

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри КСУ

_____ П.В. Леонтєв

_____ 2022р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

на тему: «Оптимізація параметрів мікроклімату теплиці»

Керівник роботи:

Доцент комп'ютеризованих систем управління

Соколов С.В.

Дипломник:

студент групи СУ.м-11

Дідоренко А.В.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри КСУ

_____ П.В. Леонтєв

_____ 2022р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра студенту
Дідоренко Артему Володимировичу

- 1 Кваліфікаційної роботи: Оптимізація параметрів мікроклімату теплиці
Затверджено наказом ректору університету № 1027-VI від “7” листопада 2022р.
- 2 Термін здачі студентом закінченої роботи “15” грудня 2022 р
- 3 Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: досвід з практичних занять, звіт з переддипломної практики, статті, каталоги, технічна документація, список літературних джерел з матеріалами опису і автоматизації технологічного процесу.
- 4 Зміст кваліфікаційної роботи (питання, що підлягають розробленню):
 - 4.1 Сучасний стан галузі
 - 4.2 Технологічна частина
 - 4.3 Система управління
- 5 Перелік графічних матеріалів: рисунки, таблиці.

6 Календарний план виконання роботи.

Номер етапу	Зміст етапу виконання роботи	Термін виконання
1	Отримання завдання кафедри. Складання ТЗ. Вибір та аналіз літератури.	07.11.22 - 08.11.22
2	Скласти опис об'єкту автоматизації.	09.11.22 - 15.11.22
3	Обґрунтувати вибір обладнання.	16.11.22 - 20.11.22
4	Створити пакет необхідної документації.	21.11.22 - 25.11.22
5	Аналіз джерел, присвячених темі.	26.11.22 - 05.12.22
6	Оформлення пояснювальної записки до виконаної роботи. Здача виконання роботи керівнику.	06.12.22 - 15.12.22

7 Дата видачі завдання “7” листопада 2022 р

Керівник роботи:

Доцент комп'ютеризованих систем управління

Соколов С.В.

До виконання прийняв:

студент

групи СУ.м-11

Дідоренко А.В.

1. *Назва і галузь застосування:* оптимізація параметрів мікроклімату теплиці; тепличне господарство
2. *Підстави для проектування:* наказ ректора Сумського державного університету № 1027-VI від “7” листопада 2022;
3. *Мета і призначення проекту:* оптимізація параметрів мікроклімату теплиці.
4. *Джерела розроблення:* аналіз та оптимізація існуючих систем автоматичного контролю мікрокліматом в теплиці.
5. *Режим роботи об’єкта:* автоматичний контроль основних параметрів теплиці.
6. *Умови експлуатації:* блок живлення шафи управління, живлення ПЛК, живлення модуля інтерфейсу.
7. *Технічні вимоги:* ДСТУ 21.404 – 85 Автоматизація технічних процесів; ДСТУ 12.2.016 – 81 Система стандартів безпеки праці. Загальні вимоги безпеки.

8. *Стадії та етапи проектування:*

Номер етапу	Зміст етапу виконання роботи	Термін виконання
1	Отримання завдання кафедри. Складання ТЗ. Вибір та аналіз літератури.	07.11.22 - 08.11.22
2	Скласти опис об’єкту автоматизації.	09.11.22 - 15.11.22
3	Обґрунтувати вибір обладнання.	16.11.22 - 20.11.22
4	Створити пакет необхідної документації.	21.11.22 - 25.11.22
5	Аналіз джерел, присвячених темі.	26.11.22 - 05.12.22
6	Оформлення пояснювальної записки до виконаної роботи. Здача виконання роботи керівнику.	06.12.22 - 15.12.22

9. *Додатки:*

СУ.м-11 6.151.04.А3 Схема інформаційно матеріальних потоків.

СУ.м-11 6.151.04.А3 Схема функціональна.

СУ.м-11 6.151.04.000 Е3 Контур регулятора температури.

СУ.м-11 6.151.04.000 Е3 Контур регулятора вологості.

СУ.м-11 6.151.04.000 Е3 Контур регулятора освітлення.

РЕФЕРАТ

Дідоренко Артем Володимирович. Оптимізація параметрів тепличного мікроклімату. Магістерська робота. Сумський державний університет. Суми, 2022р.

Кваліфікаційна робота містить розрахунки та пояснювальні записки, а також графічні матеріали.

Пояснювальна записка складається з 55 сторінок і містить 48 рисунків та 8 таблиць.

Графічний матеріал містить 5 креслень: Контур регулювання температурою(аркуш формату А3), контур регулювання вентиляцією(аркуш формату А3), контур регулювання освітленням(аркуш формату А3), схема інформаційно матеріальних потоків(аркуш формату А3), схема функціональна(аркуш формату А3).

Кваліфікаційна робота спрямована на створення та опис оптимізації параметрів тепличного мікроклімату. Алгоритм роботи системи керування описано в розділі проекту.

Ключові слова: оптимізація параметрів, ПЛК, автоматизація.

ABSTRACT

Artem Vladimirovich Didorenko. Optimizing greenhouse microclimate parameters. Master's thesis. Sumy State University. Sumy, 2022.

The qualification work contains calculations and explanatory notes, as well as graphic materials. The explanatory note consists of 55 pages and contains 48 figures and 8 tables.

The graphic material contains 5 drawings: Temperature control scheme (A3 sheet), ventilation control scheme (A3 sheet), lighting control scheme (A3 sheet), information and material flow scheme (A3 sheet), functional scheme (A3 sheet).

The qualification work is aimed at creating and describing the optimization of greenhouse microclimate parameters. The control system operation algorithm is described in the project section.

Keywords: optimization of parameters, PLC, automation.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	2
ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1 Сучасний стан галузі	5
1.1 Стан галузі	5
1.2 Основні параметри аеропонної теплиці	5
1.3 Переваги та недоліки аеропонної теплиці	6
1.4 Обладнання аеропонної теплиці	7
РОЗДІЛ 2 Технологічна частина	9
2.1 Огляд технологій для забезпечення мікроклімату	9
2.2 Управління обладнанням мікроклімату теплиці	16
2.3 Шафа керування мікрокліматом.....	17
2.4 Підбір пристроїв для теплиці.....	19
РОЗДІЛ 3 Система управління	26
3.1 Підвищення енергоефективності теплиці за рахунок сонячного коллектору	26
3.2 Обчислення параметрів системи з ПД-регулятором методом МАЧХ	28
3.3 Адаптивний ПД-регулятор з використанням Fuzzy-регулятора	35
3.4 Система моніторингу теплиці	52
ВИСНОВОК	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	57
ДОДАТОК А	59
ДОДАТОК Б	60
ДОДАТОК В.....	61
ДОДАТОК Г	62
ДОДАТОК Д.....	63

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ПЛК - програмований логічний контролер

БЩУ – блочний щит управління

ДБЖ – джерело безперебійного живлення

ОП – операторська панель

ЦП – центральний процесор

СУ – система управління

САУ – система автоматичного управління

ПАЗ – протиаварійний захист

РУ – режим управління

БЖ – блок живлення

АВР – автоматичне введення резерву

КУ – контур управління

ВСТУП

Зараз харчування є серйозною проблемою, тому що населення Землі вже досягло восьми мільярдів. Нині несприятливі природні умови знищують половину врожаю, і для вирішення цієї проблеми використовують теплиці. З кожним роком кількість теплиць збільшується, а разом з цим збільшується і різноманітність різних культур, які починають вирощувати в теплицях.

Проте основним фактором для вирощування якісного врожаю є система автоматичного керування мікрокліматом в теплиці. Штучно створивши оптимальні умови в теплиці, можна цілий рік вирощувати овочі, кімнатні рослини, квіти і розсаду навіть в місцях з суворим кліматом.

Необхідність підігріву повітря в теплицях, води для поливу культур, які висаджуються. Для виробництва тепла багато тепличних господарств використовують котли, які використовують газ, вугілля чи інші первинні джерела енергії лише для отримання теплової енергії для опалення. Електропостачання теплиць для живлення технологічного обладнання (насосного та вентиляційного обладнання, конвеєрів тощо) покладається, як правило, на територіальні енерго збутові організації.

Ріст рослин визначається процесами фотосинтезу, для якого головним джерелом енергії є світло, а темпи зростання і розвитку рослин пропорційні рівню їх освітленості.

Мета: розробка оптимізованої системи контролю мікрокліматом в теплиці.

Основні завдання:

- Аналіз системи оптимізації мікрокліматом в теплиці
- Підбір сучасних технічних засобів для реалізації системи автоматичного регулювання мікрокліматом
- Проаналізувати показники якості роботи даної системи

Об'єкт дослідження: процес регулювання параметрів теплиці та якості регулювання цих показників.

Предмет дослідження: адаптивний ПІД-регулятор з використанням Fuzzy-регулятора.

Завдання дослідження: порівняти перехідну поведінку, отриману за допомогою адаптивного регулятора, з регулятором параметри якого обчислюються за допомогою МАЧХ.

Наукова новизна: вдосконалення якості регулювання параметрами в теплиці за допомогою адаптивний ПІД-регулятор з використанням нечіткої логіки.

Теоретична значущість: за допомогою адаптивного ПІД-регулятора ми зможемо вдосконалити якість регулювання температури в теплиці та зменшити час регулювання що позитивно відобразиться на врожайності.

РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ГАЛУЗІ

1.1 Стан галузі

Наразі майже перед всіма країнами світу постає питання економії паливно-енергетичних ресурсів, це насамперед пов'язано з тим що запаси палива поступово зменшуються, як наслідок ціна на нього зростає, що призводить до подорожчання продуктів які вирощуються в теплицях в тому числі.

Перспективним рішенням проблеми є споживання сонячної енергії.

Сонячний колектор – це конструкція яка може бути розташована будь-де і надавати нам можливість акумулювати сонячну енергію та за рахунок її обігрівати теплицю.

Вигода від використання сонячної енергії – це перш за все економічна та екологічна.

1.2 Основні параметри аеропонної теплиці

Теплиця - це вид споруди, який призначений для вирощування овочевих культур, саджанців та іншого.

Аеропоніка — це практика вирощування рослин у повітрі чи тумані без допомоги ґрунту чи агрегованого середовища. За даними AgriHouse (дослідницької програми NASA), виробники, які обирають аеропоніку, можуть зменшити споживання води на 98%, споживання добрив на 60%, а споживання пестицидів на 100%, збільшуючи при цьому врожайність своїх культур на 45-75%.

Кілька досліджень розглядають аеропоніку як сучасну сільськогосподарську практику, яка практикується в закритій повністю контрольованій камері, що усуває зовнішні фактори порівняно з традиційним сільським господарством. Завдяки цьому він більше не залежить від великомасштабного землекористування та може бути встановлений будь-де, незалежно від поточного клімату, наприклад, у сезон дощів чи взимку [1, 14].

1.3 Переваги та недоліки аеропонної теплиці

Переваги аеропоніки

Раніше ніто не міг би подумати, що коріння без ґрунту може вижити, не кажучи вже про процвітання. Виявляється, видалення живильного середовища є досить звільняючим для коренів рослин: додатковий кисень, якому вони піддаються, призводить до швидшого росту. Аеропонічні системи також дуже ефективні. Ці закриті системи використовують на 95% менше поливу, ніж рослини, вирощені в ґрунті.

Оскільки вода містить поживні речовини, їх також можна переробити. На додаток до цієї ефективності екологічна репутація аеропоніки зміцнюється її здатністю вирощувати велику кількість їжі на невеликих просторах. Цей підхід здебільшого використовується на критих вертикальних фермах, які дедалі частіше зустрічаються в містах — це зменшує екологічні витрати на доставку їжі з поля до столу. А оскільки аеропонна система повністю закрита, не буде втрат поживних речовин, які можуть забруднювати прилеглі водні шляхи. Замість використання агресивних хімікатів для боротьби зі шкідниками та хворобами просто продезінфікуйте обладнання для вирощування за потреби.

Недоліки аеропоніки

Для ефективної роботи аеропонних систем потрібні певні навички. Концентрація поживних речовин у воді повинна підтримуватися в межах точних параметрів, і навіть незначні збої обладнання можуть призвести до втрати врожаю. Якщо не обприскувати коріння кожні кілька хвилин, вони можуть засохнути, наприклад, якщо буде відключення електрики - ті звисаючі коріння швидко висихають. А коріння потрібно регулярно чистити, щоб вони не забивалися мінеральними відкладеннями у воді.

З екологічної точки зору, є один серйозний недолік: аеропонічні системи покладаються на електрику, щоб перекачувати воду через крихітні розпилювачі. Хоча вони можуть використовуватися з природним освітленням в теплицях, вони частіше використовуються з енергоємними

світильниками для вирощування. Але щоб усунути цей недолік достатньо використовувати альтернативний вид джерел енергії.

Продукти вирощування

В нинішніх автоматизованих теплицях можливе вирощування чого завгодно. Насправді аеропонічні системи в основному використовуються для тих самих цілей, що й гідропонні системи, це – різні листя салату, трав для кулінарії, меліса, м'ята, шавлія, деревій, тюльпани, камелії, нарциси, гербери, пасифлори і таке інше. Одним винятком є рослини-коренеплоди, вирощування яких дуже не практичне в гідропонних системах тому що там замало місця, але добре підходять для аеропоніки, оскільки коріння має багато місця для росту і легко збирати врожай.

1.4 Обладнання аеропонної теплиці

Міркування по обладнанню

Для всіх аеропонних систем потрібен корпус для утримання води та запобігання доступу світла до коренів (зазвичай пластиковий бункер з отворами, які призначені для кожної рослини), також потрібні окремі резервуари для змішування та зберігання поживного розчину. Окрім всіх основних компонентів, потрібно враховувати ще декілька пунктів при проектуванні аеропонічної системи відповідно до потреб які вам необхідні.

Деякі аеропонні системи можуть бути використанні для горизонтального використання також можуть бути використанні як традиційні грядки для вирощування.

Але башти, вертикальні методи стають все більше популярними тому що оскільки коріння швидко поширюється та потребується місце то це розумний спосіб заощадити простір. Вертикальні системи популярні ще тим що, оскільки розпилювач можна розмістити у верхній точці то за допомогою силі тяжіння розсіювати воду по всій системі.

Інша дихотомія в аеропонних теплицях, системи різного тиску

високого та низького.

Ось наприклад системи низького тиску, які використовують прості фонтанні насоси для розпилення води, є недорогими та придатними для будівництва аеропонних теплиць. Цей метод іноді називають «акапонікою», оскільки насос низького тиску виробляє лише легкий туман, схожий на мініатюрний спринклер, а не справжній туман.

А щоб створити справжній туман - вологу, яка ширяє в повітрі - і для більш ефективної доставки поживних речовин до коріння вам потрібен більший тиск води, ніж те що здатний забезпечити звичайний насос. Тому професійні аеропонні системи покладаються на резервуари під високим тиском, які можуть витримувати тиск від 4 до 6 атмосфер [2, 14].

РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Огляд технологій для забезпечення мікроклімату

Автоматичне регулювання допомагає підтримувати задані параметри мікроклімату в теплиці, це дає значний економічний ефект, оскільки це забезпечує найбільш оптимальні умови для вирощування будь яких рослин та овочевих культур з найменшими витратами на підтримання оптимальної температури теплиці.

Серед основних функцій автоматичного регулювання системи можна виділити такі функції:

- автоматичне керування температурою повітря;
- автоматичне керування обігрівом теплиці;
- автоматичне керування освітлювальними установками;
- автоматичне керування циркуляцією повітря.

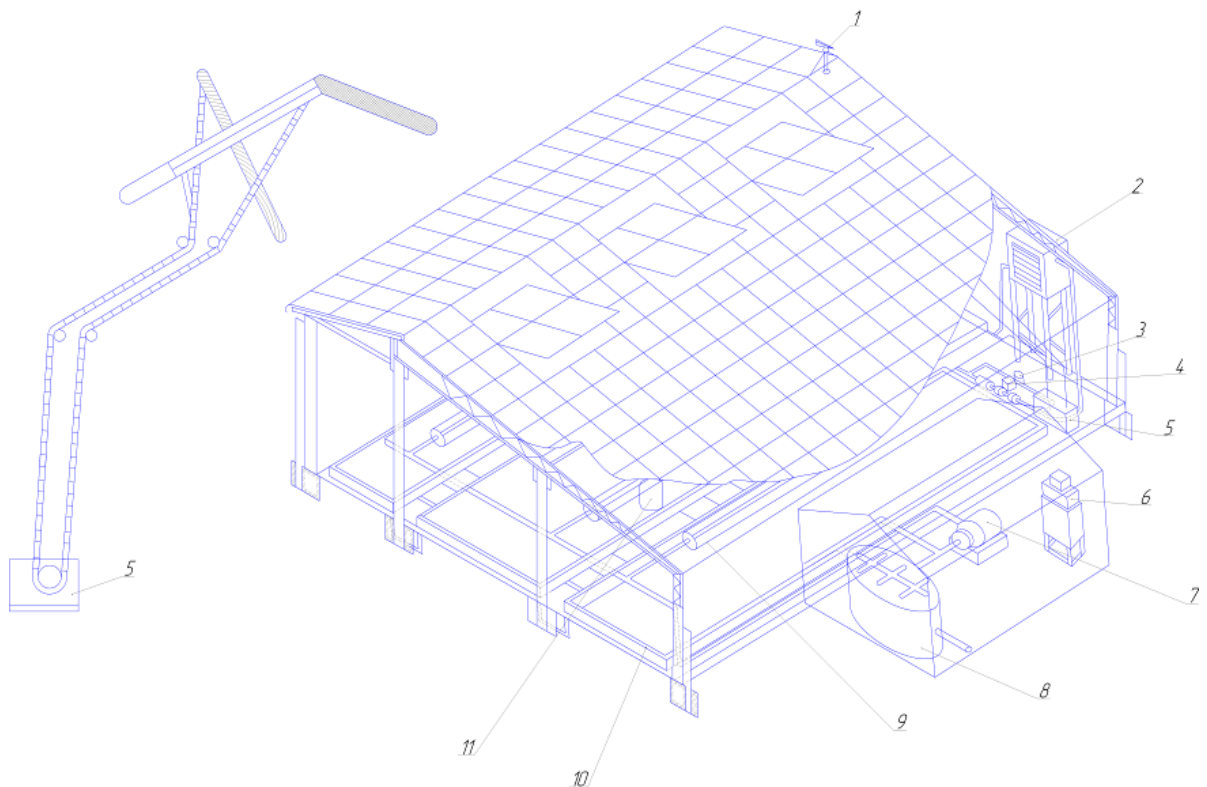


Рисунок 2.1 - Схема обладнання теплиці

1 - електроконтактний флюгер; 2 - обігрівачі; 3 - ручні клапани; 4 - електромагнітні клапани; 5 – приводи для відкривання кватирок; 6 – шафа

для управління; 7 – насоси високого тиску; 8 - водонагрівачі; 9 - жолоб; 10 - розпилювачі штучного туману; 11 - шафа для датчиків.

Система вентиляції та туманоутворення

Вентиляція теплиці є найважливішою для контролю температури, відносної вологості та рівня CO₂. Гарної вентиляції в теплиці можна досягти за допомогою поєднання вентиляційного отвору на даху, вхідних дверей і вентиляторів.

Рослини ростуть під впливом випромінювання (добові умови), здійснюючи процес фотосинтезу. Крім того, температура впливає на швидкість виробництва цукру шляхом фотосинтезу, і, отже, випромінювання та температура повинні бути врівноважені таким чином, щоб вищий рівень радіації відповідав вищій температурі. У разі високої температури та відносної вологості (термогірометр) або концентрації CO₂ (датчик вуглекислого газу) у теплиці ПЛК активує електродвигуни, і вентиляційний отвір відкривається на 10 %. Найкраще використовувати вентиляційний отвір у формі метелика, де одна сторона може автоматично відкриватися залежно від напрямку вітру.

На основі різниці між виявленою та заданою температурою, а також відотною вологістю та рівнем CO₂, ПЛК розраховує оптимальне положення вентиляційного отвору на даху. Лише через деякий час (зазвичай через 3 хвилини) ПЛК виконує перевірку, і якщо контрольний параметр не повертається до оптимального рівня, вентиляційний отвір на даху продовжує відкриватися ще на 10%.

