

# НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
УКРАЇНИ

ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

# НУБІП України

УДК 620.92:628.81:697.7

**ПОГОДЖЕНО**

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

Директор ННІ енергетики,  
автоматики і енергозбереження

Завідувач кафедри автоматики та  
робототехнічних систем

ім. акад. І. І. Мартиненка

В. В. Каплун

В. П. Лисенко

2022 р.

2022 р.

## КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

02.06.- КМР.2067"С".22/12.08.008.ПЗ

на тему: **«РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ  
АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ  
ПОВІТРЯ З ВИКОРИСТАННЯМ АКУМУЛЯТОРІВ  
ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ У ТЕПЛИЦІ В ЗИМОВИЙ ПЕРІОД ІЗ  
ВИКОРИСТАННЯМ КОМПЛЕКСУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ  
SCHNEIDER ELECTRIC»**

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

Магістерська програма: Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології

Гарант освітньої програми

В. П. Лисенко, д.т.н., професор

(підпис)

Виконав

Є.О. Пилипенко

(підпис)

Керівники магістерської роботи

В.О. Грищенко, к.т.н.

(підпис)

КИЇВ – 2022

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматичних та робототехнічних систем  
ім. акад. І. І. Мартиненка  
проф., д.т.н. В. П. Лисенко

” ” 2022 р.

# ЗАВДАННЯ ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Пилипенку Євгенію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

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

Магістерська програма: Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Програма підготовки: Освітньо-професійна

Тема магістерської роботи: Розроблення та дослідження системи автоматичного керування температурою повітря з використанням акумуляторів теплової енергії у теплиці в зимовий період із використанням комплексу технічних засобів Schneider Electric

Затверджена наказом ректора НУБіП України від «08» 12 2022 р. № 2067 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру «28» 10 2022 р.

Вихідні дані до магістерської роботи: Завдання кафедри на виконання кваліфікаційної магістерської роботи. Нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації. Матеріали дослідження і аналізу. Наукова література з тематики кваліфікаційної магістерської роботи.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз технологічних характеристик виробничого об'єкта.
2. Моделювання та дослідження технологічного процесу.
3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштування.
4. Дослідження системи автоматизації.
5. Схеми системи автоматизації.
6. Оцінка економічної ефективності САК
7. Техніка безпеки та охорона праці.

Перелік графічного матеріалу: Графічна презентація

Дата видачі завдання

«08» 12 2022 р.

Керівники магістерської роботи

Грищенко В. О.

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Пилипенку Є. О.

# НУБІП України

## АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній магістерській роботі розглядається процес підтримки температури повітря в теплиці з використанням акумуляторів теплової енергії на предмет визначення енергоефективних технологічних режимів опалення, технічних параметрів системи опалення.

Метою кваліфікаційної магістерської роботи є удосконалення системи автоматичного керування температурою повітря з використанням акумуляторів теплової енергії у теплиці в зимовий період із використанням комплексу технічних засобів Schneider Electric, що забезпечить зниження енерговитрат на його створення та зменшить витрати палива на підтримання необхідного рівня температури повітря в теплиці, шляхом застосування додаткової системи геліоколекторів для додаткового нагрівання води в баку акумуляторі.

У роботі використовуються наступні задачі:

- побудовано математичну модель досліджуемого об'єкту та проведено імітаційне моделювання;

отримано передатну функцію об'єкту керування;

- обрано сприймаючі елементи, виконавчий механізм та регулюючий орган розроблюваної САК температури повітря в теплиці;

- розроблено алгоритм роботи системи та обрано програмне забезпечення;

- досліджено отриману САК температури повітря в теплиці на стійкість та отримані показники якості, які задовольняють вимогам до розроблюваної САК;

- розроблено схеми підключень (з'єднань) засобів КВПіА та технологічного обладнання;

- обраховано доцільність монтажу системи автоматизації.

# НУБІП України

## ЗМІСТ

### ВСТУП..... 6

## РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА..... 7

1.1. Опис об'єкта управління та стан його автоматизації..... 7

1.2. Аналіз факторів, що впливають на об'єкт керування..... 10

1.3. Аналіз традиційних систем опалення теплиць в зимовий період..... 12

1.4. Аналіз способів щодо акумулювання енергії для опалення теплиць в зимовий період природнім шляхом ..... 15

1.5. Механічні способи акумулювання тепла для обігріву теплиці в зимовий період..... 18

1.6. Типи колекторів сонячної енергії ..... 21

1.7. Вакуумовані скляні трубчасті колектори ..... 26

## РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ

### ОПАЛЕННЯ ТЕПЛИЦЬ В ЗИМОВИЙ ПЕРІОД ..... 29

2.1. Інформаційний аналіз процесу опалення теплиць в зимовий період..... 29

2.2. Моделювання динаміки акумуляторів теплової енергії, як об'єктів керування..... 30

2.3. Аналіз динаміки та визначення передатної функції температури повітря в теплиці..... 36

2.4. Визначення передатної функції об'єкта керування..... 43

## РОЗДІЛ 3 ВИБІР РЕГУЛЯТОРА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ

### ЙОГО НАЛАШТУВАНЬ..... 46

3.1. Вибір регулятора..... 48

3.2. Вибір сприяючих елементів системи автоматичного керування температурою повітря з використанням акумулятора теплової енергії в теплиці..... 52

3.3. Вибір виконавчих механізмів системи автоматичного керування температурою повітря з використанням акумулятора теплової енергії в теплиці..... 53

3.4. Вибір алгоритму управління та розробки функціональної та структурної схеми САК..... 65

## РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ..... 67

<b>РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА СХЕМ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ</b> .....	5 73
5.1. <i>Розробка схем погодження між зовнішніми пристроями та програмованим логічним контролером</i> .....	73
5.2. <i>Розробка принципової схеми</i> .....	78
5.3. <i>Розробка схеми з'єднань</i> .....	82
5.4. <i>Розробка схеми підключень</i> .....	83
5.5. <i>Вибір апаратів захисту та керування</i> .....	86
5.6. <i>Розрахунок надійності системи автоматичного керування</i> .....	90
5.7. <i>Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи керування температурою повітря у теплиці</i> .....	91
<b>РОЗДІЛ 6 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ</b> .....	93
<b>РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ І ОХОРОНА ПРАЦІ</b> .....	95
7.1. <i>Монтаж та техніка безпеки при роботі з водяними геліоколекторами</i> .....	95
7.2. <i>Охорона навколишнього середовища</i> .....	99
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	102
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	103
<b>ДОДАТОК А</b> .....	105

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

# ВСТУП

# НУБІП України

Для того, щоб досягти найкращих показників при вирощуванні рослин

в приміщеннях закритого ґрунту необхідно дотримуватись цілої низки умов,

найважливішим серед яких є забезпечення клімату, необхідного для вирощуваної культури.

Щоб тепличне овочівництво збільшило свою продуктивність, та не

було збитковим на рівні з аналогічними в інших країнах необхідні

кардинальні зміни, які принесуть реальну користь. В першу чергу необхідно

розпочати активне підвищення рівня автоматизованості тепличних

підприємств із використанням комплексу технічних засобів Schneider

Electric. Відмова від централізованих котелень, які обладнанні баками

акумуляторами, встановлення систем автоматичного регулювання умов для

вирощування рослин зменшить не лише затрати на паливні та енергетичні

ресурси, а й зменшить необхідність у людському втручанні в процес.

Впровадження новітніх систем відновлювальної енергетики допоможе

зменшити витрати палива на опалення теплиць в зимовий період.

Завдяки новітнім системам можна значно збільшити не лише якість

продукції, а і її кількість, що, безумовно знизить ціну реалізації. А це, в свою

чергу, робить тепличні овочі більш привабливими для споживачів, що

дозволить тепличникам значно збільшити власний прибуток.

Метою роботи є забезпечення технологічних норм та стандартів при

вирощуванні продукції в теплицях в зимовий період шляхом удосконалення

системи автоматичного керування температурою повітря з використанням

акумуляторів теплової енергії із використанням комплексу технічних засобів

Schneider Electric.

Об'єктом дослідження є акумулятор теплової енергії та теплиця.

Предметом дослідження є алгоритм, температурні режими та процеси

акумулювання теплової енергії.

# НУБІП України

## РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Опис об'єкта управління та стан його автоматизації

Сільськогосподарське ПрАТ "Комбінат "Тепличний" – це одне з найбільших підприємств, що спеціалізуються на вирощуванні овочів у закритому ґрунті на території України.

В теплицях ПрАТ "Комбінат "Тепличний" вирощуються:

- помідори;
- огірки; перець
- баклажани;
- редис;
- салат;
- петрушка;
- кріп.

Загальна земельна площа зайнята теплицями понад 48.5 га площ, які дають майже таку ж врожайність, як в Японії і Голландії. Врожайність в ПрАТ "Комбінат "Тепличний" помідорів та огірків з використанням найсучасніших технологій вдалося досягти в 61 кг з квадратного метра (рис. 1.1-2).

В теплицях ПрАТ "Комбінат "Тепличний" встановлено обладнання для зволоження повітря і крапельного поливу рослин з одночасною їх підгодівлею, обладнання для обігріву теплиць, комп'ютерна система керування мікрокліматом фірми Setcom.

Ця "фабрика овочів" відома в Україні ще з часів УРСР.

Новітня історія "Комбінату "Тепличний" бере свій початок 1994 року після проведення грандіозної реконструкції, щоб перевести вирощування овочів на новітні технології.



Рис. 1.1. Сучасні технології виробництва помідорів в ПрАТ "Комбінат  
"Тепличний"



Рис. 1.2. Сучасні технології виробництва огірків в ПрАТ "Комбінат  
"Тепличний"

Для запилення помідорів використовують шершнів, а огірків – бджіл (на комбінаті є 800 вуликів). І якщо тільки доза хімічних елементів перевищена, комахи гинуть, а отже, і плантація теж. Тому тут дотримуються всіх правил технології (голландська і ізраїльська).



В якості програмного забезпечення для забезпечення керування мікрокліматом в д фірми Sercom використовується SercoVision (рис. 1.3).

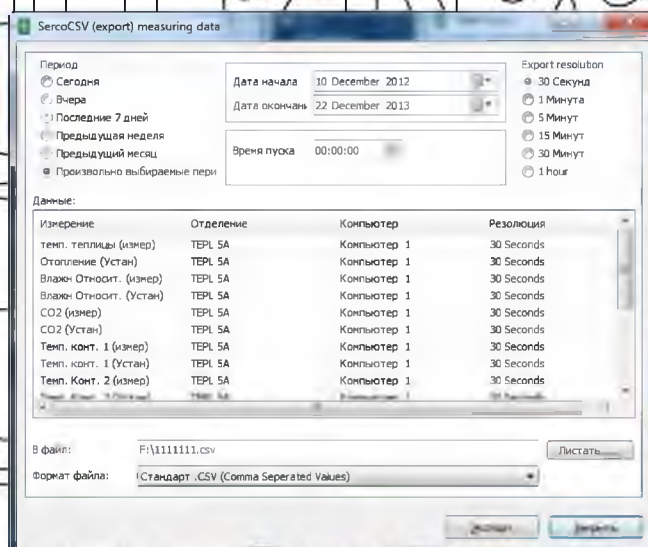


Рис. 1.3. Програмне забезпечення для керування мікрокліматом в теплиці

### SercoVision

В процесі практичної експлуатації програми SercoVision, оператор має широкий доступ до елементів управління. Оператор легко отримує оптимальні значення усіх налаштувань та реалізованих показників у всьому технологічному об'єкті. Це дозволяє ще більше оптимізувати управління врожайністю та енергоефективністю.

SercoVision просте в експлуатації. Програмне забезпечення працює під управлінням Windows і підключається до рідкокристалічної панелі управління Sercom. Навігаційна програма впорядкована, що спрощує вибір, копіювання та групування блоків. Безпека є структурним компонентом програми.

Програмне забезпечення SercoVision оновлюється щороку, забезпечуючи збереження налаштувань та завжди відображає найновіші відомості в галузі клімат-контролю та автоматизації. Також можна розширити SercoVision, додавши ряд практичних опцій, які дозволяють отримати більше можливостей від автоматизації.

## 1.2. Аналіз факторів, що впливають на об'єкт керування

Теплиця є складним біотехнічним об'єктом. Для забезпечення росту рослин в закритому ґрунті в зимовий період необхідно забезпечити багато відповідних факторів які впливають на її розвиток, це наприклад температура повітря та ґрунту, вологість повітря та ґрунту (або субстрату), освітленість, вміст в повітрі CO<sub>2</sub>, швидкість повітря.

Важливим фактором при вирощуванні рослин в спорудах закритого ґрунту (теплицях) в зимовий період є підтримання температури повітря в комфортному для рослин діапазоні, який визначається агротехнічними вимогами, часом доби та негоди, для кожного виду окремо (табл. 1.1-2).

Таблиця 1.1

Рекомендована температура ґрунту та повітря в спорудах закритого ґрунту для томатів в зимовий період

Фактори росту	Фаза розвитку рослин		
	До цвітіння	Цвітіння	плодоношення
Температура повітря, °C			
Вдень у ясну погоду	20-22	20-25	20-26
Вдень у хмарну погоду	18-20	20-22	20-22
Вночі	15-16	15-16	17-18
Температура ґрунту, °C	20-22	20-22	22-24

Як можна бачити різноманітні культури при вирощуванні в теплицях вимагають особливі умови для температури повітря, тому забезпечення рекомендованих значень є важливою задачею яку можна розв'язати шляхом використання сучасних систем автоматизації.

Таблиця 1.2  
Рекомендована температура повітря в спорудах закритого ґрунту для огірків в зимовий період

Період росту огірків	Температура
Посів насіння	25...28 °С
Висаджування розсади в ґрунт	20...23 °С
Період цвітіння	25...28 °С
При формуванні зав'язей	20...35 °С
Для рясного плодоношення	25...30 °С

У різні пори року у різних районах України спостерігаються значні коливання температури зовнішнього повітря.

Найкраще уявлення про температурні умови в різні місяці можна отримати на підставі даних про усереднену температуру. Для вирощування рослин найбільш важливі так звані стійкі дані про температуру і сонячне випромінювання. Це дозволяє визначити періоди, в які температура повітря буде нижчою або вищою від відомого значення, що дає можливість отримати інформацію про тривалість та ймовірність граничних температурних умов.

Найбільша різниця температур вдень і вночі спостерігається в літні місяці, а саме, у червні та липні, найменша – у грудні та січні. Середня добова різниця температур для Києва в липні становить близько 8 °С (амплітуда 3.79 °С), а в грудні – близько -1 °С (амплітуда 0.36 °С).

Ті самі закономірності в коливаннях температури виявляються у теплиці. Добова різниця температур залежить не лише від погоди, а й від здатності теплиці акумулювати тепло. Найбільш висока денна температура

спостерігається у всі місяці в період з 14 до 16 год, найнижча встановлюється взимку між 7 та 9 год ранку та влітку між 3 та 5 год ночі.

З точки зору впливу на температуру повітря в теплиці швидкість вітру є дуже важливим фактором. Швидкість вітру в залежності від місцевості

коливається в досить широких межах, причому восени та взимку вона найвища. У прибережних та гірських районах країни швидкість вітру вища,

ніж у внутрішніх. Основні напрямки вітру у різних районах України змінюються залежно від пори року. Найбільш загальні напрями неможливо

вказати хоча б тому, що на зміну швидкості і особливо напрямку вітру сильний вплив надають рельєф місцевості, рослинність, щільність забудови

тощо. протягом досить тривалого часу або провести опитування мешканців цієї місцевості.

Охолоджувальна дія вітру на теплицю проявляється двома способами:

– в підвищенні швидкості вітру інтенсифікується процес теплопередачі, особливо від скляних поверхонь із незадовільною теплоізоляцією (шляхом конвекції). При сильному вітрі цей фактор може зрости в 5 і навіть 10 разів у порівнянні з безвітряною погодою;

– потоки повітря на зовнішній поверхні теплиці створюють різницю тисків, що призводить до виникнення локальних потоків повітря у всіх місцях розщільнення між елементами конструкції теплиці.

Зі зростанням швидкості вітру збільшується кількість повітря, що виходить із теплиці, що також призводить до великих тепловтрат.

### 1.3. Аналіз традиційних систем опалення теплиць в зимовий період

Існуючі системи опалення можна розділити на дві категорії за типом процесу теплообміну. Це активні та пасивні (рис. 1.4). До активних систем

опалення можна віднести використання калориферів (рис. 1.5): водяних; електричних; газових (рідке паливо або твердопаливні). До пасивних систем

охолодження можна розділити за способом теплопередачі на водяне та електричне. До водяного опалення відноситься опалення у вигляді батарей

які розміщені в повітрі та ґрунті (рис. 1.6). Електричне опалення можна розділити за способом монтажу та принципу дії – це повітряні ТЕНи / ІЧ-обігрівачі (рис. 1.7), та нагрівний кабель, що закладено в ґрунт (рис. 1.8).

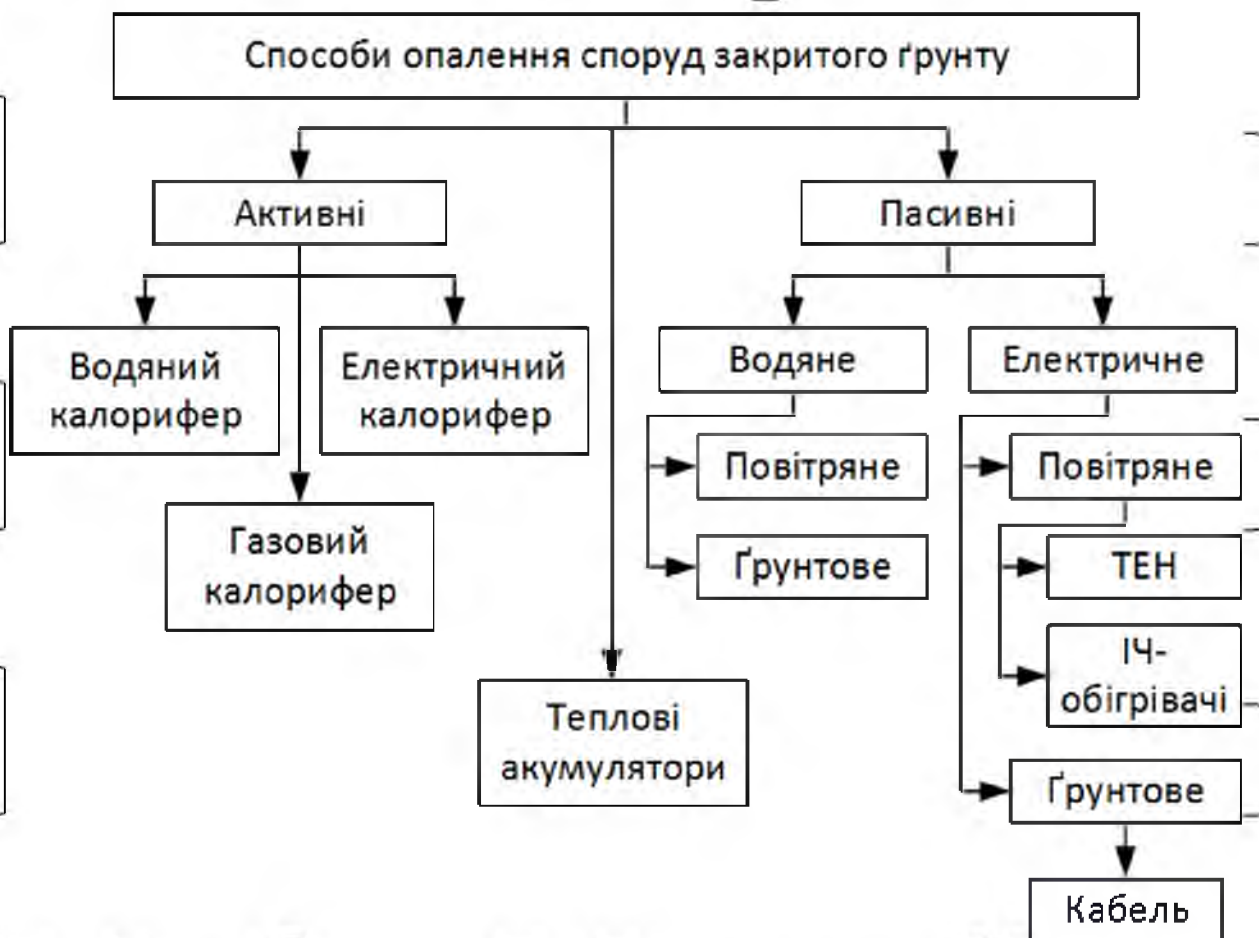


Рис. 1.4. Способи опалення споруд закритого ґрунту



Рис. 1.5. Опалення з використанням калориферів



Рис. 1.6. Водяне опалення споруд закритого ґрунту



Рис. 1.7. Опалення теплиць з використанням ІЧ-обігрівачів



Рис. 1.8. Опалення теплиць з використанням нагрівального кабелю

#### 1.4. Аналіз способів щодо акумулювання енергії для опалення теплиць в зимовий період природнім шляхом.

Завдяки наявності прозорого огороження (скла) в теплиці забезпечується можливість акумулювання більшої частини поступаючої енергії сонячного випромінювання. Короткохвильове сонячне випромінювання відносно безперешкодно проникає крізь скло залежно від його товщини та чистоти поверхні. Скло пропускає електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі 0.3...2.4 мкм. У цій галузі спектра зосереджена найбільша частина сонячної енергії, в тому числі сюди входить область видимого світла з довжиною хвилі 0.35...0.75 мкм. Майже половину випромінювання становить видиме випромінювання, іншу половину – інфрачервоне.

При попаданні сонячного випромінювання на рослину або на темну поверхню вона перетворюється на теплову енергію з довжиною хвилі близько 10 мкм (область довжин хвиль теплового випромінювання становить 4...50 мкм). Більшість матеріалів, крім деяких сортів органічного скла, не пропускають це випромінювання, і воно поглинається поверхневим шаром, нагріваючи його.

Теплова енергія, одержувана різними поверхнями всередині теплиці, поглинається матеріалами, а деяка частина цієї енергії відбивається чи передається повітрі, створюючи конвекцію у приміщенні. Таким чином, виникають природні потоки енергії, які прагнуть привести систему до рівноважного стану. Потоки теплової енергії спрямовуються через замкнуту та прозору зовнішню оболонку в навколишній простір – у повітря або в ґрунт. Вона передається також предметам та матеріалам, що мають знижену температуру (тобто теплова енергія акумулюється цими матеріалами).

Зазвичай потрібно зменшити поширення теплового потоку у бік зовнішнього повітря і далі в навколишній простір. У теплицю надходить більше теплової енергії, ніж йде назовні, у результаті температура в ній

піднімається, тобто забезпечується досягнення «тепличного ефекту» для рослин.

На рис. 1.9. показано, що теплова енергія передається шляхом випромінювання чи конвекції. Як відомо, повітря при нагріванні піднімається вгору, а при охолодженні опускається вниз, внаслідок чого у теплиці та житловому будинку виникають теплові потоки. Якщо відомі фізичні основи походження цих теплових потоків, то можна вирішити проблему опалення, не вдаючись до використання невідновлюваних джерел (електроенергія, різних видів палива).

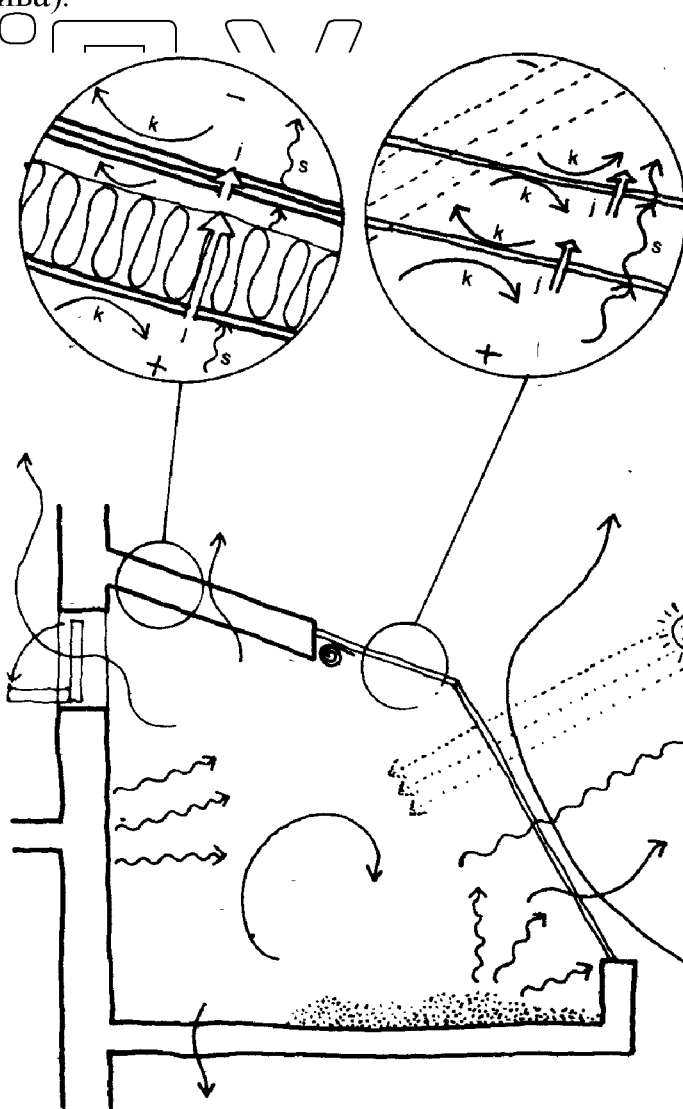


Рис. 1.9. Природні енергопотоки в теплиці в холодний сонячний день (хвилясті стрілки – довгохвильове теплове випромінювання):

$k$  – конвекція;  $j$  – теплопередача;  $s$  – тепловтрати



Нижче наведено кілька способів накопичення сонячної енергії у теплиці та створення її запасів за допомогою спеціальних пристроїв.

#### 1.4.1. Підлога теплиці як теплоакумулятор. Сонячне

випромінювання, проникаючи в теплицю та потрапляючи на темну кам'яну поверхню підлоги, називає його. Частина теплової енергії в результаті конвекції і теплового випромінювання передається в простір теплиці (головним чином її внутрішньому повітря), і нагріте повітря переходить у квартиру через відкриті вікна і двері. Частина теплової енергії (залежно від абсорбційної здатності та теплоакумуляюючих властивостей підлоги) акумулюється матеріалом підлоги. Вночі тепло передається назад у теплицю внаслідок теплового випромінювання, що виходить від матеріалів підлоги, та подальшої конвекції.

#### 1.4.2. Стіна теплиці як теплоакумулятор. Сонячне проміння,

падаючи на зведену з каменю темну задню стіну теплиці, нагрівають її. Як і в попередньому випадку, тепла енергія передається частково матеріалу стіни і частково повітря теплиці. Нагріте повітря піднімається вгору і через відкритий люк потрапляє до акумулятора, де частина теплової енергії акумулюється підлогою, стінами та стелею. У нічний час ця тепла енергія переходить у повітря акумулятора та теплиці.

Теплоакумуляюючу стіну теплиці можна обладнати ще й світлопропускним покриттям, що забезпечує ефективніший збір теплової енергії. Таке конструктивне рішення називають «сонячною стіною».

#### 1.4.3. Басейн або чорнозем як теплоакумулятор. Суть цього

дешевого конструктивного рішення полягає в тому, щоб забезпечити ефективний розігрів води або чорнозему шляхом відповідної орієнтації сонячного нагрівача. Оскільки вода має хорошу теплоакумуляюючу здатність, вона може прийняти більшу кількість теплової енергії, а чорнозем – відповідно менше. Використання басейну є можна застосувати у випадку, якщо басейн буде обладнаний світлопроникним покриттям, щоб не збільшувати надмірно вологовміст повітря в теплиці.

**1.4.4. Ізольовані теплоакумуючі пристрої.** Аналогічно описаним вище способам теплову енергію можна акумулювати в темних ємностях з водою, темному камінні або мішках з глауберовою сіллю і т.ін. У нічний час тепло передається повітрю в теплиці, а вдень накопичується.

**1.4.5. Природна циркуляція** (сонячні накопичувачі та кам'яний теплоаккумулятор). Вдень повітря інтенсивно нагрівається за допомогою сонячних накопичувачів, які розташовані у нижній частині теплиці.

