

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ННІ енергетики, автоматики і енергозбереження

УДК 004.4;24:631.234

ПОГОДЖЕНО

Директор ННІ

енергетики, автоматики і енергозбереження
(назва факультету (ННІ))

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

автоматики та робототехнічних систем
(назва кафедри)

ім. акад. ІІ. Мартиненка

Каплун Віктор Володимирович

(підпис)

2022 р.

Лисенко Віталій Пилипович

(підпис)

(ПІБ)

2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему: Дослідження і вдосконалення комп'ютерно – інтегрованої системи керування температурно – вологістним режимом у теплиці із використанням КТЗ Arduino

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

(код і назва)

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

(назва)

Орієнтація освітньої програми Освітньо – наукова

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Керівник кваліфікаційної магістерської роботи

доктор технічних наук, професор
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Коваль Валерій Вікторович

(ПІБ)

кандидат технічних наук, доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Дудник Алла Олексіївна

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Буков Андрій Віталійович

(ПІБ студента)

КИЇВ – 2022

ЗАТВЕРДЖУЮ

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

доктор технічних наук, професор
(науковий ступінь, вчене звання)

Лисенко Віталій Пилипович

(підпис)
“ ”

(ПІБ)

2022 року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА

Буков Андрій Віталійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність Т51 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»

(код і назва)

Магістерська програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»

(назва)

Орієнтація освітньої програми Освітньо-наукова

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи: Дослідження і вдосконалення комп'ютерно – інтегрованої системи
керування температурно – вологістним режимом у теплиці із використанням КТЗ Arduino
затверджена наказом ректора НУБіП України від “22” грудня 2020 р. № 176

«С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру
2022.10.

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи Завдання кафедри на розробку магістерської роботи.
Отримана інформація про систему автоматизації на підприємстві. Відповідна наукова
література, що відповідає тематиці магістерської роботи.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз технологічного процесу
2. Дослідження об'єкта автоматизації
3. Вибір регулятора та обґрунтування його параметрів
4. Дослідження системи автоматизації
5. Схеми системи автоматизації
6. Техніко економічне обґрунтування

Перелік графічного матеріалу (за потреби)

Дата видачі завдання “01” лютого 2021 р.

Керівник кваліфікаційної магістерської роботи

Коваль В.В.

Керівник кваліфікаційної магістерської роботи

Завдання прийнята до виконання

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Дудник А. О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Буков А. В.

(підпис)

(прізвище та ініціали студента)

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ Опис ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	9
1.1. Особливості вирощування помідора у закритому ґрунті.....	9
1.2. Вимоги рослин помідора до умов навколишнього середовища.....	11
1.3. Створення функціональної схеми керування температуро - вологісним режимом у теплиці.....	19
РОЗДІЛ 2. ПОБУДОВА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ....	20
РОЗДІЛ 3. ОБґРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТОМ.....	25
3.1. Вибір технічних засобів.....	25
3.2. Розрахунок та побудова структурно-алгоритмічної схеми.....	31
3.3. Визначення параметрів налаштування цифрового регулятора.....	32
3.4. Аналіз показників якості системи керування.....	35
РОЗДІЛ 4. ПОБУДОВА ГІБРИДНОЇ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ У ТЕПЛИЦІ.....	38
4.1. Реалізація scada – системи із використанням макету.....	44
РОЗДІЛ 5. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА.....	47
5.1. Вибір пускозахисної апаратури, проводів та кабелів.....	47
РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ.....	51
ВИСНОВОК.....	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57
ДОДАТОК А.....	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТОК Б.....	Ошибка! Закладка не определена.

ДОДАТОК В **Ошибка! Закладка не определена.**
 ДОДАТОК Г **Ошибка! Закладка не определена.**
 ДОДАТОК Д **Ошибка! Закладка не определена.**

ДОДАТОК Ж **Ошибка! Закладка не определена.**

ДОДАТОК З **Ошибка! Закладка не определена.**
 НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

ВСТУП

Актуальність. Нині підприємства агропромислового сектору в Україні зіштовхуються із серйозними проблемами, що гальмують їх розвиток: невпинне зростання ціни на енергію, високий рівень оподаткування та ін., що суттєво ускладнює, а часто робить і неможливим підтримку та модернізацію виробництва. Усе зазначене суттєво збільшує собівартість продукції, що виробляється, і підприємства змушені підвищувати її ціни, що ускладнює її реалізацію, а значить і дохід підприємства. Так, наприклад, доля енергії у структурі собівартості продукції рослинництва у спорудах закритого ґрунту становить до 80 %. Ось чому так важливо запроваджувати ресурсоефективні режими керування значними за обсягами енергетичними потоками, що циркулюють в таких підприємствах.

Упровадження запропонованих режимів вирощування овочевої продукції в тепличних комплексах дозволить заощадити природний газ на опалення до 13 %, електричну енергію на привід електротехнологічних комплексів – до 10 %, підвищити точність підтримання агротехнічних параметрів вирощування на 8-10 %, збільшити прибуток підприємства на 5-9 %.

Проведені маркетингові дослідження в напрямі просування результатів наукової роботи на ринку новітніх технологій дають підстави вважати її перспективним і затребуваним, адже всі тепличні підприємства як в Україні, так і в країнах Польщі, Чехії, Словаччини, Білорусі та ін., зацікавлені у придбанні нових науково обґрунтованих технологій вирощування овочевої продукції, котрі будуть значно дешевшими за Голландські технології, що купуються зараз.

Реалізація системи передбачає використання значної кількості обладнання, керуючу функцію для якого виконує комп'ютер, до якого підключені контролери. Контролери керують потоками інформації у двох напрямках: на комп'ютер та від комп'ютера. Інформацію на комп'ютер надсилають датчики технологічних параметрів, а інформація з комп'ютера надходить на виконавчі пристрої (вентилятори, нагрівачі, насоси тощо). Запропонована система із застосуванням інтелектуальних інформаційних технологій та програмного

забезпечення на основі прогнозованих значень параметрів технологічного процесу забезпечить підтримку прийняття рішень, контроль та моніторинг параметрів теплиці.

Тому актуальним є використання ресурсоефективних алгоритмів для: прогнозування параметрів теплиці та формування з високою надійністю оптимальних режимів вирощування овочевої продукції із врахуванням станів біологічної складової об'єкта керування та цінової політики на ринку товарної продукції.

Для кожного виду овочів характерна біологічна особливість технології вирощування. Як приклад, рослини помідора є теплолюбивою культурою і за технологією вирощування температура повітря у теплиці різна залежно від фази розвитку рослини протягом вирощування. Після висаджування розсади оптимальною вважається температура вночі 15..16 °С, вдень при похмурий погоді 18..20 °С, при сонячній 20..22 °С. При фазі цвітіння необхідно підтримувати температуру повітря вночі 16..18 °С, вдень при похмурий погоді 18..20 °С, при сонячній 22..24 °С, а в період плодоношення відповідно 18..20, 20..22 і 24..26 °С. Рослина помідора є дуже чутливою до заморозків, адже невеликі заморозки (-0,5..-1 °С) і навіть позитивні короткострокові температури (1..3 °С) викликають загибель помідора. При цьому температура ґрунту повинна бути 20..25 °С, а вологість повітря 60-70% та ґрунту -70-80%.

Отримані результати показали що вимірювані параметри змінюються нелінійно, а процеси проходять не стаціонарно, що значно ускладнює подальші дослідження впливу підтримуваних параметрів мікроклімату на енергетичні потоки при вирощуванні овочевої продукції в спорудах захищеного ґрунту.

Технологічні передумови створення гібридної нейро-нечіткої системи керування мікрокліматом у теплиці:

- економічність виробництва – можливість роботи тільки необхідної кількості контурів обігріву;
- необхідність мінімізації енергетичних витрат.

- підтримка заданих технологічних параметрів для конкретного сорту і культури, що вирощується у теплиці;
- забезпечення високої якості кінцевого продукту, потреба мінімізації інших ресурсів (води, мінеральних добрив тощо).

Мета роботи: вдосконалення комп'ютерно-інтегрованої системи задля підвищення ресурсоефективності керування температурно-велогістичним режимом у теплиці.

Завданнями роботи є:

1. Провести аналіз існуючих методів керування процесом вирощування овочів у теплицях, виявити їх недоліки та визначити напрями подальших досліджень.
2. Розробити гібридну нейно-нечітку систему керування з метою визначення оптимальних режимів роботи технологічного та електротехнічного обладнання, що забезпечує реалізацію технологічного процесу вирощування овочевої продукції в тепличних комплексах.
3. Розробити архітектуру системи керування процесом вирощування овочів у теплиці, її програмне та інформаційне забезпечення.

Об'єкт дослідження: є технології виробництва овочевої продукції в тепличних комплексах, а також система керування температурно-велогістичним режимом у теплиці.

Предмет дослідження: алгоритми та методи вдосконалення комп'ютерно-інтегрованої системи керування на основі нечіткої логіки.

НУБІП України

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1. Особливості вирощування помідора у закритому ґрунті

У спорудах закритого ґрунту помідор вирощують у зимових ґрунтових і гідропонних теплицях у зимово-весняний період та в продовженій культурі на ґрунтових та мінеральних субстратах, у весняних плівкових теплицях і парниках — на ґрунтових субстратах або добре удобрених і підготовлених природних ґрунтах. Для зимових теплиць розсаду вирощують у горщечках (касетках) або нарізують квадрати з такого ж самого субстрату, який використовують у спорудах. При використанні щебеню або керамзиту горщечки заповнюють дрібною (не більше 3—5 мм) фракцією їх. Для зимових теплиць розсаду вирощують з електродосвічуванням. Для весняних теплиць і парників (після 15 січня) електродосвічування не потрібне [1].

В зимові теплиці розсаду висаджують у фазі 7—8 справжніх листків у кінці грудня — на початку січня. У весняних парниках — залежно від забезпечення в спорудах оптимальної температури для росту і розвитку рослин. Способи висаджування: широкорядний — $160 \times 20—25$ см (2,5—3,0 шт. рослин на 1 м^2); $160 \times 15—20$ см (3,0—4,0 шт./ м^2) або стрічковий — $100+60 \times 40—50$ см (3,0—5,0 шт./ м^2); $90+50 \times 40—50$ см (3,5—5,1 шт./ м^2); $70+30—40 \times 25—30$ см (6,0—8,0 шт./ м^2). У зимових і весняних теплицях з обігрівом споруд рослини розмішують рідше, а без обігріву (сонячний) обігрів — гущіше. Над кожним рядком протягують дріт, який з обох кінців кріплять до каркасу.



Рис. 1.1. Підвісні шпалери

Після приживання рослини підв'язують до шпалери. При формуванні рослини на пересувній шпалері, коли стебло досягне її висоти, нижні листки до світла, на якому сформувалися товарні плоди або вони вже зібрані, обривають. Оголене від листків стебло вкладають на підставку (сітку) або на субстрат, попускають шпагат і переміщують верхівку рослин на шпалері. Завдяки цьому загальна довжина стебла може досягати 7 м і більше. При вирощуванні помідора у весняних теплицях при досягненні рослиною шпалери стебло перекидають через дріт і на ньому формується ще 4—5 плодоносних китиць [1].

Протягом усього періоду вегетації систематично видаляють пасинки завдовжки 3—5 см та відмираючі листки. Видалені пасинки та листки негайно вивозять за межі споруд. У ґрунтових теплицях систематично розпушують міжряддя. Поливи, обривання пасинків і листків краще проводити в райкові години, щоб протягом дня зажили ранки на рослинах. Зразу після поливу споруди провітрюють, щоб знизити відносну вологість повітря.



Рис. 1.2. Зовнішній вигляд пасинків

Температуру повітря і вологість його регулюють за допомогою обігріву, поливу та вентиляції. Оптимальний температурний режим, вологість ґрунту і повітря наведені в таблиці 1 [22].

У сучасних зимових теплицях застосовують краплинний полив. У гідропонних теплицях підживлення рослин проводять живильним розчином за допомогою подійної системи, широко використовують моніторинг регулювання мікроклімату в спорудах за допомогою комп'ютерного управління.



Рис.1.3. Система крапельного поливу

Урожай плодів збирають через кожних 2—3 дні. Урожайність їх залежить від виду теплиць і способів вирощування: в зимових теплицях у продовженій культурі в передових господарствах вона досягає 50—55 кг/м², у тому числі раннього — 30—35 кг/м², у весняних із калориферним обігрівом — 20—25 кг/м² з сонячним — 12—18 кг/м², у парниках — 16—20 кг з рами[2].

1.2. Вимоги рослин помідора до умов навколишнього середовища

Вимоги рослин помідора до умов зовнішнього середовища тісно пов'язані з їх походженням. Батьківщиною помідора є Південна Америка (Бразилія, Колумбія, Перу, Чилі). Тут рослини формувалися в умовах теплого клімату, з підвищеною вологістю ґрунту та пониженою відносною вологістю повітря.

Після завезення в Європу помідор швидко пристосувався до ґрунтово-кліматичних умов. В Україну він завезений в кінці XVII століття болгарськими переселенцями, які розпочали його вирощування на околицях Одеси. Однак, і тут він з біологічної точки зору мало в чому змінився в своїх вимогах до умов зовнішнього середовища [1].

Вимоги до тепла. Помідор — теплолюбна культура. Насіння його за температури 25—30°C проростає протягом 3—5 діб. При зниженні температури ґрунту до 13°C на глибині загортання насіння сході з'являються лише через 17—

22 дні. Після з'явлення повних сходів на ріст і розвиток рослин позитивно впливає зниження температури на 3—4 доби (вдень до 12—15°C, а вночі — до 8—10°C). Це сприяє більш швидкому росту розвитку кореневої системи формуванню компактних (невитягнутих) добре об'ягнених рослин[22].



Рис. 1.4. Початок цвітіння томатів

На початку цвітіння та плодоутворення вимогливість рослин помідора до температури зростає. Найсприятливішою для зав'язування плодів є температура вдень 25°C , а вночі — $17\text{—}19^{\circ}\text{C}$. Під час їх дозрівання зазначені параметри

знижуються. Найкраще плоди досягають за температури $20\text{—}25^{\circ}\text{C}$, але слід відзначити, що й за температури $16\text{—}18^{\circ}\text{C}$ цей процес проходить досить активно [1].