Цей процес триває до тих пір, поки параметр не опуститься нижче максимально допустимого значення. Якщо метеостанція виявляє дощ або сильний вітер, ПЛК закриває вентиляційний отвір на даху та запускає вентилятори або систему туману. Роль вентиляторів полягає в підтримці

рівномірного поля температури і вологості. Свіже повітря надходить з одного боку і замінює гаряче застаріле повітря, яке виходить з протилежного боку теплиці. Вентилятори створюють повітряний потік і піднімають гаряче повітря вгору. Принцип роботи той же, ПЛК розраховує час, необхідний для роботи вентиляторів, і активує свій електродвигун.

Система туманоутворення складається з набору мікроспринклерів, які випускають воду під високим тиском і створюють дрібне розпилення, що підвищує вологість навколишнього повітря та знижує температуру. Потік туману змінюється за допомогою електромагнітних клапанів, якими керує ПЛК. Насоси високого тиску, що приводяться в дію однофазними двигунами, працюють безперервно (вмикання/вимкнення), також керовані ПЛК.



Рисунок 2.2 – Система вентиляції та туманоутворення

Система опалення

Водяна система опалення може бути заснована на периметричних трубопроводах, під лавками або підвісними вентиляторними радіаторами. Найкращим способом забезпечення рівномірного розподілу температури в теплиці є система водяного опалення.

Система гарячого водопостачання включає:

- котел з пальником
- основний опалювальний контур
- вторинні контури опалення

Пальник нагріває воду в котлі, яка потім проходить через основний контур опалення. Гаряча вода прокачується через вторинні контури опалення та систему труб, яка розташована між рослинами, уздовж бічних стін і під дахом.

Термогігрометр, розміщений у теплиці, визначає температуру навколишнього середовища. Він також надсилає сигнал до ПЛК. Потім ПЛК розраховує необхідну температуру гарячої води в котлі та системі трубопроводів на основі різниці між виявленою та бажаною (заданою) оптимальною температурою.

Температуру на поверхні трубопроводу вимірюють через 1-1,5 м після змішувального клапана. Температура води в системі контролюється для підтримки бажаної температури теплиці за допомогою триходових змішувальних клапанів і змішування гарячої та холодної води з постійною швидкістю потоку. ПЛК керує роботою клапана в сенсі циклів відкриття та закриття. ПЛК не вимірює положення дефлектора в клапані (немає зворотного зв'язку за положенням). Водяні насоси (високий/низький тиск) також контролюються ПЛК. Головний циркуляційний насос працює постійно (високий/низький/вимкнений), підтримуючи більш рівномірне температурне поле. Циркуляційні насоси (вмикання/вимкнення) застосовуються у вторинних секціях опалення, щоб зменшити споживання енергії.



Рисунок 2.3 – Котел з пальником

Система освітлення

Інтенсивність освітлення істотно впливає на інші параметри клімату в теплиці. Штучне освітлення застосовують при відсутності природного освітлення або при затінненні. Система затіннення встановлюється здебільшого для запобігання передачі тепла від надмірного світла (блокування прямих сонячних променів). Тіньові штори також допомагають зменшити тепловтрати вночі. Якщо метеостанція виявляє високу сонячну радіацію, ПЛК активує електродвигуни (система згортання), і штори рухаються горизонтально.

Різниця між виявленим і бажаним сонячним випромінюванням ініціює ПЛК для розрахунку необхідної зміни положення завіси. Щоб забезпечити достатню кількість світла для нормального росту культур (взимку та в похмурі дні), використовуються спеціальні лампи. Відсутність природного освітлення змушує ПЛК увімкнути світло.

ПЛК може розрахувати необхідний час освітлення на основі періоду вегетації культури, щоб визначити кількість світла, необхідного для процесу

фотосинтезу.



Рисунок 2.4 - Система освітлення за допомогою фіто лампи

Система впорскування CO₂

Для поліпшення процесу фотосинтезу в приміщення додають CO₂. Спеціальний вентилятор виштовхує CO₂ з вентиляційного отвору, змушуючи його змішуватися із зовнішнім повітрям, щоб охолонути (від 200 °C) до температури навколишнього середовища або нижче (30 °C). Газовий конденсатор, збирає пару в газопроводі і розділяє його. Певна частина конденсаційного тепла може додатково прогріти теплицю.

Кращий розподіл CO₂ у теплиці можна досягти за допомогою мережі трубопроводів, подібної до системи зрошення/фертигації. Спеціальні манометри для вимірювання концентрації CO₂ встановлені на розподільних трубах, щоб виявити можливу небезпеку газів. Якщо концентрація вуглекислого газу нижча за рекомендоване значення, ПЛК відкриває

електромагнітні клапани. Через деякий час проводиться перевірка газу, щоб запобігти швидкому зростанню концентрації CO₂.

На функціональній схемі всі елементи позначені у вигляді прямокутників і назва елемента скорочена, зв'язки між елементами на схемі показані за допомогою ліній, а напрямки цих з'єднань показані стрілками.

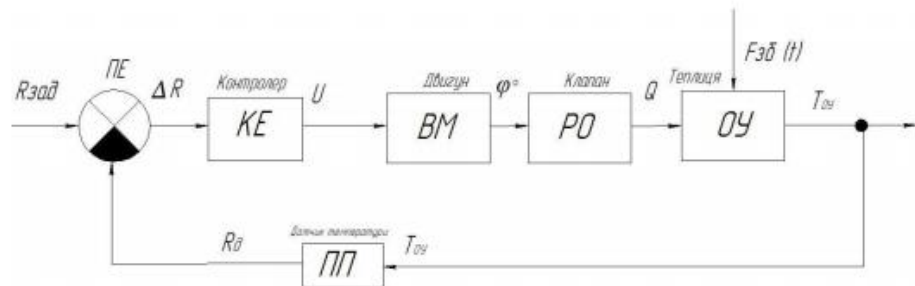


Рисунок 2.5 – Схема структурна по регулюванню тепла

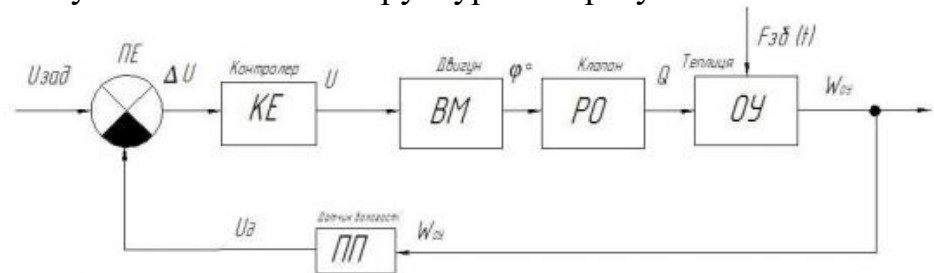


Рисунок 2.6 – Схема структурна по регулюванню вологи

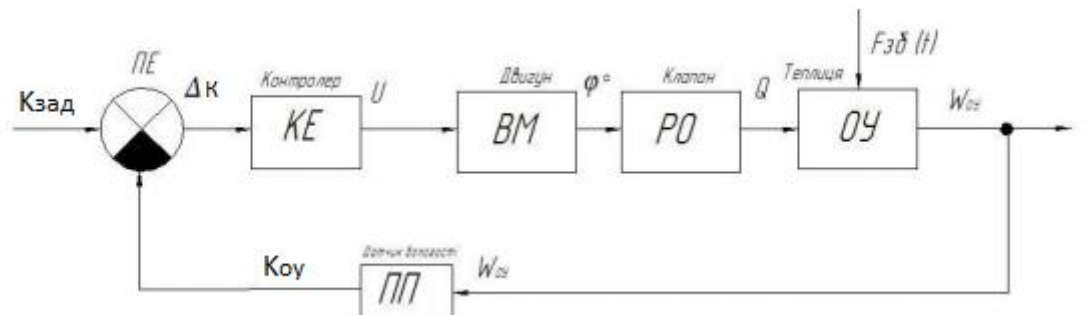


Рисунок 2.7 – Схема структурна по регулюванню освітлення

В матлабі було побудовано схему поведінки перехідного процесу, та був виявлений час перехідного процесу для регулювання тепла $t_p = 359c$, а перерегулювання при розрахунках вийшло:

$$\sigma = \frac{y_{\max} - y(\infty)}{y(\infty)} \cdot 100\% = \frac{22 - 20}{20} \cdot 100\% = 10\%,$$

$y(\infty)$ – постійна величина;

y_{\max} – максимальне можливе відхилення від постійної величини;

Час перехідного процесу для регулювання вологи $t_p = 39\text{с}$, а перерегулювання при розрахунках вийшло:

$$\sigma = \frac{y_{\max} - y(\infty)}{y(\infty)} \cdot 100\% = \frac{83 - 75}{75} \cdot 100\% = 10,7\%,$$

Отже дивлячись на розрахунки перехідних процесів для регулювання тепла та вологи похибка відсутня, в той час перерегулювання не виходить за межі 15% та задовольняє наші умови.

2.2 Управління обладнанням мікроклімату теплиці

Регулювання температури повітря відбувається за допомогою електричного котла опалення в якому ми можемо налаштувати потрібну нам температуру в теплиці, але якщо в літку теплиця дуже нагрілася то ми можемо за рахунок природної вентиляції посилити потік повітря через квартирки та тим самим понизити температуру повітря в теплиці. Вологість регулюють періодичним розпорощенням штучного туману у повітря.

Система регулювання температури складається з: датчик температури, електричний котел та квартирки. Датчиками температури є електроконтактні термометри з регульованою магнітною головкою.

Система яка зволожує повітря складається з: датчику вологості, регулятора температури води, резервуару для води, трубопроводу, розпилювача, насосної станції.

Датчиком вологості служить двопозиційний камерний волого регулятор, включений в електричний ланцюг системи зволоження.

Вентиляційна установка містить фрамуги, що приводяться в дію двома електродвигунами через черв'ячні передачі і чотири барабани з тросовою

системою і блоками. Квартири відкриваються з правого або лівого боку теплиці або з двох сторін одночасно.

Після подачі необхідної команди на відкриття кватирок з підвітряного боку буде задіяний у роботі електроконтактний флюгер, встановлений на даху теплиці. Залежно від напрямку вітру кулачок поворотної частини електроконтактного флюгера впливає на перемикач і запускає ланцюг вмикання вентиляції лівої чи правої сторони теплиці. У шафі управління є перемикач, який блокує контакти електроконтактного флюгера для забезпечення вентиляції з обох сторін.

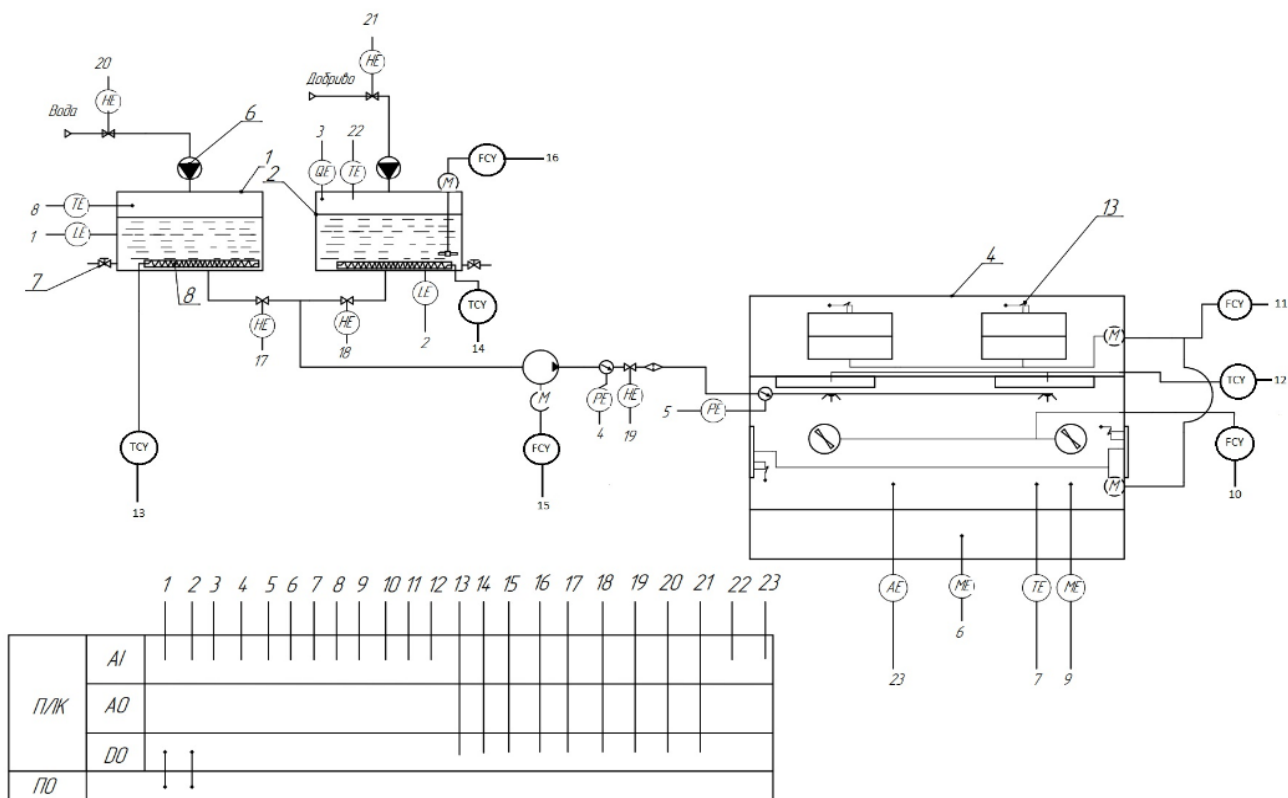


Рисунок 2.8 - Функціональна схема автоматизації

2.3 Шафа керування мікрокліматом

Щоб досягти оптимального росту рослин і максимізувати врожайність, мікроклімат в теплицях повинен ретельно контролюватися передовими системами. Відповідно до внутрішніх особливостей теплиці, налаштування клімат-контролю теплиці аж ніяк не є простою або стандартною процедурою. Для досягнення результуючої складної виробничої системи використовується оптимальне управління. Динамічна поведінка тепличного мікроклімату є

комбінацією фізичних процесів, що включають передачу енергії (випромінювання та тепло) та баланс маси (коливання водяної пари та концентрації CO₂).

Ці процеси залежать від умов навколишнього середовища, конструкції теплиці, виду та стану посівів, а також від дії виконавчих механізмів.

Основною метою контролю мікроклімату в теплицях є досягнення максимального росту рослин і врожайності.

Система автоматичного керування контролює:

- всередині теплиці (температуру повітря, відносну вологість, концентрацію вуглекислого газу)
- поза теплицею (температуру, відносну вологість, сонячну радіацію, швидкість вітру, напрям вітру та кількість опадів)
- обладнання (температура труби, положення вентиляційних отворів і завіс)

Кожен параметр мікроклімату повинен підтримуватися на оптимальному рівні, який визначається видом і станом культури. Розташування та номери датчиків залежать від конструкції та розмірів теплиці. Датчики слід розміщувати на рівні рослин у теплиці. Клімат в теплиці регулюють:

- система опалення
- система вентиляції та туманоутворення
- система освітлення та затінення
- система фертигації
- система впорскування CO₂

Численні застосування системи керування значно розширилися завдяки розробці нових матеріалів для високоефективного приведення в дію та вимірювання, тим самим зменшуючи втрати енергії та вплив на навколишнє середовище. Система автоматичного керування включає в себе датчики, ПЛК і виконавчі механізми. Алгоритм автоматичного регулювання мікроклімату теплиці включає кілька кроків:

1. Датчик визначає рівень кліматичного параметра та надсилає сигнал на ПЛК.
2. ПЛК перевіряє, чи знаходиться він у діапазоні чи ні (вище чи нижче).
3. Коли виміряне значення вище максимального або нижче мінімального заданого значення, ПЛК виконує дію. Він запускає приводи, доки кліматичні параметри не повернуться до оптимальних [3, 14].

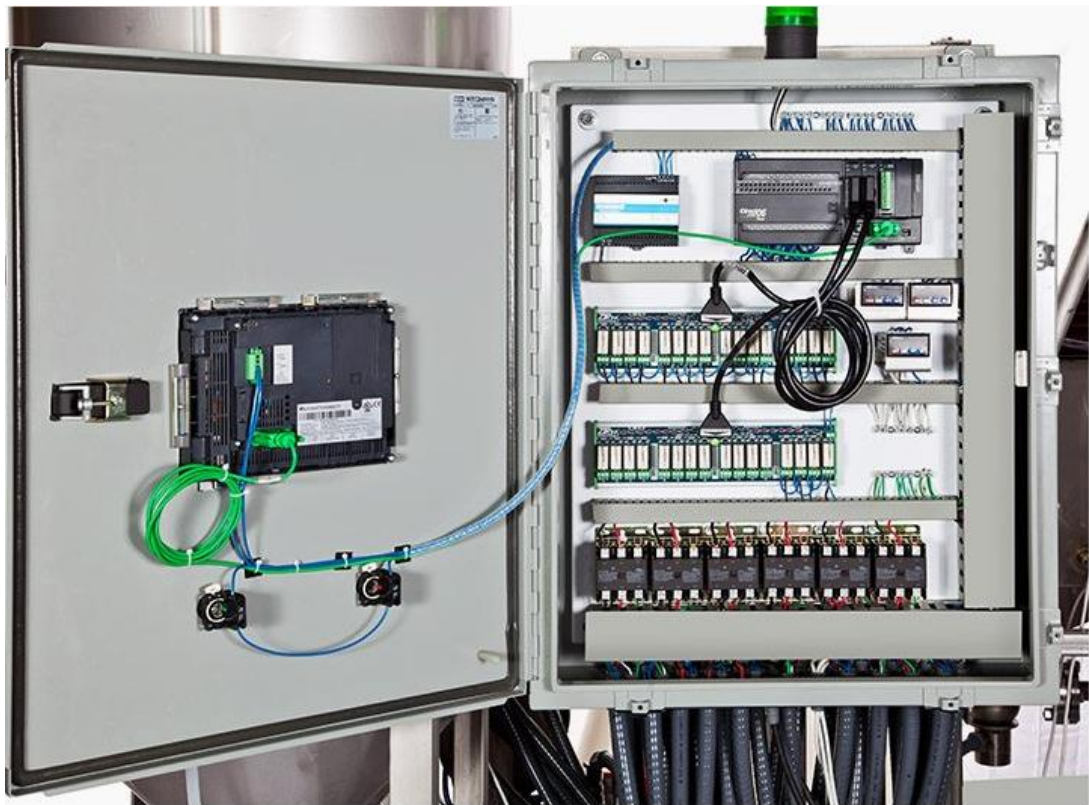


Рисунок 2.9 – Конструкція ПЛК панелі

2.4 Підбір пристроїв для теплиці

Сенсорні зонди

Сенсорний зонд відноситься до будь-якого приладу або пристрою, який вимірює деякі фізичні або хімічні характеристики навколишнього середовища та надсилає результати у вигляді електричного сигналу, який приймається та інтерпретується головним комп'ютером автоматизації для прийняття рішень і контролю. Наприклад, датчик рН, який безперервно вимірює рН води для поливу, активує сигнал тривоги та підтримує оптимальний рівень рН, якщо він занадто високий або низький, усуваючи

потребу виробнику вручну запускати тести рН і контролювати рН. Одні із важливих вимірів параметрів це датчику виміру: температури повітря, відносної вологості, рівень освітленості (або сонячної радіації).

Наприклад, що стосується параметрів мікроклімату, високоточний BlueDot BME280 + TSL2591 — це крихітний інтегрований цифровий недорогий датчик із високою точністю та діапазоном, що забезпечує гнучке рішення. BME280 — це комбінований цифровий датчик вологості, тиску та температури, заснований на перевірених принципах вимірювання. Цей сенсорний модуль міститься в надзвичайно компактному корпусі LGA з металевою кришкою, площа якого становить лише $2,5 \times 2,5$ мм², а висота — 0,93 мм. Його невеликі розміри та низьке енергоспоживання дозволяють впроваджувати його в сенсорні вузли, що працюють від батареї, у теплицях і можуть досягати високої продуктивності та точного вимірювання. BME280 також забезпечує надзвичайно швидкий час відгуку для програм із швидким визначенням контексту та високою загальною точністю в широкому діапазоні температур. Датчик тиску — це датчик абсолютного барометричного тиску з надзвичайно високою точністю та роздільною здатністю та надзвичайно низьким рівнем шуму. Вбудований датчик температури оптимізовано для забезпечення низького рівня шуму та високої роздільної здатності. Його вихід використовується для температурної компенсації датчиків тиску та вологості, а також може використовуватися для оцінки температури навколишнього середовища.

