

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. Кафедри

_____ Довбиш А.С.

_____ 2019 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему: «Система автоматизованого керування процесом гідропонного
вирощування рослин»

Керівник проекту:

к.т.н, доцент

Кулінченко Г.В.

Дипломник:

студент групи СУ м.-81

Осадчій С.О.

Суми – 2019

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ Довбиш А.С.

_____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на диплому роботу студенту

Осадчому Сергію Олександровичу

1. Тема проекту: Система автоматизованого керування процесом гідропонного вирощування рослин.
2. Затверджено наказом ректора університету. № 2342-III від “27” листопада 2019р.
3. Термін здавання студентом закінченого проекту “20” грудня 2019р.
4. Вихідні дані до проекту: звіт з переддипломної практики, наукові публікації, статті, технічна документація та перелік літературних джерел з матеріалами опису і автоматизації технологічного процесу відповідної установки.
5. Зміст пояснювальної записки: огляд існуючих гідропонних систем і методів вирощування, переваги та недоліки гідропонного методу вирощування рослин в

порівнянні з ґрунтовим, автоматизована гідропонна система, система керування кліматом гроубоксу, засоби формування мікроклімату в гроубоксі, економічна частина, висновки до роботи.

6. Перелік графічних матеріалів: 33 рисунки, 1 таблиця, 2 додатки, 18 схем.

7. Календарний план проектування

| Номер етапу | Зміст етапу проектування | Термін виконання (початок - кінець) |
|-------------|---|-------------------------------------|
| 1 | Аналіз завдання кафедри. Підбір та аналіз літератури і першоджерел. | 25.11.2019 – 26.11.2019 |
| 2 | Розгляд систем гідропонного вирощування рослин. | 27.11.2019 – 02.12.2019 |
| 3 | Створення математичної моделі гідропонного гроубоксу. | 03.12.2019 – 08.12.2019 |
| 4 | Створення регуляторів для системи автоматизації | 09.12.2019 – 13.12.2019 |
| 5 | Розроблення основних схем автоматизації. | 14.12.2019 – 15.12.2019 |
| 6 | Проведення кошторису та розгляд питань щодо охорони праці. | 16.12.2019 – 17.12.2019 |
| 7 | Оформлення дипломного проекту та супровідної документації. | 20.12.2019 |

Осадчий Сергій Олександрович. Система автоматизованого керування процесом гідропонного вирощування рослин. Дипломна робота. Сумський державний університет. Суми, 2019 р.

Робота містить: 72 сторінок, 33 рисунки, 1 таблиця, 2 додатки, 18 схем. При виконанні дипломної роботи було використано 20 літературних джерел.

Об'єктом дослідження виступає гідропонна система, предметом дослідження якої являється - покращення параметрів системи, шляхом автоматизації процесу вирощування рослин.

Розглянуто існуючі типи гідропонних систем, на їх основі обрано об'єкт автоматизації. Визначено контури керування. Створено математичні моделі контурів для дослідження системи на такі параметри як: час перехідного процесу, стійкість системи та точність регулювання. Розроблено систему підпорядкованого регулювання вологою в залежності від температури, через не лінійність процесу. Визначено параметри PID регуляторів, для контурів керування мікрокліматом гідропонної системи, на основі знятих розгонних характеристик та розрахунків в математичному пакеті Matlab. Розраховані економічні витрати даного проекту. В ході проекту розроблено систему автоматизованого вирощування рослин гідропонним методом «Nutrient film technique», з можливістю подальшого масштабування до розмірів промислових теплиць. Визначено фінансові витрати на розробку проекту.

Ключові слова: гроубокс, автоматизована система керування, алгоритм, програмне забезпечення, SCADA, Matlab, контур керування, математична модель, регулятор.

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АГС – автоматизована гідропонна система

АГСВР – автоматизована гідропонна система вирощування рослин

ГВР – гідропонне вирощування рослин

ГС – гідропонна система

ГСВР – гідропонна система вирощування рослин

Д – датчик

КК – контур керування

ККТ – контур керування температурою

МК – мікроконтролер

ПЗ – програмне забезпечення

ПЛК – програмований логічний контролер

СА – схема автоматизації

САУ – система автоматичного управління

СГ – сільське господарство

СУ – система управління

Т – температура

DFT – deep flow technique

NFT – nutrition film technique

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП | 8 |
| 1 ГІДРОПОННЕ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН | 9 |
| 1.1 Постановка задачі системи автоматизації..... | 9 |
| 1.2 Розгляд існуючих типів гідропонних систем | 9 |
| 1.2.1 Техніка живильної плівки (NFT)..... | 11 |
| 1.2.2 Техніка глибинного потоку (DFT) | 14 |
| 1.2.3 Аеропонна техніка (AT) | 14 |
| 1.2.4 Субстратна техніка (ST)..... | 15 |
| 1.2.5 Гібридна техніка (HT) | 16 |
| 1.3 Переваги та недоліки гідропонного методу вирощування рослин в порівнянні з ґрунтовим..... | 17 |
| 2 АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН У ГІДРОПОННОМУ ГРОУБОКСІ | 20 |
| 2.1 Постановка задачі дослідження..... | 20 |
| 2.2 Розробка системи автоматичного керування | 20 |
| 2.3 Моделювання типових ланок системи автоматичного керування | 26 |
| 2.4 Моделювання законів керування | 29 |
| 2.5 Передатна функція | 31 |
| 2.6 Регулювання концентрації суміші рідин в апараті проточного типу..... | 34 |
| 2.7 Регулювання температури середовища гідропонної системи..... | 39 |
| 2.8 Регулювання вологості середовища гідропонної системи | 43 |
| 2.9 Керування освітленістю гідропонної системи..... | 48 |
| 2.10 Керування рівнем CO ₂ гідропонної системи | 50 |

| | |
|---|----|
| 3 ОПИС ВИКОРИСТАНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН У ГІДРОПОННОМУ ГРОУБОКСІ | 52 |
| 3.1 Регулювання концентрації суміші рідин в апараті проточного типу | 52 |
| 3.2 Регулювання температури середовища гідропонної системи | 56 |
| 3.3 Регулювання вологості середовища гідропонної системи | 58 |
| 3.4 Керування освітленістю гідропонної системи | 60 |
| 3.5 Керування рівнем CO ₂ гідропонної системи | 62 |
| 4 МАТЕРІАЛЬНІ ВИТРАТИ | 64 |
| 5 ОХОРОНА ПРАЦІ | 66 |
| ВИСНОВКИ | 70 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 71 |

ВСТУП

Станом на квітень 2019 року населення планети Земля становить 7.7 мільярдів жителів. Якщо динаміка народжуваності не зміниться то вже в 2020 році населення становитиме вісім мільярдів жителів, а в 2024 сягне дев'яти мільярдів. А це означає, що також збільшується і попит в їжі.

Структура нашої планети: 70,8% площі поверхні складають водні ресурси та 29,2% суша. Понад одну третю якої займають гори, пустелі вкривають близько 12% , льодовики 11%, 27 % займають ліси і тільки 13 % суші займає землеробська площа. Маючи постійно зростаючу тенденцію росту населення і обмежену площу землеробських угідь. Можна зробити висновки, що без створення систем автоматизованого вирощування рослин на базі теплиць і гідропонних установок, людство вже в осяжному майбутньому може стикнутись з голодом.

У своєму дослідженні я маю за мету створити автоматизовану систему гідропонного вирощування рослин, що володітиме кращими характеристиками ніж існуючі системи. За рахунок системи підпорядкованого регулювання кліматичними параметрами, зменшити енерговитрати. Зменшити кількість використаних добрив та води, завдяки алгоритму дозування в залежності від етапу росту рослин. Що призведе до здешевлення процесу вирощування рослин.

1 ГІДРОПОННЕ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН

1.1 Постановка задачі системи автоматизації

Проаналізувати існуючі системи вирощування рослин, на основі робіт сформулювати критерії керування параметрами.

Визначити типові параметри системи.

1.2 Розгляд існуючих типів гідропонних систем

Сільське господарство є одним із основних занять людини з ранньої цивілізації, і навіть сьогодні ручне втручання у землеробство неминуче. Теплиці є важливою частиною сільського господарства та садівництва в світі, оскільки їх можна використовувати для вирощування рослин у контрольованих кліматичних умовах для отримання оптимальної продукції. Оскільки застосування теплиць стає все більш масштабним, вимоги до управління теплицею, змінюються з часом. Все більше теплиці почали замінювати на гідропонні установки, або як їх ще називають – гідропоніки.

Гідропоніка - спосіб вирощування рослин в безґрунтових середовищах штучного типу [3]. При вирощуванні гідропонним методом, рослини живляться поживним розчином в якому знаходиться їх коріння. Середовище являє собою волого-повітряне, сильно аерованне водне середовище, або середовище з твердого пористого субстрату, що сприяє диханню коренів, і вимагає порівняно частого (або постійно-крапельного) поливу живильним розчином [1]. Їх часто використовують для вирощування: овочів, фруктів, квітів, тютюнових рослин та ін.

Сама ідея безґрунтового вирощування рослин вже зовсім не нова. Біологи з різних частин світу вже більше ніж століття, використовують поживні розчини для лабораторних досліджень. Серед першопроходців в даній області були такі

вчені як Еліс та Суоней в 1938р., Турнер та Генрі в 1939р., Геріке та Лорі в 1940р. Ці вчені першими побачили можливості промислової гідропоніки, та почали масштабні роботи в цій області [3].

Гідропонні системи вирощування рослин можна реалізувати майже в будь - яких кліматичних та географічних умовах. Що робить їх дуже корисними в регіонах які часто страждають від засухи, або ж мають зовсім несприятливі умови для вирощування сільськогосподарських культур.

Основними факторами, що впливають на ріст рослин, є сонячне світло, вміст води в ґрунті, температура тощо. Ці фізичні фактори важко контролювати вручну, і виникає потреба в автоматизованому проектуванні. Автоматичний контроль усіх факторів, що впливають на ріст рослин, також є складним завданням, оскільки це дорого, а деякі фізичні фактори взаємопов'язані, наприклад, температура і вологість пов'язані таким чином, коли температура підвищує вологість, знижується, тому контролювати обидва разом важко. Моніторинг основних абіотичних факторів, таких як інтенсивність світла, відносна вологість і температура та контроль зрошення вручну це проблема, яка змушує розробляти пристрої автоматичного контролю цих показників.

Всі рослини та рослинність потребують певних умов для їх правильного росту. Тому необхідно поставити під контроль умови навколишнього середовища, щоб зробити ці умови максимально наближеними до ідеальних. Для створення оптимального середовища необхідно контролювати основні кліматичні та біологічні параметри, такі як температура, вологість, інтенсивність світла, прокачка живильного розчину тощо, для створення оптимального середовища. В процесі росту рослина зазнає різних біологічних змін, включаючи формування тканин та органів, таких як листя, стебло, квіти та коріння. Основне джерело поживних речовин, що використовуються для сприяння цьому процесу розвитку, часто знаходиться в його оточенні. Іншими словами, розвиток рослин залежить

виключно від умов середовища, в якому рослина вирощується. У сучасних системах контролю клімату потрібно кілька точок вимірювання для відстеження місцевих параметрів клімату в різних частинах приміщення, для того щоб система автоматизації парникових систем працювала належним чином. Використовуючи економічно ефективну систему, процес управління та моніторингу теплиці буде простішим, оскільки в режимі реального часу будуть відображатися параметри та відправлятися на екран оператора, вбудований у систему. А в процесі вдосконалення системи можна розширити систему диспетчеризації, додавши всі датчики в систему IoT, тим самим зробивши диспетчеризацію доступною з будь-якого куточку світу. А спеціально розроблений регулятор для системи зрошення запобігає коливанням концентрації розчину в ємності та системі. Тим самим задаючи постійні параметри, що підвищує ефективність системи. Технології роблять речі простішими, а процес менш складним. Точні дані що змінюються безперервно в часі також стають доступними, підчас застосування технологій автоматизації.

1.2.1 Техніка живильної плівки (NFT)

Техніка живильної плівки або (Nutrient film technique) далі NFT - це гідропонна техніка. При якій тонким шаром розчину, що містить усі необхідні поживні речовини, що розчинені в ньому, для росту рослин, постійно надходить до коріння рослин у спеціальному нахиленому жолобі, також відомому як канал. Зазвичай глибина рециркулюючого потоку трохи більше, ніж плівка води, звідси і назва "живильна плівка". Ця особливість NFT дозволяє розгалуженій кореневій системі, що розвивається в нижній частині каналу, постійно утримувати рівень вологи на відповідному рівні, а також дозволяє рясно подавати кисень до нижніх коренів. Правильно розроблена система NFT заснована на використанні правильного нахилу каналу, швидкості потоку та довжини каналу.



Рисунок 1.1 Модель техніки живильної плівки або (NFT)

Система складається з каналу під нахилом 0,3% –2%. Коріння рослин лежать на дні каналу. Поживний розчин постійно наносять на піднятий кінець, щоб розчин стікав по каналу з рівномірною швидкістю, необхідною для збереження коріння у вологому стані. На нижньому кінці жолоба розчин стікає назад до резервуару. Шар живильного розчину повинен бути максимально тонким. Ширина жолоба змінюється залежно від культури, що вирощується. Каналу шириною в 4 – 8 см достатньо для таких культур як, салат (лат. *Lactuca sativa*) та хризантеми (лат. *Chrysanthemum*), тоді як для томатів (лат. *Solanum lycopersicum*) та стручкового перцю (лат. *Capricum annum*) потрібен канал вже в 15 см. Довжина каналу коливається від 1 до 20 м. Залежно від врожаю та розмірів жолобів використовуються різні типи матеріалів: поліетилен, полівінілхлорид (ПВХ), поліпропілен та метал з покриттям. Виявлено, що ідеальні витрати води становлять 3 – 8 л на м² на год для таких культур, як хризантеми та салат [4]. Мінімальної швидкості потоку, достатньої для збереження коренів, в оптимально

волоному стані, може бути недостатньою в системі NFT. Якщо витрата занадто низька, проблема полягає не у нестачі води, а в нестачі поживних речовин, особливо для рослин, коріння яких знаходиться останніми в каналі, оскільки попередні рослини на малій швидкості потоку забираються з розчину всі поживні речовини першими майже не залишаючи нічого останнім. Крайні рослини отримують найменше поживних речовин, особливо калію. Іноді розрізняють витрати, необхідні для молодшої культури (2 л / м² / год) проти зрілої культури (5 л / м² / год).



Рисунок 1.2 Принцип подачі розчину в канал NFT

Рослини, що ростуть в системах NFT, знаходяться у невеликих горщиках, які розміщують в жолобі, коли сформується достатня коренева система. У ситуаціях, коли потік води «мандрує» в каналі, тобто ніби обходячи деякі рослини, можна для мінімізації цієї проблеми використовувати підкладку тканини на дні жолоба. Також цю проблему можна усунути за рахунок спеціальних каналі наприклад, у формі літери «V».

1.2.2 Техніка глибинного потоку (DFT)

Техніка глибинного потоку (Deep flow technique) далі DFT - це древній метод вирощування і застосовується як на рисових полях, так і в садах Вавилону. Ця система використовує великі канали або діжки, наповнені поживним розчином глибиною шару від 5 см до 50 см, на яких встановлені конструкції що тримають рослини вертикально, таким чином їх коріння знаходиться в розчині. DFT є другим найпоширенішим гідропонним методом вирощування рослин на сьогоднішній день, і його цінують за виняткову теплостійкість. Системи DFT також є недорогими для придбання / складання, і їх можна легко зібрати. Велика вага даної техніка означає, що DFT таку систему важко використовувати для вертикального встановлення або вертикальних систем, також підтримка розчиненого кисню, стає нелегкою задачею[8].



Рисунок 1.3 Модель техніки глибинного потоку або (DFT)

1.2.3 Аеропонна техніка (АТ)

Аеропонна техніка або як її ще називають аеропоніка (aeroponics) - це новітній метод вирощування гідропонних культур, який використовує повітряні

камери та розпилювачі високого тиску для розпилення поживного розчину для максимального поглинання розчину коренями. Зазвичай використовується лише для виробництва високоякісних фруктів і овочів, а також у виробництві лікарських рослин. Незважаючи на те, що вони демонструють виняткову ефективність в ідеальних умовах, аеропонні системи є більш негровитратними та мають високу вартість обслуговування і вважаються найдорожчими та найскладнішими гідропонними системами. Потрібен дуже потужний насос для подачі розчинів з високим тиском до форсунок, також рекомендується використання хорошої системи фільтрації частинок в розчині, щоб уникнути засмічення. Ці форсунки зазвичай видаляються та очищаються між кожним циклом посіву, а деякі компанії навіть використовують індивідуальні датчики, щоб виявити засмічення та уникнути пошкодження врожаю якомога швидше[9].



Рисунок 1.4 Модель техніки аеропоніка

1.2.4 Субстратна техніка (ST)

Субстратні системи добре підходять для вирощування плодоносних виноградних або ягідних рослин. Існує чимало варіантів субстратів для

садівництва, включаючи кокосове волокно, кору сосни, керамзит, кальциновану глину та вермікуліт, найпопулярнішими є торфовий мох сфагнуму, кокосове волокно та перліт. У системах субстратів стерильний та інертний субстрат функціонує для прив'язки рослин та утримання вологи, повітря та добрив у кореневій зоні[8].