Оптимальною температурою для рослин помідора є $22\text{—}27^{\circ}\text{C}$, залежно від фази їх розвитку й росту, інтенсивності освітлення, сортових особливостей та інших чинників. Підвищення температури повітря до 35°C викликає затримання і навіть припинення росту рослин. Так за температури $30\text{—}31^{\circ}\text{C}$ та низької відносної вологості повітря процес фотосинтезу сповільнюється, а понад $33\text{—}35^{\circ}\text{C}$ — пилок стає стерильним, запліднення не відбувається, і квітки опадають.



Рис. 1.5. Зовнішній вигляд зрілого помідору

Низькі температури також негативно впливають на рослини. Так, за температури повітря нижчої 15°C рослини не квітнуть, а при 8°C припиняється ріст. Разом з тим рослини помідора можуть тривалий час ($50\text{--}60$ днів) витримувати температуру $8\text{--}10^{\circ}\text{C}$. Проте це призводить до затримання росту і формування генеративних органів рослин. За температури повітря $5\text{--}8^{\circ}\text{C}$ у помідора гинуть квітки та плоди, а за мінус 1°C відмирає вся рослина. Рослини помідора також вимсгливі й до температури ґрунту. Оптимальна його температура залежить від освітленості і становить $16\text{--}24^{\circ}\text{C}$. Зниження її до $11\text{--}12^{\circ}\text{C}$ різко гальмує можливості коренів засвоювати фосфор. Тому в розсадний період сім'ядолі та листки рослин набувають фіолетового відтінку і припиняють ріст. При цьому гальмується синтез білків [2].

Таблиця 1.1. Температурні та вологісні показники

Фактори росту	Фаза розвитку рослин		
	до цвітіння	цвітіння	плодоношення
Температура повітря, $^{\circ}\text{C}$:			
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, $^{\circ}\text{C}$	20—22	20—22	22—24
Вологість ґрунту, % НВ	70—80	70—75	75—80
Відносна вологість повітря%	65—70	65	60—65

Вимоги до світла. Помідор — культура дуже вимоглива до світла, особливо в розсадний період та у фазі цвітіння. При недостатньому освітленні сіянці витягуються, листки ростуть дрібними, світло-зеленого забарвлення. Зниження інтенсивності освітлення на 25 і 50% від природного денного при вирощуванні розсади помідора зменшує кількість квіток, чашолистиків у суцвіттях камер у плоді. Нестача ж освітлення у фазі цвітіння призводить до значного опадання квітів [1].

Мінімальна інтенсивність світла, при якій можливий вегетативний ріст рослин, становить 2—3 тис. лк. Для формування бутонів і переходу до цвітіння вона повинна бути не нижче 4—5 тис. лк, а для безперервного розвитку та плодоношення — не нижче 10 тис. лк. Оптимальною інтенсивністю освітлення

для рослини помідора є 20—35 тис. лк залежно від фази росту й розвитку, тривалості освітлення і сортових особливостей. Висока освітленість також негативно впливає на рослини. Так, при збільшенні інтенсивності освітлення (більше 40 тис. лк) листки помідора жовтіють і опадають.



Рис.1.6. Освітлення томатів

Для нормального росту і розвитку рослини тривалість світлового дня повинна бути не менша 12 год. Разом з тим протягом вегетації рослини помідора неоднаково вимогливі до тривалості дня. Так, позитивно помідор реагує на 12-годинний день на початку розвитку рослин (до фази бутонізації). Після бутонізації рослина помідора найбільш інтенсивно накопичує сухі речовини при 14—18-годинному дні. Проте подальше збільшення тривалості дня призводить до руйнування хлорофілу, а часом і до загибелі рослин. Поряд із тим реакція помідора на тривалість світлового дня значною мірою залежить від сортових особливостей та їх походження. Наприклад, сорти південного походження належать до корот-коденних, а північного до довгоденних або нейтральних [22].



Рис. 1.7. Синє світло

На ріст і розвиток рослин та їх хімічний склад істотно впливає світло (його спектральний склад). Встановлено, що під дією синього світла рослини помідора розвиваються так само швидко, як і при достатньому денному освітленні, а під червоним - їх розвиток дещо затримується. Під зеленим світлом рослини значно відстають у розвитку, а деякі сорти навіть не цвітуть. При збільшенні у фотосинтегичній активній радіації (ФАР) доли червоних променів у рослинах утворюється більше вуглеводів, а синіх і фіолетових — більше білків [2].

Вимоги до вологи. В житті рослин помідора важливу роль відіграє волога ґрунту. Це пов'язано з тим, що фізіологічні процеси проходять нормально лише при оптимальному (80—90%) вмісті води в клітинах і тканинах. Проте протягом вегетації потреба рослин у воді неоднакова. Найбільша вимога з них до вологості ґрунту проявляється під час проростання насіння (особливо від „накільчення“ до з'явлення сходів) та після висаджування розсади на постійне місце вирощування і в період від початку плодоутворення до дозрівання плодів. Велика потреба у воді при проростанні насіння пов'язана з його високою вемоктуючою здатністю. Для набубнявлення насіння необхідно 325—364% води від повітряно-сухої маси самого насіння.



Рис. 1.8. Полив томатів

Дослідженнями також встановлено, що навіть короткочасне (на 1—2 доби) зменшення вологості ґрунту порівняно з оптимальною в цей час призводить до зниження польової схожості насіння в 1,5—2 рази.

У зв'язку з цим дружні сходи бувають лише при вологості ґрунту 70—80%

НВ. При недостатній вологості ґрунту після висаджування розсади на постійне місце вирощування рослини погано приживаються, затримується відновлення кореневої системи, а відповідно і продуктивність їх знижується. Нестача вологи в ґрунті з часу від початку зав'язування до дозрівання плодів призводить до

затримання росту рослин, опадання квітів, зниження середньої маси й урежайності плодів, тому вологість ґрунту в період плодоношення підвищують

до 80% НВ. Оптимальна вологість ґрунту при вирощуванні помідора — 70—80%

НВ. Надлишок вологи як і нестача її, шкідливий для рослин — спричиняє припинення росту, зміни кольору (до світло-фіолетового) стебла і листків та

опадання бутонів. Коливання вмісту вологи в ґрунті призводить до розтріскування плодів [1].



Рис. 1.9. Вологість ґрунту

Поряд із великою вимгливістю до ґрунтової вологи помідор добре росте при помірній вологості повітря — 50—60%. Якщо вона перевищує 70%, тоді погано запилюються квітки. Крім того, рослини пошкоджуються грибковими хворобами. Надмірно низька відносна вологість повітря і різкі коливання її також негативно впливають на ріст і розвиток рослин. Наприклад, коли відносна вологість повітря менша 30—35%, пиляки в'януть і не розвиваються, а квітки опадають. При різних коливаннях вологості повітря плоди помідора пошкоджуються верхівковою гниллю[22].

Вимоги до мінерального живлення. Для нормального росту, розвитку та одержання максимальної врожайності плодів помідора велике значення має оптимальне мінеральне живлення рослин. Разом з тим рослини помідора реагують на умови ґрунтового живлення протягом вегетаційного періоду по-різному. Так, молоді рослини на одиницю сухої речовини потребують у 3—5 разів більше мінеральних речовин, ніж дорослі. Тому для вирощування розсади готують збагачену поживну суміш [4].

Поряд з повним забезпеченням рослин поживними речовинами належну увагу необхідно приділяти і їх співвідношенню. Адже в розсадний період рослини помідора інтенсивно споживають фосфор і калій, а після висаджування на постійне місце вирощування — азот. Тому для одержання високоякісної

розсади рослини посилено підживлюють фосфорно-калійними добривами на фоні помірних доз азоту.

Після висаджування розсади у відкритий ґрунт дози азоту збільшують до рівня фосфорно-калійного живлення. У подальшому (до утворення плодів на першій китиці) рослини помідора потребують помірного азотного живлення і посиленого фосфорного. У період формування плодів на перших трьох китицях для помідора необхідне посилене азотне живлення, а при їх дозріванні - калійне



Рис. 1.10. Живлення рослин

Формуючи врожай, рослини виносять із ґрунту поживні елементи

Середній винос їх на 10 тонн продукції становить: азоту — 33 кг, фосфору — 13,0, калію — 45,3, кальцію — 44, магнію — 8 кг. Незважаючи на те, що помідор виносить з ґрунту фосфору в 2,9 рази менше, ніж азоту, і в 4 рази менше, ніж калію, він швидко реагує на його нестачу, особливо в розсадний період і під час формування репродуктивних органів. При нестачі фосфору ріст рослин уповільнюється і навіть припиняється, листки стають вузькими, сіруватого кольору, а стебло і черешки набувають лілово-коричневого забарвлення. При цьому утворення зав'язі і дозрівання плодів затримується. Нестача калію в ґрунті спричиняє припинення росту стебел, рослини підсихають, на краях листків з'являються жовто-коричневі плями, після чого вони закручуються всередину і засихають [1].

На врожайності рослин помідора негативно позначається як нестача, так надлишок азоту. При нестачі його ріст стебел і листків припиняється, рослини набувають світло-зеленого забарвлення, листки жовтіють і завчасно опадають.

Це затримує розвиток рослин, знижує врожай та погіршує його якість. Надлишок азоту в ґрунті затримує дозрівання плодів, знижує стійкість рослин псм дора проти хвороб.

1.3. Створення функціональної схеми керування температуро - вологісним режимом у теплиці

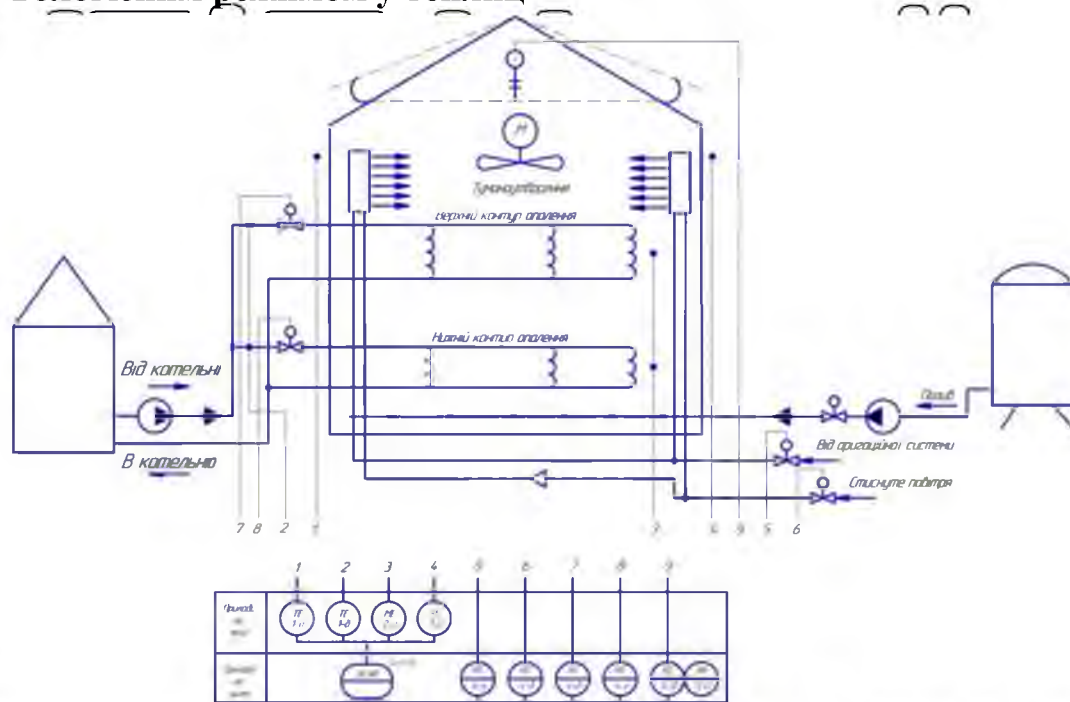


Рис. 1.11. Функціональна схема автоматизації теплиці

На функціональній схемі показано вимірювальні, виконавчі та обчислювальні пристрої, які використовуються для побудови системи керування температуро – вологісним режимом. Вимірювальними пристроями є датчики технологічних величин - температури, вологості, освітлення. Регулюючими пристроями є клапани, засувки та вентилятори. Обчислювальними є пристрої, в яких реалізовано алгоритми керування - логічний контролер Arduino. Теплиця має по два внутрішніх та зовнішніх датчиків. Датчики вимірюють поточні значення температури та вологості, та порівнюють їх з заданими. Якщо значення будуть відрізнятися, тоді контролер дає команду виконавчим механізмам, які в свою чергу приводять в дію регулюючий орган.

РОЗДІЛ 2. ПОБУДОВА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

Теплиця являється багатопараметричним об'єктом, в якому визначальним і затратним фактором є енергетична складова. Підтримання температурного режиму повітря і ґрунту в приміщенні теплиці, який забезпечує оптимальні умови для вирощування плодів, є важливим фактором в технології тепличного господарства. Повітря в теплиці нагрівається за допомогою калориферів, гарячої води і сонячної радіації, а охолоджується через заклені стіни і стелю, а також вентиляцією і через фрамуги. Ці ж параметри разом із поливом впливають також на вологість атмосфери і ґрунту. Вентиляція у великій мірі впливає разом із примусовою подачею вуглекислого газу в приміщення теплиці на вміст CO_2 [13].

Всі ці фактори: температура повітря, вологість повітря і ґрунту, вміст CO_2 впливають на процес фотосинтезу в рослинах, накопичення сухих речовин, перерахованих на вміст вуглецю, в стеблах і плодах рослин [13].

Поряд із обігрівом і освітленням теплиці, вентиляцією через відкриття фрамуг і за допомогою вентиляторів, на що витрачається ледь частка енергії, велике значення мають природні фактори, як то сила і напрям вітру, сонячна радіація і температура навколишнього повітря, що слід враховувати при керуванні мікрокліматом в теплиці. Також важливим моментом для економії енергоресурсів є корекція регулюючих дій з урахуванням прогнозу погоди, прогнозу хмарності і активності сонячної радіації, напрямку і сили вітру. Таке керування дасть змогу з урахуванням особливостей фізіології рослини так організувати подачу тепла і ресурсів для росту рослини, щоб прибуток був максимальним [10].