Проходячи крізь кам'яний теплоаккумулятор, розташований під підлогою, повітря охолоджується. Вночі повітря, нагріте в сонячному накопичувачі, піднімається вгору і захоплює за собою холодніше повітря з кам'яного теплоаккумулятора. Таким чином виникає природна циркуляція повітря, що забезпечує передачу тепла із сонячного накопичувача в теплоаккумулятор або через систему люків прямо в теплицю. Замість кам'яного теплоаккумулятора

можна використовувати бетонні плити із порожнинами або інші пристрої.

## **1.5. Механічні способи акумулювання тепла для обігріву теплиці в зимовий період.**

За допомогою вентиляторів та регулюючих пристроїв можна більш ефективно керувати потоками повітря порівняно із системами, що діють із використанням природної циркуляції. Це особливо помітно в тих випадках, коли повітря доводиться переміщати на значні відстані в протилежному напрямку природному, наприклад вниз або крізь теплоакумуючий пристрій, що має великий опір, який можна подолати тільки шляхом використання механічного пристрою. Такі системи, що забезпечують накопичення сонячної енергії в теплиці та подачу нагрітого повітря за допомогою вентиляторів в теплоакумуючий пристрій, нерідко за термінологією, прийнятою в США, називають напівактивними, або гібридними системами.

Дослідження показали рентабельність застосування вентиляторів, оскільки це дозволяє накопичувати великі запаси сонячної енергії та

відповідно використовувати її. Наприклад, англійський дослідник Цедрик Грін в результаті проведених експериментів і розрахунків встановив, що в подібній системі з одним вентилятором при достатніх можливостях

акumuлюючих можливо утилізувати приблизно на 30 % більше дарової сонячної енергії, ніж в системі з природною циркуляцією повітря без теплоаккумулятору.

Нижче описано кілька раціональних рішень із використанням вентиляторів.

*1.5.1. Басейн або ґрунт як теплоаккумулятори.* Повітря, нагріте днем за допомогою сонячного випромінювання, засмоктується через горизонтальний канал (у великих приміщеннях теплиць) у верхній частині теплиці і прямує через розташований під підлогою басейн (рис. 1.10, а) або ґрунт (рис. 1.10, б) так, щоб забезпечувалася ефективна передача теплової

енергії в навколишню теплоакмулюючу масу. У нічний час в похмурий день теплота, що вивільнилася з теплоаккумулятора, повертається в теплицю.

*1.5.2. Кам'яний теплоаккумулятор під теплицею.* Тепле повітря нагнітають через повітропровід на дно кам'яного теплоаккумулятора (рис. 1.11,а), звідки він самостійно проходить між окремим камінням, охолоджується і повертається назад у теплицю.

В іншому рішенні (рис. 1.12,б) повітря з проміжного приміщення засмоктується через кам'яний теплоаккумулятор в теплицю, де він нагрівається і повертається в проміжне приміщення. Така система добре функціонує пізньої осені та на початку весни, коли вологість повітря в теплиці залишається низькою. У період, коли систему необхідно активно зрошувати, у проміжному приміщенні можуть виникнути проблеми через високу вологість повітря.

Теплота повертається до приміщень шляхом випромінювання та конвекції. З кам'яного теплоаккумулятора, розташованого під підлогою приміщення теплиці, вона надходить у теплицю за допомогою вентиляторів.

Тепле повітря з верхньої частини теплиці продувають через канали та отвори

в бетонних плитах з порожнинами або інших конструкціях таким чином, щоб забезпечити повернення повітря в нижню частину теплиці.

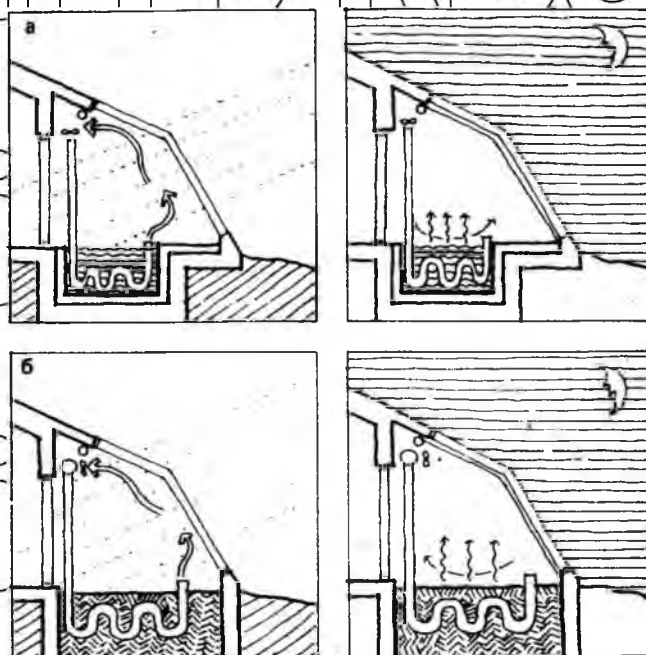


Рис. 1.10. Тепло акумулюється в басейні або ґрунті за допомогою вентиляторів: а – система з басейном; б – система ґрунтовим теплоакумулятором

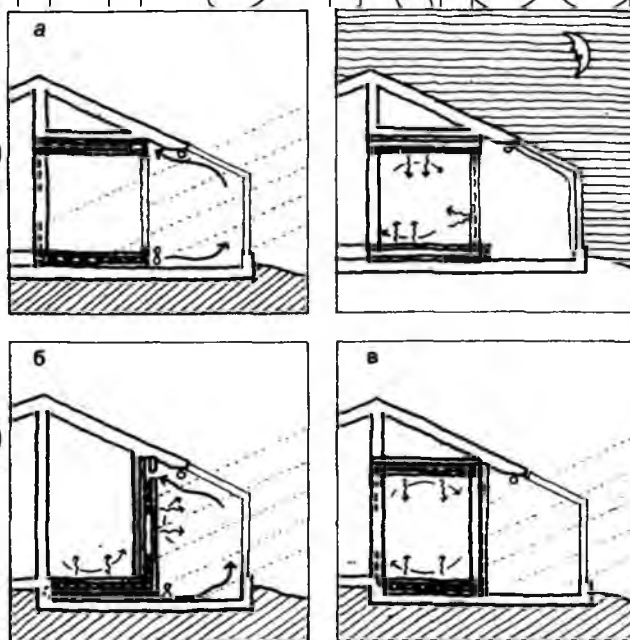


Рис. 1.11. Тепло акумулюється в бетонних плитах із внутрішніми порожнинами: а – теплиця з легких конструкцій, для конструкції підлоги приміщення використано бетонні плити з порожнинами; б – масивна стіна в теплиці, конструкція підлоги приміщення виконана з бетонних плит із

порожнинами, в – сонячна (теплоакumuлююча) стіна в теплій конструкції стелі та підлоги квартири виконані з бетонних плит з порожнинами

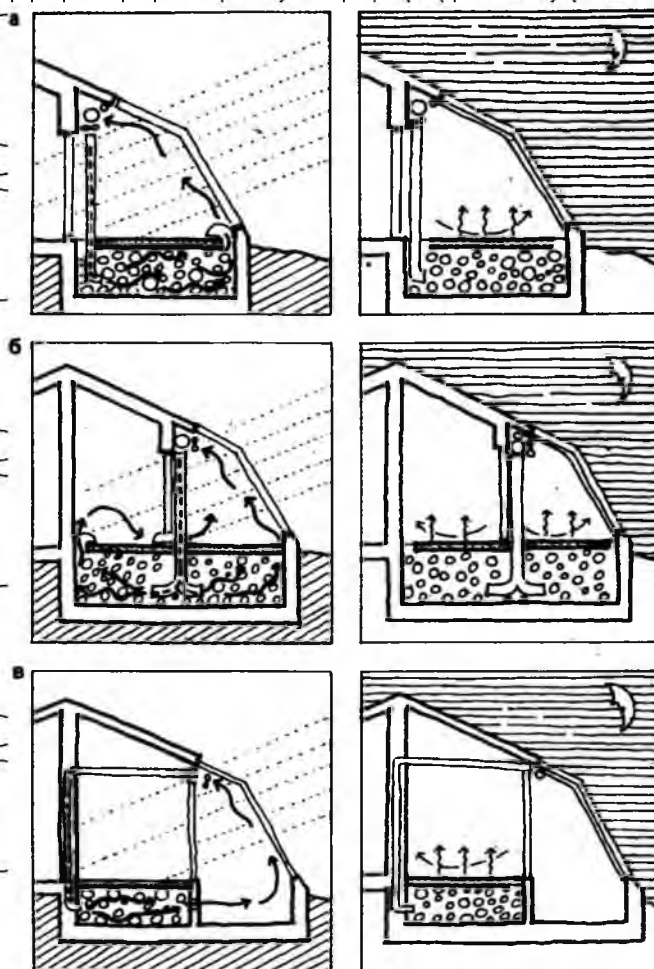


Рис. 12 Тепло накопичується в кам'яному теплоакumuляторі за допомогою вентиляторів, розташованих під підлогою а – кам'яний теплоакumuлятор під теплицею, відкрита циркуляція повітря, б – кам'яний теплоакumuлятор під теплицею і приміщенням, відкрита циркуляція повітря; в – кам'яний теплоакumuлятор під підлогою приміщення, закрита циркуляція повітря

### 1.6. Типи колекторів сонячної енергії.

Основним конструктивним елементом сонячної установки є колектор, в якому відбувається уловлювання сонячної енергії, її перетворення в теплоту та нагрівання води, повітря або будь-якого іншого теплоносія. Розрізняють два типи сонячних колекторів – плоскі та фокусуючі. У плоских

колекторах сонячна енергія поглинається без концентрації, а в фокусуєчих – з концентрацією, тобто зі збільшенням щільності потоку радіації, що надходить. Найбільш поширеним типом колекторів у низькотемпературних

геліоустановках є плоский колектор сонячної енергії (КСЕ). Його робота

васнована на принципі «гарячої скриньки», який легко уявити собі, якщо згадати, як нагрівається на сонці салон закритого автомобіля, який служить своєрідною пасткою для сонячних променів, що надходять до нього через

прозорі поверхні скління. Для того щоб виготовити плоский КСЕ, необхідна

перш за все промене-поглинаюча поверхня, що має надійний контакт з рядом

труб або каналів для руху теплоносія, що нагрівається. Сукупність плоскої

променепоглинаючої поверхні і труб (каналів) для теплоносія утворює єдиний конструктивний елемент – абсорбер. Для кращого поглинання

сонячної енергії верхня поверхня абсорбера повинна бути пофарбована в

чорний колір або повинна мати спеціальне покриття. Зниження теплових втрат від абсорбера до навколишнього простору досягається шляхом застосування теплової ізоляції, що закриває нижню поверхню абсорбера, а

також світлопрозорої ізоляції, що розміщується над абсорбером на певній

відстані від нього. Всі названі елементи поміщаються в корпус і провадиться

уцільнення прозорої ізоляції – скління (рис. 1.18).

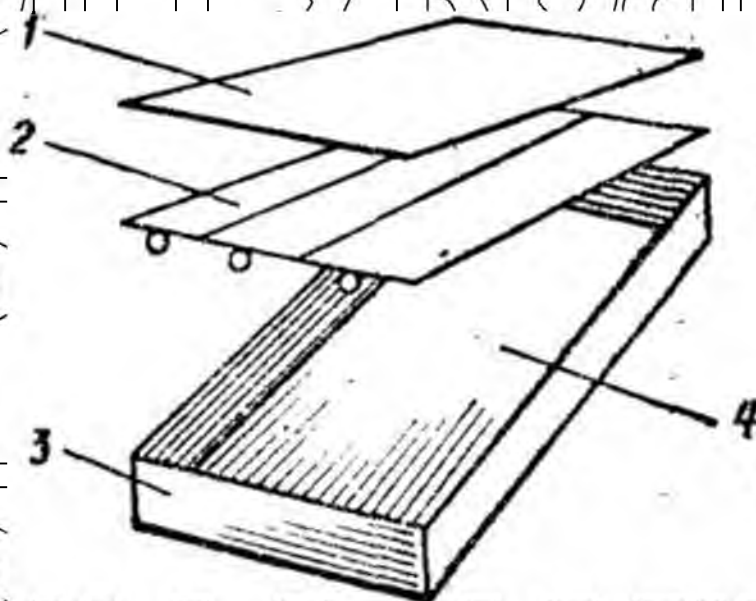


Рис. 1.13. Конструктивні елементи плоского колектора сонячної енергії:

1 – скління; 2 – променепоглинаюча поверхня з трубками для рідини, що нагрівається; 3 – корпус; 4 – теплоізоляція

Таким чином, виходить плоский колектор для нагрівання рідини, загальний вигляд якого показаний на рис. 1.14. Максимальна температура, до якої можна нагріти теплосій у плоскому колекторі, не перевищує  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  і залежить як від кліматичних даних, так і від характеристик колектора та умов його експлуатації. Незважаючи на простоту конструкції, створення хорошого колектора вимагає великого мистецтва. До принципових переваг плоского КСЕ в порівнянні з колекторами інших типів відноситься його здатність вловлювати як пряму (протенисту), так і розсіяну сонячну енергію і як наслідок цього можливість його стаціонарної установки без необхідності стеження за Сонцем.

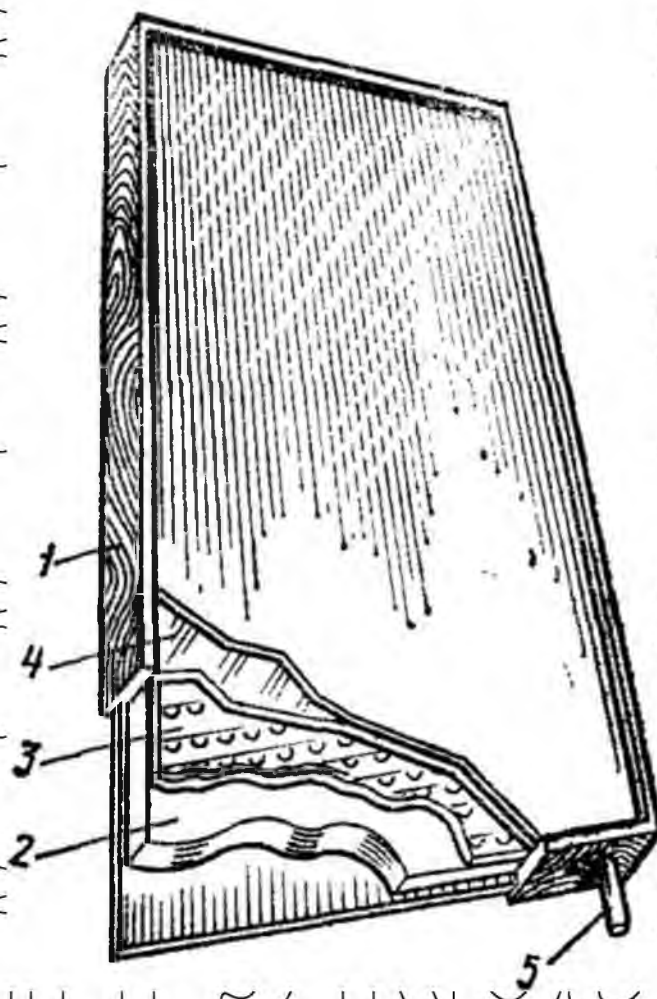


Рис. 1.14. Загальний вигляд плоского колектора сонячної енергії:

1 – корпус; 2 – теплоізоляція; 3 – променепоглинаюча поверхня; 4 – двошарове скління; 5 – патрубок для підведення теплоносія (патрубок для відведення нагрітого теплоносія не показаний)

Абсорбер плоского колектора сонячної енергії, як правило, виготовляється з металу з високою теплопровідністю, а саме зі сталі, алюмінію та навіть з міді. Для низьких робочих температур його можна виготовити з пластмаси або гуми. Прозора ізоляція є один або два шари скла або полімерної плівки. Може використовуватися комбінація із зовнішнього шару скла та внутрішнього шару полімерної плівки. У разі низької температури нагрівання теплоносія (до 30 °С) колектор може зовсім не мати прозорої ізоляції. Корпус колектора може бути виготовлений із оцинкованого заліза, алюмінію, дерева, пластмаси. Як теплова ізоляція можуть застосовуватися різні матеріали: мінеральна вата, пінополіуретан і т.п.

Існують різноманітні конструкції плоских КСЕ. Найбільш широко застосовуються конструкції абсорберів плоских сонячних колекторів. Як поглинач сонячного випромінювання в колекторі типу труба в для рідкого теплоносія використовується ряд паралельних труб діаметром 12...15 мм, припаяних або приварених зверху, знизу або в одній площині до металевого листа і розташованих на відстані 50...150 мм один від одного. Верхні та нижні кінці цих труб приєднуються шляхом паяння або зварювання до гідравлічних колекторів.

У колекторах для нагрівання повітря середовище рухається у просторі, утвореному прозорою ізоляцією та променевсприймаючою поверхнею з металевого листа плоского, з ребрами або гофрованого зі скляних пластин, наполовину зачорнених і наполовину прозорих, і з пористої насадки.

У плоскому КСЕ площа «вікна», через яке сонячна енергія потрапляє всередину колектора, дорівнює площі променепоглинаючої поверхні, і тому щільність потоку сонячної радіації не збільшується. При використанні концентраторів, тобто оптичних пристроїв типу дзеркал або лінз досягається



підвищення щільності потоку сонячної енергії. Це має місце у фокусуючих колекторах сонячної енергії, що потребують спеціального механізму для стеження за Сонцем. Дзеркала – плоскі, параболоїдні або параболо-

циліндричні – їх виготовляють з тонкого металевого листа або фольги або

інших матеріалів з високою відбивною здатністю; лінзи зі скла або пластмас, фокусуючі колектори зазвичай застосовуються там, де потрібні високі температури (сонячні електростанції, печі, кухні тощо). У системах

теплопостачання будівель вони зазвичай не використовуються. Плоскі КСЕ

також можуть бути забезпечені дешевими плоскими відбивачами.

Крім двох основних типів КСЕ – плоских і фокусуючих колекторів розроблені і використовуються скляні трубчасті вакуумовані колектори, сонячні ставки, що представляють собою комбінацію КСЕ і акумулятора

теплоти, і т.п.

Порівняльна характеристика колекторів різних типів дана в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Характеристика основних типів сонячних колекторів

Тип сонячного колектора	Робоча температура, °С	ККД колектора, %	Відносна необхідна площа, %	Стеження за Сонцем
Плоский КСЕ	30-100	30-50	100	Не потрібно
Сонячний ставок	40-100	15-25	130	Не потрібно
Центральний приймач з полем геліостатів	до 1000	60-75	20-40	Обертання в коло двох осей
Параболо-циліндричний концентратор	до 500	50-70	30-50	Обертання в коло однієї осі
Вакуумований скляний трубчастий колектор	90-300	40-60	50-75	Не потрібно

### 1.7. Вакуумовані скляні трубчасті колектори.

Відомо, що підтримка вакууму нижче 1.33 Па в просторі між променепоглинаючою поверхнею абсорбера і прозорою оболонкою поряд з одночасним застосуванням селективних покриттів на поверхні абсорбера істотно підвищує ефективність КСЕ завдяки майже повному виключенню теплових втрат шляхом теплопровідності та конвекції, з одного боку, а також підвищення поглинальної здатності та зниження втрат теплоти шляхом випромінювання, з іншого.

Можливі різні варіанти конструктивного виконання вакуумованих скляних трубчастих колекторів. Деякі їх показано на рис. 1.15 (у розрізі) і 1.16. У середині скляної оболонки 1 з високоякісного боросилікатного скла діаметром 100...150 мм поміщаються трубка для теплоносія, променепоглинаюча поверхня, відбивач. Трубка може мати і-подібну форму (а і в) або є тепловою трубою (б і г). Внутрішній простір оболонки вакуумований. Відбивач може бути виконаний у вигляді фокальної (в), може становити частину оболонки (г) або перебувати у вигляді смуг на бічних стінках вакуумованих труб, що використовуються як прозора ізоляція (д). У конструкції, показаній на рис. 1.15, д, променепоглинаюча поверхня розташована під вакуумованими трубами і надійно з'єднана з трубками для рідини, що нагрівається, поміщеними в теплоізоляцію. Зазвичай модуль колектора включає ряд (до 10) скляних вакуумованих труб, приєднаних до загальної труби, по якій рухається рідина, що нагрівається. Як правило, модуль міститься в теплоізований корпус. У конструктивному відношенні слабким місцем є вузол з'єднань скляних та металевих деталей, що мають різні коефіцієнти лінійного розширення при нагріванні.

Для підвищення ефективності вакуумованих колекторів використовуються селективні покриття, відбивачі та інші. На внутрішню поверхню верхньої частини скляної оболонки наносять покриття, наприклад, діоксиду титану, що має хорошу відбивну здатність для теплового (інфрачервоного) випромінювання і яке впливає коефіцієнт пропускання

короткохвильового сонячного випромінювання. На променепоглинаючу поверхню абсорбера наносять селективне покриття з великою величиною стабільною величиною ступеня селективності, наприклад з чорного хрому,

завдяки чому знижуються оптичні втрати КСЕ та втрати теплоти шляхом

випромінювання та підвищується ККД. Нижня поверхня скляної оболонки

може бути виконана дзеркальною. Поверхня, що відбиває, може бути розміщена під скляною оболонкою на невеликій відстані від неї. Це сприяє

підвищенню ККД сонячного колектора завдяки використанню розсіяного

випромінювання.

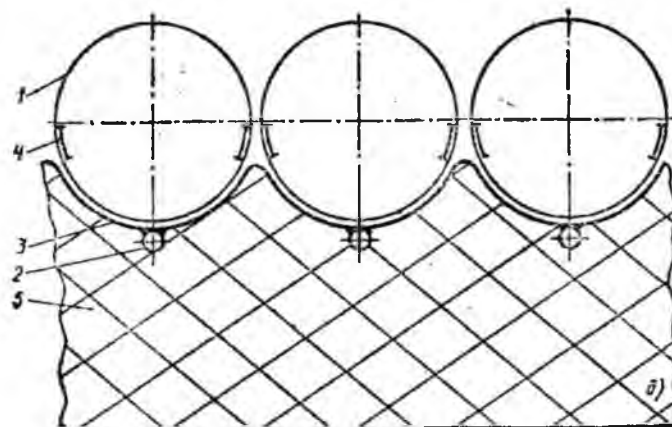
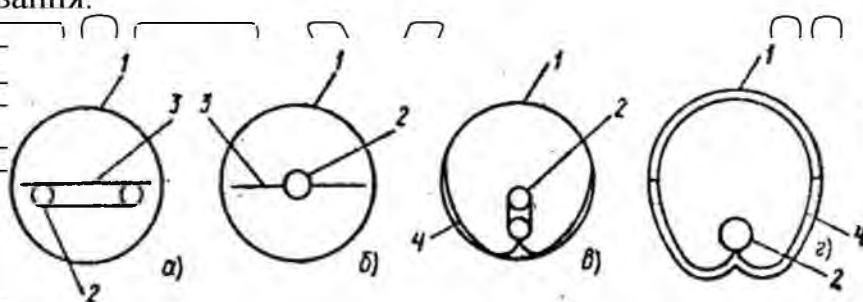


Рис. 1.15. Поперечний переріз вакуумованих скляних трубчастих колекторів:

1 – скляна оболонка; 2 – трубка для рідини, що нагрівається; 3 – променепоглинаюча поверхня; 4 – відбивач; 5 – теплоізоляція



Рис. 1.16. Загальний вид вакуумного сонячного колектору Altek SC-LH3-20. Як теплоносій використовуються різні середовища, зокрема вода, рідини органічних речовин, силіконове масло. Температура нагрівання теплоносія сягає 90...300 °С.

Для сучасних систем теплопостачання теплиць в якості додаткового елемента для нагріву води в системі опалення можна використати вакуумні сонячні колектори, які будуть працювати на підігрів води в теплоаккумуляторі.

#### Висновки за розділом.

**Мета роботи:** забезпечення технологічних норм та стандартів при виробництві продукції в теплицях в зимовий період шляхом удосконалення системи автоматичного керування температурою повітря з використанням акумуляторів теплової енергії обладнаних геліоколектором із використанням комплексу технічних засобів Schneider Electric.

**Об'єктом дослідження** є використання акумулятора теплової енергії з геліоколектором при опаленні теплиці в зимовий період.

**Предметом дослідження** є алгоритм роботи, температурні режими теплиці, процеси акумулювання теплової енергії з використанням геліоколектора.

# НУБІП України

## РОЗДІЛ 2

### ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ТЕПЛИЦІ В ЗИМОВИЙ ПЕРІОД

#### 2.1. Інформаційний аналіз процесу опалення теплиці в зимовий період.

Показником ефективності процесу опалення теплиці в зимовий період є підтримання температури повітря в зоні росту рослин яка визначається нормативними документами (стандартами), як оптимальна для відповідних сортів, видів та часу вегетації рослин. Використовуючи загальний опис процесу опалення теплиці в зимовий період, який розглянули в попередньому розділі, побудуємо інформаційну схему цього технологічного процесу (рис. 2.1).

Основними входними параметрами є температура та вологість повітря в теплиці, від них залежить врожайність відповідних культур. Основним вихідним параметром є температура повітря в зоні розміщення рослин після вентилявання. Збуреннями в даній системі є: температура зовнішнього повітря, швидкість зовнішнього повітря, освітленість, відкриття фрамуг (вентилювання), зволоження повітря, температура ґрунту, зростання рослин яке призводить до підвищення їх температури та вологості повітря.



Рис. 2.1. Схема інформаційних потоків в теплиці в зимовий період

## 2.2. Моделювання динаміки акумуляторів теплової енергії, як об'єктів керування.

Низькотемпературна теплота являє основну частину енергії, яка споживається у стаціонарних процесах агропромислового виробництва. Для теплопостачання виробничих приміщень найбільш доцільна низькопотенційна теплота (будь якого походження) попередньо утилізована в теплових акумуляторах. При використанні теплоти низьких температур (30...90 °С) її вигідно накопичувати у формі теплоти в акумуляторах із твердим або рідким теплоакумуючим наповнювачем. Акумулятори теплоти являють собою ємність, теплоізольовану від оточуючого середовища, в якій розміщено теплоакумуючий матеріал у твердому стані (щебінь, пісок, галька) або рідкому стані (вода, розсіл). Найбільше поширення в аграрному виробництві набули рідинні (водяні) акумулятори теплоти.

Перевага рідинних акумуляторів полягає в тому, що теплоакумуюча рідина може трансформувати теплоту до споживача, без проміжного теплоносія, що виключає додаткові затрати і втрати енергії.

Для автоматизації режимів теплопостачання виробничих об'єктів з використанням короткочасно-періодичного накопичення теплової енергії необхідно мати адекватний математичний опис системи акумуляції теплоти.

Існуючі математичні моделі представляють рідинний теплоаккумулятор, як одноємнісний об'єкт, не розділяючи режими заряджання (накопичення теплоти) і розряджання теплоакумуючої ємності. Незважаючи на простоту задач моделювання вони є досить актуальні, для синтезу і аналізу систем автоматизації режимів теплопостачання технологічних об'єктів.

Обґрунтування доцільності використання короткочасного та довгострокового акумулявання низькотемпературної теплової енергії в системах теплопостачання виробничих і побутових приміщень, а також методи розрахунків наведено у фундаментальній праці [1]. Задачі і можливості використання теплових акумуляторів, їх класифікація, види

конструкцій і розрахунки досить детально висвітлені в роботах [2-6]. В роботі [7] розглянуто можливості використання акумулювання теплоти в спорудах закритого ґрунту. В роботі [8] проаналізовано роботу електронагрівача-акумулятора в режимі розрядження при змінній в часі температурі атмосферного повітря. В роботі [9] наведено моделі рідинного і ґрунтового теплоакумуляторів. В роботі [10] наведено модель ґрунтового теплоакумулятору для теплиці. В загальному плані для різних задач використовують різні форми розрахунку теплоакумулятору.

Водяні акумулятори ємнісного типу найбільш розповсюджені в системах сонячного опалення та гарячого водопостачання, що пов'язано із суміщенням функцій теплоакумуляторної речовини і теплоносія. Такі акумулятори являють собою теплоізований бак з водою, нагрівання якої здійснюється від теплообмінника, по якому протікає нагрітий теплоносій з контуру теплоколектору.

