеральних добрив, а також систему керування подачі вуглекислоти в теплицю.

Допустимі відхилення температури повітря у теплиці від рівня, заданого агротехнічними вимогами, складають $\pm 2^{\circ}\text{C}$, відносної вологості повітря $\pm 6\%$, температури води в системі підґрунтового підігріву $\pm 3^{\circ}\text{C}$. Складність регулювання мікроклімату в теплиці пояснюється не лише системою взаємних зв'язків між окремими параметрами повітряного середовища всередині теплиці і ззовні, а й незадовільними характеристиками об'єкту по основним каналам передачі регулюючих впливів (змінюючи температуру та витрати теплофікаційної води в системах обігріву), а також високими вимогами до точності стабілізації параметра.

1.4 Висновки та постановка задач дослідження та проектування

Проведений аналіз дозволяє сформулювати ряд загальних висновків та поставити задачі виконання роботи:

1. Технологічним процесам вирощування грибів у теплицях притаманні суттєві особливості у порівнянні із іншими подібними процесами сільськогосподарського виробництва.
2. Рівень автоматизації та електрифікації процесів при вирощуванні грибів не в повній мірі задовольняє вимогам, що можуть забезпечити необхідну якість кінцевого продукту.
3. Невирішеність проблеми ефективного керування цими процесами зумовлена, головним чином, труднощами здійснення неперервного

автоматичного контролю вихідних параметрів, непристосованістю окремих елементів контролю та керування до конкретних виробничих умов, недостатньою вивченістю та дослідженням теплиці, як об'єкта керування.

У відповідності з вищесказаним, метою даної магістерської роботи є розв'язання комплексу задач по вдосконаленню технології вирощування грибів.

Для розв'язування цих задач, у ході виконання магістерської роботи необхідно:

1. Дослідити багатопрольотну теплицю, як об'єкт автоматичного керування;
2. Розробити систему для реєстрації режимів в електричних мережах тепличного господарства;
3. Розробити ефективну систему автоматичного керування температурним режимом у теплицях;
4. Розробити систему автоматичного керування екрануванням;

2 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

Відомо, що структура і параметри будь-якої системи автоматичного регулювання визначаються у відповідності з характеристиками об'єкту автоматизації та вимогам до якості стабілізації параметру. Теплиці, як об'єкти керування температурним режимом, відносяться до найбільш складних об'єктів автоматизації, а визначення їх характеристик зв'язано з деякими труднощами, витікаючими із особливостей об'єкту та умов його функціонування.

Структурну схему теплиці як об'єкту керування температурним режимом θ_s можна представити у вигляді, зображеному на рис. 2.1 та листі 1 графічної частини.

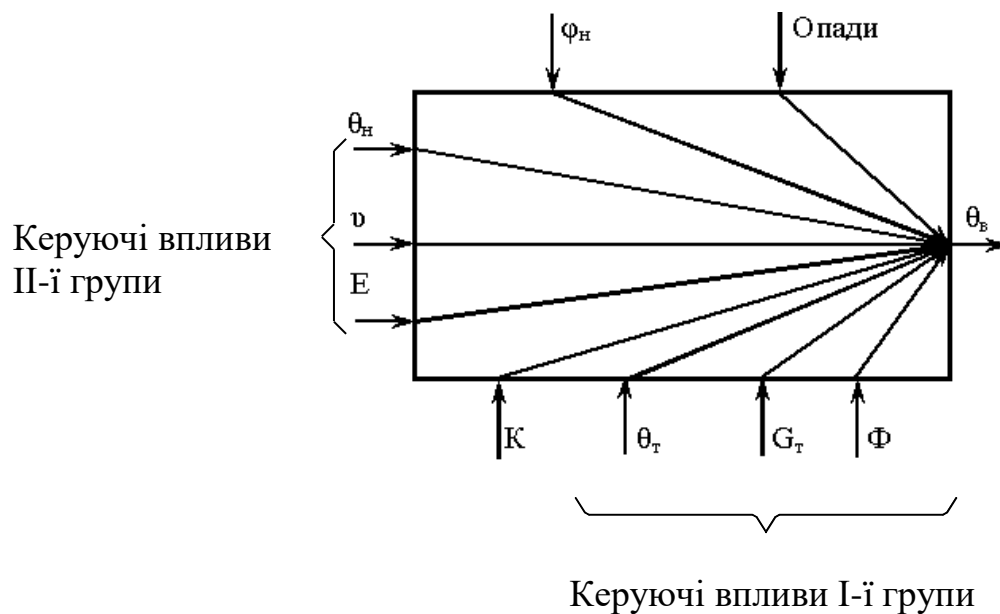


Рисунок.2.1 Структурна схема теплиці як об'єкту керування температурним режимом

У відповідності з даною схемою у холодну пору року основними керуючими впливами є зміна температури θ_t , та витрати G_t теплоносія в системі обігріву

теплиці, ввімкнення калориферів K , а у теплу пору року відкривання вентиляційних кватирок Φ .

Основні не контрольовані збурюючі впливи: зміна зовнішньої температури θ_n , швидкості вітру v , та рівня природної освітленості E . Крім перерахованих збурень, на температурний режим теплиці впливають: зміна вологості зовнішнього повітря φ_n , опади і т.д.

При ідентифікації теплиці як об'єкту керування для впливів першої групи застосовані методи активного експерименту, а для впливів другої групи більш складні в обробітку, але у даній ситуації єдині можливі – методи пасивного експерименту.

Активний експеримент. Для вимірювання температури використані термістори типу СТЗ – 23, та КМТ8, а для вимірювання витрати теплоносія – комплект, включаючий стандартний звужуючий пристрій, дифманометр та вторинний реєструючий пристрій. Звужуючий пристрій може бути встановлений на прямій ділянці магістрального трубопроводу, котрий проходить вздовж стін технологічного коридору [3].

Усі параметри що реєструвались записувались на діаграмну стрічку багатоточкового приладу з класом точності 0.2...0.5 з прямокутною шкалою, та достатньо великим діапазоном зміни швидкості руху стрічки. Для цього був використаний автоматичний самопишучий міст КСМ-4.

Щоб узгодити мостову схему приладу з термісторами різних градувань та іншими датчиками, працюючими на принципові зміни електричного опору, а також щоб забезпечити регулювання коефіцієнтів підсилення окремих каналів та рівномірне розміщення параметрів що записуються по ширині діаграмної стрічки, була реконструйована вимірювальна схема приладу [4]. Для цього замість змінних резисторів, визначаючих початок та кінець шкали приладу (практично у всіх типах само пишучих мостів це резистори R5 та R9), через контакти двох щіткових перемикачів, змонтованих на одній вісі з перемикачем точок мосту, в коло кожного датчика був під'єднаний змінний резистор, зміна якого дозволила „втопити нуль” або „розтягнути” шкалу

приладу. При цьому необхідність у резисторах для підганяння лінії при цьому відпадає.

Плануючи експеримент, була обрана форма та амплітуда випробувального впливу, координати проведення та число повторюваності дослідів, а також тривалість кожного із них.

Найбільш доцільна форма випробувального впливу - ступінчата функція (рис.13,а). Реакція теплиці як об'єкту з самовирівнюванням має у цьому випадку типову форму кривої розгону (рис.13,б). Періодичні впливи не можуть бути рекомендовані із-за великої інерційності об'єкту по каналам керуючих впливів.

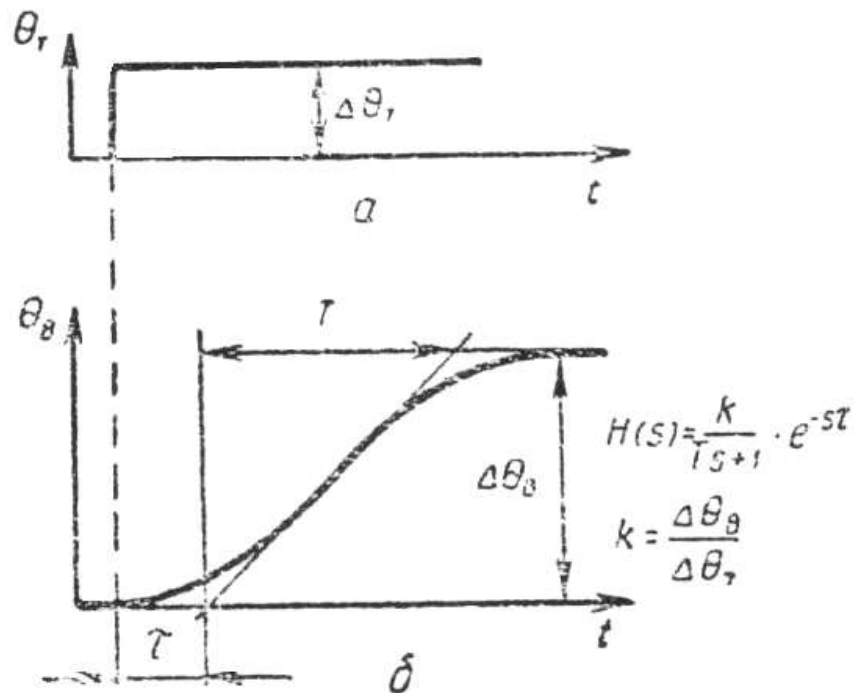


Рисунок.2.2 Методика обробки результатів активного експерименту

Для подачі випробувального впливу по каналу $G_T \rightarrow \theta_\theta$ зміщувався шибер магістральної заслінки, а для подачі випробувального впливу по каналу $\theta_T \rightarrow \theta_\theta$ – плунжер триходового змішувального клапану (ТЗК).

Оскільки в останньому випадку одночасно з Θ_T змінювалася і витрата води в системі опалення, передбачено, що переміщуючи шибер магістральної заслінки, була можливість повернути G_T до попереднього значення.

Для випробувальних впливів за каналами $K \rightarrow \Theta_6$ та $\Phi \rightarrow \Theta_6$ вмикались та вимикались відповідно калорифери та приводи кватирок.

Амплітуда вимірювальних впливів „зверху” обмежувалась не лінійністю об’єкту та вимогами технологічного регламенту допустимих відхилень температури повітря у теплиці. Обмеження „знизу” визначалось класом точності реєструючого приладу та рівнем перешкод. З урахуванням цих обмежень за допомогою пробних дослідів була вибрана така амплітуда дослідницьких впливів, що температура повітря в теплиці змінювалась у межах $1.5...2.0^{\circ}\text{C}$ (у застосуванні до каналу $\Theta_T \rightarrow \Theta_6$ це відповідає зміні температури води за клапаном на $4...6^{\circ}\text{C}$, а каналу $G_T \rightarrow \Theta_6$ – зміні витрати води на $5...7\text{кг/с}$).

Тривалість одного експерименту була визначена у ході пробних дослідів, як час стабілізації нового рівня Θ_6 . У застосуванні до каналу $\Theta_m \rightarrow \Theta_6$ тривалість дослідів практично співпадає з моментом стабілізації температури зворотної води. Цей параметр доцільно використовувати для визначення тривалості експерименту, так як він набагато менше підлягає випадковим змінам, ніж температура повітря у теплиці.

Ніч – найкращий час для проведення активного експерименту, бо у цю пору доби виключається вплив робіт пов’язаних з доглядом за рослинами, та випадкової зміни рівня природної освітленості.

Число повторюваностей однієї серії дослідів визначається необхідністю закінчення її в мінімально короткий час, щоб виключити вплив нестационарності об’єкту на результати експерименту. Для каналів керування температурним режимом теплиці це час однієї ночі.

Координати проведення дослідів визначені виходячи з робочого діапазону відхилень керуючих впливів, які задаються агротехнічною службою тепличного комбінату.

Активний експеримент оброблений з використанням методу площ [5].

При використанні цього методу припускається, що теплиця, як об'єкт керування описується лінійним диференціальним рівнянням з постійними коефіцієнтами виду:

$$\begin{aligned} & a_n \frac{d^n \sigma}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} \sigma}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{d\sigma}{dt} + \sigma = \\ & = b_m \frac{d^m \lambda}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} \lambda}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{d\lambda}{dt} + \lambda \end{aligned} \quad (2.1)$$

де $a_n, a_{n-1}, \dots, a_1, b_m, b_{m-1}, \dots, b_1$ – постійні коефіцієнти; σ – відхилення вихідної величини у безрозмірному вигляді, приведене до одиниці,

$$\sigma = \frac{\Delta x_{\text{вих}}}{\Delta x_{\text{вих}}(\infty)};$$

λ – відхилення вхідної величини у безрозмірному вигляді, приведене до

одиниці, $\lambda = \frac{\Delta x_{\text{вх}}}{\Delta x_{\text{вх}}(\infty)}$.

Для знаходження невідомих коефіцієнтів $a_n, \dots, a_1, b_m, \dots, b_1$ рівняння (2.1) використовують систему рівнянь виду

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= F_1 + b_1, \\ a_2 &= F_2 + b_2 + b_1 F_1, \\ a_3 &= F_3 + b_3 + b_2 F_1 + b_1 F_2, \\ &\dots \\ a_i &= F_i + b_i + \sum_{j=1}^{i-1} b_j F_{i-j} \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

де $i=1, 2, \dots, m \nrightarrow n$, причому для $i > n$ $a_i=0$, а для $i > m$ $b_i=0$.

Коефіцієнти F_i визначені з графіка перехідної функції рис.14. за допомогою формул

$$\left. \begin{aligned}
 F_1 &= \int_0^{\infty} (1-\sigma) dt, \\
 F_2 &= F_1^2 \int_0^{\infty} (1-\sigma)(1-\theta) d\theta, \\
 F_3 &= F_1^3 \int_0^{\infty} (1-\sigma) \left(1-2\theta + \frac{\theta^2}{2}\right) d\theta, \\
 &\dots \\
 F_i &= F_1^i \int_0^{\infty} (1-\sigma) \left[\frac{(-\theta)^{i-1}}{(i-1)!} + \frac{(-\theta)^{i-2}}{(i-2)!} + \sum_{j=0}^{i-3} \frac{F_{i-j-1} (-\theta)^j}{F_1^{i-j-1} j!} \right] d\theta
 \end{aligned} \right\} (2.3)$$

де $\theta = \frac{t}{F_1}$

Таблиця 2.1

t	σ	1- σ	$\theta = \frac{t}{F_1}$
0	$\sigma(0)$	1- $\sigma(0)$	0
Δt	$\sigma(\Delta t)$	1- $\sigma(\Delta t)$	$\frac{\Delta t}{F_1}$
$2\Delta t$	$\sigma(2\Delta t)$	1- $\sigma(2\Delta t)$	$\frac{2\Delta t}{F_1}$
...
n Δt	$\sigma(n \Delta t)$	0	$\frac{n\Delta t}{F_1}$

Порядок розрахунку згідно з методом площ виконано таким чином:

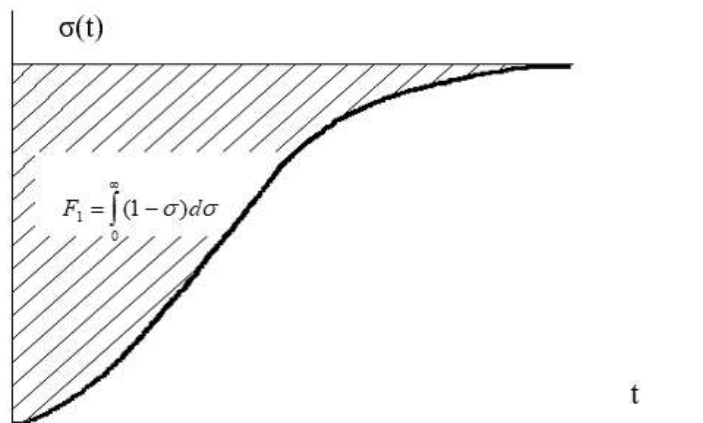


Рисунок.2.3 визначення коефіцієнта F_1 за графіком перехідної функції

1. Вісь часу графіка перехідного процесу була розбита на достатньо малі рівні інтервали часу Δt , в межах кожного із яких перехідну функцію вважали прямою лінією.
2. Значення $\Delta x_{вих}$ в кінці кожного інтервалу Δt ділилися на $\Delta x_{вих}(\infty)$ і отримані значення σ заносилися у другий стовпчик таблиці 2.1.
3. Значення коефіцієнтів F_1, F_2, F_3 визначені так:

- а) для визначення F_1 використано третій стовпчик таблиці 3. F_1 визначено за формулою

$$F_1 \approx \Delta t \left\{ \sum_{i=0}^n [1 - \delta(i\Delta t)] - 0.5[1 - \delta(0)] \right\} \quad (2.4)$$

- б) для визначення F_2 попередньо розрахований четвертий стовпчик таблиці 3 і потім таблиця 4, значення третього та п'ятого стовпчиків якої визначено за даними таблиці 2.1 підінтегральних функцій;

- в) використовуючи дані таблиці 2.3 підраховані значення коефіцієнтів F_2, F_3 за наступними формулами:

$$F_2 \approx F_1^2 \Delta \theta \left\{ \sum_{i=0}^n [1 - \sigma(i\Delta \theta)](1 - i\Delta \theta) - 0.5[1 - \sigma(0)] \right\}, \quad (2.5)$$

$$F_3 \approx F_1^3 \Delta \theta \left\{ \sum_{i=0}^n [1 - \sigma(i\Delta \theta)] \left[1 - 2i\Delta \theta + \frac{(i\Delta \theta)^2}{2} \right] - 0.5[1 - \sigma(0)] \right\} \quad (2.6)$$

в даному дослідженні обмежились визначенням трьох коефіцієнтів F_1, F_2 , та F_3 .

4. За характером початкової ділянки перехідної функції вибраний тип передаточної функції. Якщо при $t=0$ похідна перехідної функції не рівна нулю, то порядок чисельника передаточної функції на одиницю менший за порядок знаменника $m=n-1$, якщо похідна при $t=0$ рівна

нулю, то порядок чисельника передаточної функції по крайній мірі на дві одиниці менший за порядок знаменника.

5. На основі розв'язку системи /2/ визначені коефіцієнти $a_1, \dots, a_n, b_1, \dots, b_n$.
6. Дослід ідентифікації показав, що експериментальні криві розгону представляють собою гладкі неколивальні функції часу, які не потребують згладжування. Відбраковані ті досліди, де крива спотворена впливом активно діючих збурень (різка зміна швидкості вітру, опади і т.д.). Подальшому обробітку підлягають, криві розгону, перебудовані в одиничні перехідні характеристики в подальшому оброблені згідно з [6].

Методи визначення параметрів об'єкту з його перехідними характеристиками досить різноманітні [6, 7]. Оскільки перехідні характеристики об'єктів з розподіленими параметрами точно апроксимувати практично неможливо, у найпростішому випадку рекомендується методика апроксимації, показана на рис. 13, б.

Таблиця 2.3

θ	$1 - \theta$	$1 - 2\theta + \frac{\theta^2}{2!}$	$\frac{\theta^2}{2!}$	$\frac{\theta^3}{3!}$
0.05	0.95	0.901	0.00125	0.00003
0.10	0.90	0.805	0.00500	0.000167
0.15	0.85	0.711	0.0113	0.00056
0.20	0.80	0.620	0.020	0.00133
0.25	0.75	0.531	0.0313	0.00261
0.30	0.70	0.445	0.0450	0.00450
0.35	0.65	0.361	0.0613	0.0172
0.40	0.60	0.280	0.0800	0.0107
0.45	0.55	0.201	0.101	0.0152

0.50	0.50	0.125	0.125	0.0208
0.55	0.45	0.051	0.151	0.0278
0.60	0.40	-0.020	0.180	0.0360
0.65	0.35	-0.088	0.211	0.0458
0.70	0.30	-0.155	0.245	0.0572
0.75	0.25	-0.219	0.281	0.0700
0.80	0.20	-0.280	0.320	0.0854
0.85	0.15	-0.339	0.361	0.102
0.90	0.10	-0.395	0.405	0.122
0.95	0.05	-0.449	0.451	0.143
1.00	0	-0.500	0.500	0.167
1.05	-0.05	-0.549	0.551	0.193
1.10	-0.10	-0.595	0.605	0.222
1.15	-0.15	-0.639	0.661	0.254
1.20	-0.20	-0.680	0.720	0.288
1.25	-0.25	-0.719	0.781	0.326
1.30	-0.30	-0.755	0.845	0.366
1.35	-0.35	-0.789	0.911	0.411
1.40	-0.40	-0.820	0.980	0.457
1.45	-0.45	-0.849	1.051	0.509
1.50	-0.50	-0.875	1.125	0.563
1.55	-0.55	-0.899	1.201	0.621
1.60	-0.60	-0.920	1.280	0.683
1.65	-0.65	-0.939	1.361	0.749
1.70	-0.70	-0.955	1.445	0.819
1.75	-0.75	-0.969	1.531	0.894
1.80	-0.80	-0.980	1.620	0.972
1.85	-0.85	-0.989	1.711	1.055

Продовження таблиці 2.3

1.90	-0.90	-0.995	1.805	1.143
1.95	-0.95	-0.999	1.901	1.236
2.00	-1.00	-1.000	2.000	1.334
2.05	-1.05	-0.999	2.101	1.434
2.10	-1.10	-0.995	2.205	1.544
2.15	-1.15	-0.989	2.311	1.655
2.20	-1.20	-0.980	2.420	1.775
2.25	-1.25	-0.969	2.531	1.900
2.30	-1.30	-0.955	2.645	2.028
2.35	-1.35	-0.939	2.761	2.165
2.40	-1.40	-0.920	2.880	2.304
2.45	-1.45	-0.899	3.001	2.455
2.50	-1.50	-0.875	3.125	2.605
2.55	-1.55	-0.849	3.251	2.765
2.60	-1.60	-0.820	3.380	2.930

Пасивний експеримент. Цей метод визначення динамічних характеристик заснований на близькості досліджуваних випадкових процесів до стаціонарних, ергодичних гаусовських процесів.

Випадкові процеси зміни Θ в під впливом випадково змінюючихся метеофакторів z , строго кажучи, - не стаціонарні, але лише відносно математичного очікування, а тому і з урахуванням того, що багатомірна густина цих процесів залежить лише від розміру інтервалів, за якими її визначають, до цих процесів після центрування можуть бути застосовані висновки теорії стаціонарних випадкових процесів [7].

Також може бути прийнята гіпотеза про ергодичність досліджуваних випадкових процесів, оскільки отримані кореляційні функції характеризуються необмеженим зменшенням за модулем при $|\Delta t| \rightarrow \infty$.

Близькість закону розподілу до гаусовського підтверджується тим фактом, що випадкові вхідні впливи (метеофактори) генеруються незалежними джерелами, а зворотні зв'язки в об'єкті відсутні, тобто їх взаємнокореляційні функції тотожно рівні нулю.

Підготовка пасивного експерименту мало відрізняється від підготовки активного експерименту, але умова реєстрації всіх вхідних та вихідних параметрів на стрічку одного приладу становиться обов'язковою. Датчики з активним виходом були під'єднані також через контакти додатково вмонтованих щіткових перемикачів безпосередньо до підсилювального приладу через віброперетворювач [4]. На етапі планування експерименту були визначені наступні параметри: крок Δt_d дискретності, швидкість v_l руху діаграмної стрічки реєстратора та довжина T_r реалізації.