Датчик рівня освітленості, також відомий як світлозалежний резистор (LDR), — це активний датчик, виготовлений із напівпровідника високої точності, швидкої реакції та високого опору, чутливого до світла. Це зменшує опір щодо отримання яскравості (світла) на чутливій поверхні компонента. Опір фоторезистора зменшується зі збільшенням інтенсивності падаючого світла (він проявляє фотопровідність). У темряві фоторезистор може мати опір до кількох мегаом (МОм), тоді як у світлі фоторезистор може

мати опір лише кілька сотень Ом. Слід зазначити, що необроблені вихідні дані цього датчика потрібно відкалібрувати для конкретної інтерпретації. Датчик SQ-110, спеціально відкалібрований для виявлення сонячного випромінювання, забезпечує на виході напругу, пропорційну інтенсивності світла у видимому діапазоні спектру, що є ключовим параметром у процесах фотосинтезу.

Окрім згаданих датчиків, для деяких конкретних застосувань у тепличному виробництві та дослідженнях може знадобитися сенсорний зонд спеціальної конструкції.

Наприклад, у теплиці з системами осушення або туманоутворення необхідно визначити осадження крапель розчину на рослинах. Визначення вологості листя як еталонного вимірювання, щоб уникнути конденсації всередині теплиці в певні години, також становить інтерес.

У великомасштабному промисловому тепличному виробництві вимірювання вологості поверхні листя для визначення ефективності обприскування вимагається для виснаження хімічних речовин. З цією метою датчик вологості листя ADP-AgroTech модель ADP-LWS2020, показаний на рисунку 2.10, був розроблений із різними формами, щоб імітувати фактичну форму листя та перетворювати вологість на поверхні листя в аналоговий сигнал за допомогою зміни ємності.



Рисунок 2.10 – Датчик вологості листя

Цей датчик було оптимізовано для усунення шуму та створення високої роздільної здатності в екстремальних тепличних умовах. Роботу цього датчика було перевірено за високої температури та вологості в різних тропічних низовинах Малайзії, і було встановлено, що він стабільний і

стійкий під прямим сонячним випромінюванням. На рисунку 2.10 видно, що поверхня цього датчика складається з кількох рядів конденсаторів з діелектричною постійною, які мають однакову відстань і з'єднані з електронною інтерфейсною платою для створення аналогового сигналу. ADP-LWS2020 може імітувати стан вологості справжнього листя, виявляє наявність вологи на поверхні та обчислює тривалість вологості. Напряга на його виході обернено пропорційна вологості, що конденсується на датчику, і її можна зчитати на аналоговому вході плат підключення Adaptive AgroTech. Його можна використовувати для досліджень теплиць і систем контролю, а також для планування зрошення.

Плати підключення до Інтернету речей і модульні аксесуари

Різні багатоканальні плати з'єднання з Wi-Fi та антеною LoRa, які мають модульну конструкцію для легкого сполучення з зондами датчиків, показані на рисунку 2.11.

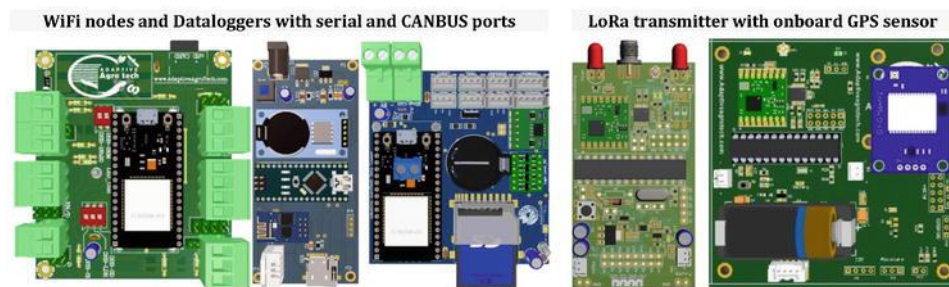


Рисунок 2.11 – Плата зв'язку Wi-Fi та LoRa з вбудованим накопичувачем для моніторингу

Ці плати спеціально розроблені, щоб зробити можливим додавання нових можливостей зондування до існуючих бездротових мереж з мінімальними витратами. Таким же чином дефектні зонди датчиків можна легко замінити, щоб забезпечити найнижчу вартість обслуговування мережі датчиків. Плати підключення, показані на рисунку 2.11, містять усю електроніку та роз'єми, необхідні для підключення найбільш типових датчиків бездротового моніторингу тепличного середовища, включаючи ВМЕ280 (температура повітря, вологість та атмосферний тиск), фоторезистор

LDR (датчик освітленості), модулі GNSS NEO-7. Спеціально розроблена версія цих дощок містить необхідні компоненти для більш конкретних дослідницьких застосувань, таких як Pt-1000, ADP-AgroTech вологість листя (показано на рисунку 2.10), метеостанція (пльовіометр, анемометр і флюгер), датчик освітленості (TSL2561) і датчик відстані (TFmini від Venwake). Для більш надійної та швидкої обробки плати підключення на рисунку 2.11 оснащені потужними мікроконтролерами ESP32 і Atmega328P, які інтегровані з індивідуальними кодами для високої ефективності та наднизького енергоспоживання (режим глибокого сну).

Бездротовий зв'язок між цими платами передавача та приймачем (шлюзом) реалізується за допомогою технології Lora 868 МГц (Європа), яка покриває відстань від 2 до 10 км у сільській місцевості та розширюється до 100 км за допомогою ретрансляторів. За замовчуванням ці плати запрограмовані на зчитування та запис вимірювань кожні 10 секунд, які можна налаштувати відповідно до потреб виробників. Дані зберігаються на вбудованій міні-SD-карті або передаються в захищену хмарну базу даних з відкритим кодом через з'єднання WiFi. Дані можна переглянути онлайн на сайті або встановивши додаток для смартфона.

Плати бездротових датчиків і контролерів, а також інші електронні компоненти та модулі розміщено в герметичних водонепроникних корпусах із АБС-пластику, які мають клас захисту IP-68, щоб витримувати несприятливі умови навколишнього середовища, такі як сонячне світло, пил, вологість, висока вологість, та зміни температури. На рисунку 2.12 показано гібридну систему збору даних із модульними компонентами, включаючи основну плату підключення, зонди датчиків, з'єднувальні кабелі, зовнішню батарею, що заряджається від сонячних батарей, і сонячну панель.



Рисунок 2.12 - Гібридна система збору даних із модульною зовнішньою батареєю

Ці компоненти є взаємозамінними та можуть бути підключені до материнської плати за допомогою стандартних авіаційних штепсельних розеток GX16. Для використання в теплицях дуже важливо, щоб усі корпуси були виготовлені з високоякісного вогнезахисного матеріалу ABS, стійкого до корозії, захисту від ультрафіолетового випромінювання та старіння, антистатика, гарної герметичності, тривалого терміну служби та придатності для всіх типів середовища. Ефективність цих компонентів і металевих розеток перевірялася протягом понад 12 місяців у різних сільськогосподарських угіддях. Зовнішній акумулятор, показаний на рисунку 2.12, має напругу 5,0 В, 2400 мАг, який можна постійно заряджати за допомогою сонячної панелі на 5 В, 500 мАг, і може працювати більше двох років без будь-якого обслуговування при 60 зчитуваннях на годину, коли материнська плата працює в режимі глибокого сну.

Напругу батареї можна відрегулювати та збільшити до 7,7 В або зменшити до 3,8 В для інших застосувань. Рекомендується не підключати до плат датчики, які не призначені для використання під час збору даних. Оскільки кілька датчиків використовують одну лінію живлення, датчик, який не буде використовуватися та все ще підключений до плати, призведе до додаткового споживання, що призведе до скорочення терміну служби батареї. На рисунку 2.12 також показано, що датчик мікроклімату поміщено в захисну оболонку, щоб витримувати прямі сонячні промені та вологу, а

також стабілізувати температуру повітря та відносну вологість для більш точного вимірювання та запобігання помилкам [4].

РОЗДІЛ 3 СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ

3.1 Підвищення енергоефективності теплиці за рахунок сонячного колектору

Сонячний колектор

Сонячний колектор – це конструкція розташована на даху теплиці, яка дає нам можливість акумулювати сонячну енергію та за рахунок її обігрівати теплицю.



Рисунок 3.1 - Сонячний колектор

Конструкція сонячного колектору показана на рис. 3, вона являє собою теплоізоляційну камеру для захоплення максимуму сонячної енергії. Нагрівальні елементи складаються з теплових трубок розташованих на передній стінці, пофарбованих в чорний колір. Таким чином радіація сонця падає на поглинаючу поверхню і нагріває воду в системі. При високій температурі всередині теплиці сонячний колектор перестає посилати тепло в теплицю за допомогою автоматичного електромагніту, що призводить до зниження температури, а при низьких температурах, навпаки, починає посилати тепло в теплицю. автоматично, викликаючи підвищення температури. Циркуляція повітря забезпечується завдяки електровентилятору. Робота жалюзійної системи заснована на електромагнітах, які вмикаються автоматичною схемою регулювання температурного режиму теплиці.

Площинна установка, крім прямого сонячного випромінювання, сприймає також розсіяне випромінювання під легкою хмарністю в похмуру погоду.

Розрахунок теплового балансу тепличної сонячної установки

На основі аналізу теплового балансу геліоустановки розраховуємо середню температуру повітря t_{f1} всередині теплиці із зовнішньої температури t_{f2} .

За відомою методикою Б.А.Гарфа, формула для визначення середньої температури повітря в теплиці в холодну пору року така:

$$t_{f1} = \frac{E_0 \cdot F_1 \cdot D_c \cdot A_k \cdot J}{C_b \cdot T_b \cdot C \cdot T + K \cdot Y_1 \cdot Y_2 \cdot F_2 \cdot J} + \frac{t_{f2}}{2} \quad (3.20)$$

де E_0 – кількість сонячної енергії яка надходить, ккал/м² год;

D_c - коефіцієнт пропускання сонячної енергії склом;

A_k - коефіцієнт поглинання сонячної енергії колектором;

T_b, T - відповідно до маси повітря, рослин, кг;

C_b, C - коефіцієнта теплоємності повітря, рослин, ккал/м². град²;

K - середній коефіцієнт теплоприйому огороджувальних елементів колекторної установки, ккал/м². град;

Y_1 – коефіцієнт пропускання енергії огорожею;

Y_2 – коефіцієнт витрати тепла, зумовлені повітрообміном;

F_2 – площа теплиці, м² (1500 м² (50x30));

F_1 - загальна площа сонячних колекторів, м²;

J – Час сонячного дня, год.

t_{f1}, t_{f2} – температура повітря в теплиці та поза теплицею °С.

Результати отриманих значень t_{f1} залежно від t_{f2} та умов проведення досвіду показані на графіку.

Параметри для розрахунку були такі:

$E_0 = 1100$ ккал/м².год.

$D_c = 0,9$;

$$A_k = 0,97;$$

$$C_b = 0,26 \text{ ккал/кг.град};$$

$$C = 0,49 \text{ ккал/кг.град};$$

$$K = 4,99 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{год.град};$$

$$Y_1 = 1,45;$$

$$Y_2 = 1,3;$$

$$J = 9 \text{ ч};$$

$$T_b = 170 \text{ кг};$$

$$T = 360 \text{ кг};$$

$$F_1 = 350 \text{ м}^2;$$

$$F_2 = 1500 \text{ м}^2;$$

$$t_{f1} = \frac{E_0 \cdot F_1 \cdot D_c \cdot A_k \cdot J}{C_b \cdot T_b \cdot C \cdot T + K \cdot Y_1 \cdot Y_2 \cdot F_2 \cdot J} + \frac{t_{f2}}{2} =$$

$$\frac{1100 \cdot 350 \cdot 0,9 \cdot 0,97 \cdot 9}{0,26 \cdot 170 \cdot 0,49 \cdot 360 + 4,99 \cdot 1,45 \cdot 1,3 \cdot 1500 \cdot 9} + \frac{4}{2} = 24,4^\circ\text{C},$$

t_{f1} - фактично є величиною підвищення температури внаслідок ефекту гелю з використанням чорної сторони жалюзів. Навіть якщо зовнішня температура опуститься до 4°C , всередині теплиці може бути на $24,4^\circ\text{C}$ вище, ніж зовні, а розрахункова площа жалюзів становить 23,5% від загальної площі скла теплиці [5, 14].

3.2 Обчислення параметрів системи з ПД-регулятором методом МАЧХ

Візьмемо таку передаточну функцію об'єкту

$$W_{об} = \frac{K_{об}}{T_{об}s + 1} e^{-\tau_{об}s} = \frac{0,18}{2200s + 1} e^{-250s}$$

Побудуємо перехідну характеристику для об'єкта в матлаб середовищі [6].

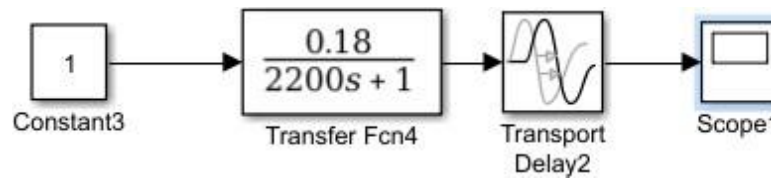


Рисунок 3.2 - Схема побудови перехідної характеристики об'єкта в матлаб середовищі

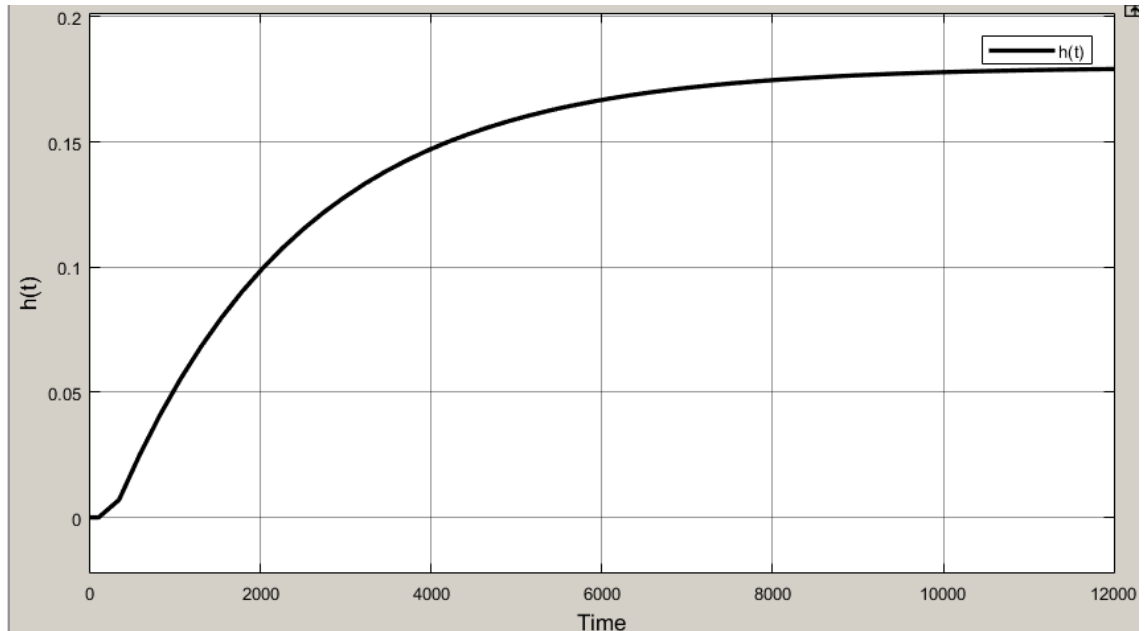


Рисунок 3.3 - Перехідна характеристика об'єкта

Отримуємо такі параметри налаштування ПД-регулятора за методом МАЧХ:

- Оберемо такі показники колювання $M=1.3$
- Побудуємо промінь під кутом $\beta = \arcsin \frac{1}{1.3}$
- Побудуємо АФХ розімкнутої системи, взявши $K_{\Pi} = 1$, а T_i знайдемо завдяки експрес методу для ПД-регулятора статичного об'єкта ($K_{об}=0.18$, $T_{об}=2200$, $\tau_{об}=250$):

1. Інтегральний метод мінімальної помилки

$$K_p = 12,3 / K_{об} = 68$$

$$T_i = 0,95(T_{об} + \tau_{об}) = 2327,5$$

$$T_d = 0,0215(T_{об} + \tau_{об}) = 52,7$$

2. Інтеграл зваженої у часі абсолютної помилки

$$K_p = \frac{0,965}{K_{об}} \left(\frac{I_{об}^{0,855}}{\tau_{об}} \right) = 34$$

$$T_i = 1,26T_{об} = 2772$$

$$T_d = 0,308\tau_{об} = 77$$

3. Знаходимо глобальний мінімум

$$K_p = \frac{0,36 + 0,76 \frac{T_{об}}{\tau_{об}}}{K_{об}} = 39$$

$$T_i = 0,47\tau_{об} + T_{об} = 2317$$

$$T_d = \frac{0,47T_{об}\tau_{об}}{0,47\tau_{об} + T_{об}} = 111,54$$

4. Проекція вертикальної перспективи

$$K_p = \frac{1}{K_{об}} \left(0,5 + \frac{I_{об}}{\tau_{об}} \right) = 51,6$$

$$T_i = 0,5\tau_{об} + T_{об} = 2325$$

$$T_d = \frac{T_{об}\tau_{об}}{\tau_{об} + 2T_{об}} = 118,27$$

5. Зображення характеристики

$$K_p = \frac{0,215\tau_{об} + T_{об}}{1,37K_{об}\tau_{об}} = 36$$

$$T_i = 0,315\tau_{об} + T_{об} = 2278$$

$$T_d = \frac{0,315T_{об}\tau_{об}}{0,315\tau_{об} + T_{об}} = 76,02$$

- Обираємо коло, з необхідним забезпеченням для наших умов дотику, та знаходимо радіус кола r [7].

Отримуємо АФХ розімкнутої системи $T_i = 2332$, $T_d = 53,12$

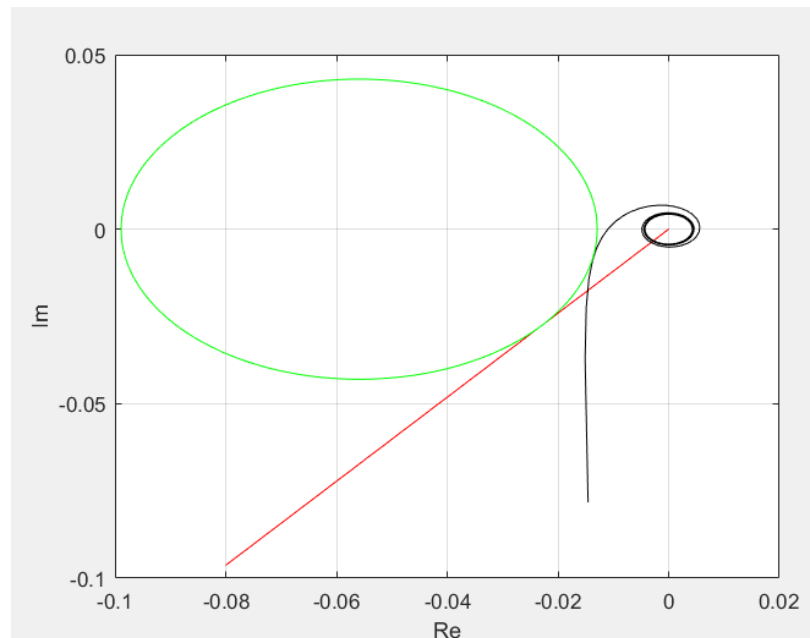


Рисунок 3.4 - Метод МАЧХ для ПІ-регулятора

При $T_i = 2332$, $T_d = 53.12$ Отримано радіус кола $r = 0.043$. Розрахуємо

оптимальне значення $K_p : K_{II} = \frac{1}{r} \cdot \frac{M}{M^2 - 1} = \frac{1.3}{0.043(1.3^2 - 1)} = 43.8$.