Для підвищення ефективності використання теплового водяного акумулятора необхідно зменшувати втрати теплоти у зовнішнє середовище тому бак має мати теплоізоляцію корпусу. В більшості випадків баки мають циліндричну форму із співвідношенням висоти до діаметра  $H/D^{-1} = 3...5$ . У випадку коли в контурі сонячного колектору циркулює антифриз, для нагріву води використовують теплообмінники розділяючи теплоносій з водою в акумуляторі. При витратах теплоносія більш як 2000 кг/год рекомендують [11] застосовувати водо-водяні секційні теплообмінники (змійовикові ємності теплообмінники), а при менших витратах – «швидкі» теплообмінники типу «труба в трубі», які працюють за протитічовою схемою.

Схеми теплоакумуляуючих рідинних систем наведено на рис. 2.2.

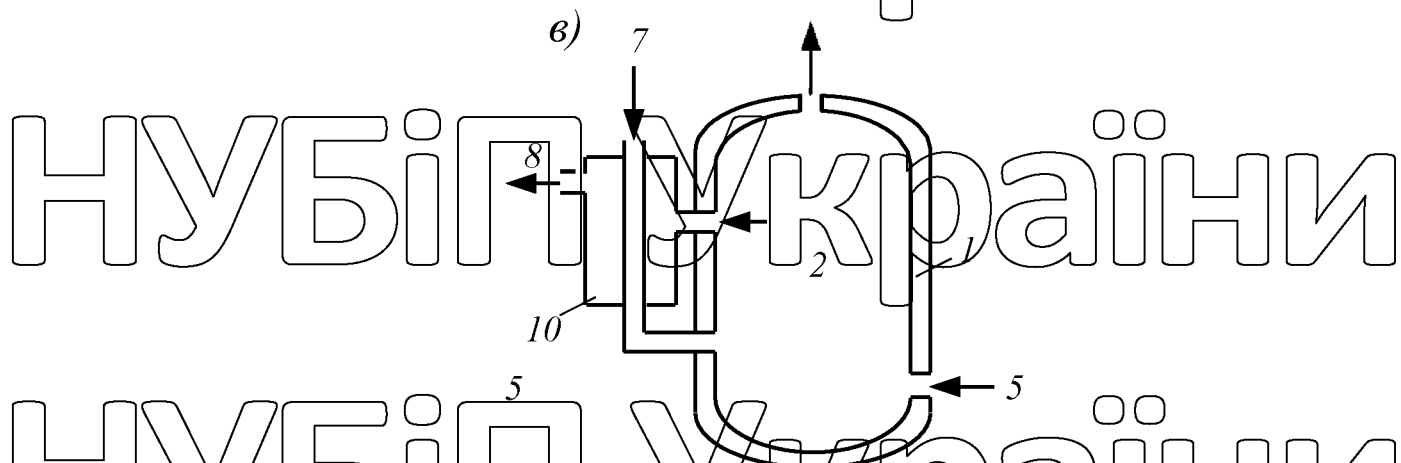
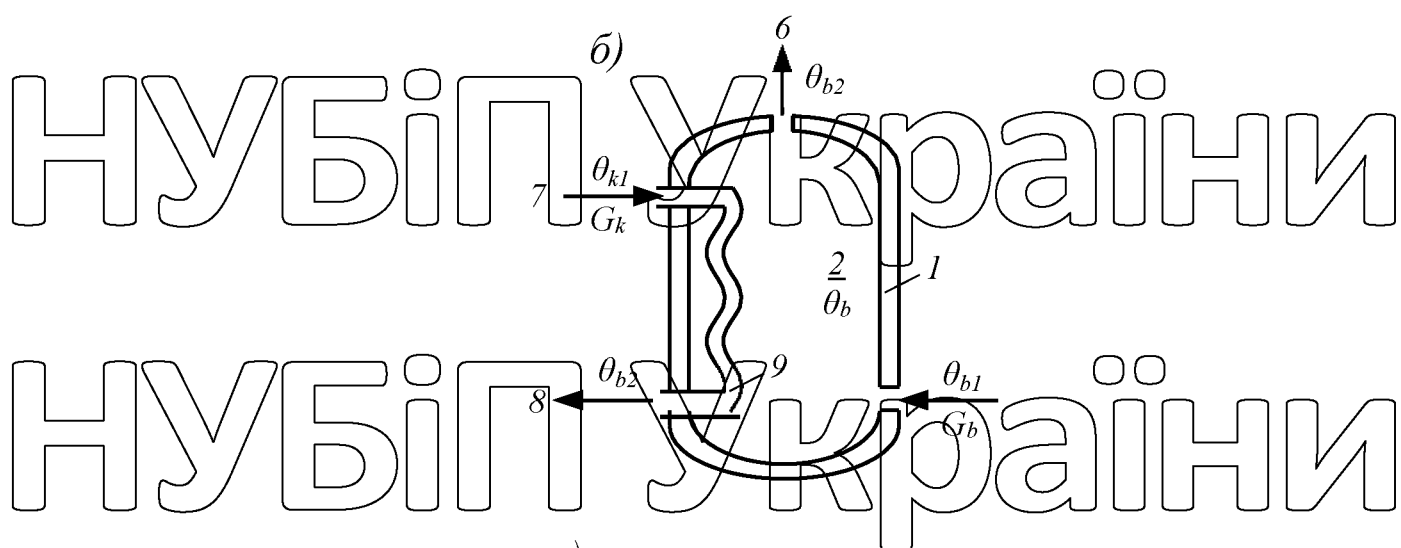
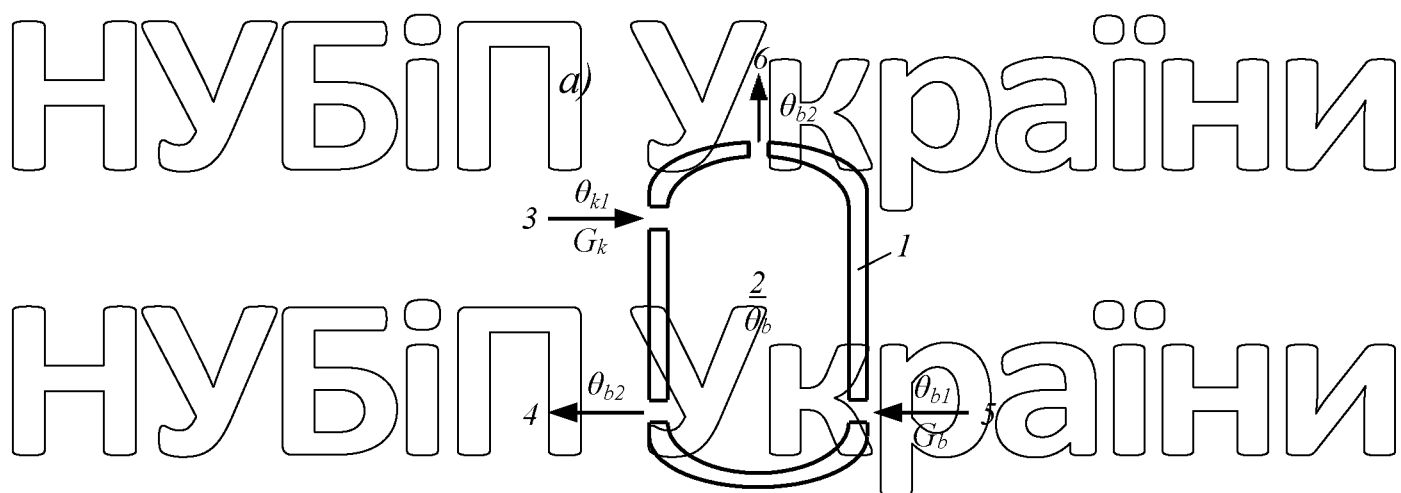


Рис. 2.2. Схеми бак акумуляторів теплоти (нагрітої води): 1 – теплоізований корпус; 2 – вода; 3 – підведення нагрітої в геліоколекторі води; 4 – відведення води в колектор; 5 – підведення холодної води; 6 – відведення нагрітої води; 7 – підведення теплоносія (антифриз) до бака від колектора; 8 – відведення теплоносія в колектор; 9 – секційний змійовиковий теплообмінник; 10 – проточний теплообмінник «труба в трубі»



В існуючих теплових розрахунках бака акумулятора, останній представлено, як одноємнісний об'єкт [1, 6, 11] при наявності теплоізоляції, та супутньої арматури корпус має значну теплову інерцію, яку не можна нехтувати в нестационарних процесах.

Математичну модель визначимо, як двоємнісний об'єкт із зосередженими параметрами.

В бак подається вода з колектору з температурою  $\theta_k$ , та від системи водоспоживання (гарячого)  $\theta_{w1}$ , а з бака виводиться зворотна вода в колектор та споживачу  $\theta_{b2}$ ; якщо надходження теплоти з колектора більше витрат споживача, тепло накопичується та температура води збільшується. Частина тепла передається від поверхні ізоляції в оточуюче середовище.

Рівняння теплового балансу для води в ємності бака:

$$m_b c_b \frac{d\theta_{b2}}{d\tau} = G_k c_k \theta_{k1} + G_w c_w \theta_{w1} - (G_k c_k + G_w c_w) \theta_{b2} + \alpha^v F_k (\theta_k - \theta_{b2}), \quad (2.1)$$

$$m_k c_k \frac{d\theta_k}{d\tau} = \alpha^v F_k (\theta_{b2} - \theta_k) + \alpha^z F_z (\theta_k - t_z), \quad (2.2)$$

де  $m_b c_b, m_k c_k$  – маса та питома теплоємність води в ємності і матеріалу корпусу ємності;

$G_k, G_w$  – масові витрати води через колектор, та споживачем гарячої води;

$\theta_{k1}, \theta_{b1}$  – температура на виході колектора та холодної води на підігрів;

$t_z$  – температура зовнішнього середовища;

$\theta_{b2}$  – температура на виході з бака;

$\bar{\theta}_b = 3^{-1}(\theta_{k1} + \theta_{b1} + \theta_{b2})$  – середня температура води в ємності бака;

$\alpha^v, \alpha^z, F_k, F_z$  – коефіцієнт теплообміну із внутрішньою  $F_v$  та зовнішньою  $F_z$  поверхнями.

Для спрощення моделі можна масу корпусу віднести до маси води в об'ємі бака, тоді динаміку зміни температури води в акумуляторі можна визначити одним рівнянням:

$$(m_b c_b + m_k c_k) \frac{d\theta_{b2}}{d\tau} = G_k c_k \theta_{k1} + G_w c_w \theta_{w1} - (G_k + G_w) c_w \theta_{b2} + kF(\theta_b - t_z), \quad (2.3)$$

де  $k = \left( \frac{1}{\alpha_w} + \frac{\delta}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_z} \right)^{-1}$  – коефіцієнт теплопередачі від води до

зовнішнього середовища;

$\delta, \lambda_i$  – товщина теплоізоляції та коефіцієнт теплопровідності ізоляції.

Розглянутий варіант акумулятора використовують в системах сонячного гарячого водопостачання для попереднього нагріву води.

В двоконтурних системах сонячного опалення та гарячого водопостачання використовують геліоколектори з антифризом, а нагрів води в теплоаккумуляторній ємності реалізують з використанням теплообмінників (рис. 2.1,б,в).

В таких пристроях в бак акумулятор із теплообмінником має чотири теплових ємності: корпус бака, рідина, стінки теплообмінника, теплоносій в трубах. Для спрощення моделі (зниження порядку) можна віднести теплоємність трубок до теплоємності теплоносія в об'ємі трубок, а масу корпусу до маси рідини в ньому. Розрахункова схема бака з теплообмінником наведена на рис. 2.3.

Модель бака акумулятора з теплообмінником, що функціонує в режимі нагріву без відбору теплоти складено для двох теплоінерційних елементів:

трубчастого теплообмінника з теплоносієм:

$$(m_{mp} c_{mp} + m_m c_m) \frac{d\theta_{m2}}{d\tau} = G_m c_m (\theta_{m1} - \theta_{m2}) - k_{mp} F_{mp} (\theta_m - \theta_{ap}), \quad (2.4)$$

# НУБІП України

бака з теплоакumuлюючою рідиною.

$$(m_b c_b + m_{ap} c_{ap}) \frac{d\theta_{ap}}{dt} = k_{mp} F_{mp} (\bar{\theta} - \theta_{ap}) - k_b F_b (\theta_{ap} - t_z), \quad (2.5)$$

# НУБІП України

де  $m_{mp}, m, m_b, m_{ap}$  – маса труб, теплоносія в трубах, бака, теплоакumuлюючої рідини (вода);

# НУБІП України

$c_{mp}, c_m, c_b, c_{ap}$  – питома теплоємність труб, теплоносія в трубах, бака, теплоакumuлюючої рідини (вода);  
 $G_m$  – масова витрата теплоносія;

$k_{mp}, k_b$  – коефіцієнти теплопередачі від теплоносія до рідини в баку та

# НУБІП України

від рідини в баку до зовнішнього середовища;  
 $F_{mp}, F_b$  – поверхня труб і бака;  
 $\theta_{m1}, \theta_{m2}, \theta_m$  – температура теплоносія на вході, виході і середня (

$$\bar{\theta}_m = 0.5(\theta_{m1} + \theta_{m2}));$$

# НУБІП України

$t_z$  – температура оточуючого середовища.

# НУБІП України

# НУБІП України

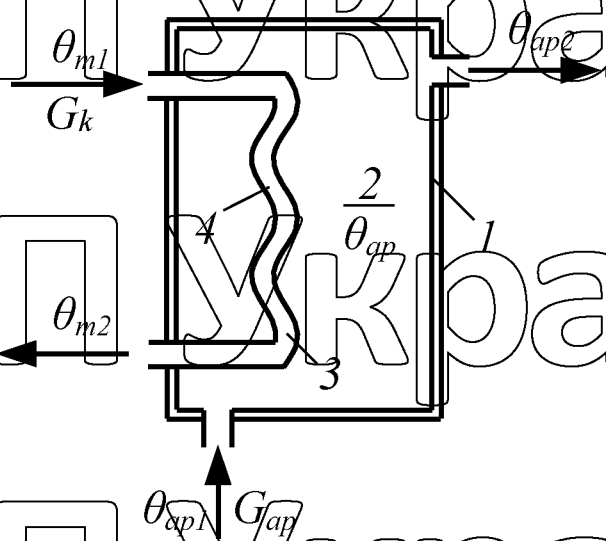


Рис. 2.3. Розрахункова схема бака акумулятора з вмонтованим змішувковим теплообмінником: 1 – корпус бака; 2 – теплоакumuлююча рідина; 3 – труба теплообмінника; 4 – теплоносій в трубі

Якщо бак акумулятор працює в режимі відбору теплоти, тобто в режимі кожухо-трубного теплообмінника, рівняння теплового балансу для бака акумулятора набуває вигляду.

$$(m_b c_b + m_{ap} c_{ap}) \frac{d\theta_{ap2}}{d\tau} = G_{ap} c_{ap} (\theta_{ap1} - \theta_{ap2}) +$$
(2.6)

де  $G_{ap}$  – масові витрати теплоакumuлюючої речовини (вода);

$\theta_{ap1}, \theta_{ap2}, \bar{\theta}_{ap}$  – температура теплоакumuлюючої рідини на вході, виході бака та середнє значення ( $\bar{\theta}_{ap} = 0.5(\theta_{ap1} + \theta_{ap2})$ ).

Отримана система лінійних диференціальних рівнянь (2.4), (2.6) визначає зміну в часі температури трубчастого теплообмінника з теплоносієм  $\theta_{m2}(\tau)$  і теплоакumuлюючої рідини на виході з бака  $\theta_{ap2}(\tau)$ .

### 2.3. Аналіз динаміки та визначення передатної функції температури повітря в теплиці

Спрощена фізична модель опалення теплиці в зимовий період з використанням трубно-водяного опалення зображена на рис. 2.4 та виконана з використанням навчальний матеріалів Б. Котова.

Згідно прийнятої технологічної схеми трубно-водяного опалення теплиці в зимовий період, труба опалення знаходиться в повітряному просторі який активно переміщується за об'ємом теплиці. Теплиця в зимовий період ззовні омивається повітрям з температурою  $t_z$ . По трубі подається теплоносій у вигляді гарячої води зі швидкістю  $v_m$  і масовими витратами  $G_w$ .

з температурою  $\theta(x,t)$ , що змінюється за довжиною труби. Тепло від теплоносія передається конвекцією до стінки труби. Від стінки труби нагрівається повітря в теплиці в зимовий період  $t_v$ .

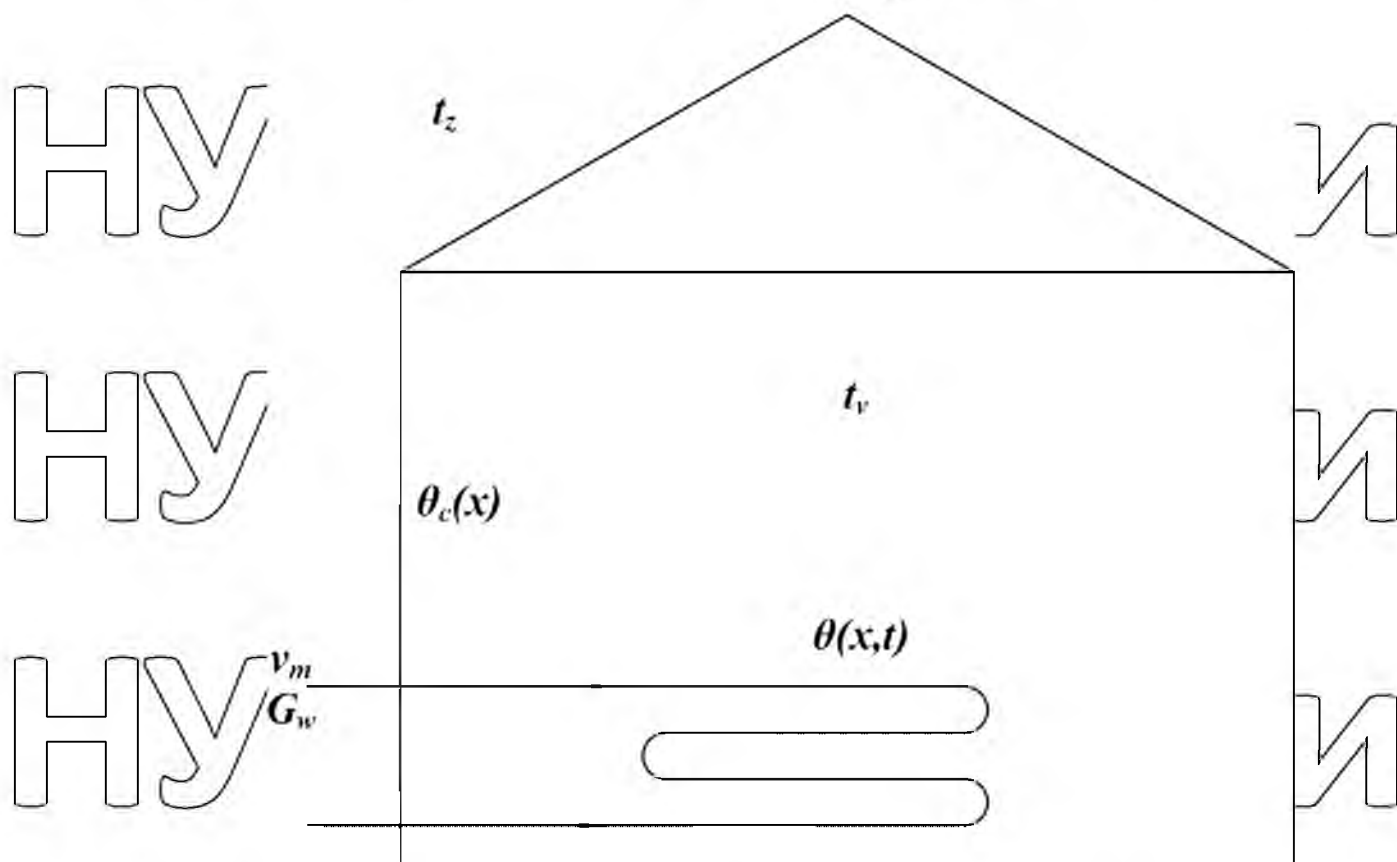


Рис. 2.4. Технологічна схема трубо-водяного опалення теплиці в зимовий період

Для подання математичної моделі трубо-водяного опалення теплиці в зимовий період використаємо систему диференціальних рівнянь.

Прийmemo наступні спрощення:

- теплофізичні властивості середовища і матеріалу труби від температури не залежить і в часі не змінюється;
- усі види теплообміну (складного) враховуються коефіцієнтами тепловіддачі і теплопередачі, які в часі не змінюються і визначаються як середні за час перехідного процесу;
- акумуляція теплоти відбувається в масі води, труби і повітря, тобто об'єкт моделювання має три динамічні ємності;

температура стінки труби має однакову по товщині температуру.  
Розглянемо теплові баланси процесу теплопередачі на основі  
сформульованих різних уявлень і прийнятих припущень. Для статичного

режиму рівняння теплового балансу елементарної ділянки  $dx$  для теплоносія

в трубі можна записати:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0. \quad (2.7)$$

Опишемо складові рівняння (2.7):

– теплота, що надходить в об'єм труби  $S_c$  з теплоносієм:

$$Q_1 = G_w c_w \theta_1(x_1), \quad (2.8)$$

– теплота, що передається теплоносієм до стінки труби:

$$Q_2 = \alpha_b f_b^x (\theta(x) - \theta_c(x)) dx, \quad (2.9)$$

– теплота, яку виносить теплоносій із елементарної ділянки  $dx$ :

$$Q_3 = G_w c_w \left( \theta(x) - \frac{\partial \theta(x)}{\partial x} dx \right). \quad (2.10)$$

Для елемента стінки труби на ділянці  $dx$ :

$$Q_4 - Q_5 = 0. \quad (2.11)$$

Опишемо складові рівняння (2.11):

– теплота яку отримує стінка труби від теплоносія:

$$Q_4 = \alpha_b f_b (\theta_c(x) - \theta_c(x)) dx, \quad (2.12)$$

– теплота яку віддає стінка у повітряний об'єм теплиці:

$$Q_5 = \alpha_z f_z (\theta_c(x) - t_v) dx, \quad (2.13)$$

Для повітря в об'ємі теплиці на елементарній ділянці  $dx$ :

$$Q_6 - Q_7 = 0. \quad (2.14)$$

Опишемо складові рівняння (2.14):

– теплота яку отримує повітря від зовнішньої поверхні стінки труби:

$$Q_6 = \alpha_z f_z^x (\theta_c(x) - t_v) dx, \quad (2.15)$$

– теплота яка витрачається через огороження теплиці в зимовий період в зовнішнє середовище:

$$Q_7 = k_z F_z^x (t_v - t_z) dx \quad (2.16)$$

Якщо порушується стаціонарний режим то відбувається зміна ентальпії в рівняннях (2.7), (2.11) та (2.14):

– для елементарної ділянки  $dx$  для теплоносія в трубі:

$$m_w^x c_w \frac{\partial \theta}{\partial \tau} dx; \quad (2.17)$$

– для елемента стінки труби на ділянці  $dx$ :

$$m_c^x \frac{\partial \theta_c}{\partial \tau} dx; \quad (2.18)$$

– для повітря в об'ємі тентлиці в зимовий період на елементарній ділянці  $dx$ :

$$m_v^x c_p \frac{\partial t_v}{\partial \tau} dx \quad (2.19)$$

Підставляючи визначені складові в рівняння (2.7), (2.11) та (2.14) з

урахуванням (2.17) – (2.19) маємо:

$$m_w^x c_w \frac{\partial \theta}{\partial \tau} + G_w c_w \alpha \frac{\partial \theta}{\partial x} = \alpha_b f_b (\theta - \theta_c) - \alpha_z f_z (\theta - t_v); \quad (2.20)$$

$$m_c^x c_c \frac{\partial \theta_c}{\partial \tau} = \alpha_b f_b (\theta - \theta_c) - \alpha_z f_z (\theta_c - t_v); \quad (2.21)$$

$$m_v^x c_p \frac{\partial t_v}{\partial \tau} = \alpha_z f_z (t_v - \theta_c) - k_z F_z (t_v - t_z). \quad (2.22)$$

де  $m_w^x$  – маса води на одиницю довжини однієї труби, кг/м;

$m_c^x$  – маса труби на одиницю довжини однієї труби, кг/м;

$m_v^x$  – маса повітря на одиницю довжини однієї труби, кг/м;

$f^x$  – поверхня теплообміну на одиницю довжини м<sup>2</sup>/м;

$f_b$  – поверхня труби внутрішня, м<sup>2</sup>;

$f_z$  – поверхня труби зовнішня, м<sup>2</sup>;

$F_z$  – поверхня огороження, м<sup>2</sup>;

$G_w$  – витрати теплоти кг/с;

$c_w$  – питома теплоємність води, Дж/кг·°С;



$c_c$  – питома теплоємність матеріалу труби, Дж/кг·°С;

$c_p$  – питома теплоємність повітря, Дж/кг·°С;

$\alpha_b$  – коефіцієнт теплообміну стінки з теплоносієм, Вт/м<sup>2</sup>·°С;

$\alpha_z$  – коефіцієнт теплообміну теплоносія і повітря, Вт/м<sup>2</sup>·°С;

$k_z$  – коефіцієнт теплопередачі крізь огородження, Вт/м<sup>2</sup>·°С;

$\theta$  – температура теплоносія, °С;

$\theta_c$  – температура стінки труби, °С;

$t_z$  – температура зовнішнього середовища, °С.

Система рівнянь (2.20) – (2.22) є математичним описом динаміки теплових процесів в теплиці із трубно-водяним обігрівом теплиці в зимовий період. Тобто об'єкт з розподіленими параметрами представляємо математичну, як об'єкт із зосередженими параметрами.

Використовуючи рівняння (2.20) – (2.22) отримаємо розгінну характеристику температури повітря в об'ємі теплиці в зимовий період при трубно-водяному опаленні (рис. 2.5). Всі розрахунки проведено в математичному пакеті MathCAD.

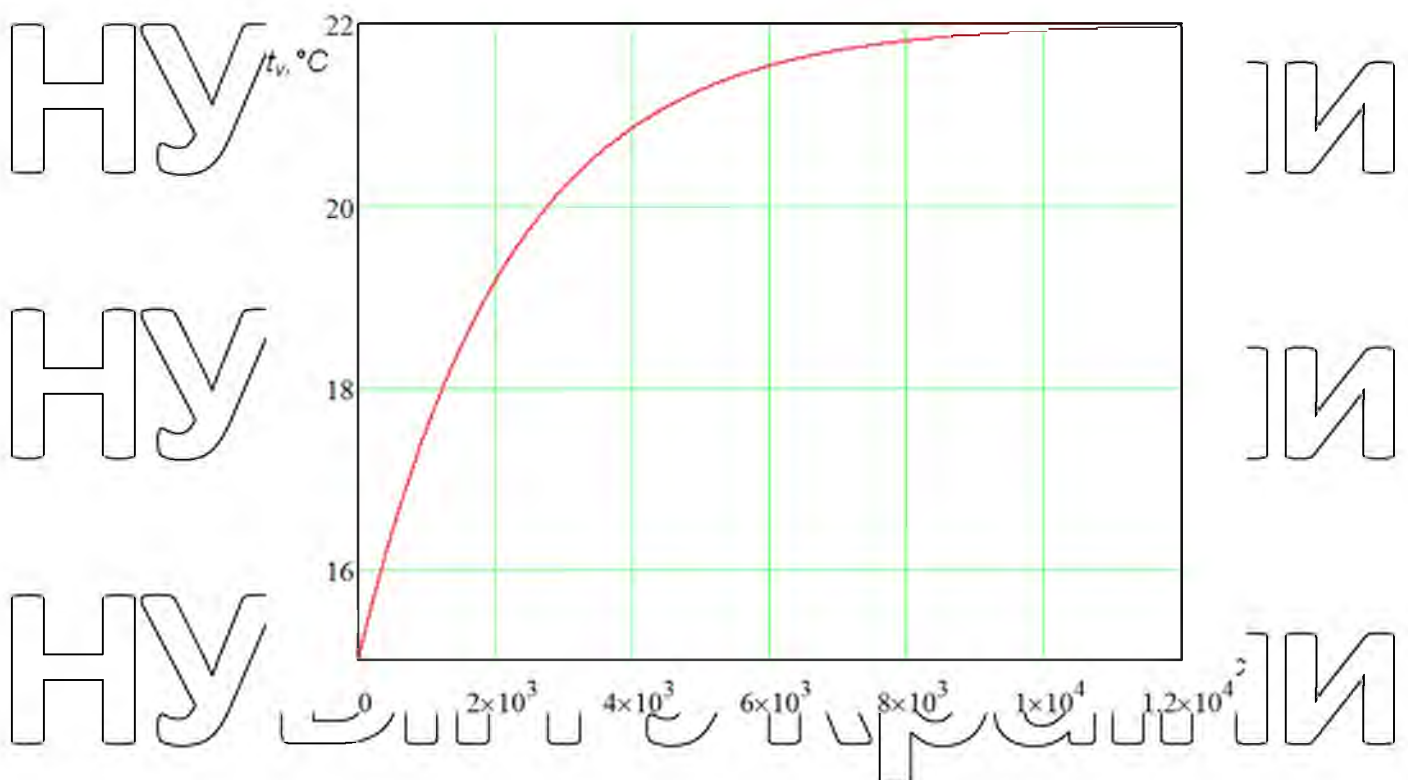


Рис. 2.5. Розгінна характеристика при трубно-водяному опаленні теплиці в зимовий період.