У найпростішому випадку ці параметри були визначені за допомогою відрізка реалізації випадкового процесу такої довжини T_1 , щоб запис параметра що на ньому помістився не менше 50...70 раз перетинала середню лінію процесу. Крок дискретності пов'язаний з числом пересікань N_{ox} виразом $\Delta t_d \approx 0.2T_1 / N_{ox}$.

Необхідна швидкість v_l руху діаграмної стрічки залежить від Δt_d та масштабного коефіцієнту v , рівного найменшій поділці сітки діаграмної стрічки в одиницях вимірювання випадкової величини $v_l = v / \Delta t_d$.

Довжина реалізації T_r , визначаючим чином впливає на точність експерименту, визначена як $T_r \geq 100 \Delta t_{кор}$. Тут $\Delta t_{кор} \approx 10 \Delta t_d$ представляє часовий інтервал, за який кореляційна функція зменшиться до значення, рівного 0.05 від максимального.

При плануванні експерименту з визначення характеристик сигналу по зміні рівня природної освітленості, результати якого викладені далі, були прийняті $\Delta t_d = 100c$, $v_l = 180mm/год$ та $T_r = 6год$.

При обробці результатів експерименту наперіть були відбраковані ті ділянки запису, коли обслуговуючий персонал виконував операції, що призводили до зміни температурного режиму теплиці (змінювали

потужність системи опалення, відкривали та закривали квартирки і т.д.). Для подальшого обробітку були вибрані ті ділянки запису (довжиною не менше T_p), де досліджувані випадкові величини змінюються на фоні практично постійних інших параметрів.

Програми машинного обробітку результатів пасивного експерименту добре відпрацьовані та широко відомі [8]. В загальному випадку було виконано квантування неперервної реалізації за часом, використовуючи крок Δt дискретності з подальшим центруванням квантових реалізацій.

Так як оцінка математичного очікування за довжиною реалізації змінюється не суттєво, то прийнято що процес характеризується як стаціонарний ергодинамічний гаусовський випадковий. У протилежному випадку обробіток ускладнюється, оскільки потрібно послідовно виділити складові загальної структури випадкового процесу.

Далі були проведені наступні розрахунки:

5. визначена оцінка кореляційної та взаємнокореляційної функції $R^*_{\Theta\Theta}(t)$, $R^*_{Z\Theta}(\tau)$.
6. Визначені динамічні характеристики об'єкту на основі відомого рівняння

$$R^*_{Z\Theta}(\tau) = \int_0^{\infty} R^*_{\Theta\Theta}(\tau - t) g_{Z\Theta}(t) dt$$

де $g_{Z\Theta}(t)$ – шукана вагова функція досліджуваного каналу $Z \rightarrow \Theta$.

Рівняння розв'язано методом перетворення Фур'є.

Вагові функції ідентифікованих каналів після згладжування за великою кількістю повторюваностей апроксимовані з допомогою методу найменших квадратів виразом

$$g_{Z\Theta}(t) = \frac{k_Z}{T_Z} e^{-\frac{t-\tau_Z}{T_Z}}$$

де k_Z , T_Z та τ_Z – коефіцієнт підсилення, постійна часу та запізнювання, відповідуючі каналу $Z \rightarrow \Theta$.

Результати ідентифікації багато прольотної теплиці площею бага наведені нижче.

На рис.2.3. показані залежності коефіцієнтів k_{Θ} , k_G постійної часу T та запізнювання τ по каналам „витрата G_T та температура Θ_T теплофікаційної води – температура повітря в теплиці Θ_V ”.

Із аналізу результатів експерименту можна зробити наступні висновки.

Канали керування суттєво нелінійні, так як статичні та динамічні характеристики об'єкту залежать від початкових значень витрати та середньої температури води в трубній системі опалення. Так, при збільшенні витрати води в системі опалення від 10 до 30 кг/с коефіцієнт k_{Θ} підсилення об'єкту по каналу „температура теплофікаційної води – температура повітря у теплиці” збільшується більш ніж у 1.3 рази, а коефіцієнт підсилення k_G по каналу „витрата теплофікаційної води – температура повітря у теплиці” зменшується більш ніж у 2 рази, встановлюючись при великих значеннях витрати на рівні $0.1 \dots 0.30 \text{ C} \cdot \text{c}/\text{кг}$, що пояснюється стабілізацією коефіцієнту тепловіддачі від води до внутрішньої поверхні нагрівальних регістрів при швидкостях руху води в них більше ніж 0.1 м/с.

При збільшенні середньої температури $\Theta_{\text{ср}}$ води в системі опалення від 70 до 90°C коефіцієнти підсилення k_G та k_{Θ} зростають більш ніж у 1.2 рази, що пояснюється збільшенням коефіцієнту тепловіддачі від поверхні нагрівальних регістрів до повітря, у зв'язку з ростом температурного напору.

Постійна теплиці T з каналами керуючих впливів визначається тепловою ємністю системи трубного обігріву та власне теплиці. Перша із складових залежить від теплового навантаження теплиці системи обігріву та експоненційно зменшується із збільшенням витрати води, а друга взагалі може бути прийнята постійною, не змінюватися від витрати.

Запізнювання зміни температури повітря у теплиці при зміні потужності системи трубного обігріву залежить від конструкції самої

теплиці та її системи обігріву, напрямку руху теплоносія в реєстрах обігріву шатру та місця розташування датчика відносно цих реєстрів. Запізнювання залежить також від висоти підвісу датчика температури повітря. Це пояснюється різною швидкістю конвекційних потоків біля поверхні ґрунту та на певній висоті над ним. Наприклад при переміщенні датчика температури на 1 м за висотою час повного запізнювання змінюється на 25%.

Час повного запізнювання неоднаковий для різних каналів керування температурою повітря у теплиці. Це пояснюється тим, що при керуванні витратою води температура зовнішніх стінок нагрівних реєстрів системи трубного обігріву змінюється одночасно по всій їх довжині (змінюється коефіцієнт тепловіддачі від води до внутрішніх стінок реєстру), а при керуванні температурою води у величину повного запізнювання входить також складова, що визначається швидкістю потоку води у трубах.

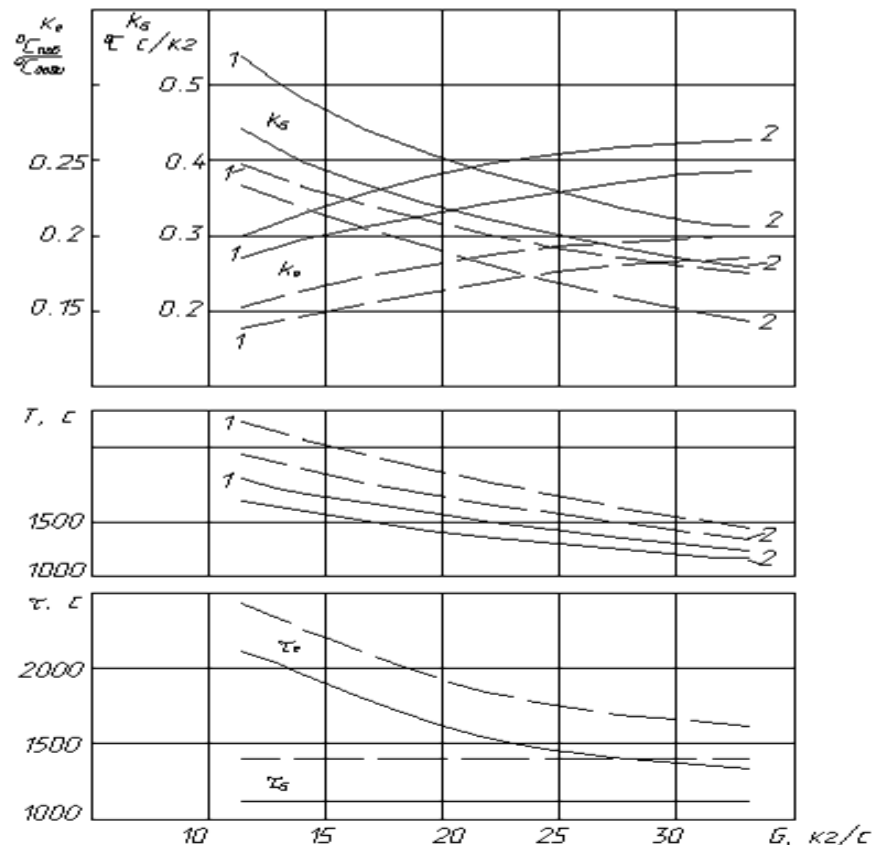


Рисунок.2.4 Експериментальні характеристики каналів керування температурним режимом у багатопрольотній теплиці площею 0.6 га:
 - - - з грибами; — - без грибів; 1 – при $\Theta_{ср}=700\text{C}$; 2 – при $\Theta_{ср}=900\text{C}$;

З урахуванням сказаного стає зрозумілим той факт, що експеримент показав за каналом $G_T \rightarrow \Theta_v$ незалежність запізнювання τ_G від витрати, а за каналом $\Theta_T \rightarrow \Theta_v$ – суттєву залежність запізнювання τ_Θ від витрати. Причому у діапазоні середніх навантажень запізнювання різняться у 1.5...2 рази; при наближенні до верхньої межі області зміни навантажень ця різниця зменшується, але навіть у цьому випадку залишається суттєвою (1.2 рази).

Наявність зеленої маси рослин у значній мірі визначає не стаціонарність теплиці як об'єкту керування температурним режимом. Причина цього – збільшення теплової ємності теплиці по мірі росту грибів. Так, наприклад, у період від висаджування розсади до часу збирання урожаю коефіцієнти підсилення по обом каналам зменшуються більш ніж у 1.5 рази, а постійна часу збільшується у 1.1...1.3 рази.

Збільшення запізнювання на 300...400с при наявності в теплиці дорослих рослин пояснюється зменшенням швидкості руху конвекційних потоків від реєстрів системи трубного обігріву до датчика температури повітря.

У результаті обробки результатів пасивного експерименту були отримані статичні та динамічні характеристики каналів „рівень природної освітленості, швидкість вітру – температура повітря у теплиці”.

Результати ідентифікації об'єкту за каналами передачі основних збурюючі впливів, усереднені за великою кількістю повторюваностей, наведені у таблиці 6 (для культури огірка). Динамічні характеристики каналу $\Theta_n \rightarrow \Theta_v$ визначити, використовуючи метод пасивного експерименту, достатньо важко із-за інфранизькочастотного характеру зміни температури зовнішнього повітря (технологія об'єкту не дозволяє стабілізувати на одному рівні теплову потужність системи обігріву теплиці на протязі декількох діб – мінімально необхідна тривалість процесу запису). Тому в таблиці 6 наведено лише коефіцієнт підсилення цього каналу. Основою для розрахунку коефіцієнту було рівняння регресії, пов'язуюче Θ_v з G_T , Θ_T з Θ_n і отримане в результаті обробки за методом найменших квадратів

реєстрації цих параметрів у нічний час доби в статичних режимах та при швидкості вітру не більше 3..5м/с.

Таблиця 2.4

Теплиця у період	Канал	Коефіцієнт підсилення	Постійна часу, с	Запізнювання, с
Висаджування міцелію	$E \rightarrow \Theta_B$	$0.56 \cdot 10^{-3}$	890	100
	$v \rightarrow \Theta_B$	0С/лк	740	90
	$\Theta_H \rightarrow \Theta_B$	$0.25 \cdot 10^{-3}$ 0С·с/м 0.450 С/0С	-	-
Плодоносіння	$E \rightarrow \Theta_B$	$0.59 \cdot 10^{-3}$	1100	110
	$v \rightarrow \Theta_B$	0С/лк	890	100
	$\Theta_H \rightarrow \Theta_B$	$0.18 \cdot 10^{-3}$ 0С·с/м 0.40 С/0С	-	-

Висновки:

- а) інерційність каналів передачі збурюючих впливів значно менша інерційності каналів передачі керуючих впливів. Особливо суттєво розрізняються запізнювання (80...90с за каналами збурюючі проти 1000...2500с за каналами керуючих впливів).
- б) із двох каналів передачі швидкозмінюючихся збурень $E \rightarrow \Theta_B$ та $v \rightarrow \Theta_B$ менша інерційність у другого каналу, але так як пориви вітру на температурний режим теплиці не впливають, а середня швидкість вітру змінюється повільно, визначаюче збурюючий вплив на Θ_B для САК – зміна рівня природної освітленості E .

- в) пасивний експеримент підтвердив параметричну нестационарність об'єкту, що проявляється в залежності його параметрів від об'єму листостеблової маси.
- г) на інерційність об'єкту впливає також і середня швидкість вітру (тепер, як параметричне збурення), оскільки із зміною v змінюється швидкість перемішування повітря в об'ємі теплиці.
- д) багатопрольотна теплиця відноситься до групи об'єктів автоматизації, що характеризуються відношенням $\tau/T > 1$ (особливо при керуванні за типовим каналом $\Theta T \rightarrow \Theta v$).
- е) задача автоматизації ускладнюється великими абсолютними значеннями τ та T , значно меншою інерційністю об'єкту за каналами передачі основних збурюючих впливів та досить жорсткими вимогами до якості стабілізації параметру ($\pm 10\text{C}$), маючими мало аналогів у практиці автоматизації технологічних процесів.

3 КОНСТРУКТОРСЬКО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

3.1 Розроблення системи для реєстрації режимів у електричних мережах тепличного господарства

Для оптимізації системи керування потрібно мати достовірну інформацію про режими її роботи, збір якої на середніх та невеликих підприємствах, а також у сільських розподільчих мережах спряжений з великими витратами праці із-за відсутності простих та малогабаритних пристроїв. Одним з основних елементів системи реєстрації режимів в електромережах є прилад для реєстрації режимів.

Пристрій складається із трьох частин: аналогової I, цифрової II та блоку живлення III. Аналогова частина приладу призначена для запису параметрів електричного режиму трифазної мережі. Цифрова частина дозволяє керувати пристроєм комутації, формувати код параметру що реєструється та його візуальну індикацію, а також задавати тривалість циклу вимірювання та виключати можливість експлуатації приладу при відсутності заземлення.

Працює прилад наступним чином. Вихідна інформація про струми та напруги в характерній точці електричної мережі надходить на формувач вхідного сигнал 1 і далі на пристрій комутації 2.

При цьому у випадку необхідності підсилення сигналу вмикається вхідний підсилювач 3, в результаті сигнал приводиться до потрібного рівня роботи аналогової частини приладу. Для отримання інформації про потужність мережі введений перемножувач аналогових сигналів 5 (при необхідності реєстрації реактивної потужності додатково вмикається фазозсувний пристрій 4). Далі інформаційний сигнал надходить на формувач модуля 6, який необхідний для отримання абсолютного значення двополярного сигналу.

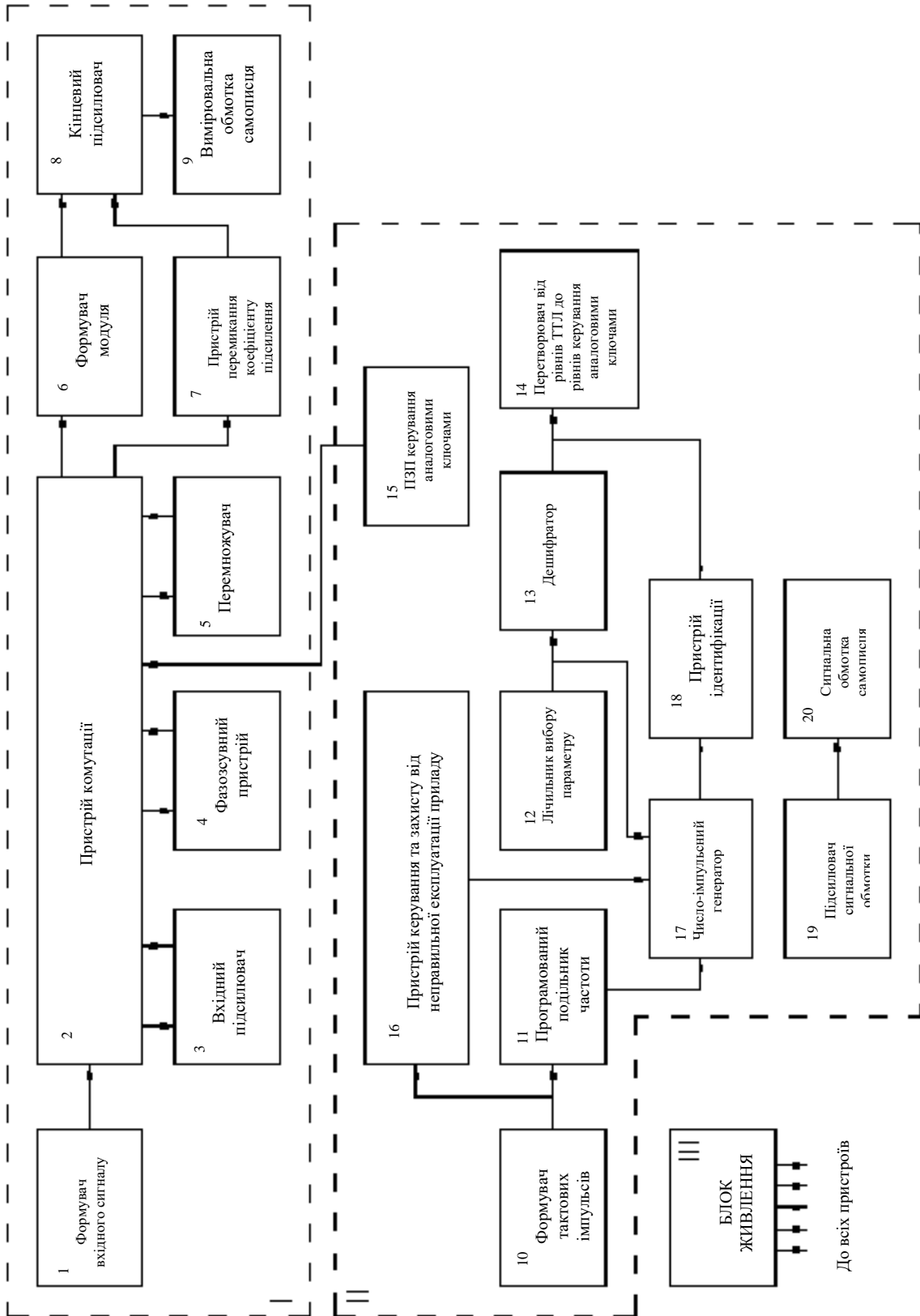


Рисунок 3.1 Структурна схема

Принцип дії цифрової частини приладу наступний. Імпульси подвоєної промислової частоти надходять із блоку живлення на формувач тактових імпульсів 10. Пристрій 16 керування та захисту від неправильної експлуатації приладу встановленням коефіцієнту ділення дільника частоти задає тривалість циклу вимірювання параметрів що реєструються.

Лічильник 12 вибору параметру визначає порядковий номер параметру, що реєструється в даний момент.

Одночасно ця інформація надходить на дешифратор 13 і на число-імпульсний генератор 17. Дешифратор перетворює двійковий код у керуючі сигнали, які далі йдуть на пристрій індикації 18, за яким можна визначити, яку змінну електричного режиму на даному інтервалі фіксує самописець. Так як з дешифратора 13 сигнал надходить з рівнями ТТЛ $0... \pm 2.5V$, а для керування аналоговими ключами необхідний сигнал з рівнями $0... -15V$, то у схему приладу потрібно було ввести пристрій спряження 14. Для забезпечення однозначної залежності стану кожного із аналогових ключів від стану лічильника вибору параметра служить програмно-замап'ятовувачий пристрій (ПЗП) керування аналоговими ключами 15. Інформація з різних джерел сигналів що реєструються записується на одну і ту ж стрічку одною безперервною лінією, тому необхідно безперервну інформацію розбивати на зони, кожна із яких відповідає зміні конкретного параметру режиму роботи мережі. Для цього у приладі (12 зон) використаний число-імпульсний генератор 17, який видає число імпульсів, що відповідає номеру величини що записується, при цьому всі величини пронумеровані від 0 до 11. імпульси надходять через підсилювач сигнальної обмотки 19 на сигнальну обмотку самописця 20, яка приводить в рух виконавчий механізм пишучого вузла, котрий ставить на полях стрічки число міток відповідаюче номеру параметра що реєструється. Крім того, для ідентифікації різних графіків передбачена можливість ручного печатання міток на полях паперової стрічки самописця.

Розглянемо різні режими роботи пристрою.

Режим вимірювання відхилення фазної напруги. Напруга фази А подається на трансформатор TV1, вторинна обмотка якого з'єднана з резистором налаштування R4. нижній на схемі вивід цього резистора замикається на загальний дріт ключем S13. З рухомого контакту резистора R4 сигнал надходить через ключ S5 на подільник напруги R7R9 і далі на вхід підсилювача А4, вихід якого з'єднаний з резистором R12. З рухомого контакту цього резистора сигнал через ключ S15 іде на формувач модуля А7. Отримане абсолютне значення сигналу додатної полярності через резистор R16 надходить на кінцевий підсилювач А8.

На цей же підсилювач через резистори R17, R18 надходить опорна напруга від'ємної полярності (ключ S4 розімкнутий), яку можна регулювати резистором налаштування R10. У цьому випадку коефіцієнт підсилення кінцевого підсилювача А8 максимальний. В результаті на виході операційного підсилювача А8 формується сигнал різниці, котрий відповідає значенню шуканої величини – відхилення фазної напруги від номінального значення. Цей сигнал після підсилення кінцевим підсилювачем А8 надходить на вимірювальну обмотку самописця PS1 через резистор R13.

Режим вимірювання відхилення лінійної напруги. При вимірюванні відхилення напруги між фазами А та В вмикаються ключі S5, S9, S14, S18. При цьому напруга між рухомими контактами резисторів R4 та R5 подається на подільник напруги R7R9R8. Ввімкнення в коло резистора R8 призводить до зменшення рівня сигналу на виході підсилювача А4 в $\sqrt{3}$ разів. Подальше проходження сигналу нічим не відрізняється від режиму вимірювання відхилення фазної напруги. У режимі реєстрації відхилення лінійної напруги між фазами В та С або між фазами С та А замість ключів S5 та S9 замикаються відповідно ключі S7 та S11 або S10 та S6.

Стан інших ключів лишається незмінним. Режим реєстрації фазного струму. Інформація про струм у кожній із фаз надходить з трансформаторів струму ТА1, ТА2, ТА3 на відповідні перетворювачі струм-напруга А1, А2, А3. Далі через резистор R1 та ключ S1 при вимірюванні струму у фазі А (через резистор R2 та ключ S2 у фазі В, та через резистор R3 та ключ S3 у фазі С) вона іде на вхід підсилювача А4. підсилений сигнал через резистор R12 та ключ S15 надходить на формувач модуля А7, а потім через резистор R16 на кінцевий підсилювач А8.