- При $T_i = 2672$, $T_d = 78$:

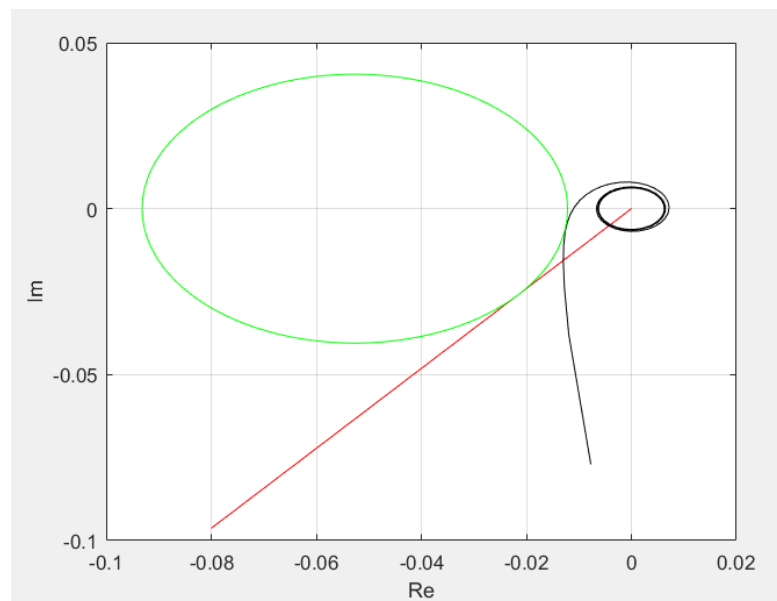


Рисунок 3.5 - Метод МАЧХ для ПІ-регулятора

При $T_i = 2672$, $T_d = 78$ Отримано радіус кола $r = 0.405$. Розрахуємо

оптимальне значення $K_p : K_{II}$

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{M}{M^2 - 1} = \frac{1.3}{0.405(1.3^2 - 1)} = 46.5.$$

При $T_i = 2327$, $T_D = 110,02$:

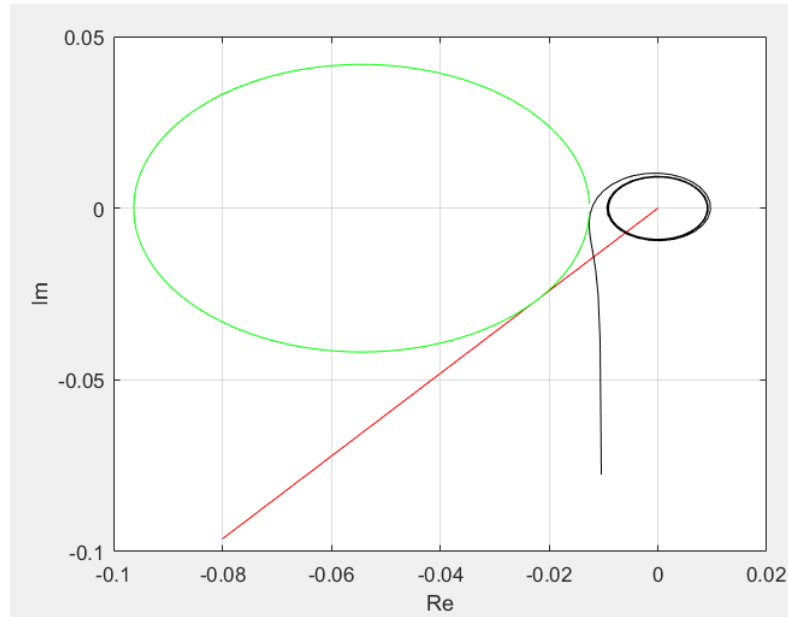


Рисунок 3.6 - Метод МАЧХ для ПІ-регулятора

При $T_i = 2327$, $T_D = 110,02$ Отримано радіус кола $r = 0.04816$. Розрахуємо оптимальне значення K_p :

$$K_p = \frac{1}{r} \cdot \frac{M}{M^2 - 1} = \frac{1,3}{0,041816(1,3^2 - 1)} = 45,06$$

При $T_i = 2329$, $T_D = 119,01$:

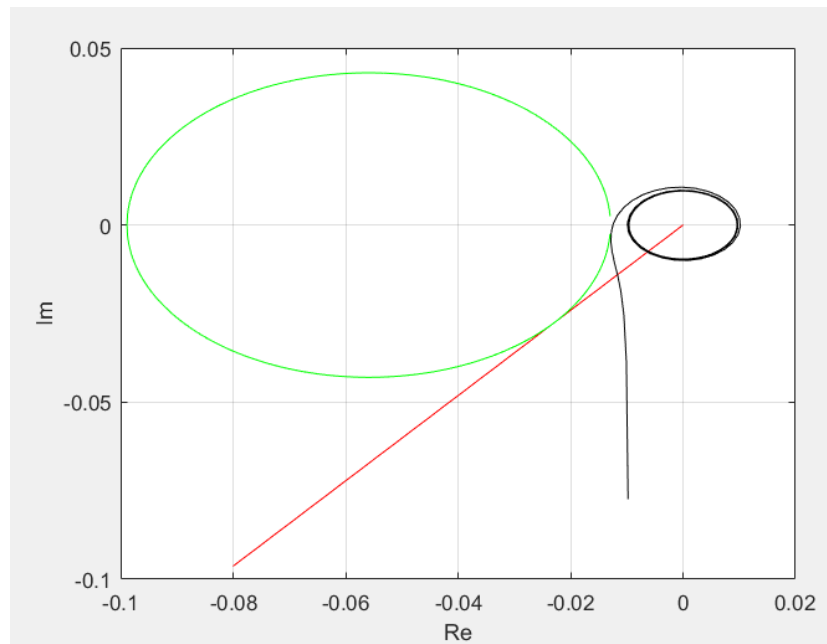


Рисунок 3.7 - Метод МАЧХ для ПІ-регулятора

При $T_i = 2329$, $T_d = 119.01$ Отримано радіус кола $r = 0.042987$. Розрахуємо оптимальне значення K_p :

$$K_p = \frac{1}{r} \cdot \frac{M}{M^2 - 1} = \frac{1.3}{0.042987(1.3^2 - 1)} = 43.83.$$

При $T_i = 2337$, $T_d = 75.98$:

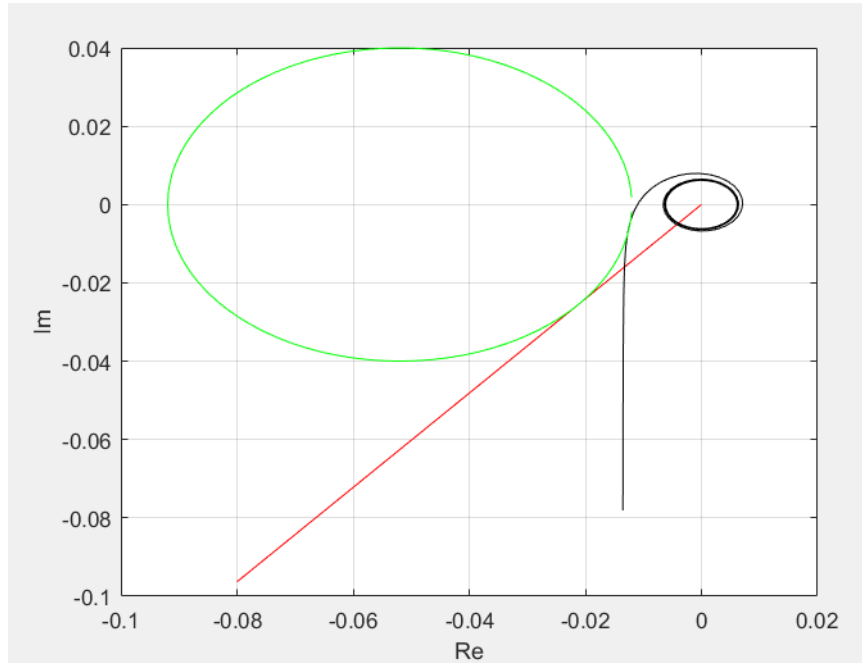


Рисунок 3.8 - Метод МАЧХ для ПІ-регулятора

При $T_i = 2337$, $T_d = 75.98$ Отримано радіус кола $r = 0.03997$. Розрахуємо оптимальне значення K_p :

$$K_p = \frac{1}{r} \cdot \frac{M}{M^2 - 1} = \frac{1.3}{0.03997(1.3^2 - 1)} = 47.14.$$

Отримані дані зведемо в таблицю і побудуємо залежність $K_i = f(K_p)$ де K_i

$$= \frac{K_p}{T_i}$$

Таблиця 3.1 - Таблиця залежності

Кр	Ki	Ti
43,8	0,018627823	2332
46,5	0,016874793	2672
45,06	0,019547552	2327
43,83	0,018651633	2329
47,14	0,018637923	2337

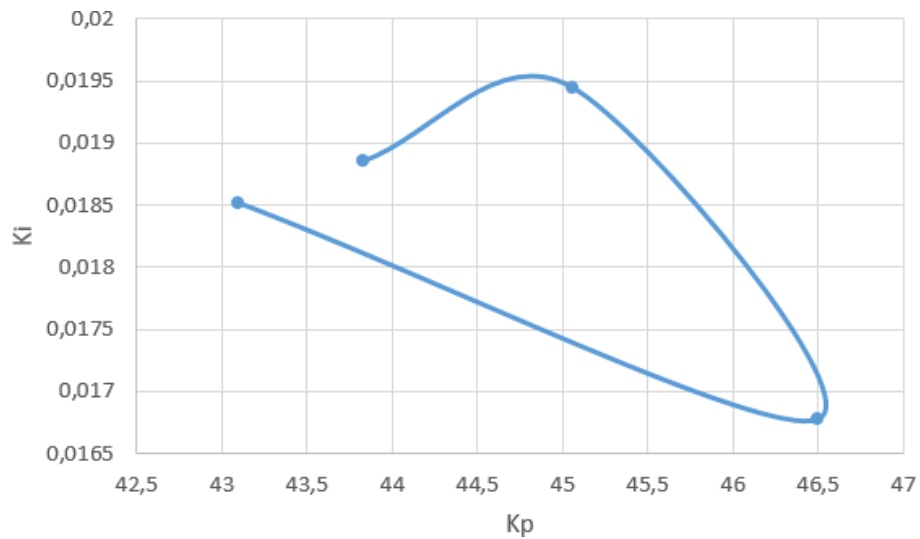


Рисунок 3.9 - Екстремальна залежність Кр та Ki

Отримали саму оптимальну пару: $T_i=2327$, $T_d=110,02$ та $K_p=45.06$.

Побудуємо АЧХ замкненої системи, при : $T_i=2327$, $T_d=110,02$ та $K_p=45.06$:

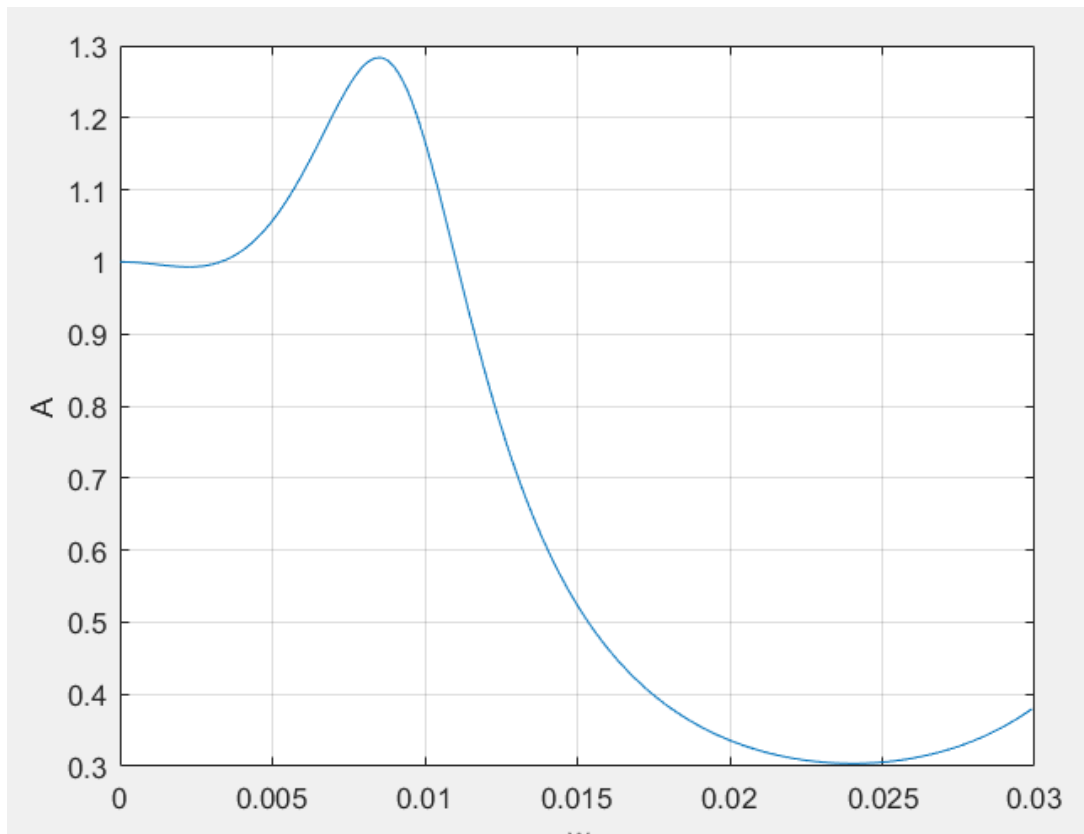


Рисунок 3.10 - АЧХ для системи із $T_i=2317$, $T_d=111.54$ та $K_p=45.06$

$$M = \frac{A_{з.с}^{max}(\omega_m)}{A_{з.с}(0)} = \frac{1,2834}{1} = 1,2834$$

3.3 Адаптивний ПД-регулятор з використанням Fuzzy-регулятора

Нечіткий ПД-регулятор складається з двох частин: ПД-регулятора та нечіткого логічного регулятора, як показано на малюнку 3.10. Пропонований нечіткий ПД-регулятор є адаптивним регулятором з автоналаштуванням, розробленим з використанням нечіткого логічного регулятора. Для клімат-контролю використовується ПД-регулятор. Контролер нечіткої логіки використовує правила керування нечіткою логікою для налаштування параметрів ПД-регулятора (K_p , K_i , K_d) онлайн, щоб отримати кращу продуктивність ПД-регулювання в різних ситуаціях [8].

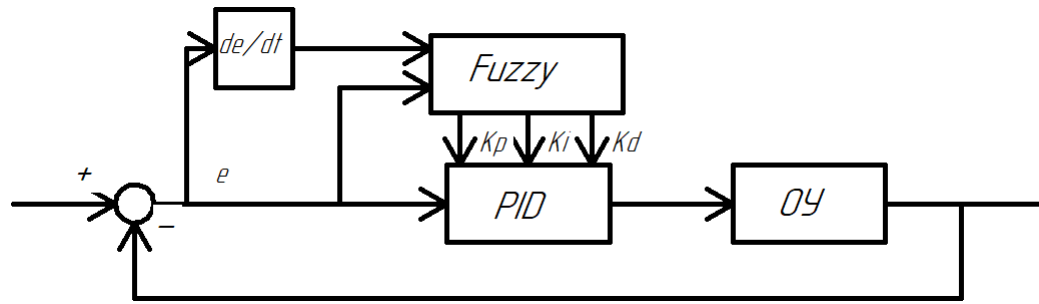


Рисунок 3.11 - Схема нечіткого налаштування

Нечітке самоналаштування параметрів ПІД-регулятора полягає в тому, щоб знайти нечітку залежність між параметрами ПІД-регулятора та e , de/dt . Спочатку вимірюється вихідний сигнал об'єкта, цей сигнал порівнюється із завданням і вимірюється похибка e і швидкість зміни похибки de/dt . Потім нечіткий контролер регулює параметри ПІД-регулятора за допомогою правил нечіткого керування в онлайн-режимі. Тому необхідно розуміти роль параметрів ПІД-регулятора. Потім ми можемо визначити зв'язок між нечітким виходом K_p і нечіткими входами e і de/dt ; нарешті встановити нечіткі правила.

Нечіткий контролер — це контролер з e і de/dt як вхід і K_p , K_i , K_d як вихід. Лінгвістичне значення нечіткого набору вхідних змінних e і de/dt і вихідних змінних K_p , K_i , K_d відповідає нечіткій мові $\{LN, MN, SN, ZE, SP, MP, LP\}$. Нижче наведено функцію приналежності змінної.

Щоб привести процес переходу в оптимальний вигляд (настроювання параметрів), необхідно дотримуватися наступних правил:

- Збільшення масштабного коефіцієнта збільшує швидкість роботи та зменшує запас стабільності.
- Похибка регулювання зменшується швидше з часом, оскільки інтегральний компонент зменшується.
- Менш постійна інтеграція зменшує запас стабільності.
- Збільшення диференціальної складової збільшує стабільність і запас швидкості.