Використовуючи математичний процесор MATLAB/Simulink

проведемо дослідження отриманої математичної моделі теплообмінних процесів при опаленні теплиці в зимовий період (рис. 2.6.).

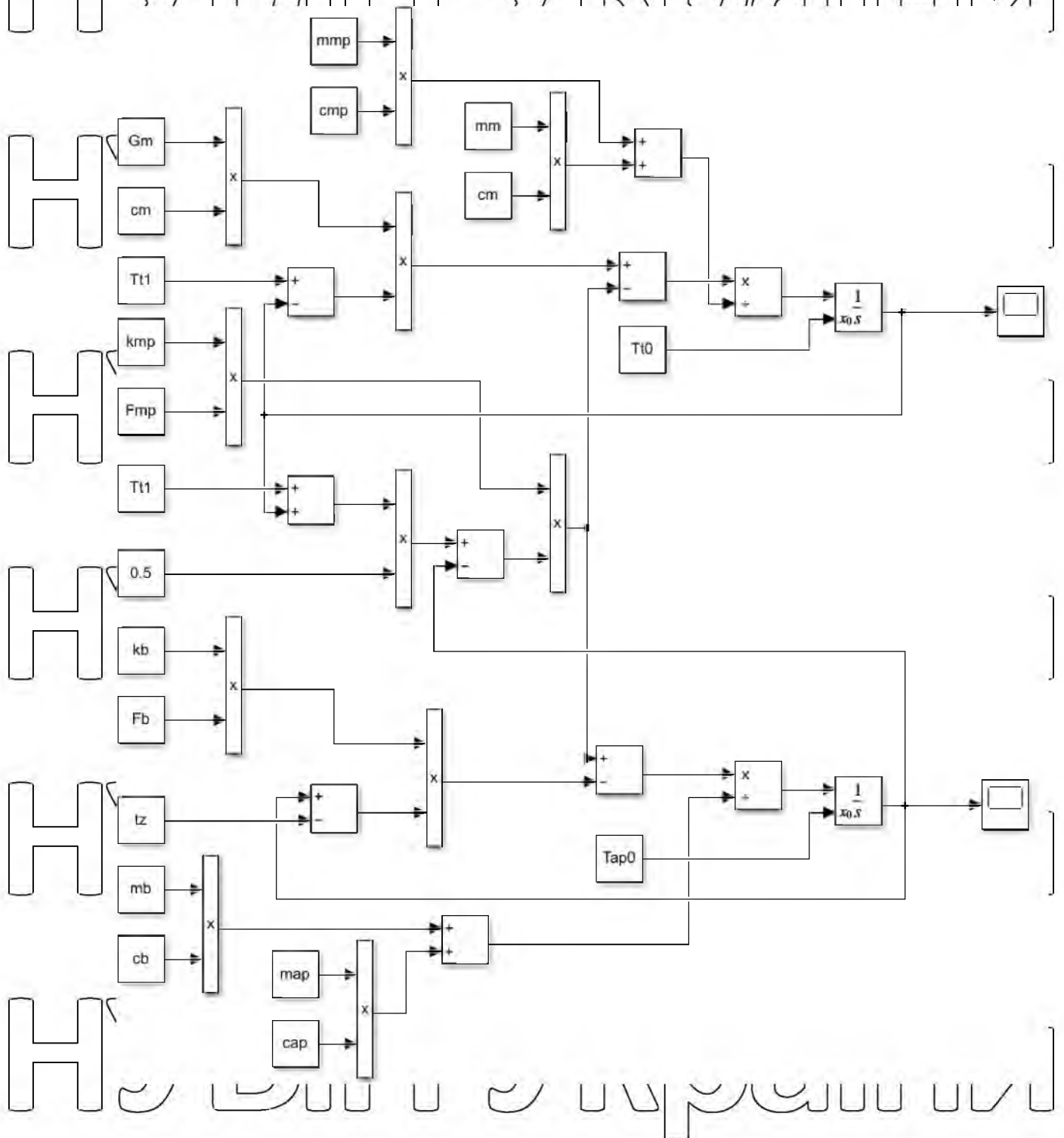


Рис. 2.6. Математична модель теплообмінних процесів при опаленні теплиці в зимовий період в MATLAB/Simulink

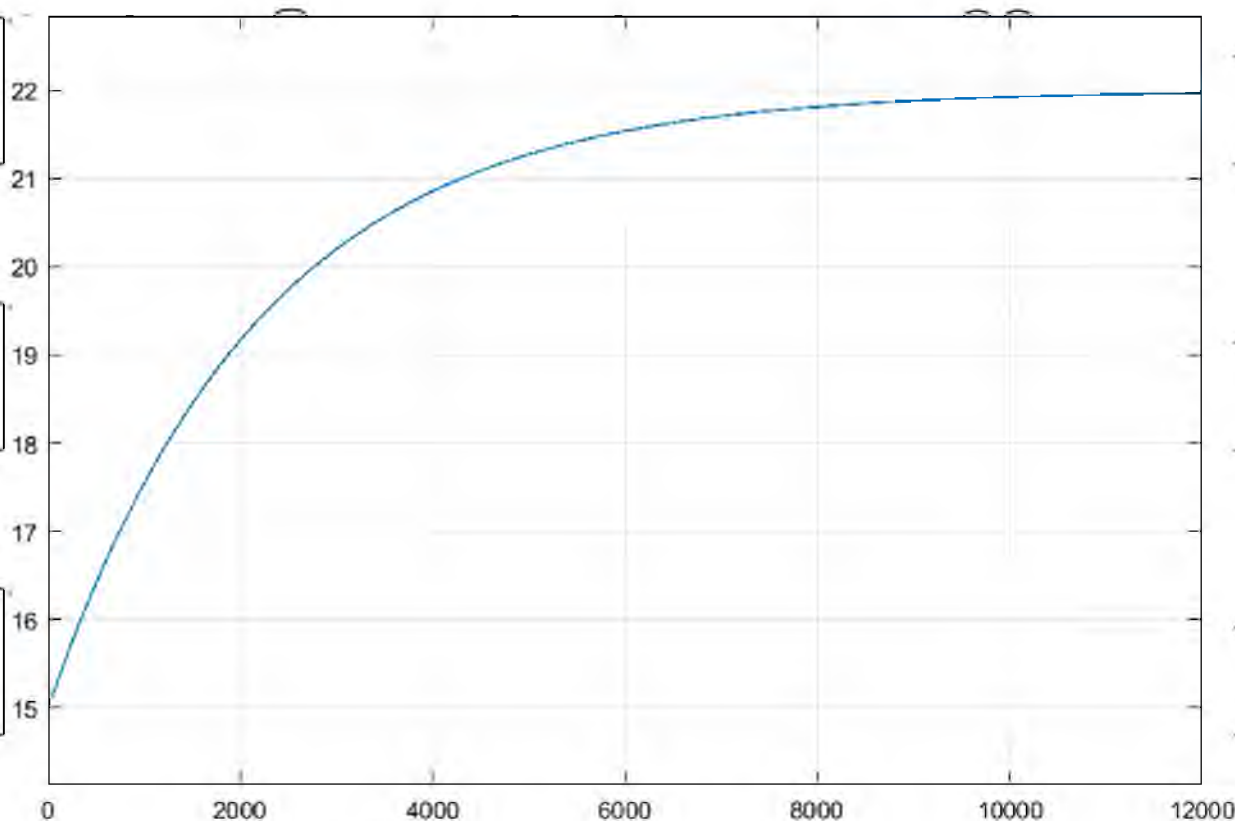


Рис. 2.6. Динамічна характеристика зміни температури повітря в шапці теплиці в MATLAB/Simulink

#### 2.4. Визначення передатної функції об'єкта керування

Для побудови нормованої розгінної характеристики при опаленні теплиці в зимовий період, як об'єкта автоматизації, скористуємось формулою для розрахунку нормованої кривої розгону:

$$y_0(t) = \frac{y(t) - y(0)}{y(\infty) - y(0)}, \quad (2.23)$$

де  $y(t)$  – значення напору за час  $t$ , м;

$y(0)$  – значення напору за час  $t=0$ , м;

$y(\infty)$  – значення напору за час  $t = \infty$ , м.

Використовуючи данні отриманої розгінної характеристики при опаленні теплиці в зимовий період (рис. 2.6) будуємо графік нормованої розгінної характеристики об'єкта керування (рис. 2.7).

Передатну функцію об'єкту керування визначаємо згідно розгінної характеристики при опаленні теплиці в зимовий період.

Передатна функція при опаленні теплиці в зимовий період, як статичного об'єкта керування має вид:

$$W_{ok}(p) = \frac{k_{ok} \cdot e^{-p \cdot \tau_{ok}}}{T_{ok} \cdot p + 1}, \quad (2.24)$$

де  $k_{ok}$  – коефіцієнт передачі об'єкта керування;

$T_{ok}$  – постійна часу об'єкта керування, с;

$\tau_{ok}$  – час запізнення об'єкта керування, с.

Постійна часу об'єкта керування та час запізнення визначається графічно, з нормованої розгінної характеристики (рис. 2.7):  $\tau_{ok} = 0$  с;

$$T_{ok} = 2500.$$

Коефіцієнт передачі об'єкта керування визначається, як відношення приросту температури до приросту подачі теплоносія (зміни кута повороту триходового клапану для подачі теплоносія в магістраль опалення або в буферну ємність) вираженої як відведена теплова потужність:

$$k_{ok} = \frac{\Delta G}{\Delta T} = \frac{11}{25} = 0.44.$$

Запишемо рівняння передатної функції (2.28) температури повітря в об'ємі теплиці при опаленні в зимовий період з врахуванням отриманих значень:

$$W_{ок} = \frac{0.44}{2500p+1} \quad (2.25)$$

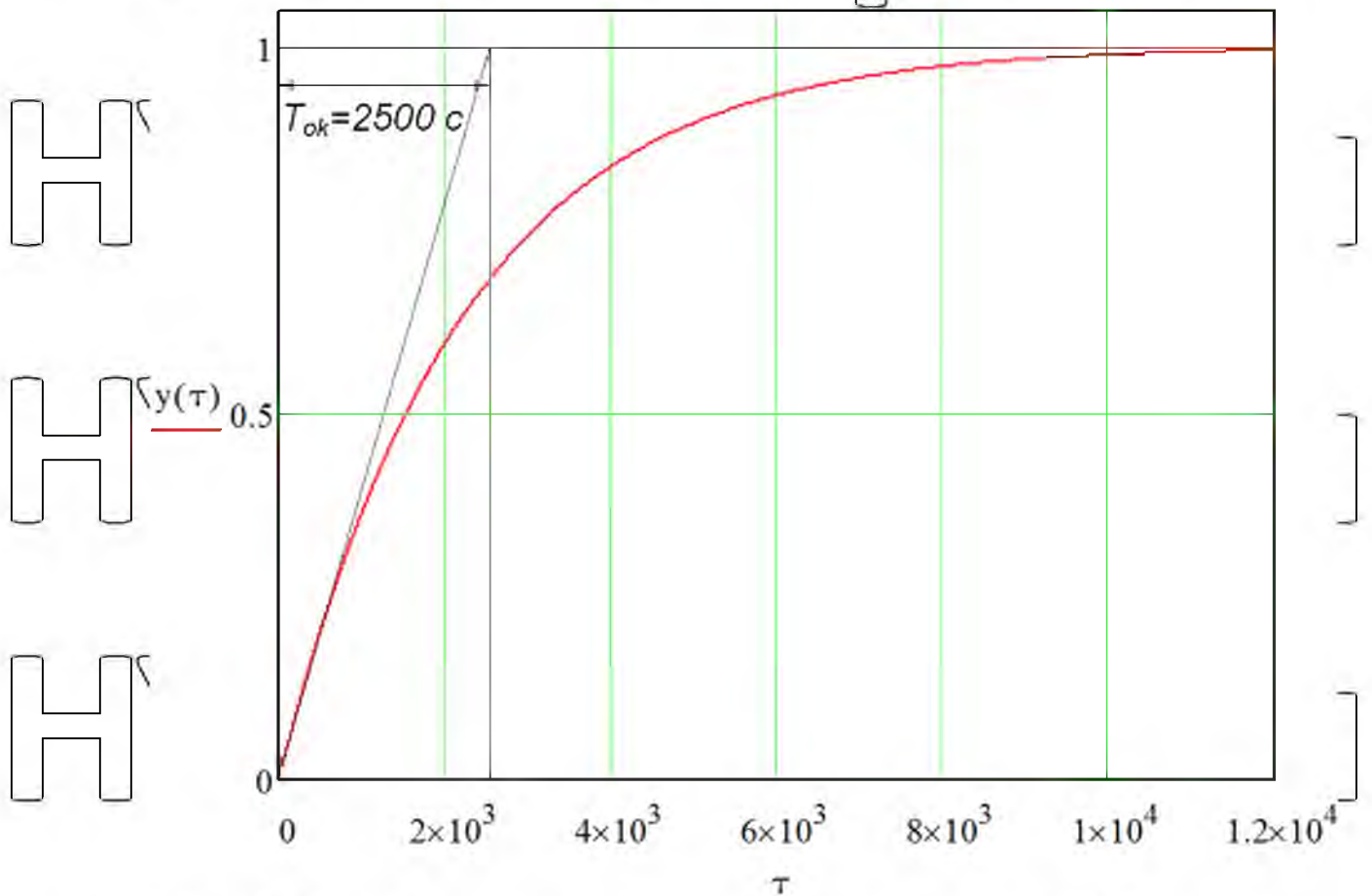


Рис. 2.7. Нормована розпінна характеристика теплиці із трубо-водяним обігрівом в зимовий період (об'єкта керування)

НУБІП України

# НУБІП України

## РОЗДІЛ 3

### ВИБІР РЕГУЛЯТОРА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЙОГО НАЛАШТУВАНЬ

При розробці функціональної схеми використовуємо ГОСТ 21 404-85 СІДС. «Автоматизація технологічних процесів. Позначення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах».

Згідно технічного завдання функціональна схема розробляється для опалення теплиці в зимовий період та передбачає наявність одного контуру керування подачею води в труби для опалення теплиці в зимовий період та системою розподілення теплоносія рівномірно в об'ємі труб опалення розташованих під шатром теплиці (рис. 1.9).

На функціональній схемі САК температурою повітря у теплиці в зимовий період наведено схему яка передбачає використання промислового програмованого логічного контролера який буде виконувати операції в автоматичному режимі (рис. 3.1). Для вимірювання температури повітря в теплиці використовуються датчики TE1 та TE3, що передають значення до програмованого логічного контролера ПІСА який усереднює їх та відповідно до заданого значення з використанням насоса для води NS8 подає гарячу воду в систему опалення. Регулювання температури відбувається завдяки триходовому вентилю NS10, який відкриває подачу гарячої води в систему опалення та обернено в акумулятор. Додатково встановлено датчик температури теплоносія на вході в систему опалення TE2. Одночасно працює відповідний контур системи автоматичного керування тиску води в системі опалення, що включає датчика тиску PE7 який передає інформацію про тиск до частотного перетворювача NS8 який керує насосним агрегатом з використанням вбудованого ПІД-регулятора, який стабілізує тиск в системі опалення. Регулювання зональності опалення відбувається за допомогою засувок обладнаних сервоприводом NS12...NS22. Для зменшення

використання умовного палива на обігрів теплиці в зимовий період встановлено водяний вакуумний геліонагрівач, який має замкнену систему, та для тепловіддачі застосовується теплообмінник, що встановлено в баку акумуляторі.

Система контролю реалізується загальним контролером TICA

до якого приєднані датчики температури: TE4 – температури води на виході геліоколектора; TE5 – температури води в баку акумулятора; TE6 – температури води на вході в геліоколектор. Керування здійснюється за

рахунок зміни масової витрати води через геліоколектор шляхом зміни положення засувки NS11, тиск води на яку створює насос NS9.

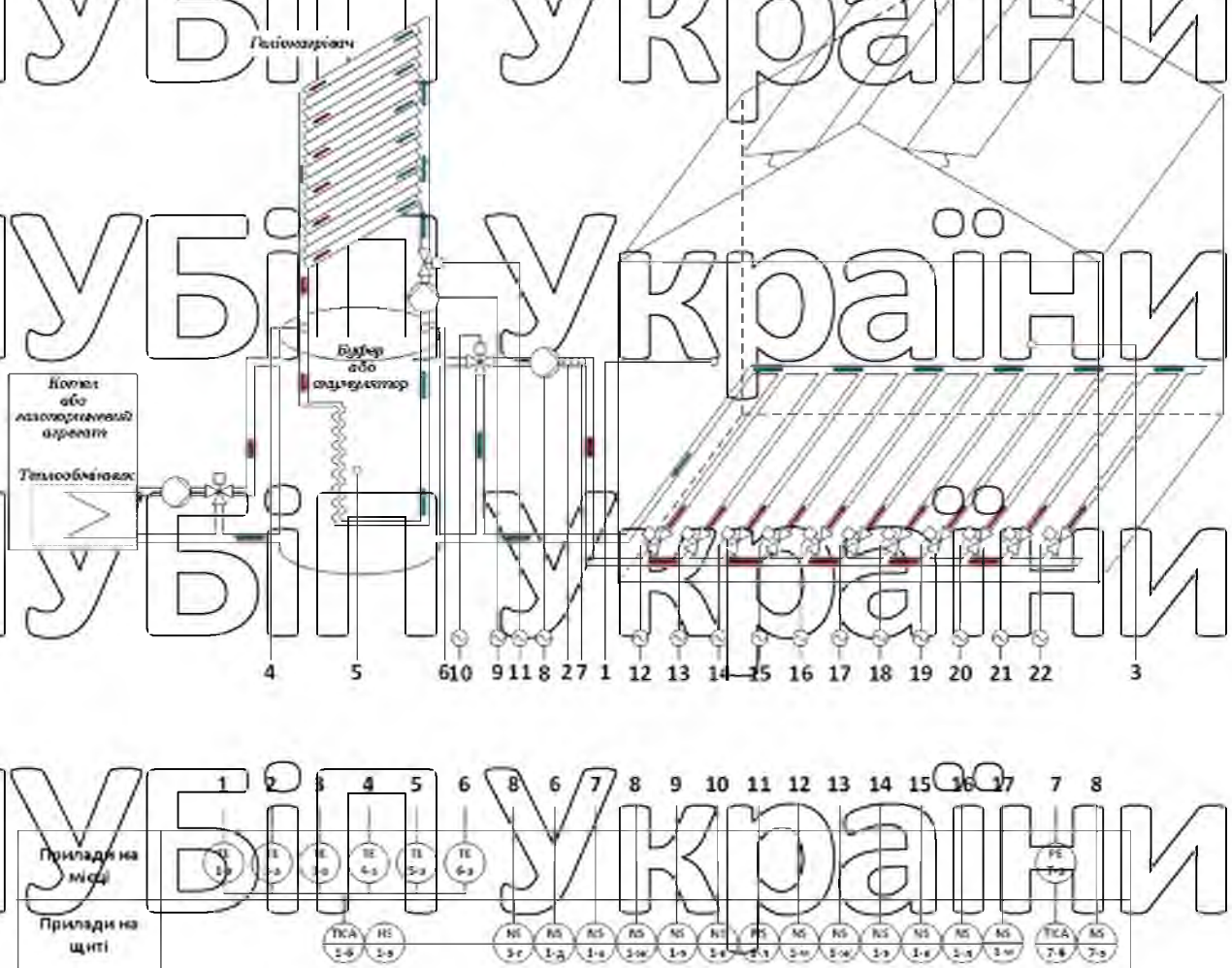


Рис. 3.1. Функціонально-технологічна САК температурою повітря з

використанням акумулятора теплової енергії в теплиці

### 3.1. Вибір регулятора

У відповідності до поставленої задачі дипломного проекту в якості регулятора використовуємо програмований логічний контролер фірми Schneider Electric. Обираючи програмований логічний контролер необхідно звернути увагу на кількість входів-виходів, наявність аналогових входів-виходів, наявність необхідних протоколів для керування частотним перетворювачем, можливість нарощування та заміни модулів. Виходячи з вище перелічених умов обираємо модульний програмований логічний контролер марки Modicon M238 (рис. 3.2-3).

Цей регулятор програмується за допомогою спеціального програмного забезпечення SoMachine. Універсальний інженерно-программний пакет SoMachine сумісний з усіма апаратними платформами MachineStruxure. Він містить в собі ПЗ для всього життєвого циклу машини: від програмування і експлуатації до діагностики та обслуговування.

SoMachine - це єдине середовище розробки прикладних програм для ПЛК і створення інтерфейсу користувача для панелей оператора. Вона володіє інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом програмування, розробленим спеціально для скорочення термінів навчання людей, не знайомих з цим продуктом раніше. Підтримується п'ять мов стандарту МЭК 61131-3: IL (Instruction List, список інструкцій), LD (Ladder Diagram, релейні схеми), SFC (Sequential Function Chart, послідовні функціональні схеми), ST (Structured Text, структурований текст), FBD (Function Block Diagram, функціональні блок-схеми) та додатково мову CFC (Continous Function Chart, безперервні функціональні схеми).

Наявність спеціалізованих можливостей, таких як створення вбудованої візуалізації, симулятор програми, робота програми з точками зупину, внесення змін в режимі реального часу, значно полегшує і прискорює налагодження необхідного додатку. А переважна можливість віддаленого мережевого підключення до контролера спрощує обслуговування машин і усуває необхідність виїзду інженера налагодчика на об'єкт у разі виникнення



екстраординарної ситуації, що значно скорочує терміни відновлення працездатності системи та матеріальні витрати виконавця.

Для підключення аналогових датчиків використовуємо додатковий модуль TM2AMM6HT (рис. 3.4), який підключається до програмованого логічного контролера та має спільну шину даних та живлення (табл. 3.1).

Узагальнена структура підключення до модульного програмованого логічного контролера різноманітних модулів розширення виконавчих механізмів та датчиків наведена на рисунку 3.5. Фрагменти програми та алгоритму роботи наведені в додатку А.



Рис. 3.2. Загальний вигляд модульного програмованого логічного контролера Modicon M238 фірми Schneider Electric

Maximum number of expansions	7	7
Power supply	24 VDC	24 VDC
Serial link	1	2
CANopen master	—	1
Inputs	14/24 VDC, 8/100 kHz	14/24 VDC, 8/100 kHz
Outputs	10 trans; 0.5 A, 4/100 kHz	10 trans; 0.5 A, 4/100 kHz
References	TM238LDD24DT	TM238LFDC24DT

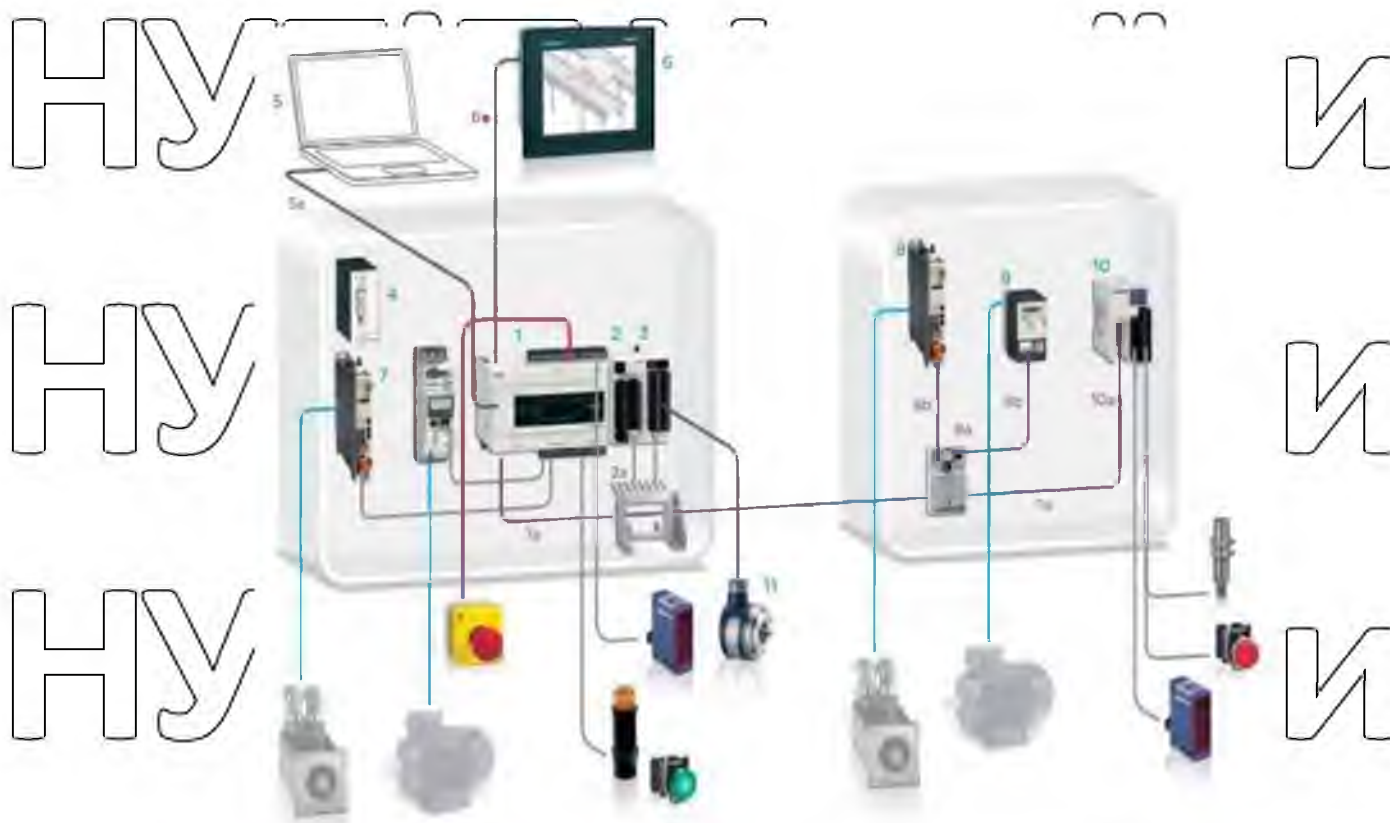
Рис. 3.3. Узагальнені технічні характеристики програмованого логічного контролера Modicon M238 фірми Schneider Electric



Рис. 3.4. Зовнішній вигляд модуля TM2AMM5HT

Таблиця 3.1  
Технічні характеристики TM2AMM6HT

Parameter		Value	Default value	Description
Type		Not used 0- 10 V 4 - 20 mA	Not used	This identifies the mode of a channel.
Scope		Normal Customized	Normal	This identifies the range of values for a channel.
Minimum	Normal	0	0	Specifies the lower measurement limit.
	Customized	-32768...32767	-32768	
Maximum	Normal	4095	4095	Specifies the upper measurement limit.
	Customized	-32768...32767	32767	