Найбільше значення для процесу росту й розвитку рослин є температуро-вологісний режим, підтримання якого в значній мірі піддається впливу зовнішніх природних збурень. Крім того, саме процесу опалення й вентиляції, згідно проведених аналітичних досліджень, мають найбільшу енергетичну ємність. З метою отримання режимів роботи відповідного обладнання, було синтезовано математичну модель зміни температури й вологості внутрішнього повітря у вигляді диференціальних рівнянь. Також відомо, що ці технологічні

параметри є взаємозалежними, тому маємо систему із двох диференціальних рівнянь:

$$\frac{dT_{\text{внутр}}(t)}{dt} = \frac{1}{\rho C_p V_T} [Q_H(t) + S_n(t) - \lambda Q_T(t)] -$$

$$- \left(\frac{v_B(t)}{V_T} + \frac{k_{\text{т.ог.}}}{\rho C_p V_T} \right) [T_{\text{внутр}}(t) - T_{\text{зовн}}(t)], \quad (2.1)$$

$$\frac{d\varphi_{\text{внутр}}(t)}{dt} = \frac{1}{V_3} Q_T(t) + \frac{1}{V_3} [E(S_H(t), \varphi_{\text{внутр}}(t))] - \frac{v_B(t)}{V_3} [\varphi_{\text{внутр}}(t) - \varphi_{\text{зовн}}(t)],$$

$$E[S_H(t), \varphi_{\text{внутр}}(t)] = \alpha \frac{S_H(t)}{\lambda} - \beta \varphi_{\text{внутр}}(t), \quad (2.2)$$

де $T_{\text{внутр}}, T_{\text{зовн}}$ – температура повітря всередині та зовні теплиці відповідно, (°C);

$\varphi_{\text{внутр}}, \varphi_{\text{зовн}}$ – відносна вологість повітря всередині та зовні теплиці відповідно, (%);

$k_{\text{т.ог.}}$ – коефіцієнт тепловіддачі огороження теплиці, (Вт/К);

V – повний геометричний об'єм теплиці, (м³);

V_T, V_3 – об'єм повітря, що обігривається та зволожується відповідно, (м³).

Зазвичай складає 60-70% від загального об'єму теплиці.

ρ – густина повітря, (1,2 кг/м³);

C_p – теплоємність повітря, (1,005 кДж · кг⁻¹ · К⁻¹),

Q_H – потужність системи нагріву повітря теплиці, (Вт);

Q_T – продуктивність системи туманоутворення, (гводи/с);

S_n – поглинуте теплицею сонячне випромінювання, (Вт);

λ – теплота пароутворення, (2256 кДж/кг);

v_B – повітрообмін, що забезпечується системою вентиляції, (м³/с).

$E[S_H(t), \varphi_{\text{внутр}}(t)]$ – еватотранспірація рослин в функції від поглинутого сонячного випромінювання та вологості повітря в теплиці, (гводи/с),

α, β – масштабні коефіцієнти.

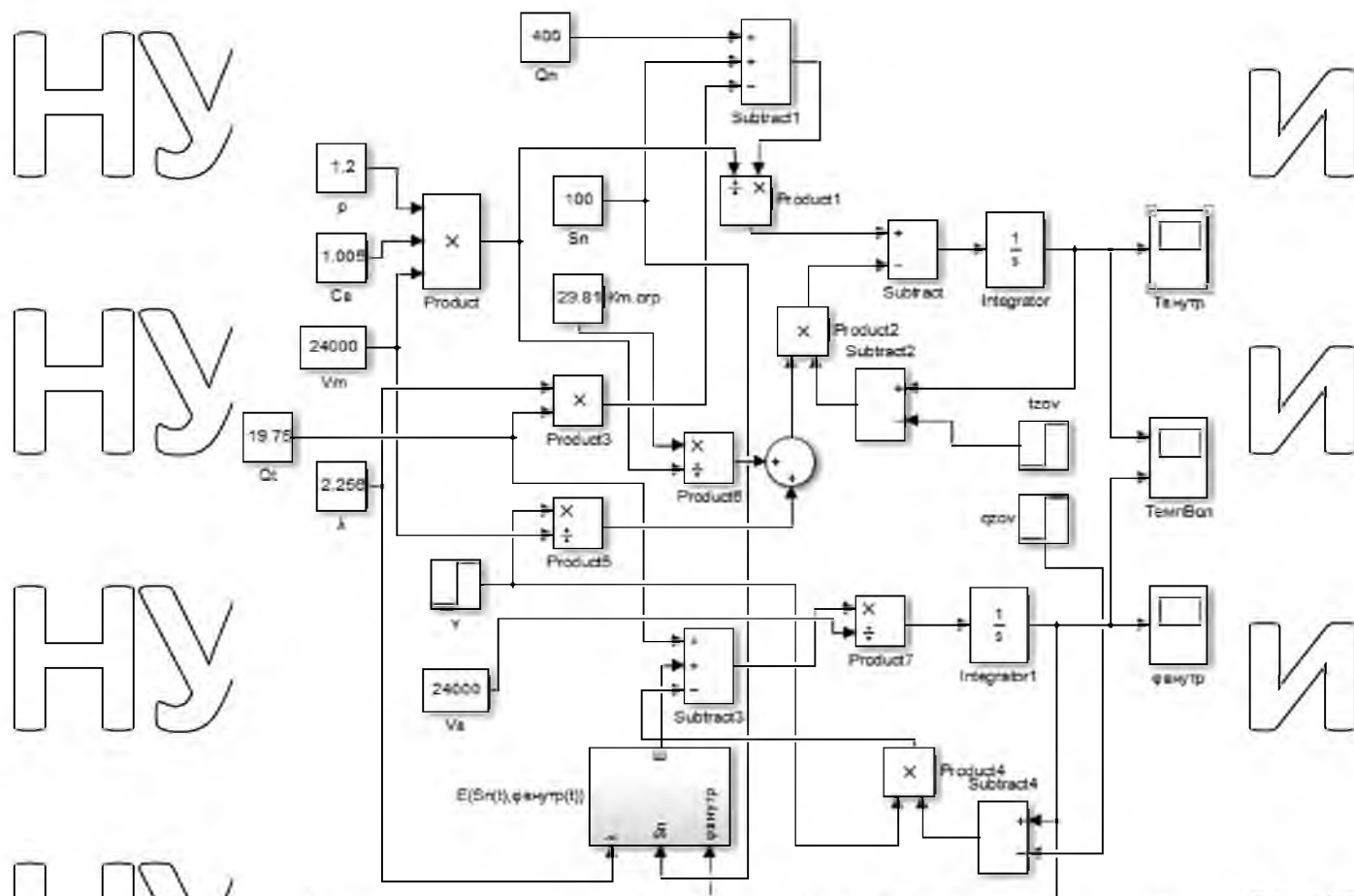


Рис.2.1. Блок-схема моделі енерговитрат у теплиці з використанням пакету Simulink

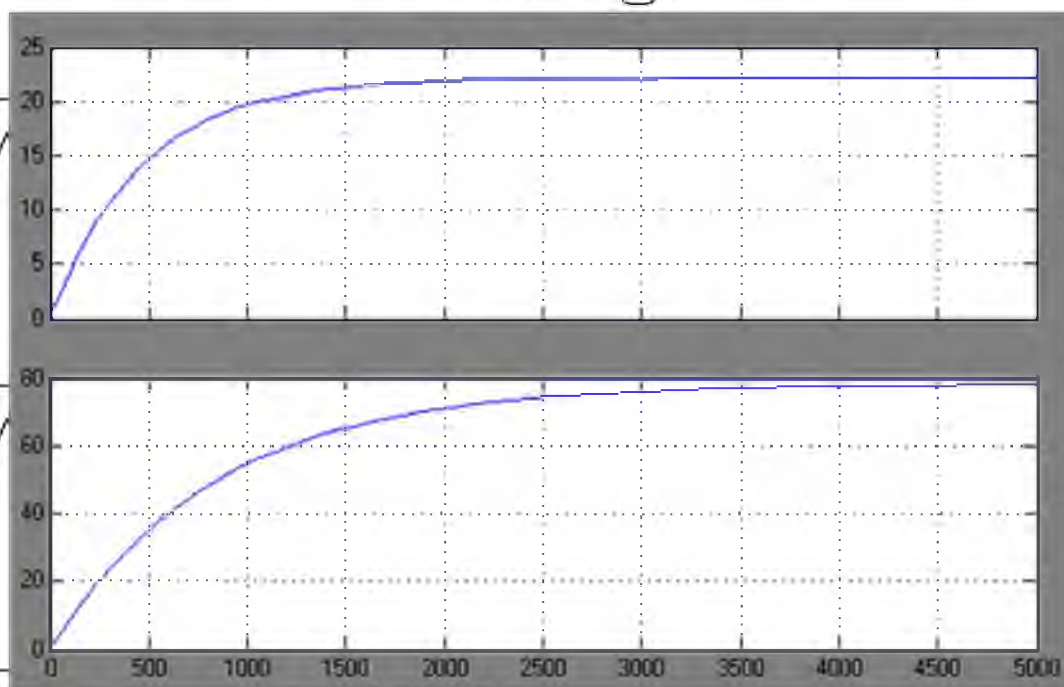


Рис.2.2 Динаміка зміни температури та вологості в теплиці

Для оцінки характеристик теплиці як об'єкта регулювання температури була використана її розгінна характеристика, яка представляє собою залежність температури повітря від часу. Дана характеристика представлена на рис. 2.2.

Для статичних об'єктів передаточна функція, отримана по кривій розгону, матиме структуру:

$$W_{\text{ок}}(s) = \frac{K_o}{T_o s + 1} \cdot e^{-\tau_o s} \quad (2.3)$$

де s – оператор Лапласа.

Визначаємо постійну часу об'єкта T_o і час чистого запізнення τ (рис. 2.3).

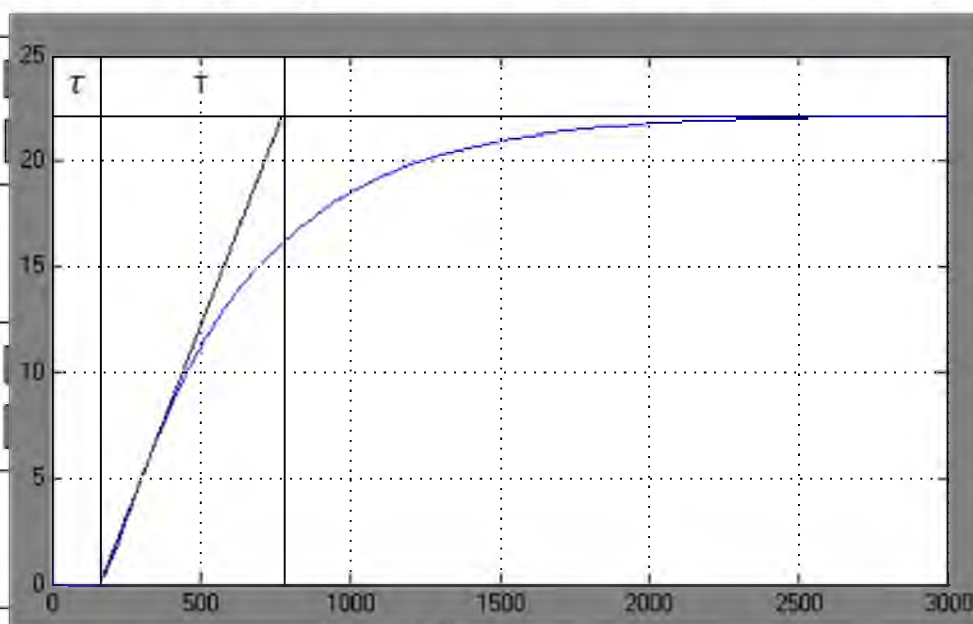


Рис. 2.3 Нормована характеристика об'єкта керування

За допомогою нормованої характеристики об'єкта керування знайдемо час чистого запізнення $\tau_o = 180\text{с}$ та постійну часу $T_o = 800\text{с}$.

Коефіцієнт підсилення об'єкту K_o визначаємо по формулі:

$$K_o = \frac{\Delta t_n}{\Delta t_e} \quad (2.4)$$

де Δt_n – зміна температури повітря в теплиці відповідно в залежності до зміни температури води Δt_e .

$$K_o = \frac{\Delta M_n}{\Delta M_e} = \frac{2,5^{\circ}C}{90^{\circ}C} = 0,02 \quad (2.5)$$

У цьому випадку передатну функцію теплиці, як об'єкта регулювання температури повітря, можна апроксимувати інерційною ланкою з запізненням,

яка буде мати вигляд :

$$W_{ок}(S) = \frac{K_o \cdot e^{-\tau_0 s}}{T_o \cdot s + 1} = \frac{0,02 \cdot e^{-180 \cdot s}}{800 \cdot s + 1} \quad (2.6)$$

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТОМ

Динамічні властивості об'єктів управління дають змогу розробникам систем автоматики на стадії проектування визначити алгоритм управління. Для цього слід проаналізувати співвідношення між постійною часу та часом запізнення. [10].

Якщо $0,2 \leq \tau/T \leq 1$, то рекомендують лінійний алгоритм керування, за умов, коли $\tau/T > 1$ – імпульсний, а при $\tau/T < 0,2$ – позиційний алгоритм керування.

У системах промислової автоматики найбільшого поширення набули такі закони регулювання:

- Пропорційний – П.
- Інтегральний - І
- Пропорційно – інтегральний - ПІ.
- Пропорційно – інтегрально диференціальний – ПІД.

Для вибору алгоритму керування знаходимо відношення τ/T :

$$\frac{\tau}{T} = \frac{180}{800} = 0.225$$

Оскільки $0,2 < 0.225 < 1$, то для даного об'єкта керування рекомендується використовувати лінійний алгоритм керування. Вибираємо ПІ – алгоритм керування.

3.1. Вибір технічних засобів

Вибираємо для нашого об'єкту цифровий датчик DHT22. Датчик перетворює дані температури в цифровий код, що передається через однопровідний інтерфейс. Вибраний датчик температури DHT22 має зовнішній вигляд (рис. 3.1) [24].