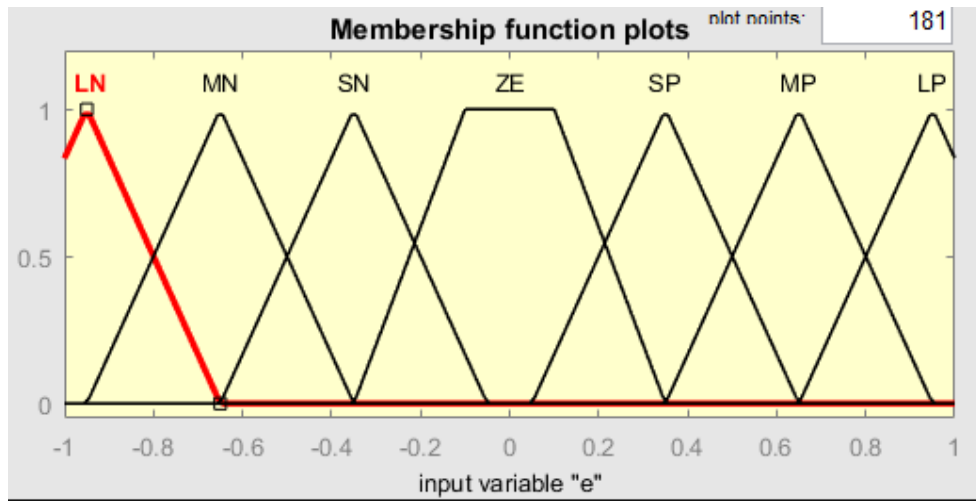


Рисунок 3.12 - Сигнал помилки

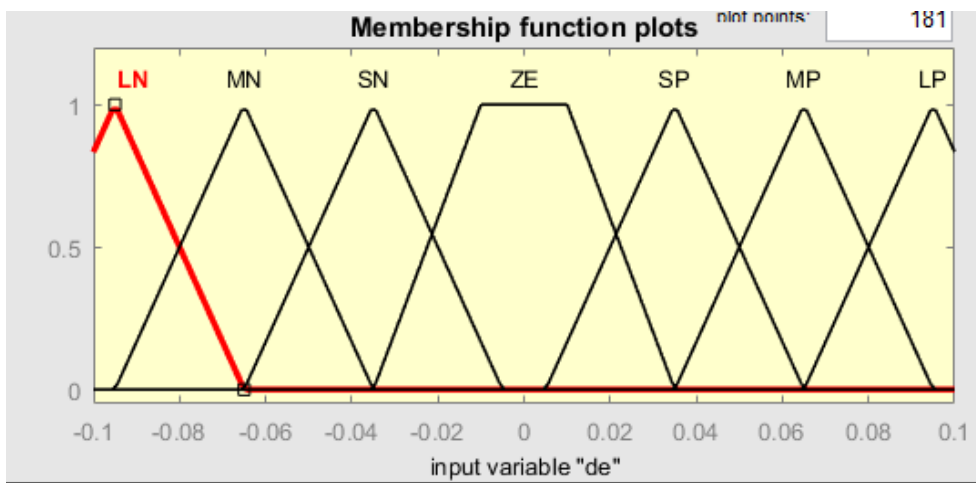


Рисунок 3.13 - Сигнал швидкості зміни помилки

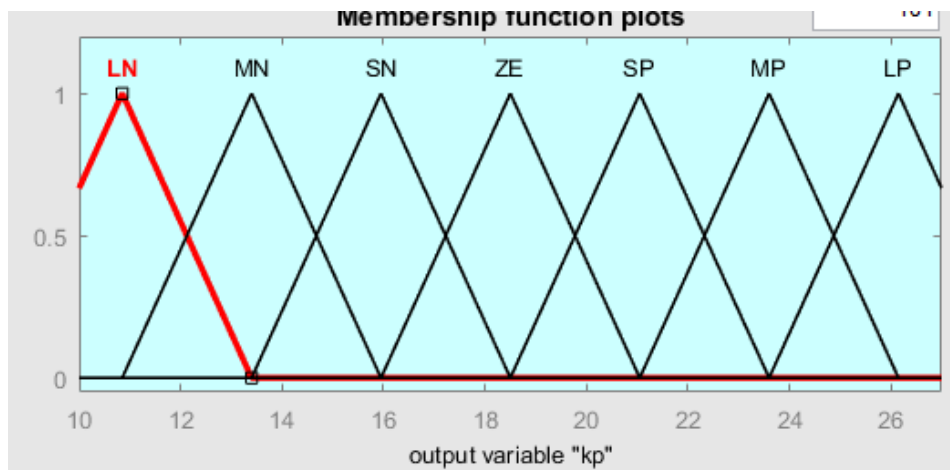


Рисунок 3.14 - Функції приналежності сигналу K_p параметра регулятора

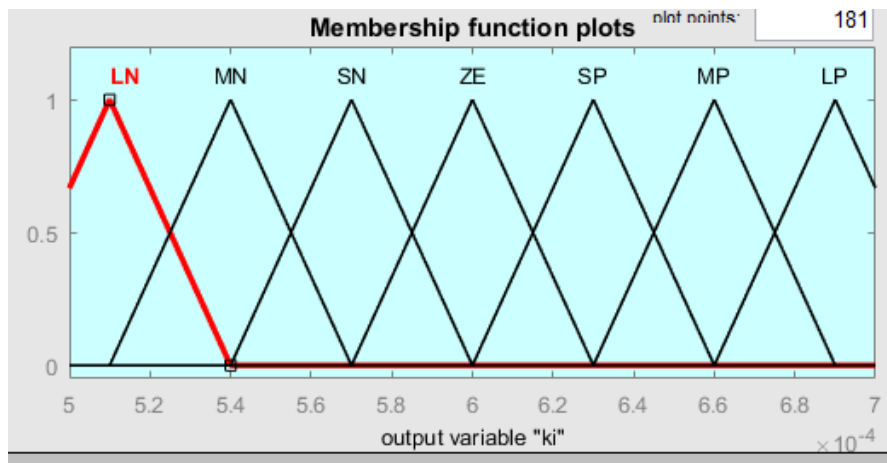


Рисунок 3.15 - Функції приналежності сигналу K_p параметра регулятора

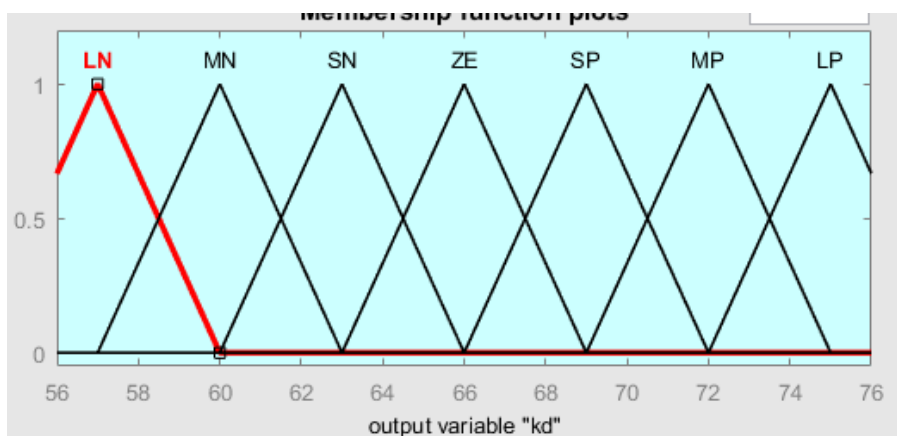


Рисунок 3.16 - Функції приналежності сигналу K_p параметра регулятора

Тоді нечітка база правил встановлюється на основі дослідження ефектів параметрів PID. Нечітка база правил містить три матриці, які змінюватимуться K_p , K_i та K_d , коли e і de/dt змінюються. База нечітких правил будується за допомогою декількох тверджень і припущення if-then та послідовності кожного твердження, що є нечіткою пропозицією. Нижче наведені таблиці правил визначають базу правил для контролера нечіткого типу PID. Нечіткі змінні визначаються для бази правил як: $e, de/dt, K_p, K_i, K_d = \{LN$ (негативний великий), MN (негативний середній), SN (негативний малий), ZE (нульовий), SP (Позитивний малий), MP (позитивний середній), LP (позитивний великий)}. Виходячи з вищезазначених тверджень, правила показані в таблицях 1-3 нижче [9].

Таблиця 3.1 База правил для K_p

e \ de	LN	MN	SN	ZE	SP	MP	LP
LN	LN	LN	LN	LN	MN	SN	ZE
MP	SN	ZE	SP	MP	LP	LP	LP
SP	MN	SN	ZE	SP	MP	LP	LP
ZE	LN	MN	SN	ZE	SP	MP	LP
SN	LN	LN	MN	SN	ZE	SP	MP
MN	LN	LN	LN	MN	SN	ZE	SP
LP	ZE	SP	MP	LP	LP	LP	LP

Таблиця 3.2 База правил для K_i

de \ e	LN	MN	SN	ZE	SP	MP	LP
LN	LP	LN	LN	MN	MN	ZE	ZE
MN	MP	LN	LN	MN	SN	ZE	ZE
SN	SP	LN	MN	SN	ZE	SP	SP
ZE	ZE	SN	MN	SN	SP	MP	MP
SP	SN	MN	MN	ZE	SP	MP	LP
MP	MN	ZE	ZE	SP	MP	LP	LP
LP	LN	ZE	ZE	SP	MP	LP	LP

Таблиця 3.3 База правил для K_d

de \ e	LN	MN	SN	ZE	SP	MP	LP
LN	SP	SN	LN	LN	LN	LN	SP
MN	SP	SN	LN	MN	MN	MN	ZE
SN	ZE	SN	MN	MN	SN	SN	ZE
ZE	ZE	SN	SN	SN	SN	SN	ZE
SP	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
MP	LP	SN	SP	SP	SP	SP	LP
LP	LP	MP	MP	MP	SP	SP	LP

Правила занесено з Fuzzy-регулятор в системі Matlab Simulink [10].

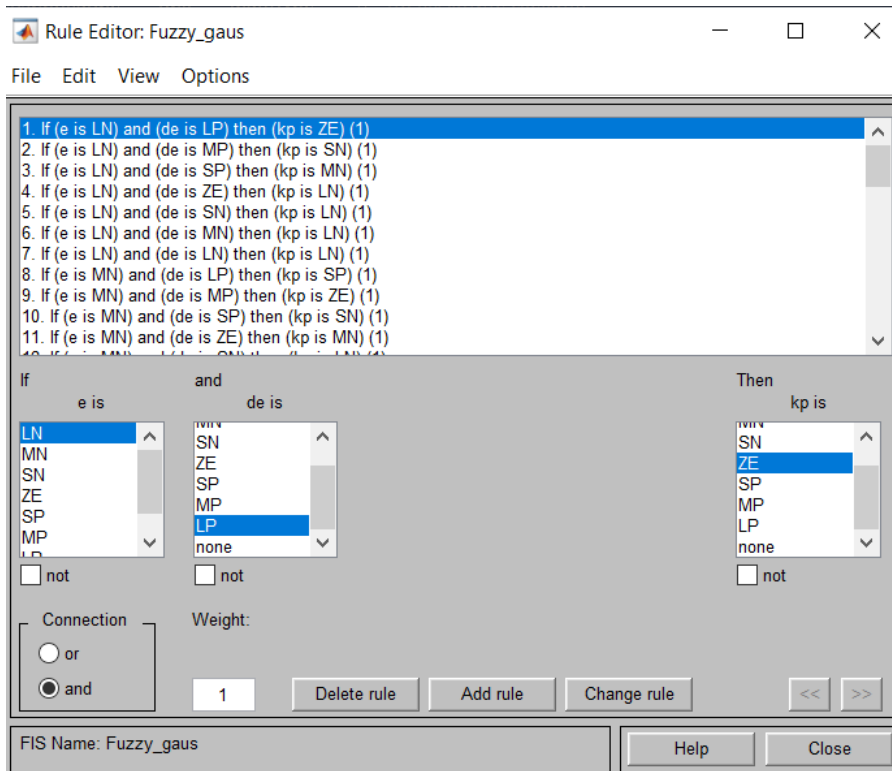


Рисунок 3.17 - База правил для Fuzzy-регулятора

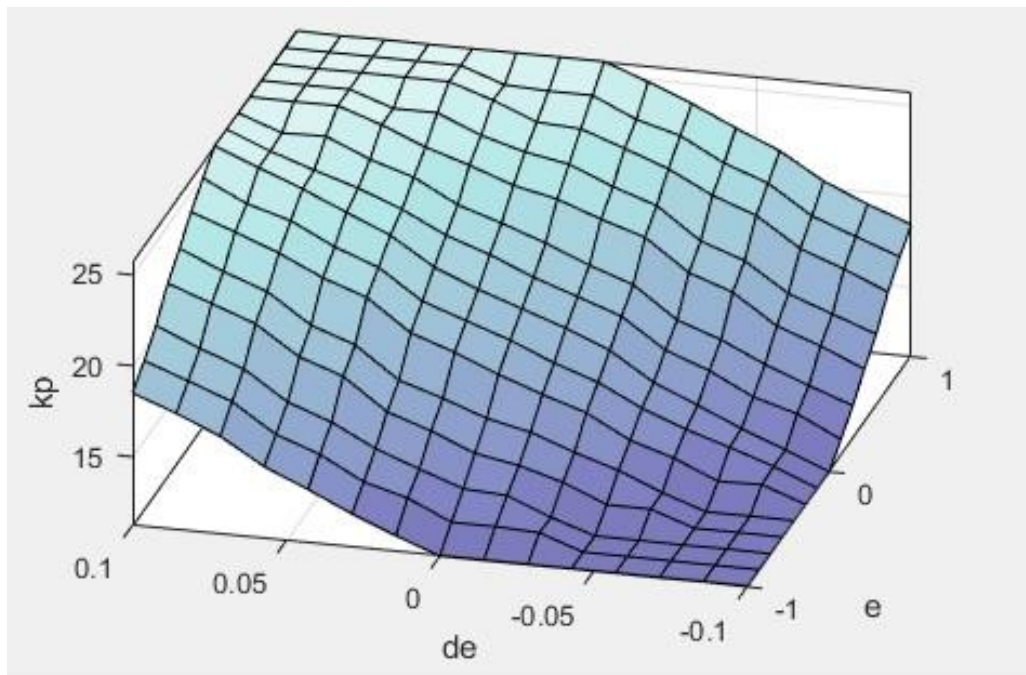


Рисунок 3.18 - Поверхня бази правил Fuzzy-регулятора для K_p

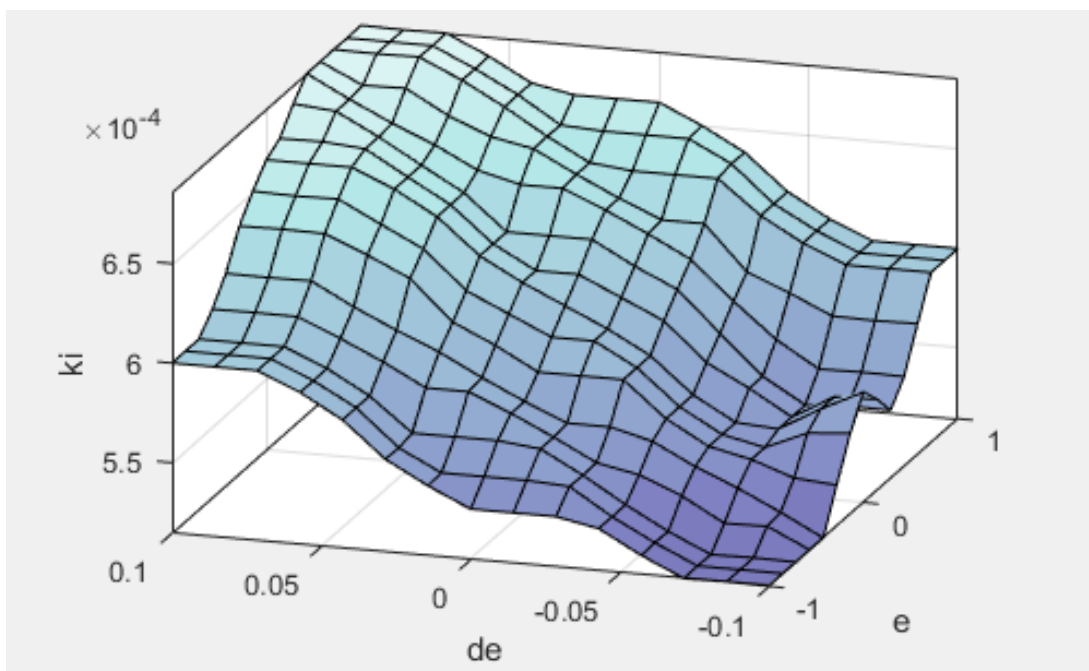


Рисунок 3.19 - Поверхня бази правил Fuzzy-регулятора для K_I

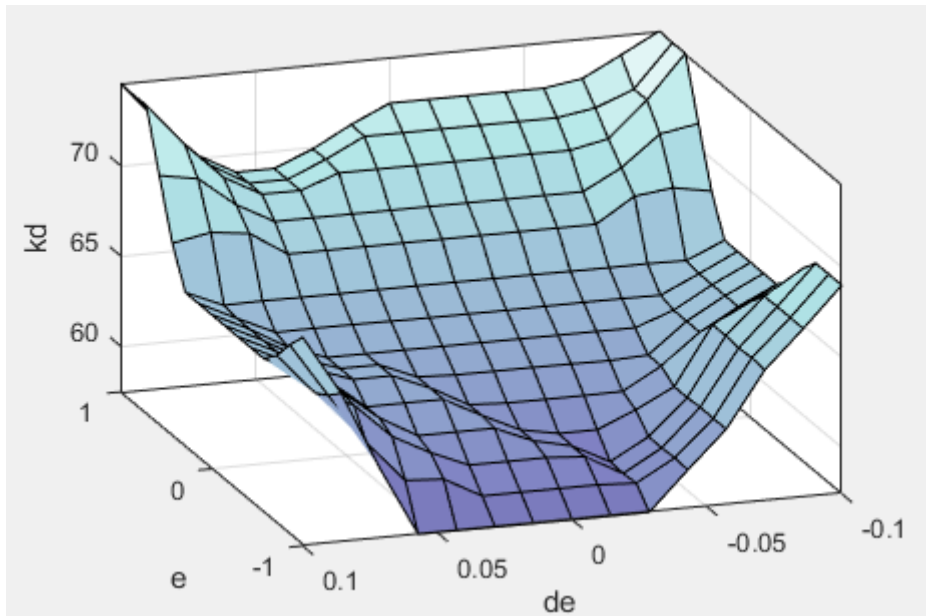


Рисунок 3.20 - Поверхня бази правил Fuzzy-регулятора для K_d

Порівняємо роботу ПІД-регулятора обрхованого за допомогою методу МАЧХ та адаптивного ПІД регулятора з Fuzzy. Нижче наведена схема системи в Simulink Matlab.