No.	Device	Reference	Description
1	Logic controller	TM238 LFDC24DT TM238 LFAC24DR	Controller with 24 I/O (including 2 outputs as PTO signals) and integrated CANopen port Controller with 24 I/O (without PTO and PMW functionality)
2	Module with 8 analog inputs	TM2 ARI 8LT	Module with eight 2 or 3-wire temperature probe inputs, connected on 2 screw terminal blocks
3	High-speed counter module	TM200 HSC 206DF	Module with two 60 kHz high-speed counting channels, connected on 2 spring terminal blocks
4	Phaseo 24 V $\bar{\text{~}}$ power supply	ABL 8REM24 $\bullet\bullet\bullet$ ABL 8RPS24 $\bullet\bullet\bullet$	Optimum power supply. $\bullet\bullet\bullet$ : 030 for I = 3 A, 050 for I = 5 A Universal power supply. $\bullet\bullet\bullet$ : 050 for I = 5 A, 100 for I = 10 A
5	Programming PC	MSD CHNSFUV20	SoMachine software, 1-station license
6	Magelis HMI terminal (Modbus protocol)	XBT N200/R400 + 6a XBT RT500/RT511 + 6a	Small Panel with keypad for displaying text messages of 2...10 lines. Connection to controller serial port SL2, 5 V $\bar{\text{~}}$ power supply via controller (1)
		XBT N401/N410 + 6b XBT R410/R411 + 6b	Small Panel with keypad for displaying text messages and control/configuration of data, 5.7" screen, external 24 V $\bar{\text{~}}$ power supply. Connection to controller port SL1 or SL2
		XBT GT11 $\bullet\bullet$ / GT1335 + 6a	Advanced Touch Panel with graphic display, 3.8" screen, external 24 V $\bar{\text{~}}$ power supply. Connection on COM1 port to controller port SL1 or SL2
	Magelis HMI terminal (SoMachine-Network protocol)	XBT GT2 $\bullet\bullet$ 07340 + 6c XBT GK $\bullet\bullet\bullet$ 0 + 6c	Advanced Touch Panel with graphic display, 5.7"...15" screen, external 24 V $\bar{\text{~}}$ power supply. Connection on COM1 port to controller port SL1 or SL2
7	Lexium 32 servo drive	LXM 32 $\bullet\bullet\bullet\bullet$	Servo drive on CANopen bus, to be used with BRH/BSH motor
8	Lexium 32 servo drive	LXM 32 $\bullet\bullet\bullet\bullet$	Servo drive on CANopen bus, to be used with BRH/BSH motor
9	Altivar 312 variable speed drive	ATV 312 $\bullet\bullet\bullet\bullet\bullet\bullet$	Drive for asynchronous motor (integrated Modbus and CANopen)
10	Advantys OTB distributed I/O	OTB 1C0 DM9LP	CANopen bus interface module, 12 x 24 V $\bar{\text{~}}$ inputs, 2 x 24 V $\bar{\text{~}}$ outputs and 6 relay outputs
11	Osicoder incremental encoder	XCC 14 $\bullet$ K/15 $\bullet$ Y/19 $\bullet$ KN	Rotary $\varnothing$ 40/58/90 mm with Push-pull outputs with extension XCC PM23121 $\bullet$
1a	CANopen cable	TSX CAN CA 50/100/300	Cables for standard environments (50/100/300 m)
2a	Earthing plate	TM2 XMTGB	Connection of cable shielding and functional earth (FE) on modules 2 and 3
5a	Terminal port/PC USB port cordset	TCS XCN AMUM3P	Cordset from USB port on Modicon M238 base to PC terminal USB port (3 m)
6 $\bullet\bullet$	Magelis HMI cordsets	6a XBT Z9980 6b XBT Z938 6c XBT Z9008	2 RJ45, RS 485 Modbus connectors (2.5 m) 1 SUB-D25 and 1 RJ45, RS 485 Modbus (2.5 m) 1 SUB-D9 and 1 RJ45, RS 485 Modbus (2.5 m)
8a	IP 20 junction box	VW3 CAN TAP2	IP20 junction box with 2 CANopen RJ45 connectors and 1 diagnostic terminal RJ45 connector
8b	CANopen preassembled cordset	VW3 CAN CARR03/1	Cordset with 1 RJ45 connector at each end (0.3/1 m)
10a	IP20 9-way SUB-D connector	TSX CAN KCDF 90T/180T	Connector with line terminator, straight/right-angled

(1) Except for XBT RT511, connection to controller serial port SL1 or SL2, external 24 V  $\bar{\text{~}}$  power supply.

Рис. 3.5. Структурна схема підключень програмованого логічного контролеру Modicon M238 фірми Schneider Electric

### 3.2. Вибір сприймаючих елементів системи автоматичного керування температурою повітря з використанням акумулятора теплової енергії в теплиці

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

– на першому етапі – за типом контролюваного параметра об'єкта управління й умовами його роботи визначається різновид перетворювача;

– на другому етапі – після вибору всіх елементів регулятора за каталогами знаходять його типорозмір.

За технологічними вимогами необхідно підтримувати заданий рівень температури повітря в теплиці в зимовий період в межах агротехнологічних

вимог до вирощування певного виду продукції. Виходячи з відповідних

агротехнологічних вимог до вирощування рослинної продукції в закритому ґрунті (табл. 1, -2) нормальний діапазон сприймаючого елемента складає 18...35 °С. Зважаючи на це та на умови використання обираємо відповідні

датчики температури повітря та теплоносія (води в трубопроводі). У

відповідності до діапазону вимірювання та технічних особливостей виконання та використання (висока швидкість, використання в агресивних середовищах та значних значеннях тиску вимірюємої середи) обираємо датчик ТСМ-1088 (рис. 3.6).



Рис. 3.6. Датчик температури ТСМ-1088 (термометр опору мідний)

Передатна функція датчика температури повітря в об'ємі теплиці в загальному випадку має вид:

$$W_{ce}(p) = \frac{k_{ce}}{T_d p + 1}, \quad (3.1)$$

де  $k_{ce}$  – коефіцієнт передачі сприймаючого елемента;  
 $T_d$  – час термічної реакції, с.

Коефіцієнт передачі та час демпфірування сприймаючого елемента визначаємо за його технічними характеристиками та з врахуванням (3.1) отримаємо:

$$W_{ce}(p) = \frac{0.7}{15p + 1}. \quad (3.2)$$

### 3.3. Вибір виконавчих механізмів системи автоматичного керування температурою повітря з використанням акумулятора теплової енергії в теплиці

В роботі необхідно обрати наступні виконавчі механізми та регулюючі органи: регулюючий вентиль обладнаний сервоприводом; заслінки «метелики» з сервоприводами для регулювання подачі теплоносія в окремі ділянки системи трубно-водяного опалення теплиці в зимовий період.

Регулюючий вентиль обираємо RV 111 фірми LDM (рис. 3.7).

Обчислення проводиться з урахуванням стану регулюючої ланцюга і робочих умов матеріалу за наведеними нижче формулами. Регулюючий клапан повинен бути підібраний так, щоб був здатний регулювати максимальні витрати в даних експлуатаційних умовах. При цьому слід контролювати щоб найменший регульована витрата також піддавався регулюванню.

# НУБІП України

# НУБІП



# НУБІП

# НУБІП

# НУБІП

# НУБІП України

Рис. 3.7. Регулюючий клапан RV 111 фірми LDN

За умови, що регулююче відношення вентиля:

# НУБІП України

де  $r$  – відношення регулювання;

$K_{vs}$  – умовний коефіцієнт витрати арматури;

$K_{v_{min}}$  – коефіцієнт витрати при мінімальній нормі витрати.

Унаслідок можливого мінусового допуску 10 % значення  $K_{v_{100}}$  щодо

$K_{vs}$  і вимоги щодо можливості регулювання в області максимальної витрати

(зниження і підвищення витрати) виробник рекомендує вибрати значення

$K_{vs}$  регулюючого вентиля, яке більше максимального робочого значення  $K_v$

# НУБІП України

$$K_{vs} = 1.1 + 1.3K_v \quad (3.4)$$

де  $K_v$  – коефіцієнт витрати в складових одиницях витрати.

Притому необхідно прийняти до уваги зміст "запобіжного припуску" в передбачуваному в розрахунку значенні  $Q_{max}$ , який би міг стати причиною завищення продуктивності арматури.

Відповідно значення  $K_v$  для рідини можна знайти з рівняння:

$$K_v = \frac{Q}{100} \sqrt{\frac{\rho_1}{\Delta p}} \quad (3.5)$$

де  $Q$  – об'ємна витрата в робочому режимі;

$\rho_1$  – абсолютний тиск перед регулюючим вентиляем;

$\Delta p$  – перепад тиску на регулюючому вентилі.

Витратні характеристики вентиля отримуюмо з технічних характеристик щодо RV 111 фірми LDM (рис. 3.8).

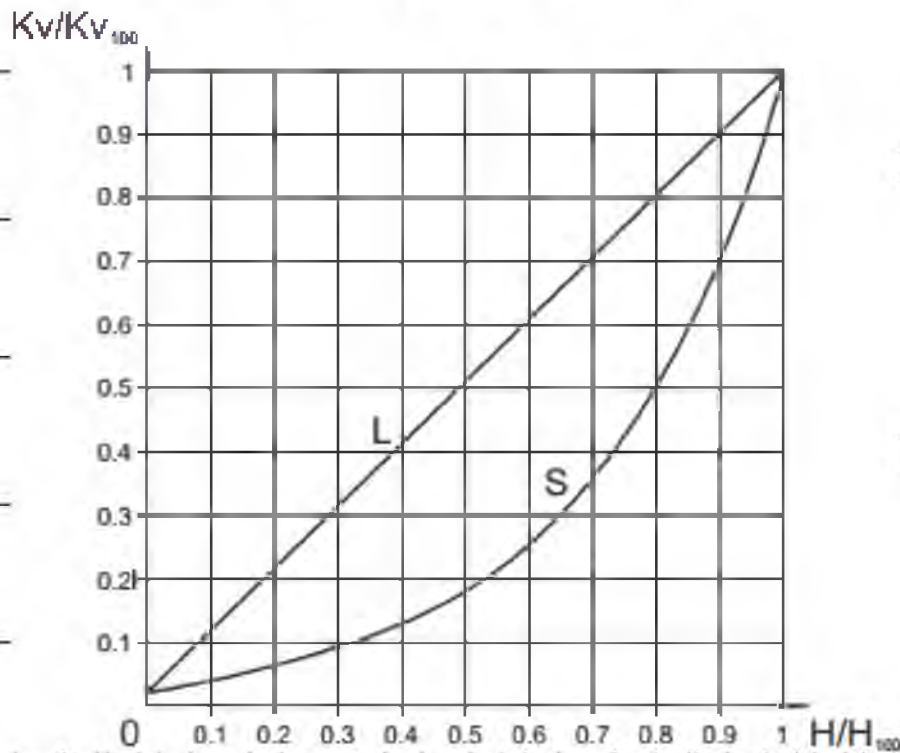


Рис. 3.8. Витратні характеристики вентилів RV111.

L – лінійна характеристика, S – I-BMspline характеристика

Для води з температурою до 90 °С, статичному тиску в точці

приєднання 600 кПа та перепаду тиску на насосі 35 кПа, трубі зворотній 20

кПа та трубі подачі 25 кПа при номінальних витратах 250 м<sup>3</sup>/год, умовний коефіцієнт витрати арматури буде:

$$Kvs = (1.1...1.3)Kv = (1.1...1.3)1118 = 1229.8...1453 \text{ м}^3 \cdot \text{год.}$$

Цій величині відповідає діаметр провітру DN 80. Обираємо нарізний вентиль PN 16 з чавуну, та отримуємо номер типу: RV 111 R 2331 16/150-25/T.

Відношення дійсних втрат тиску обраного вентиля при повному

відкритті становить:

$$\Delta p_{v100} = \left( \frac{Q}{Kvs} \right)^2 = \left( \frac{250}{1500} \right)^2 = 0.166 \text{ бар (16.6 кПа)}.$$

Таким чином обчислена дійсна гідравлічна втрата регулюючої арматури повинна бути відображена в гідравлічному розрахунку мережі.

У триходових вентилів найголовнішою умовою безпомилкового функціонування є дотримання мінімальної різниці тиску на штуцерах А і В.

Триходові вентиля в змозі впоратися і зі значним диференціальним тиском між штуцерами А і В, але за рахунок деформації регулюючої характеристики, відбувається погіршення здібності до регулювання. Тому при найменшому

сумніві щодо різниці тисків між обома штуцерами, рекомендовано для

якісного регулювання використовувати двоходовий вентиль в з'єднанні з жорстким замиканням.

В залежності від вимог, що вимагає регулювання обираємо відповідний тип сервоприводу.



Добуток передатної функції двигуна до передатної функції регулюючого органу це передатна функція виконавчого механізму:

$$W_{BM} = W_d \cdot W_{PO}. \quad (3.6)$$

В дипломному проєкті бакалавра виконавчий механізм, що буде розраховуватись в контурі керування регулятора це сервопривод який регулює кут відкриття триходового вентиля. Сервопривод обираємо в залежності від типу вентиля.

Електромеханічні приводи АНТЗ-5 (рис. 3.9, табл. 3.1) призначені для управління регулюючими вентилями LDM ряду RV 111 COMAR line.

Конструкція приєднання на вентиль забезпечує нульовий зазор між тягою приводу і вентиля, таким чином забезпечується точна здатність регулювання

навіть при мінімальних змінах положення. Приводи самоваднуємі, кінцеві положення обмежені власним ходом вентиля. Для спільної роботи з системою регулювання приводи оснащені стандартним трипозиційним або пропорційним управлінням (вибірково 0...10 В, 2...10 В, 0...20 мА або 4...20

мА). Версія з позначенням "SC" обладнана електронним способом керованої аварійної функцією, яка активується при випаданні живлення або напруги на клемі NF у приводів з пропорційним управлінням. У налаштуванні приводів з пропорційним управлінням можна визначити положення в процентах ходу,

в яке привід встановиться після активації аварійної функції. Додатковим станом для налаштувань є положення "закрито". Джерелом енергії служить блок конденсаторів, який під час експлуатації постійно заряджається. Термін служби конденсаторів 10 років, що відповідає терміну служби клапанів під

нормальний умовами. Всі типи приводів оснащені маховиком, що дозволяє в разі необхідності проводити управління вручну.

Приводи в комплекті з вентилями LDM призначені перш за все для застосування в системах опалення, установках кондиціонування повітря і холодильних системах. У цих випадках можна з успіхом застосувати

комбінацію регулюючої характеристики LDMspline, оптимізованої для процесів перенесення тепла з точністю надійністю функції, даної простий механічної конструкцією приводу. У деяких випадках можна застосувати аварійну функцію приводу, яка при припиненні подачі напруги на клемами приводу NF переставить вентиль в заздалегідь певне положення.



Рис. 3.9. Електричний привод ANT3-5.11SC

Особливості приводу ANT3-5.11SC:

– простий монтаж на вентиль, який не потребує настрійки і інструментів;

– самоадаптуєма функція, яка чітко визначає діапазон ходу приводу по кінцевим положенням ходу вентиля;

– маховик, що дозволяє в разі необхідності здійснювати управління вручну;

– показчик ходу, інформує про стан вентиля зараз;

– можливість оснащення зворотного зв'язку резистивним або переставним вимикачем положення (в приводах з трипозиційним управлінням);

– інтелектуальне мікропроцесорне управління (в приводах з аварійної функцією і пропорційним управлінням);

– автоматичне розпізнавання проникнення забруднень в простір між сидлом і конусом вентиля, включаючи алгоритм для функції самоочищення (в приводах з пропорційним управлінням);

– можливість вибору типу управління 0...10 В, 2...10 В, 0...20 мА, 4...20 мА (в приводах з пропорційним управлінням);

– можливість вибору цільового положення аварійної функції в приводах з пропорційним управлінням і аварійної функцією в діапазоні 0...100 % ходу;

– можливість ознайомлення з історією та діагностика аварійних станів у виконанні з мікропроцесором;  
– висока експлуатаційна надійність і довговічність, завдяки простій конструкції і вибору якісних металевих матеріалів механічно навантажених деталей;

– зворотний зв'язок з сигналом напруги або потоку у приводів з мікропроцесором;

– - можливість цифрового управління (протокол MODBUS);

– - можливість налаштування діапазону нечутливості;

– - можливість зміни напрямку керуючого сигналу.

Використовуючи отримані данні та паспортні данні залежності витрат від куту відкриття дають можливість отримати передатну функцію виконавчого механізму:

$$W_{BM}(\theta) = \frac{16.6}{5p+1} \quad (3.4)$$

# НУБІП України

В якості насосного агрегату обираємо одноступінчастий насос Hydro-Vacuum MVA, MVB (рис. 3.10, табл. 3.2).

Таблиця 3.1

Технічні характеристики електричного приводу ANTS-5.11SC

Параметр	Значення
Напруга живлення ( $\pm 15\%$ )	24 В AC/DC
Частота	50 Гц
Управління	0...10 В, 4...20 мА
Споживана потужність	14 Вт
Умове зусилля	300 Н +30 %
Номінальний хід	5.5 мм
Час перестановки 50 Hz	5 с
Аварійна функція	8 с
Зворотній зв'язок	0...10 В, 4...20 мА
Імпеданс входу	>10 КОм (В) 250 Ом (мА)
Ступінь захисту	IP 54 (IEC 60529)
Макс. температура середовища	150 °С
Робоча температура окруж. середовища	-5...+55 °С
Допустима вологість	5...95 %
Умови зберігання	-15...+55 °С, 5...95 %
Маса	0.8 кг

Hydro-Vacuum MVA, MVB – це одноступінчасті, відцентрові, нормально всмоктуючі лопатеві насоси в моноблочній системі, де робоче колесо насоса і двигуна розташовані на загальному валу. Насос і двигун

# НУБІП України

мають загальну систему підшипників. Підшипники – двосторонні, закриті, наповнені маслом на час експлуатації.

Насоси MV призначені для перекачування чистої, негорючої і вибухобезпечної рідини, без вмісту твердих і довговолоконистих речовин.

Ідентичність перекачується кошти повинна вміститися в межі корозійної стійкості матеріалів конструкції. Насоси можуть бути виготовлені з сірого чавуну, бронзи, аустенітної сталі.



Рис. 3.10. Одноступінчастий насос Hydro-Vacuum MVA, MVB

Насоси типу MV застосовуються в:

- системах водопостачання і водопровідних системах;
- промисловості (системи підвищення тиску, охолодження, циркуляція технологічної води);
- ТЕЦ;

# НУБІП України

- промислових системах охолодження;
- сільському господарстві (тригаційні системи);
- протипожежних системах - гідранти;
- системах для перекачування палива і агресивних субстанцій;

# НУБІП України

- хімічних системах,
- інженерії середовища.

Таблиця 3.2

## Технічні характеристики одноступінчастого насосу

Параметр	Значення
Продуктивність	до 500 м <sup>3</sup> /год
Висота підйому	до 95 м
Температура робочої рідини	-10...+110 °С
Робочий тиск	16 бар
Обороти	1500 MVB
Потужність двигуна	до 55 кВт
Ущільнення валу	механічне
Всмоктувальний патрубок	DN 50...200 мм
Напірний патрубок	DN 32...150 мм

Для захисту двигуна системи опалення від гідроударів систему опалення необхідно обладнати або частотним перетворювачем або пристроєм плавного пуску. Порівнюючи використання цих пристроїв можна відмітити що частотне регулювання швидкості дає більш якісне регулювання ( $\cos\phi \sim 0.99$ , реактивний струм  $\sim 1\%$ ; регулювання швидкістю; плавна крива розгону; менші експлуатаційні витрати). Використовуємо частотний привод для керування машинним обладнанням ATV 312HD15N4 який розраховано на потужність електродвигуна 15 кВт (рис. 3.11). Використання частотного перетворювача, що в автоматичному режимі підтримує заданий тиск в системі опалення змінюючи частоту обертання робочого колеса насоса.

Система автоматичного регулювання побудована на використанні додаткового датчика тиску XMLG016B21 фірми Шнейдер Електрик встановленого на виході з насосного агрегату (рис. 3.12).



Рис. 3.11. Частотний перетворювач ATV 312HD15N4



Рис. 3.12. Датчик тиску XMLG016D21 фірми Шнейдер Електрик

Для керування розподілом теплоносія за площею обігріву теплиці використовуємо вентилі RV 111 фірми LDM (рис. 3.13) з зменшенням

відповідним перерізом труби DN 50. Встановлені вентилі обладнуємо електричним приводом SAS61.03/MO фірми Siemens (рис. 3.14)



Рис. 3.15. Регулюючий клапан RV 111 фірми LDM



Рис. 3.14. Електричний привод SAS61.03/MO фірми Siemens



# НУБІП України

## 3.4. Вибір алгоритму управління та розробки функціональної та структурної схеми САК

# НУБІП України

Отримана передатна функція об'єкта керування (теплиці із трубно-водяним обігрівом в зимовий період) та вимоги до комплексу технічних засобів, вимагає використовувати регулятор безперервної дії.

# НУБІП України

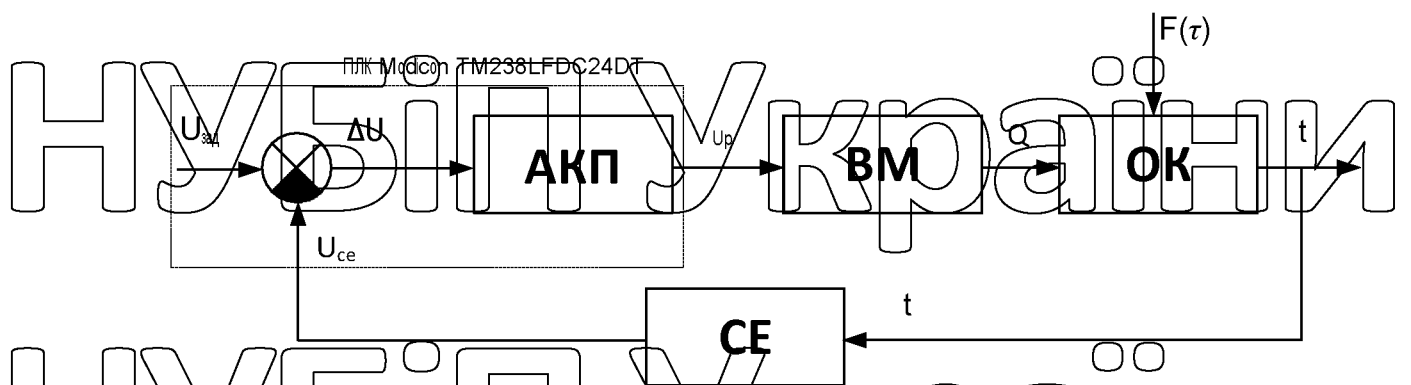
За технічним завданням для керування теплою із трубно-водяним обігрівом в зимовий період використовуємо регулюючий вентиль з сервоприводом для зміни подачі гарячої води до системи опалення теплої в зимовий період. Для підвищення якості керування використовуємо регулятор

# НУБІП України

більш складної структури (ПД). Нагрів повітря в теплої не є швидкодіючим процесом. Підтримання заданих параметрів температури повітря можливо тільки при використанні ПД-регулятора.

# НУБІП України

Для розробки структурно-функціональної схеми САК температурою повітря з використанням акумулятора теплової енергії в теплої (рис. 3.15) скористуємось отриманими пристроями, на якій зображено: автоматичний керуючий пристрій (АКП); виконавчий механізм (ВМ); об'єкт керування (ОК); сприймаючий елемент (СЕ); порівнювальний елемент.

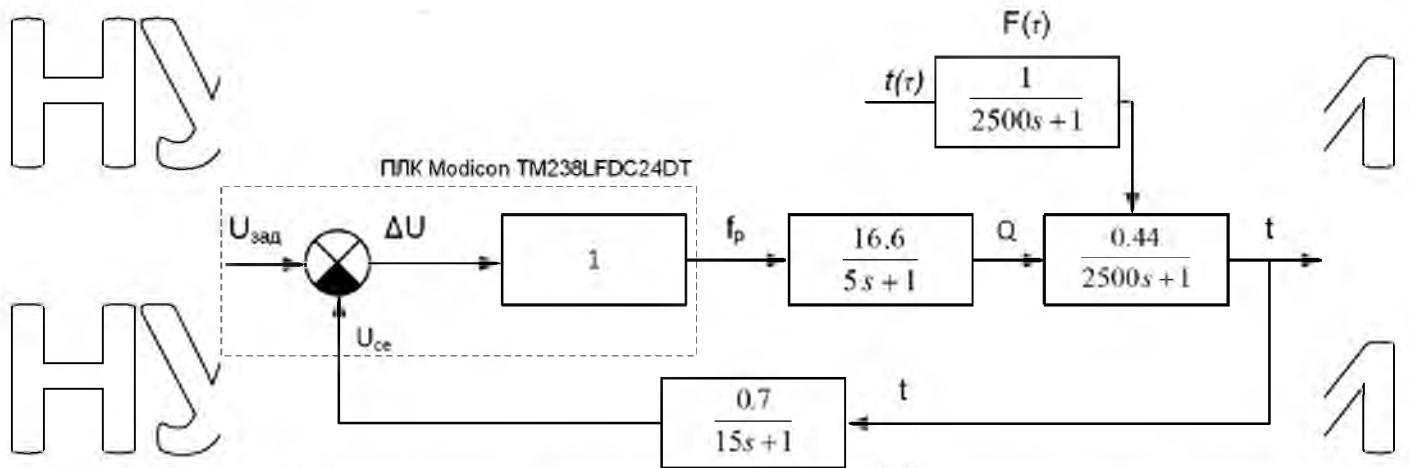


# НУБІП України

Рис. 3.15. Структурно-функціональна схема САК температурою повітря з використанням акумулятора теплової енергії в теплої

НУБІП України

Маючи функціонально-структурну схему складаємо структурно-алгоритмічну схему температурою повітря з використанням акумулятора теплової енергії в теплиці (рис. 3.16) визначивши передатні функції основних елементів схеми.



НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

# НУБІП України

## РОЗДІЛ 4

### ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Для дослідження САК температурою повітря з використанням акумуляторів теплової енергії у теплиці в зимовий період скористаємось методикою наведеною в курсі «Теорія автоматичного керування». Всі розрахунки проводились в математичній системі MATLAB.

Передатна функція об'єкта керування

$$W_{ok} = \frac{0.44}{2500 s + 1}$$

Continuous-time transfer function.

Передатна функція виконавчого механізму (регулюючого органу)

$$W_{vm} = \frac{16.6}{5 s + 1}$$

Continuous-time transfer function.

Передатна функція сприймаючого елемента

$$W_{ce} = \frac{0.7}{15 s + 1}$$

Continuous-time transfer function.

Передатна функція розімкнутої неперервної частини системи керування

$$W_{nc} = \frac{1.001}{12500 s^2 + 2505 s + 1}$$

Continuous-time transfer function.