Рис. 3.1. Зовнішній вигляд датчика температури DHT22

Датчик вологості та температури DHT22 (кодова назва AM2303) – це два датчики в одному корпусі, результати вимірювання яких передаються на цифровий блок з аналого-цифровим перетворювачем (для датчика відносної вологості) та на виході з датчика виходить цифровий сигнал (контакт DATA). Для роботи датчика контакт VCC подається напруга 3.3-6В. DHT22 має дуже низьке споживання енергії. Датчик відкалібрований на заводі [24].

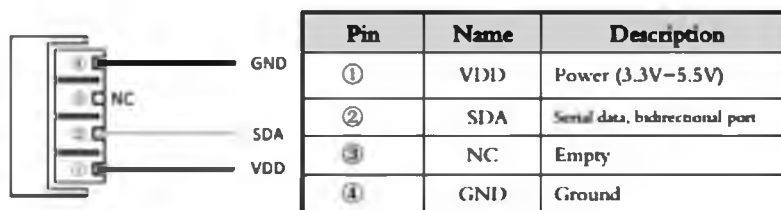


Рис. 3.2. Розпинування датчика DHT22

Технічні характеристики:

- Живлення: DC: 3,3 - 6 В;
- Діапазон виміру: температура: -40 – 80 °С, вологість: 0 - 100% відносної вологості;
- Точність : температура: $\pm 0,5$, вологість: $\pm 2\%$;
- Чутливий елемент: RH – полімерний конденсатор, вимірювання температури – термістор;
- Час відгуку: температура: 2 с;
- Матеріал корпусу: пластик;
- Вага: 0.5 г.

За технічними даними $K_{CE} \approx 0.04$, $T=2c$ - визначили як показник теплової інерції. Тоді передаточна функція має вигляд:

$$W_{CE}(s) = \frac{0.04}{2s+1} \quad (3.1)$$

Вибір регулюючого органу. Клапан регулюючий - це трубопровідна арматура, призначена для керування потоком води за рахунок зміни площі прохідного перерізу.

Регулюючі клапани застосовують як виконавчий орган у схемах автоматизації систем опалення, гарячого водопостачання та інших технологічних процесів. Керують клапаном за допомогою електричного приводу та електронного регулятора, за сигналом датчика температури, тиску або витрати, залежно від функції вузла автоматизації. Крім електричних приводів для керування регулюючим клапаном, можуть бути застосовані пневматичні, гідравлічні, термоелектричні або термічні приводи [30].

В інженерних системах будівель регулюючі клапани використовують для програмного керування системами опалення, гарячого водопостачання або калориферами припливних установок [30].

На підставі розрахунків я обрав клапан фірми «АВАНГАРД» модель «25ч37нж ДУ-80» (рис. 3.3.).

Клапан 25ч37нж ДУ-80 призначений для використання на центральних та індивідуальних теплових пунктах (ЦТП і ІТП), в системах гарячого водопостачання, системах припливної вентиляції тепличних господарств і в інших галузях народного господарства як для автоматичного регулювання технологічних процесів.

Н
Н
Н



Рис. 3.3. Загальний вигляд клапана

Образмо електричний виконавчий механізм «ST 01» (рис. 3.3.7), якого
: $T_{max} = 60 c$
Отже передаточна функція виконавчого механізму має вигляд:

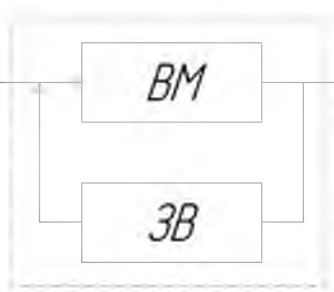
$$K_{BM} = \frac{1}{T_{BM}} = 0.016 \quad (3.2)$$

НУБІП

$$W_{BM}(s) = \frac{0,016}{s} \quad (3.3)$$

Розробники рекомендують охоплювати двигун місцевим ЗВ (рис. 3.4.).

НУБІП



аїни

Рис. 3.4. Зворотній зв'язок двигуна

НУБІП України

Н

$$W_{BM}(s) = \frac{W_{BM}(s)}{1 + W_{BM}(s) \cdot K_{33}(s)} = \frac{\frac{K_{BM}}{s}}{1 + \frac{K_{BM} \cdot K_{33}}{s}} = \frac{K_{BM}}{s + K_{BM} \cdot K_{33}}$$

$$= \frac{K_{BM}}{K_{BM} \cdot K_{33} \left(\frac{1}{K_{BM} \cdot K_{33}} s + 1 \right)}$$

Н

$$= \frac{\frac{1}{K_{33}}}{\frac{1}{K_{33} \cdot K_{BM}} s + 1}$$

(3.4)

$$K_{33} = 10;$$

Н

$$K_{BM} = \frac{1}{10} = 0,1;$$

$$T_{BM} = \frac{1}{0,016 \cdot 10} = 6,25 \text{ с.}$$

Н

$$W_{BM}(s) = \frac{0,1}{6,25s + 1}$$

НУБІГ



аїни

НУБІГ

аїни

НУБІГ

аїни

Рис. 3.5. Загальний вигляд ВМ

НУБІП УКРАЇНИ

Вибір вентилятора. Вентилятори у теплиці давно є важливою частиною кліматичної системи. Крім своєї здатності доставляти вуглекислий газ і кисень рослинам, змішувати теплі та прохолодні потоки повітря, вентилятори можуть запобігати хворобам і захищати рослини від теплового стресу. (рис. 3.6.) [29].

НУБІП УКРАЇНИ

Незважаючи на те, що в більшості країн світу, де є теплиці, виробники більше дбають про «утеплення» себе та рослин, великі та маленькі вентилятори займають не менш важливу частину проекту та інтенсивно використовуються, оскільки є незамінною частиною будь-якої кліматичної системи. [25].

НУБІП УКРАЇНИ

Навіщо потрібні вентилятори в теплиці:

- вони доставляють необхідні рослинам вуглекислий газ та кисень
- допомагають запобігти деяким хворобам, розвитку цвілі та бактерій, що розмножуються в застійному вологому повітрі.

НУБІП УКРАЇНИ

- допомагають впоратися з конденсатом та зайвою вологістю у зоні вирощування

- забезпечують безперервну циркуляцію повітря та захищають від виникнення «холодних» та «гарячих» зон.

- роблять роботу системи вентиляції ефективнішою

НУБІГ АІНИ



НУБІГ АІНИ



Рис. 3.6. Загальний вигляд вентилятора

НУБІП УКРАЇНИ

- Живлення - 380/50 V/Hz
- Витрата повітря - 13 500 m³/h
- Потужність вентилятора 630-S/B: 780 W

НУБІП України

- Сила струму - 3,60 А
- Оберти за хвилину вентилятора 630-S/B - 1 410
- Ступінь захисту двигуна IP54

3.2. Розрахунок та побудова структурно-алгоритмічної схеми

Схеми структурні визначають основні функціональні частини виробу, їх призначення та взаємозв'язки та служать для загального ознайомлення з виробом. На структурній схемі розкривається не принцип роботи окремих функціональних елементів виробу, лише взаємодія з-поміж них. Тому складові частини виробу зображують спрощено у вигляді прямокутників довільної форми [31].

Дозволяється застосовувати умовні графічні позначення.

Побудуємо структурно-алгоритмічну схему, користуючись функціональною схемою і передатними функціями окремих елементів системи.

На рис. 3.7 представлена схема системи автоматичного керування.

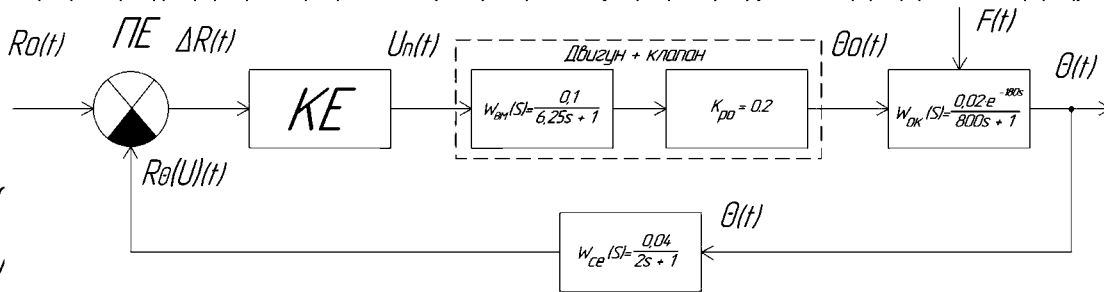


Рис. 3.7. Функціонально-структурна схема САК регулювання мікроклімату в теплиці

На функціональній схемі САК зображені такі основні елементи:

KE – керуючий елемент.

У графічні зображення елементів системи запишемо їх передатні функції.

Визначимо передатну функцію системи автоматичного регулювання

НУБІП України

$$\begin{aligned}
 W_{\text{роз}}(s) &= \frac{0,1}{6,25s + 1} \cdot \frac{0,02}{800s + 1} \cdot \frac{0,04}{2s + 1} \\
 &= \frac{0,00008}{(800 \cdot 6,25 \cdot 2)s^3 + (6,25 \cdot 800)s^2 + (800 \cdot 2)s^2 + (6,25 \cdot 2)s^2 + (6,25 + 800 + 2)s + 1} \\
 &= \frac{0,00008}{10000s^3 + 6612,5s^2 + 808,25s + 1}.
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

$$W_{\text{зам}}(s) = \frac{0,00008}{10000s^3 + 6612,5s^2 + 808,25s + 1,00008}. \tag{3.6}$$

3.3. Визначення параметрів налаштування цифрового регулятора

На сучасному етапі розвитку автоматизації основним видом регуляторів стають цифрові. При виконанні імпульсної теореми для визначення їх параметрів налаштування можна застосовувати аналітичні і графічні методи. Проте, при необхідності аналізу процесів у самому цифровому регуляторі, самостійного створення програми, що реалізує алгоритм регулювання, при дослідженні впливу періоду квантування та дискретного характеру сигналів на динамічні характеристики цифрової системи, більш точним буде метод синтезу регулятора у Z-перетворенні [13].

Аналогічно з неперервними системами в цифрових системах можна реалізувати ПІ закон регулювання (рис. 3.8).

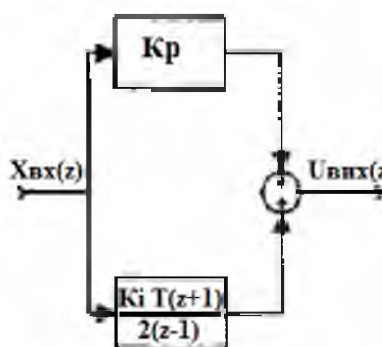


Рис. 3.8 Структурно-алгоритмічна схема цифрового ПІ-регулятора

де: K_p, K_i – параметри відповідно пропорційної та інтегральної складових ПІ-регулятора, T – період квантування.

Синтез ПІ-регулятора полягає у знаходженні параметрів K_p, K_i .

Параметр інтегральної складової регулятора, який залежить від добротності за швидкістю K_v неперервної частини, визначається:

$$K_i = \frac{K_v}{\lim_{z \rightarrow 1} W_{\text{н.ч.}}(z)} \quad (3.7)$$

Добротність за швидкістю визначається залежно від постійної часу об'єкта (таб. 3.1.)

Табл. 3.1 Співвідношення добротності за швидкістю від постійної часу об'єкта

T_o, c	K_v
~ 1	3...10
~ 10	0,3...1
~ 100	0,01...0,04
~ 1000	0,004...0,012

Згідно з табл. 2.3.1. $K_v = 0,02$, оскільки $T_o \neq 800$ с.

Для визначення передаточної функції $W_{\text{н.ч.}}(z)$ застосовуємо пакет програм MATLAB, використовуючи операції завдання передаточної функції неперервної системи $w = \text{tf}([K_o], [T_o \ 1])$ та Z-перетворення неперервної передаточної функції

на дискретну $wz = \text{c2d}(w, T)$, де w – змінна, що отримала вираз неперервної передаточної функції, T – крок квантування.

Час квантування T визначаю з графіка АЧХ (рис. 3.9.).

```
>> W=tf([23.5],[800 1])
```

```
W =
      23.5
-----
    800 s + 1
```

Continuous-time transfer function.

```
>> bode(W)
```

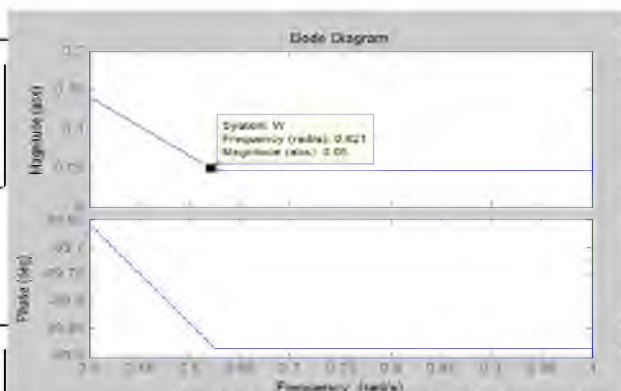


Рис. 3.9. Амплітудно-частотна характеристика

Отримаємо значення частоти при похибці 0,05:

$$\omega_c = 0,621$$

і визначимо значення часу квантування.

$$T_k = \frac{\pi}{\omega_c} = \frac{\pi}{0,621} = 5,05 \text{ c} \quad (3.8)$$

При синтезі ПІ-регулятора ми нехтуємо інерційною ланкою ВМ, оскільки ПІ-регулятор компенсує лише один полюс Z-перетворення неперервної частини.

```
>> W = tf([0.02],[800 1])
```

```
W =
```

```
0.02
```

```
-----
```

```
800 s + 1
```

```
Continuous-time transfer function.
```

```
>> Ws = c2d(W,5)
```

```
Ws =
```

```
0.0001246
```

```
-----
```

```
z - 0.9938
```

```
Sample time: 5 seconds
```

```
Discrete-time transfer function.
```

Тоді за формулою 4.3 знаходимо інтегральну складову:

$$K_i = \frac{0,02}{\frac{0,0001246}{z - 0,9938}} = 0,995 \quad (3.9)$$

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

Передаюча функція ПІ-регулятора має вигляд:

$$W_{\text{ПІ}}(z) = \frac{K_i \cdot T z + 1}{2(z-1)} = \frac{2K_p z - 2K_p + K_i T z + K_i T}{2z - 2} \quad (3.10)$$

$$= \frac{(2K_p + K_i T)z + (K_i T - 2K_p)}{2(z-1)} = \frac{(2K_p + K_i T) \left[z + \frac{K_i T - 2K_p}{2K_p + K_i T} \right]}{2(z-1)}$$

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

$$\frac{K_i T - 2K_p}{2K_p + K_i T} = -0,9938 \quad (3.11)$$

Параметр знаходимо за допомогою програми Mathcad:

$$K_p = 1 \quad T = 5$$

Given

$$\frac{K_i T - 2K_p}{K_i T + 2K_p} = -0,9938$$

$$\text{Find}(K_p) = 800,08$$

3.4. Аналіз показників якості системи керування

Показником якості систем керування є різниця між вихідною величиною та вхідною. Оцінкою якості керування є величина похибки впродовж усього часу роботи САК. Оскільки в різних режимах роботи похибка різна, то розрізняють величину похибки керування в установлених статичному, динамічному та в перехідних режимах роботи. Похибку керування в установлених режимах прийнято вважати оцінкою точності системи керування. Похибки, які виникають в перехідних режимах роботи, змінюються з часом і швидко зменшуються. Вони, як правило, не завжди є вирішальними, проте характеризують якість роботи САК. [32].