Рисунок 1.5 Модель субстратної техніки

Системи субстратів найбільш схожі на вирощування в ґрунті, оскільки розмір частинок субстрату зазвичай невеликий і порівнянний з глинистими, або піщаними ґрунтами. Основна відмінність полягає в тому, що ґрунтові субстрати будуть стерильними, щоб уникнути забруднення сільсько-господарських культур патогенними організмами.

1.2.5 Гібридна техніка (НТ)

Також були розроблені деякі гібридні гідропонні системи, що поєднують NFT та DFT. Вони функціонують шляхом подання зрошеного імпульсу мікро трубами, через колектор, в стіл, що містить застоюну воду на глибину до 4 см.

Плити плавають на столі, закріплюючи рослини і сприяючи оксигенізації коренів повітряними порожнинами на нижній стороні плотів[8].



Рисунок 1.6 Модель гібридної техніки

1.3 Переваги та недоліки гідропонного методу вирощування рослин в порівнянні з ґрунтовим

Переваги вирощування гідропонним методом [1]:

- Рациональне використання простору. Кореневищу немає необхідності поширюватися так, як в ґрунті. Рослини можуть отримувати все необхідне живлення на обмеженій площі, не вступаючи в конкурентну боротьбу. До того ж, для створення гідропонікумів можна використовувати абсолютно непридатну для звичайного вирощування рослин територію.
- Економія водних ресурсів. Якщо в якості кореневого середовища служить вермикуліт, то витрата води скорочується в 20 разів у порівнянні з витратою

води польовими рослинами. При безгрунтовому культивуванні часто можна використовувати воду, зовсім непридатну для рослин, які ростуть у ґрунті. Очищати воду для польових культур не рентабельно, так як вона просочується в ґрунт і втрачається. У гідропонікумах виключені ерозія і вимивання рослин сильними зливами, тому що весь надлишок води стікає з піддонів через дренажну систему. При використанні кореневих субстратів, що не володіють вологоємністю, рівень води в піддонах залежить від розмірів частинок субстрату. Навіть при заповненні піддонів субстратами, що не абсорбують воду, витрата води становить восьму частину витрат тими ж культурами в польових умовах.

- Економія поживних речовин. Вирощувані на гідропоніці культури практично цілком засвоюють всі речовини з живильного розчину.
- Контроль і управління живленням. У будь - якому випадку ви можете контролювати якість і кількість елементів, що потрапляють до кореневої зони.
- Оптимально використання генетичного потенціалу рослин. У більшості випадків в гідропоніці є можливість створити для рослин оптимальні умови з точки зору живлення, освітленості, температури, вологості, CO₂.
- Догляд за рослинами. У гідропонних грядках не буває бур'янів, кротів, нематод. З озимої совкою легко боротися затопленням. Відпадають витрати праці на полив, внесення добрив, вапнування, боротьбу з бур'янами і т.п. У більшості гідропонних систем є доступ до коріння, що дозволяє вирішувати можливі проблеми з патогенами.
- Механізація. Не потрібно ніяких сільськогосподарських знарядь і машин, за винятком насосів для подачі поживних розчинів.
- Врожаї. Завдяки загущених посівах врожаї сильно зростають, у деяких культур, наприклад, в 20 разів (у порівнянні з врожаями цих же культур в польових умовах). До того ж, якість даного врожаю значно вище, ніж при ґрунтовій культурі.

- Чиста продукція характерна для гідропонного способу, так як вона незабруднюється при сильних дощах.
- Сівозміни. У гідропонікумах не потрібні сівозміни. Можна сіяти одну і туж культуру беззмінно кілька років. В одному піддоні протягом п'яти років взимку і влітку вирощували салат. Однак при цьому відіграють роль кліматичні умови, а також характер укриття піддонів.
- Стандартизація. Агротехніку і поживні розчини для кожної культури легко стандартизувати, завдяки чому полегшується вирощування рослин.
- Робоча сила. Двоє людей під керівництвом фахівця можуть обслуговувати гідропоніку ми на площі 0,4 га. При вирощуванні помідорів на тій же площі потрібно чотири людини, при вирощуванні гвоздики - вісім чоловік. Для збору врожаю потрібні ще кілька людей.
- Вирощування культур у екстремальних умовах. Гідропонні системи дають можливість вирощувати різні культури на космічних станціях, сховищах на випадок землетрусу або тайфуну.

Недоліки промислової гідропоніки [1]:

- Для створення гідропонного господарства потрібні великі кошти.
- Для ведення гідропонного господарства необхідно володіти більшими знаннями, ніж при веденні звичайної овочевого господарства.

2 АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН У ГІДРОПОННОМУ ГРОУБОКСІ

2.1 Постановка задачі дослідження

Провести ідентифікацію об'єкта автоматизації, створити математичну модель системи даного об'єкта.

За допомогою програмних засобів: обрати тип регуляторів та розрахувати їх параметри.

Визначити початкові умови об'єкта керування в залежності від стадії росту рослин.

Врахувати специфіку залежності вологи від температури в об'єкті керування.

Визначити параметри для концентрації добрив в залежності від стадії росту рослин в системі.

2.2 Розробка системи автоматичного керування

Основне призначенням автоматизації гідропонної системи це моніторинг показників з датчиків й управління оптимальними умовами для вирощування рослин, що вимагають заданих параметрів: температури, вологості, світла й складу повітря (кисень, двоокис вуглецю і азот), а також розчину в якому проходить ріст рослини.

Закрита структура системи гроубоксу допомагає контролювати багато з цих факторів, щоб допомогти в розвитку рослин і збільшенні кількості і якості врожаю. Але які саме чинники контролюються в гідропонній системі?

Дана система автоматизації може виконувати наступне контролюючі та керуючі функції:

Воду - тому що немає прямих опадів, а вирощування проводиться безпосередньо в поживному розчині, потрібно керувати об'ємом води і часом прокачки для оптимізації росту.

Тепло - спроба запобігання перегрівання або замерзання - для полуниці та інших теплолюбних культур, ніякого зростання не відбувається нижче 10°C або вище 30 ° C, може погіршитися колір плода, якщо температура підніметься вище 29 ° C.

Світло - будь-яке покриття буде блокувати деякий відсоток світла (або певних довжин хвиль світла), доступних для рослин - затінення може бути корисним, коли занадто жарко.

Витрата повітря і вологість - якщо ГС буде повністю закрита, вологість підвищиться, і оскільки здорові зростаючі рослини як поглинають так і виділяють кисень то в день, рівень вуглекислого газу зменшиться, а кисню збільшиться. І навпаки, вночі, коли рослини використовують більше кисню і виділяють вуглекислий газ. Грибок може з'являтися на деяких рослинах при вкрай низькій або високій вологості.

Таким чином, ми або приділяємо дуже пильну увагу і коригуємо все вручну, або створюємо автоматично керовану систему для управління гідропонним середовищем.

Гідропонну систему можна описати за допомогою структурної схеми (рис 2.1) звідки визначено задачу - автоматизувати наступні контури керування. Функціональна схема автоматизації наведена в додатку Г.

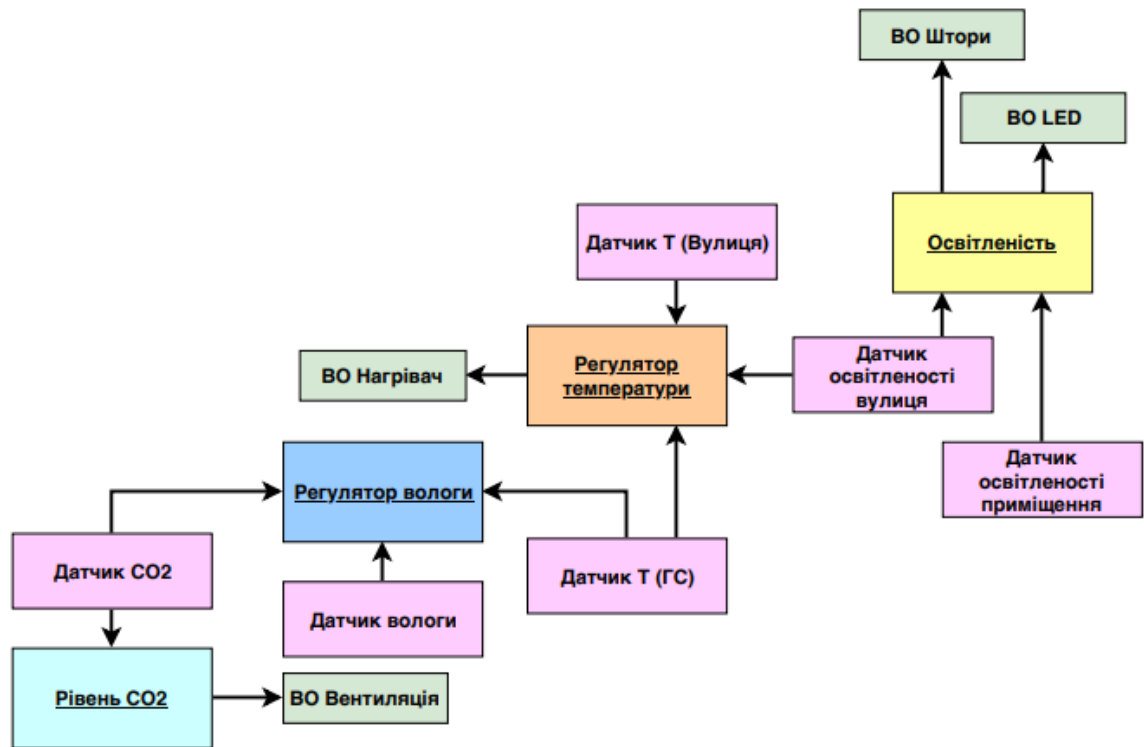


Рисунок 2.1 Схема САК ГС

Системи автоматичного керування (САК) є частиною технологічного процесу. Внаслідок дії збурень, яким піддаються змінні процесу, порушується встановлений режим роботи об'єкта, що призводить до зміни вихідних параметрів. Завдання регулювання об'єкта (об'єкт регулювання - це окремий технологічний апарат або кілька одиничних технологічних апаратів, в якому протікає певний процес) - усунення впливу збурень, тобто відновлення початкових значень вихідних змінних. Автоматичне керування - процес підтримки (стабілізації) або зміни по заданому закону вихідних змінних об'єкта за допомогою спеціальних пристроїв - автоматичних регуляторів. Система автоматичного керування включає взаємодіючі між собою об'єкт керування і засоби автоматичного керування і являє собою динамічну систему, що описується диференціальними рівняннями. Система керування містить дві

взаємодіючі ланки: об'єкт регулювання і регулятор, причому найчастіше система «об'єкт - регулятор» становить замкнутий контур керування (Рис.2.1) за принципом зворотного зв'язку.

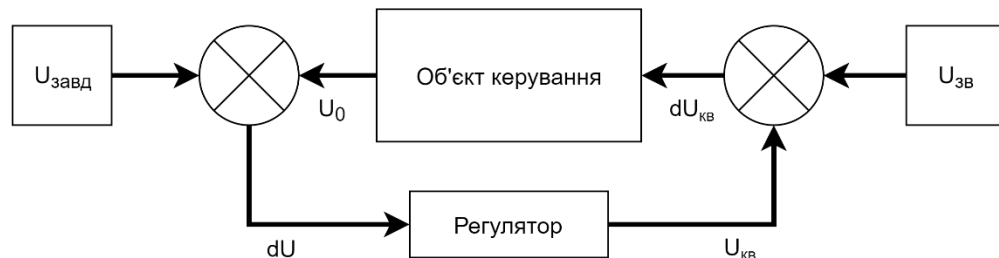


Рисунок 2.2 Принципова схема замкнутого контуру САР за відхиленням - система стабілізації

Одним з основних завдань керування є стабілізація технологічних параметрів процесу на заданих рівнях. Необхідне значення параметра $U_{\text{завд}} = \text{const}$ подається на пристрій, що підсумовує впливи регулятора, де порівнюється з дійсним значенням параметра U_0 на виході об'єкта. Значення U_0 називається керованою змінною. Різниця $dU = (U_0 - U_{\text{зв}})$ - сигнал неузгодженості, виникає як наслідок деяких збурюючих впливів $U_{\text{зв}}$. У відповідь на сигнал неузгодженості регулятор виробляє керуючий вплив $U_{\text{кв}}$, яке разом з збуренням $U_{\text{зв}}$ надходить на пристрій, що підсумовує, утворюючи різницю $dU_{\text{кв}} = (U_{\text{зв}} - U_{\text{кв}})$. Потрібно забезпечити повну, або до заданого рівня стабілізацію у відповідь на дію збурень, тобто забезпечити $dU_{\text{кв}} = 0$ або $dU \leq \varepsilon$. Описаний принцип називається регулюванням по неузгодженості або за відхиленням, а використана САК називається стабілізуючою.

Як збурення виступають наступні фактори:

- зовнішні технологічні параметри $U_{\text{зв}}$ - порушення режиму роботи об'єкта (наприклад, зміна температури, об'ємної швидкості подачі і т.д.);
- характеристики навколишнього середовища - зміна зовнішніх умов

(наприклад, коливання температури, вологості і т.д.);

- внутрішні параметри об'єкта, наприклад непередбачені витоку сировини або продукту, зміни умов теплопередачі через стінку апарату і т.п.

Системами автоматичної стабілізації не вичерпуються можливості одноконтурних САК технологічних процесів. Наприклад, в системах програмного регулювання регульована величина змінюється відповідно до заданої функцією $U_{зв} = F(t)$, а слідкуючі системи регулювання (Рис.2.2) змінюють регульований параметр U_0 в залежності від значень будь-якої змінної технологічного процесу $U_{зв} = F(x_T)$.

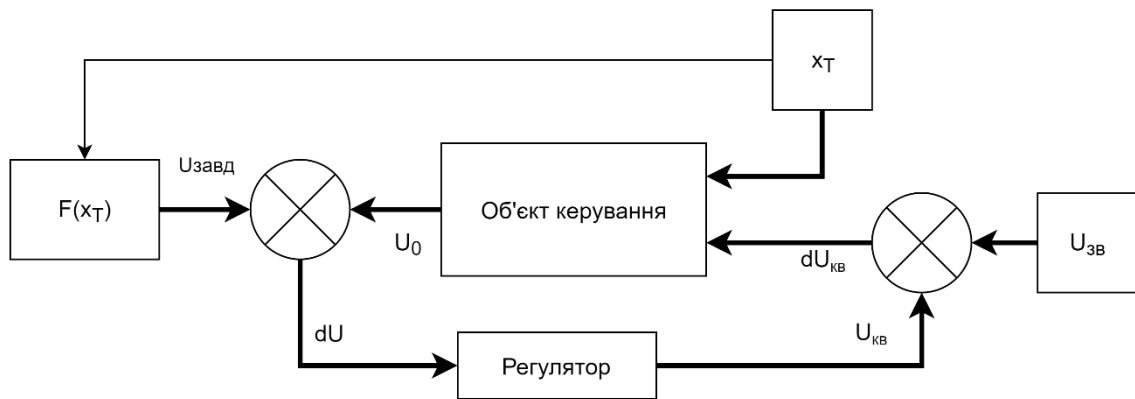


Рисунок 2.3 Принципова схема САР за відхиленням – слідкуюча система

У САР використовується також принцип регулювання по збуренню. В результаті застосування цього принципу отримують системи регулювання розімкненого типу без зворотного зв'язку (Рис.2.3). Збурення $U_{зв}$ одночасно сприймається об'єктом і регулятором. регулятор повністю усуває вплив збурення шляхом видачі відповідного регулюючого впливу $U_{рв}$ на вхідний параметр $U_{вх}$.

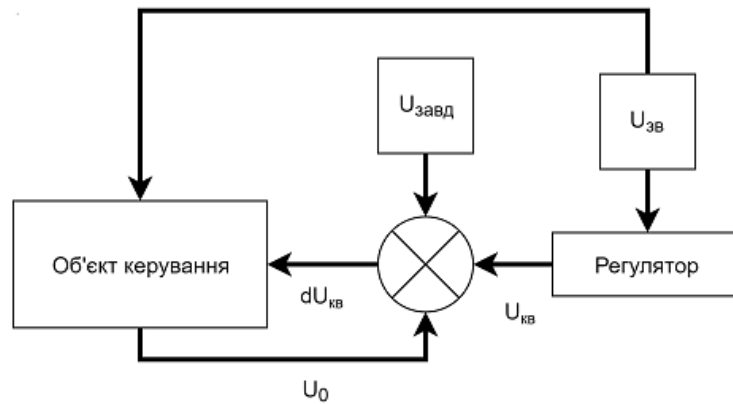


Рисунок 2.4 Принципова схема САР за збуренням

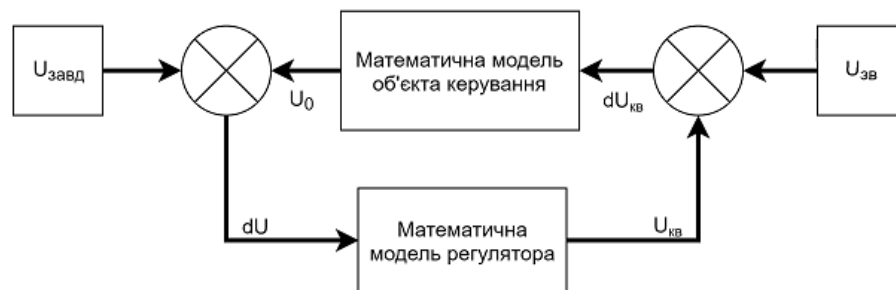


Рисунок 2.5 Схема спрощеної моделі САК

Для більш точних розрахунків і досліджень САК за допомогою математичного моделювання необхідно враховувати вплив на поведінку системи допоміжних засобів керування (Рис.2.5), до яких відносяться датчики Д, що вимірюють значення регульованого сигналу (витрата, рівень, концентрація, температура і та ін.); виконавчі механізми ВМ (наприклад, електродвигуни), що приводять в дію регулюючий орган (вентиль, клапан, дросельна та ін.). Математичний опис змінних ланок системи входить в загальну модель САК.