# НУБІП України

Передатна функція замкнутої неперервної частини системи керування

$$W_{zam} = \frac{1.876e05 s^3 + 5.011e04 s^2 + 2522 s + 1.001}{2.344e09 s^5 + 1.096e09 s^4 + 1.571e08 s^3 + 6.384e06 s^2 + 6780 s + 1.7}$$

Continuous-time transfer function.

$$wk2 = \begin{matrix} -0.23432 \\ -0.2 \\ -0.066445 \end{matrix}$$

Розрахункова частота квантування

$$wc = \begin{matrix} -0.0004 \\ 0.033695 \end{matrix}$$

Розрахунковий період квантування

$$Tk = \begin{matrix} 0.0337 \\ 93.2349 \end{matrix}$$

Амплітудна характеристика

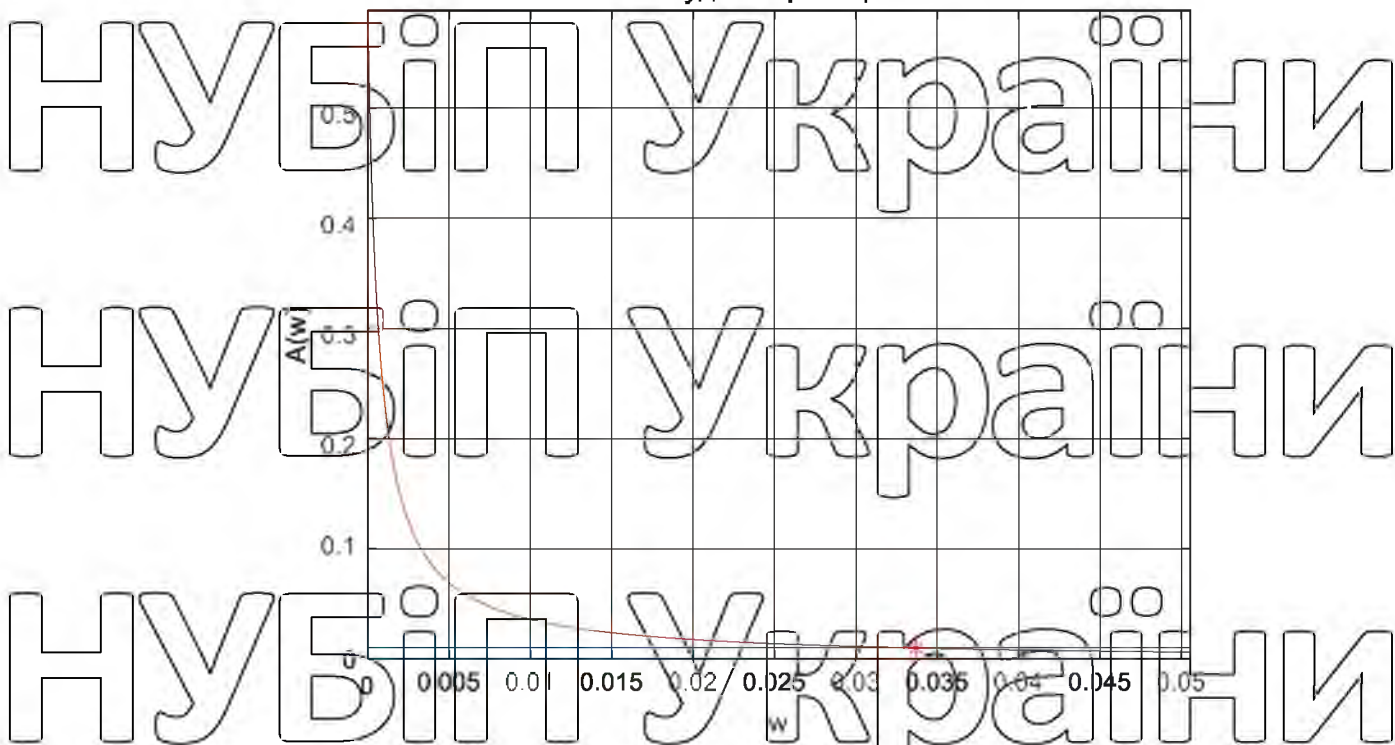


Рис. 4.1. Перевірка за теоремою Котельникова

Дискретна передатна функція розімкнутої неперервної частини системи керування  
 $W_{ncz} =$

$$\frac{0.0347 z + 0.001932}{z^2 - 0.9634 z + 7.683e-09}$$

Sample time: 93.235 seconds  
 Discrete-time transfer function.

Корені характеристичного рівняння  
 $Z_k =$

0.9634  
 0.0000

Корені характеристичного рівняння  
 $a_1 =$

2505.0

Корені характеристичного рівняння  
 $b_1 =$

0

Коефіцієнт помилки системи за швидкістю  
 $C_1 =$

626.25

Коефіцієнт добротності системи за швидкістю  
 $K_v =$

0.0015968065547433441505029765004801

Інтегральний параметр складової ПІД-регулятора  
 $K_i =$

0.0015958

Пропорційний параметр складової ПІД-регулятора  
 $K_p =$

3.9899

Диференціальний параметр складової ПІД-регулятора  
 $K_d =$

2.9113e-06

НУДІІ | УКРАЇНИ

З розрахунків для САК температурою повітря з використанням акумуляторів теплової енергії у теплиці в зимовий період в MATLAB/Simulink, що приведені вище отримано налаштування для ПІД-регулятора (рис. 4.2) та отримано відповідні перехідні характеристики

(рис. 4.3).

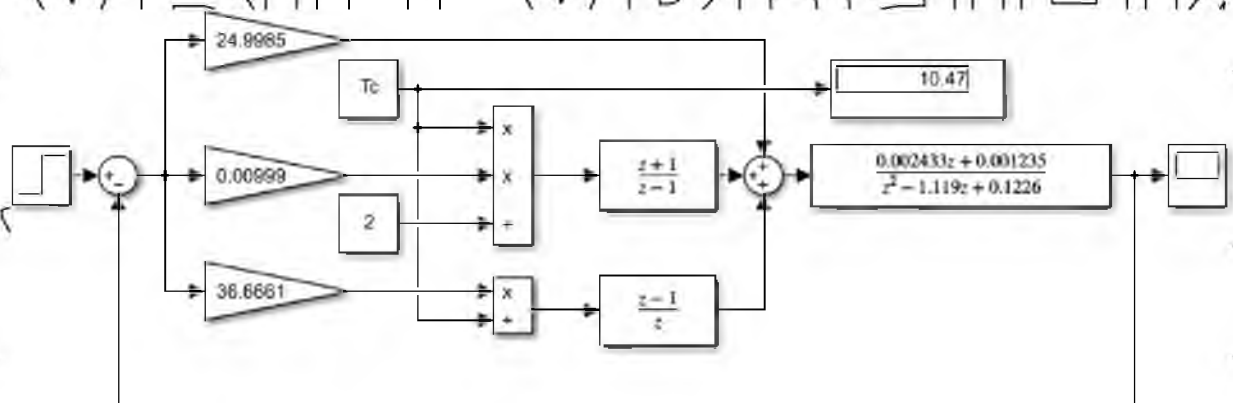


Рис. 4.2. Математична модель ПІД-регулятора САК температурою повітря з використанням акумуляторів теплової енергії у теплиці в зимовий період в MATLAB/Simulink

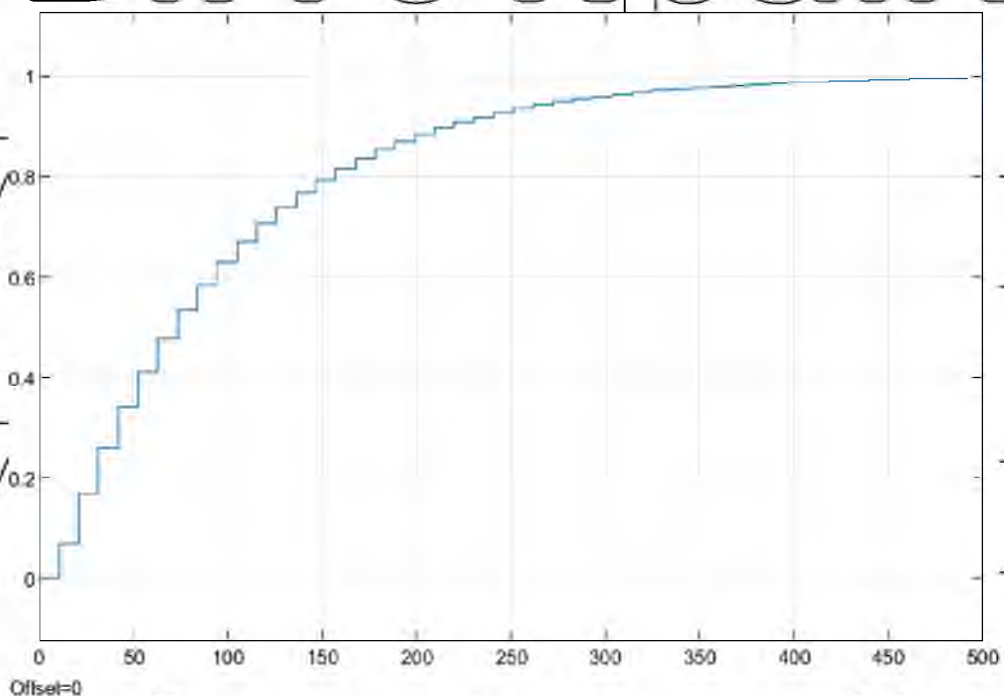


Рис. 4.3. Перехідна характеристика САК температурою повітря з використанням акумуляторів теплової енергії у теплиці в зимовий період в MATLAB/Simulink

За допомогою критерію Джурі проведемо оцінку стійкості цифрової системи керування температурою повітря з використанням акумуляторів теплової енергії у теплиці в зимовий період. Згідно цього критерію всі корені характеристичного рівняння повинні знаходитися в колі одиничного радіуса на  $z$  площині для дійсних коренів  $|z_k| < 1$  (рис. 4.4), всі корені знаходяться в колі – тобто система є стійкою.



Рис. 4.4. Корені характеристичного рівняння на  $z$ -площині

Показники якості системи отримаємо побудувавши перехідний процес системи в системі MATLAB (рис. 4.5).

Аналізуючи перехідний процес отримали: час регулювання 7500 секунд; відсутні помилки регулювання та перерегулювання.

Графіки перехідних процесів цифрових систем



Рис. 4.5. Перехідний процес системи автоматичного керування температурою повітря з використанням акумуляторів теплової енергії у теплиці в зимовий період



# НУБІП України

## РОЗДІЛ 5

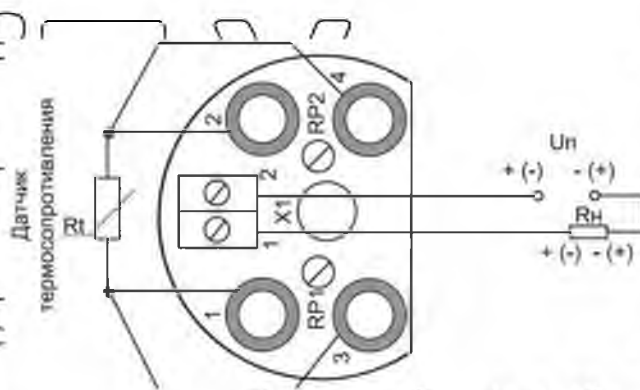
### РОЗРОБКА СХЕМ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

#### 5.1. Розробка схем погодження між зовнішніми пристроями та програмованим логічним контролером

При відключенні датчиків температури необхідно перетворити вихідний сигнал в стандартизований  $0...10\text{ В}$ . Для цього використовуємо конвертор PSA-02 (рис. 5.1), який приводить вихідний сигнал від TCM до стандартних значень, тобто  $0...10\text{ В}$ .



а)



б)

Рис. 5.1. Зовнішній вигляд перетворювача сигналів PSA-02 (а) та його схема

підключень (б)

Введення аналогових сигналів відбувається з використанням модулю TM2AMM6HT (рис. 5.2).

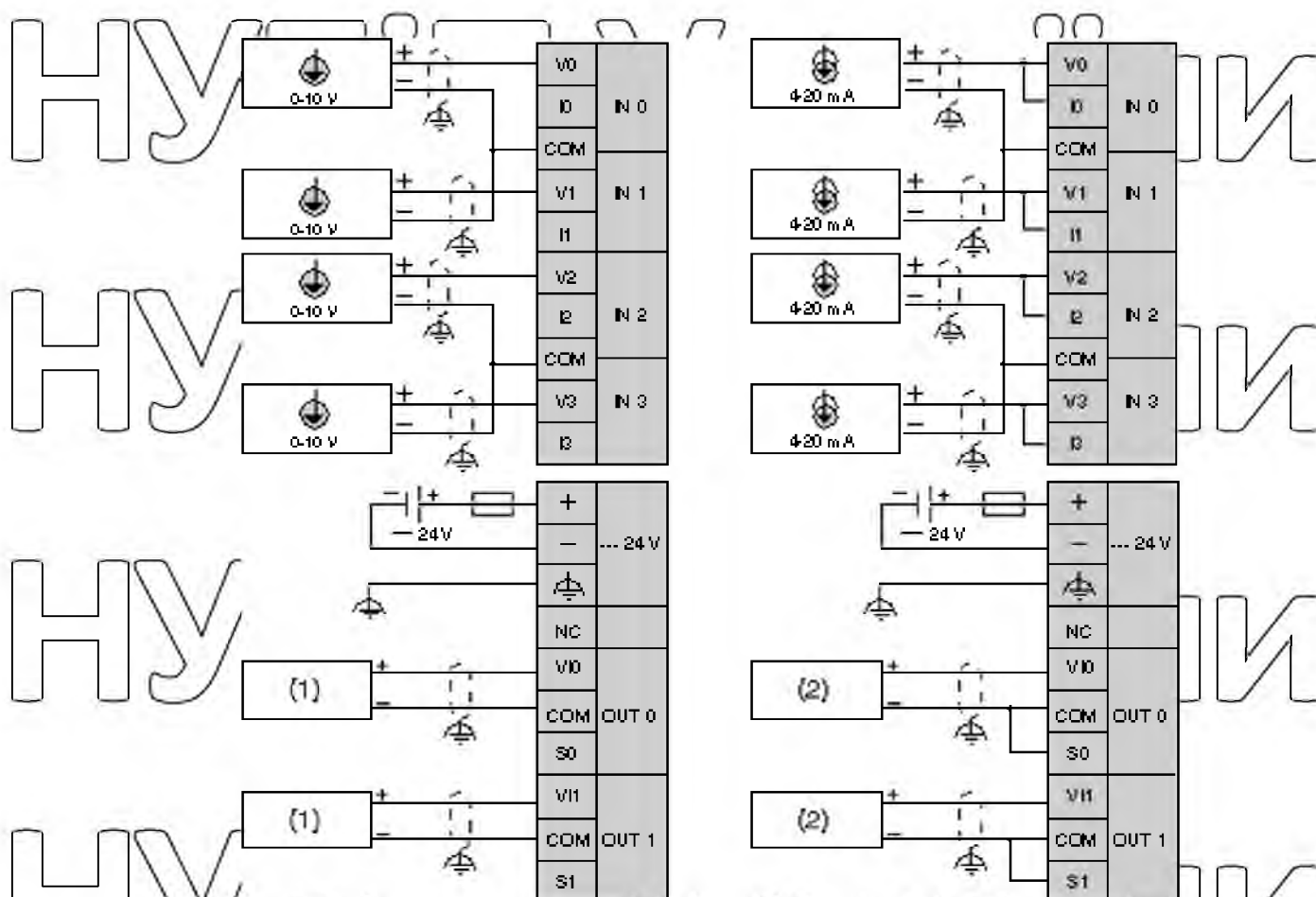
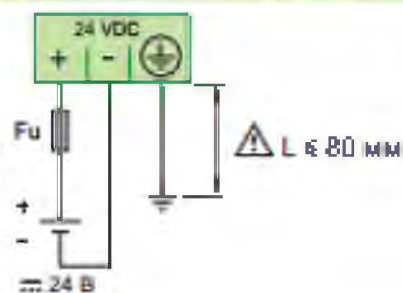


Рис. 5.2. Схема підключень модуля TM2A1M6H1

Для підключення програмованого логічного контролера M238 та частотного перетворювача ATV312 використовуємо типові електричні принципи схеми, що наведені в інструкції щодо його монтажу (рис. 5.3-7).

**Живлення 24В пост. току**

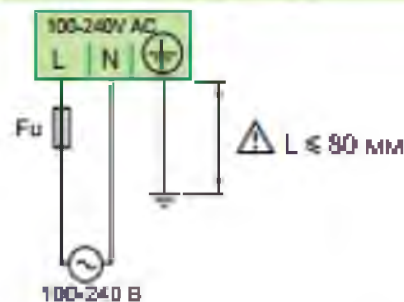
**TM238 LDD24DT/LFDC24DT**



*Fu*: Швидкодіючий запобіжник 2А  
ABE 7FU200

**Живлення току 110-240В пер. току**

**TM238 LDA24DR/LFAC24DR**



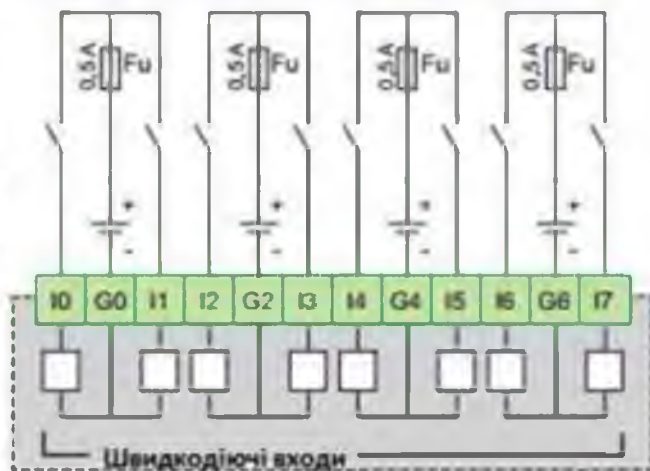
Запобіжник 2А, тип I

Рис. 5.3. Схема підключення до джерела живлення контролера M238

Базові блоки TM238 LDD24DT/LFDC24DT, TM238 LDA24DR/LFAC24DR

Входи 24В пост. току

Швидкодіючі входи приймача (позитивна логіка)

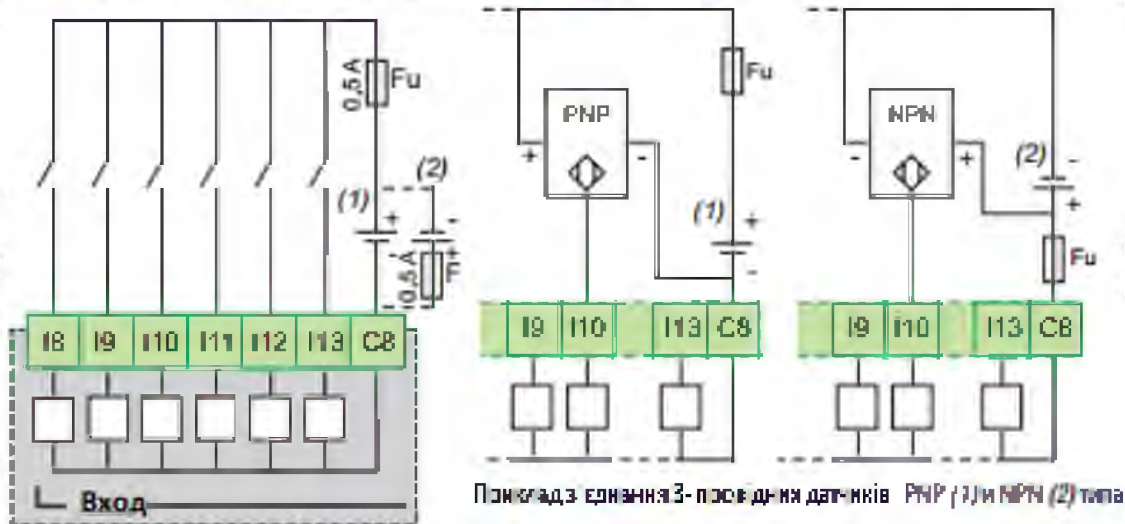


$F_u$  Швидкодіючий запобіжник, 0,5 А

Рис. 5.4. Схема підключень швидкодіючого входу приймача контролера

Modicon M238 фірми Schneider Electric

Входи приймача/джерела (позитивна негативна логіка)



Приклад з'єднання 3-проводних датчиків PNP (1) и NPN (2) типа

$F_u$  швидкодіючий запобіжник 0,5А

(1) Входи приймача (позитивна логіка)

(2) Входи джерела (негативна логіка)

Рис. 5.5. Схема підключень входів приймача/джерела логічного контролера

Modicon M238 фірми Schneider Electric

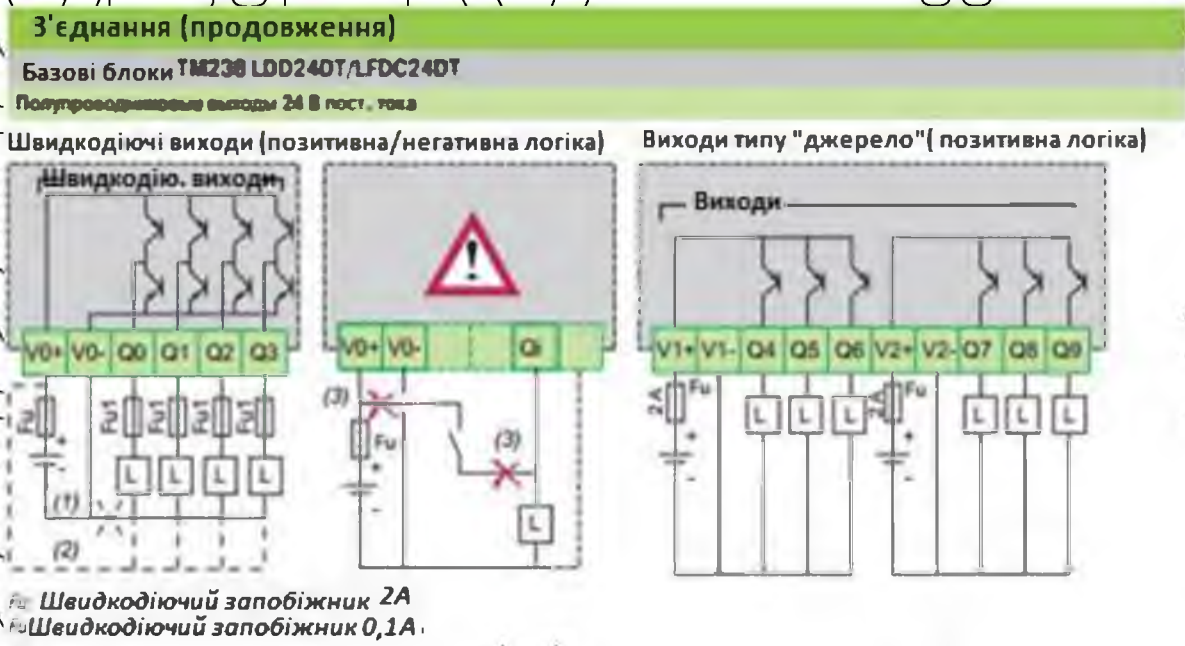


Рис. 5.6. Схема підключень швидкодіючих входів контролера Modicon M238

фірми Schneider Electric

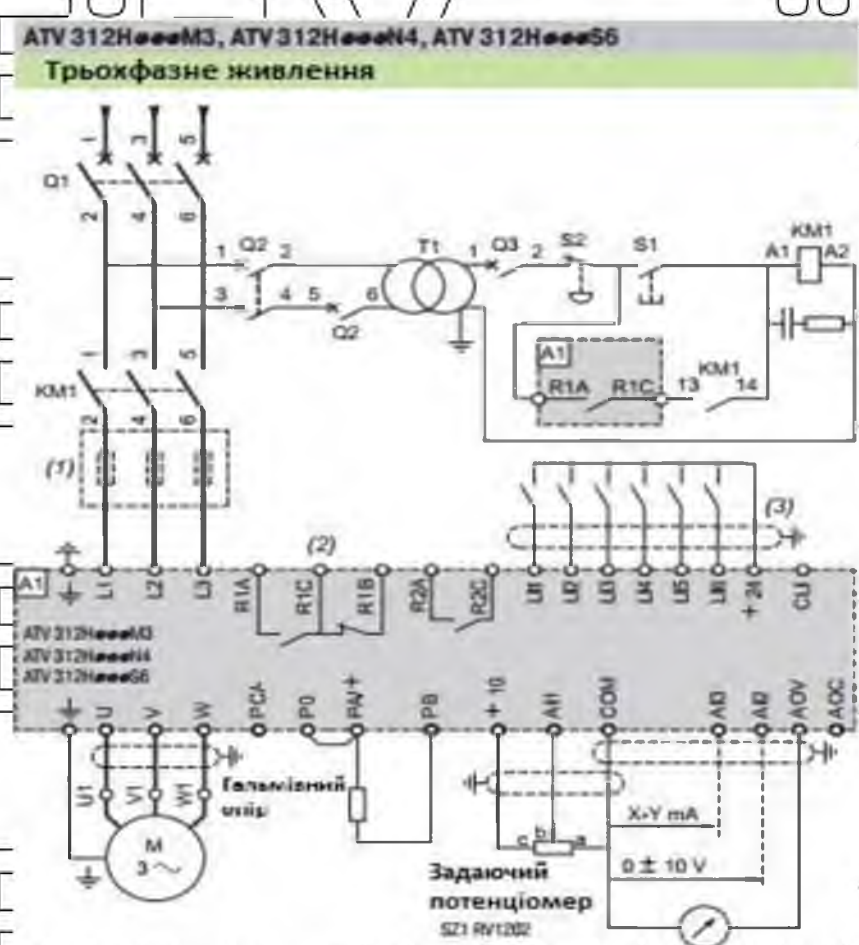


Рис. 5.7. Схема підключення частотного перетворювача ATV312

Введення аналогових сигналів відбувається з використанням модулю TM2AMM6HT (рис. 5.8) до якого підключено три датчики температури та електричний привод ANT3-5.11SC (рис. 5.9).

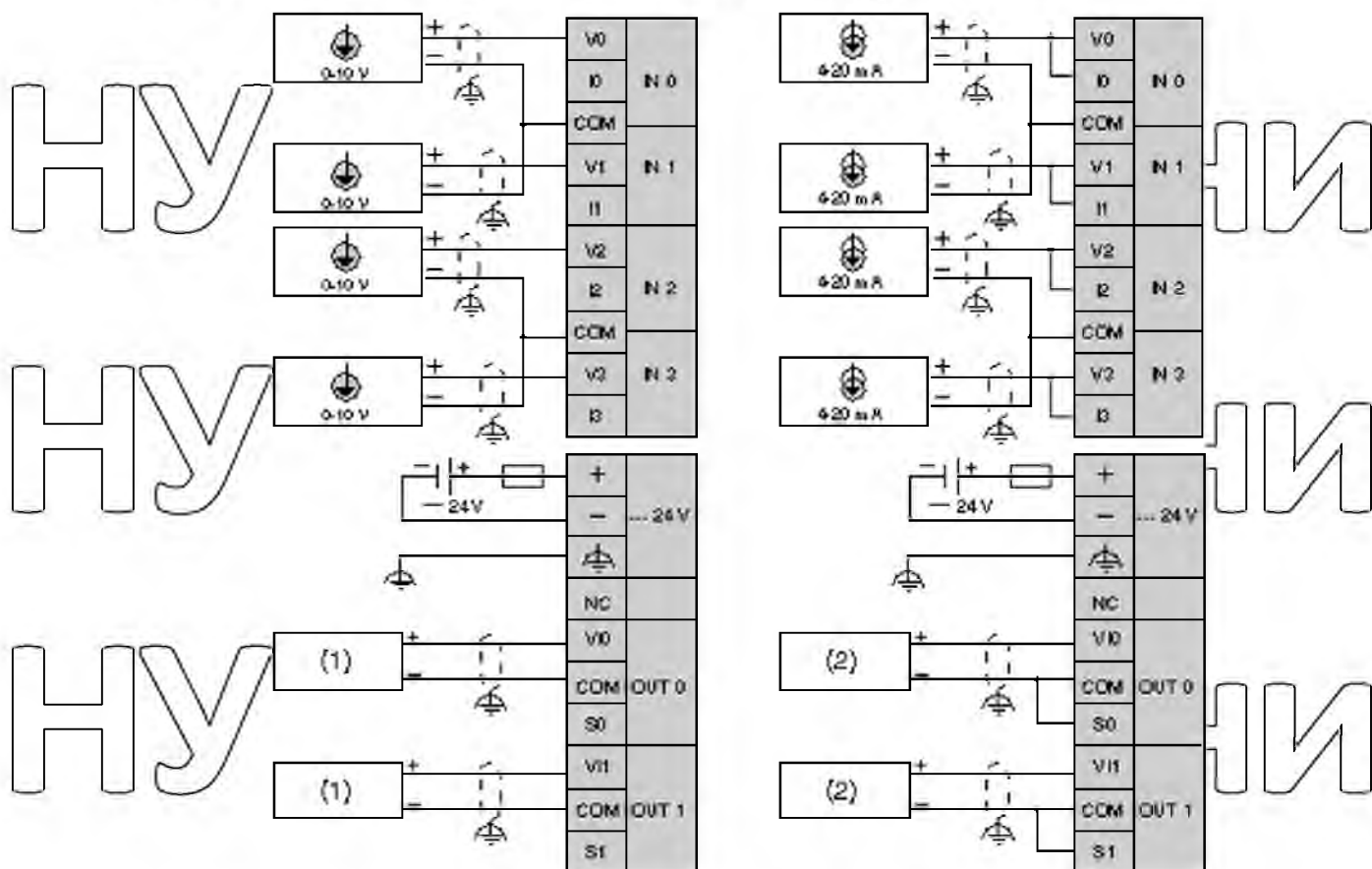


Рис. 5.8. Схема підключень модуля TM2AMM6HT

### ANT3-5.11SC

Proportional control, 24 V AC/DC,  
fail-safe function

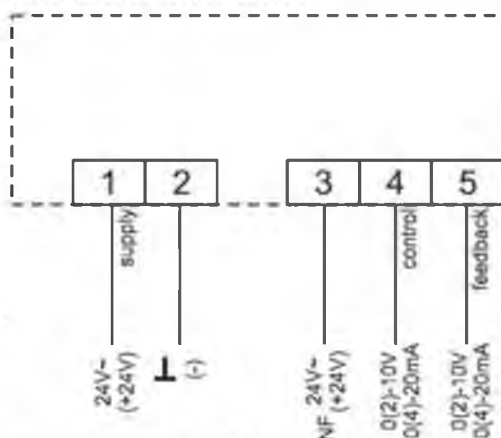


Рис. 5.9. Схема підключень електричного приводу ANT3-5.11SC

## 5.2. Розробка принципової схеми

Принципові електричні схеми – це проектний документ, що визначає повний склад електричних елементів, зв'язків між ними та дає повне уявлення щодо принципів роботи схеми.