Якість процесу регулювань системи, як правило оцінюють по їх перехідній функції.

Основними показниками якості є час регулювання, перерегулювання, коливаючість і встановлена похибка.

Крім того, слід зазначити, що в конкретних умовах до якості регулювання можуть висуватися інші вимоги, наприклад: максимальна швидкість зміни величини що регулюється, основна частота її коливань і так далі.

Час регулювання. Часом регулювання t_p називають час на протязі якого починаючи з моменту прикладання зусилля на систему регульованої величини від її встановленого значення менше на перед заданого значення. В загальному випадку приймають, що закінченню часу регулювання відхилення регульованої величини від встановленого значення повинно бути не більше 3%. Тобто час регулювання визначає тривалість (швидкість) перехідного процесу [32].

Перерегулюванням називають максимальне відхилення регульованої величини від встановленого значення яке виражається в % від встановленого значення.

Для дослідження показників якості роботи системи використовуємо модель у програмному середовищі MATLAB/Simulink (рис. 3.10)

Та отримаємо перехідний процес системи з ПІ-регулятором (рис. 3.11).

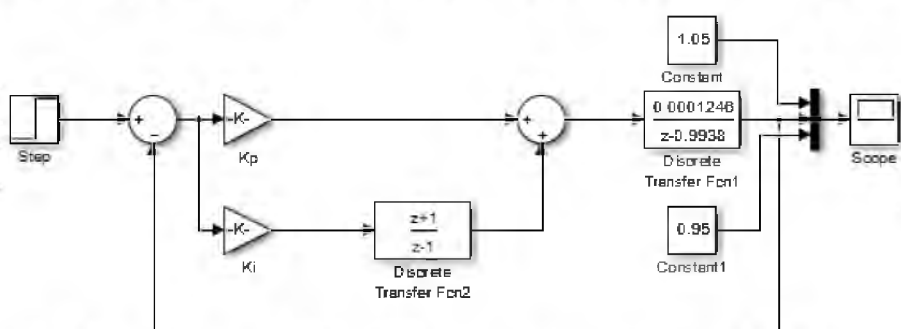


Рис. 3.10. Структурна модель цифрової системи

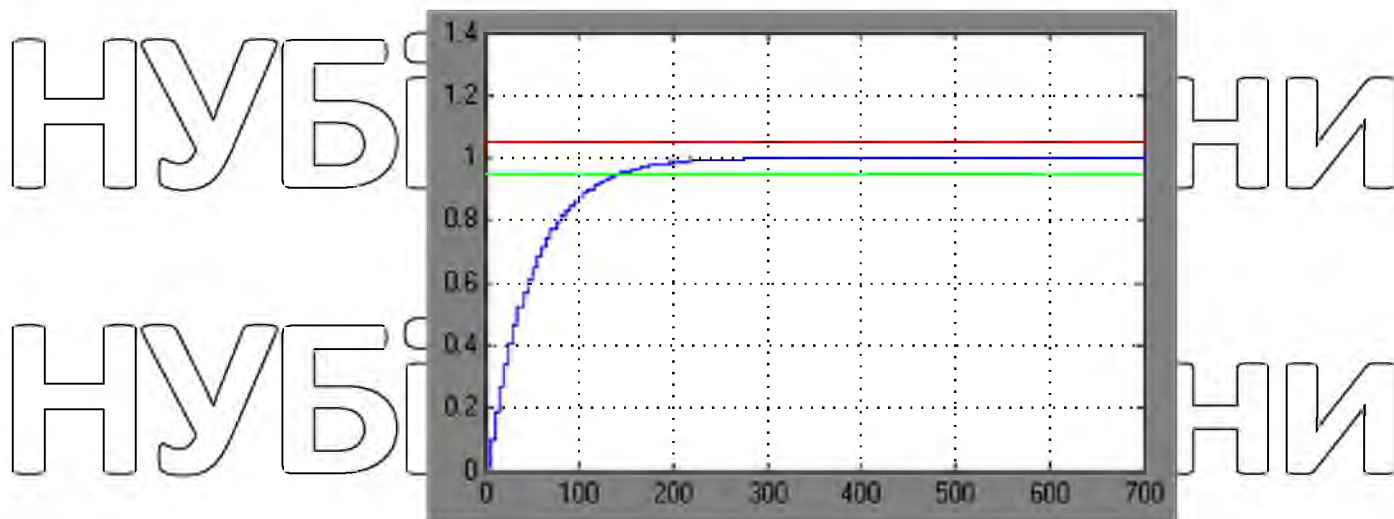


Рис. 3.11. Перехідний процес системи з ПІ-регулятором

Із побудованого графіка перехідного процесу в САК визначимо, що час регулювання даної системи $t_p = 260$ с, кількість коливань $n = 0$.

Встановлена похибка дорівнює:

$$\Delta = y(\infty) \cdot 5\% = 1 \cdot 5\% = 0.05 \quad (3.12)$$

Перерегулювання не виходить за межі 20% і складає:

$$\sigma = \frac{y_{\max} - y(\infty)}{y(\infty)} \cdot 100\% = \frac{1-1}{1} \cdot 100\% = 0\%. \quad (3.13)$$

Ці показники задовольняють технологічним вимогам.

РОЗДІЛ 4. ПОБУДОВА ГІБРИДНОЇ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ У ТЕПЛИЦІ

Поняття нечіткого виводу займає центральне місце в нечіткій логіці і в теорії нечіткого управління. Система нечіткого виводу – це процес отримання нечітких висновків про необхідному управлінні об'єктом на основі нечітких умов і передумов, що представляють собою інформацію про поточний стан об'єкта [3].

Цей процес поєднує в собі всі основні концепції теорії нечітких множин: функції приналежності, лінгвістичні змінні, методи нечіткої імплікації і т. п.

Розробка і застосування систем нечіткого виводу включає в себе ряд етапів:



Рис. 4.1. Діаграма процесу нечіткого виведення в нечітких САК

База правил систем нечіткого виведення призначена для формального представлення емпіричних знань експертів в тій або іншій предметній області у формі нечітких продукційних правил. Таким чином, база нечітких продукційних правил системи нечіткого виводу – це система нечітких продукційних правил, що відображає знання експертів про методи управління об'єктом в різних ситуаціях, характер його функціонування в різних умовах тощо, тобто містить формалізовані людські знання [Ошибка! Источник ссылки не найден.]

За допомогою ANFIS-редактора здійснюється створення або завантаження структури гібридної системи, перегляд структури, налаштування її параметрів, перевірка якості функціонування такої системи. Створення структури, налаштування параметрів і перевірка здійснюються за вибірками (наборами даних) – навчальною (Training data), перевіркою (Checking data) і тестувальною (Testing data), які попередньо повинні бути представлені у вигляді текстових файлів (з розширенням dat і розділенням табуляціями). З цієї мети були використані значення параметрів мікроклімату теплиці (температура і вологість повітря), що отримані системою дистанційного моніторингу.

Чітких рекомендацій щодо обсягів зазначених вибірок не існує, очевидно, найкраще виходити з принципу «чим більше, тим краще». Навчальні та перевірені вибірки безпосередньо задіюються в процесі налаштування параметрів гібридної мережі. Перевірочна – для з'ясування ситуації: чи має місце перенавчання мережі, при якому помилка для навчальної послідовності прямує до нуля, а для перевіркою – зростає; втім, наявність перевіркою вибірки не є строго необхідною, вона лише бажана. Тестувальна вибірка застосовується для перевірки якості функціонування навченої мережі [16].

Для навчання нейронної мережі сформовано набір даних значень температури і вологості повітря як вхідних змінних, а також режиму роботи системи опалення у якості вихідної змінної. Вигляд таблиці даних наведено на рис.4.2.

	Час.	Тзов, °C	Радіація.	Відносна	Температура, °C	Коефіцієнт 1	Коефіцієнт 2	Коефіцієнт 3	CO2	Витрата газу, м3	Потужність	
1												
2	15.01.2011	1	1	0	68,50	12,18	26,55	22,74	0	0,00	312	1560
3		2	1,5	0	69,40	11,78	26,72	22,25	0	0,00	224	1120
4		3	1,31	0	68,80	11,95	26,64	23,15	0	0,00	80	400
5		4	1	0	67,90	11,87	26,81	23,48	0	0,00	384	1920
6		5	1,27	0	67,80	11,95	26,89	23,24	0	0,00	192	960
7		6	0,56	0	66,90	12,2	27,63	25,76	0	0,00	328	1640
8		7	1,01	0	63,80	12,53	26,74	29,09	0	0,00	112	560
9		8	1	0	62,20	13,26	30,23	32,58	0	0,00	584	2920
10		9	1,27	20,1	63,60	13,1	26,5	30,4	0	0,00	456	2280
11		10	1,92	73,5	59,10	13,76	31,86	39,33	0	0,00	648	3240
12		11	1,61	122	62,10	12,78	29,43	31,62	0	0,00	480	2400
13		12	2,71	281	61,90	14,25	30,73	43,4	0	0,00	480	2400
14		13	3,22	327	60,60	14,98	29,44	40,07	0	929,00	272	1360
15		14	3,5	196	63,80	14,58	29,52	36,66	0	846,00	288	1440
16		15	2,61	57,2	66,30	12,96	29,44	47,06	0	732,00	320	1600
17		16	2,07	11,3	61,30	12,61	29,05	33,00	0	550,00	275	1375

Рис. 4.2. Набір даних для навчання нейронної мережі

Далі здійснюється навчання нейронної мережі (рис. 4.3)

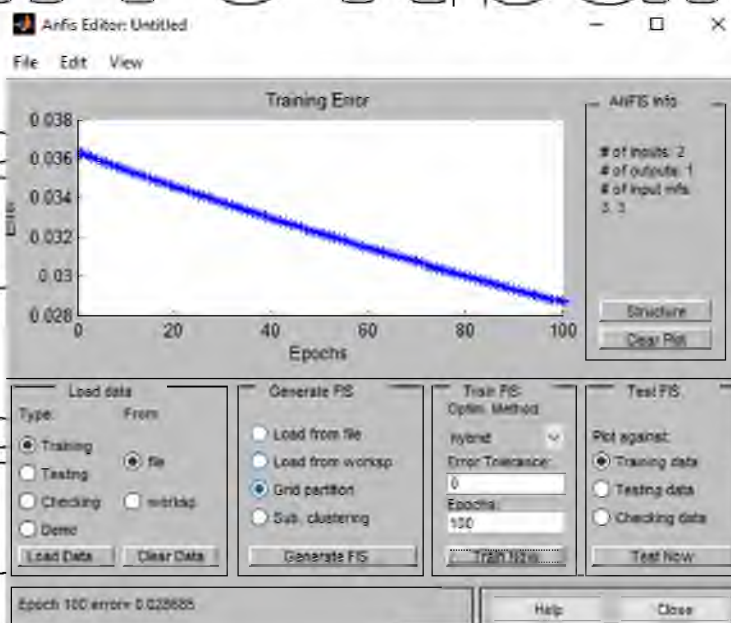


Рис. 4.3. Результат навчання мережі

Перевіримо нейронну мережу за допомогою тестової вибірки даних (рис. 4.4).



Рис. 4.4. Результат тестування навченої системи

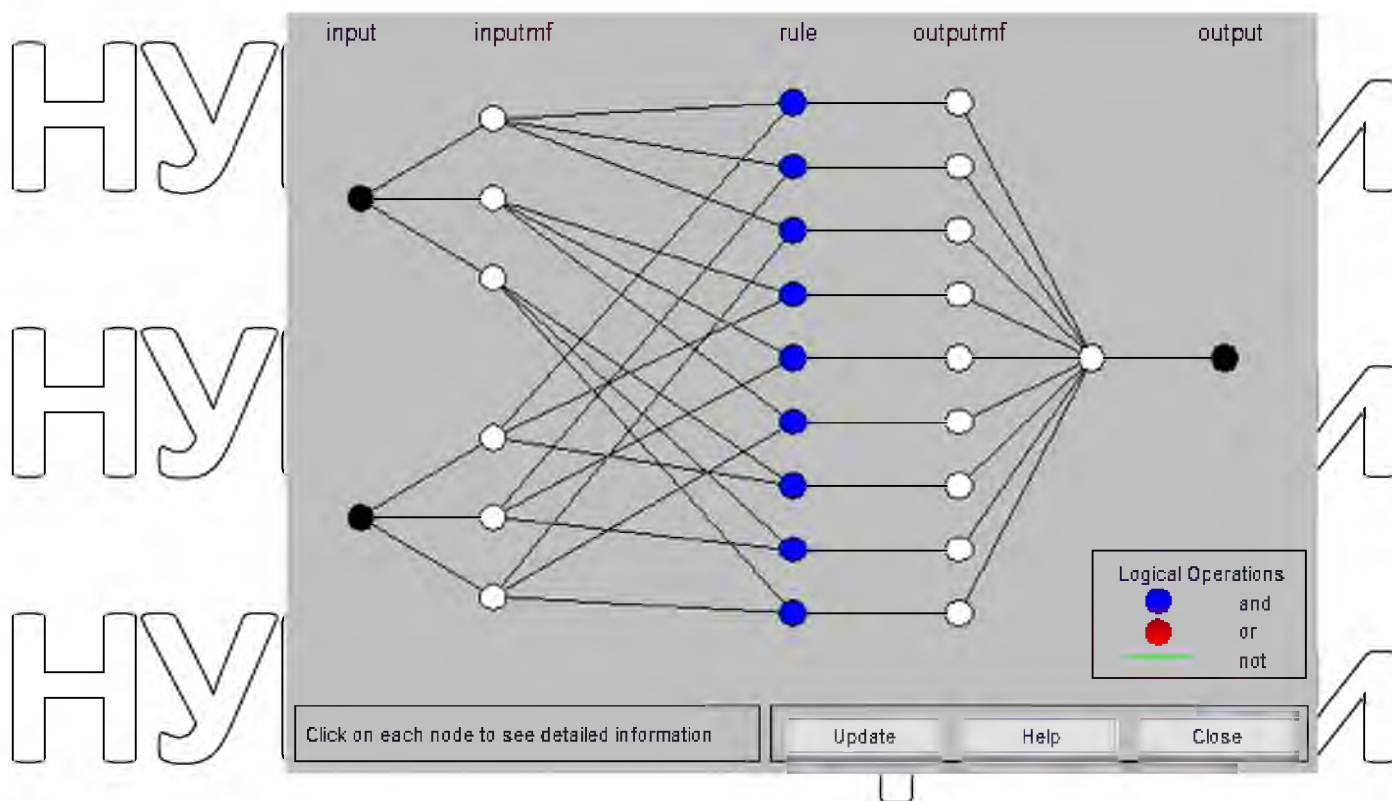


Рис. 4.5. Структура створеної гібридної мережі

Задаємо структуру системи передбачення. На вхід подаємо дві величини значення температури (Temp) та вологості (Vol). На виході задаємо контур опалення – 1 – система опалення ввімкнена, 0 – система опалення вимкнена.