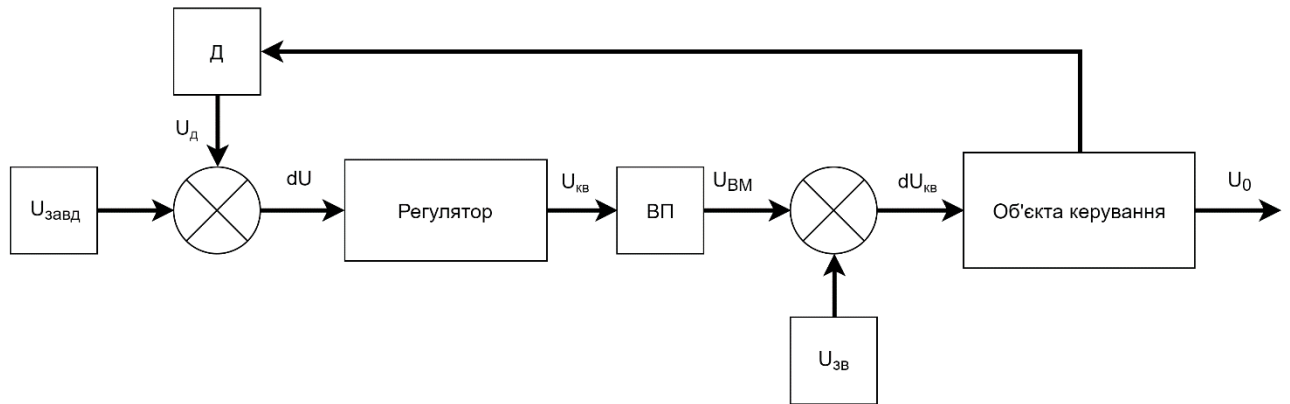


Рисунок 2.6 Схема САК

Таким чином, поведінка САК в кінцевому рахунку визначається динамічними характеристиками складових її елементів (ланок). При моделюванні САК на ЕОМ з допомогою оболонки MatLab (пакет розширення Simulink) прийняті способи опису ланок системи за допомогою диференціальних рівнянь і за допомогою передавальних функцій.

2.3 Моделювання типових ланок системи автоматичного керування

У систему автоматичного регулювання входять різні елементи, які розрізняють за принципом дії, конструктивним рішенням та ін. Однак, незважаючи на велику різноманітність, ці елементи вдається класифікувати по їх динамічних властивостей. Реальні елементи системи автоматичного регулювання можна з достатнім ступенем точності апроксимувати окремими типовими елементарними ланками або поєднаннями кількох таких ланок.

Типові ланки САК мають ряд важливих особливостей і властивостей:

- Параметри ланки зосереджені і не змінюються в часі;
- Ланка має властивість спрямованої дії, тобто передає сигнал тільки в одному напрямку - з входу на вихід;
- Динамічні властивості ланки характеризуються кривою розгону, яка

представляє собою залежність вихідної змінної ланки $x_{\text{вих}}$ від часу в разі подачі на вхід ланки одиничного ступеневої впливу $x_{\text{вх}}$ при заданих початкових умовах;

- Ідеалізована характеристика ланки описується лінійним диференціальним рівнянням n -го порядку або відповідної передавальної функцією.

Розглянемо типові ланки САК і їх моделі.

Без інерційна або підсилююча ланка

Передача вхідного сигналу на вихід відбувається практично миттєво.

Рівняння ланки записується у вигляді:

$$X_{\text{вих}}(t) = k_{\text{кв}} x_{\text{вх}}(t);$$

$k_{\text{кв}}$ – коефіцієнт передачі ланки.

Для моделювання без інерційної ланки в пакеті розширення Simulink використовують підсилювач Gain (Рис.2.6).

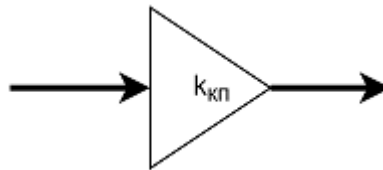


Рисунок 2.7 Схема моделі безінерційної ланка Simulink

Інерційна ланка першого порядку

Інерційна, або аперіодична, ланка 1-го порядку має ємність по речовині (або енергії) і опором потоку цієї речовини (або енергії). Вона описується лінійним диференціальним рівнянням 1-го порядку з постійними коефіцієнтами:

$$T \frac{dx_{\text{вих}}}{dt} + x_{\text{вих}} = kx_{\text{вх}}$$

де T - постійна часу аперіодичної ланки, яка дорівнює добутку ємності на опір;
 k - коефіцієнт передачі ланки.

Інерційний ланка 1-го порядку моделюється на інтеграторі (рис.2.7), охопленому зворотного зв'язком. Для моделювання, рівняння інерційної ланки перепишемо відносно похідної поділивши попередньо на T :

$$\frac{dT x_{\text{вих}}}{dt} = -\frac{1}{T} x_{\text{вих}} + \frac{k}{T} x_{\text{вх}}$$

В якості вхідного сигналу використовують ступінчастий сигнал. Реакцію системи на ступінчастий сигнал можна переглянути за допомогою осцилографа Scope.

Інерційний ланка другого порядку

Інерційна або аперіодична ланка другого порядку виходить при послідовному з'єднанні двох фізичних елементів, кожен з яких має ємність і обмінюється речовиною (або енергією) через деякий опір.

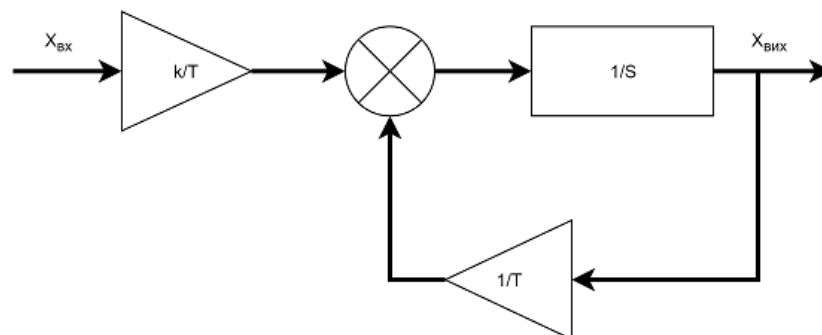


Рисунок 2.8 Схема моделі інерційної ланка Simulink

Динаміка цієї ланки описується диференціальним рівнянням другого порядку:

$$T_2^2 \frac{d^2 x_{\text{вих}}}{dt^2} + T_1 \frac{dx_{\text{вих}}}{dt} + x_{\text{вих}} + k x_{\text{вх}}$$

При умові що $T_1 \gg T_2$.

Для моделювання аперіодичної ланки другого порядку рівняння приведемо до виду:

$$\frac{d^2 x_{\text{вих}}}{dt^2} = \frac{k}{T_2^2} x_{\text{вх}} - \frac{1}{T_2^2} x_{\text{вих}} - \frac{T_1}{T_2} \frac{dx_{\text{вих}}}{dt}$$

Тобто схема моделі буде складатися з суматора з трьома входами і трьома блоками Gain, двох послідовно з'єднаних інтеграторів і осцилографа Scope. Коливальна ланка описується тим же рівнянням другого порядку і відрізняється від інерційного співвідношенням між постійними часу $T_1 < 2T_2$.

2.4 Моделювання законів керування

Регулятор безперервного дії - це пристрій, що постійно формує на своєму виході регулюючий сигнал при безперервній подачі керуючого сигналу на вході. Та відповідає заданому закону регулювання (Рис.2.8). При моделюванні, закон регулювання представляють деяким керуючим органом. Розглянемо основні типи регуляторів безперервного дії і їх моделей.

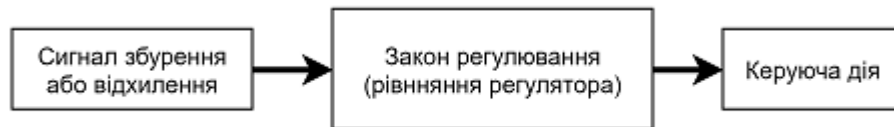


Рисунок 2.9 Схема регулятора безперервної дії

Пропорційний або статичний регулятор (П-регулятор)

При відхиленні регульованої величини від її заданого значення видає команду на переміщення регулюючого органу, пропорційне відхиленню; таким чином, величина сигналу на виході регулятора пропорційна вхідному сигналу. Закон регулювання записується у вигляді:

$$y(t) = k_p x(t)$$

де $y(t)$ – керуючий вплив регулятора; k_p - коефіцієнт передачі регулятора; $x(t)$ - сигнал неузгодженості.

Коефіцієнт k_p називається коефіцієнтом посилення регулятора. Він обчислюється як відношення зміни сигналу на виході регулятора, прийняте за

100%, до сигналу що викликав цю неузгодженість. Для моделювання П-регулятора в пакеті розширення Simulink використовують підсилювач Gain.

Інтегральний регулятор (І-регулятор)

Працює відповідно до рівняння:

$$y(t) = k_i \int x(t) dt$$

де k_i коефіцієнт передачі регулятора, що характеризує швидкість роботи виконавчого механізму.

Закон регулювання показує, що швидкість регулюючого впливу $\frac{dy}{dt}$ прямо пропорційна сигналу неузгодженості $k_i x$. Модель І-регулятора в Simulink складається з послідовно з'єднаних блоків Gain з коефіцієнтом k_i і інтегруючого блоку.

Пропорційно - інтегральний регулятор (ПІ-регулятор)

Утворюється паралельним з'єднанням П-регулятора та І-регулятора. Закон регулювання виражається рівнянням:

$$y(t) = k_p x + k_i \int x dt = k_p \left(x + \frac{1}{T_i} \int x dt \right)$$

де k_p статичний коефіцієнт передачі; T_i час ізодрому.

Константа $1/T_i$, що входить в інтегральну складову, має розмірність 1 / сек. Її величина характеризує час, протягом якого відбувається автоматична перестановка регулюючого органу з одного крайнього положення в інше за рахунок інтегральної складової регулюючого впливу. Таким чином, регулюючий вплив ПІ-регулятора пропорційний сумі відхилення регульованої величини в часі від заданої і інтеграла цього відхилення.

Модель ПІ-регулятора складається з двох підсилювачів, інтегратора і суматора, на виході якого формується регулюючий вплив ПІ-регулятора.

Диференціальний регулятор (Д-регулятор)

Величина вихідного сигналу прямо пропорційна швидкості зміни вхідного сигналу:

$$y(t) = \frac{k_p dx}{dt}$$

Д-регулятор зазвичай не використовується самостійно, а входить як складова частина в пропорційно - диференційні (ПД-регулятор) і пропорційно – інтегрально - диференційний регулятор (ПІД- регулятор).

Пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор

ПІД- регулятор називають ще ізодромним регулятором з попередженням.

Закон його регулювання описується рівнянням виду:

$$y(t) = k_p \left(x + \frac{1}{T_i} \int x dt + T_d \frac{dx}{dt} \right)$$

де k_p - коефіцієнт передачі регулятора; T_i - час ізодрома; T_d - час передування.

Модель ПІД-регулятора складається з: трьох підсилювачів, інтегратора, диференціатора і суматора, на виході якого формується керуючий вплив ПІД-регулятора.

2.5 Передатна функція

Поняття передавальної функції склалося в теорії систем автоматичного регулювання для опису динамічних властивостей лінійних ланок, які мають зосереджені, кінцеві і постійні в часі параметри. За визначенням передавальної функцією лінійного ланки $W(p)$ називається відношення миттєвих сигналів на виході $y(p)$ і на вході $x(p)$ ланки в операторній формі:

$$w(p) = \frac{y(p)}{x(p)}$$

Диференціальні рівняння завжди можна перетворити в відповідну передавальну функцію. Наведені вище диференціальні рівняння можуть бути записані в операторній формі шляхом заміни похідною d/dt символом p . Це дозволяє звести рішення диференціального рівняння до вирішення алгебраїчного, що набагато простіше. Таке перетворення широко використовується в теорії автоматичного регулювання.

Представимо рівняння інерційної ланки

$$T \frac{dx_{\text{вих}}}{dt} + x_{\text{вих}} = kx_{\text{вх}}$$

В операторній формі

$$Tpx_{\text{вих}}(p) + x_{\text{вих}}(p) = kx_{\text{вх}}(p)$$

Або

$$x_{\text{вих}}(p)(Tp + 1) = kx_{\text{вх}}(p)$$

Запишем передаточну функцію:

$$W(p) = \frac{x_{\text{вих}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)} = \frac{k}{Tp + 1}$$

де k - коефіцієнт передачі ланки; T - постійна часу ланки. В Simulink ця передатна функція має вигляд:

Для рівняння аперіодичної ланки другого порядку

$$T_2^2 \frac{d^2 x_{\text{вих}}}{dt^2} + T_1 \frac{dx_{\text{вих}}}{dt} + x_{\text{вих}} = kx_{\text{вх}}$$

операторна форма має вигляд:

$$T_2^2 p^2 x_{\text{вих}}(p) + T_1 p x_{\text{вих}}(p) + x_{\text{вих}}(p) = kx_{\text{вх}}(p)$$

Передаточна функція:

$$W(p) = \frac{x_{\text{вих}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)} = \frac{k}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}$$

Передаточні функції І-регулятора, ІІ-регулятора та ІІІ-регулятора відповідно, мають вигляд:

$$W(p) = \frac{x_{\text{вих}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)} = \frac{k_i}{p}$$

$$W(p) = \frac{x_{\text{вих}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)} = \frac{k_i + k_p p}{p}$$

$$W(p) = \frac{x_{\text{вих}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)} = \frac{k_i + k_p p + k_d p^2}{p}$$

Таким чином, будь-яку ланку можна представити у вигляді передавальної функції. У пакеті Simulink моделюється блоком передавальної характеристики Transfer Fcn (задає передавальну функцію у вигляді відношення поліномів, порядок чисельника не повинен перевищувати порядок знаменника). На рис.11 показаний приклад моделювання коливальної ланки за допомогою блоку Transfer Fcn.

При складанні і перетворенні структурної схеми САК передатні функції більш зручні, ніж диференціальні рівняння. Ланки системи регулювання можуть бути з'єднані один з одним послідовно, паралельно, ланка може бути охоплено зворотним зв'язком.

Передатня функція послідовно з'єднаних ланок дорівнює добутку передавальних функцій всіх ланок:

$$w(p) = w_1(p)w_2(p) \dots w_n(p)$$

Передатня функція паралельно з'єднаних ланок дорівнює сумі передавальних функцій ланок:

$$w(p) = w_1(p) + w_2(p) + \dots + w_n(p)$$

Передатня функція замкнутої системи (ланка зі зворотним зв'язком) визначається виразом:

$$w(p) = \frac{w(p)}{1 + w(p)}$$

Перед створенням автоматизованої гідропонної системи необхідно ознайомитися з вимогами, які можуть до неї пред'являтися, а також розглянути варіанти апаратної бази, на основі якої може бути створена така система.

2.6 Регулювання концентрації суміші рідин в апараті проточного типу

Керування прокачкою розчину та контролем рівня рН гідропонної системи. В контролері виставляється бажаний проміжок часу через який буде здійснено прокачку розчину по трубах гідропонної системи [1].

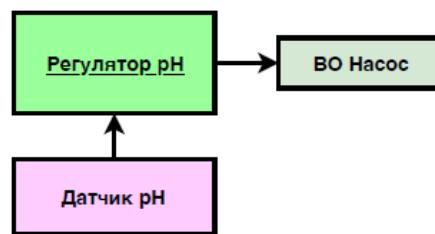


Рисунок 2.10. Структурна схема системи керування прокачкою розчину та рівнем рН

Годинник реального часу вимірює фактичний час. По проходженню заданого проміжку починається прокачка розчину по гідропонній системі.

В контролері виставляється припустимий рівень рН – назовемо його максимальним рівнем. Датчик вимірює фактичний рівень рН. Якщо він перевищує максимальний, подається сигнал на мікроконтролер. Потім контролер оброблює цей сигнал і виконує відповідні дії. В даному випадку це звуковий сигнал оператору[1].