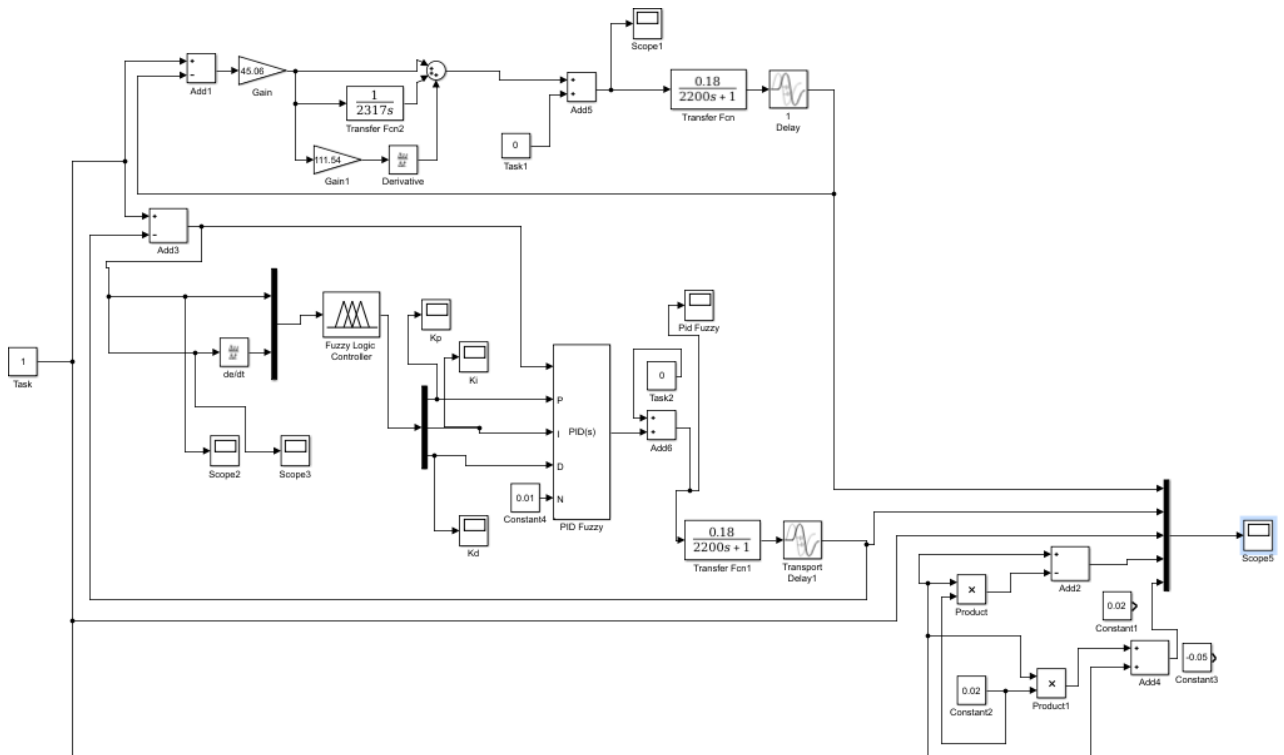


Рисунок 3.21 - Схема системи в Matlab Simulink

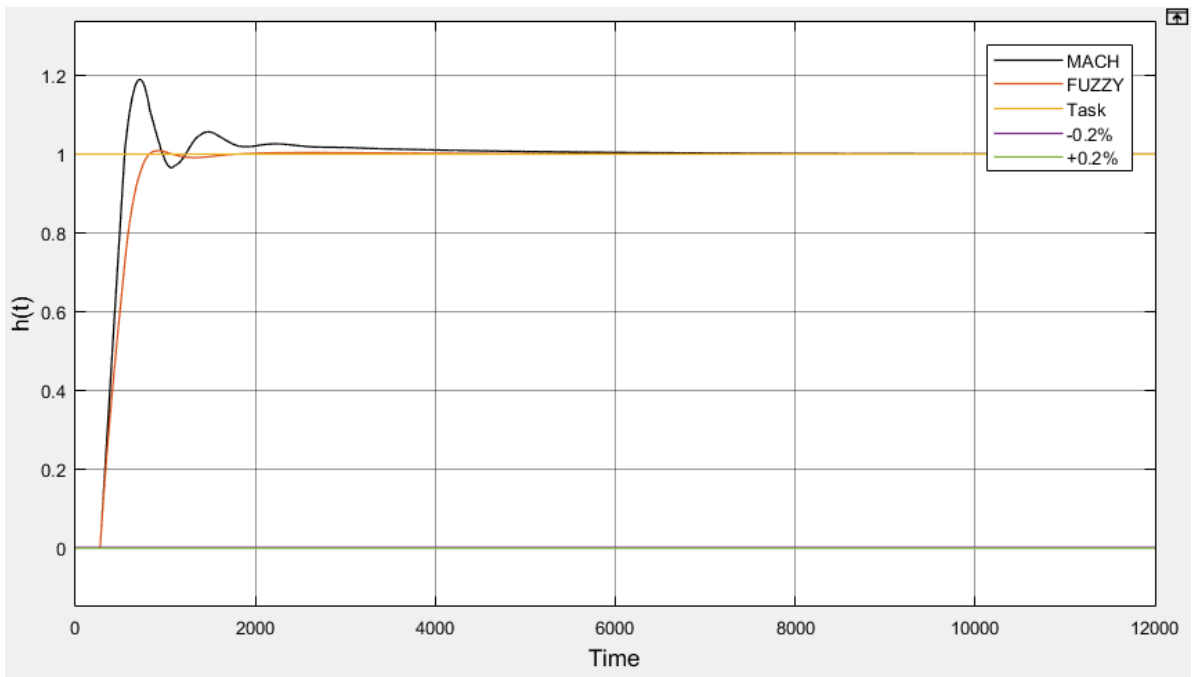


Рисунок 3.22 - Перехідний процес по каналу завдання-вихід

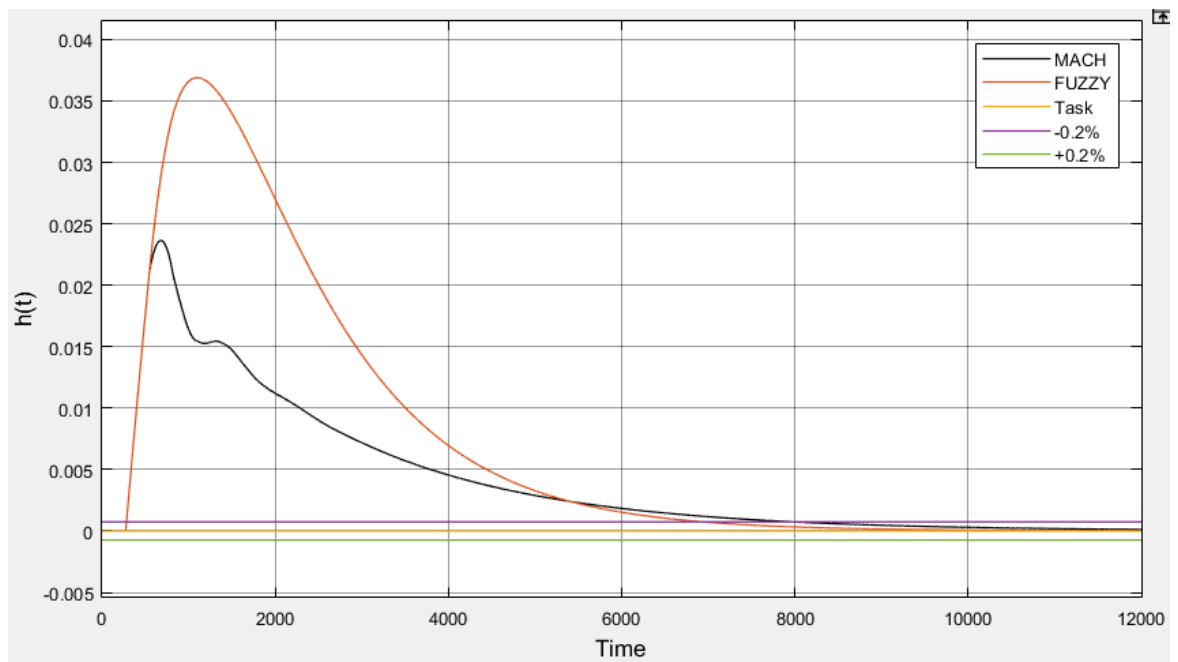


Рисунок 3.23 - Перехідний процес по каналу збурення-вихід

Для порівняння якості перехідного процесу обрахуємо прямі показники якості [11].

Таблиця 3.4 Прямі показники якості

Показники якості	Завдання-вихід		Збурення-вихід	
	МАЧХ	Fuzzy PID	МАЧХ	Fuzzy PID
$\Delta_{ст}$	0	0	0	0
$\Delta_{дин}$	0.19	0.008	0.023	0.036
ψ	0.7	1	1	1
δ	19	0.8	-	-
$t_{рег}$	2532	764	8000	6940

Як бачимо по прямих показниках якості адаптивний регулятор є значно швидшим за регулятор обрахований за допомогою МАЧХ. Також по каналу завдання-вихід Fuzzy PID регулятор має меншу динамічну похибку та коливання. Проте по каналу збурення вихід регулятор по МАЧХ має значно меншу динамічну похибку проте довгий час регулювання.

Дослідимо систему на грубість. Змінимо параметри об'єкта керування на 10%.

При зміні $K_{об}$ на 10%

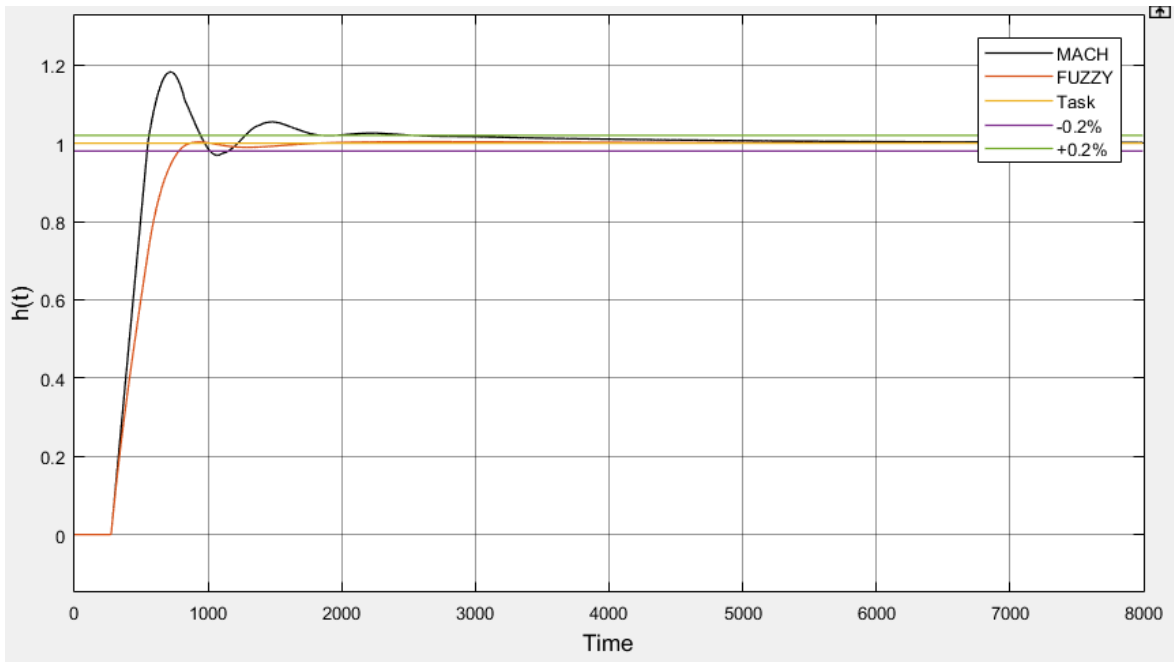


Рисунок 3.24 - Перехідний процес при $K_{об} - 10\%$ по каналу завдання-вихід

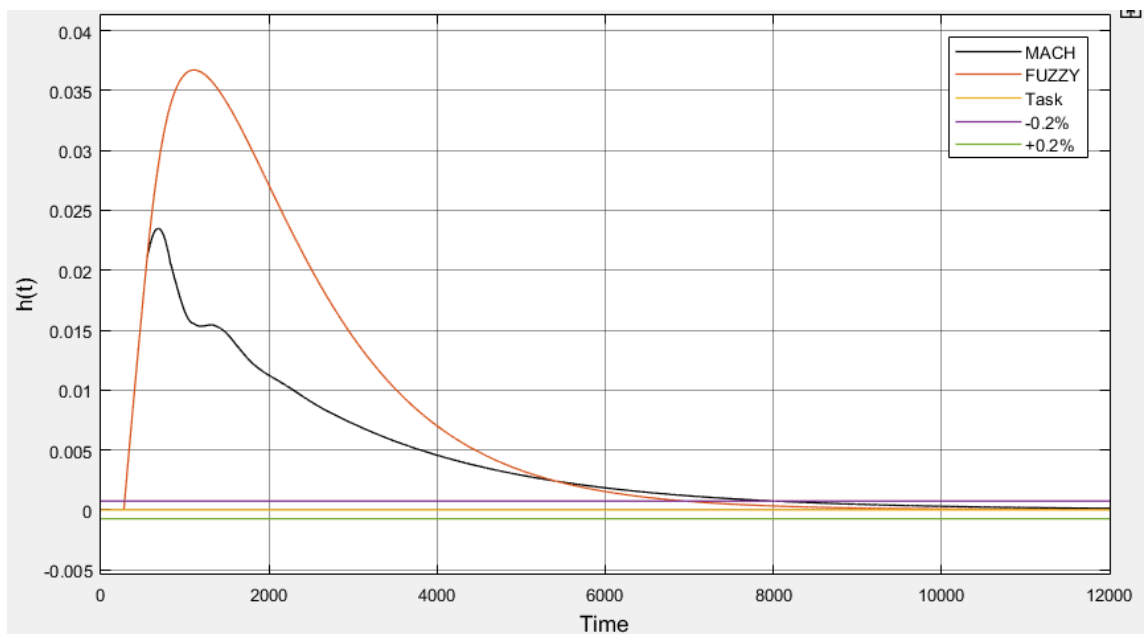


Рисунок 3.25 - Перехідний процес при $K_{об} - 10\%$ по каналу збурення-вихід

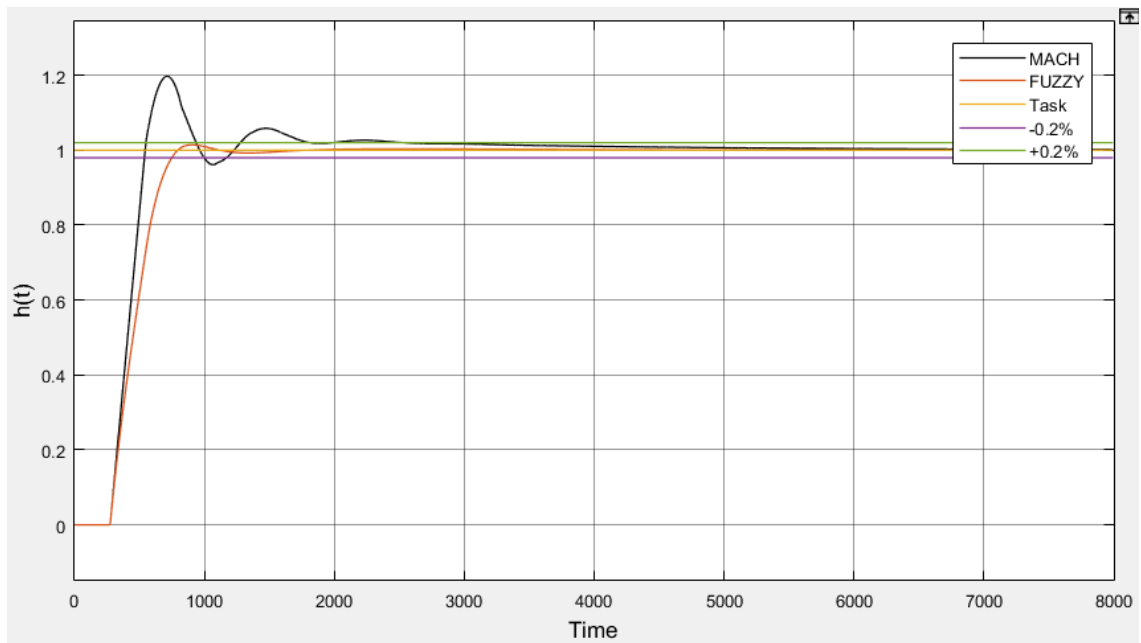


Рисунок 3.26 - Перехідний процес при $K_{об} + 10\%$ по каналу завдання-вихід

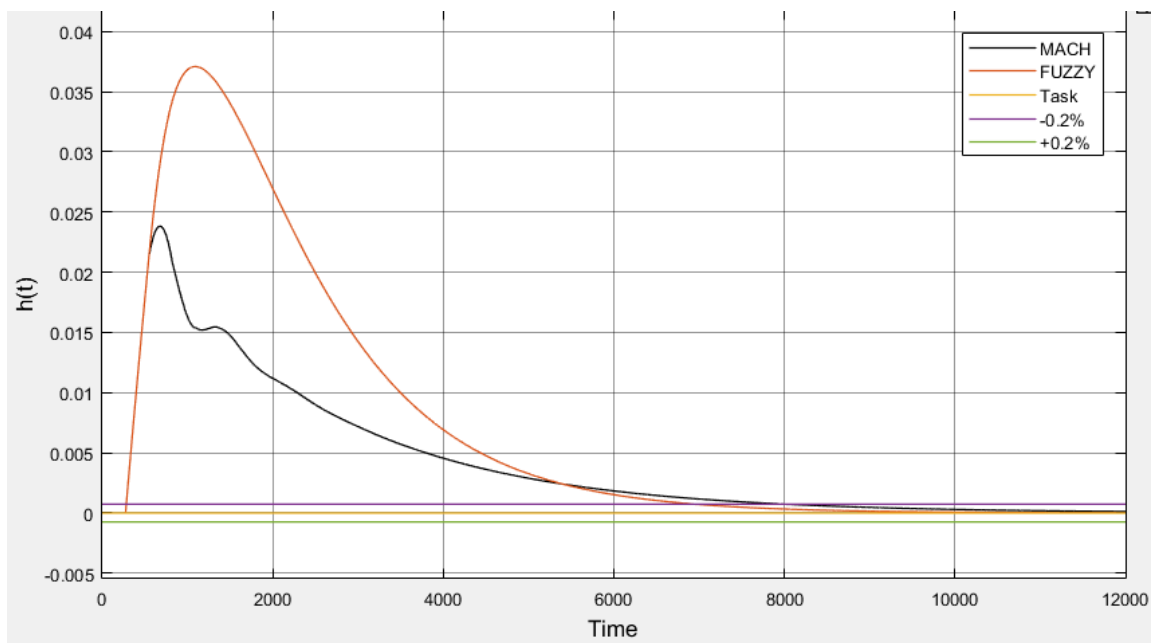


Рисунок 3.27 - Перехідний процес при $K_{об} + 10\%$ по каналу збурення-вихід

Для отриманих результатів розрахуємо прямі показники якості по каналах завдання-вихід та збурення-вихід та занесемо результати розрахунків в таблицю 3.5

Таблиця 3.5 Прямі показники якості

Показники якості	При $K_{об} - 10\%$				$K_{об} + 10\%$			
	Завдання-вихід		Збурення-вихід		Завдання-вихід		Збурення-вихід	
	МАЧХ	Fuzzy PID	МАЧХ	Fuzzy PID	МАЧХ	Fuzzy PID	МАЧХ	Fuzzy PID
$\Delta_{ст}$	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Delta_{дин}$	0,182	0,003	0.0235	0.036	0,1975	0,014	0.0238	0.037
ψ	0.7	1	1	1	0,7	1	1	1
δ	18.2	0.3	-	-	19.75	1.4	-	-
$t_{рег}$	2540	784	8000	6940	2325	750	7996	6945