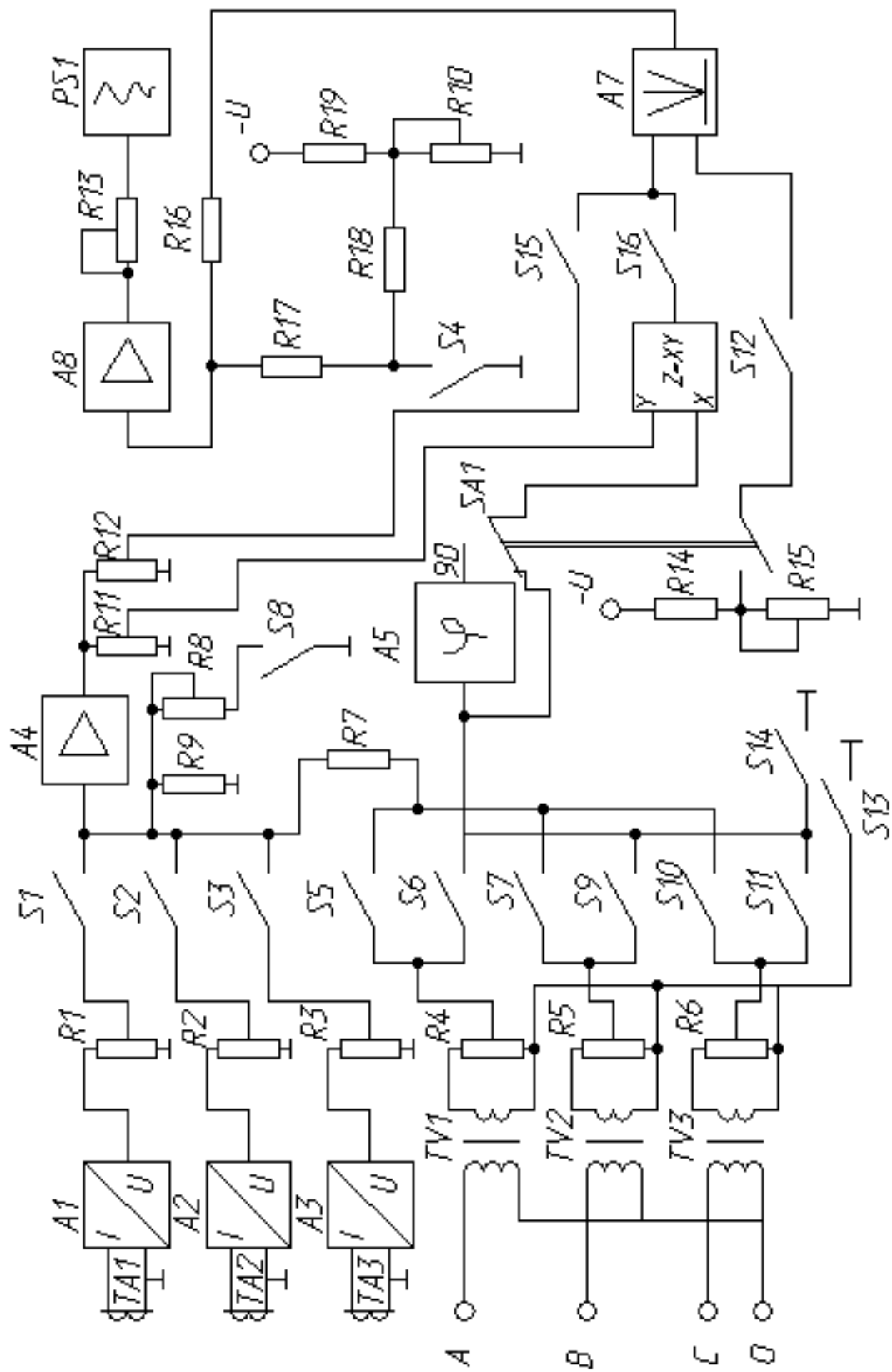


Рис.3.2 Функціональна схема приладу

У цьому режимі вмикається ключ S4 і утворюється подільник напруги R16R17. Зменшення коефіцієнта передачі ланки, що знаходиться за формувачем модуля A7, зумовлено тим, що в режимі вимірювання струму та потужності сигнал з виходу формувача модуля змінюється у більшому діапазоні, ніж при фіксуванні відхилення напруги. З кінцевого підсилювача A8 сигнал надходить через резистор R13 на вимірювальну обмотку самописця PS1.

Режим реєстрації потужності. У цьому режимі інформація про струм відповідної фази подається на вхід підсилювача A4 (як і у випадку режиму реєстрації струму). Підсилений сигнал з рухомого контакту резистора R11 подається на вхід Y аналогового перемножувача A6. Для отримання інформації про напругу вмикається ключ S13 та додатково при реєстрації потужності у фазі А – ключ S6, у фазі В – S9, у фазі С – S11.

Отримані величини, що характеризують напругу та струм можна представити у наступному виді:

$$\dot{U} = U_{\max} \cos(\omega t + \varphi);$$

$$\dot{I} = I_{\max} \cos \omega t$$

При перемножуванні цих величин отримаємо:

$$\begin{aligned} \dot{U} \dot{I} &= U_{\max} \cos(\omega t + \varphi) I_{\max} \cos \omega t = \\ &= (1/2) U_{\max} I_{\max} [\cos(2\omega t + \varphi) + \cos(\omega t + \varphi - \omega t)] = \\ &= (1/2) U_{\max} I_{\max} \cos(2\omega t + \varphi) + (1/2) U_{\max} I_{\max} \cos \varphi. \end{aligned}$$

Таким чином у результаті перемноження маємо дві складові: змінну з подвоєною частотою, та постійну. Остання у чистому вигляді може характеризувати активну потужність.

Якщо у одній з величин зсунути фазу сигналу на кут $\pi/2$, то при вихідних величинах

$$\dot{U} = U_{\max} \cos(\omega t + \varphi - \pi / 2) = \dot{U} = U_{\max} \sin(\omega t + \varphi);$$

$$\dot{I} = I_{\max} \cos \omega t;$$

добуток стуму та напруги

$$\begin{aligned} \dot{U} \dot{I} &= U_{\max} \sin(\omega t + \varphi) I_{\max} \cos \omega t = \\ &= (1/2) U_{\max} I_{\max} [\sin(2\omega t + \varphi) + \sin(\omega t + \varphi - \omega t)] = \\ &= (1/2) U_{\max} I_{\max} \sin(2\omega t + \varphi) + (1/2) U_{\max} I_{\max} \sin \varphi. \end{aligned}$$

У цьому випадку також отримуємо змінну та постійну складові, причому постійна характеризує реактивну потужність. Таким чином, виділивши постійну складову, можна визначити як активну так і реактивну потужності. При реєстрації активної потужності сигнал на вхід X (характеризуючий напругу) перемножувала А6 надходить безпосередньо (перемикач SA1 знаходиться у нижньому за схемою положенні), а при реєстрації реактивної потужності – через фазозсувний пристрій А5 (перемикач SA1 у верхньому положенні).

Сигнал, що характеризує потужність, через ключ S16 подається на формувач модуля А7, який у цьому режимі працює як звичайний підсилювач. Оскільки величина, що характеризує реактивну потужність, може мати як додатне так і від'ємне значення, початок відліку в режимі вимірювання реактивної потужності знаходиться у центральній частині робочого поля самописця. Для цього при вимірюванні реактивної потужності на вхід формувача модуля А7 через перемикач S12 подається опорна напруга. Подальше проходження сигналу з формувача модуля А7 аналогічне режиму реєстрації струму.

Блок живлення можна виконати на мікросхемі К142 або вибрати імпульсного типу з високими коефіцієнтами стабілізації, забезпечуючими

мінімальну похибку приладу при значних відхиленнях напруги у мережі що контролюється, та сприятливий тепловий режим роботи пристрою.

Крім свого основного значення, пристрій можна використовувати для реєстрації багатоканальних параметрів любого технологічного процесу, наприклад на очисних спорудах для різностороннього контролю параметрів стічних вод. У цьому випадку малопотенціальні сигнали з датчиків різних параметрів (каламуть, рН та ін.) переводяться в електричний та подаються безпосередньо на шунти формувача вхідного сигналу.

3.2 Розроблення систем керування мікрокліматом теплиць

3.2.1 Розроблення каскадної системи регулювання температури повітря у теплиці

Загальна потужність системи обігріву блоку теплиць 4-5МВт. Більша її частина (86%) витрачається на даховий обігрів. У зв'язку з цим автоматизація систем керування мікрокліматом, що забезпечують значну (до 20%) економію теплоти та збільшення виходу продукції, представляє особливий інтерес.

У типових проектах блочних теплиць використовують насосні вузли змішування з триходовими клапанами та електромоторним приводом в якості виконавчих органів автоматичних систем регулювання (АСР) температури повітря. Потужність системи обігріву змінюють з допомогою спеціальних комплектів обладнання варіюванням відношень кількості прямої та зворотної, пройшовшої нагрівні труби 1 (рис.18) води, що змішується у триходових клапанах 2 насосами 3.

Але великий досвід експлуатації комплектного обладнання [9] для автоматизації блочних теплиц свідчить про те, що алгоритми функціонування

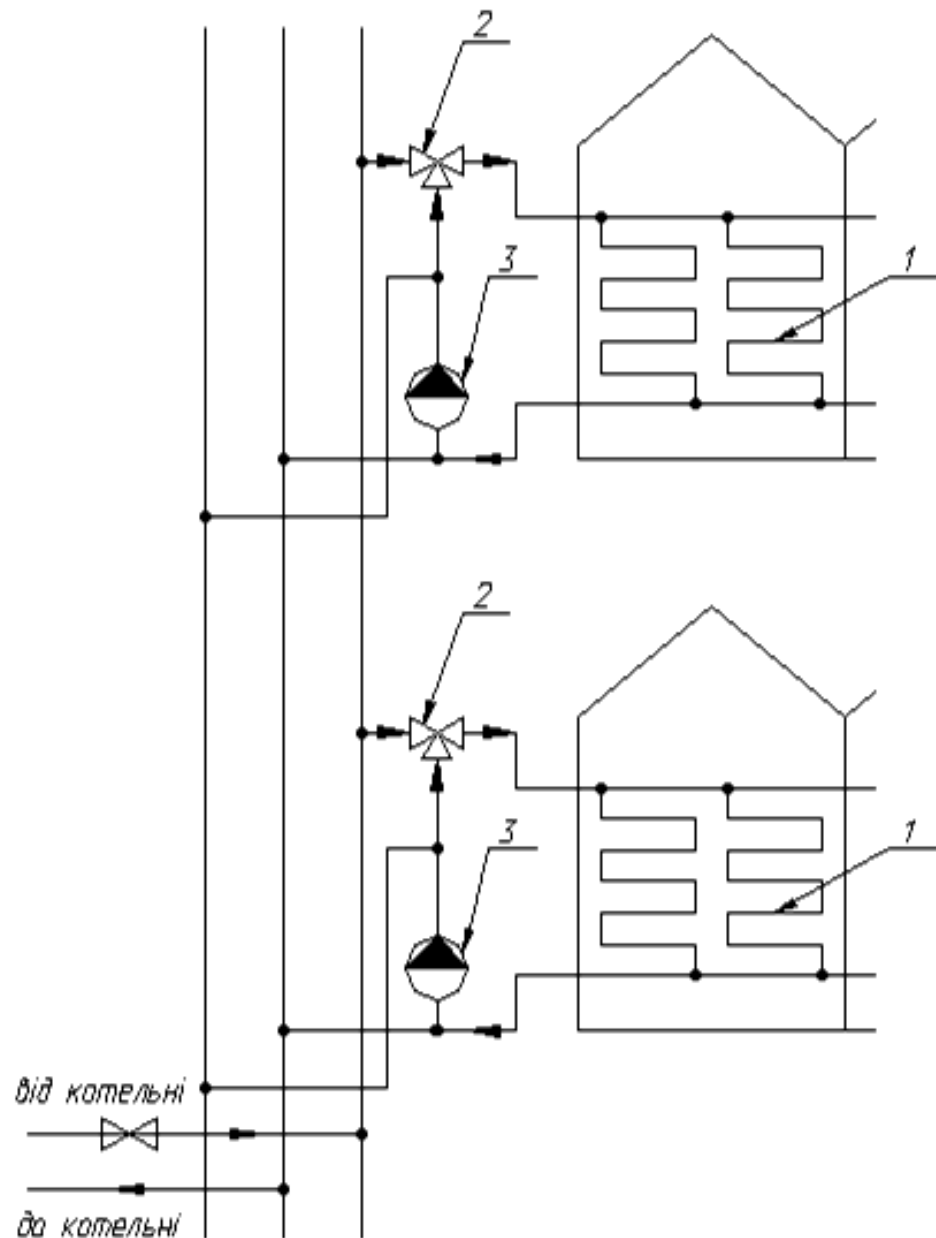


Рисунок.3.2.1 Схема обігріву блоку багатопрольотних теплиць

1 – обігрівач; 2 – змішувальний клапан; 3 – насос

АСР температурного режиму теплиць повинні бути переглянуті.

Якщо врахувати такі фактори, як інерційність каналів передачі різних впливів, їх параметрична нестабільність, то комбіноване керування

температурою повітря може виявитися недостатньо ефективним у випадку використання його у мало прольотних теплицях.

На відміну від компенсаційного каскадний спосіб регулювання не чутливий до зміни параметрів (рисунок.3.2.2).

Використання температури води x на виході із триходового клапану в якості допоміжної координати об'єкту дозволяє покращити характеристики виконавчої частини системи та, контролювати вплив нестабільності температури T та тиску P води, що надходить у триходовий клапан, на температуру $T_{п}$ повітря у теплиці.

Але вказаної додаткової координати недостатньо для реалізації швидкісного перекриття впливів таких факторів, як температура та вологість зовнішнього повітря, напрям вітру, інтенсивність сонячної радіації, запиленість остеклення теплиці, опади і т.д.

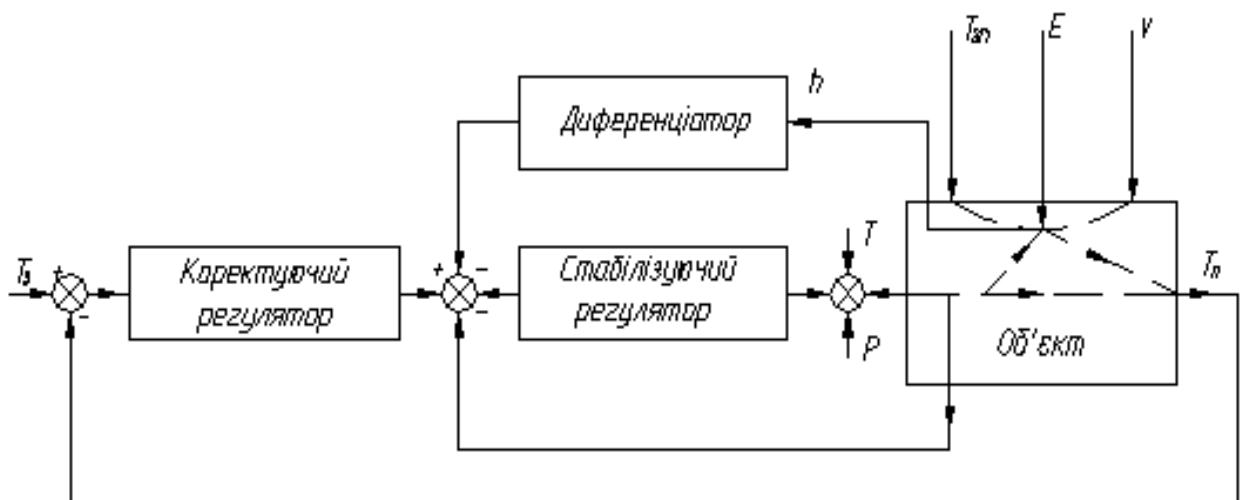


Рисунок.3.2.2 Структурна схема каскадної системи регулювання температури повітря у теплиці із зникаючим імпульсом за температурою остеклення:

T_z – задана температура повітря в теплиці; $T_{зп}$ – температура зовнішнього повітря; E – інтенсивність сонячної радіації; v – швидкість вітру. Тому в даній роботі систему пропонують доповнити ще одним

замкнутим мало інерційним контуром регулювання. Причому для погашення даним контуром шкідливих впливів на температуру повітря у теплиці всіх зовнішніх збурень (у тому числі і неконтрольованих) необхідно визначити відповідну допоміжну координату об'єкту. У якості такої координати може бути температура θ остеклення теплиці. Сумарний вплив всіх можливих зовнішніх факторів може призводити як до припливу ззовні додаткової енергії в теплицю так і до її відтоку у навколишнє середовище. Якщо вимірювання температури θ рівне нулю, то зовнішні фактори в сумі не впливають на вимірювання основної величини що регулюється, тобто температури повітря у теплиці.

З цього слідує, що призначення другого малоінерційного замкнутого контуру регулювання – стабілізація похідної температури остеклення теплиці за часом близько значення, рівного нулю. У вказаному контурі доцільно використовувати реально диференціюючу ланку.

Запропонована каскадна система (рисунок.3.2.2) не виключає можливості використання компенсаційного способу припинення впливів на основну величину що регулюється тих чи інших збурень. Іншими словами, керування температурою повітря у теплиці може бути комбінованим, але обов'язково з використанням вказаних вище додаткових координат об'єкту.

Технічну реалізацію стабілізуючих та коректуючи регуляторів, реально диференціюючі ланок та інших елементів систем для всіх теплиць блоку доцільно здійснювати на базі керуючої мікро-ЕОМ. Це дозволить також достатньо ефективно реалізувати функції адаптації автоматичних систем і, як наслідок, припинити шкідливий вплив мультиплікативних впливів.

3.2.2. Розроблення мікропроцесорної системи керування мікрокліматом теплиць.

Низька якість регулювання температури та вологості повітря у теплицях зумовлює необхідність контролю не лише діаметру та концентрації мікрокапель аерозолі, але і тиск у напірних трубопроводах системи

випаровувального охолодження та дозволення, а також кількості сонячної радіації, що надходить у теплицю, та рівня фізіологічно активної радіації, що утворюється лампами досвічування.

Але існуючі засоби вимірювання та обробітку отриманої інформації не забезпечують надійну та стабільну роботу систем регулювання мікроклімату (СРМ) у теплицях.

Для утворення оптимального мікроклімату у теплиці розроблений автоматизований вимірювальний комплекс на базі міні-ЕОМ.

Принципова схема СРМ включає схеми випаровувального охолодження та дозволення повітря (СВОД), вентиляції шатрового простору, ламп досвічування, світло відбиваючий екран з приводом, пристрій керування.

Для ефективності роботи СВОД необхідно, щоб відносна вологість повітря у теплиці була не вище 50...60%, тобто теплиця повинна мати систему вентиляції, що забезпечує достатній для цього повітрообмін. Гірші умови для роботи СВОД – сонячна днина у середині літа (пряме сонячне освітлення максимальної інтенсивності та тривалості). Оптимальним при цьому вважається повітрообмін $8\text{м}^3/\text{хв}$ на 1м^2 .

Але при проектуванні теплиць та обладнання для них потрібно враховувати, що потреба у воді та електроенергії для задоволення потреб сільського господарства безперервно зростає, а скорочення запасів прісної води тягне за собою необхідність її економії. У даному випадку ця мета може бути досягнута зниженням нагріву шляхом зміни кількості сонячної радіації, що надходить у теплицю через прозорі огорожі, або зміною режиму її надходження. Для цього служить світло відбиваючий екран шторного або жалюзєвого типу з електроприводом, що керується командами ЕОМ на основі сингалів від датчиків температури та кількості сонячної радіації.

На рис.3.2.3 зображена структурна схема керування комплексною системою регулювання мікроклімату (КСРМ).

Датчик 3 сонячної радіації, працюючий у ПІ – режимі, перетворює енергію сонячного світла у аналоговий електричний сигнал, який керує

тривалістю команд, що надходять з блоку 5. При досягненні сигналом заданого рівня із блоку подається команда на привод 7 світловідбиваючого екрану 8. Якщо після цього температура в теплиці знизиться до заданої, яка контролюється датчиком 2, привод вмикається на зменшення ефективної площі екрану, а в темну пору доби вмикається установка 6 опромінення грибів.

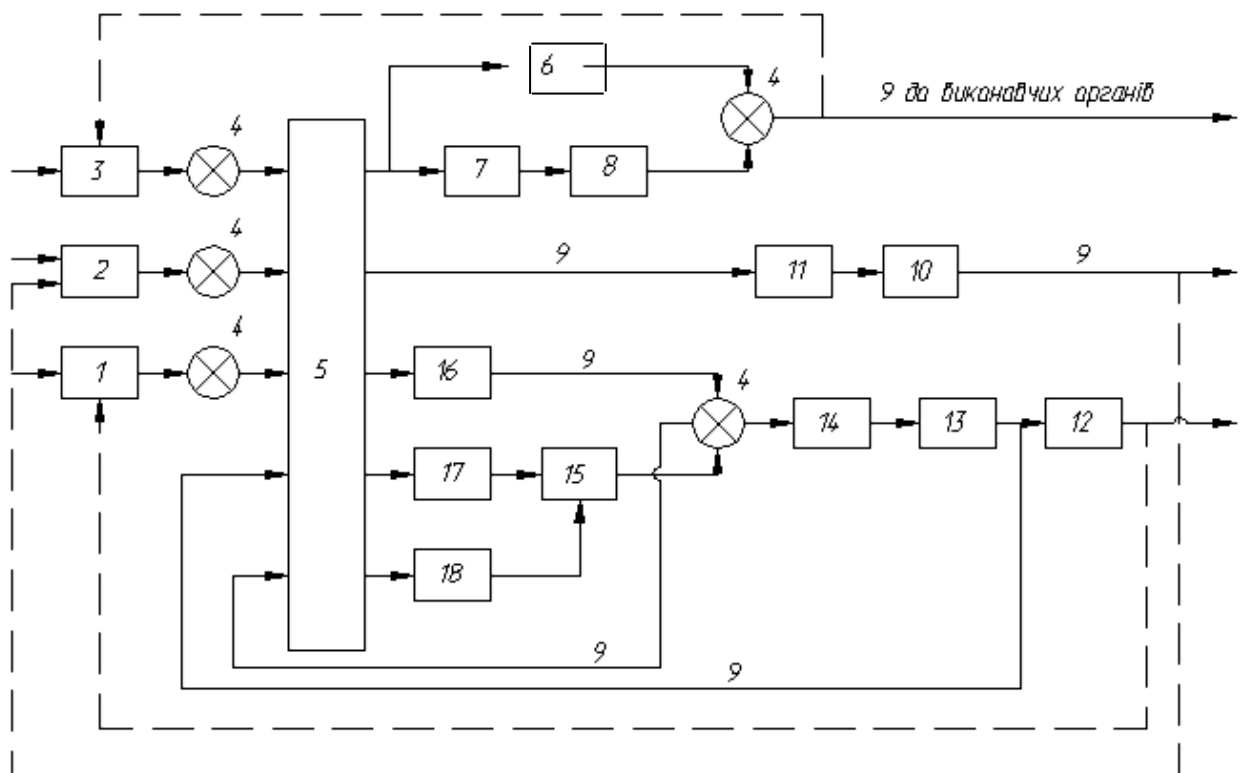


Рисунок.3.2.3 Схема керування комплексною системою регулювання мікроклімату:

1, 2, 3 – датчики параметрів аерозолі, температури, сонячної радіації;
 4 – елементи порівняння; 5 – блок формування команд; 6 – пристрій опромінення рослин; 7 – привод світловідбиваючого екрану; 8 – світловідбивачий екран; 9 – лінії зв'язку; 10 – вентилятор; 11 – привод вентилятора; 12 – форсунки; 13, 15 – кінцевий та головний перетворювачі тиску води; 14 – трубопроводи; 16 – перемикач; 17 – насос; 18 – вентиль-позиціонер.