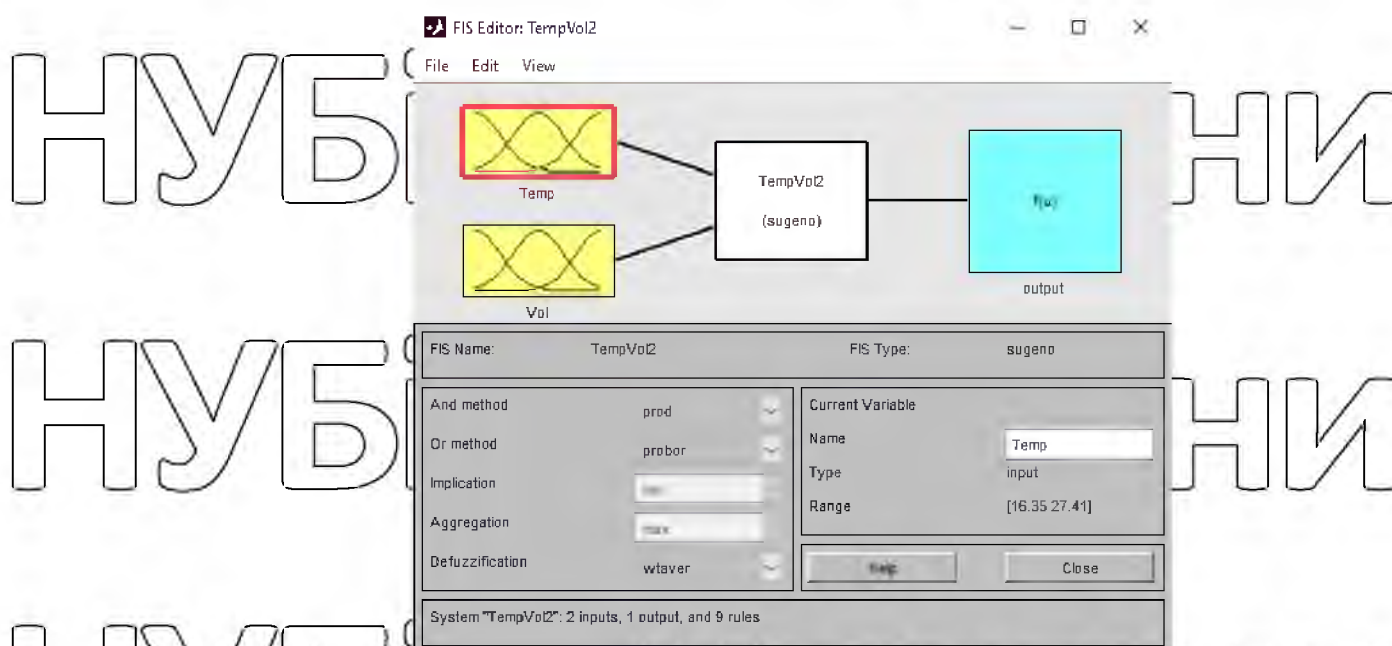


Рис. 4.6. Вигляд вікна FIS-редактора після завдання структури системи

Наступним кроком є завдання інтервалів функцій належності змінних.

Завдання параметрів функції належності температури внутрішньої теплиці. Тобто за норму (T_z) приймаємо значення $+18-+25$ °С, T_{min} в межах $+17-+21$ °С, і T_{max} в діапазоні значень $+24-+28$ °С [Ошибка! Источник ссылки не найден].

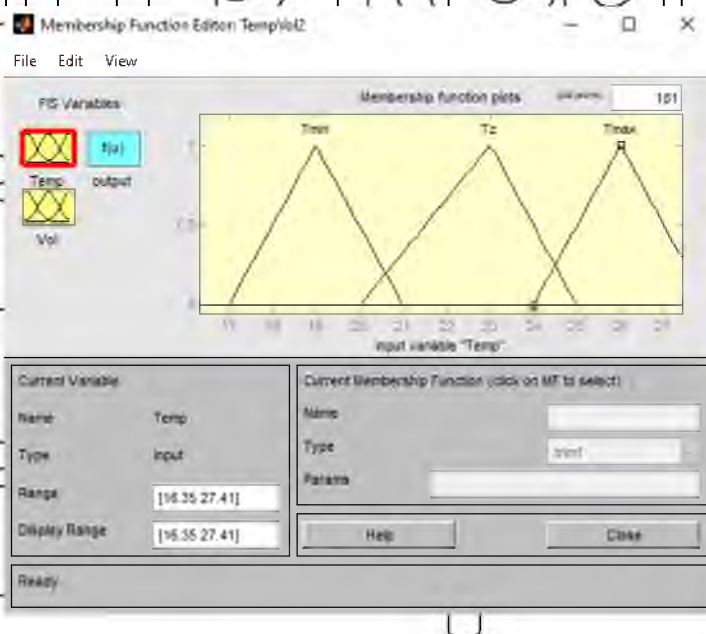


Рис. 4.7. Вигляд завдання параметрів функції належності змінних температури повітря в теплиці

Параметри функції вологості обираємо по відсотку вологості ґрунці. Отже, інтервал V_{min} – 40% - 66%, V_z – 60% - 80%, V_{max} – 75% - 100%.

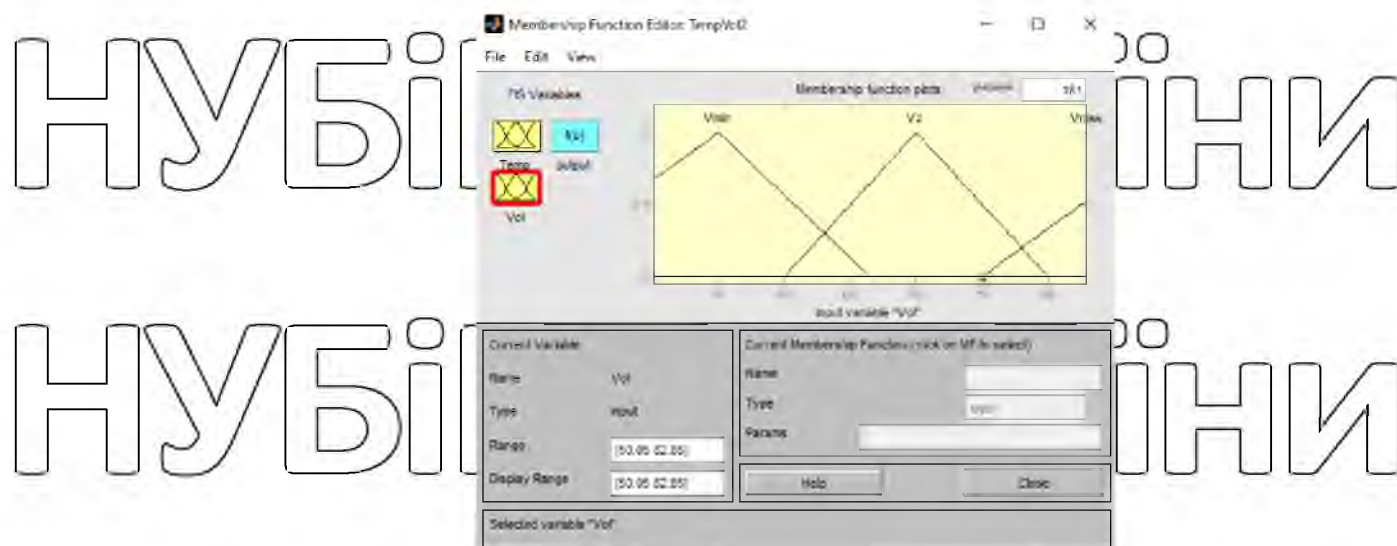


Рис. 4.8. Видгляд завдання параметрів функції вологості в теплиці

Для розробки програми прогнозування записуємо правила, за якими буде працювати система. Отже, при умові що температура або вологість відповідає одному з інтервалів, виконується умова ввімкнення – 1 або вимкнення – 0 обраних контурів опалення [4].

Записуємо правила згідно яких будуть прийматися рішення.

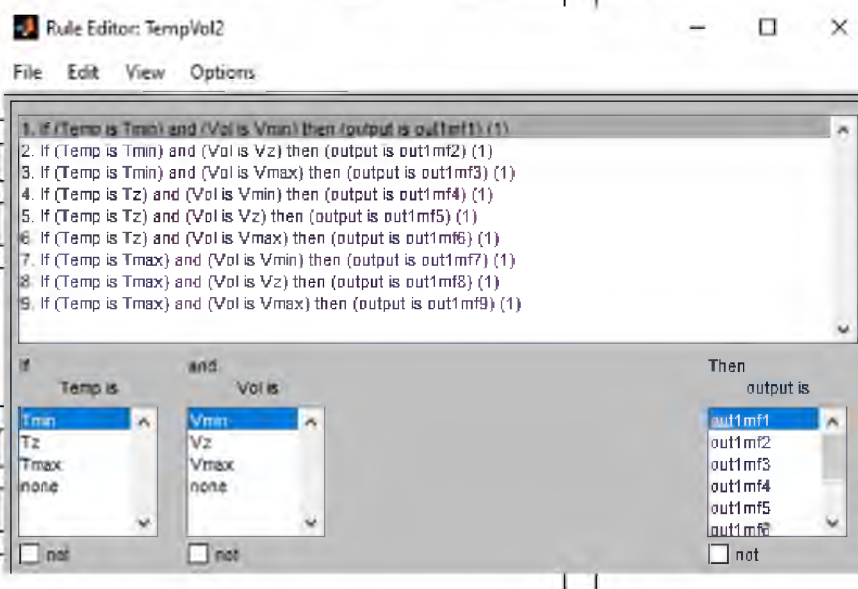


Рис. 4.9. Вікно попередньо заданих правил

Результат роботи системи відображається у вікні перегляду правил. Зміщуючи положення повзунок входних параметрів, отримуємо прогнозування ввімкнення відповідних контурів опалення.

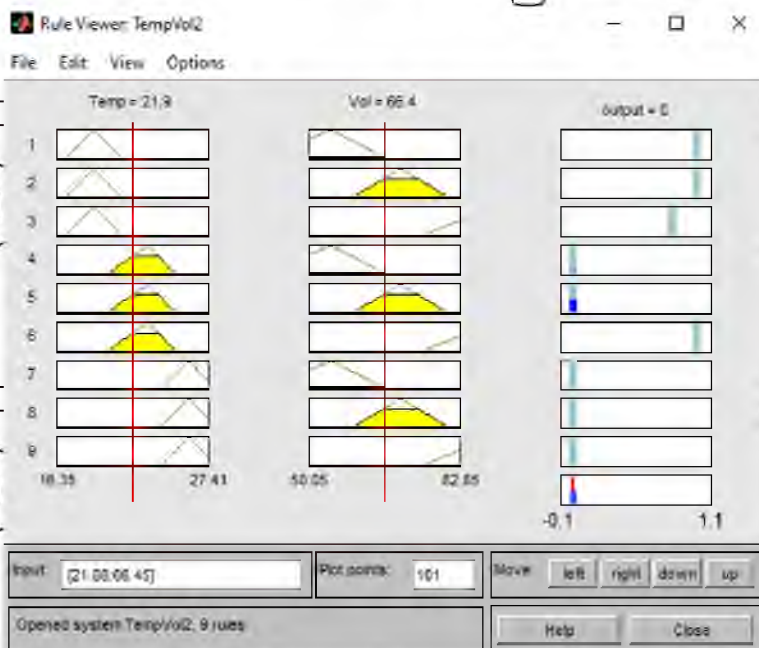


Рис. 4.10. Вікно перегляду правил

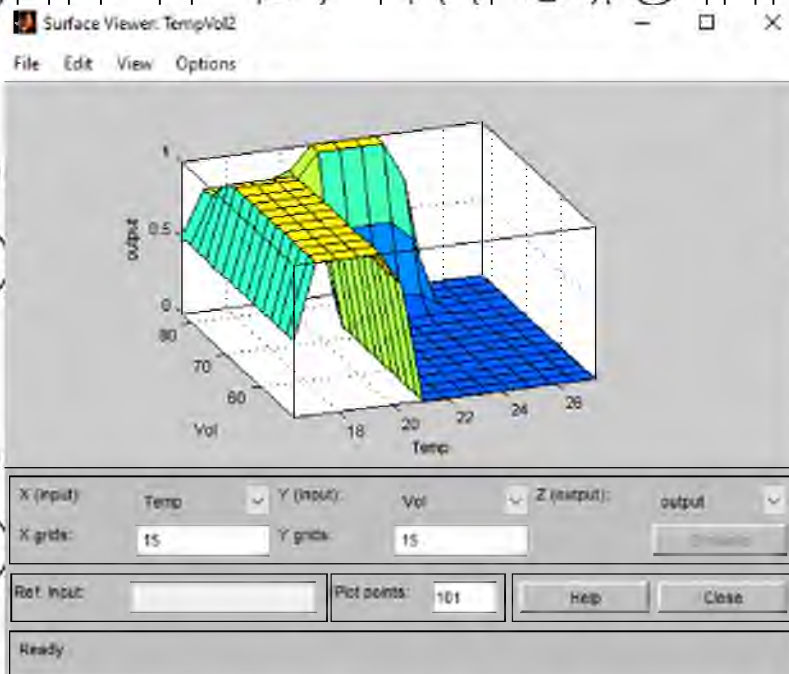


Рис. 4.11. Графічний вигляд залежності вихідної змінної від входних

4.1. Реалізація scada – системи із використанням макету

Важливим етапом у виконанні досліджень є розробка експериментальних зразків системи керування, повноцінне функціонування котрих неможливе без сучасних програмних засобів візуалізації. Для оператора технологічного процесу вкрай важливим є зрозумілий графічний інтерфейс системи керування, що позитивно впливає на оперативність прийняття рішень, дозволяє вчасно реагувати на будь-які відхилення у роботі обладнання, а також дозволяє здійснювати аналіз тенденцій зміни того чи іншого технологічного параметра [4].