У загальному випадку принципові електричні схеми вміщують:

- умовні зображення елементів і зв'язків між ними;
- пояснювальні надписи;
- частини окремих елементів даної схеми, що використовують в інших схемах, а також елементи з інших схем;
- діаграми перемикачів контактів багатопозиційних пристроїв;
- перелік пристроїв, засобів автоматизації та апаратури, що використовується в даній схемі;
- перелік креслень, що відносяться до даної схеми, загальні пояснення та примітки.

Електричний привод SAS61.03/MO фірми Siemens, що використовується для керування розподілом теплоносія за площею обігріву теплиці, підключено до ПЛК M238 за допомогою мережі RS485 по протоколу MODBUS RTU (рис. 5.10).

Принципова електрична схема умовно розділена на три складових: силову частину (рис. 5.11), підключення програмованого логічного контролеру M238 (рис. 5.12) та підключення до програмованого логічного контролеру додаткових модулів (рис. 5.13) та електричних приводів.

Принцип роботи системи автоматичного керування температурою повітря у теплиці в зимовий період полягає в керуванні триходовим вентилем за допомогою програмованого логічного контролера M238.

Процес обігріву теплиці в зимовий період відбувається згідно агротехнічних умов щодо вирощування рослинної продукції. Починається процес виконання програми в ПЛК D1.1 запуском в автоматичному режимі після вмикання автоматичного вимикача QF1-2. Після натискання кнопки

SB1 програма вмикає частотний перетворювач U1 через проміжне реле KL1 та магнітний пускач KM1.

SAS61../MO

AC 24 V / DC 24 V

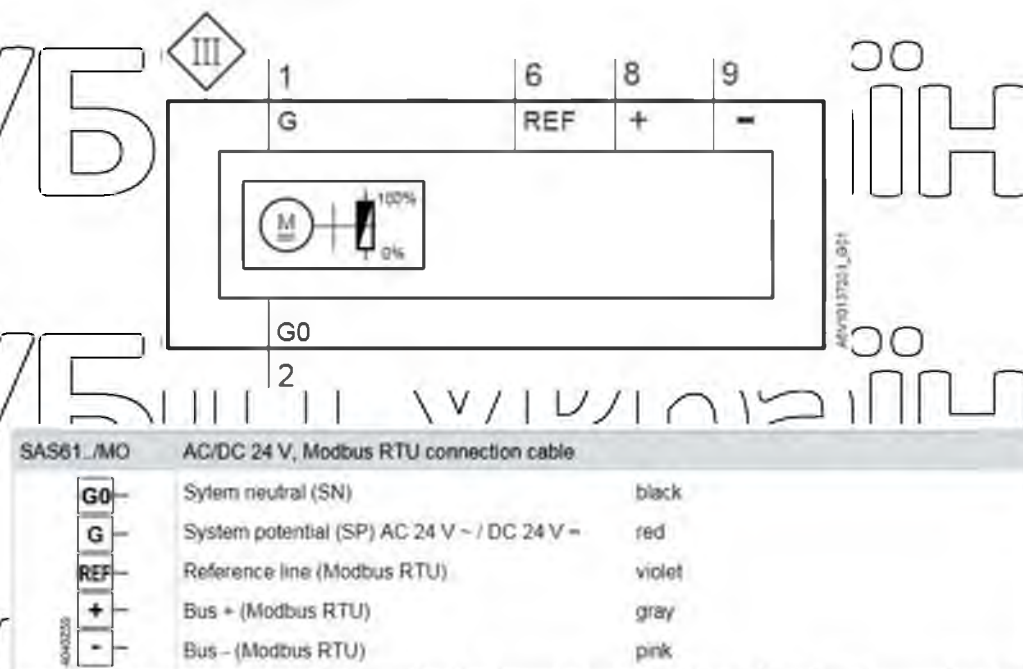


Рис. 5 10. Схема підключень електричного приводу SAS61.03/MO фірми Siemens

Частотний перетворювач керує насосом подачі теплоносія в систему обігріву в автоматичному режимі у відповідності до тиску який вимірюється датчиком D1.2. Значення температури зчитуються датчиками температури D1.4-6, які приєднані до модуля розширення D1.3. Інформація отримані від датчиків температури повітря опрацьовується в ПЛК та в залежності від керуючої дії ПІД регулятора подається сигнал на електричний привод триходового вентиля D1.7. Зміна кута відкриття цього вентиля регулює температуру теплоносія (води), що призводить до зміни температури повітря в теплиці. Додатково передбачено переключення до ручного режиму керування за допомогою перемикача SA1. Ручний режим керування реалізується програмно, тобто відключається підпрограма ПІД регулятора. В ручному режимі керування можна змінити кут відкриття вентиля за

допомогою змінного резистора R5. Зупинка виконання програми відбувається з використанням кнопки SB2. Кнопки SB3-4, лампи HL6-8 та змінний резистор R5 призначенні для налаштування куту відкриття заслінок

D1.8-19 для подачі теплоносія в окремі ділянки системи опалення.

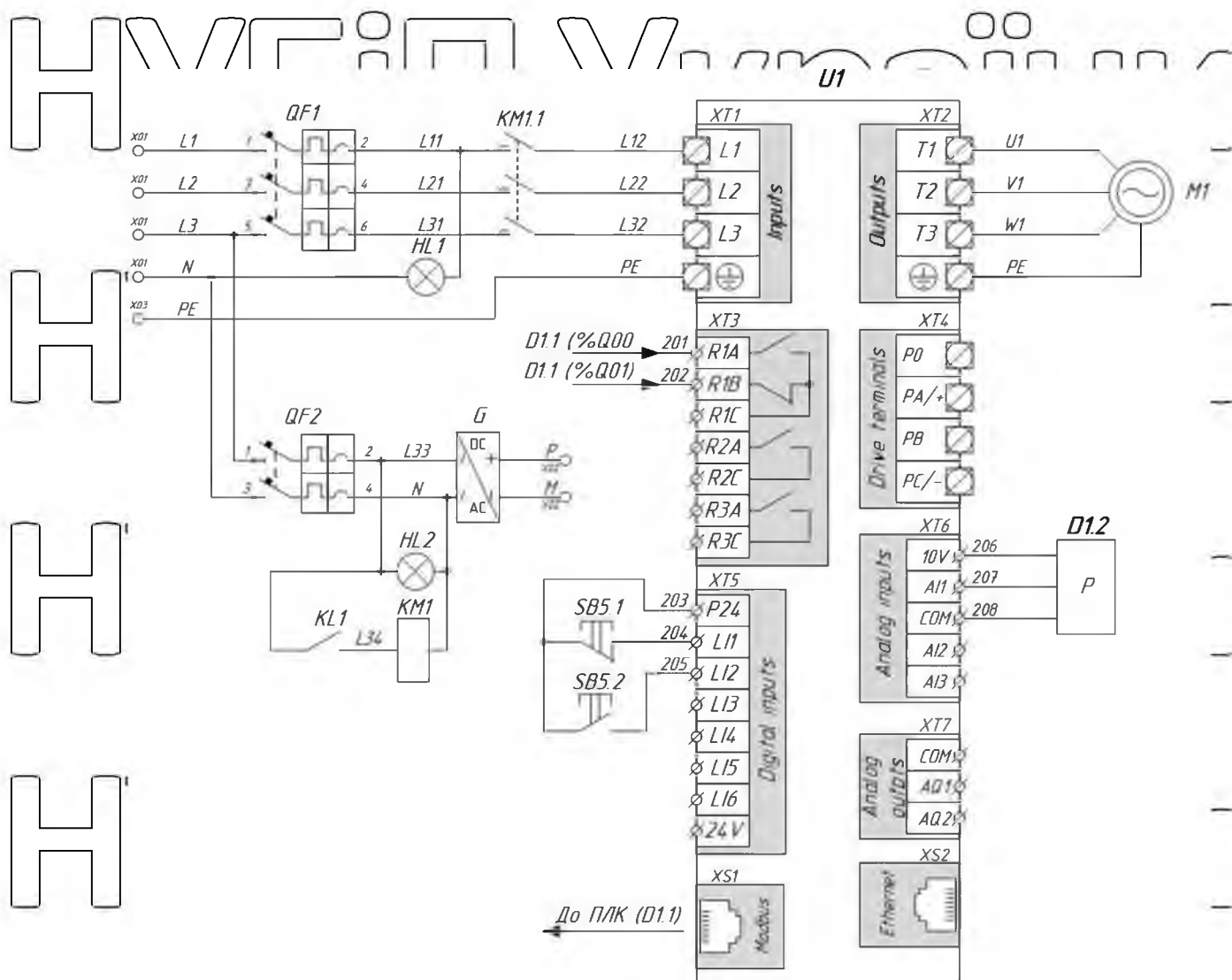


Рис. 5.11. Принципова електрична схема системи автоматичного керування температурою повітря з використанням акумуляторів теплової енергії у теплиці в зимовий період (слова частини)



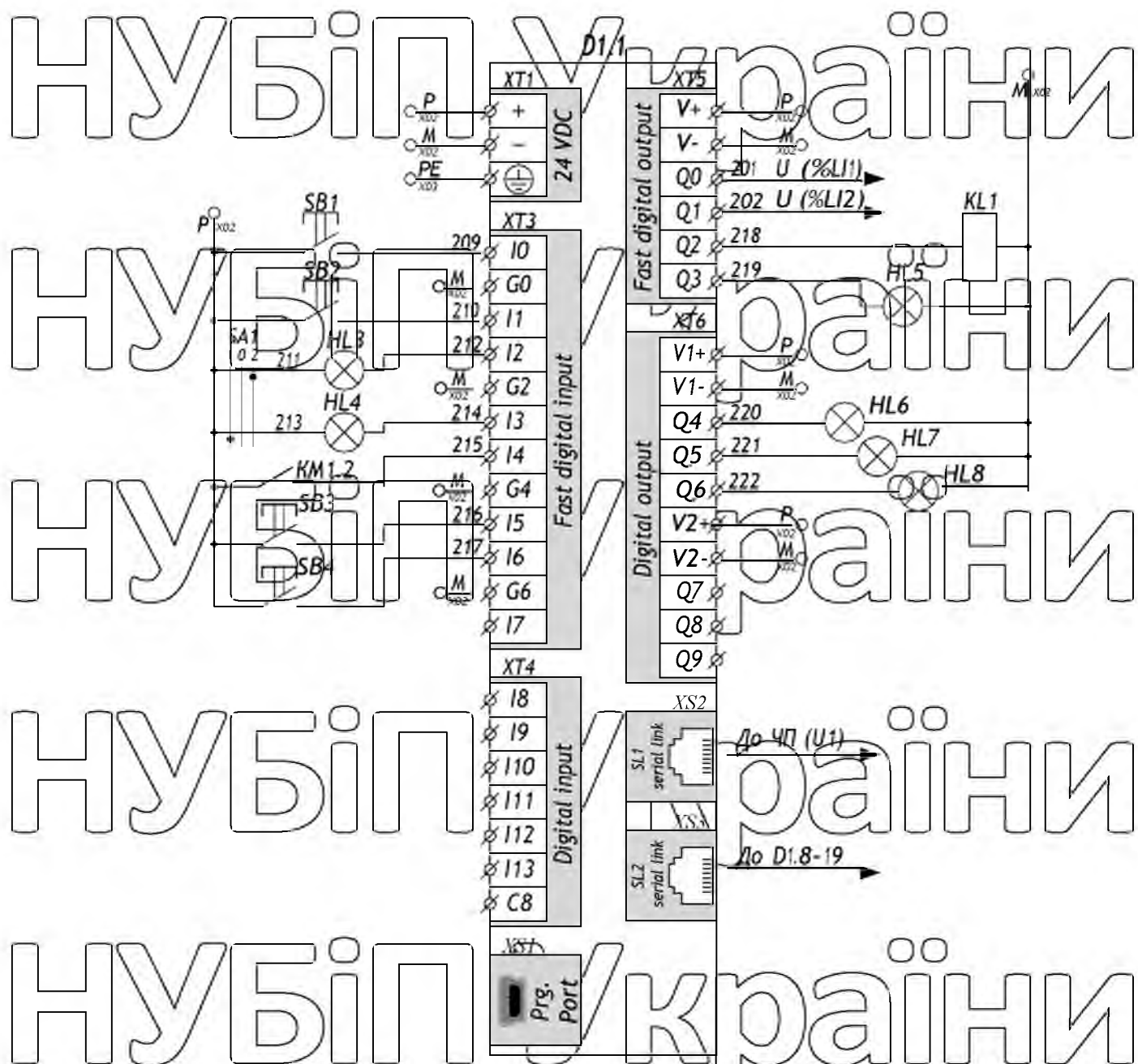


Рис. 5.12. Принципова електрична схема САК температурою повітря з

використанням акумуляторів теплової енергії у теплиці в зимовий період

(ПЛК)

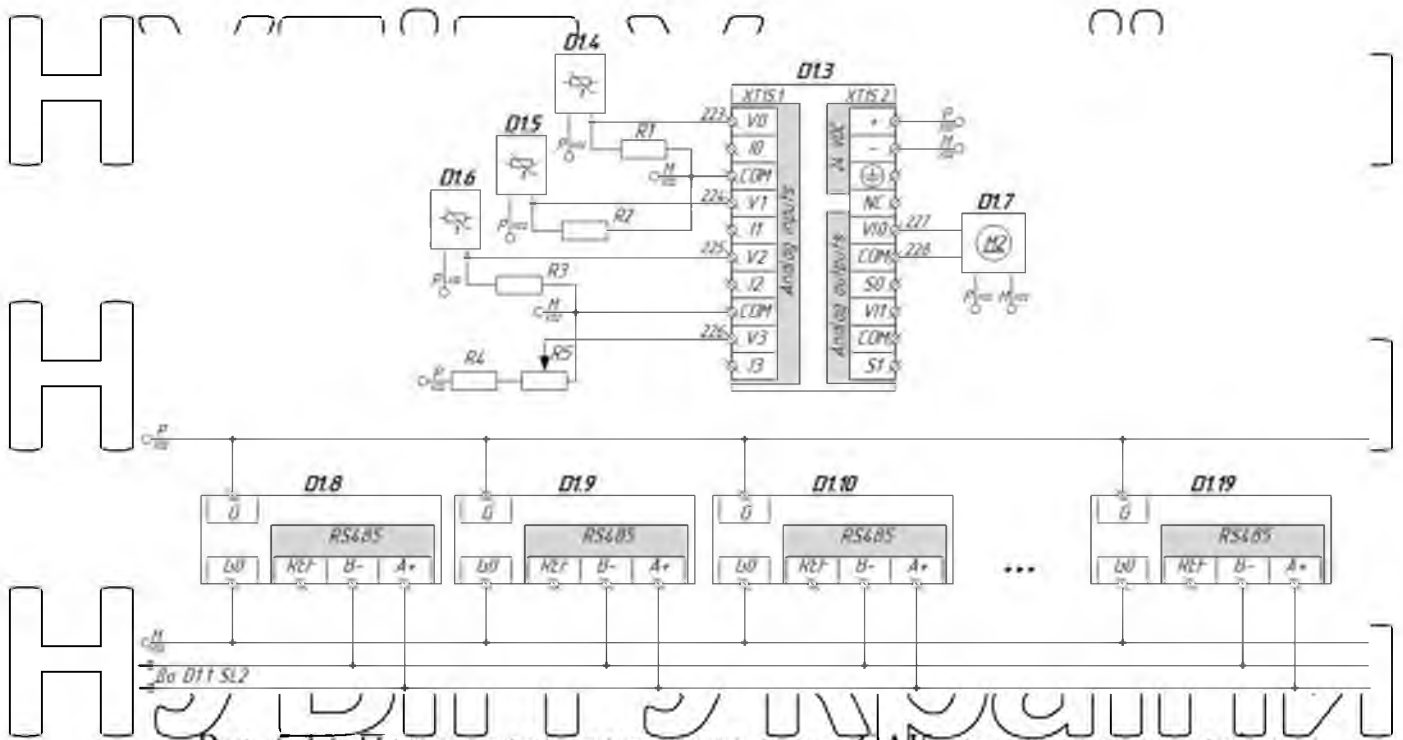


Рис. 5.13. Принципова електрична схема САК температурою повітря з

використанням акумуляторів теплової енергії у теплиці в зимовий період

(модуль розширення ПЛК та електричні приводи)

### 5.3. Розробка схеми з'єднань

Згідно з ГОСТ 2.702-75 "Правила виконання електричних схем" схеми з'єднань — це схеми, на яких зображують з'єднання складових частин установки або виробу. Вони розробляються на основі принципових схем живлення та використовуються під час виконання монтажних і налагоджувальних робіт.

Схеми з'єднань виконують на підставі таких загальних правил:

- схеми з'єднань розробляють на один щит, пульт, статор, станцію керування;

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

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

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

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

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

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

• умовно арабськими цифрами, що зумовлено пояснювальними надписами. Слід зазначити, що маркування проводів і позначення затискачів на схемах з'єднань є незалежними;

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

#### 5.4. Розробка схеми підключень

Згідно з ГОСТ 2.702-75 схеми вмикання показують зовнішнє підключення апаратів, установок щитів, пультів і т.д. Схеми з'єднань виконують на підставі принципових схем живлення, специфікацій приладів і

обладнання а також креслень виробничих приміщень із розміщенням технологічного обладнання та трубопроводів, використовують під час монтажу проводок, що забезпечують живлення щитів, пультів, установок, приладів та апаратів.

Практично використовують дві побудови схем підключень: графічну та табличну. Більш поширеною є графічна. При цьому умовними графічними позначення зображають: відбірні пристрої та первинні перетворювачі; щити, пульти та локальні пульти керування контролю сигналізації та вимірювання; позашитові прилади та засоби автоматизації; з'єднувальні та протяжні коробки, вільні коробки кінців термонари, електропроводки та кабелі, що прикладаються поза щитами; вузли приєднання електропроводів і приладів, апаратів та коробок; забірну апаратуру, елементів з'єднання та від галуження; комутаційні затискачі, розміщені поза щитами; захисне заземлення.

Шафи, пульти, окремі прилади та апарати зображають у вигляді прямокутників кіл, у середини яких розміщують відповідні надписи.

Зв'язки одного призначення на схемах підключень показують суцільні лінії, і лі в місцях приєднання для приладів виконавчих механізмів та до інших апаратів проводи розділяють, щоб провести їх маркування.

На лініях зв'язку, що означають проводи або кабелі, вказують номер проводки (підключення), марку, переріз та довжину проводів і кабелів (якщо проводка виконана в трубі, то необхідно вказати також характеристику труби).

Проводи, джгути та кабелі показують лініями товщиною 0.4...1 мм.

Схеми підключень виконують без збереження масштабу у вигляді, зручному для користування.

Для відводок до окремих електроприймачів, які працюють з постійною потужністю споживання за максимально довгі робочі струми приймають їх номінальний струм, тобто:

$$I_{ц.р} = I_n \quad (5.1)$$

Номінальні струми визначаються за формулою:

– для однофазних приймачів:

$$I_n = \frac{10^3 \cdot P_n}{U_n \cdot \cos\varphi_n} \quad (5.2)$$

– для трифазних приймачів:

$$I_n = \frac{10^3 \cdot P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi_n} \quad (5.3)$$

– для трифазних асинхронних короткозамкнених електродвигунів:

$$I_n = \frac{10^3 \cdot P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi_n \eta_n} \quad (5.4)$$

де  $P_n$  – номінальна потужність споживання електроспоживання, кВт;

$U_n$  – номінальна напруга, В;

$\cos(\varphi_n)$  – номінальний коефіцієнт потужності;

$\eta_n$  – номінальний ККД електродвигуна.

Поперечний переріз струмопровідних жил проводу вибирають з умов:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{нпн}} \quad (5.5)$$

Для кабелів сигналізації та контролю важливим фактором є опір лінії:

$$R = \frac{l}{\gamma \cdot F} \quad (5.6)$$

де  $l$  – довжина лінії, км;

$F$  – поперечний переріз;

$\gamma$  – активний питомий опір проводу (для мідних проводів

$\gamma = 53 \cdot 10^6$  Ом/м; для алюмінієвих проводів  $\gamma = 23 \cdot 10^6$  Ом/м).

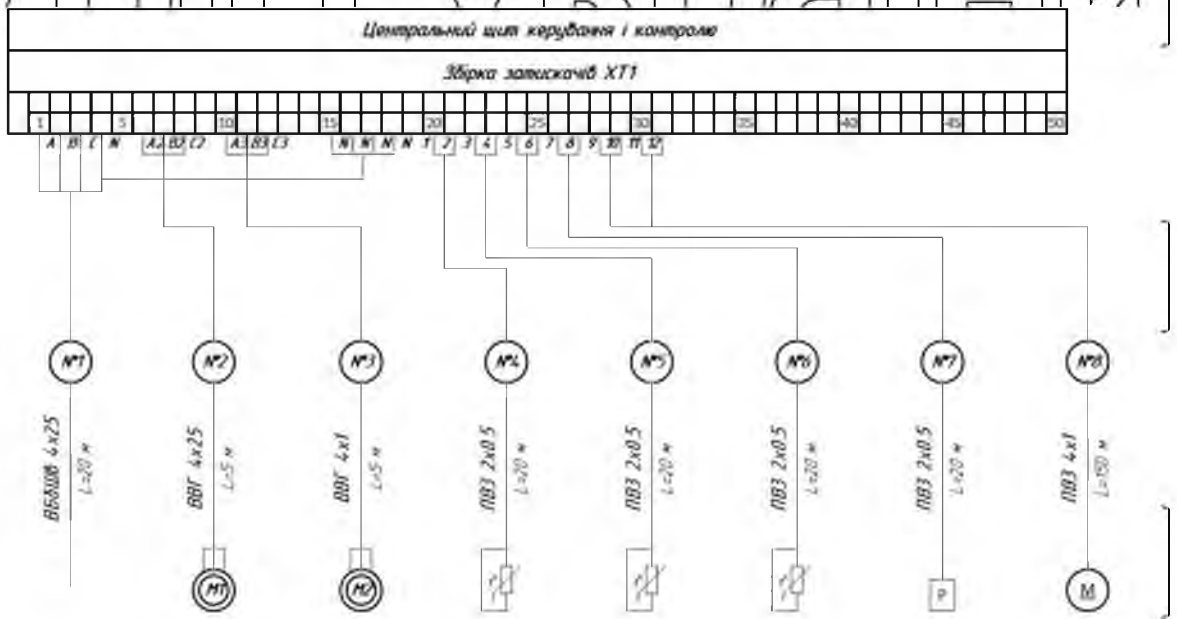
При розробці схеми САК температураю повітря з використанням акумуляторів теплової енергії у теплиці в зимовий період використовуємо наступні правила:

схему з'єднань розроблена на щит R5CE0664 DKC IP55;

– усі елементи QF, KM, KV, D, U було розміщено на задній панелі щита керування згідно ДСТУ «ГОСТ 2.702:2013 Единая система

конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем»;

– дотримано маркування кабелів, ліній зв'язку з використанням «ГОСТ 2.710-81, ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах».



	Щит живлення	Електродвигун насоса	Виконавчий механізм	Термоопір	Термоопір	Термоопір	Датчик тиску	Виконавчий механізм
Тип	ВРП-1	М1	ANT3-5.11SC	ТСМ-1088	ТСМ-1088	ТСМ-1088	XMI.G016D21	SAS6103/MD

Рис. 5.14. Схема електрична підключень САК температурою повітря з використанням акумуляторів теплової енергії у теплиці в зимовий період

### 5.5. Вибір апаратів захисту та керування

*Вибір автоматичного вимикача QF1.*

У відповідності до розробленої схеми автоматичний вимикач QF1 встановлюється для керування частотним перетворювачем U1 потужністю 15 кВт, тому для його захисту обираємо автоматичний вимикач який розраховано на:

$$I_{nd} = 380 \text{ A};$$

$$I_{nd} = 48 \text{ A}$$

Обираємо автоматичний вимикач iK60N C 50A 3P (рис. 5.15) з наступними технічними характеристиками:  $U_{ма} = 400V$ ;  $I_{ма} = 50A$ . Захист від перевантаження та перегріву електродвигуна відбувається завдяки вбудованому захисту частотного перетворювача.



Рис. 5.15. Автоматичний вимикач iK60N

*Вибір автоматичного вимикача QF2.*

Згідно технічного завдання в схемі використовуються програмований логічний контролер, 12 електричних приводів та 1 магнітний пускач, тому для захисту обираємо автоматичні вимикачі якій розраховано на:

$$U_n = 240V;$$

$$I_n = 2A.$$

Обираємо автоматичний вимикач iK60N (рис. 5.16) з наступними технічними характеристиками:  $U_{ма} = 240V$ ;  $I_{ма} = 2A$ .

НУБІП України



Рис. 5.16. Автоматичний вимикач iK60N

*Вибір електромагнітного пускача КМЛ.*

Електромагнітний пускач повинен відповідати наступним вимогам:

$$U_n \geq 380V;$$

$$I_n > 50A;$$

$$U_k = 220V.$$

Згідно умов обираємо електромагнітний пускач LC1D65AM7

(рис. 5.17) з наступними основними характеристиками:  $U_n = 440V$ ;  $I_n = 65A$ ;

$$U_k = 220V.$$



Рис. 5.17. Електромагнітний пускач LC1D65AM7

*Вибір проміжного реле КЛД.*

Проміжне реле повинно відповідати наступним вимогам  
кількість контактів 1;



малій струмі обмотки;  
 $U_k = 24V$   
 Використовуючи перелічені умови обираємо проміжне реле MY4-NS

24V DC (рис. 5.18) з наступними основними характеристиками: кількість

контактів – 4 групи;  $I_n = 5A$  при  $U_n = 240V$ ;  $U_k = 24V$ .  
 Вибір двопозиційного перемикача SA1.  
 Перемикач повинен задовольняти наступним вимогам:  $U_s \geq 24V$ ;

$I_s > 0.5A$ . Обираємо двопозиційні перемикачі з нульовим положенням

XB5AD33 (рис. 5.19) з наступними основними характеристиками:  $U_s = 220V$ ;  
 $I_s = 3A$ .



Рис. 5.18. Проміжне реле MY4-NS 24V DC



Рис. 5.19. Двопозиційний перемикач з нульовим положенням XB5AD33

Використовуємо кнопку без фіксації "Старт" зелену ZB5 AA33 (рис. 5.20) та кнопку "Старт-Стоп" ZB5 AW833743 (рис. 5.21).



Рис. 5.20. Кнопка без фіксації "Старт" зелена ZB5 AA33



Рис. 5.21. Кнопка "Старт-Стоп" ZB5 AW833743

## 5.6. Розрахунок надійності системи автоматичного керування

Для розрахунку надійності САК температурою повітря з використанням акумуляторів теплової енергії у теплиці в зимовий період занесемо в таблицю всі елементи схеми електричної принципової САК температурою повітря з використанням акумуляторів теплової енергії у теплиці в зимовий період з зазначенням інтенсивності їх відмови (табл. 5.1).