Якщо температура лишається вищою за задану, блок 5 приводить у дію систему випарувального охолодження та до зволоження повітря. Вона складається з резервуару для води, насосу 17 із зворотним клапаном – опозиціонера 8, живлячих трубопроводів 14 та форсунок 12 (число трубопроводів та форсунок залежить від площі теплиці).

Пристрій керуванні містить також перемикач 16 з виконавчими клапанами, датчик 1 параметрів аерозолу, перетворювачі 13 та 15 тиску води, елемент 4 порівняння, лінії 9 зв'язку, вентилятор 10 з приводом 11.

При перевищенні сигналу, що надходить від датчика 3 сонячної радіації заданого рівня, блок 5 вмикає насос, що подає воду із резервуару по трубопроводах до форсунок. Вентиль-позиціонер 18 служить запобіжним та регулюючим пристроєм при роботі насосу. При будь-якому відкритому клапані перемикача 16 регулювання тиску води у системі здійснюється ним за аналоговим сигналом перетворювача 15 тиску.

Датчик 1 реагує на відносну вологість повітря, діаметр та концентрацію крапель у факелі розпилення. Сигнал датчика по лініям зв'язку подається на елемент 4 порівняння. При досягненні відносної вологості повітря 100% блок 5 вмикає привод вентилятора, який працює до тих пір поки в теплиці вона не буде рівна вологості зовнішнього повітря. Якщо температура нижча від заданої, блок видає команду на відключення насосу. Коли температура повітря у теплиці продовжує лишатись вищою за задану, робота СВОД повторюється. При цьому перетворювач 13 видає сигнал за напругою, пропорційний тиску в напірному трубопроводі. Через елемент порівняння він надходить у блок 5, котрий видає команду на повне відкриття вентилятора-позиціонера.

Перемикач, виконаний за оббігаючою схемою, призначений для почергового підключення виконавчих клапанів реєстрів системи до керуючого пристрою.

Світло відбиваючі екрани можуть бути використані не лише для регулювання надходження до теплиці сонячної радіації, але і для більш

повного використання світлового потоку, що утворюється лампами досвічування.

Із сказаного вище закономірне використання ЕОМ для керування лампами досвічування, що входять до автоматизованої системи регулювання мікроклімату у теплиці. Таким чином, блок формування команд повинен виконувати автоматичне керування вимірюваннями та зніманням прямих та непрямих параметрів що визначаються, та їх запис до оперативної пам'яті, визначати характеристики за заданими алгоритмами при проведенні повного об'єму вимірювань, передавати команди до виконавчих органів.

Як і всі засоби автоматизованого обробітку інформації, пристрій керування системами регулювання мікроклімату повинен мати відповідне програмне забезпечення. Для виконання функцій керування на основі алгоритму обробітку метрологічних характеристик розроблено програми (див. розділ 3.2.3.).

В силу того що кондиціювання повітря з допомогою установки випаровувального охолодження проводиться по всій теплиці та призводить до зношування технологічного обладнання, особливо передчасному виходу з ладу ламп досвічування, необхідно робити це в об'ємі, утвореному рослинним покривом, огорожуючими спорудами та ЖВЕ (жалюзеві вузькополосні екрани) горизонтального типу, розташованими на висоті. Це забезпечує можливість виконання технологічних операцій (лампи досвічування розташовані вище ЖВЕ), або в об'ємі, утвореному похилими ЖВЕ, полотнища якого паралельні скосам даху, та горизонтальним, розміщеним на висоті, що забезпечує можливість виконання технологічних операцій. У цьому випадку розпилення води для зниження температури повітря проводиться між похилими та горизонтальними ЖВЕ, а лампи досвічування розташовані вище за останні.

У нормальних умовах (рослини на стелажах не перегріваються) фрамуги б відкриті так (рисунк.3.3.4), щоб достатній природній

повітрообмін, вентилятор 5, форсунки 4 та лампи 3 досвічування вимкнені, похилий ЖВЕ закритий, що запобігає надходженню сонячної радіації у теплицю, а горизонтальний відкритий, забезпечуючи повітрообмін між нижньою та верхньою її частинами.

При значному перегріванні рослин (підвищення температури при високій відносній вологості повітря) датчики температури та вологості подають сигнали на блок формування команд. Похилий ЖВЕ лишається відкритим (привідкритим) із затіненої сторони, а із сонячної – закривається, горизонтальний також закривається, тим самим зменшуючи об'єм, у якому необхідно понизити температуру повітря, а також захищаючи лампи досвічування від крапель аерозолю. У той же час через форсунки 4 розпилюється водяний аерозоль, який випаровується у об'ємі нижче горизонтального ЖВЕ. Перезволожене повітря вентиляторам 5 через фрамуги 6 „викидається на-гора”, а через двері, фрамуги без вентиляторів та отвори в огорожуючих конструкціях 8 теплиці надходить повітря з меншою відносною вологістю. Цикл роботи системи повторюється до тих пір, поки температура повітря в теплиці не знизиться до потрібної.

Перевага системи, показаної на рис.3.3.4,б - розміщення форсунок між похилим та горизонтальним ЖВЕ. У цьому випадку в робочий об'єм теплиці надходить повітря, вологість якого при змішуванні з сухим у нижній частині теплиці зменшується, а температура стає середньою.

У результаті рослини не відчувають різких перепадів температури при роботі СВОД. На ґрунт не осідає вологість, що не встигла випаруватись у верхній частині теплиці. Це дозволяє запобігти його перезволоженню та виникненню кореневої гнилі.

У нормальних умовах ця система регулювання працює аналогічно попередній. При незначних перегрівках температура регулюється з допомогою похилого ВЖЕ та СВОД, при сильному перегріві похилий екран із притіненої сторони лишається відчиненим (привідчиненим), а з сонячної – зачиненим, горизонтальний – зачинений, СВОД працює між дахом теплиці

та горизонтальним екраном. При досягненні відносної вологості повітря 100% (температура не знижується) блок формування команд за сигналами датчиків у верхній частині теплиці подає команду на відкриття горизонтального ЖВЕ. Охолоджене повітря опускається вниз, змішуючись з сухим та теплим. Відносна вологість у верхній частині теплиці зменшується, температура підвищується, блок формування команд закриває горизонтальний ЖВЕ та вмикає форсунки СВОД. Робота системи повторюється до тих пір, поки температура в нижній частині теплиці не знизиться до потрібної. У цьому випадку сигнал датчика температури надходить у блок формування команд і останній вмикає форсунки. Щоб повітря не перезволожилось, огорожуючі конструкції містять фрамуги 6 та витяжні вентилятори 5.

Але робота СВОД виявляється не достатньо ефективною, тому що форсунки мають великий розкид мікрокрапель та низьку надійність.

Для отримання стабільних параметрів аерозолі використана форсунка (рис.3.2.4) з мембраною 3, отвори для розпилення рідини в якій розташовані по колу, концентричному її контуру. Крім того, до центру мембрани приєднаний дефлектор 5. Він має вид зрізаного конуса з лопатками та гвинтовими насічками на поверхні, які забезпечують його обертовий рух.

Співвідношення діаметрів має бути:

$$D_2 = (D_1 + D_3) / 2$$

де D_1 – менший діаметр дефлектора; D_2 – діаметр кола розташування вихідних отворів рідинопровідних каналів; D_3 – діаметр кола затиснення мембрани.

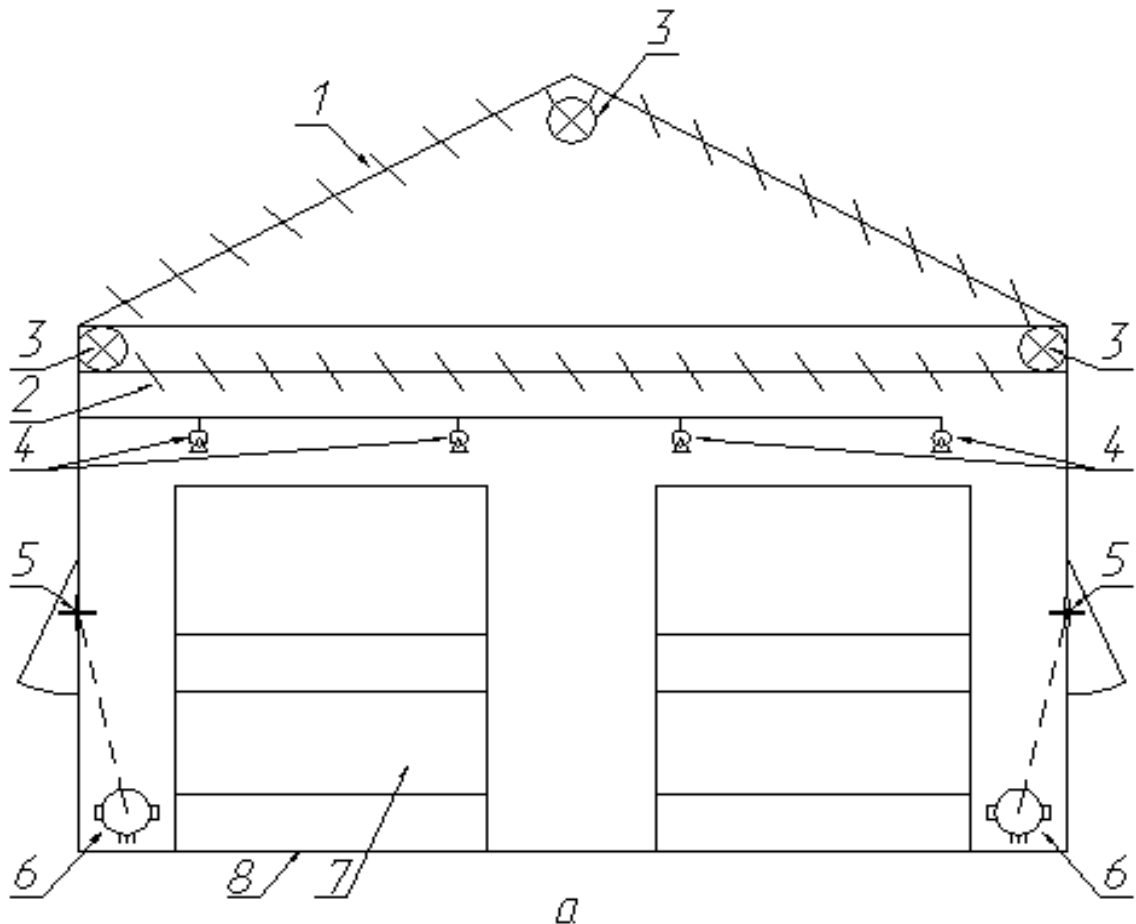


Рисунок.3.2.4 Система регулювання мікроклімату у теплиці з низьким ЖВЕ

- 1, 2 – горизонтальний та похилій світлопроникні екрани; 3 – лампи досвічування;
- 4 – форсунки системи випаровувального охолодження та зволоження повітря;
- 5 – вентилятори; 6 – фрамуга; 7 – стелажі з рослинами; 8 – огорожуючі конструкції.

Вода подається по трубопроводу через корпус 1 до мембрани і через отвори в ній викидається назовні. Швидкість витікання води залежить від діаметра отворів та тиску її в трубопроводі. Ударяючись об конічну бокову поверхню дефлектора, суцільні струмені води розбиваються на краплі діаметром 150...500мкм. падаючи на гвинтові нарізки на боковій частині дефлектора водяні струмені приводять його в обертовий рух. Його лопатки

розбивають мікрокраплі на ще менші, що забезпечує їх інтенсивне випаровування.

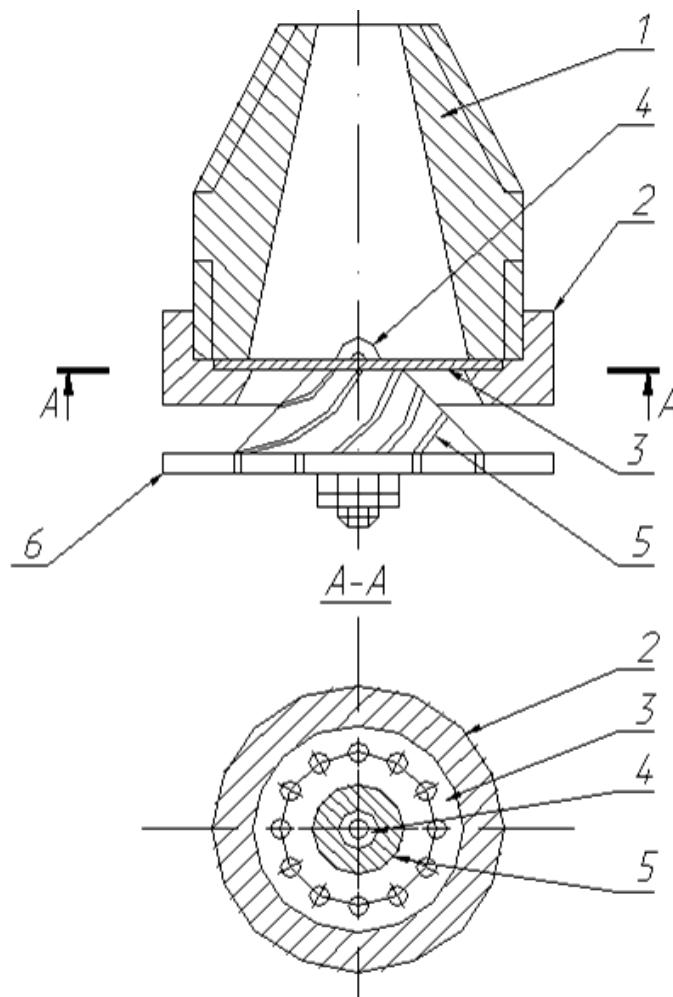


Рисунок.3.2.5 Форсунка

1 – корпус; 2 – накидна гайка; 3 – мембрана; 4 – вісь; 5 – дефлектор; 6 – лопатка;

Під тиском води мембрана пригинається, при цьому змінюється кут вильоту струменів води, а також зазор між мембраною та дефлектором, в результаті чого збільшується діаметр факелу розпилення. При зниженні тиску в трубопроводі зменшується прогин мембрани і відповідно кут зустрічі струменів води з дефлектором, отже діаметр факелу розпилення скорочується. Досягається більш рівномірне розподілення аерозолі у факелі розпилення.

Таким чином, обґрунтована доцільність регулювання мікроклімату не в усьому об'ємі теплиці одночасно, а лише у певній її частині з подальшим усередненням температури.

3.2.2 Розроблення системи керування екрануванням

При проектуванні системи екранування передбачено керування екранами з допомогою мікропроцесорної техніки – за спеціальною програмою. Технологічна схема керування екраном наведена на рисунок. 3.2.6.

Штори закриваються з постійною швидкістю, а відкриваються за багатопозиційним законом (БПЗ) у наступному порядку: відкривання 10% - пауза – відкривання 15% - пауза – відкривання 20% - пауза відкривання до крайнього положення екрану.

При використанні багатопрограмних реле для відпрацювання БПЗ встановлення лімбів програм розраховані за формулами:

для програм з непарними номерами

$$T_m = \sum_{i=1}^m t_i + [(m - 1) / 2] T_k$$

для програм з парними номерами

$$T_n = \sum_{i=1}^n t_i + (n / 2) T_k$$

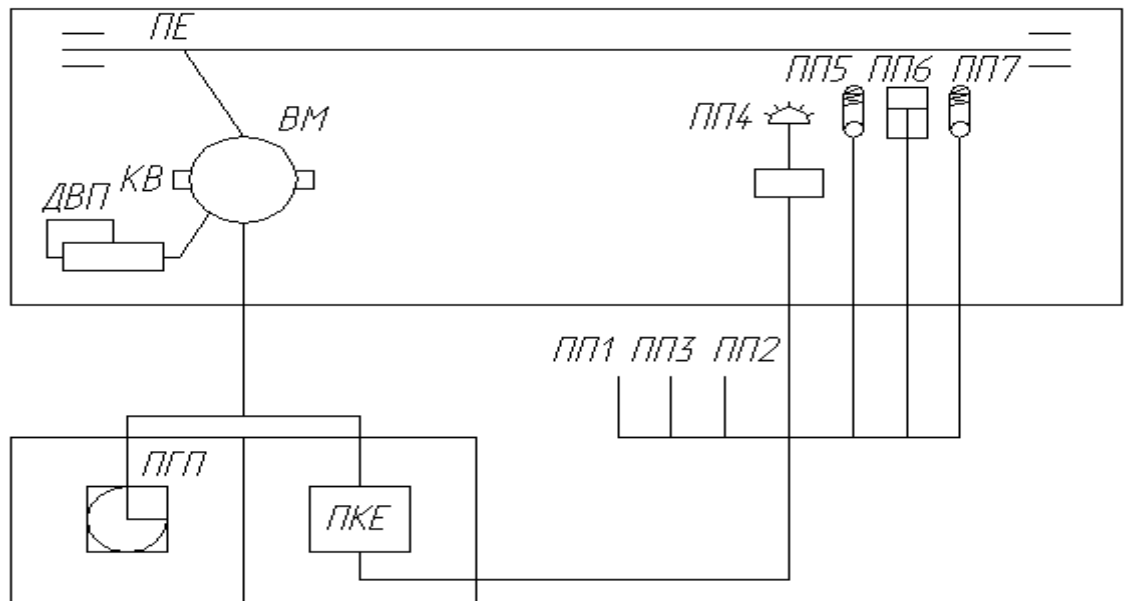


Рисунок. 3.2.6 Технологічна схема керування теплозахисним екраном: ПЕ – привод екрану; ВМ – виконавчий механізм; КВ – кінцевий вимикач; ДВП – дистанційний вказівник положення; ПП1...ПП3 – виносні первинні перетворювачі; ПП4...ПП7 – первинні перетворювачі у теплиці; ПГП – програмно-годинниковий пристрій; ПКЕ – програма керування екраном.

де T_m , T_n – установки лімбів програм, хвилини; m , n – номери відповідних програм, T_k – тривалість паузи, хвилини; t_i – тривалість роботи приводу екрану, хвилини, визначається за формулою

$$t_i = (T_e a_i) / 100$$

де T_e – час повного ходу екрану, хвилини; a_i – величина i -ї ступені відкриття екрану, %.

При автоматичному керуванні екраном реалізується алгоритм, який визначає положення екрану (P_e) в залежності від сукупності наступних факторів: параметрів технологічного режиму (T_p), температури (T_v) та відносної вологості (ϕ) повітря у теплиці, рівня сонячної радіації (E), а також роботи опалювальних приладів (P_k). Блок-схема алгоритму наведена на рисунок.3.2.6, а ідентифікатори у таблиці 3.1.

Алгоритм передбачає табу на закриття екрану при снігопадах. Режим „снігопад” визначається присутністю сигналу на датчику опадів ($P_o=1$) при від’ємних температурах зовнішнього повітря ($T_n < 0C$).

Таблиця 3.2.1

Ідентифікатори	Назва параметра	Одиниця виміру
+U	Керуючий вплив на закривання екрану	% ходу виконавчого механізму
-U	Керуючий вплив на відкривання екрану	Теж
Ø	Зупинити виконавчий механізм у поточному положенні	Теж
Pe	Положення екрану	1; 0
Po	Присутність сигналу на датчику опадів	1; 0
Tз	Поточне значення зовнішньої температури повітря	0C
Tв	Поточне значення температури повітря у теплиці	0C
E	Інтегральне значення рівня сонячної радіації	%
фв	Поточне значення відносної вологості у теплиці	%
Rвк	Поточне положення змішувального клапану верхнього контуру обігріву	%
Rнк	Поточне положення змішувального клапану нижнього контуру обігріву	%
Tв.з., фв.з. Emin, Emax	Передбачені значення параметрів мікроклімату у теплиці	

Цей підхід дозволяє оптимізувати мікроклімат шляхом гнучкого реагування на зміну зовнішніх та внутрішніх параметрів. Зокрема, у режимі «день» алгоритм працює за наступною логікою: захист від перегріву та надмірної інсоляції: якщо рівень сонячної радіації E перевищує критичну межу, екран закривається для запобігання термічного стресу культури, навіть якщо температура повітря T залишається в межах норми.

Енергозбереження: положення змішувального клапану P виступає індикатором навантаження на систему опалення. Якщо клапан відкритий на максимум, а температура T продовжує падати, система ініціює закриття екрана для створення додаткового теплоізоляційного шару (енергозберігаючий екран).

Вентиляція та вологість: у разі накопичення надлишкової вологи під куполом теплиці, алгоритм передбачає короткочасне утворення «щілин» (мікропровітрювання) шляхом часткового зміщення штор, що дозволяє уникнути конденсації та розвитку грибкових захворювань.

Математично роботу алгоритму можна представити як функцію стану екрана $S = f(E, T_v, P_k, \varphi)$, де φ — відносна вологість повітря.

Впровадження такої автоматизованої системи керування дозволяє не лише підтримувати стабільні умови для росту грибів, але й знизити витрати на енергоносії на 15–20% завдяки раціональному використанню природного освітлення та теплової інерції приміщення." Порогові значення E_{min} , E_{max} , $T_{v,z}$ задаються агрономічними службами тепличних комбінатів.