З цією метою останнім часом в академічній й науковій спільноті пропонується використання SCADA-систем (від англ. SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition), за допомогою котрих вирішується задача автоматизованого керування складними динамічними (біотехнічними) об'єктами та процесами.

До основних функцій SCADA-системи можна віднести наступні:

- обмін даними з «пристроями зв'язку з об'єктом» (тобто з промисловими контролерами і платами вводу-виводу) в реальному часі через драйвери;
- обробка інформації в реальному часі;
- логічне управління;
- відображення інформації на екрані монітора в зручній і зрозумілій для людини формі;
- ведення бази даних реального часу з технологічною інформацією;
- аварійна сигналізація і управління тривожними повідомленнями;
- підготовка та генерування звітів про хід технологічного процесу;
- здійснення мережевої взаємодії між SCADA ПК;
- забезпечення зв'язку з зовнішніми додатками (СУБД, електронні таблиці, текстові процесори і т. д.).

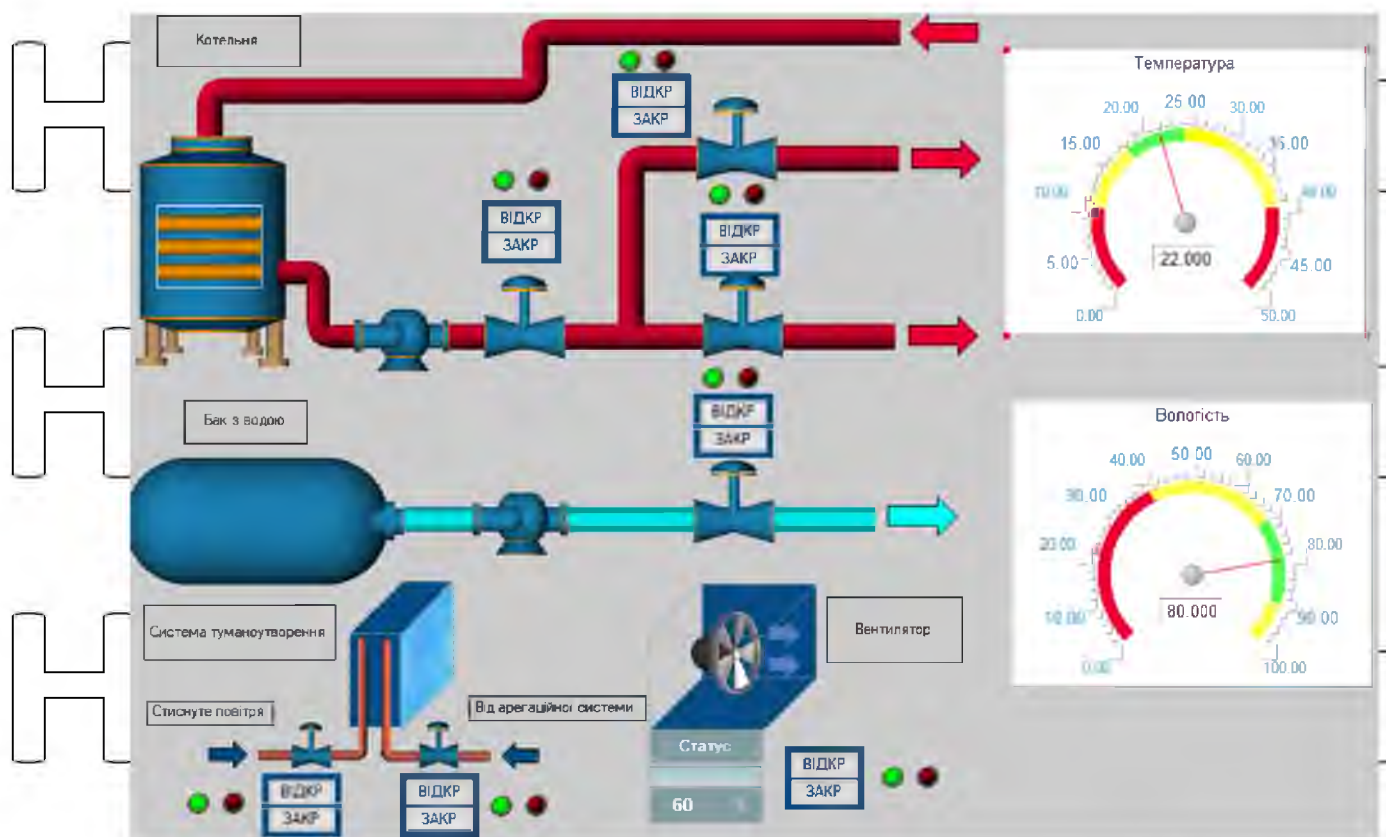


Рис.4.12. SCADA – система

Дана SCADA – система відображає температурні, вологісні показники та стани регулюючих органів (вентилятор, клапан). В правій стороні знаходяться дві шкали, які відображають значення температури та вологості з датчиків DHT22. Об'єкт керування має верхній та нижній контур опалення який керується за допомогою клапану. Також виводить інформація про поточний стан регулюючих органів клапану системи туманно – утворення та вентилятору

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 5. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

5.1. Вибір пускозахисної апаратури, проводів та кабелів

Вибір електродвигуна М1, М2, М3, М4

Вентилятори для теплиць обладнані асинхронним двигуном на кулькових підшипниках із зовнішнім ротором, що забезпечує довгий термін служби вентилятора і можливість монтажу в будь-якому положенні. При виборі потужності вентилятора керуються площею теплиці [15].

Вибираємо осьовий вентилятор 630-8/В з наступними технічними характеристиками: $P_{ед} = 0.78 \text{ кВт}$; $n_H = 1410 \text{ об/хв}$; $I_H = 1.65 \text{ А}$; $\cos\varphi = 0.8$

Витрата повітря – $13500 \text{ м}^3/\text{г}$.

Для контуру опалення вибираємо клапан клапан фірми «АВАНГАРД» модель «25х37нж ДУ-80» та приводу до нього ST-01 з наступними технічними характеристиками::

Клапан: $D_H = 80 \text{ мм}$; Номінальний тиск – $1,6 \text{ МПа}$; $K_{V_{max}} = 160 \text{ м}^3/\text{год}$.

Привід: $P_{пр} = 15 \text{ Вт}$; $I_H = 0.06 \text{ А}$; Час закриття – 60 с .

Вибираємо привід для відкриття фрамуги фірми «Аетілюх» НТРWA 230 з наступними технічними характеристиками:: $P = 35 \text{ Вт}$; $I_H = 0.16 \text{ А}$; Довжина ходу – 350 мм .

Вибираємо автоматичний вимикач FB1-63 ECO 6kA "B" 3P 3A з наступними технічними характеристиками $U_{н.ав.} = 400\text{В}$; $I_{н.ав.} = 3\text{А}$; $I_{н.р.} = 3\text{А}$,



Рис. 5.1 Автоматичний вимикач FB1-63 ECO 6kA "B" 3P 3A
 $400\text{В} > 380\text{В}$; $3\text{А} > 1,93\text{А}$; $3\text{А} > 2,4\text{А}$.

Вибірємо автоматичний вимикач FB1-63 ECO 6кА "В" 1P 1A з наступними технічними характеристиками $U_{н.ав} = 220В$; $I_{н.ав} = 1А$; $I_{н.р} = 1А$;



Рис. 5.2 Автоматичний вимикач FB1-63 ECO 6кА "В" 1P 1A

Вибірємо електромагнітний пускач FC 1/6-13 наступними технічними характеристиками: $U_{н.м.п} = 380В$; $I_{н.м.п} = 6 А$; $U_{н.к} = 24В$.



Рис. 5.3. Електромагнітний пускач FC 1/6

Вибираємо проміжне реле Hager ERL216 16A 2НО із наступними технічними характеристиками: $U_{ном.пл.} = 220\text{В}$; $I_{ном.пл.} = 16\text{А}$; $U_{н.х.} = 24\text{В}$.



Рис. 5.4. Реле Hager ERL216 16A 2НО

Обираємо трьохжильний кабель з площею поперечного перерізу струмоведучих жил $1,5\text{ мм}^2$ марки ВВГ для двигуна М1 (рис. 5.5)



Рис. 5.5. Кабель ВВГ - 3х1,5

Обираємо двохжильний кабель з площею поперечного перерізу струмоведучих жил $0,5\text{ мм}^2$ марки ПВС для двигуна М2, М3, М4 (рис. 5.6).



Рис. 5.6. Кабель ПВС - 2х0,5

Для живлення датчиків DHT22 обираємо чотирьох жильний кабель з площею поперечного перерізу струмоведучих жил $0,5 \text{ мм}^2$ марки ПВС (рис. 5.7)



Рис. 5.7. Кабель ПВС - 4x0,5

Для живлення датчика ВН1750 обираємо трьох жильний кабель з площею поперечного перерізу струмоведучих жил $0,5 \text{ мм}^2$ марки ПВС (рис. 5.8).



Рис. 5.8. Кабель ПВС - 3x0,5

РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЙНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

Головним показником ефективності капіталовкладень в розвиток автоматизації є зведені розрахункові витрати. Вони враховують частку капіталовкладень, що припадає на один рік та річні експлуатаційні витрати. Для

підрахунку зведених витрат користуються формулою:

$$B_{зв} = C + E_{нн} \cdot K, \quad (6.1)$$

де: $B_{зв}$ - зведені витрати, грн./рік;

K - капітальні витрати, грн.;

C - річні експлуатаційні витрати, грн./рік;

$E_{нн}$ - нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень.

Витрати на електроенергію визначаються виходячи з суми витрат на електроенергію і її тарифів.

$$C_{е} = P \cdot T \cdot 4 \text{ грн./кВт}, \quad (6.2)$$

де: P - потужність промислового об'єкта, кВт, T - кількість годин роботи на рік, год.

Економію часу при автоматизації приймаємо $\Delta П = 0,3 = 30\%$. Таким чином річні експлуатаційні витрати складатимуть:

$$C = C_{з} + C_{у} + C_{е} + C_{д}, \quad (6.3)$$

Інші прямі витрати приймають рівними 1 % від загальної суми експлуатаційних витрат. Отже:

$$C = \sum C_i \cdot 1.01 \quad (6.4)$$

Торгівельно-транспортні витрати беруть рівними 11% від вартості технічних засобів:

$$K_{твт} = 0.11 \cdot K_{з} \quad (6.5)$$

Витрати на монтажні роботи слід визначати за сьогодишніми цінами на монтажні роботи. Приблизно витрати на монтаж складають 15...20% від вартості технічних засобів, які потрібно змонтувати:

$$K_m = 0,15 \dots 0,20 \cdot K_z \quad (6.6)$$

Для нашого випадку приймемо середнє значення - 17 %.

Інші витрати приймають рівними 2% від загальної суми капітальних

вкладень $K_i = 0,02 \cdot K_z$. Отже:

$$K = K_z + K_{\text{м.м.}} + K_m + K_{\text{вир.}} + K_i \quad (6.7)$$

В даному випадку загальна вартість технічних засобів автоматизації буде складати:

$$K_z = K_{\text{вн.}} + K_{\text{кор.}} + K_{\text{лиц.}} \quad (6.8)$$

$K_{\text{вн.}}$ - загальна вартість виконавчих механізмів та первинних перетворювачів (Таблиця 6.1 та Таблиця 6.2).

$$K_{\text{вн.}} = 17\,711 \text{ грн.}; \quad (6.9)$$

Таблиця 6.1.

Загальний кошторис на основі попередніх розрахунків

П/Н №	Кількість	Найменування	Ціна 1шт, грн.	Ціна сумарна, грн.
1	1	Осьової Вентилятор 630-S \ В	4 900,00 грн.	4 900,00 грн.
2	2	Привід ST 0.1	2 106,00 грн.	2 106,00 грн.
3	1	Датчик температури та вологості DHT22	143,00 грн.	143,00 грн.
4	1	Датчик освітленості BH1750	62,00 грн	62,00 грн
5	1	Привід фрамуги «Actulux» HTRWA 230	10 500,00 грн	10 500,00 грн
6	1	Шкаф MultiMount 500x400x300	3 428,00 грн.	3 428,00 грн.

Загалом: 21 139,0 грн.

Таблиця 6.2.