При зміні $T_{об}$ на 10%

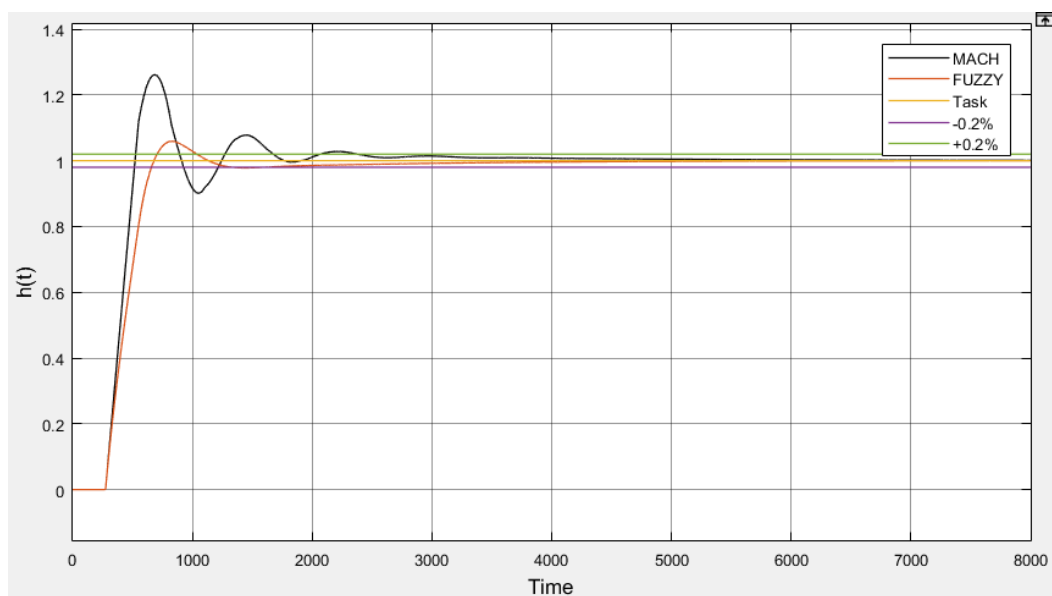


Рисунок 3.28 - Перехідний процес при $T_{об} - 10\%$ по каналу завдання-вихід

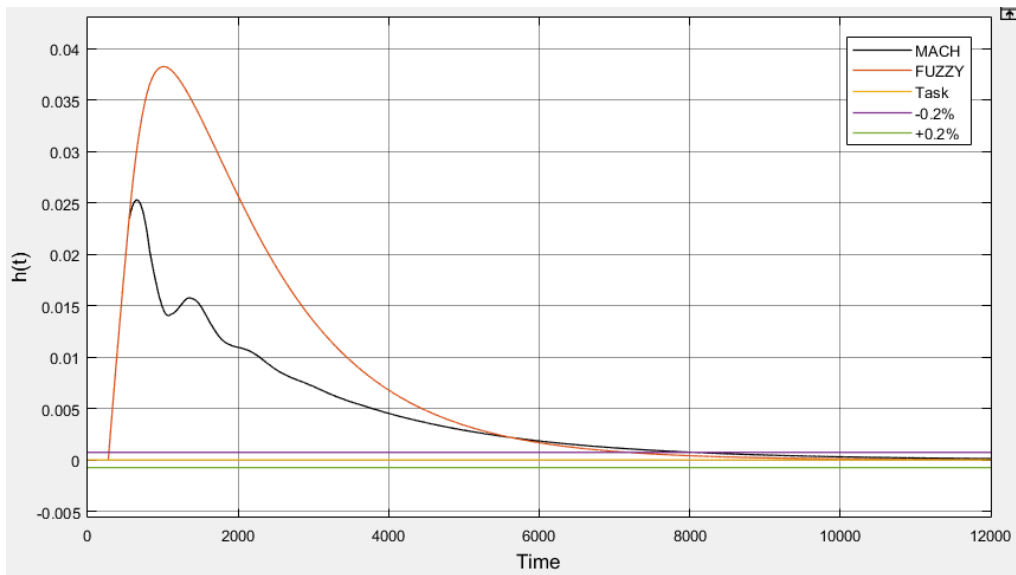


Рисунок 3.29 - Перехідний процес при $T_{об} - 10\%$ по каналу збурення-вихід

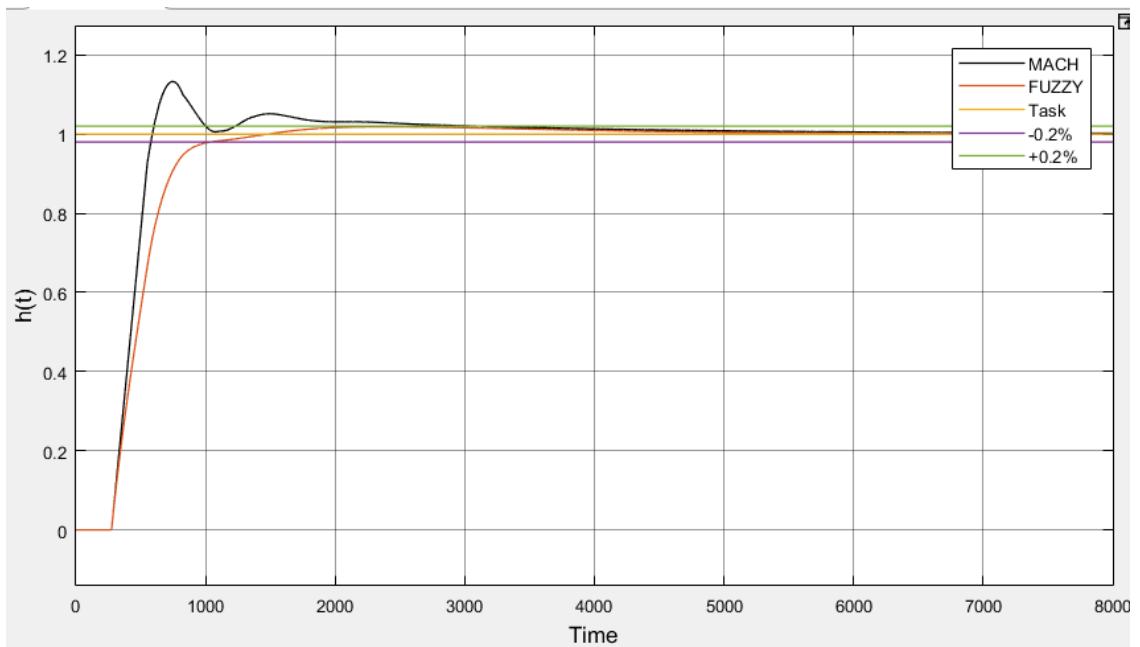


Рисунок 3.30 - Перехідний процес при $T_{об} + 10\%$ по каналу завдання-вихід

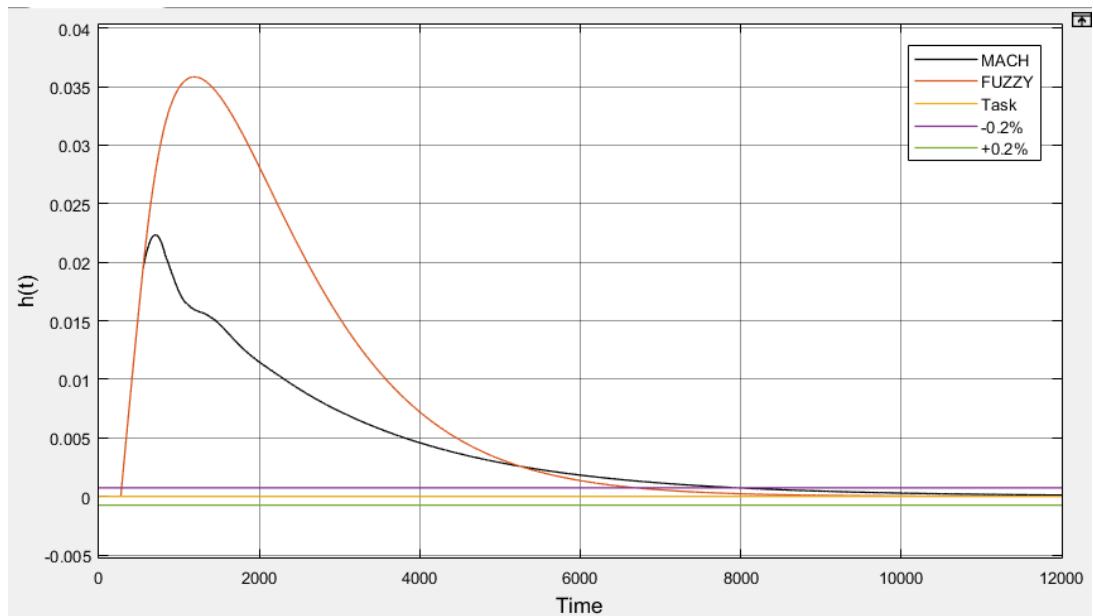


Рисунок 3.31 - Перехідний процес при $T_{об} + 10\%$ по каналу збурення-вихід

Таблиця 3.6 Прямі показники якості

Показники якості	При $T_{об} - 10\%$				$T_{об} + 10\%$			
	Завдання-вихід		Збурення-вихід		Завдання-вихід		Збурення-вихід	
	МАЧХ	Fuzzy PID	МАЧХ	Fuzzy PID	МАЧХ	Fuzzy PID	МАЧХ	Fuzzy PID
$\Delta_{ст}$	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Delta_{дин}$	0,261	0,059	0.025	0.038	0.132	0.018	0.0225	0.035
ψ	0,7	1	1	1	1	1	1	1
δ	26.1	5.9	-	-	13.2	1.8	-	-
$t_{рег}$	2380	1038	8040	7170	3111	1040	7950	6700

При зміні $\tau_{об}$ на 10%

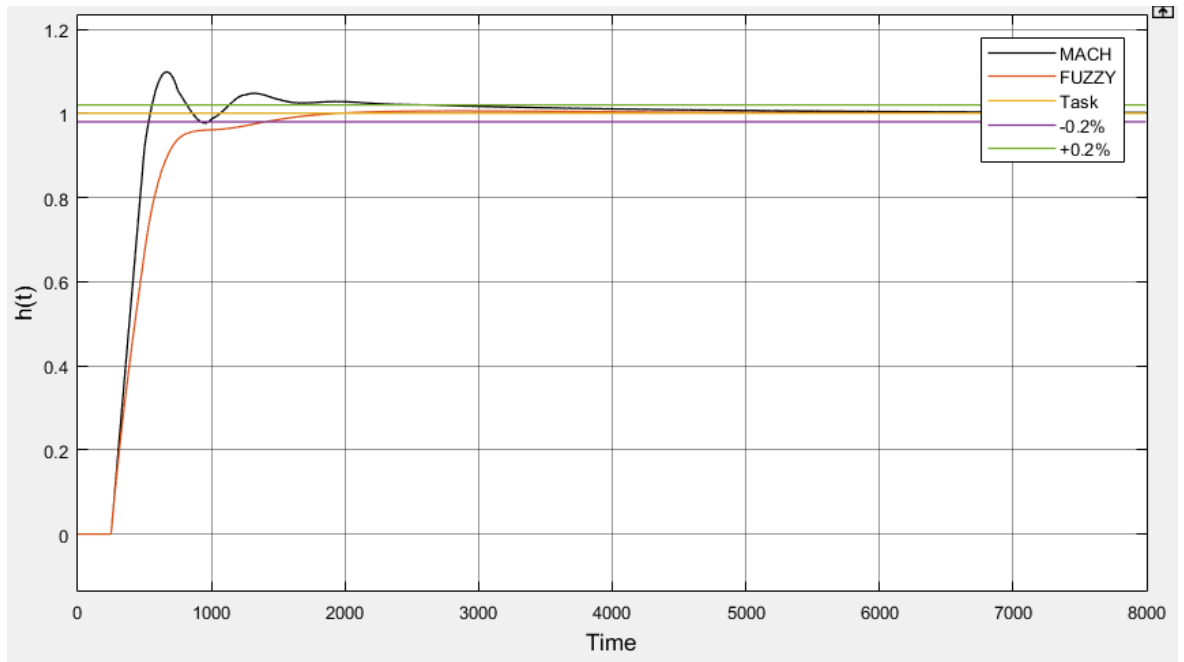


Рисунок 3.32 - Перехідний процес при $\tau_{об} - 10\%$ по каналу завдання-вихід

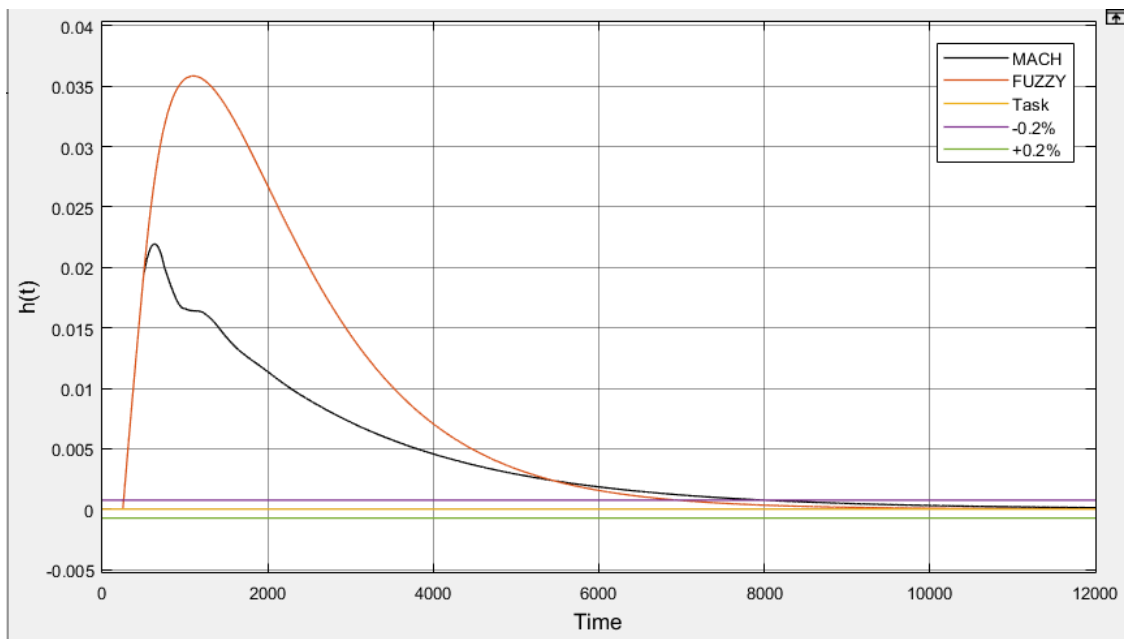


Рисунок 3.33 - Перехідний процес при $\tau_{об} - 10\%$ по каналу збурення-вихід

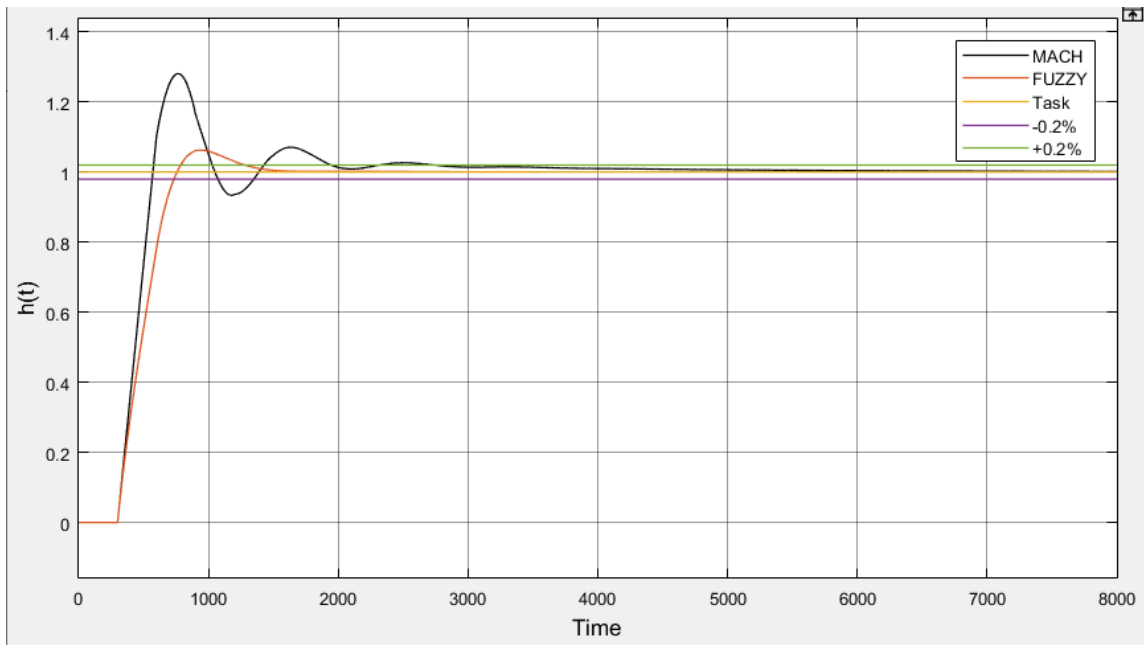


Рисунок 3.34 - Перехідний процес при $\tau_{об} + 10\%$ по каналу завдання-вихід

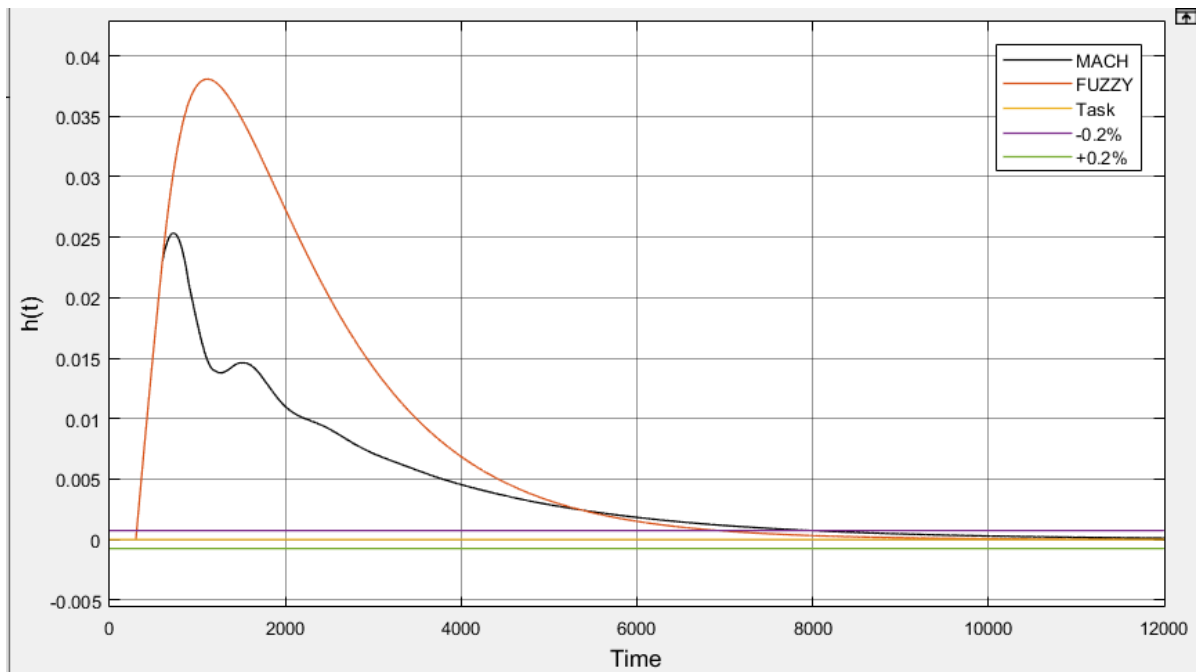


Рисунок 3.35 - Перехідний процес при $\tau_{об} + 10\%$ по каналу збурення-вихід

Розрахуємо для отриманих результатів прямі показники якості по каналах завдання-вихід та збурення-вихід та занесемо результати розрахунків в таблицю 3.7

Таблиця 3.7 Прямі показники якості

Показники якості	При $\tau_{об} - 10\%$				$\tau_{об} + 10\%$			
	Завдання-вихід		Збурення-вихід		Завдання-вихід		Збурення-вихід	
	МАЧХ	Fuzzy PID	МАЧХ	Fuzzy PID	МАЧХ	Fuzzy PID	МАЧХ	Fuzzy PID
$\Delta_{ст}$	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Delta_{дин}$	0,098	0.005	0.021	0.035	0,281	0,063	0.0254	0.038
ψ	0.5	1	1	1	0,75	1	1	1
δ	9.8	0.05	-	-	-	-	-	-
$t_{рег}$	2550	1410	8000	6940	2740	1280	8000	6935

Отже отримавши результати можна сказати, що адаптивний ПД-регулятор з Fuzzy є менш чутливим до змін параметру об'єкту. Показники якості в ПД-регулятора з МАЧХ змінювалися в залежності від параметрів об'єкту більше(динамічна похибка від 0,098 до 0,28 по каналу завдання вихід), тоді як в адаптивному регуляторі динамічна похибка по каналу-завдання вихід не збільшувалась вище 0,063.

3.4 Система моніторингу теплиці

Система тепличного моніторингу - це клімат-контрольовані конструкція, спеціально призначені для міжсезонного вирощування рослин. Більшість тепличних систем використовують ручні системи для моніторингу температури та вологості, що може викликати дискомфорт у працівників, оскільки вони змушені щодня відвідувати теплицю та вручну контролювати їх. Крім того, може виникнути багато проблем, оскільки це впливає на

продуктивність, оскільки температуру та вологість необхідно постійно контролювати, щоб забезпечити хороший урожай рослин. Інтернет є одним із останніх досягнень інформаційно-комунікаційних технологій, що забезпечує глобальне підключення та керування датчиками, пристроями та користувачами з інформацією.

В теплиці використовуються датчики BlueDot BME280, TSL2591, SQ-110, ADP-LWS2020, LDR, TFmini. На основі отриманих даних система буде автоматично ефективно контролювати температуру та вологість усередині теплиці, приводячи в дію зрошувальну трубу, охолоджуючий вентилятор і розсувні вікна відповідно до необхідних умов та культур для досягнення максимального росту та врожайності. Записані значення температури та вологості зберігаються в хмарній базі даних, а результати відображаються на веб-сторінці, звідки користувач може переглядати їх безпосередньо [12].

Рішення для моніторингу на основі інтернету зменшують помилки збору даних у тепличних середовищах і водночас підвищують гнучкість дистанційного керування пристроями. Дані в реальному часі, отримані в результаті цього процесу, дозволяють виробникам безперервно оцінювати середовище росту культур за допомогою динамічної оцінки. Традиційні методи часто страждають від великої трудомісткості, низької просторово-часової роздільної здатності, відсутності механізації та організації, а також потребують багато часу для вирощування рослин і спостереження за екологічними аспектами теплиці. Щоб вирішити ці проблеми, плату контролера і модульну бездротову систему реєстрації даних, було спеціально розроблено для забезпечення зв'язку між сенсорними вузлами, кінцевими користувачами та актуаторами теплиць.

Контролер має вбудований комп'ютер Raspberry Pi та два мікроконтролери та здатний отримувати командні сигнали за допомогою з'єднання WiFi для запуску 8-канальної релейної плати та двох драйверів двигунів. Сигнали керування можуть генеруватися за допомогою алгоритмів

моделей тепличних культур, закодованих у бортовому комп'ютері, або потокових систем на основі хмари. У той же час датчики навколишнього середовища можуть збирати вимірювання, зберігати дані на SD-карті та передавати дані безпосередньо на веб-сервер або через бездротовий зв'язок на шлюз, використовуючи частоту LoRa 868 МГц.

Ця платформа дозволяє в режимі реального часу відстежувати дані в приватній безпечній хмарній системі, доступ до якої доступний на сайті або за допомогою встановлення мобільного додатку.