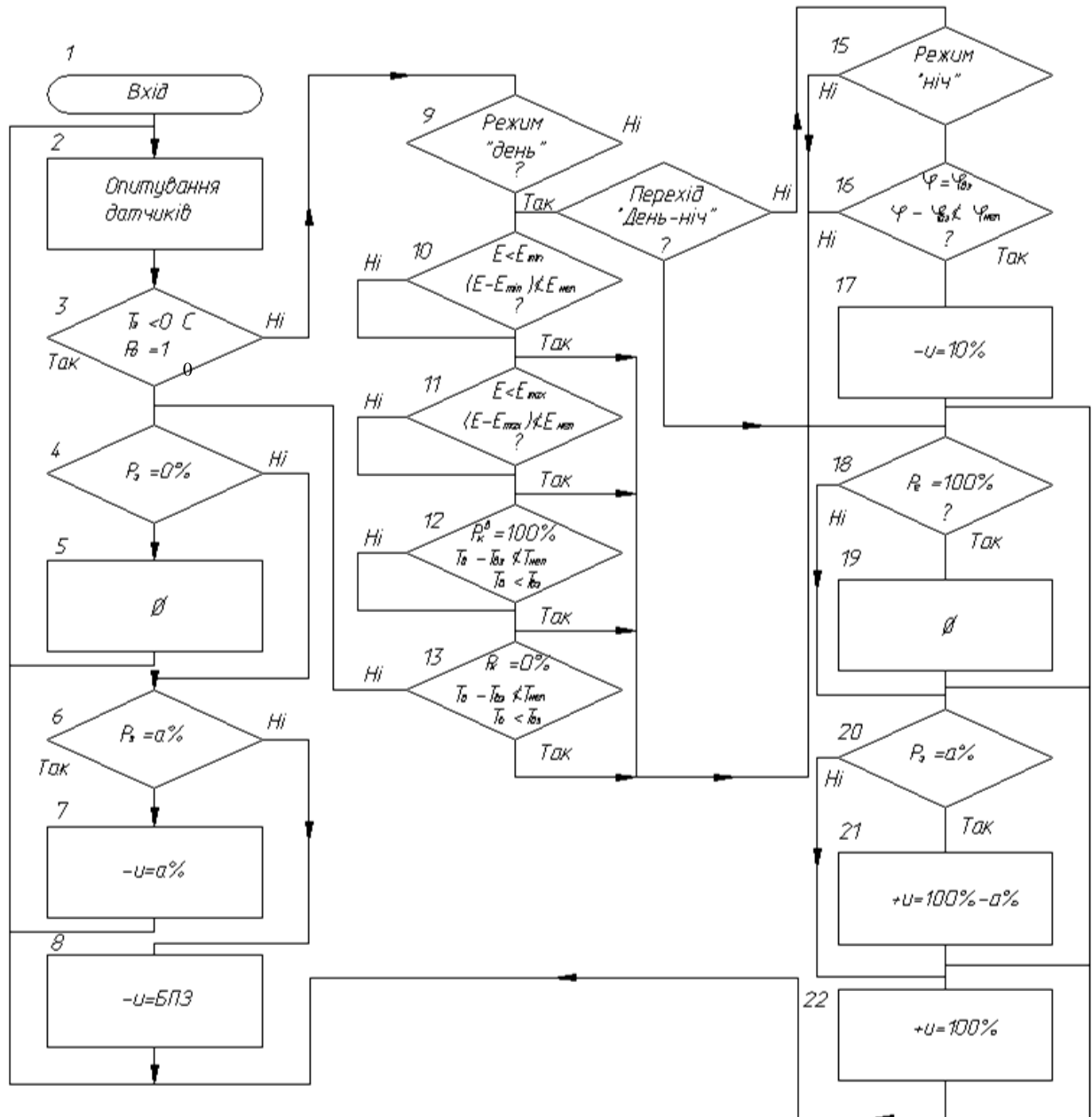


Рисунок.3.2.7 Блок-схема алгоритму формування керуючих впливів у системі керування екрануванням теплиці

3.3 Розрахунок слідкуючої системи керування вузькополосними екранами

Слідкуюча система призначена для керування екрануваннями.

Вимоги, що пред'являються до якості системи:

1. перерегулювання $\sigma \leq 35\%$;

2. час регулювання $t_p \leq 1.5c$;
3. статична похибка $\varepsilon_0 = 1 \cdot 10^{-2}$ рад;
4. кінетична похибка $\varepsilon_{доп} = \varepsilon_k = 1 \cdot 10^{-2}$ рад;
5. порядок астатизму $\nu = 1$;

Вихідні дані для проектування:

6. статичний момент об'єкту керування

$$M_H = 20 \text{кГм};$$

7. момент інерції об'єкту керування

$$J_H = 120 \text{кГм} \cdot \text{с}^2;$$

8. максимальна кутова швидкість об'єкту керування

$$\omega_H = 1.5 \text{с}^{-1};$$

9. максимальне кутове прискорення об'єкту керування

$$a_H = 0.4 \text{с}^{-2};$$

10. спектральна густина білого шуму, прикладеного на виході

$$S_0 = 2 \cdot 10^{-6} \text{рад}^2 \cdot \text{с}.$$

Конструктивне виконання системи:

1. Виконання елементів системи на уніфікованих стандартних деталях.
2. Можливість оперативного налагоджування.
3. Використання сельсинної пари у якості вимірювального приладу слідкуючої системи.

Розроблення функціональної схеми. Дана система являється потужною. У таких системах необхідно використовувати двигун постійного струму, у якості підсилювача потужності – ЕМП з поперечним полем. Для вимірювального пристрою використано сельсинну пару: сельсин-задатчик та сельсин-трансформатор. Вимірювальний прилад виконаний на змінному струмі, тому необхідно передбачити фазовий детектор. Коректувати систему доцільно з допомогою паралельного пристрою корекції. Функціональна схема системи наведена на рис.3.3.1.

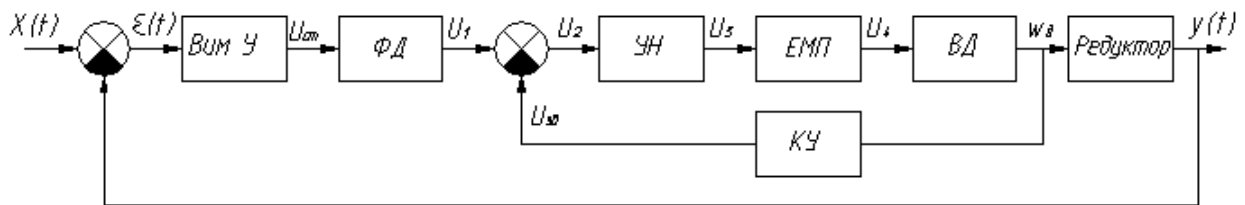


Рисунок.3.3.1 Функціональна схема пристрою паралельної корекції

Необхідний коефіцієнт підсилення розімкненої системи із умови забезпечення точності в кінетичному режимі визначено таким чином:

$$K'_v = \frac{\omega_n}{\varepsilon_k} = \frac{1.5}{1 \cdot 10^{-2}} = 150 \text{ с}^{-1}$$

Для розрахунку прийнято $K_v = 1.5K/v = 225 \text{ с}^{-1}$.

Вибір виконавчого пристрою. Потужність двигуна становить

$$P_{тр} = (1.2-2.5)(M_n \omega_n + J_n \omega_n^2) \cdot 9.81 = 2 \text{ кВт.}$$

За каталогом вибрано двигун МИ-42, номінальні дані якого наведені у таблиці 3.3.1

Таблиця 3.3.1

Рдн кВт	U _н В	I _н А	R _я Ом	n Об/хв	J _д кг·мс ²	η %	M _т кГм
3.2	220	18	0.376	2500	0.0063	79	0.03

Номінальний момент двигуна становить

$$M_{\text{дн}} = 0.975 \frac{P_{\text{дн}} [\text{Вт}]}{n_{\text{дв}} [\text{об} / \text{хв}]} = 0.975 \frac{3200}{2500} = 1.25 \text{ кГм}$$

Кутова швидкість двигуна визначена, як:

$$\omega_{\text{дн}} = \frac{\pi n_{\text{дн}}}{30} = 262 \text{ с}^{-1}$$

Передавальне число редуктора становить:

$$i = 1.3 \frac{\omega_{\text{дн}}}{\omega_n} = 227$$

Прийнято для розрахунку $i=226$, $\eta=0.7$.

Перевірка двигуна за моментом:

$$M_{TP} = M_T + \frac{M_H}{\eta i} + \left(J_\delta + \frac{J_H}{\eta i^2} \right) a_H i =$$

$$= 0.03 + \frac{20}{0.7 \cdot 226} + \left(0.0063 + \frac{120}{0.7 \cdot 226^2} \right) 0.4 \cdot 226 = 1.06 \text{ кГм}$$

звідки $M_{TP}/M_{дн} < \lambda$.

Оптимальне передавальне число редуктора

$$i_{opt} = \sqrt{\frac{M_H + J_H}{a_H}} = \sqrt{\frac{20}{0.4} + 120} = 191$$

звідки $i_{opt} < i$.

Вибір підсилювача потужності:

$$P_n = \frac{P_{дн}}{\eta_\delta} = \frac{3.2}{0.79} = 4.05 \text{ кВт}$$

Із каталогу вибрано ЕМП-70А3, номінальні дані якого наведені у таблиці 3.3.2.

Таблиця 3.3.2

Рдн кВт	Ія А	u В	Рy Вт	Ря Ом	n Об/хв	ηy %	τкз с	τα с	ξα
6	26	230	0.5	0.39	2850	67	0.64	0.0066	0.5

Передавальна функція підсилювача потужності – двигуна записана, як:

$$K_{EMП-д}(p) = \frac{K_{EMП} K_D}{p[1 + (\alpha + \tau_p)p + \tau_p \tau_{кз} p^2][1 + 2\xi_a \tau_a p + \tau_a^2 p^2]}$$

де $\tau_p = (1 + \xi_a) T_m$; $T_m = \frac{J}{F_d}$; $J = J_A + \frac{J_e}{32} = 0.00896$;

$$F_{\ddot{A}} = \frac{\tilde{n}_{\dot{a}} \tilde{n}_{\dot{I}}}{R_{\Sigma\beta}}; \quad \tilde{n}_{\dot{a}} = \frac{u_{\dot{I}}}{\omega_{\dot{A}\dot{I}}} = \frac{220}{262} = 0.84; \quad \tilde{n}_{\dot{a}} = \frac{\dot{I}}{2_{\beta\dot{I}}} = 0.0695;$$

$$R_{\Sigma} = R_{\text{ЯД}} + R_{\text{ЯЕМП}} + R_{\text{ЕМП.КО}} + R_{\text{ДП}} = 0.376 + 0.39 + 0.24 + 0.047 = 1.05 \text{ Ом}$$

$$FD=0.0554\text{кГц}; \quad T_m=0.162\text{с};$$

У знаменнику передавальної функції ЕМП членами трткзр2, τ02р2 знехтувати неможливо, так як не виконуються нерівності

$$\alpha + \tau_p < 10\sqrt{\tau_p \tau_{кз}}; \quad 2\xi_{ата} < 10\tau_{а}.$$

Коефіцієнт підсилення ЕМП за напругою

$$K_{\text{ЕМП}} = \frac{m u_{\text{вих.н}}}{\alpha R_{\gamma} I_{\text{ПН}}} = \frac{1.25 \cdot 230}{1.15 \cdot 10^3 \cdot 22 \cdot 10^{-3}} = 11.4$$

$$\alpha = 1.15; \quad R_{\gamma} = 103 \text{ Ом}; \quad I_{\text{ун}} = 22 \cdot 10^{-3} \text{ А}.$$

Коефіцієнт підсилення двигуна

$$K_{\text{Д}} = \frac{\omega_{\text{ДН}}}{u_{\text{ун}}} = \frac{262}{220} \approx 1.2 \text{ рад/Вс}$$

Передавальна функція ЕМП – двигун набуває вигляду

$$K_{\text{ЕМП-Д}}(p) = \frac{13.6}{p(1 + 0.403p + 0.155p^2)(1 + 0.006p + 0.0000435p^2)}$$

Визначення коефіцієнту передачі підсилювача напруги Кун:

За величиною кінетичної похибки:

$$K_{\text{ПН}} = \frac{K_{\nu}}{K_{\text{вим}} K_{\text{ЕМП}} E_{\text{Д}} E_{\text{ред}}} = \frac{225}{57.3 \cdot 11.4 \cdot 1.19 \cdot 0.00044} = 66$$

За величиною статичної похибки:

$$K_{\text{ПН}} = \frac{K_M}{c_u K_{\text{вим}} K_{\text{ЕМП}}} \quad c_u = \frac{M_{\text{ДН}}}{u_{\text{ДН}}} = \frac{1.25}{220} = 0.0057 \text{ кГм/В}$$

$$M'_{\text{руш}} = M_{\text{руш}} + \frac{M_{\text{ДН}}}{i\eta} = 0.03 + 0.126 = 0.156 \text{ кГм}$$

$$K_M = \frac{M'_{руш}}{\varepsilon_0} = \frac{0.156}{1 \cdot 10^{-2}} = 15.6 \text{ кГм/рад}$$

$$K_{ПН} = \frac{15.6}{0.0057 \cdot 57.3 \cdot 11 \cdot 4} = 4.2$$

Для розрахунку приймаємо КПН=66.

Визначення стійкості некоректованої системи.

Структурна схема некоректованої системи наведена на рисунок.3.3.2.

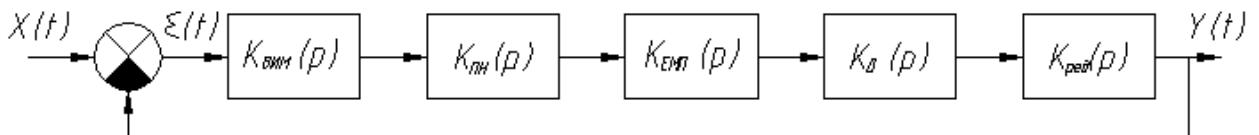


Рисунок 3.3.2 Структурна схема некоректованої системи

Передавальна функція розімкнутої некоректованої системи

$$K(p) = \frac{225}{p(0.155 p^2 + 0.403 p + 1)(0.00004356 p^2 + 0.006 p + 1)}$$

Будуємо логарифмічні характеристики розімкнутої системи.

Коефіцієнт підсилення, дБ:

$$20 \lg K_v = 20 \lg 225 = 47.$$

Частоти спряження: $\dot{\omega}_{01} = \sqrt{0.155} = 0.394 \tilde{\text{н}}$; $\dot{\omega}_{02} = \sqrt{0.00004356} = 0.0066 \tilde{\text{н}}$;

$$\omega_{01} = \frac{1}{\dot{O}_{01}} = 2.54\tilde{n}^{-1}; \quad \omega_{02} = \frac{1}{\dot{O}_{02}} = 155\tilde{n}^{-1}; \quad \xi_1 = \frac{\dot{O}_1}{2\dot{O}_{01}} = 0.511;$$

$$\xi_2 = \frac{\dot{O}_2}{2\dot{O}_{02}} = \frac{0.06}{2 \cdot 0.0066} = 0.455.$$

Логарифмічні характеристики розімкнутої системи наведені на рис.3.3.3.

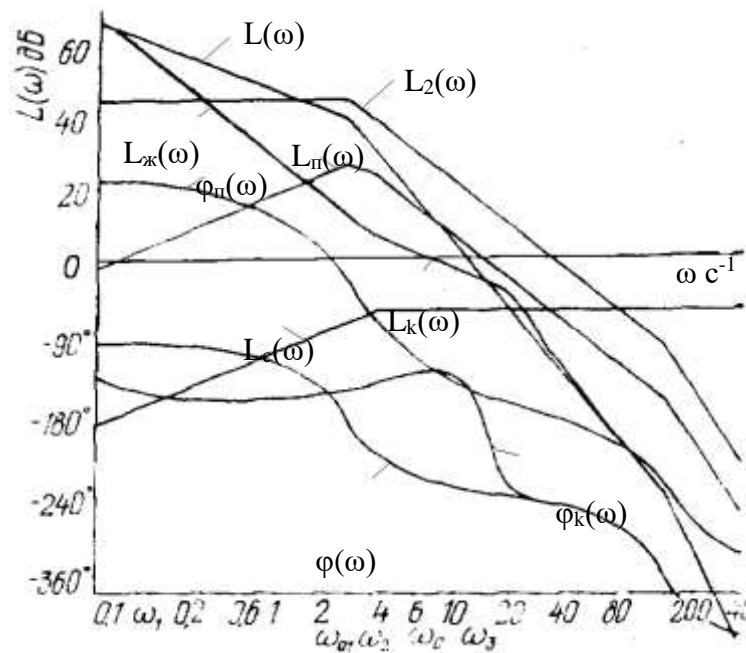
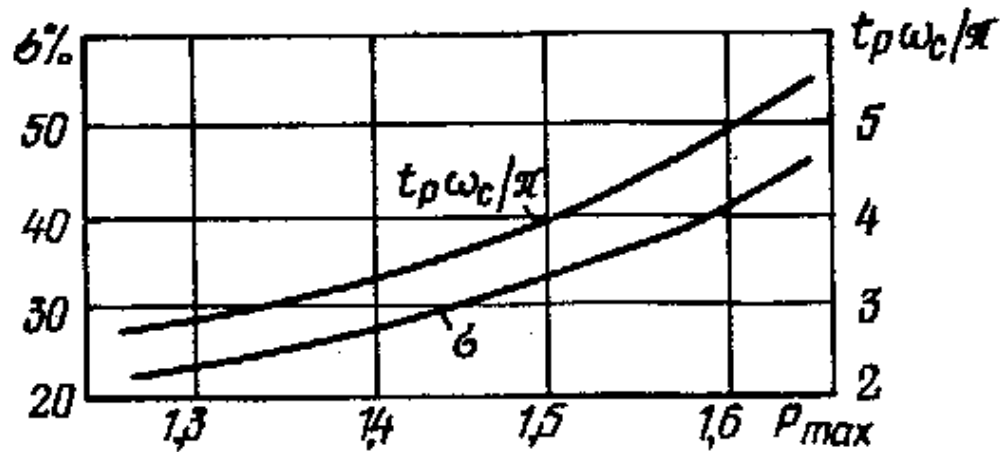


Рисунок.3.3.3 Логарифмічні характеристики розімкненої системи

З рисунку видно, що відповідна замкнена система являється нестійкою. Тому систему необхідно скоректувати.

Синтез пристрою корекції. Побудова бажаної ЛАХ. За заданим перерегулюванням та часом регулювання (рис.3.3.4) визначена частота зріз



$\omega_{зр}=7с-1.$

Рисунок.3.3.4 - Спрягаючі частоти ω_2, ω_3 бажаної ЛАХ визначено, як:

$$\omega_2 = \frac{\omega_{с\delta}^2}{\omega_3} = \frac{7^2}{14} = 3.5 \tilde{n}^{-1}; \quad \omega_3 = (2-4)\omega_{с\delta} = 14 \tilde{n}^{-1}.$$

З точки ω_2 проведена пряма з нахилом -40дБ/декаду до перетину її з низькочастотною асимптотою ЛАХ некоректованої системи. Із точки ω_3 проведена пряма з нахилом -40дБ/декаду до перетину з ЛАХ некоректованої системи.

Побудова ЛАХ ланок, охоплених місцевим зворотнім зв'язком.

Приймаємо, що підсилювач напруги складається з фазового дискримінатора з коефіцієнтом підсилення $K_{ф.д.}=5$ та підсилювача з коефіцієнтом передачі

$$K'_{ПН} = \frac{K_{ПН}}{K_{ф.д.}} = \frac{66}{5} = 13.2$$

Передавальна функція ланок охоплених зворотнім зв'язком, становить

$$K_2(p) = K'_{ПН} K'_{ЕМП-Д}(p) =$$

$$= \frac{180}{(0.155p^2 + 0.403p + 1)(0.000435p^2 + 0.0066p^2 + 1)}$$

Логарифмічна амплітудна характеристика ланок, охоплених зворотнім зв'язком, представлена на рисунку.3.3 Побудова ЛАХ петлі місцевого зворотного зв'язку $L_p(\omega)$ показана на рисунку.3.3.

Побудова ЛАХ коректуючого пристрою. Відомо, що $20\lg K_{zp}(\omega) = 20\lg K_{п}(\omega) - 20\lg K_2(\omega)$ або $L_{zp}(\omega) = L_{п}(\omega) - L_2(\omega)$ [рис.3.3]. За видом $L_{zp}(\omega)$ у відповідності з таблицею прийнято, що передавальна функція має вигляд

$$K_{zp}(p) = K_c \frac{T_2 p}{1 + T_1 p}$$

За рисунком.3.3 визначено $20\lg K_{zp}(\omega) = -15$ дБ, звідки $\lg K_{zp}(\omega) = -0.75$ дБ., або $K_{zp} = 0.178$ В/рад. Схема коректуючого пристрою наведена на рисунком.3.4 У якості тахогенератора прийнятий двигун постійного струму СЛ-261, який має наступні дані: питома ЕРС -1.2 В/об·с; питома потужність -0.0085 Вт/об·с; $I_{нав.мах} = 0.1$ А; $U_{зб} = 110$ В; $R_{я} = 170$ Ом; $n_{мах} = 3500$ об/хв.. Статичний момент тертя не збудженої машини $2.5 \cdot 10^{-4}$ кГм. Статичний момент опору збудженої машини $3.8 \cdot 10^{-4}$ кГм. Момент інерції $J_{ТГ} = 2.5 \cdot 10^{-4}$ кГм·с². Коефіцієнт підсилення тахогенератора $K_{ТГ} = 0.191$ Вс/рад.

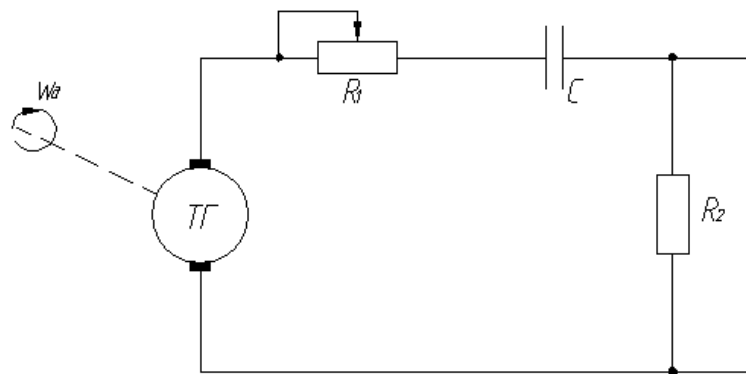


Рисунок.3.3.5 - Схема пристрою корекції

Визначені параметри фільтра. Відомо, що

$$K_{zp} = K_{ТГ} K_{\phi}, \text{ звідки } K_{\phi} = \frac{K_{zp}}{K_{ТГ}} = \frac{0.178}{0.191} = 0.932;$$

$$T_1 = (R_1 + R_2)c; \quad T_2 = R_2c; \quad K_{\phi} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

Із рисунку.3.3.3 визначено, що $\omega_2 = 3.5 \text{ с}^{-1}$; $T_1 = \frac{1}{\omega_2} = 0.286 \text{ с}$.

Прийнята величина ємності $C = 1.0 \text{ мкф}$. Тоді

$$R_1 + R_2 = \frac{T_1}{C} = 286 \text{ кОМ}$$

Перевірена стійкість петлі методом зворотного зв'язку. Її передавальна функція записана у вигляді:

$$K_{\Pi}(p) = K_2(p)K_{зр}(p) = \frac{K_{\Pi}T_2p}{(T_{01}^2p^2 + 2\xi_1T_{01}p + 1)(T_{02}^2p^2 + 2\xi_2T_{02}p + 1)}$$

де $K_{\Pi} = K / \text{ПНКемп-дКзр}$ – коефіцієнт підсилення розімкненої місцевої петлі зворотного зв'язку. Фазова характеристика петлі $\varphi_{\Pi}(\omega)$ зображена на рис.3.3.3

у результаті аналізу логарифмічної характеристики, амплітудної та фазової, видно, що контур місцевої петлі стійкий.