Контрис на пускозахисну апаратуру всередині шита керування

п/н №	Кількість	Позначення на схемі	Найменування	Ціна 1шт, грн.	Ціна сумарна, грн.
1	3	KV1,KV2,KV3	<u>Hager</u> ERD216	361,00 грн.	1 083,00 грн.
2	9	SB1,SB2, SB3,SB4, SB5,SB6, SB7,SB8, SB9	13 d22мм/240В IEK	22,28 грн.	200,52 грн.
3	1	QF1	FB1-63 ECO 6kA "B" 3P 4A	132,10 грн.	132,10 грн.
4	1	QF2	FB1-63 ECO 6kA "B" 1P 1A	44,40 грн	44,40 грн
5	5	HL1,HL2,HL3,HL4, HL5	AD-22DS	24,30 грн.	121,5 грн.
6	1	KM1	FC1/6	328,44 грн.	328,44 грн..
7	1	TV		520,00 грн	520,00 грн
8	1	SA1	LAY5-BD33	61,40 грн	61,40 грн
9	1	<u>Arduino Uno</u>		150,00 грн	150,00 грн
10	1	LCD 2004		149,00 грн	149,00 грн
11	5	Перетворювач		122,00 грн	610,00 грн

Сума: 3 376,06 грн.

Отже маємо

$$K_3 = 3\,376,06 + 21\,139,0 = 24\,515,06 \text{ (грн.)} \quad (6.10)$$

Торгівельно-транспортні витрати будуть становити:

$$K_{\text{тп}} = 0,11 \cdot K_3 = 0,11 \cdot 24\,515,06 = 2\,696,66 \text{ (грн.)} \quad (6.11)$$

Витрати на монтаж технічних засобів становить:

$$K_{\text{м}} = 0,17 \cdot K_3 = 0,17 \cdot 24\,515,06 = 4\,167,56 \text{ (грн.)} \quad (6.12)$$

Решта капітальних витрат буде становити 2% від суми капітальних вкладень:

$$K_i = 0,02 \cdot 24\,515,06 = 490,3 \text{ (грн.)} \quad (6.13)$$

Визначивши суму капітальних вкладень, що дорівнює:

$$K = K_a + K_{\text{мтв}} + K_{\text{к}} + K_i = 24\,515,06 + 2\,696,66 + 4\,167,56 + 490,3 = 31\,869,58 \text{ (грн.)} \quad (6.14)$$

Можна знайти відрахування на амортизацію:

$$C_a = 0,142 \cdot K = 0,142 \cdot 31\,869,58 = 4\,525,48 \text{ (грн.)} \quad (6.15)$$

Витрати на поточний ремонт становлять:

$$C_{\text{мр}} = 0,18 \cdot K = 0,18 \cdot 31\,869,58 = 5\,736,52 \text{ (грн.)} \quad (6.16)$$

Тоді утримання основних засобів виробництва складуть:

$$C_y = C_a + C_{\text{мр}} = 4\,525,48 + 5\,736,72 = 10\,262,2 \text{ (грн.)} \quad (6.17)$$

Витрати на енергоресурси будуть становити:

$$C_e = P_{\text{пот}} \cdot \Gamma \cdot 4, \quad (6.18)$$

де $P_{\text{пот}}$ - потужність виконавчих механізмів, кВт; $P_{\text{пст}} = 0,845$ кВт; Γ - кількість годин роботи, $\Gamma = 365 \cdot 24 = 8\,760$ (год) теплиця працює 365 днів на рік

Отже:

$$C_e = 0,845 \cdot 8\,760 \cdot 4 = 29\,608,8 \text{ (грн.)} \quad (6.19)$$

Витрати на оплату праці персоналу, який зв'язаний з експлуатацією систем автоматизації (в нашому випадку 1 оператор-наладчик) становить:

$$C_z = 1 \cdot 41,66 \cdot 300 \cdot 8 = 100\,000 \text{ (грн.)}, \quad (6.20)$$

де: 1 - кількість операторів і наладчиків, чол.; 41,66 грн/год - ставка оператора-наладчика за годину роботи, 300 - кількість днів роботи за рік; 8 - кількість робочих годин на добу.

Отже річні експлуатаційні витрати будуть становити:

$$C = C_y + C_e + C_{\text{з}} = 10\,262,2 + 29\,608,8 + 100\,000 = 139\,871 \text{ (грн.)} \quad (6.21)$$

Знайшовши річні експлуатаційні витрати і капітальні вкладення можна знайти зведені витрати:

$$B_{\text{зв}} = C + E_{\text{к}} \cdot K = 50\,071 + 0,15 \cdot 31\,869,58 = 54\,851,437 \text{ (грн.)} \quad (6.22)$$

Тоді чистий прибуток буде визначатися за формулою:

$$\text{Ч} = \Delta C_{\text{з}}, \text{ грн, де:}$$

$\Delta C_{\text{з}}$ - прибуток за рахунок економії заробітної платні, грн;

$$\Delta C_{\text{з}} = C_{\text{з}} - (1,2 \cdot \Gamma \cdot n_{\text{роб}} \cdot 0,1) = 100\,000 - (1,2 \cdot 8\,760 \cdot 1 \cdot 0,1) = 98\,948,8 \text{ (грн.)} \quad (6.23)$$

Чистий прибуток складатиме:

$$\text{Ч} = 98\,948,8 \text{ (грн.)} \quad (6.24)$$

Обраховуємо термін окупності установки за формулою (для однієї секції системи опалення):

$$T_{\text{окуп}} = \frac{K}{\text{Ч}} = \frac{31\,869,58}{98\,948,8} = 0,32 \text{ року,} \quad (6.25)$$

Коефіцієнт ефективності капітальних вкладень буде складати:

$$E = 1/T_{\text{окуп}} = 3,125 \quad (6.26)$$

$$E(3,125) > E_{\text{к}}(0,15) \quad (6.27)$$

Отже, з вище приведених розрахунків ми бачимо, що чистий прибуток складає 98 948,8 грн, а саме установка автоматички окупається за 0,32 роки.

Отже, тенденцію автоматизувати доцільно.

НУБІП України

ВИСНОВОК

В даній магістерській роботі вдосконалена система автоматичного керування температурно-вологісним режимом у теплиці із використанням комплексу технічних засобів Arduino. Для керування даним об'єктом застосовується ПІ – алгоритм керування.

Відповідно до заданих характеристик об'єкта керування, було вибрано відповідні технічні засоби автоматизації. Розроблені – функціональна схема автоматизації, принципова електрична схема, схема електричних з'єднань, схема підключень, загальний вигляд щита керування.

Вибираючи оптимальні налаштування регулятора було досліджено властивості об'єкта керування, за допомогою аналітичного методу було розраховано оптимальні налаштування регулятора. Функціонування даної системи автоматичного керування відбувається за допомогою Arduino Uno, показує такі характеристики – перегулювання – складає 0%, статична похибка – 0,05 а час регулювання – 260с.

Для вирішення задані зниження енерговитрат у спорудах захищеного ґрунту розроблено гібридну нейро-нечітку систему для регулювання параметрів мікроклімату. Використання нейро-нечіткої експертної системи дозволяє знизити витрату електроенергії при подачі теплоносія в контури опалення теплиці. Дана система дозволяє аналізувати стан навколишнього середовища, та спираючись на вартість електроенергії знизити її витрати на 10-15%.

Упровадження запропонованих режимів вирощування овочевої продукції в тепличних комплексах дозволить заощадити природний газ на опалення до 13 %, електричну енергію на привод електротехнологічних комплексів – до 10 %, підвищити точність підтримання агротехнічних параметрів вирощування на 8-10 %, збільшити прибуток підприємства на 5-9 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лисенко В.П., Решетюк В.М., Штепа В.М., Заєць Н.А. та ін. Системи штучного інтелекту: нечітка логіка, нейронні мережі, нечіткі нейронні мережі, генетичний алгоритм. – К: НУБІП України, 2014. – 336с.
2. Помідор - технологія вирощування - https://agromage.com/stat_id.php?id=749#%D0%92%D0%B8%D0%B3%D0%B8%D0%B4%D0%BE%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%89%D0%B0
3. Ладанюк А.П., Заєць Н.А., Власенко Л.О. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів: монографія. - К.: видавництво Ліра-К, 2016. - 312с
4. Інтелектуальні системи керування біотехнічними об'єктами / В.Лисенко, Н.Заєць, М. Гачковська, О. Савчук. – К.: КомПрінт, 2019. – 549 с.
5. Схеми автоматизації - <https://www.wikiwand.com/uk/%D0%A1%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%97>
6. Оптимальні та адаптивні системи: конспект лекцій / С. В. Соколов. – Суми : Сумський державний університет, 2012. – 165 с.
7. Шуруб Ю.В., Дудник А.О. Методичні вказівки до лабораторних робіт з Теорії автоматичного керування. – К.: Видавничий центр НУБІП України, 2015. – 92 с.
8. Головінський Б.Л., Шуруб Ю.В., Чапний М.В. Теорія автоматичного управління. Нелінійні системи автоматичного управління. Методичні вказівки для самостійної роботи студентів очної і заочної форм навчання напряму підготовки 6.050202

“Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”. Вид.
центр НУБіП України. – 2010. – 75 с.

9. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування:
Підручник. – К.:Либідь, 2007. – 656 с.

10. Вибір алгоритму управління об'єктами -

<https://buklib.net/books/35495/>

11. Автоматика и автоматизация производственных процессов.

И.И.Мартыненко, Б.Л.Головинский, Р.Д.Проценко,

Т.Ф.Резниченко. – М.:Агропромиздат, 1985. – 328 с.

12. Лисенко В.П., Кузьменко Б.В., Головінський Б.Л. Оптимальні
системи автоматичного управління. – К.: ВЦ НАУ, 2003. – 96 с.

13. Лисенко В.П., Шворов С.А. Моделювання та оптимізація систем
керування. – К.: Наук світ, 2012. – 133 с.

14. Выбор регуляторов и специальные методы анализа систем
автоматического регулирования: Методич. указания / Р. Д.

Проценко, Ю. А. Тимошенко, Б. Л. Головинский, Е. М. Шукайло. –

К.: УСХА, –1984. – 102 с.

15. Лисенко В.П., Кузьменко Б.В., Ботвін Б.Л., Кондратюк В.Г.

Математичні моделі технологічних процесів та розрахунки за
ними на ПК. – К.: ВЦ НАУ, 2001. – 35 с.

16. Мартыненко И.И., Лысенко В.Ф. Проектирование систем
автоматики. - М.:Агропром-издат, 1990. – 200 с.

17. Фурман И.А., Краснобаев В.А., Скорodelов В.В., Рысованый А.Н.

Организация и программирование микроконтроллеров: Учебник.

Харьков: Эспада, 2005 – 248 с.

18. Використання сучасних засобів автоматизації теплиці -

[https://elektrovesti.net/promyshlennost/242_ispolzovaniya-
sovremennykh-sredstv-avtomatizatsii-v-teplitse](https://elektrovesti.net/promyshlennost/242_ispolzovaniya-sovremennykh-sredstv-avtomatizatsii-v-teplitse)

19. Апаратне забезпечення автоматизованого регулювання

мікроклімату в теплиці - <http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi->

bin/irbis_nbuw/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=URN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STM=1&S21EMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILE=&2_S21STR=Nn/2013_40_46

20. Методичка по виконанню дипломного проєкту.

21. Лисенко В.П., Головінський Б.Л., Голуб Б.Л., Руденський А.А.

Методи і засоби сучасного автоматизованого управління.

Навчальний посібник, - Київ, НАУ, 2007. – 76 с.

22. Технологія вирощування томату - [https://internet-](https://internet-kaplya.com.ua/news/tekhnologiya-viroshchuvannya-tomatu-v-umovakh-zakhishchenogo-gruntu/)

[kaplya.com.ua/news/tekhnologiya-viroshchuvannya-tomatu-v-](https://internet-kaplya.com.ua/news/tekhnologiya-viroshchuvannya-tomatu-v-umovakh-zakhishchenogo-gruntu/)

[umovakh-zakhishchenogo-gruntu/](https://internet-kaplya.com.ua/news/tekhnologiya-viroshchuvannya-tomatu-v-umovakh-zakhishchenogo-gruntu/)

23. Алгоритм управління - <https://studfile.net/preview/6826221/page:2/>

24. Датчик вологості та температури DHT - [https://arduino.ua/prod301-](https://arduino.ua/prod301-datchik-vlajnosti-i-temperatyri-dht22)

[datchik-vlajnosti-i-temperatyri-dht22](https://arduino.ua/prod301-datchik-vlajnosti-i-temperatyri-dht22)

25. Осьовий вентилятор - [https://alltan.com.ua/p506906008-osevoj-](https://alltan.com.ua/p506906008-osevoj-ventilyator-ohlazhdeniya.html)

[ventilyator-ohlazhdeniya.html](https://alltan.com.ua/p506906008-osevoj-ventilyator-ohlazhdeniya.html)

26. Навчально-інформаційний портал ННГ енергетики і автоматизації -

<http://energ.nauu.kiev.ua/>

27. електронна наукова бібліотека НУБіП України -

<http://elibrary.nubip.edu.ua>

28. Мартынов Н. Введение в Matlab/6. – М.: Кулиц-образ, 2002. – С. 113.

29. Автоматика и автоматизация производственных процессов.

И.И. Мартыненко, Б.Л. Головинский, Р.Д. Проценко,

Т.Ф. Резниченко. – М.: Агропромиздат, 1985. – 328 с.

30. Регулюючий клапан з електроприводом -

<https://ayvaz.com.ua/ua/news/73-klapany-reguliruyuschie-s->

[elektroprivodom](https://ayvaz.com.ua/ua/news/73-klapany-reguliruyuschie-s-)

31. Структурна схема системи автоматизації - [http://ani-](http://ani-studio.narod.ru/BOX/Flash/Study/Automation/HTML-Themes/Theme8.htm)

[studio.narod.ru/BOX/Flash/Study/Automation/HTML-](http://ani-studio.narod.ru/BOX/Flash/Study/Automation/HTML-Themes/Theme8.htm)

[Themes/Theme8.htm](http://ani-studio.narod.ru/BOX/Flash/Study/Automation/HTML-Themes/Theme8.htm)

32. Показники якості перехідних процесів -

<https://studopedia.net/142495/pokazniki-yakosti-perehidnih-protsesiv.html>

НУБІП України

33. СКАДА - [https://future2day.ru/chto-takoe-skada-sistema-i-chto-soboj-](https://future2day.ru/chto-takoe-skada-sistema-i-chto-soboj-predstavlyayet/)

[predstavlyayet/](https://future2day.ru/chto-takoe-skada-sistema-i-chto-soboj-predstavlyayet/)

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України