Система автоматичного приготування поживного, складається з резервуару труб вводу виводу рідини, змішувача та системи подачі добрив. Отже задачу можна сформулювати наступним чином. «Приготувати розчин у ємності проточного типу заданої концентрації $C_{a,зд}$, шляхом перемішування двох потоків

рідини.» Об'ємні витрати і концентрації вихідних компонентів відповідно позначені $v_1, C_{a,1}, C_{a,2}$ ($v_1=1, v_2=1, V=10$). Відхилення концентрації готової суміші C_a від заданого значення виникає через збурення по навантаженню v_1 і регулюється зміною потоку v_2 . Концентрації $C_{a,1}, C_{a,2}$ постійні ($C_{a,1}=1, C_{a,2}=1$). Таким чином, розглядається система регулювання по відхиленню. Отримаємо диференціальне рівняння (або передавальний функцію) об'єкта регулювання. Складемо структурну схему моделі системи регулювання для П, І, ПІ і ПІД-регуляторів. Отримаємо криві перехідного процесу. Моделювання проведемо в пакеті Simulink.

Складемо математичний опис ланок системи регулювання. Диференціальне рівняння матеріального балансу змішувача має вигляд:

$$V \frac{dC_a}{dt} = v_1 C_{a,1} + v_2 C_{a,2} - v C_a$$

Де $v = v_1 + v_2$.

Розділимо всі члени рівняння на v і запишемо його у вигляді:

$$T \frac{dC_a(t)}{dt} + C_a(t) = k_1 v_1 + k_2 v_2$$

Де $k_1 = \frac{C_{a,1}}{v}$; $k_2 = \frac{C_{a,2}}{v}$ -коєфіцієнти підсилення змішувача $T = \frac{V}{v}$ -постійна часу змішувача

Таким чином, змішувач являє собою аперіодичну одноє'мнісну ланку. Так як відбір з ємності v повинен бути постійним, то будь-яка зміна об'ємної витрати v_1 викликає у відповідь рівний приріст потоку v_2 , тобто $v_1 = -v_2$. Моделювання проведемо за допомогою пакета Simulink із застосуванням ПІД-регулятора (датчик і виконавчий механізм включаємо в рівняння ідеального регулятора безперервної дії). Таким чином, рівняння

$$\frac{dC_a(t)}{dt} = \frac{k_1 v_1}{T} + \frac{k_2 v_2}{T} - \frac{1}{T} C_a$$

Та ПІД регулятор описують систему керування

Функція впливу, що збурює представляється у вигляді ступінчастої зміни об'ємних витрат v_1 . Вихідні дані: обсяг змішувача V ; об'ємні витрати v_1 та v_2 ; характер і параметри збурюючого впливу, $v_1(t)$; настройки регуляторів k_p , k_i , k_d ; що задають вплив на регулятор $C_{a,зд}$; початкова концентрація $C_a(0)$ в змішувачі до збурюючого впливу.

Ідеального рівня рН не існує:

Високий рівень рН сприяє поглинанню катіонів, низький рівень рН - поглинання аніонів, будь-який фіксований рівень рН - це компроміс. Зазвичай рекомендується підтримувати рівень рН в діапазоні 5.5 - 6.5. Візьмем середнє значення, отже потрібно підтримувати рН на рівні 6.

На основі кривої розгону, побудуємо передаточну характеристику системи.

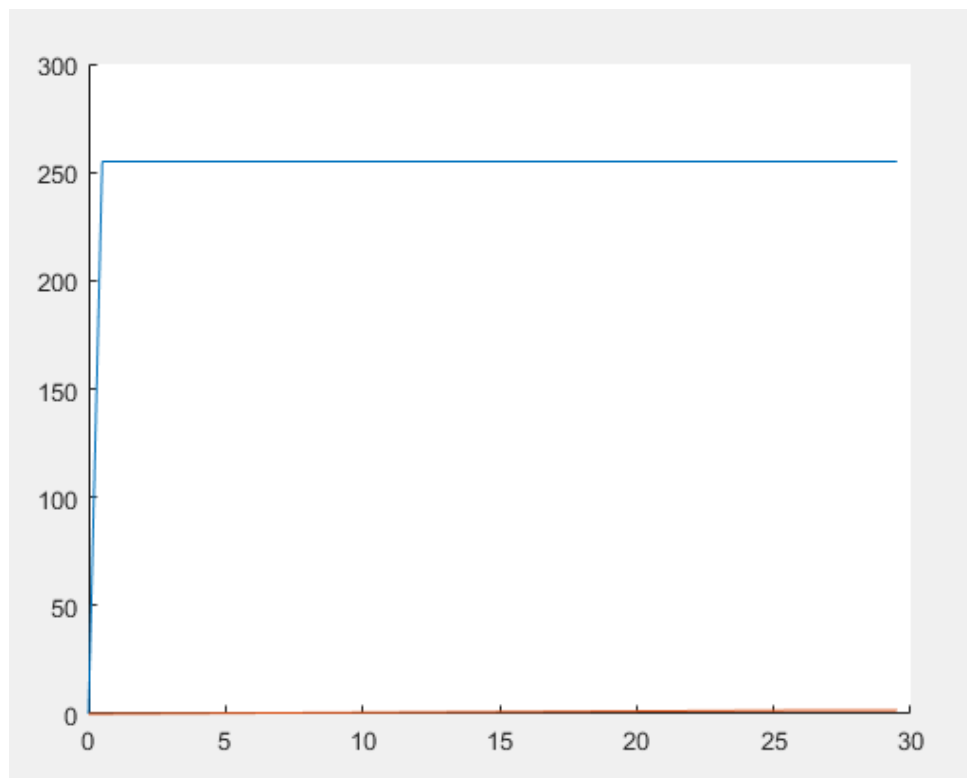


Рисунок 2.11 Графік залежності вихідної величини(рН) від вхідної

За допомогою Matlab побудуем криву розгону, та ідентифікуємо її.

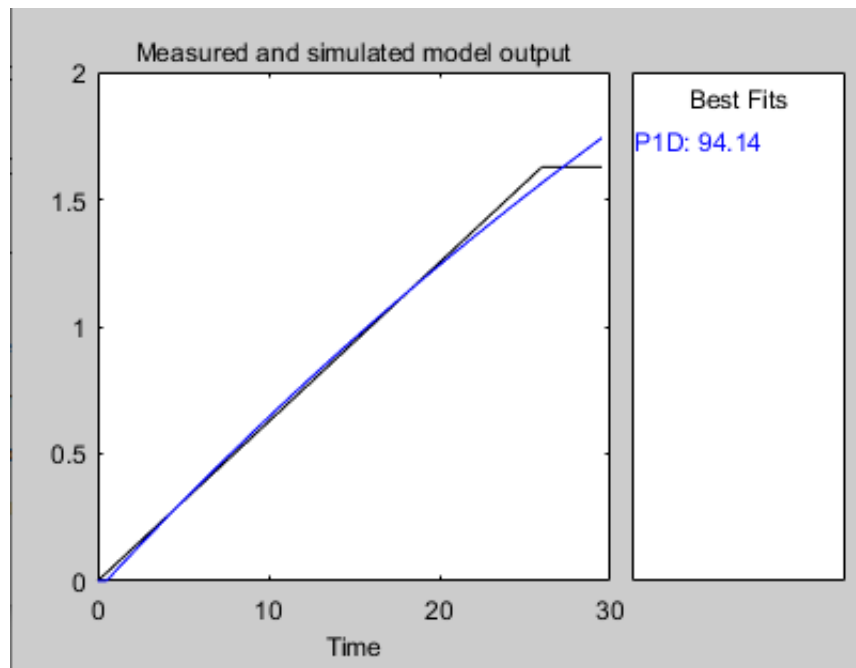


Рисунок 2.12 Крива розгону(pH)

Отриману передатну характеристику використаємо як характеристику об'єкта по контуру рівня рН.

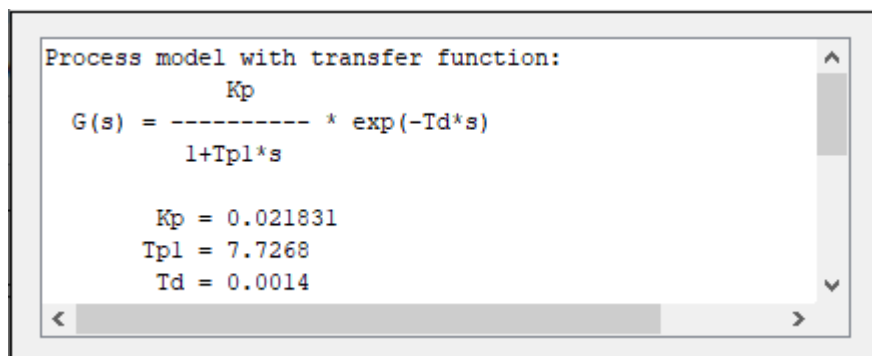


Рисунок 2.13 Перехідна характеристика об'єкта, першого порядку

В підсистемі приготування поживного розчину використовується суміш з трьох кислот, які зазвичай використовуються в гідропоніці самостійно, щоб далі використовувати переваги кожного виду, не стикаючись з їх недоліками. Азотна і фосфорна кислоти справляються зі складним завданням початкової зміни рівня рН, не впливаючи на співвідношення N/K під час росту і цвітіння, а при використанні жорсткої води на поверхні системи немає відкладень фосфору, як

це трапляється при використанні тільки фосфорної кислоти. Більш того, завдяки своїм особливим властивостям органічна лимонна кислота з плином часу буферизує зміни рівня рН і стабілізує живильний розчин, допомагаючи справитися з надлишками кальцію в жорсткій воді.

Побудуємо PID регулятор для регулювання перехідного процесу зміни концентрації розчину в системі, на рівні рН 6.

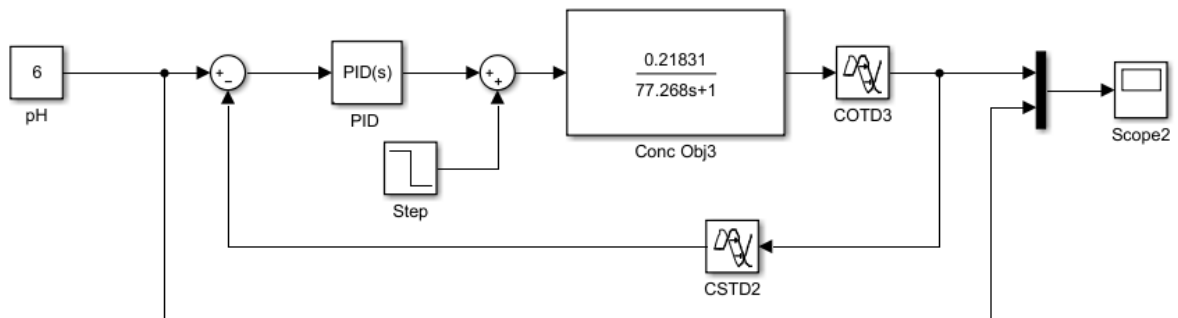


Рисунок 2.14 Контур регулювання рівня рН

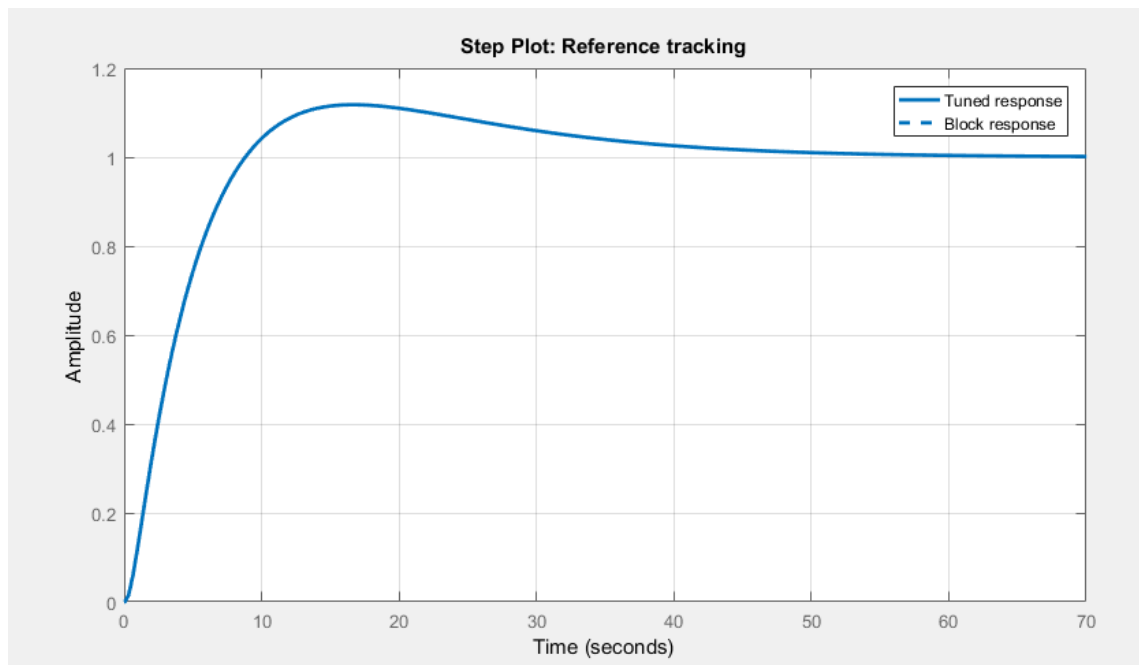


Рисунок 2.15 Графік налаштування під регулятора на найменший час перехідного процесу при мінімальному перерегулюванні

Система налаштована на мінімальний час перехідного процесу виходить на заданий рівень за 50 секунд.

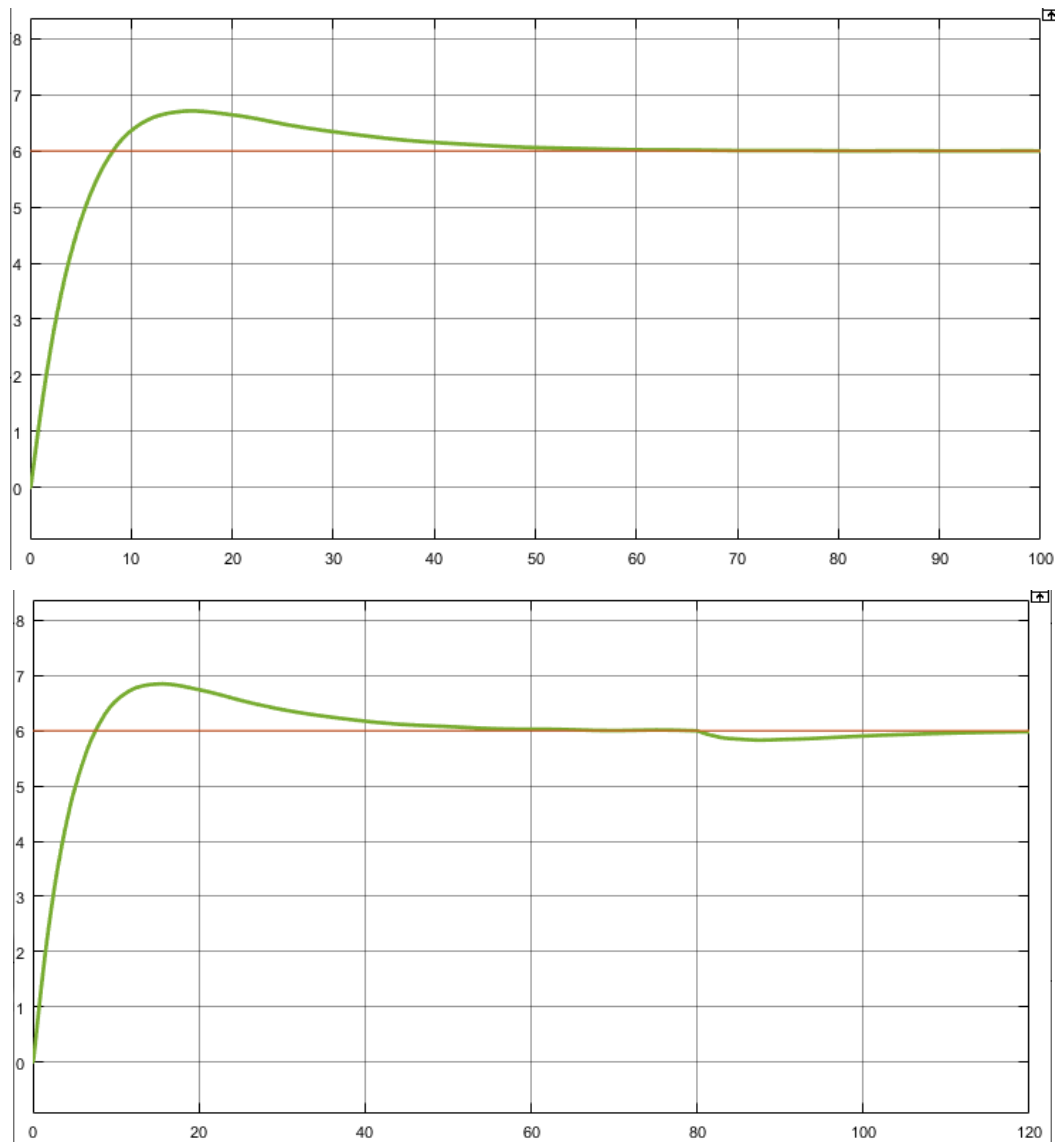


Рисунок 2.16 Графіки перехідного процесу рівня рН для даної системи

2.7 Регулювання температури середовища гідропонної системи

Керування температурою. В контролері виставляється бажана температура – назвемо її контрольною, або заданою, температурою. Температурний датчик вимірює фактичну температуру. Різницею фактичної температури і заданої

визначається величина відхилення. Потім контролер отримує цю величину для обчислення потужності, яку треба подати на виконуючий пристрій. Який являє собою нагрівач з функцією плавної зміни температури за допомогою PWM сигналу [1].