Аналіз динаміки коректованої системи. Стійкість системи. Побудована ЛАХ та ЛФХ розімкненої коректованої системи. За відомими ЛАХ $L_{\Pi}(\omega)$ та ЛФХ $\varphi_{\Pi}(\omega)$ петлі визначена допоміжна амплітудна $L_{\text{в}}(\omega)$ та фазова $\varphi_{\text{в}}(\omega)$ логарифмічні характеристики. Результати розрахунку занесені у таблицю 3.3.3

Таблиця 3.3.3

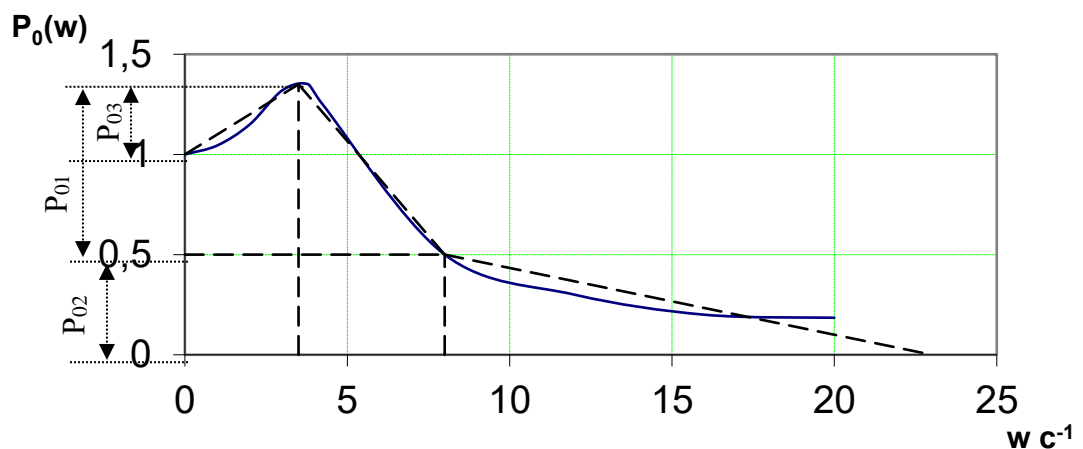
$\Omega \text{ с}^{-1}$	$-L_{\Pi}(\omega) \text{ дБ}$	$-\varphi_{\Pi}(\omega)$	$L_{\text{в}}(\omega) \text{ дБ}$	$\varphi_{\text{в}}(\omega)$
0.1	1.5	-86	-2.7	-38
0.3	-8	-80	-9	-60
0.5	-12.5	-70	-13.5	-58
1.0	-19	-48	-20	-42
2.0	-2.5	2	-25	2
3.5	-24	80	-24	75
7.0	-12	132	-11	120
10	-6.5	146	-4	122
20	6	170	5	10
30	12.5	180	2.3	5
40	18	186	1.2	1

Склавши $L_B(\omega)$ з $L(\omega)$ та $\varphi_B(\omega)$ з $\varphi(\omega)$, отримані логарифмічні амплітудну та фазову характеристики коректованої системи $L_K(\omega)$ та $\varphi_K(\omega)$. У результаті аналізу характеристик, видно, що відповідна замкнена система стійка і має запас стійкості за амплітудою $A_z=6\text{дБ.}$, а за фазою $\gamma=580$. Якість перехідного процесу.

За логарифмічними характеристиками розімкненої системи розраховано дійсну частотну характеристику замкненої системи. Результати розрахунків занесені у таблицю 3.4.

Таблиця 3.3.4

$\Omega \text{ с}^{-1}$	1	2	3	3.8	4	5	6	7	8	9	10	20	25
$L_K(\omega)$ дБ	27	16	9	6	5	3	1.5	0.5	0.2	-0.5	-1	-10	-15
$\varphi_{0K}(\omega)$	-158	152	148	143	140	134	131	130	132	134	136	260	-272
$P_0(\omega)$	1.045	1.15	1.32	1.35	1.25	1.0	0.75	0.57	0.45	0.35	0.3	0.05	0.0375

Рисунок.3.3.6 Графік $P_0(\omega)$

Перехідний процес розраховано за допомогою трапецеподібних характеристик. Розбивка кривої $P_0(\omega)$ на трапеції показано на рис.3.3.6 дані для побудови наведено у таблицях 3.3.4-3.3.6.

Таблиця 3.3.5

τ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$t = \frac{\tau}{\omega_{1H}} c$	0.125	0.25	0.374	0.5	0.625	0.75	0.88	1	1.125	1.25	1.3	1.5	1.62	1.75	1.87
H1(t)	0.386	0.709	0.928	1.039	1.067	1.054	1.034	1.024	1.025	1.027	1.0	1.015	1.004	0.997	0.996
h1(t)= =P01H 1(t)*	0.34	0.65	0.83	0.91	0.96	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.9	0.94	0.9	0.9	0.9

* P01=0.9; $\omega_{1H}=8c-1$; $\omega_{1d}=8c-1$; $\chi = 0.23$.

Таблиця 3.3.6

τ	1	2	3	4	5	6	9	11	13	14	15	24	26
$t = \frac{\tau}{\omega_{2H}} c$	0.05	0.09	0.14	0.18	0.23	0.27	0.41	0.50	0.59	0.64	0.68	1.09	1.18
H2(t)	0.417	0.761	0.986	1.091	1.102	1.070	1.006	1.002	0.986	0.983	0.98	1.006	1.001
H2(t)= =P02H2(t)*	0.19	0.34	0.44	0.49	0.50	0.48	0.45	0.45	0.44	0.44	0.44	0.45	0.45

* P02=0.45; $\omega_{2H}=22c-1$; $\omega_{2d}=8c-1$; $\chi = 0.364$.

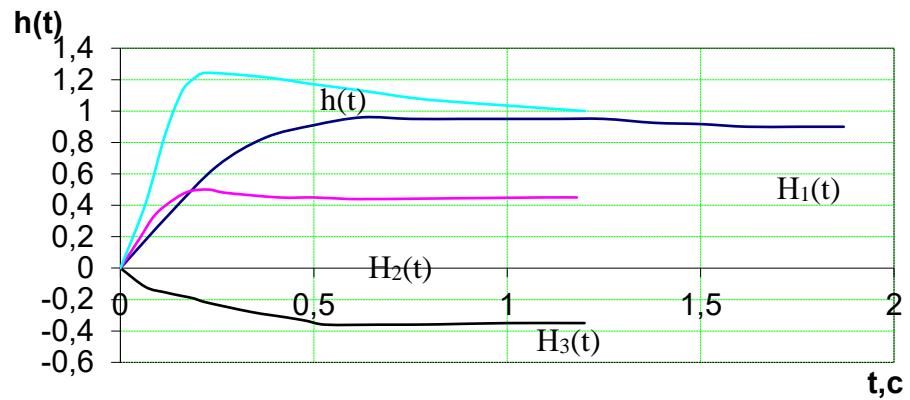
Таблиця 3.3.7

τ	1	2	3	4	5	5.5	7.5	9	11	15	16.5
$t = \frac{\tau}{\omega_{3H}} c$	0.29	0.57	0.86	1.14	1.43	1.57	2.14	2.57	3.14	4.28	4.72
H3(t)	0.356	0.65	0.863	0.97	1.012	1.01	1.005	1.016	1.028	1.01	1.01
H3(t)= =P03H3(t)*	0.12	0.23	0.30	0.34	0.35	0.36	0.35	0.36	0.36	0.36	0.36

* P03=0.45; $\omega_{3H}=3.5c-1$; $\omega_{3d}=0.5c-1$; $\chi = 0.15$.

У результаті аналізу перехідного процесу (рис.3.3.6) видно, що $\sigma = 26\%$,

$t_p = 1c$,



$N=1$.

Рисунок.3.3.6 Графік перехідного процесу

Точність системи. Статична ε_0 та кінетична ε_k похибки:

$$\varepsilon_0 = \frac{M'_{TP}}{c_u k_{вум} K_{ПН} K_{ЕМП}} = \frac{0.156}{0.0057 \cdot 57.3 \cdot 66 \cdot 11.6} = 0.64 \cdot 10^{-3} \text{ рад} ;$$

$$\varepsilon_k = \frac{\omega_n}{K_D} = \frac{1.5}{225} = 6.67 \cdot 10^{-3} \text{ рад} ; \varepsilon_k < \varepsilon_{\text{доп}} \text{ рад.}$$

Середньоквадратична похибка. Задача на досягнення мінімуму середньоквадратичної похибки не ставилась. Обмежилися лише її визначенням.

1. Графічний метод. Прийнято, що перешкода прикладена на вході системи. У цьому випадку середньоквадратична похибка становить:

$$\overline{\varepsilon^2} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} K_0^2(\omega) S_f(\omega) d\omega$$

У тому випадку, що розглянутий

$$\overline{\varepsilon^2} = \frac{S_0}{\pi} \int_0^{\infty} K_0^2(\omega) d\omega$$

Інтеграл можна вирахувати графічно, як площу обмеженої кривої $K_{20}(\omega)$. Відомо, що $L_0(\omega) = 20 \lg K_0(\omega)$, де $L_0(\omega)$ – ЛАХ замкненої системи,

$$\frac{L_0(\omega)}{10} = 20 \lg K_0(\omega) = \lg K_0^2(\omega)$$

Значення $K_{20}(\omega)$ розраховане з допомогою номограми. Результати розрахунку занесені у таблицю 3.3.8.

Таблиця 3.3.8

ω с-1	$L_k(\omega)$ дБ	$\varphi_{0k}(\omega)$	$L_0(\omega)$ дБ	$L_0(\omega)/10$	$K_{20}(\omega)$
1	27	-158	0.35	0.035	1.08
2	16	-152	1.3	0.13	1.35
3	9	-146	2.8	0.28	1.191
3.5	6	-143	3.5	0.35	2.24
4	5	-140	3.5	0.35	2.24
5	3	-134	3	0.3	2.00
6	1.5	-131	2	0.2	1.58
7	0.5	-130	1.7	0.17	1.48
8	0.2	-132	1.7	0.17	1.48
9	-0.5	-134	1.7	0.17	1.48
10	-1	-136	1.7	0.17	1.48
18	-8.5	-244	-7.5	-0.75	0.178
20	-10	-260	-10	-1	0.1
25	-15	-272	-15	-1.5	0.0316
30	-23	-276	-23	-2.3	0.005

Графік кривої наведений на рис.3.7, з якого видно, що $\int_0^{\infty} K_0^2(\omega) d\omega = 1 \cdot \omega_e$

Із цього ж рисунку визначено $\omega_0=22.5$ с-1. $D_y = \frac{S_0}{\pi} \omega_e = \frac{2 \cdot 10^{-6}}{\pi} 22.5 = 14.6 \cdot 10^{-6}$ рад².

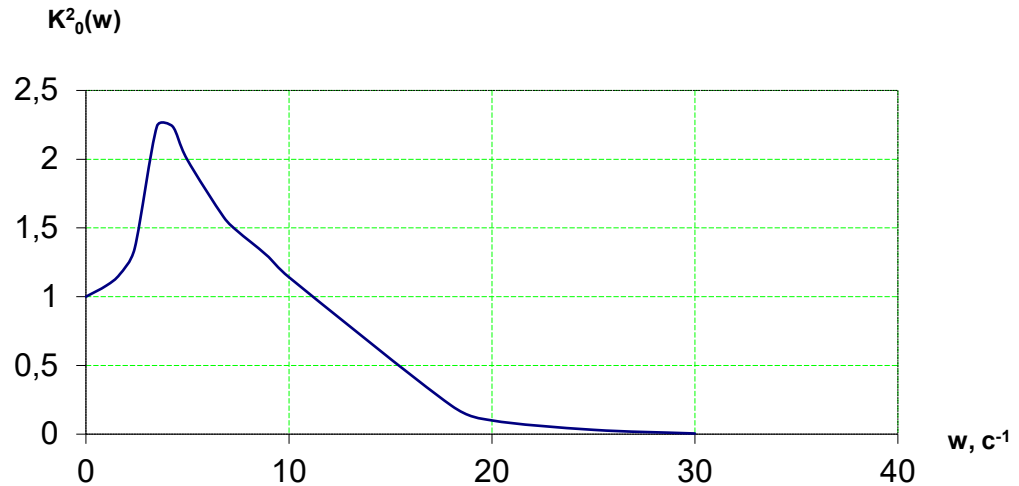


Рис.3.3.7

Середньоквадратична похибка системи становить:

$$\varepsilon_{ск} = \sqrt{14.6 \cdot 10^{-6}} = 3.78 \cdot 10^{-3} \text{ рад.}$$

2. Аналітичний метод. Відомо, що $\varepsilon^2 = S O I_2$, де I_2 – інтегральна квадратична оцінка. Передавальна функція замкненої системи записана, як:

$$K_0(p) = \frac{225(0.286p + 1)}{0.0000019p^6 + 0.00028p^5 + 0.046p^4 + 0.275p^3 + 9.935p^2 + 65.3p + 275}$$

,

або

$$K_0(p) = \frac{c_1 p + c_0}{d_6 p^6 + d_5 p^5 + d_4 p^4 + d_3 p^3 + d_2 p^2 + d_1 p + d_0}$$

Наближено

$$K_0(p) = \frac{c_1 p + c_0}{d_2 p^2 + d_1 p + d_0};$$

$$I_2 = \frac{c_1^2 d_0 + c_0^2 d_2}{2d_0 d_1} = 4.91, \quad \varepsilon^2 = S O I_2 = 9.82 \cdot 10^{-6} \text{ рад}^2.$$

Звідси середньоквадратична похибка $\varepsilon_{ск} = \sqrt{\varepsilon^2} = 3.33 \cdot 10^{-3} \text{ рад.}$

Із розрахунку видно, що система задовольняє поставленим до неї вимогам.

Складання принципової схеми та конструктивне виконання системи.

Після проведення аналізу динаміки коректованої системи складена принципова схема.

Вимірювальний пристрій являє собою сельсинну пару. Сельсини вибрані безконтактні. Фазовий детектор та підсилювач напруги виконано на транзисторах. Виконавчий двигун, ЕМП, тахогенератор вибрано раніше. Для проведення конструктивного розрахунку системи, обмежимося лише загальними рекомендаціями, що стосуються конструктивної будови системи:

а) щоб змінювати величину коефіцієнту підсилення, слід передбачити його регулювання:

б) для налагоджування системи при її виготовленні необхідно мати можливість змінювати опір контуру корекції;

в) всю електричну частину, включаючи фільтр корекції, слід виконати на одному шасі (при цьому слід забезпечити легкий доступ до елементів схеми, та можливість вимірювання напруги);

г) кінематичну частину системи виготовляти по місцю.

Щоб зменшити статичну похибку, зумовлену впливом сил сухого тертя та люфтом, редуктор необхідно застосовувати, за можливістю, більш точним.

Принципова схема системи наведена на рисунку.3.3.8

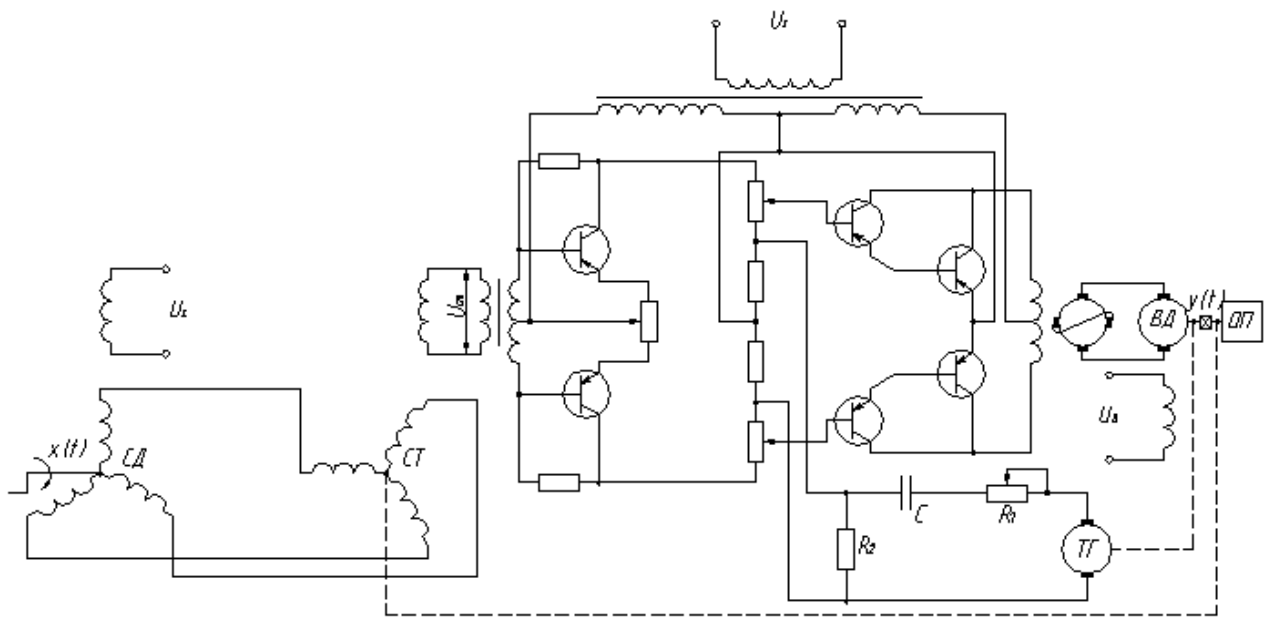


Рисунок.3.3.8 Принципова схема системи

ВИСНОВКИ

Основні результати магістерської роботи полягають у наступному:

1. Розв'язаний комплекс задач по вдосконаленню технології вирощування грибів у закритому ґрунті.

З цією метою:

- проведено аналіз стану електрифікації та існуючих систем автоматизації технологічних процесів вирощування грибів у теплицях;
- багатопрольотна теплиця досліджена як об'єкт автоматизації.

2. Розроблені:

- система для реєстрації режимів в електричних мережах тепличного господарства;
- система керування мікрокліматом теплиць;
- каскадна система регулювання температури повітря у теплиці;
- мікропроцесорна система керування мікрокліматом теплиць;
- система керування екрануванням.

3. Розрахована слідкуюча система керування вузькополосним екраном.

4. Обґрунтований та рекомендований комплекс заходів з охорони праці в тепличному господарстві.

5. Розрахована економічна ефективність автоматизації тепличного господарства.

В результаті проведеної роботи забезпечені такі параметри (точність):

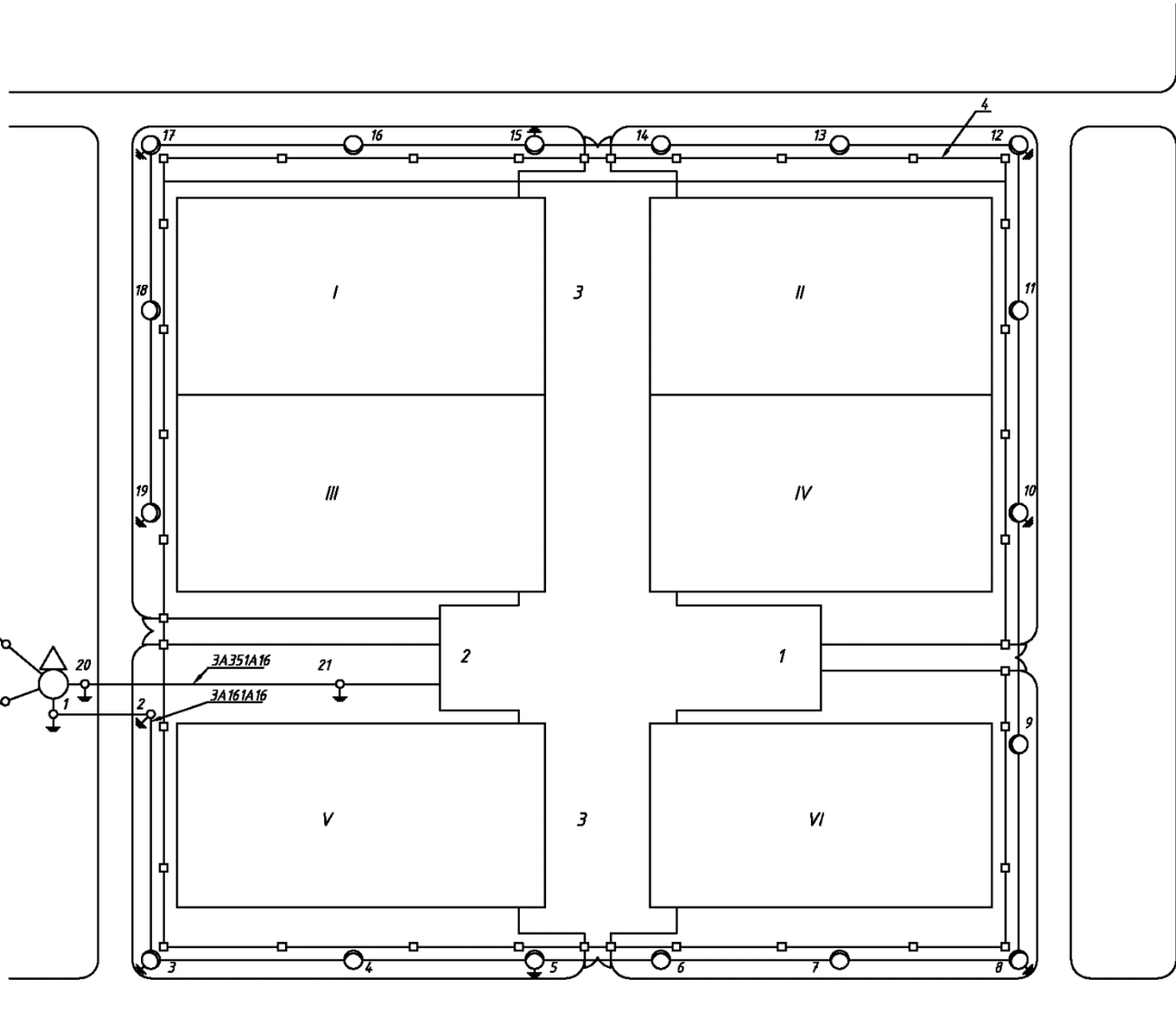
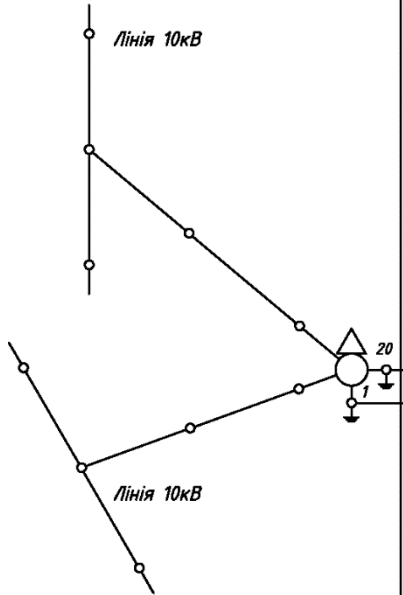
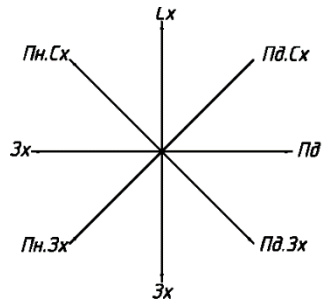
- регулювання температури повітря $\pm 20^{\circ}\text{C}$;
- регулювання теплоносія для обігріву ґрунту $\pm 20^{\circ}\text{C}$;
- регулювання температури води для поливу $\pm 20^{\circ}\text{C}$;
- регулювання відносної вологості $\pm 5\%$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