☰ Блок 5 - 8

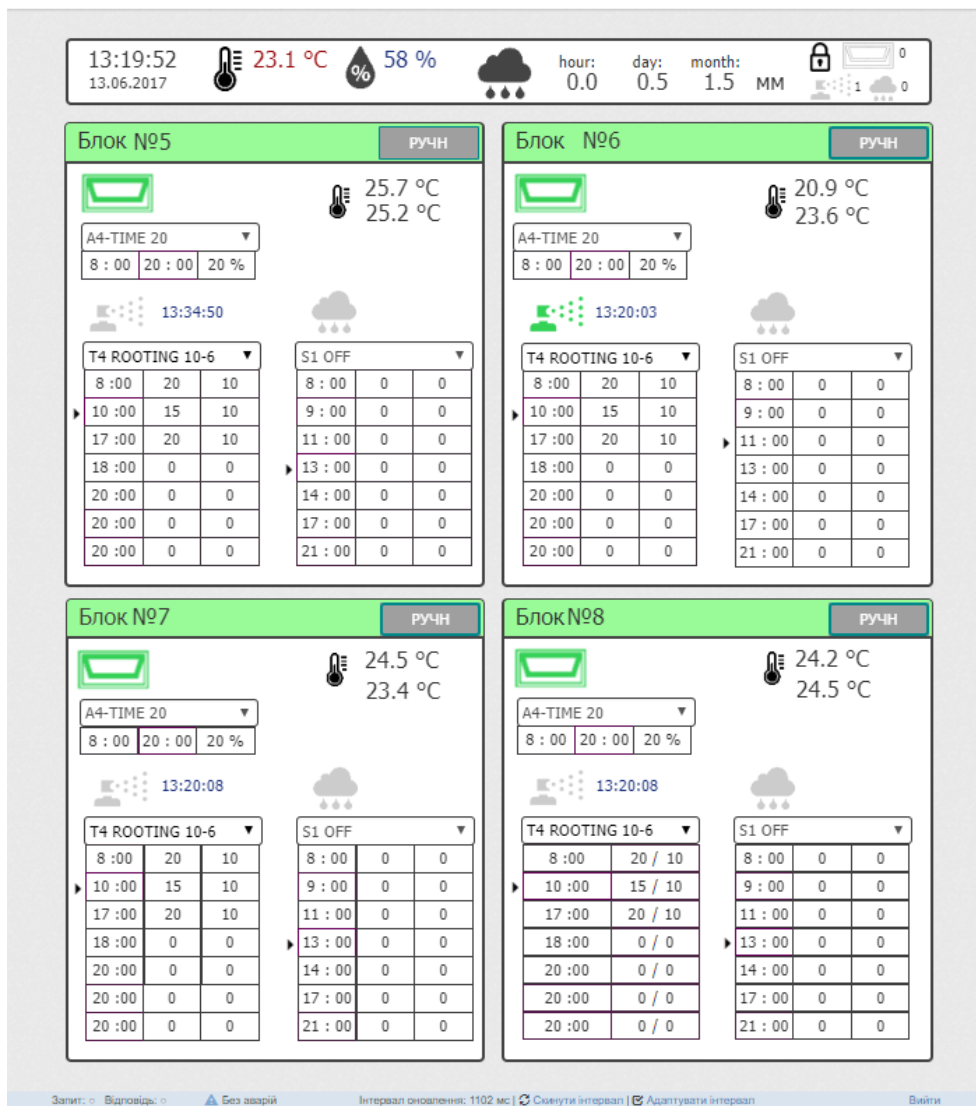


Рисунок 3.36 – Інтерфейс оператора

Деякі конкретні застосування модульної та гнучкої системи автоматизації, можна підсумувати як: багатоцільовий додаток для

моніторингу в режимі реального часу в сільському господарстві, вимірювання ступеня оптимальності та коефіцієнта комфортності тепличних середовищ, а також прогнозування врожайності за допомогою блоків Simulink і вбудованих моделей росту культур, профілактика хвороб рослин на основі прогнозних моделей, кілька ліній напруги для приводів постійного струму, 8-канальний релейний контролер, драйвери двох крокових і двигунів постійного струму, програмування з відкритим кодом, підключення LoRaWAN із вбудованим датчиком освітлення, GPS і датчиком мікроклімату, а також водонепроникний корпус IP68 із зовнішнім модулем акумулятора та схемами зарядки [4, 13].

Висновок

Для управління температурою в теплиці розроблено адаптивний ПІД-регулятор з використанням нечіткої логіки. Сигнал помилки та швидкість зміни помилки подаються на вхід блоку нечіткої логіки. На основі цих сигналів формується вихідний сигнал ПІД-регулятора відповідно до бази правил. Сигнали для параметрів регулювання подаються на ПІД-регулятор. Перехідна поведінка, отримана за допомогою адаптивного регулятора, порівнюється з ПІД-регулятором, параметри якого обчислюються за допомогою МАЧХ.

Відповідно до отриманих результатів можна стверджувати, що адаптивний ПІД-регулятор із нечіткістю є менш чутливим до змін об'єктивних параметрів. Показник якості в ПІД-регуляторі з МАЧХ більше змінюється в залежності від параметрів об'єкта (динамічна похибка від 0,098 до 0,28 на вихідному каналі завдання). В адаптивному регуляторі, однак, динамічна похибка на вихідному каналі завдання не зростає вище 0,063.

В результаті моїх досліджень я вдосконалив систему автоматизації в теплиці, запропонував систему накопичення тепла, що призведе до значного зниження енергоспоживання. Під час даного проекту побудовано схему терморегулятора, схему регулятора вентилятора, схему регулятора освітлення, схему інформаційно-матеріальних потоків та функціональну схему. У результаті мого дослідження ця система має оптимальні показники і високий ступінь автоматизації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

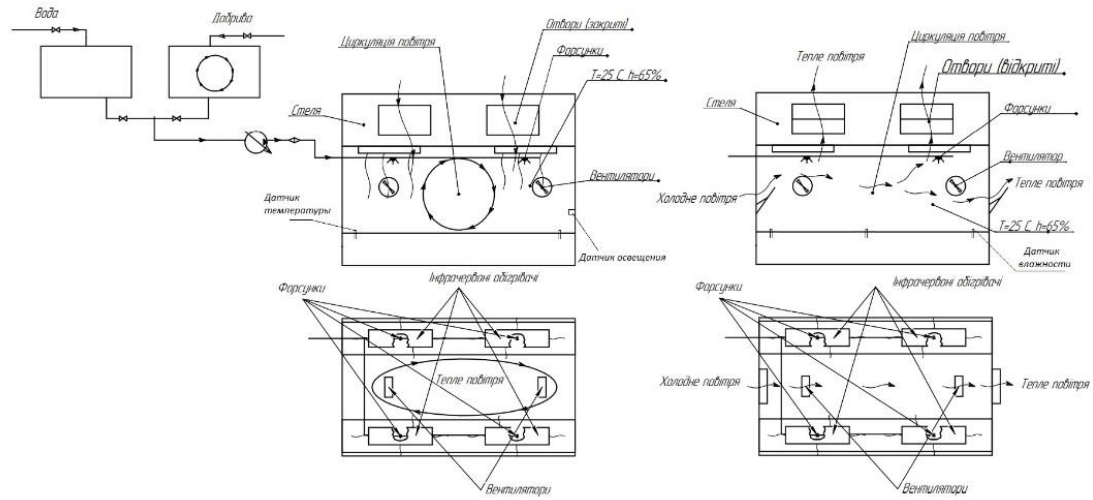
1. Monitoring and Control Systems in Agriculture Using Intelligent Sensor Techniques: A Review of the Aeroponic System. [Електронний ресурс]. - 2017. - Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/329799465_Monitoring_and_Control_Systems_in_Agriculture_Using_Intelligent_Sensor_Techniques_A_Review_of_the_Aeroponic_System
2. Aeroponic Greenhouse as an Autonomous System Using Intelligent Space for Agriculture Robotics. [Електронний ресурс]. - 2017. - Режим доступу до ресурсу: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-05582-4_7
3. Microclimate Control in Greenhouses. [Електронний ресурс]. - 2014. - Режим доступу до ресурсу: https://www.mas.bg.ac.rs/media/istrazivanje/fme/vol42/2/11_nradojevic.pdf
4. Greenhouse Automation Using Wireless Sensors and Instruments. [Електронний ресурс]. - 2021. - Режим доступу до ресурсу: <https://www.intechopen.com/chapters/76695>
5. Принцип роботи сонячних колекторів і батарей. [Електронний ресурс]. - 2017. - Режим доступу до ресурсу: <https://romstal.ua/uk/info/184-printsip-raboty-solnechnykh-kollektorov-i-batarey>
6. Identification of Transfer Functions for Control of Greenhouse Air Temperature [Електронний ресурс]. - 1995. - Режим доступу до ресурсу: <https://www.electrical-engineering-portal.com/download-center/books-and-guides/electrical-engineering/basic-wiring-for-motor-control>
7. Aidan O`Dwyer Handbook PI and PID Controller Tuning Rules.–2nd Edition.–Ireland: Imperial College Press [Електронний ресурс]. - 2006. – Режим доступу до ресурсу: <https://bsd.moe/pdf/Handbook%20of%20PI%20And%20PID%20Controller%20Tuning%20Rules%20-%20Aidan%20O%27Dwyer.pdf>
8. Intelligent PID controller based on fuzzy logic control and neural network technology for indoor environment quality improvement. PhD thesis, University of Nottingham [Електронний ресурс]. - 2014. – Режим доступу до ресурсу: http://eprints.nottingham.ac.uk/14300/1/Yang_PhD_Thesis.pdf
9. Zong Zheyang, Wang Chunguang, Zhang Yong., Zhang Chunhui. Greenhouse temperature controller design based on the fuzzy PID [Електронний ресурс]. - 2014. - Режим доступу до ресурсу: http://www.cmnt.lv/upload-files/ns_79drt058vr.pdf

10. S. N. Sivanandam, S. Sumathi and S. N. Deepa. Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB Springer. [Електронний ресурс]. - 2019. - Режим доступу до ресурсу: <https://ia902902.us.archive.org/26/items/FuzzyLogicReferences/Introduction%20to%20fuzzy%20logic%20using%20MATLAB%20-%20S.%20N.%20Sivanandam%20C%20S.%20Sumathi%20and%20S.%20N.%20Deepa.pdf>
11. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Основи теорії автоматичного управління навчальний посібник. [Електронний ресурс]. - 2020. - Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/41587/1/Teoriia_avtomat_uprav.pdf
12. Based Automated Greenhouse Monitoring System. [Електронний ресурс]. - 2019. - Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8662911>
13. Monitoring system for greenhouses. [Електронний ресурс]. - 2019. - Режим доступу до ресурсу: http://webhmi.com.ua/en/portfolio_page/monitoring-system-for-greenhouses
14. SumDU Repository. Робота бакалавра Дідоренко А.В. [Електронний ресурс]. - 2021. - Режим доступу до ресурсу: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/83907>
15. Вибір оптимальних параметрів ПІД-регулятора для керування мікрокліматом теплиці [Електронний ресурс] / А. В. Дідоренко, С. В. Соколов // Інформатика, математика, автоматика : матеріали та програма Міжнародної наукової конференції молодих вчених, Суми – Нур-Султан, 18–22 квітня 2022 р. / відп. за вип. О. О. Дрозденко. — Суми : СумДУ, 2022. — С. 134.

Додаток А

Схема інформаційно матеріальних потоків

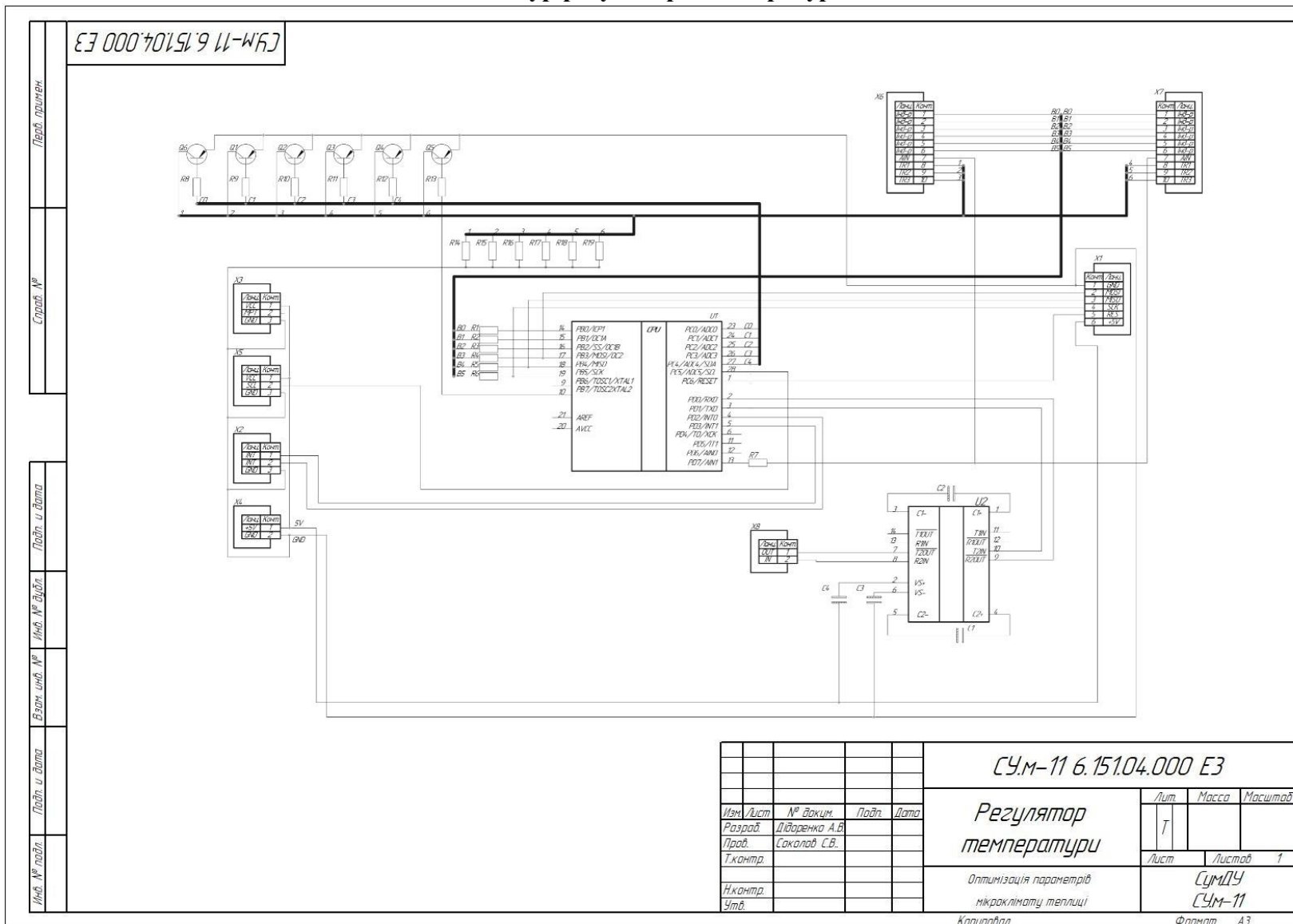
СУМ-11 6.151.04.А3



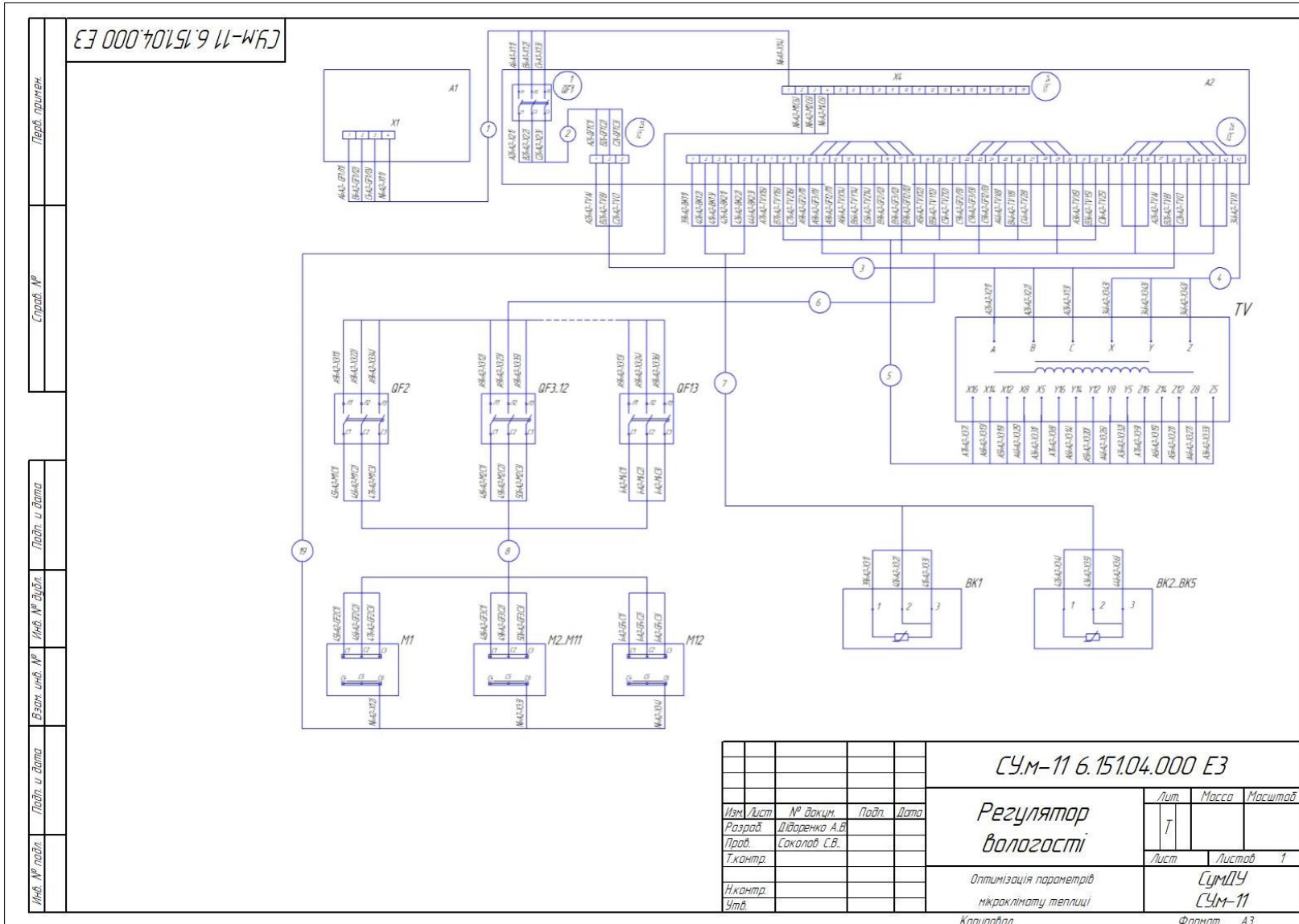
Перш. примен.		
Староб. №		
Лист. и дата		
Инф. № дубл.		
Взам. инв. №		
Лист. и дата		
Инф. № лист.		
		<p>СУМ-11 6.151.04.А3</p> <p>Схема інформаційно матеріальних потоків</p>
Изм.	Лист	№ вакцм.
Разраб.	Діворенко А.В.	Папа
Проб.	Сакочко С.В.	Дата
Т.контр.		
Ижконтр.		
Утв.		
		Лит
		Масса
		Масштаб
		Лист
		Листов
		1
		СУМДУ
		СУМ-11
		Формат А3

Оптимізація параметрів
мікроклімату теплиці
Капірабал

Додаток В Контур регулятора температури



Додаток Г Контур регулятора вологості



Перш. примієн.

Спроб. №

Підп. і дата

Інв. №

Базис. інв. №

Підп. і дата

Інв. №

Додаток Д Контур регулятора освітлення

ЄЗ 000 70151 9 11-463

Перш промен

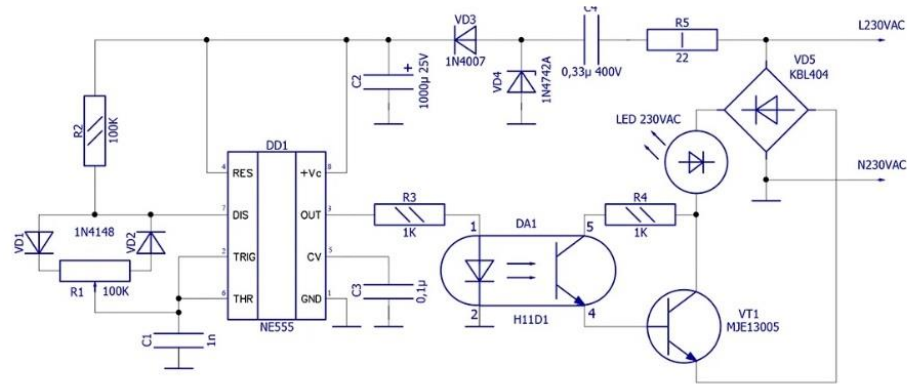
Стор. №

Лист і дата

Взам. инв. №

Инв. №

Лист і дата



СУМ-11 6.151.04.000 ЕЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Подп.</i>
<i>Разраб.</i>	<i>Дворенко А.В.</i>	<i>Дата</i>	
<i>Проб.</i>	<i>Соколов С.В.</i>		
<i>Т.контр.</i>			
<i>И.контр.</i>			
<i>Утв.</i>			
Регулятор освітлення		<i>Лист</i>	<i>Масштаб</i>
<i>Оптимізація параметрів мікроклімату теплиці</i>		<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Капірава</i>		СУМДУ	СУМ-11
<i>Формат А3</i>			