В структурному представленні системи керування температурою гідропонної системи зображено на (рис. 2.17).

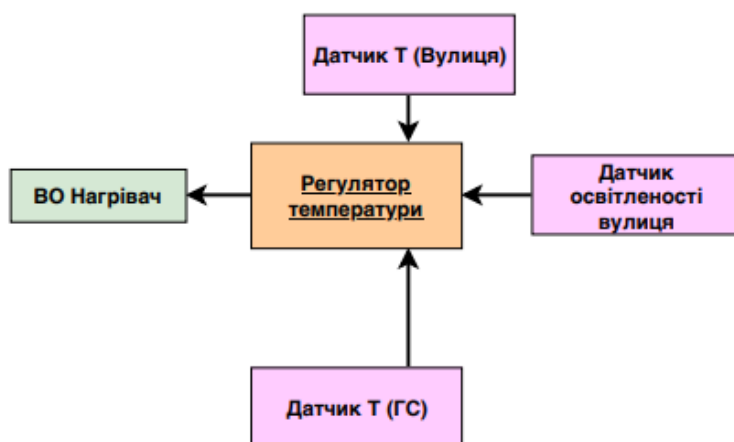


Рисунок 2.17 Структурна схема системи керування температурою

Якщо температурне відхилення має додатну величину (тобто задана температура більша за фактичну), значить в гідропонній системі достатньо холодно, щоб посилити PWM для нагрівача. Або ж, якщо фактична температура стала більшою за задану, то, в гідропонній системі достатньо жарко, щоб знову понизити PWM для нагрівача. В цій системі для реалізації системи регулювання температури шляхом плавного регулювання нагрівача використовується плата Arduino та датчик температури. Роль нагрівача середовища виконує індуктивне джерело тепла [1].

Для уставки заданого рівня температури можна подавати відповідні команди з комп'ютеру оператора, зчитувана температура також буде відображатись на цьому моніторі. Зчитувані показники температури можна копіювати та вставляти

в електронну таблицю, створюючи з її допомогою графіки, які показують якість регулювання температури [1].

На основі кривої розгону, побудуємо передаточну характеристику системи. Дана крива була досліджена на відповідність аперіодичним ланкам трьох порядків. Оскільки опис ланкою другого порядку отримав найвищий відсоток відповідності 91.96% обираємо дану ланку для опису кривої розгону.

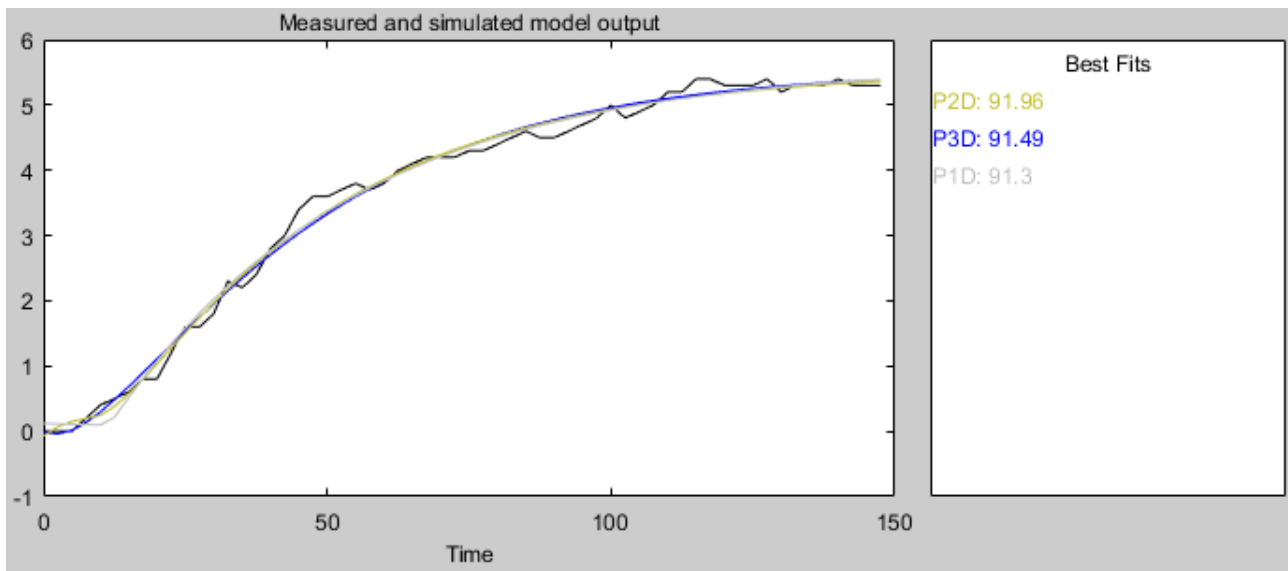


Рисунок 2.18 Опис кривої розгону трьома ланками різних порядків

Отримуємо відповідну передаточну характеристику рис 2.19

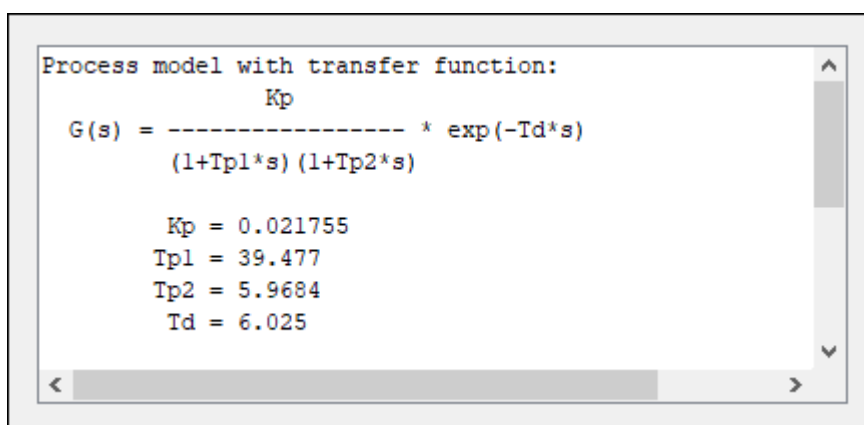


Рисунок 2.19 Передаточна характеристика об'єкта

На основі даної передаточної характеристики будуємо контур регулювання температури з PID регулятором рис 2.20

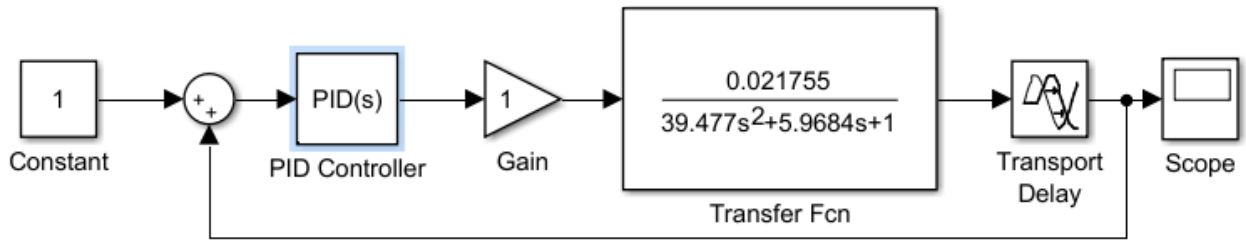


Рисунок 2.20 Контур регулювання температури

Налаштовуємо регулятор на найменший час перехідного процесу графік при мінімальному перерегулюванні рис 2.21

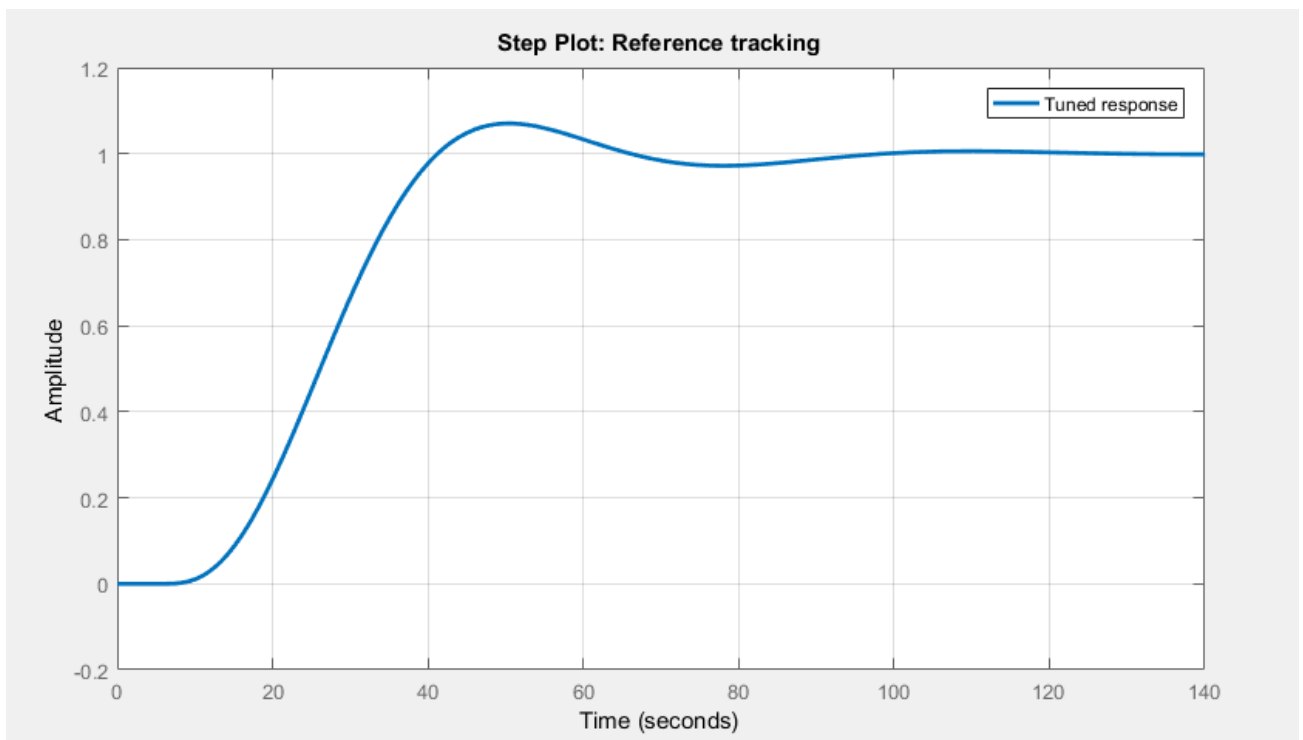


Рисунок 2.21 Налаштування регулятора на потрібні параметри

Перехідний процес системи для досягнення значення, займає 100 секунд, що задовольняє умови нашої системи рис 2.22

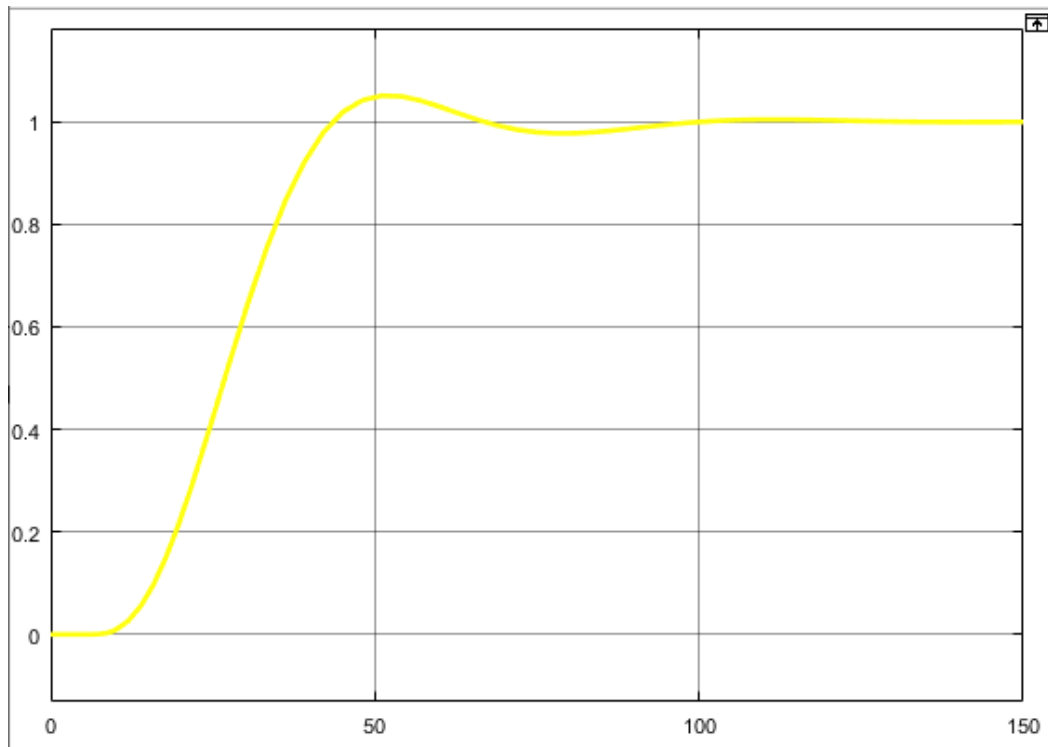


Рисунок 2.22 Перехідний процес системи регулювання температури в ГС

2.8 Регулювання вологості середовища гідропонної системи

Керування вологістю. В контролері виставляється бажана вологість – назвемо її контрольною, або заданою, вологістю. Датчик вимірює фактичну вологість. Різницею фактичної вологості і заданої визначається величина відхилення. Потім контролер отримує цю величину для обчислення потужності, яку треба подати на виконуючий пристрій. В даному випадку зволожувач повітря який працює тільки в режимі ввімкнення/вимкнення [1].

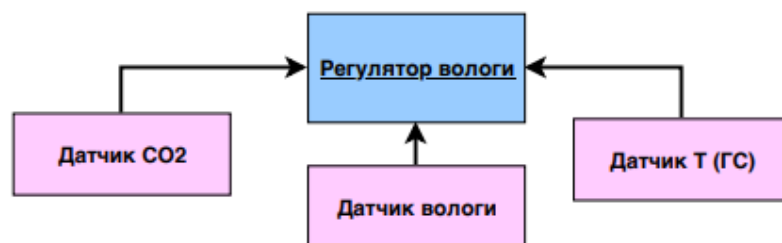


Рисунок 2.23 Структурна схема системи керування вологістю

Якщо відхилення вологості має додатну величину (тобто задана вологість більша за фактичну), значить в гідропонній системі достатньо сухо, щоб ввімкнути зволожувач повітря. Або ж, якщо фактична вологість стала більшою за задану, то, в гідропонній системі достатньо волого, щоб знову вимкнути зволожувач повітря. В даному випадку для реалізації системи регулювання вологості шляхом ввімкнення/вимкнення зволожувача повітря використовується плата Arduino та датчик вологості. Роль зволожувача середовища виконує генератор туману [1].

Для уставки заданого рівня вологості можна подавати відповідні команди з комп'ютера оператора, зчитувана вологість також буде відображатись на цьому моніторі. Зчитувані показники вологості можна копіювати та вставляти в електронну таблицю, створюючи з її допомогою графіки, які показують якість регулювання вологості [1].

На стадії росту зеленої маси і утворення квіток вологість повітря в теплиці повинна становити не менше 85%, при цьому потрібно щодня протягом 2-3 годин провітрювати теплицю, щоб не допустити розвитку грибкових та бактеріальних захворювань. Після завершення фази активного цвітіння оптимальними межами вологості повітря вважаються показники 60-70%. Дотримання норм щодо вологості дозволяє вберегти полуницю в теплиці від хвороб.

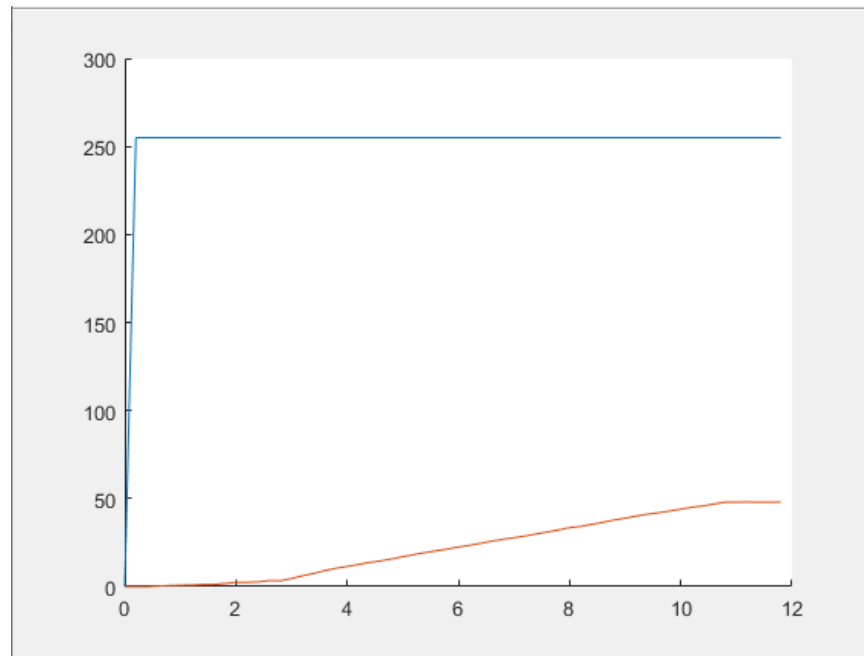


Рисунок 2.24 Залежність вихідного сигналу(вологість) від вхідного в часі

На основі кривої розгону, побудуємо передаточну характеристику системи. Дана крива була досліджена на відповідність аперіодичним ланкам двох порядків. Оскільки опис ланкою першого порядку отримав найвищий відсоток відповідності 94.74% обираємо дану ланку для опису кривої розгону.