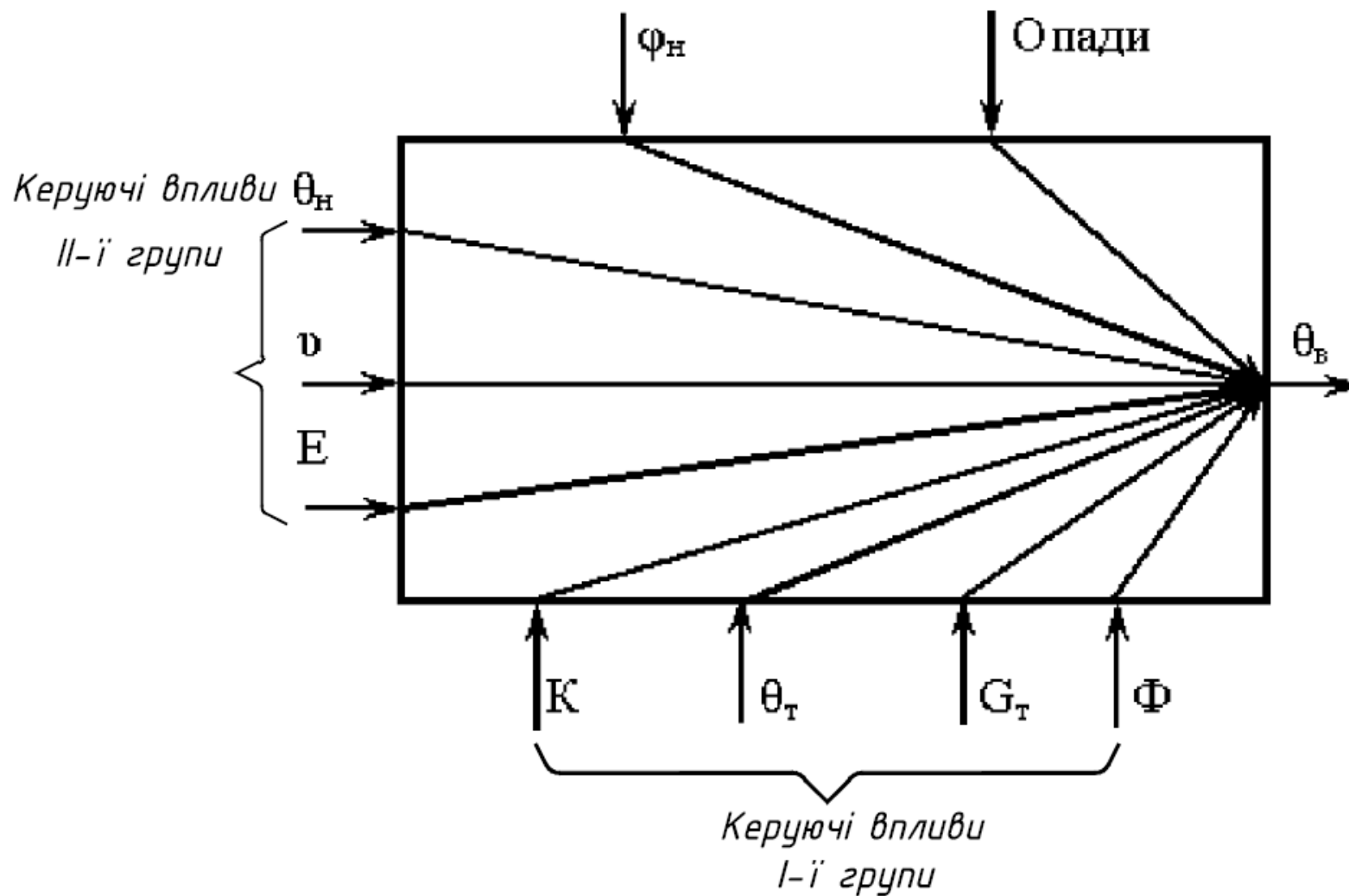
1. Галай М.В. Теорія автоматичного керування // Навчальний посібник. – Полтава: вид-во "Полтава", 1998. – 470 с.
2. Галай М.В. Імпульсні, цифрові та релейні системи автоматизованого керування // Навчальний посібник. – Полтава: ПДТУ, 2002. - 220 с.
3. Шебітченко В.Г., Шефер О.В. Електронні пристрої у схемах трансформаторів та асинхронних двигунів // Навчальний посібник. - Полтава: ПолтНТУ. 2009. – 54 с.
4. Шебітченко В.Г., Шефер О.В. Методичні вказівки до курсового та дипломного проектування "Розрахунок параметрів регуляторів систем керування електроприводом".–Полтава: ПолтНТУ,2006. – 18 с.
5. Шебітченко В.Г., Шефер О.В., Ландар В.А. Методичні вказівки до курсового та дипломного проектування на тему: "Розрахунок автоматизованого електропривода механізму підйому мостового крана". – Полтава: ПолтНТУ, 2007. – 42 с.
6. Борщ В.В., Шебітченко В.Г., Галай В.М. Методичні вказівки до курсового та дипломного проектування на тему: "Розрахунок тепло-вих вимірювальних перетворювачів електромеханічних систем автоматики". – Полтава: ПолтНТУ, 2009. – 30 с.
7. Борщ В.В., Шебітченко В.Г. Методичні вказівки до курсового та дипломного проектування на тему: "Розрахунок мостових схем електромеханічних систем автоматики".– Полтава: ПолтНТУ, 2009. – 26 с.
8. Шульга О.В. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни "Системи керування електроприводами". – Полтава: ПДТУ, 2001. – 15 с.
9. Онушко В.В. "Двигуни постійного струму" // Посібник з курсового проектування з дисципліни "Електричні машини". – Полтава: ПДТУ, 2001. – 81 с.

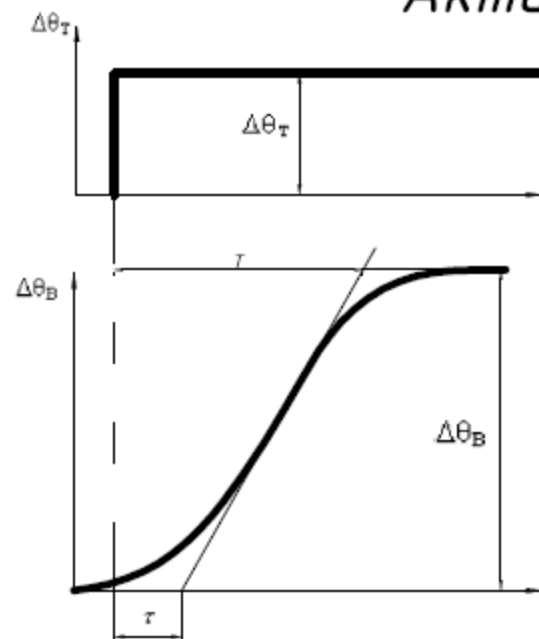
10. Онушко В.В. Методичні вказівки по виконанню курсової роботи з дисципліни "Монтаж, налагодження, експлуатація і ремонт електро-механічних пристроїв" на тему "Розрахунок потужності електро-ремонтного цеху машинобудівного підприємства". – Полтава: ПДТУ, 2000. – 31 с.
11. Єрмілова Н.В. "Основи метрології та електричних вимірювань", Методичні вказівки і контрольні завдання по курсу. – Полтава: ПДТУ, 1995.
12. Шебітченко В.Г. Датчики і регулятори в автоматизованому електроприводі: навчальний посібник / В.Г. Шебітченко, О.В. Шефер, М.К. Бороздін. – Полтава: ПолтНТУ, 2011. – 88с.
13. Шебітченко В.Г. Електротехніка. Частина 1. Електротехніка та основи електронних пристроїв: навчальний посібник / В.Г. Шебітченко, О.В. Шефер, М.К. Бороздін. – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – 141с.
14. Шефер О.В. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка: навчальний посібник / О.В. Шефер, В.Г. Шебітченко. Полтава: ПолтНТУ, 2009. – 195с.
15. Галай М.В. Теорія автоматичного керування: Навчальний посібник / М.В. Галай. – Полтава: вид-во "Полтава", 1998. – 470 с.
16. Галай М.В. Імпульсні, цифрові та релейні системи автоматизованого керування: Навчальний посібник / М.В. Галай. – Полтава: ПДТУ, 2002. – 220 с.
17. Шульга О.В. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни "Системи керування електроприводами" / О.В. Шульга. – Полтава: ПДТУ, 2001. – 15 с.
18. Онушко В.В. "Двигуни постійного струму": Посібник з курсового проектування з дисципліни "Електричні машини" / В.В. Онушко. – Полтава: ПДТУ, 2001. – 81 с.
19. "The Mushroom Cultivator" by Paul Stamets and J.S. Chilton Olympia, Washington : Agarikon Press, 1983. 415 с.

Тепличне господарство. Генеральний план



Об'єкт керування Структурна схема





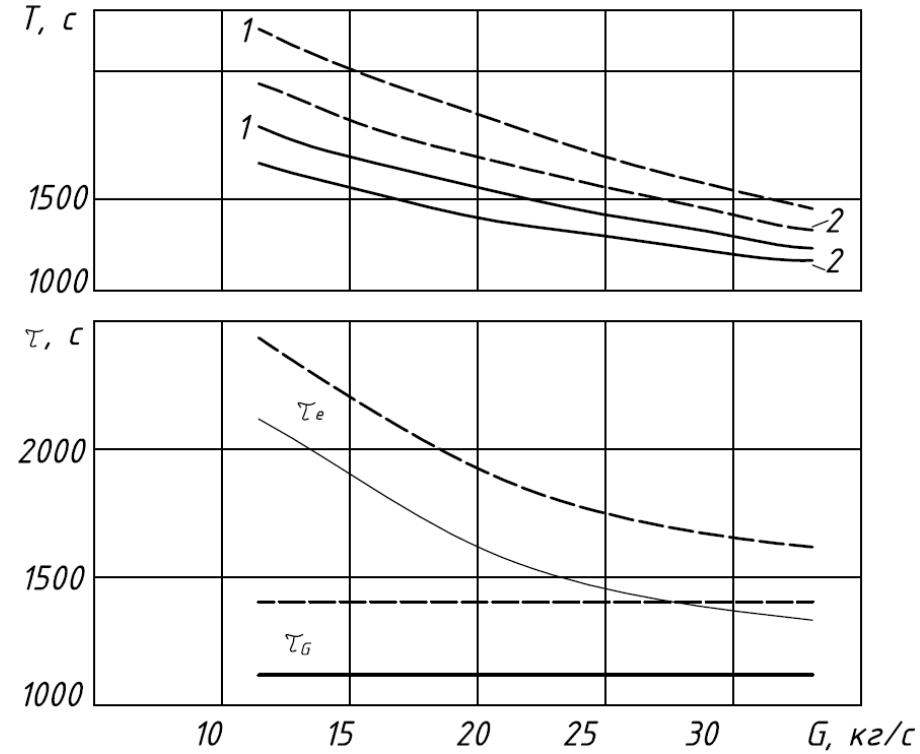
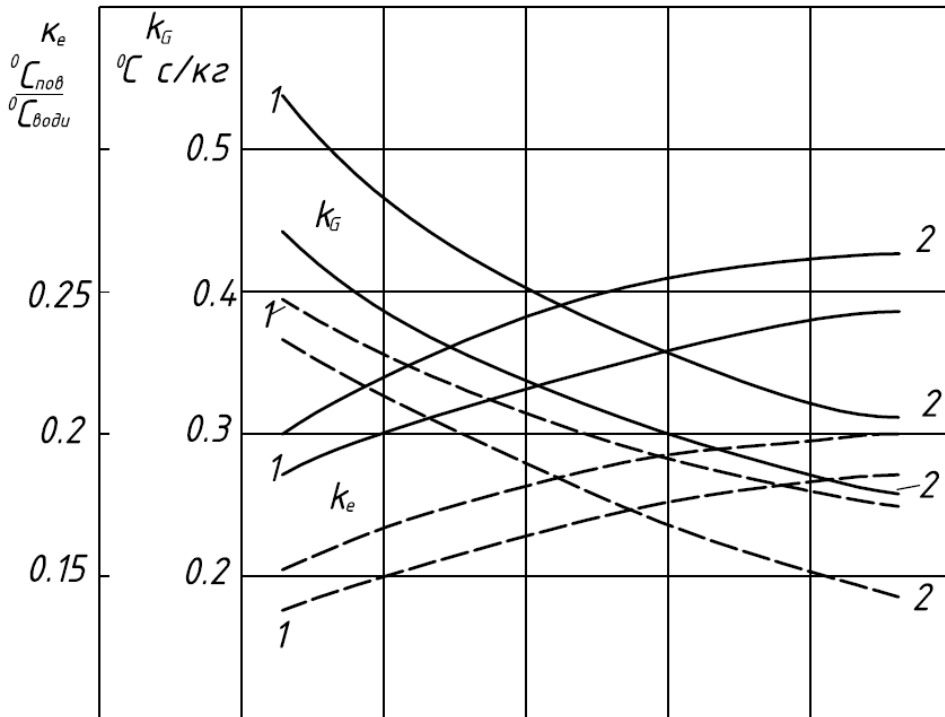
$$H(S) = \frac{k}{Ts + 1} e^{-s\tau}$$

$$k = \frac{\Delta\theta_B}{\Delta\theta_T}$$

θ	$1 - \sigma$	$1 - \theta$	$(1 - \sigma) \times (1 - \theta)$	$1 - 2\theta + \frac{\theta^2}{2}$	$(1 - \sigma) \times (1 - 2\theta + \frac{\theta^2}{2})$	$(1 - \sigma) \times (\frac{F_3}{F_1^3} - \frac{F_2}{F_1^2} \cdot \theta + \frac{\theta^2}{2!} - \frac{\theta^3}{3!})$
0	$1 - \sigma(0)$	1	$1 - \sigma(0)$	1	$1 - \sigma(0)$	
$\Delta\theta = \frac{\Delta t}{F_1}$						
$2\Delta\theta$						
$3\Delta\theta$						
...						
$n\Delta\theta$						

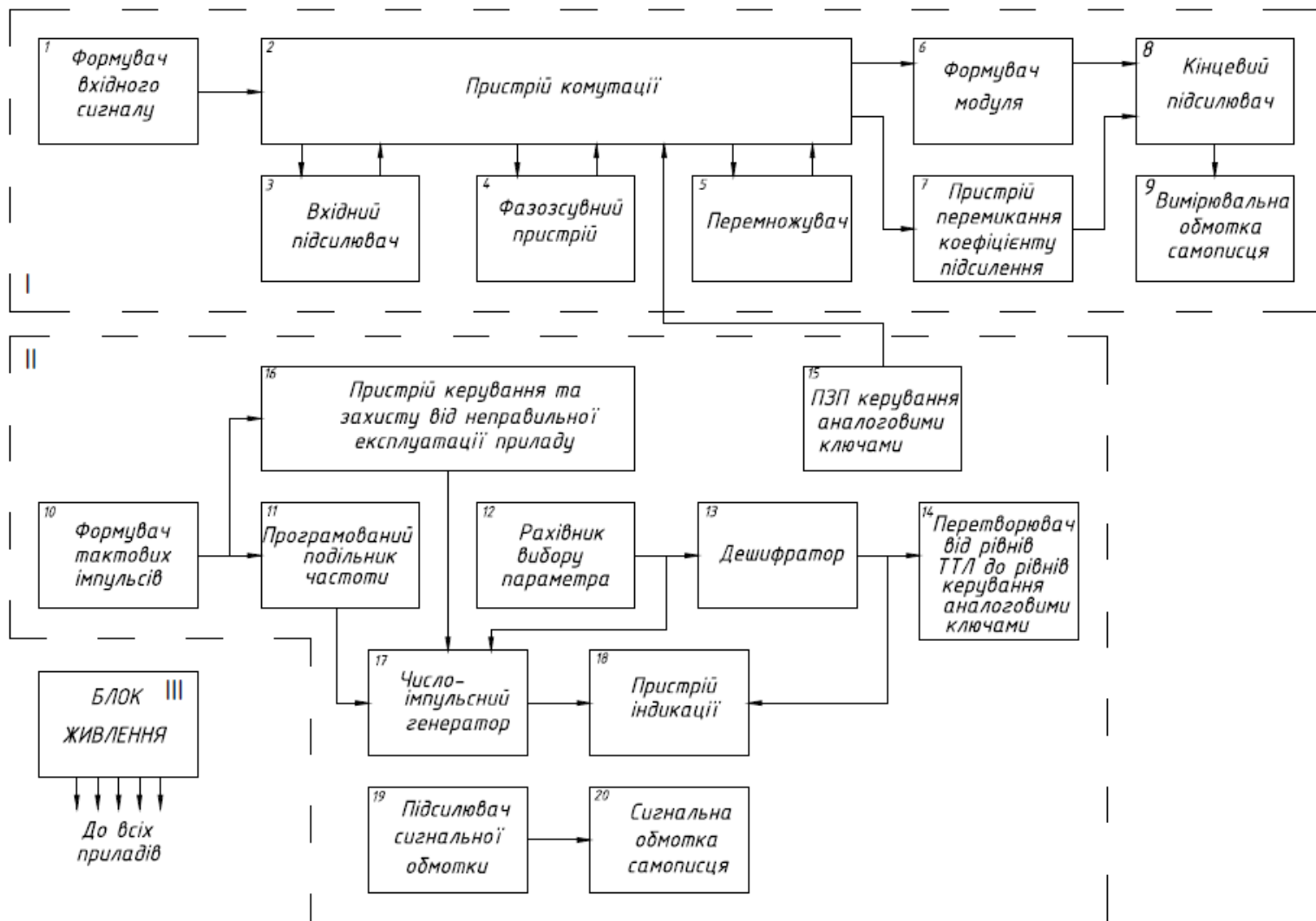
Теплиця у період	Канал	Коефіцієнт підсилення	Постійна часу, с	Запізнювання, с
Висаджування розсади	$E - \theta_e$	$0.56 \cdot 10^{-3} \text{ C/лк}$	890	100
	$v - \theta_e$	$0.25 \cdot 10^{-3} \text{ C} \cdot \text{с/м}$	740	90
	$\theta_{\text{г}} - \theta_e$	$0.45^0 \text{ C/}^0\text{C}$	-	-
Плодоносіння	$E - \theta_e$	$0.59 \cdot 10^{-3} \text{ C/лк}$	1100	110
	$v - \theta_e$	$0.18 \cdot 10^{-3} \text{ C} \cdot \text{с/м}$	890	100
	$\theta_{\text{г}} - \theta_e$	$0.4^0 \text{ C/}^0\text{C}$	-	-

Пасивний експеримент



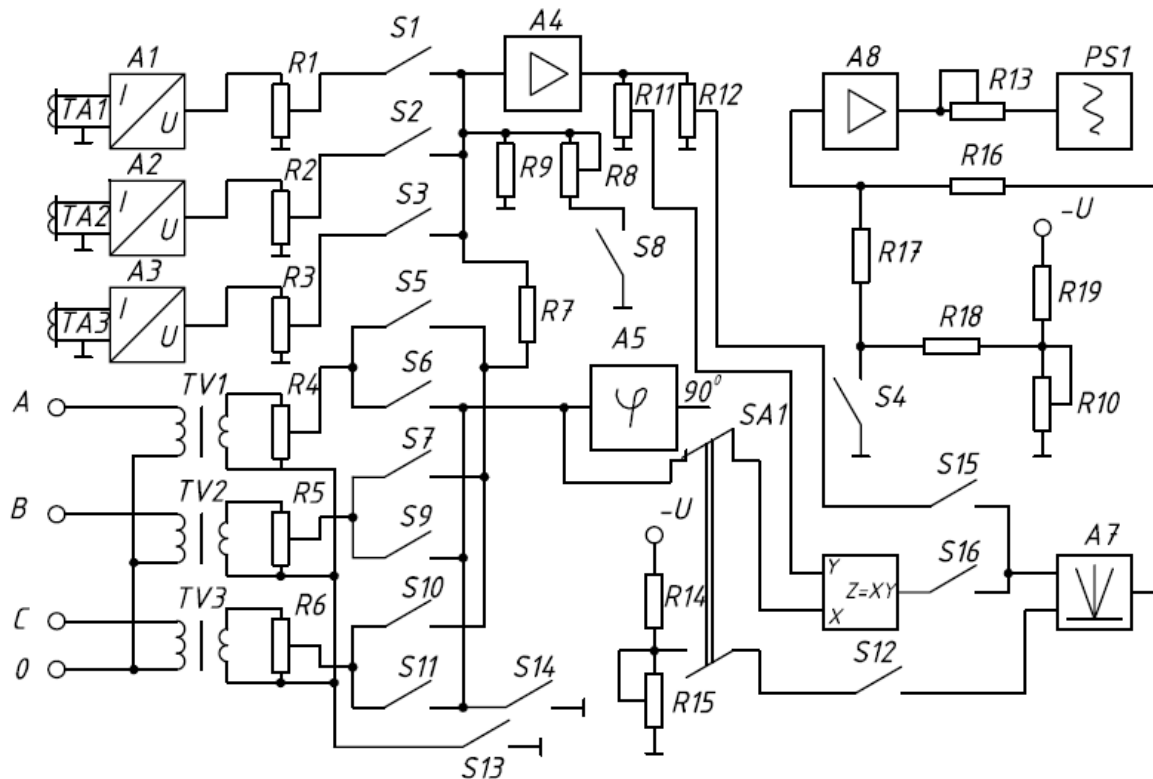
Пристрій для реєстрації режимів в електричних мережах