Результуюча інтенсивність відмови всіх елементів буде становити:

$$\lambda_p = 77.248 \cdot 10^{-6}, \text{ год}^{-1}.$$

Візьмемо, що термін експлуатації системи становитиме  $t = 1 \cdot 10^3$  год, тобто результуючу ймовірність безвідмовної роботи САК температурою повітря з використанням акумуляторів теплової енергії у теплиці в зимовий період визначимо за виразом:

$$P_{\text{без}}(1000) = \exp(-77.248 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3) = 0.925660261.$$

Таблиця 5.1  
 Розрахункові параметри САК температурою повітря в використанні  
 акумуляторів теплової енергії у теплиці в зимовий період на надійність

№	Найменування	Кількість	Інтенсивність	Рез. інтенсивність
1	Електромеханічне реле	2	0.5	1
2	Контакти	3	0.25	0.75
3	Автоматичні вимикачі	2	0.13	0.26
4	Лампи	8	0.625	5
5	Трансформатори	2	0.17	0.34
6	Електродвигуни	13	5.24	68.12
7	Інтегральні мікросхеми	14	0.1	1.4
8	Кнопка	6	0.063	0.378
				77.248

### 5.7. Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи керування температурою повітря у теплиці

Для розробки комп'ютерно-інтегрованої системи керування використовуємо програмне забезпечення SCADA Trace Mode 6.10. Для візуалізації основних параметрів системи автоматичного керування на головному екрані розміщуємо функціональну схему теплиці з зазначенням неї основних параметрів: температуру в шатрі теплиці; температуру води на вході і виході геліоколектора; кут відкриття засувки (рис. 5.22). Окремим графічним елементом позначаємо роботу окремих вузлів: червоний колір – вимкнено, зелений колір увімкнено. Комп'ютерно-інтегрована система керування температурою повітря у теплиці передбачає автоматичний режим роботи за замовчанням, але для інженерних налаштувань та аварійних режимів роботи передбачено переведення роботи системи на ручне керування. В додатковому вікні налаштувань можна змінити коефіцієнти ПІД-регулятора. Також передбачено налаштування роботи котла і водяного геліоколектора. Вся інформація з датчиків температури записується в архів для подальшого можливого опрацювання.

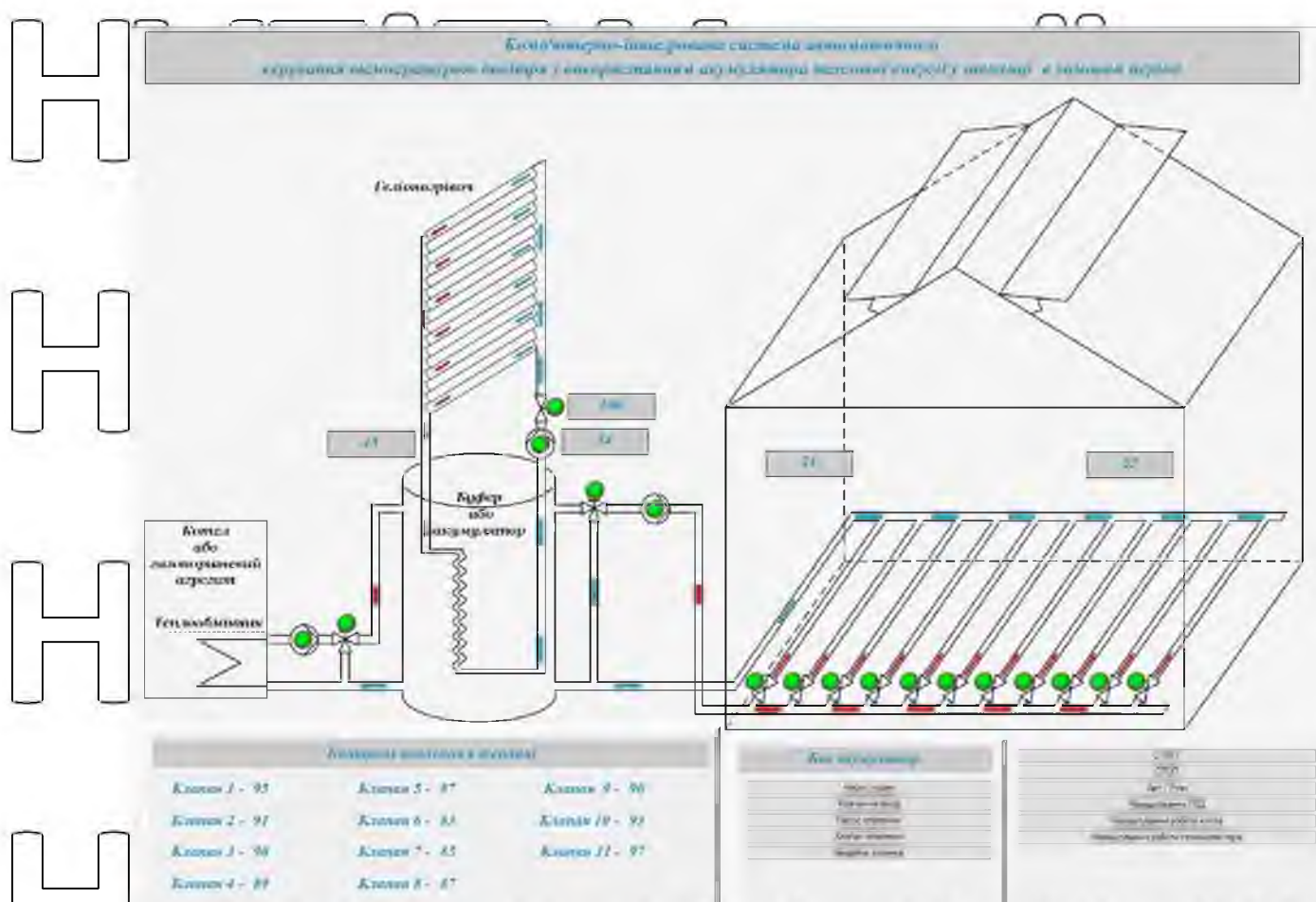


Рис. 5.22. Головний екран комп'ютерно-інтегрованої системи керування температурою повітря у теплиці

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

# РОЗДІЛ 6

## РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

Основним завданням автоматизації технологічних процесів в тепличному господарстві є збільшення обсягів виробництва продукції, підвищення продуктивності праці (зменшення витрат праці), зменшення енергозаграт та кінцевої вартості продукції, терміну окупності витрат на створення підприємства в цілому.

Для розрахунків використаємо стандартну методику розрахунків терміну окупності, яка була викладена в курсі «Економіка автоматизованих виробництв в АПК» та заносимо формули та результати розрахунків в EXCEL (рис. 6.1+2).

№	Назва обладнання	Тип	Кількість	Ціна/шт.	Ціна
1	Вимикач автоматичний	АЕК24350	1	825.19	825.19
2	Вимикач автоматичний	iK60N	1	109.74	109.74
3	Програмований логічний контролер	Modicon M238	1	7 954	7954
4	Частотний перетворювач	ATV312HU55N4	1	33960	33960
5	Електромагнітний пускач	LC1D65AM7	1	3 676.55	3676.55
6	Датчик тиску	XMLG016D21	1	5 752	5751.78
7	Датчик температури	TCM-1088	3	2 150	6450
8	Модуль розширення	TM2AMM6HT	1	1 847	1847.28
9	Проміжне реле	MY4-NS 24V DC	1	90	90
10	Виконавчий механізм	ANT3-5.11SC	1	7688	7688
11	Виконавчий механізм	SAS61.03/MO	11	8948	98428
12	Блок живлення постійного струму	HDR-30-24	1	325.92	325.92
13	Кнопка без фіксації "Старт" зелена	ZB5 AA33	4	109.05	436.2
14	Кнопка "Старт-Стоп"	ZB5 AL8334	1	180.28	180.28
15	Перемикач з нульовим положенням	XB5AD33	1	265	265
16	Лампа сигнальна червона	A22-RLF-RT 220V	2	26	52
17	Лампа сигнальна зелена	AD22-22DS 24 V	6	34	204
18	Резистор	2K - 0,25W ±1%	4	0,5	2
19	Резистор змінний	0...2K - 0,25W ±1%	1	25	25
20	Щит керування	R5CE0664 DKC	1	3 611.00	3611
21	Клемна збірка		3	90	270
	Всього				172151.9

Рис. 6.1. Загальна вартість технічних засобів автоматизації САК температурою повітря з використанням акумуляторів теплової енергії у теплиці в зимовий період

Аналізуючи отримані дані (рис. 6.2), бачимо, що прибуток складає 85233.6 грн., а через 2.6 роки САК температурою повітря з використанням

аккумуляторів теплової енергії у теплиці в зимовий період повністю

окупається і вже працюватиме на чистий прибуток. Тому робимо висновок, що установка економічно ефективна і використовувати її доцільно.

Розрахункові значення	Од.	Відповідний коефіцієнт	Значення
1 Загальна вартість технічних засобів автоматизації			172151.9
2 Торгівельно-транспортні витрати		0.11	18936.71
3 Витрати на монтаж технічних засобів		0.17	29265.83
4 Витрати на прокладення проводок	150	17.67	2650.5
5 Чіткі капітальні витрати 2%		0.02	3443.039
6 Капітальні витрати			22644.8
7 Відрахування на амортизацію		0.15	33967.2
8 Витрати на поточний ремонт		0.18	40760.64
9 Витрати на енергоресурси		1.3	2733.12
потужність автоматизації	1.46		
кількість годин роботи	1440		
10 Витрати на оплату праці персоналу			86400
кількість персоналу	2		
ставка оператора	30		
11 Річні експлуатаційні витрати			163861
12 Зведені витрати		0.15	197828.2
13 Чистий прибуток			85233.6
прибуток за рахунок зменшення персоналу			34153.6
прибуток за рахунок зменшення браку			1080
економія за рахунок підвищення якості	0.01%		
14 Термін окупності САК			2.656793

Рис. 6.2. Розрахункова таблиця для знаходження терміну окупності від впровадження САК температурою повітря з використанням аккумуляторів теплової енергії у теплиці в зимовий період

# НУБІП України

## РОЗДІЛ 7

### ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ І ОХОРОНА ПРАЦІ

#### 7.1. Монтаж та техніка безпеки при роботі з водяними геліоколекторами

##### *Труби та обладнання.*

Для проведення труб первинного контуру циркуляційної системи через покрівельне покриття даху рекомендується використовувати гнучкі сталеві труби, покриті ізоляцією. Якщо дах з великим кутом нахилу з черепині або металочерепиці, рекомендується прокладати з'єднувальні труби через вентиляційні отвори горища. У разі плоских дахів із малим ухилом, рекомендується прокладання через зовнішню стіну. На трубах між колектором та запобіжним клапаном не повинно бути будь-яких запірних пристроїв.

Тиск, який витримує клапан безпеки, 6 атм. У нижній точці циркуляційної системи необхідно передбачити зливний вентиль. Якщо вентиль буде змонтовано після теплообмінника, повітря потраплятиме в теплообмінник під час промивання системи.

Встановлення колектора необхідно виконувати після закінчення монтажу труб первинного контуру циркуляції.

Перед монтажем сонячного колектора необхідно обстежити стан конструкцій та покрівлі даху з точки зору додаткового навантаження на них.

Геліоколектори можуть бути змонтовані на плоских і похилих поверхнях даху та вбудовані в його поверхню, а також на балконах, на спеціальних вертикальних або похилих стедаках, як елементи фасаду будівлі, на рамах біля будинків. При монтажі слід виконувати інструкції з виконання висотних робіт.

Необхідно підключити колектор і конструкцію громовідводу, що несе, якщо така вже є. Таке підключення має зробити електрик. При від'єднанні необхідно бути обережним, щоб не пошкодити корпус колектора. Роботи на

даху необхідно виконувати за дотриманням загальних правил безпеки. Так, при роботі на висоті понад 4 м потрібний допуск до висотних робіт.

Для об'єднання сонячних колекторів у батарею після монтажу несучої

конструкції необхідно закріпити колектори та встановити на них відвідники

повітря. Після перевірки правильності та надійності монтажу потрібно з'єднати колектори за допомогою відповідних затискачів у батарею.

*Наповнення теплоносієм.*

Після закінчення монтажу трубопроводів первинного контуру

циркуляційної системи та сонячних колекторів, заповнення водою бака-

аккумулятора можна приступати до заповнення системи теплоносієм. Не

рекомендується починати цей процес за високої інтенсивності сонячного

випромінювання через те, що можливе утворення пари, або необхідно

прикрити поверхню абсорбера колектора від потрапляння прямих сонячних

променів.

Наповнення системи здійснюється за допомогою зовнішнього насоса.

Для первинного контуру геліосистеми рекомендуються спеціально

призначені для цього розчини. Якщо в первинному контурі системи немає

повітряних пробок, а тиск холодної системи (температура менше 30 °С) досяг

4.2...4.5 атм., можна вважати заповнення достатнім і перекрити подачу

теплоносія.

Приєднання запобіжного клапана має знаходитись у

розширювальному баку. Вихід із запобіжного клапана необхідно підключити

до стаціонарно закріпленої порожньої ємності або канистри з-під розчину.

Відпрацьований теплоносій необхідно утилізувати у відповідному місці для

нейтралізації відходів.

Враховуючи безпеку та корозійну стійкість системи, не допускається

використання будь-яких домішок іншого теплоносія чи води. Забороняється

заповнення циркуляційної системи водою.

*Правила безпеки.*



Необхідно керуватися сучасними нормами та правилами, що стосуються монтажу, налагодження та експлуатації систем та пристроїв електричного нагріву та сантехніки, а також геліосистем. Електричні

пристрої, які застосовуються в системі при монтажі та експлуатації,

підпадають під норми та правила безпеки щодо ураження електричним струмом для установок напругою до 1000 В. Відповідні правила для країн Євросоюзу передбачають:

- застосування безпечної напруги (до 36);
- ізолювання струмопровідних частин електричного кола від прямого дотику;
- додаткові заходи безпеки, що забезпечують захист від ураження на доступних частинах обладнання струмом, що виникає внаслідок пошкодження ізоляції проводів.

При монтажі та експлуатації електричних пристроїв необхідно також знати та виконувати норми та правила протипожежної охорони.

Під час робіт слід застосовувати інструменти, пристрої, захисне обладнання відповідно до правил та приписів, що застосовуються у цій сфері.

Особи, які приступають до роботи на електричному устаткуванні, повинні мати допуск до монтажу та експлуатації пристроїв з напругою до 1000 В.

#### *Електричне з'єднання регулятора.*

Електричне обладнання геліосистеми з'єднують електричними кабелями за схемою. У той же час необхідно адаптувати загальний проект геліосистеми до конкретних умов монтажу в будинку. Електричні з'єднання між температурним датчиком колектора та регулятором повинні бути паяними та добре ізольовані від попадання вологи.

Важливо передбачити у конструкції вирівнювання потенціалів відповідно до стандартів. Воно несе захисну функцію та перешкоджає електрохімічним процесам руйнування металевих частин геліоколектора.

#### *Запуск та особливості системи.*

Перед запуском потрібно провести всебічну перевірку всіх елементів геліосистеми. Система може бути введена в дію після її наповнення теплоносієм та усунення повітряних пробок. Найменше дозволене значення тиску теплоносія в холодній системі (температура 30 °С) становить 4.2 бар.

Після проведення всіх монтажних-налагоджувальних робіт та додаткових робіт із захисту від ураження блискавкою та вирівнювання потенціалів можна розпочати випробування.

Значні коливання показань манометра у системі циркуляції вказують на присутність повітря у первинному контурі геліоустановки. Необхідно випустити повітря через відвідник повітря або, у разі потреби, знову промити систему. Коли повітря повністю вийде, регулятор, який керує сонячною системою, переводиться на автоматичний режим. З цього моменту геліоустановка має працювати без обслуговування.

Геліоустановка сконструйована таким чином, що навіть якщо тривалий час немає потреби в гарячій воді і тепла енергія не відводиться споживачеві, немає потреби вчиняти будь-які дії. Навіть у ситуації довгих простоїв не потрібно спускати теплоносії із установки. Однак, щоб уникнути перегріву геліоустановки, в жодному разі не можна припиняти електропостачання електронного регулятора або вимикати його.

При експлуатації геліоустановки для часткового опалення будинку є додаткові умови. Комунікації, що з'єднують накопичувач тепла, котел, що обігриває, і розширювальний бак, не повинні закриватися будь-якою запірною арматурою.

Враховуючи можливість перегріву, необхідно передбачити встановлення у системі триходових змішувальних клапанів, які обмежують перегрів установки та запобігають її пошкодженню. Величина розширювального бака має бути ретельно розрахована відповідно до загальної ємності опалювальної системи.

*Гарантія та обслуговування.*

Для забезпечення гарантійних зобов'язань фірми-виробника необхідно, щоб монтажні та пусконаладжувальні роботи виконувались спеціалізованими та авторизованими організаціями та фірмами.

При щорічному обстеженні необхідно провести:

- контроль вакууму;
- контроль стану теплоносія (тиску в системі);
- контроль рідин за значенням рН (>7);
- контроль безпеки від замерзання (-30 °С);
- заповнення установки рідиною (не додавати воду!);
- контроль положення на даху (надійність кріплення та щільність ізоляції);
- загальний контроль функціонування всієї системи.

Під час передачі геліосистеми в експлуатацію необхідно навчити клієнта здійснювати регулярний контроль тиску в циркуляційній системі та вакуумі.

## 7.2. Охорона навколишнього середовища

Проект охорони навколишнього середовища розробляється відповідно до вимог Допомоги по зіставленню розділу проекту (робочого проекту) до СНіП «Охорона навколишнього природного середовища».

При складанні даного розділу проекту необхідно керуватися законодавством, керівними матеріалами і нормативно-методичними документами з охорони навколишнього середовища і раціональному використанню природних ресурсів з урахуванням положень СНіПа 1.08.01-85 («Охорона навколишнього природного середовища»), що регламентують і відображають вимоги з охорони природи при будівництві та експлуатації промислового об'єкта.

Питання охорони природи і раціонального використання природних ресурсів повинні розглядатися з повним урахуванням особливостей

природних умов району розташування проектного підприємства, оцінюється за його вплив на екологію прилеглому району, можливості попередження негативних наслідків в найближчій і віддаленій перспективі.

Охорона навколишнього природного середовища при будівництві і експлуатації промислового підприємства, споруди полягає в здійсненні комплексу технічних рішень щодо раціонального використання природних ресурсів і заходів щодо запобігання негативного впливу проекту на підприємства на навколишнє середовище.

При проектуванні підприємств, будівель і споруд, створенні та вдосконаленні технологічних процесів і устаткування повинні передбачати заходи, що забезпечують мінімальні валові закидання забруднюючих, шляхом впровадження безвідходних технологій та утилізації відходів підприємства, а також впровадження сучасних методів та обладнання очистки/викидів шкідливих речовин в навколишнє природне середовище.

В розділ «Охорона навколишнього природного середовища» необхідно включати, крім економічної оцінки ефективності природно-охоронних заходів, матеріали оцінки впливу проектного промислового комплексу, підприємства або споруди на навколишнє середовище, здоров'я населення і природні ресурси (ОВНС) з економічною оцінкою відшкодування матеріального і соціального збитку.

Для знову проектуємих підприємств, а також для діючих, реконструюємих підприємств, які не мають інструментальних замірів за діючими джерелами, кількість пилу, що викидається в атмосферу в одиницю часу, визначається технологічними розрахунками.

Для підприємств, їх окремих будівель і споруд з технологічними процесами, явними джерелами виробничих шкідників, передбачена санітарна класифікація, що враховує потужність підприємства, умови здійснення технологічних процесів, характер і кількість що виділяються в навколишнє середовище шкідливих і неприємно пахнуть, шум, вібрацію.

За санітарною класифікацією сховища і холодильники відносяться до V класу з санітарно-захисною зоною 50 м.

Розміри санітарно-захисної зони (СЗЗ), встановлені в санітарних нормах проектування промислових підприємств, повинні перевірятися

розрахунком забруднення атмосфери в співвідношенні до вимог ОНД з урахуванням перспективи розвитку підприємства і фактичного забруднення атмосферного повітря. Визначення розмірів санітарно-захисної зони

зводиться до комплексного розрахунку розсіювання шкідливих речовин, що видаляються усіма джерелами (наземними, лінійними і точковими), з урахуванням сумарної їх дії і наявності забруднень, створених сусідніми підприємствами і транспортом.

Отримані за розрахунком розміри санітарно-захисної зони повинні сходитися як у бік збільшення, так і у бік зменшення, в залежності від середньорічного районного розташування підприємства за додатком Е.

При визначенні розмірів санітарно-захисної зони розрахунки розсіювання шкідливих речовин, що містяться у викидах декількох джерел, розосереджених на пром. майданчику як з урахуванням місцевості, так і без нього, використовуючи створені уніфіковані програми розрахунків забруднення атмосфери (УПРЗА).

Допускається розрахунок розсіювання виконувати вручну за допомогою «Методики розрахунку концентрації в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств».

## ВИСНОВКИ

В магістерській роботі було проведено дослідження використання бака акумулятора теплової енергії та використання водяних геліоколекторів, як об'єкта керування та розроблено систему автоматичного керування опаленням теплиці з використанням технічних засобів фірми Шнейдер Електрик.

Розроблено систему автоматичного керування температурою повітря з використанням акумуляторів теплової енергії у теплиці в зимовий період із використанням комплексу технічних засобів Schneider Electric.

Розроблено математичну модель та отримано передатну функцію температурою повітря з використанням акумуляторів теплової енергії у теплиці в зимовий період.

Розраховано цифровий ПІД регулятор який має відмінні показники якості та стійкості.

В магістерській роботі використано програмований логічний контролер TM238LFDC24DT, який програмно реалізує ПІД алгоритм керування в САК температурою повітря з використанням акумуляторів теплової енергії у теплиці в зимовий період.

Розроблено схему електричну принципову САК температурою повітря з використанням акумуляторів теплової енергії у теплиці в зимовий період та оцінено її надійність.

Проведено техніко-економічне обґрунтування САК температурою повітря з використанням акумуляторів теплової енергії у теплиці в зимовий період, яке в результаті якого визначено, що через 2.6 роки установка повністю окупається і вже працюватиме на чистий прибуток.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Корчемний, М. О., Федорейко, В. М., Щербань, В. А. (2001). Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Підручники і посібники. 984.
2. Левенберг, В. Д., Ткач, М. Р., Гольстрем, В. А. (1991). Аккумуляция тепла. «Техника». 112.
3. Бекман, Г., Гилли, П. (1987). Тепловое аккумулярование энергии (пер. В. М. Бродянского). Мир. 272.
4. Ромь, Е. (1973). Периодическое аккумулярование тепловой энергии. Регенератор. Теплопередача, 101(4), 189–196.
5. Валов, М. И. (1985). Выбор объема бака-аккумулятора в системе гелиотеплоснабжения. Гелиотехника, 5, 47–50.
6. Драганов, Б. Х. (1988). Использование возобновляемых и вторичных энергоресурсов в сельском хозяйстве. Высшая школа. 56.
7. Шишко, Г. Г., Потапов, В. О., Сулима, Л. Т., Чебанов, Л. С. (1993). Теплицы и тепличные хозяйства: справочник (под ред. Г. Г. Шишко). Урожай. 424.
8. Котов, Б. І., Спирін, А. В., Калніченко, Р. А. (2016). Електротепловий спосіб акумуляції енергії для активного вентилявання сільськогосподарської продукції. Техніка, Енергетика, Транспорт АПК, 1, 81–83.
9. Максименко, І. М. (2007). Автоматизація систем забезпечення заданої температури з альтернативними джерелами енергії: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.07. 19.
10. Котов, Б. І., Грищенко, В. О. (2017). Математична модель динамічних режимів системи утилізації надлишкової і відпрацьованої теплоти з ґрунтовим акумулятором для сільськогосподарських виробничих споруд. Науковий Вісник Національного Університету Біоресурсів і

Природокористування України. Серія : Техніка Та Енергетика АПК,  
261, 94-103.

11. Аvezов, Р. Р. и др. (1990). Системы солнечного тепло- и  
кладоснабжения. Стройиздат. 328.

12. Шульгина Л.М. Теплицы и парники: строительство и рекомендации по  
выращиванию овощей, цветов, грибов // Л.М. Шульгина. М.: Книжный  
клуб "Клуб семейного досуга", 2008. 149 с.

13. Барабаш О.Ю., Цизь О.М., Леонтьев О.П., Гонтар В.Т. Овочівництво і  
плодівництво. К. : Вища школа, 2000. 503 с.

14. Гіль Л. С., Пашковський А. І., Супіма Л. Т. Сучасні технології  
овочівництва закритого і відкритого ґрунту : навч. посіб. Вінниця: Нова  
Книга, 2008. 368 с.

15. Автоматизация и электрификация защищенного грунта: Науч. тр.  
ВАСХНИИ / Под ред. Л.Г. Прищепа. М.: Колос, 1976. 320 с.

16. Автоматика. Исполнительные механизмы / А.А. Герасенков, Л.Г.  
Вихрова, В.И. Загинайлов, С.А. Суворов. М.: Изд-во Московского  
государственного университета леса, 2001. 129 с.

17. Михайленко И.М. Оптимальное управление температурой почвенного  
массива теплиц с водяными системами обогрева: Автореф. дис. канд.  
техн. наук. Минск, 1983. 16 с.

18. ГОСТ 21.404-85. СПДС. Автоматизация технологических процессов.

Позначення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах.

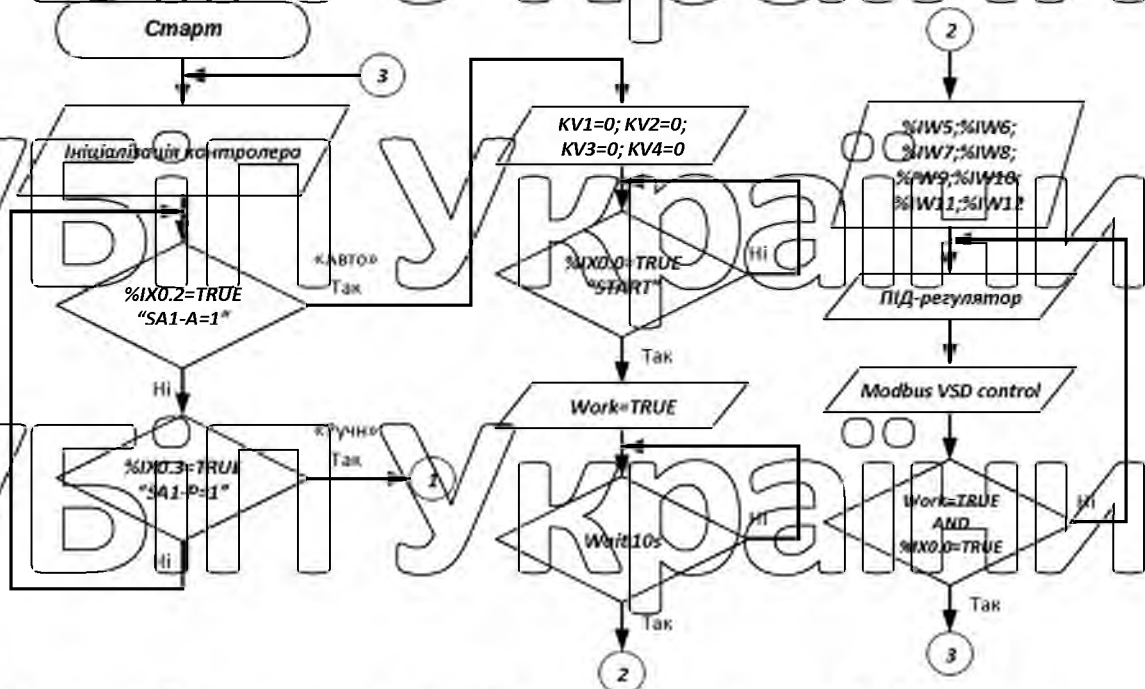
19. Бородин И.Ф., Недилько Н.М. Автоматизация технологических  
процессов. М.: Агропромиздат. 1986. 387 с.

20. ДСТУ ГОСТ 2.702:2013 Единая система конструкторской  
документации. Правила выполнения электрических схем.



# ДОДАТОК А

## Фрагмент алгоритму роботи програми



Копії екранів при роботі з програмним забезпеченням SoMovic