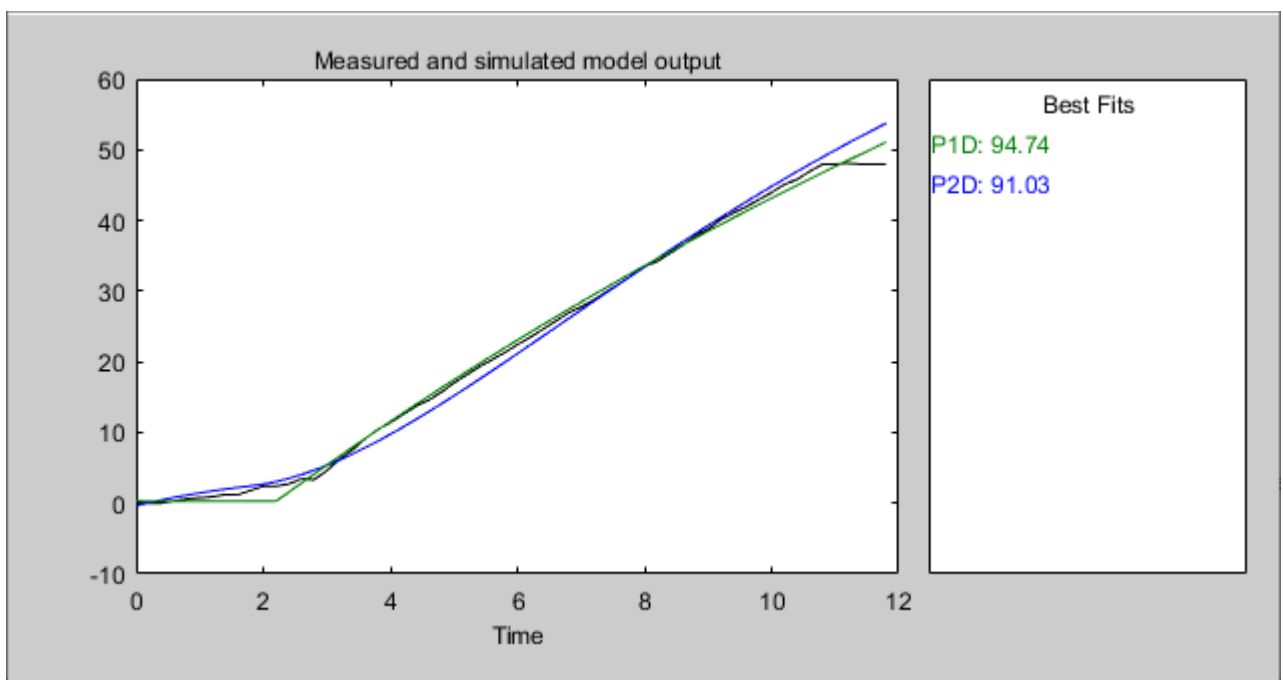


Рисунок 2.25 Опис кривої розгону двома ланками різних порядків

Отримуємо відповідну передаточну характеристику рис 2.26.

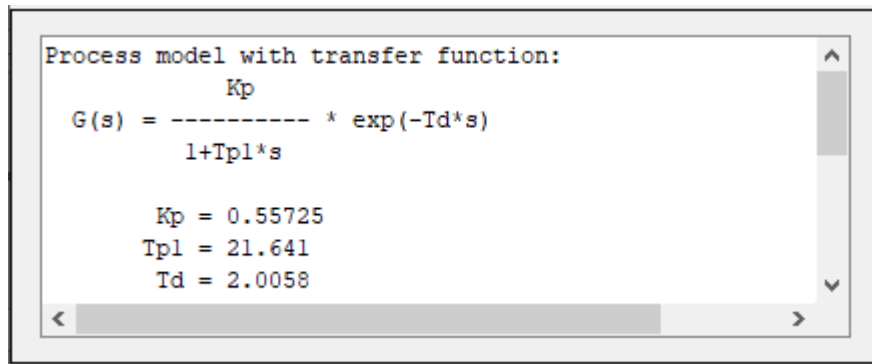


Рисунок 2.26 Передаточна характеристика системи

Для даної системи будемо регулятор який має наступні параметри рис 2.27.

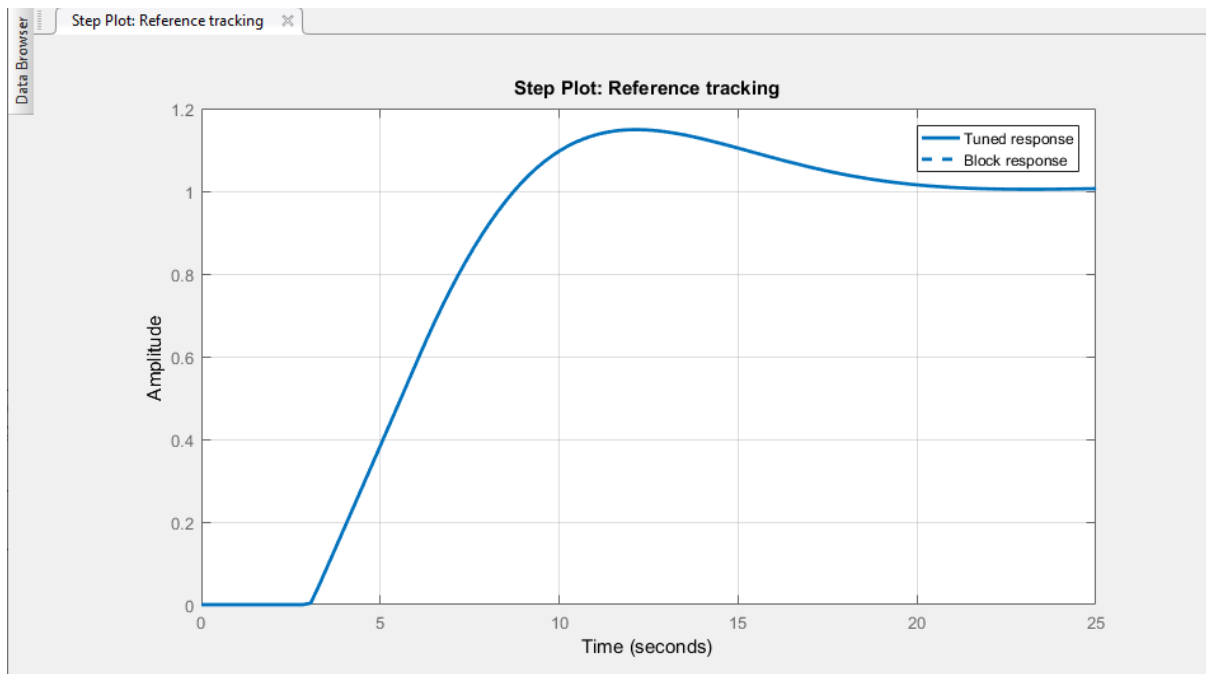


Рисунок 2.27 Параметри регулятора контуру регулювання вологи ГС

Вологість даної системи залежить не тільки від системи керування вологістю, а й від контуру регулювання температурою рис 2.28

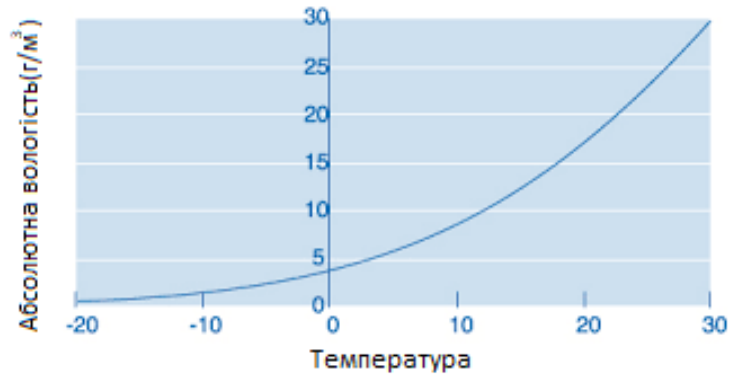


Рисунок 2.28 Залежність вологості від температури

Звідси схема контуру буде виглядати наступним чином рис 2.29.

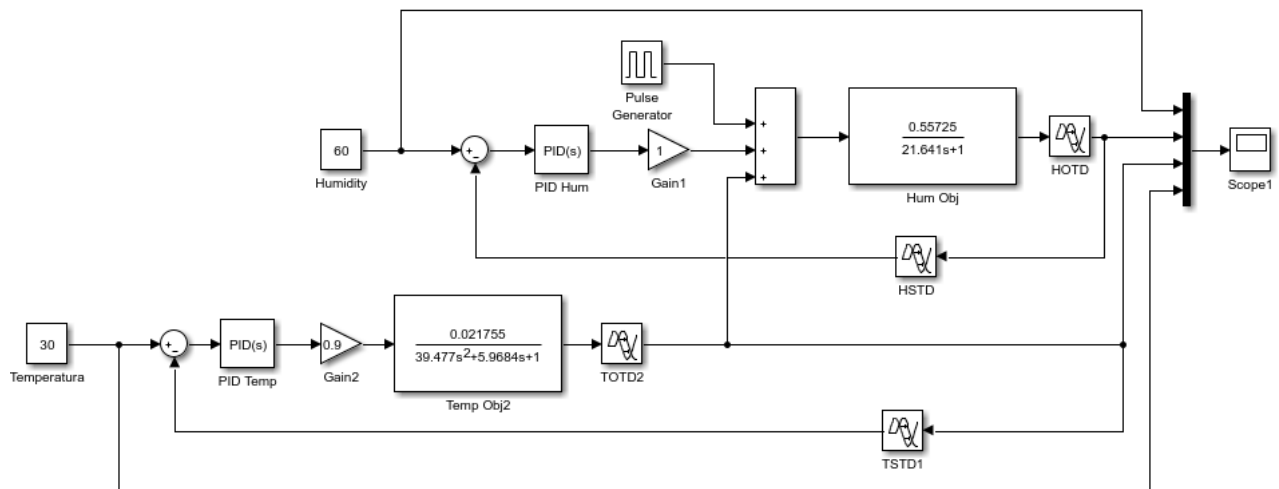


Рисунок 2.29 Схема регулювання вологості в ГС

Почавши регулювання вологи та вийшовши на потрібний рівень, з графіка рис 2.30 можна бачити, що при підвищенні температура надає збурюючий вплив на систему регулювання вологістю .

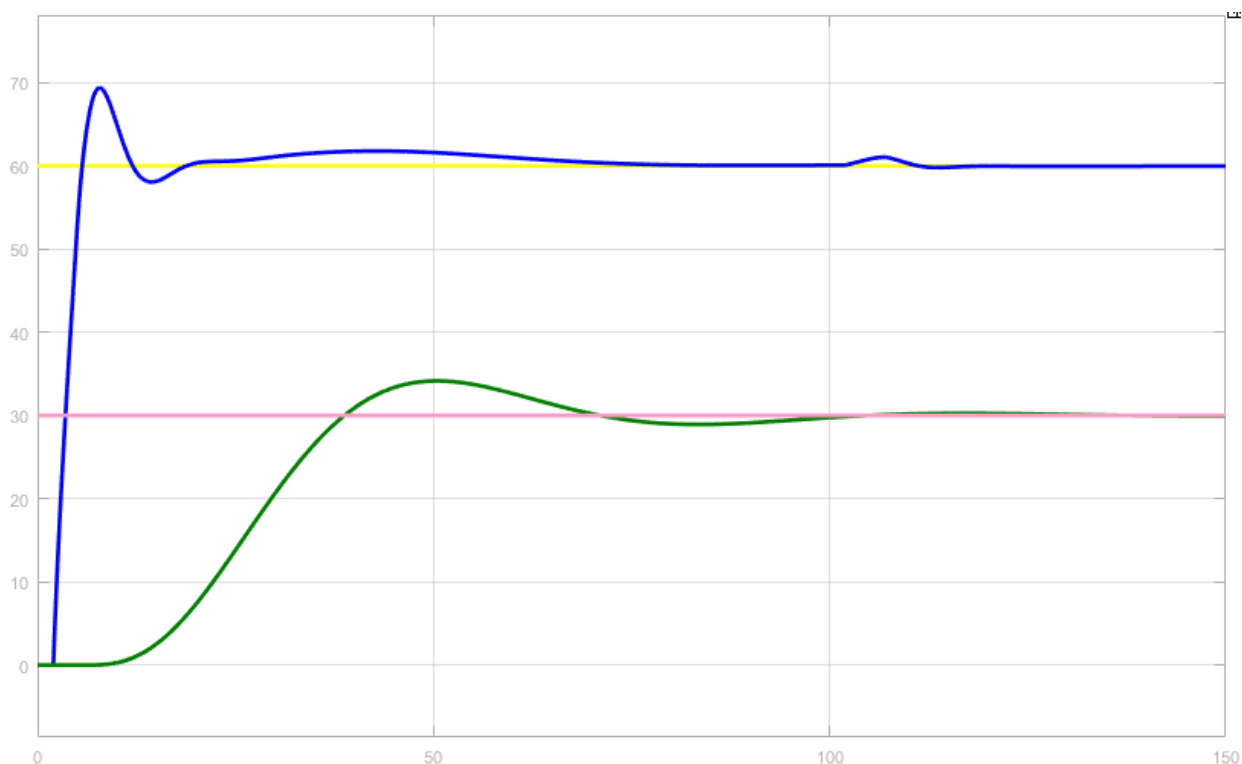


Рисунок 2.30 Графік перехідного процесу регулювання вологості, та залежність вологості від температури.

2.9 Керування освітленістю гідропонної системи

Керування освітленістю. В даний час в більшості тепличних освітлювальних систем використовуються адаптовані для рослинництва натрієві лампи високого тиску - так звані аграрні натрієві лампи. Однак у цих ламп лише третина витраченої енергії перетворюється у випромінювання, ефективно для фотосинтезу, а це означає, що виробляється також багато зайвого тепла. Згідно з дослідженнями інституту «Гіпронсельпром», для отримання оптимальної норми освітленості в теплиці для вирощування розсади, яка дорівнює 40 Вт / м , необхідно використовувати натрієву лампу потужністю мінімум 120 Вт , а для отримання норми освітленості в теплиці для вирощування на продукцію, що дорівнює 100 Вт / м - лампу потужністю мінімум 300 Вт . При фотоперіоді

вирощування розсади 14 годин і вирощування на продукцію 16 годин споживання електроенергії на 1 м складе за добу величину в кілька кВт/год [1].

Застосування світлодіодних світильників може знизити цю величину, як мінімум, в 3 рази. Крім істотно меншої споживаної потужності, світлодіоди здатні забезпечити більшу відповідність спектра випромінювання аграрному світильнику, що дозволяє знизити необхідну потужність випромінювання на одиницю площі теплиці, а отже, і потужність світильника, в результаті чого відбувається додаткове зниження споживання електроенергії та, як наслідок, скорочення витрат. Опираючись на дослідження що описані в статті [5] можна стверджувати, що при освітленні світлодіодними світильниками насіння пройшло повний цикл розвитку, тоді як при освітленні світильниками з люмінесцентними лампами вони досягли лише стадії цвітіння. Це відкриває можливість зменшення часу повного циклу розвитку рослини та збільшення кількості періодів плодоношення тільки завдяки підбору спектрального складу світлодіодного освітлення [1].

В контролері виставляється бажана освітленість – назвемо її контрольною, або заданою. Датчик вимірює фактичну освітленість. Різницею фактичної освітленості і заданої визначається величина відхилення. Потім контролер отримує цю величину для обчислення потужності, яку треба подати на виконуючий пристрій, в даному випадку (світлодіодна стрічка) який працює в режимі плавної зміни потужності [1].

Якщо відхилення освітленості має додатну величину (тобто задана освітленість більша за фактичну), значить в гідропонній системі достатньо темно, щоб збільшити потужність що подається на стрічку. Або ж, якщо фактична освітленість стала більшаю за задану, то, в гідропонній системі достатньо світло, щоб знову зменшити потужність. Також передбачена функція «сну» дня росли,

яка полягає в повному вимкненні світла (вночі) на заданий проміжок часу, який задається з комп'ютера оператора [1].

В даному випадку для реалізації системи регулювання освітленості використовується плата Arduino, датчик освітленості, та реле для регулювання потужності світлодіодної стрічки [1].