Схема структурна



Пристрій для реєстрації режимів в електричних мережах

Схема функціональна



$$\dot{U} = U_{\max} \cos(\omega t + \varphi)$$

$$\dot{I} = I_{\max} \cos \omega t$$

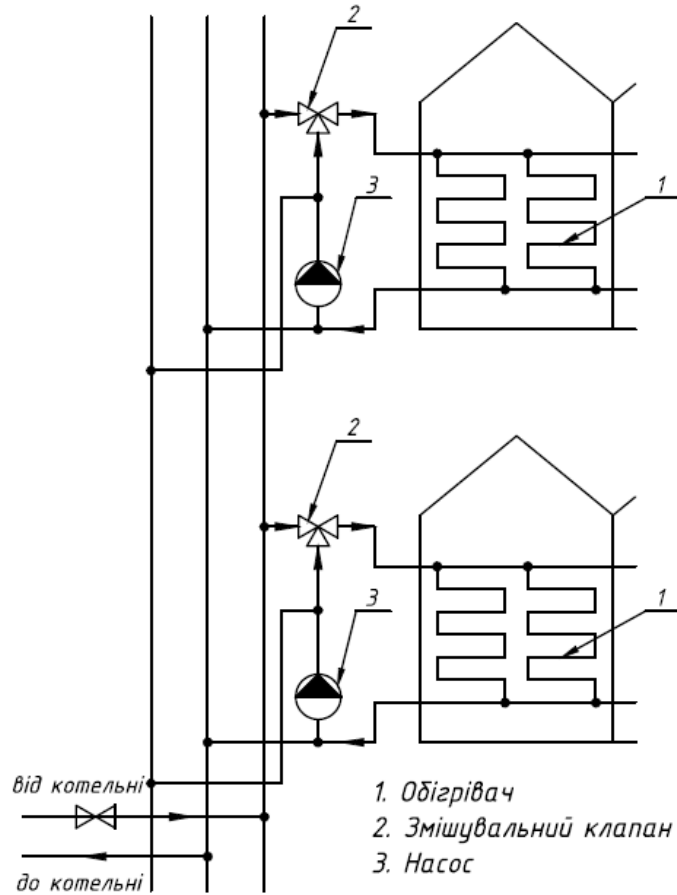
$$\begin{aligned} \dot{U}\dot{I} &= U_{\max} \cos(\omega t + \varphi) I_{\max} \cos \omega t = \\ &= (1/2) U_{\max} I_{\max} [\cos(2\omega t + \varphi) + \cos(\omega t + \varphi - \omega t)] = \\ &= (1/2) U_{\max} I_{\max} \cos(2\omega t + \varphi) + (1/2) U_{\max} I_{\max} \cos \varphi \end{aligned}$$

$$\dot{U} = U_{\max} \cos(\omega t + \varphi - \pi/2) = \dot{U} = U_{\max} \sin(\omega t + \varphi)$$

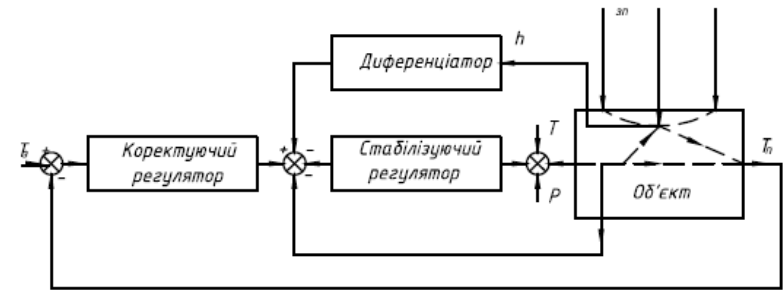
$$\dot{I} = I_{\max} \cos \omega t$$

$$\begin{aligned} \dot{U}\dot{I} &= U_{\max} \sin(\omega t + \varphi) I_{\max} \cos \omega t = \\ &= (1/2) U_{\max} I_{\max} [\sin(2\omega t + \varphi) + \sin(\omega t + \varphi - \omega t)] = \\ &= (1/2) U_{\max} I_{\max} \sin(2\omega t + \varphi) + (1/2) U_{\max} I_{\max} \sin \varphi \end{aligned}$$

Обігрів блоку багатопрольотних теплиць Схема комбінована



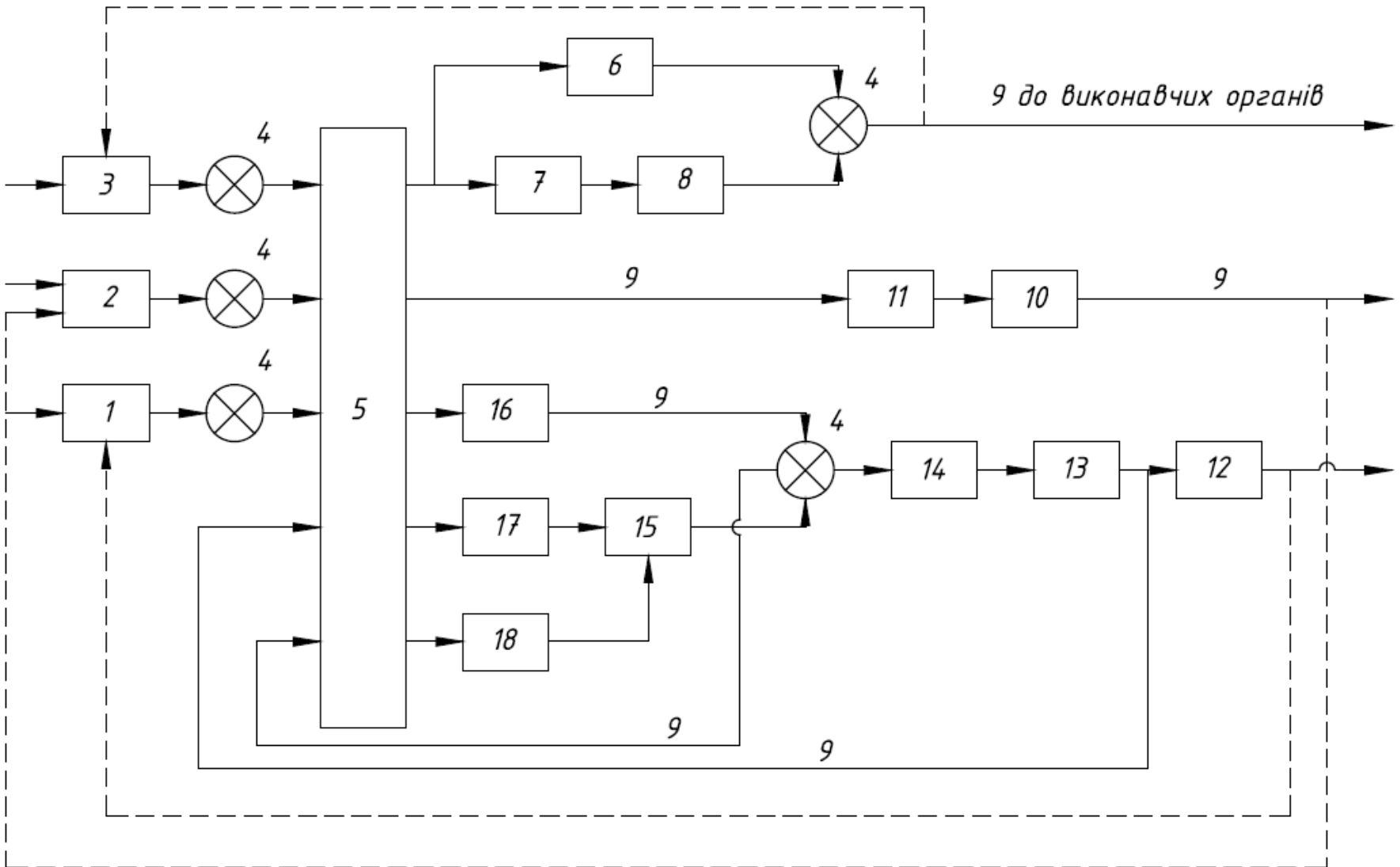
Каскадна система регулювання температури Схема структурна



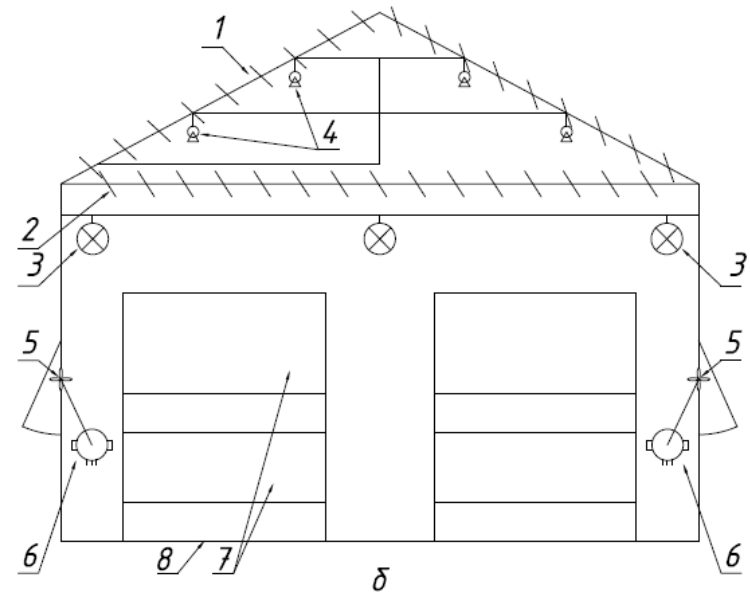
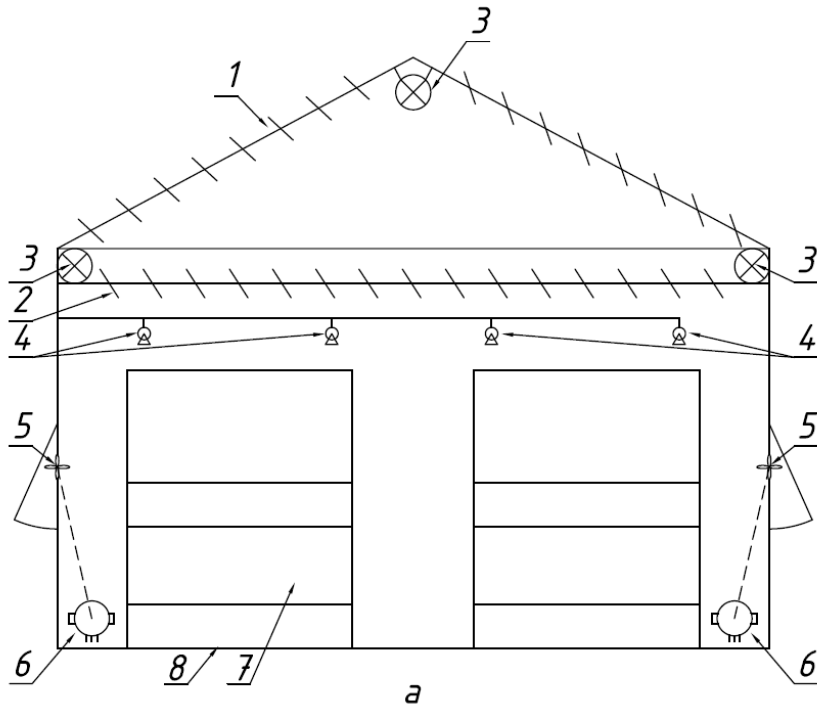
T - задана температура повітря у теплиці
 T - температура зовнішнього повітря
 E - інтенсивність сонячної радіації
 v - швидкість вітру

Комплексна система регулювання мікроклімату

Схема структурна



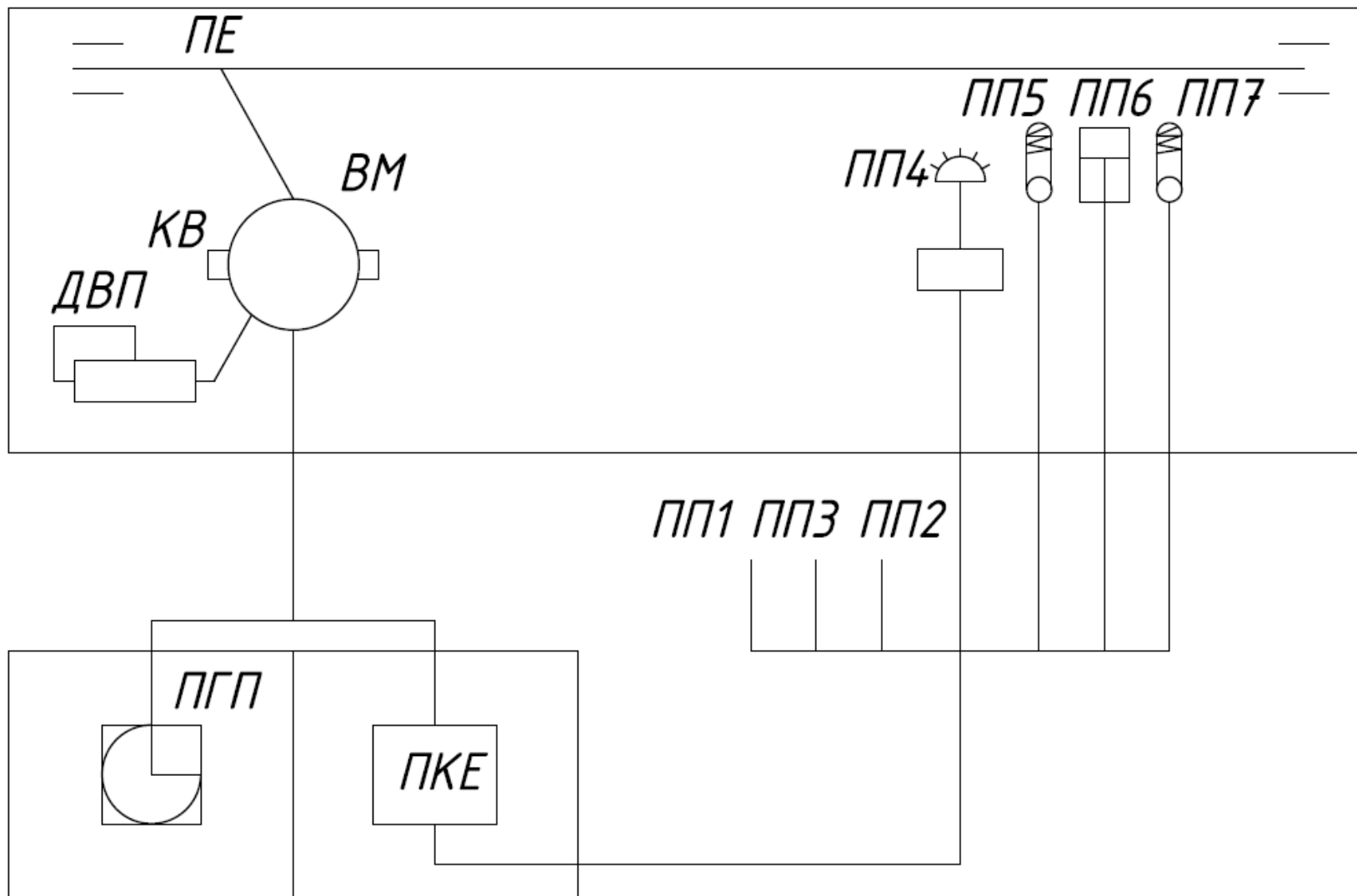
Система регулювання мікроклімату з низьким та високим ЖВЕ.
Схема комбінована



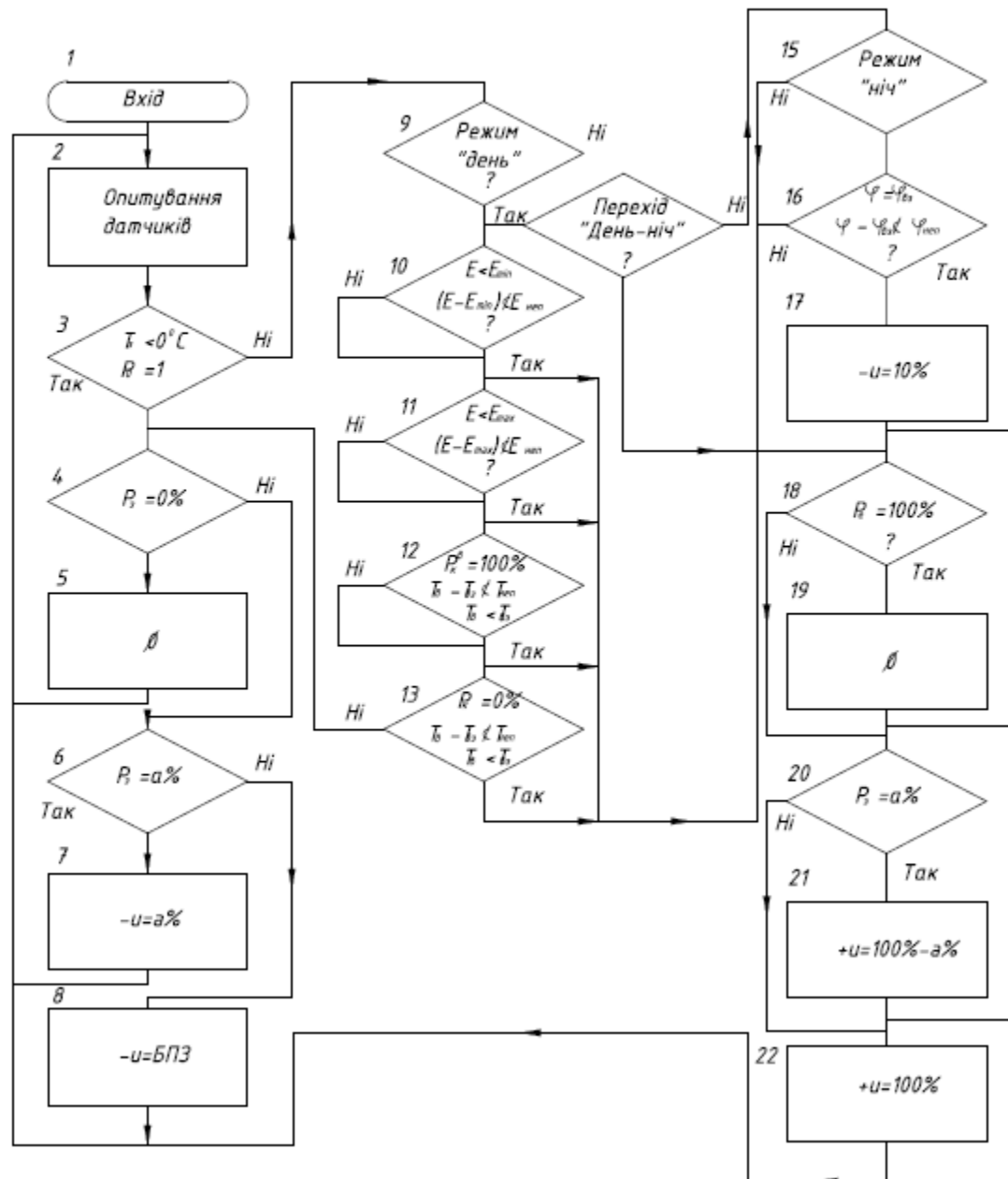
- 1,2 - горизонтальний та похилий світлопроникні екрани
 3 - лампи досвічування
 4 - форсунки системи випарувального охолодження та зволоження
 5 - вентилятори
 6 - фрамуга
 7 - стелажі з грибами
 8 - огороджувальні конструкції

Керування теплозахисним екраном

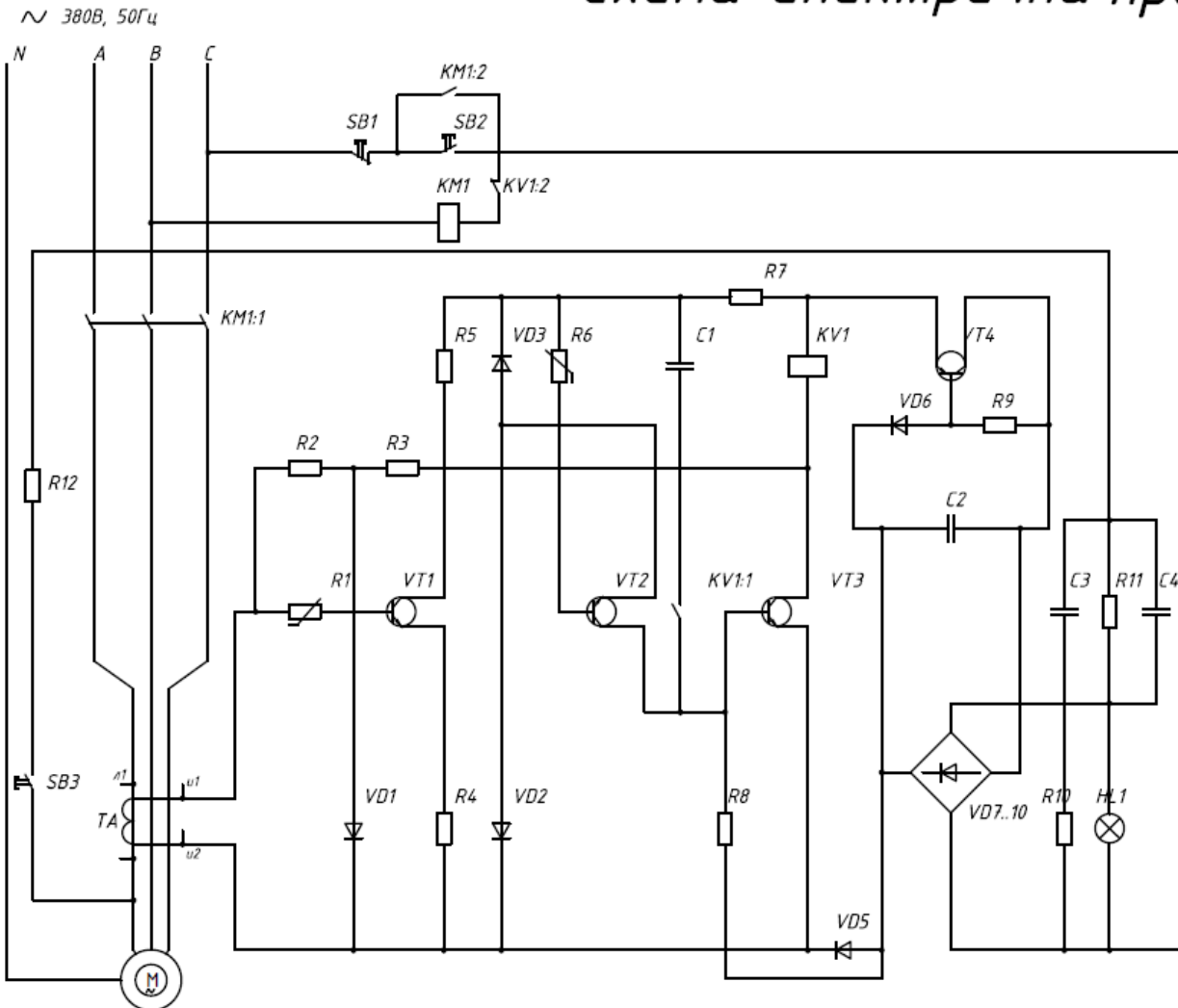
Схема комбінована



Формування керуючих впливів у системі керування екрануванням
Блок-схема алгоритму роботи



Захисний вимикаючий пристрій Схема електрична принципова



Перелік елементів

Позн. на платі	Назва	К-сть	Примітки
HL	Лампа сигнальна	1	
KM	Пускач магнітний	1	
M	Електродвигун	1	
C	Коденсатор	4	
KV	Реле напруги	1	
R	Резистор	12	
TA	Трансформатор струму	1	
SB	Вимикач кнопковий	3	
VD	Діод	6	
VP	Пристрій випрямлячий	1	
VT	Транзистор	4	