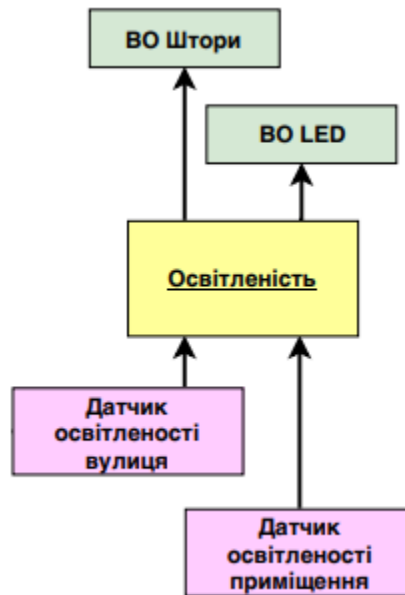


Рисунок 2.32 Структурна схема системи керування освітленням

Для уставки заданого рівня освітленості можна подавати відповідні команди з комп'ютера оператора, зчитувана інформація також буде відображатись на цьому моніторі. Зчитувані показники освітленості можна копіювати та вставляти в електронну таблицю, створюючи з її допомогою графіки, які показують якість регулювання освітленості [1].

Регулювання освітленістю є програмним не потребує побудови регулятора.

2.10 Керування рівнем CO₂ гідропонної системи

Керування рівнем CO₂ гроубоксу. В контролері виставляється бажаний рівень CO₂ – назвемо його контрольним, або заданим, рівнем. Датчик вимірює фактичний рівень CO₂. Різницею фактичного рівня і заданого визначається

величина відхилення. Потім контролер отримує цю величину для обчислення потужності сигналу, який треба подати на виконуючий пристрій (рис.2.8). Який являє собою вентилятор [1].

В структурному представленні системи керування рівнем CO₂ гідропонної системи зображено на (рис. 2.33).

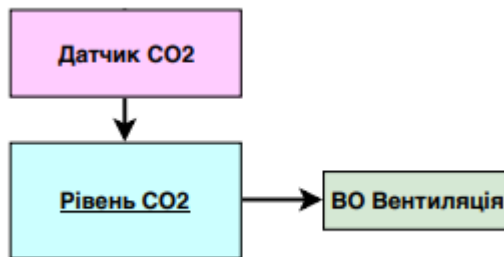


Рисунок 2.34 Структурна схема системи керування рівнем CO₂

Якщо відхилення має додатну величину (тобто заданий рівень CO₂ більший за фактичний), значить в гідропонній системі достатньо низький рівень CO₂, щоб посилити PWM для двигуна. Або ж, якщо фактичний рівень став більшим за заданий, то, в гідропонній системі достатньо високий рівень, щоб знову понизити PWM для вентилятора. В цій системі для реалізації системи регулювання рівня CO₂ шляхом плавного регулювання вентилятора використовується плата Arduino та датчик CO₂. Роль виконуючого пристрою виконує вентилятор [1].

Для уставки заданого рівня CO₂ можна подавати відповідні команди з комп'ютеру оператора, зчитуваний рівень також буде відображатись на цьому моніторі. Зчитувані показники CO₂ можна копіювати та вставляти в електронну таблицю, створюючи з її допомогою графіки, які показують якість регулювання рівня CO₂ [1].

Регулювання рівня CO₂ є програмним і не потребує побудови регулятора.

3 ОПИС ВИКОРИСТАНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН У ГІДРОПОННОМУ ГРОУБОКСІ

Після визначення та розрахунку контурів керування, на їх основі приступимо до створення системи автоматизації визначених параметрів:

1. Регулювання концентрації суміші рідин в апараті проточного типу
2. Регулювання температури середовища гідропонної системи
3. Регулювання вологості середовища гідропонної системи
4. Керування освітленістю гідропонної системи
5. Керування рівнем CO₂ гідропонної системи

3.1 Регулювання концентрації суміші рідин в апараті проточного типу

Для визначення концентрації розчину використаємо датчик Sonde Aqua TROLL 600 - це настроюваний, потужний зонд. Стійкий до ґрунтових вод та до корозії поверхневих вод, TROLL 600 Sonde надає точні дані та має високу швидкість вимірювання.



Рисунок 3.1 Датчик рН TROLL 600

Переваги: швидкість зчитування інформації, ресурс акумулятора, внутрішній журнал та статус датчика, а також інтегрований Bluetooth для бездротового

доступу до даних та вбудовану мікро SD-карту для резервного копіювання та завантаження даних. Низьке споживання електроенергії з 9+ місяців автономної роботи та вдосконалене протиобростання для захисту всіх датчиків роблять його ідеальним для складних умов та тривалого використання в прісних і солоних водах. Багатопараметричний Sonde Aqua TROLL 600 це єдиний багатопараметричний зонд, який має пасивну та активну систему проти обриву під 2 дюйми для всіх датчиків, включаючи провідність. Кожна деталь розроблена для максимальної точності та мінімальних клопотів. Цей датчик легко інтегрується з системами телеметрії для зворотного зв'язку в режимі реального часу на всіх.

Особливості:

- Конфігурація базового датчика включає оптичну RDO (технологію RDO, затверджену EPA), pH / ORP, помутніння, провідність, температуру та тиск
- Датчики поживних речовин ISE для амонію, хлориду та нітратів доступні
- Родамін WT, хлорофіл та синьо-зелені водорості - фікоціанін (BGA-PC) та фікоеритрин (BGA-PE) - датчики доступні.
- Довготривала стабільність pH: зміна pH Aqua TROLL 600 становить 0,0008 pH / день, або зміна 0,1 pH за 125 днів.
- Бездротове підключення Bluetooth до мобільного додатка VuSitu для iOS / Android або Win-Situ 5 для ПК / ноутбука
- РК-дисплей для візуальної індикації загальної функції зонду та стану акумулятора, датчика та журналу
- Внутрішня пам'ять плюс вбудована мікро SD карта для резервного копіювання та завантаження даних
- Налаштовані варіанти із поліпропілену в полі чи тефцелі для використання в суворих умовах
- Тестова конструкція з корозійно-стійким корпусом

- Відслідковується заводська калібрування NIST
- Двосторонній обмежувач діє як чаша для зберігання між розгортаннями
- Сумісний із системою малого потоку

Для забезпечення точності витрат концентрату використаємо датчик витрати рідини YF-S401



Рисунок 3.2 Датчик витрат YF-S401

Датчик витрати води складається з корпусу з ПВХ, водяного ротора та датчика ефекту Холла. Коли вода протікає через ротор, ротор обертається. Його швидкість змінюється при різних швидкостях потоку. Датчик Хол-ефекту видає відповідний імпульсний сигнал. Він підходить для визначення потоку в системах з малими витратами рідини такими як дозатор води або кавомашина. Датчик задовольняє умови, оскільки наша система ставить на меті точні виміри концентрату.

Особливості

- Компактний, простий в установці
- Високі показники герметизації
- Високоякісний датчик ефекту Холла
- сумісність із RoHS(Restriction of Hazardous Substances)

Технічні умови

- Робоча напруга: DC 5V ~ 24V
- Водостійкий 0,35 МПа

- Діапазон витрати: 1 ~ 5 л / хв
- Тиск води: $\leq 1,75$ МПа
- Температура зберігання: -25 + 80
- Вологість зберігання: 25% - 95% відносної вологості
- внутрішній діаметр: 1,2мм;

Інші особливості

- Невелика вага, невеликий, простий в установці;
- вісь з нержавіючої сталі, стійка до стирання;

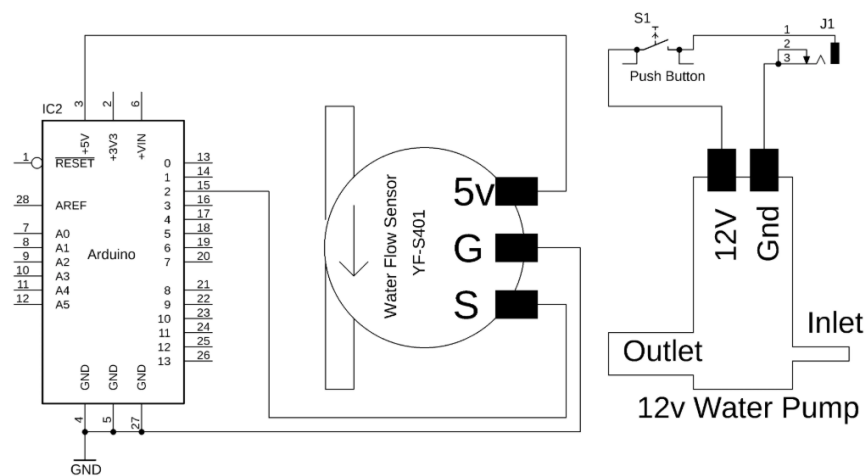


Рисунок 3.3 Електрична схема YF-S401

Подача концентрату виконується за рахунок роботи водяного насосу Flojet RLF, який має не високу швидкість подачі рідини 3,8 л / хв та достатню висоту подачі розчину 1,76 м, робоча температура 53 °С, що є достатнім для роботи в тепличних умовах.



Рисунок 3.4 Водяний насос Flojet RLF 122202

Технічні характеристики:

- Продуктивність: 3,8 л / хв
- Робочий цикл: перервний
- Мінімальний діаметр підключення: 8 мм
- Максимальна висота подачі розчину: 1,76 м
- Максимальна робоча температура: 53°C
- Двигун постійного струму
- Напруга: 12 В
- Сила струму: 2,5 А (номінальна)

3.2 Регулювання температури середовища гідропонної системи

В промислових масштабах теплиць використовуються нагрівачі повітря на кшталт рис 3.5



Рисунок 3.5 Нагрівач повітря

В умовах прототипу змодельємо даний нагрівач в зменшеному масштабі.

Для цього розробимо плату плавного керування потужністю нагрівача, за рахунок видачі PWM сигналу з мікроконтролера. Додаток Б.

В якості датчика температури використаємо цифровий термометр DS18B20 (рис 3.6), що забезпечує 9 - 12 бітний програмований АЦП. Вимірює температуру за Цельсієм і має функція тривоги з енергонезалежним програмованим пристроєм має верхню та нижню тригерні точки. DS18B20 спілкується через 1-но провідну шину, яка за визначенням вимагає лише одну лінію даних (і землю) для зв'язку з центральним мікропроцесор. Крім того, DS18B20 може вивести живлення безпосередньо з лінії передачі даних ("паразитне живлення"), виключення потреби в зовнішньому джерелі живлення.

Кожен DS18B20 має унікальний 64-розрядний серійний код, який дозволяє декільком DS18B20s функціонувати на одному і тому ж дроті автобус. Таким чином, можна використовувати один мікропроцесор для керування багатьма DS18B20, розподіленими на великій площі. До таких систем можна віднести: екологічний контроль ОБК, моніторинг температури системи всередині будівель, обладнання машин, систем моніторингу та управління процесами.

Переваги та особливості

- Унікальний інтерфейс 1-Wire вимагає лише одного порту для спілкування
- Зменшити кількість компонентів за допомогою інтегрованого Датчик температури та EEPROM
 - Вимірює температуру від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$ (Від -67°F до $+257^{\circ}\text{F}$)
 - $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ Точність від -10°C до $+85^{\circ}\text{C}$
 - Програмована роздільна здатність від 9 біт до 12 біт
 - Не потрібні зовнішні компоненти
- Спрощує розподілене регулювання температури

Програми з можливостями Multidrop

- Кожен пристрій має унікальний 64-бітний серійний код (зберігається в бортовому ПЗП)

- Гнучкі налаштування аварійних енергонезалежних (NV) налаштованих користувачем за допомогою команди пошуку тривоги ідентифікує пристрої температури поза запрограмованими межами.

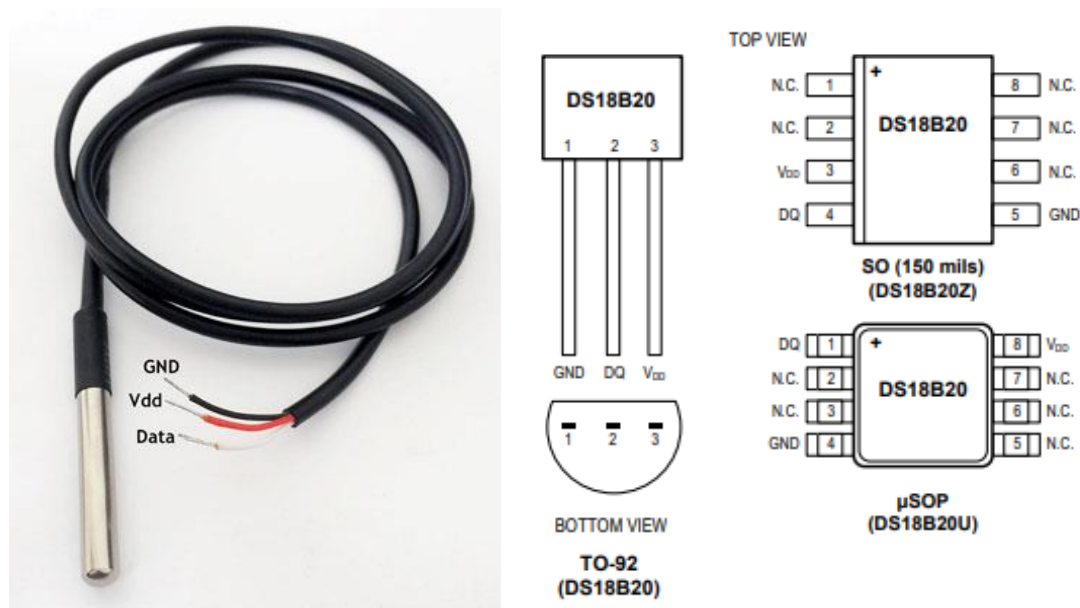


Рисунок 3.6 Датчик температури DS18B20

3.3 Регулювання вологості середовища гідропонної системи

Зворотній зв'язок контура вологи здійснюється за рахунок цифрових датчиків AM2320. Датчик складається з ємнісного елемента вологості і інтегрованих високоточних приладів для вимірювання температури, підключений до високопродуктивного мікропроцесора. Продукт має чудову якість, швидку реакцію, висока завадостійкість.

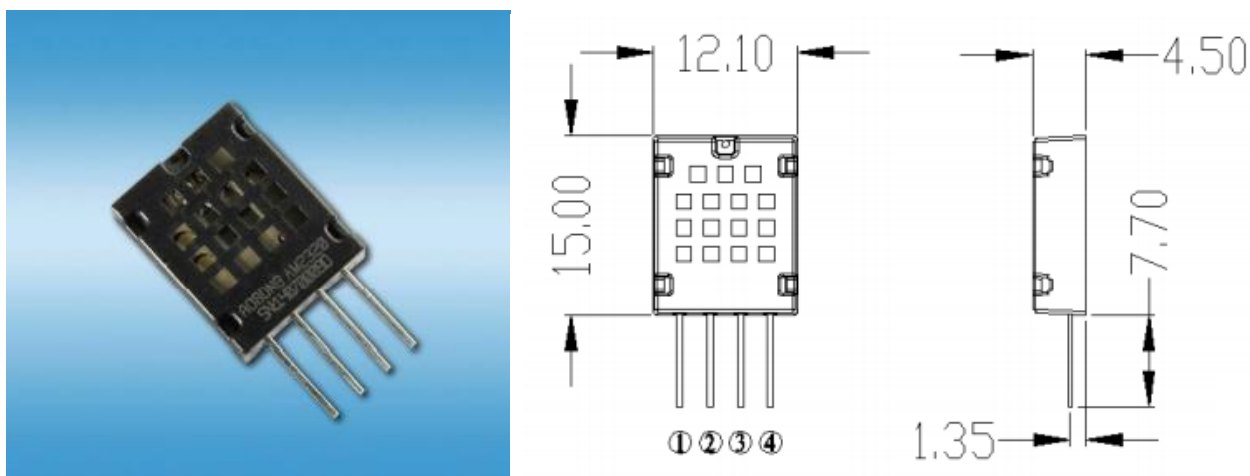


Рисунок 3.7 Цифровий датчик вологи AM2320

Зв'язок AM2320 здійснюється за допомогою однієї шини, двох режимів зв'язку стандарту I2C рис 3.8. Стандартний інтерфейс з універсальною шиною який робить системну інтеграцію легкою та швидкою.

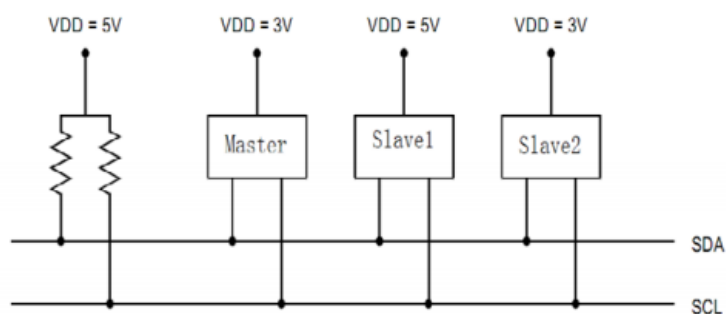


Рисунок 3.8 I2C інтерфейс

Малий розмір рис 3.7, низьке енергоспоживання, відстань передачі сигналу до 20 метрів, швидкість обробки вологості до 3 с та високу точність роблять цей датчик ідеальним для нашої системи. Два режими зв'язку використовуються як для вологості та температури, так й інша цифрова інформація безпосередньо контрольна сума CRC Вихід з компенсацією температури, користувачу не потрібно обчислювати вторинний цифровий вихід, і немає потреби в компенсації температури та вологості. Два режими спілкування вільно перемикаються, користувач може вільно вибирати, простий у використанні, широкий спектр

застосувань. 4 контакти, просте підключення, спеціальні пакети відповідно до потреб користувача.

Оскільки робочий діапазон гроубоксу лежить в межах 80 % то з рис 3.9 можна зробити висновок, що похибка вимірювань складатиме $\pm 2\%$, що є прийнятним для системи.

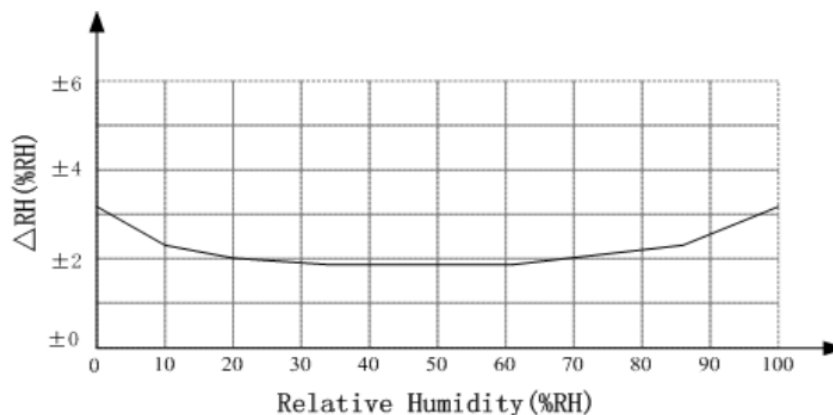
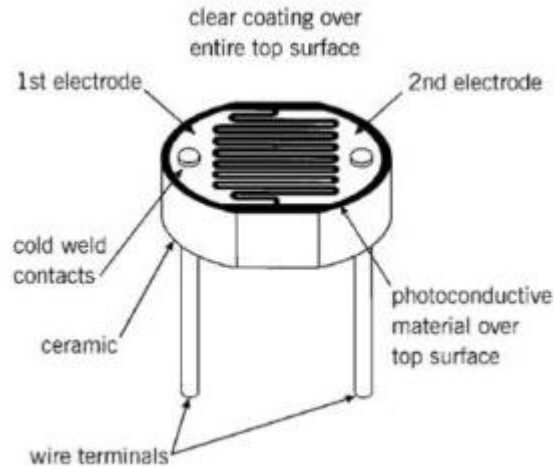


Рисунок 3.9 Похибка вимірювань в залежності від вологості середовища.

Оскільки рослини знаходяться постійно в розчині то контроль вологи здійснюється шляхом видування зайвої вологи вентиляторами.

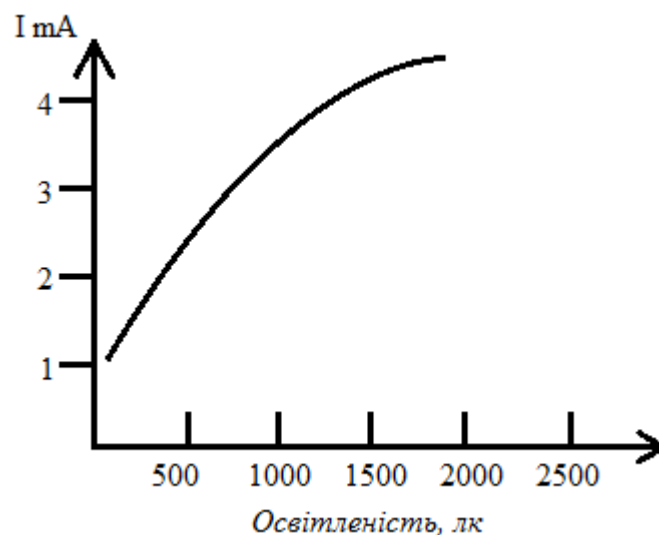
3.4 Керування освітленістю гідропонної системи

Датчик світла на основі фоторезистора використовується для вимірювання ступеня освітленості рослин у гідропонної системі. Фоторезистор (рис. 3.5) - це резистор, електричний опір якого змінюється під впливом світлових променів, що падають на світлочутливу поверхню і не залежить від прикладеної напруги, як у звичайного резистора.



Малюнок 3.10 - Модель фоторезистора

Фоторезистори найчастіше використовуються для визначення наявності чи відсутності світла або для вимірювання інтенсивності світла. У темний час доби їх опір дуже високий, іноді досягає до 1 МОм, але коли датчик потрапляє на світло, його опір різко падає, до кількох десятків Ом, залежно від інтенсивності світла. Датчик на основі фоторезисторів відрізняється від датчиків на основі фотодіодів і фототранзисторів лінійністю своєї характеристики, а також частотою роботи [1].



Малюнок 3.11 - Енергетичні (світлові) характеристики фоторезистора

3.5 Керування рівнем CO₂ гідропонної системи

Вимірювання концентрації CO₂ за рахунок застосування датчика MQ135, в якому точне калібрування може створювати дані з похибкою до 20-30 ppm. Калібрування слід проводити лише один раз для одного датчика. Датчик реагує не на один газ, а на декілька. MQ135 призначений для визначення вмісту та кількості шкідливих та небезпечних газів у повітрі, таких як NH₃, NO_x, парів спирту, бензину, диму та CO₂. CO₂ є четвертим найпоширенішим газом в атмосфері нашої планети з концентрацією близько 400 проміле (N₂, O₂ і Ar розташовані в 1-3 місцях). Всі інші гази, які виявляє датчик, набагато рідше, ніж CO₂. Це означає, що в нормальних умовах датчик в основному виявляє CO₂.

Газовий датчик на основі газоаналізатора MQ-2. Він використовує діоксид олова (SnO₂), який має низьку провідність у чистому повітрі. Коли у повітрі з'являються пари газу, газу, вуглекислого газу, спирту або диму, а їх концентрація збільшується, провідник датчика збільшується (рис. 3.12).



Малюнок 3.12 - MQ135

Датчик може використовуватися для виявлення відходів промислового газу та диму. Вихід - аналоговий сигнал, пропорційний вмісту газу, до якого прийнятний газоаналізатор.

Діапазон вимірювань:

- Пропан: 0,2 - 5 проміле
- Бутан: 0,3 - 5 проміле
- Метан: 5 - 20 проміле
- Кисень: 0,3 - 5 проміле
- Спиртові пари: 0,1 - 2 проміле

Особливості MQ-2:

- Напруга живлення нагрівача: 5 В
- Напруга живлення: 3,3-5В
- Споживаний струм: 150 мА
- Розміри: 25,4 × 25,4 мм

4 МАТЕРІАЛЬНІ ВИТРАТИ

Система автоматизації гроубоксу вимагає закупки обладнання наведеного в таблиці 4.1. В даній таблиці розглядається тільки вартість комплектуючих деталей та засобів автоматизації й не береться до уваги плата за виконану роботу. У вартість входить плата Arduino Uno, датчики для визначення параметрів клімату і засоби керування параметрами. Компоненти наведені за закупівельними цінами на них.

Таблиця 4.1

| Найменування | Кількість штук | Ціна грн./шт. |
|------------------------|-------------------|------------------|
| Arduino Uno | 1 | 630 |
| TROLL 600 | 1 | 3,450 |
| YF-S401 | 1 | 117 |
| Flojet RLF 122202 | 1 | 3500 |
| DS18B20 | 3 | 75 |
| AM2320 | 1 | 75 |
| Fotek SSR - 100DA | 1 | 150 |
| MQ135 | 1 | 90 |
| Фітосвітлодіод | 40 | 10 |
| DC 802512SM | 2 | 26 |
| Провідники та клемники | - | 200 |
| Корпус гроубоксу | - | 1000 |
| Сума | | 9729 |

Проект розробляється на перспективу, саме тому витрати на цей проект та терміни й доходи від реалізації проекту можна визначити лише з певною імовірністю. Найпростіший метод економічної оцінки економічної ефективності проекту це перевірка відповідності періоду окупності до побажань інвестора [19]. Період окупності (Payback Period) - період часу з моменту початку реалізації

проекту до моменту експлуатації об'єкта, коли доходи від експлуатації стають рівними початковим інвестиціям (Капітальні витрати і експлуатаційні витрати) [19]. Наприклад, компактна флуоресцентна лампочка може бути описана як період окупності певної кількості років або годин роботи, припускаючи певні витрати. Тут повернення інвестицій складається із зменшення експлуатаційних витрат. Хоча насамперед фінансовий термін, поняття періоду окупності періодично поширюється на інші види використання, такі як період окупності енергії (період часу, протягом якого економія енергії проекту дорівнює кількості енергії, витраченої з моменту проект проекту); ці інші терміни можуть не бути стандартизованими або широко використовуватися.

Вибір тих чи інших показників ефективності інвестицій визначається конкретними завданнями інвестиційного аналізу. Ступінь об'єктивності інвестиційного рішення багато в чому залежить від глибини і комплексності оцінки ефективності інвестицій на основі використовуваної сукупності формалізованих критеріїв. Рішення про інвестування коштів у проект має прийматися з урахуванням значення всіх перерахованих показників і інтересів всіх учасників. Важливу роль в цьому рішенні повинна відігравати також структура і розподіл в часі капіталу, що залучається для здійснення проекту, а також інші фактори, які піддаються тільки змістовному (а неформальному) обліку [1].

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

До роботи в захищеному ґрунті (теплицях) допускаються особи, які досягли віку встановленого законодавством, які пройшли медичний огляд і не мають протипоказань, інструктаж, стажування і перевірку знань з питань охорони праці.

Перед допуском до самостійної роботи робітники повинні пройти стажування протягом 2-14 змін (залежно від характеру роботи, кваліфікації працівника) під керівництвом спеціально призначеної особи [16].

Робітник, зайнятий роботою в теплицях, зобов'язаний: дотримуватися вимог з охорони праці, а також правила поведінки на території організації, в виробничих, допоміжних і побутових приміщеннях; виконувати інші обов'язки, передбачені законодавством з охорони праці; виконувати норми з охорони праці, передбачені колективним договором, угодою, трудовим договором, правилами внутрішнього трудового розпорядку, посадовими обов'язками.

Працюючі повинні виконувати тільки ту роботу, по якій пройшли інструктаж і на яку видано завдання. Передоручати свою роботу іншим особам заборонено.

При проведенні робіт в захищеному ґрунті необхідно враховувати наступні небезпечні виробничі фактори: фізичні - підвищена (до 100%) вологість повітря і недостатня його рухливість, рухомі машини і механізми, незахищені рухомі частини виробничого обладнання, висока (понад + 45 ° C) температура поверхонь технологічного обладнання, знижена (менше + 10 ° C) і підвищена (більше + 25 ° C) температура повітря, падаюче і розбите скло, різка зміна барометричного тиску, підвищений рівень шуму на робочому місці, підвищені яскравість світла і рівень ультрафіолетової радіації при штучному опроміненні та досвечіванні рослин; хімічні - пестициди, мінеральні добрива та продукти їх розпаду в повітрі та ґрунті, на рослинах, обладнанні і будівельних конструкціях; підвищена загазованість повітряного середовища при роботі двигунів внутрішнього згоряння і в процесі підживлення рослин вуглекислим газом; біологічні - мікроорганізми (бактерії, віруси, гриби) і комахи, вплив яких на працівників здатне викликати захворювання; психофізіологічні - фізичні та нервово-психічні перевантаження.

При проведенні робіт в захищеному ґрунті робочі зобов'язані: дотримуватися технологічні регламенти, режими праці, порядок обслуговування устаткування; пройти навчання та дотримуватися вимог професійної відповідності при допуск до виконання виробничих операцій, автоматизації та механізації виробничих процесів, застосування пристроїв дистанційного контролю і управління; усунення безпосереднього контакту працівників з шкідливими речовинами і впливу на працівника небезпечних факторів.

Робочий повинен використовувати і правильно застосовувати надані йому в організації засоби індивідуального захисту (далі - ЗІЗ). Спецодяг, спецвзуття та інші ЗІЗ видаються працівникам згідно з чинними нормами і відповідно до виконуваної ними роботою:

- костюм х / б - 12 місяців
- чоботи кирзові - 12 місяців
- рукавиці комбіновані - до зносу
- окуляри захисні - до зносу
- На зовнішніх роботах взимку додатково:
- брюки х / б на утеплювальній прокладці Тн - 36 місяців
- куртка х / б на утеплювальній прокладці Тн - 36 місяців
- валяне взуття Тн 20 - 48 місяців
- калоші на валяне взуття - 24 місяці

У разі ненадання працівникові ЗІЗ, що безпосередньо забезпечують безпеку при реальній загрозі здоров'ю або життю працівника (оточуючих), він має право відмовитися від виконання роботи до усунення зазначених порушень.

Не допускається перебування працюючих в стані алкогольного сп'яніння або у стані, викликаному вживанням наркотичних засобів, психотропних або токсичних речовин, а також розпивання спиртних напоїв, вживання наркотичних засобів, психотропних або токсичних речовин на робочому місці або в робочий час.

Палити дозволяється тільки в спеціально відведених і обладнаних для цього місцях.

Працівник зобов'язаний: дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку, режим праці та відпочинку, трудову дисципліну (відпочивати і приймати їжу допускається тільки в спеціально обладнаних для цього місцях); в разі відсутності ЗІЗ негайно повідомити про це безпосереднього керівника; знати і виконувати вимоги з охорони праці та пожежної безпеки, підтримувати протипожежний режим на території організації; знати схему евакуації і порядок дій при пожежі, властивості пожежонебезпечних речовин і способи їх гасіння; знати місця знаходження засобів пожежогасіння та оповіщення про пожежу, підступи до них містити вільними і вміти ними користуватися; знати правила і мати практичні навички надання першої (долікарської) допомоги потерпілим при нещасних випадках і прийоми звільнення від дії електричного струму осіб, які потрапили під напругу; сповіщати свого безпосереднього керівника, а при його відсутності – вище стояча посадова особа про порушення правил експлуатації, технічної безпеки; несправності споруд, пристроїв; будь-якій ситуації, яка загрожує життю і здоров'ю людей; кожний нещасний випадок, що стався на виробництві; помічені несправності обладнання, інструменту, пристосувань і ЗІЗ; про погіршення свого здоров'я, в т.ч. про прояв ознак гострого захворювання.

Приступати до роботи слід тільки після усунення всіх недоліків; виконувати роботу на справному обладнанні, користуватися справними інструментами і пристосуваннями і лише за прямим призначенням; знати конструкцію і дотримуватись вимог технічної експлуатації застосовуваного інструмента; знати і дотримуватися правил санітарної та особистої гігієни: перед прийомом їжі, в перервах мити руки водою з милом, не використовувати для цих цілей легкозаймисті та горючі рідини (бензин, гас, ацетон та ін.); застосовувати інструмент і пристосування, що відповідають вимогам безпеки і виконуваної роботи.

Робочий інструмент слід зберігати в спеціальній сумці (ящику). Для забезпечення безпеки при перенесенні або перевезенні інструмента його гострі частини повинні бути захищені; засоби малої механізації, технологічне оснащення, машини і механізми використовувати за призначенням, з дотриманням заходів

безпеки. У випадках неможливості застосування засобів механізації при підйомі вантажів і їх переміщенні вручну допускається максимальне навантаження 50 кг. Вантаж масою понад 50 кг повинні піднімати і переміщати не менше 2 працівників чоловічої статі; утримувати робоче місце в чистоті і порядку відповідно до вимог охорони праці.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізувавши існуючі системи вирощування рослин, було обрано систему “Nutrient film technique”. Дана система володіє значною кількістю переваг, які описані у відповідному пункті роботи. На основі даної системи сформульовано критерій керування за параметром точність регулювання.

2. Проведено ідентифікацію об’єкта автоматизації, на основі чого створено математичні моделі, у програмному забезпеченні Matlab. Визначено контури підпорядкованого регулювання – залежність вологи від температури.

3. За допомогою Matlab, визначено тип та параметри регуляторів з урахуванням підпорядкованого регулювання, що наведені у відповідних підрозділах роботи .

4. Обрано апаратна базу гроубоксу, з урахуванням подальшої можливості масштабування системи до розмірів промислової теплиці. Технології на зразок One-Wire, у контурі керування температури, дозволяють виконувати модернізації, що не впливають на інші частини системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Осадчий С.О. – Система автоматизованого керування процесом гідропонного вирощування рослин – Суми, 2018 – 54 с.
2. Програма переддипломної практики для студентів спеціальності 8.05020101 «Комп'ютеризовані системи управління та автоматика» / укладачі : І. В. Щокотова, О. Ю. Журавльов. – Суми : Сумський державний університет, 2016. – 33 с.
3. Гіль Л.С., Пашковський А.І., Суліма Л.Т. - Сучасне овочівництво в приміщенні та на відкритому повітрі. Практичний посібник. - Житомир: Рута, 2012. - 468 с. ISBN 978-617-581-053-8.
4. William Texier. Hydroponics for all. All About Home Gardening: HydroScope, 2013. - 296 p. - ISBN 978-2-84594-089-5. Bentley M.
5. Industrial hydroponics. - М .: Kolos Publishing House, 1965. - 819 p. Gunter Anderson. Cacti in our house. - М .: Interbuk-Business, 2008. - 160 p. - ISBN 5-89164-009-0.
6. "Using LED Lights for Greenhouse Lighting: Reality and Perspectives" STA - PRESS, 2015
7. Maxwell Bentley Commercial hydroponics 1959 English translation by T.L. Chebanov 1965.
8. Gaurav Sablok - Plant Metallomics and Functional Omics – Sprinter, University of Technology Sydney Australia 2019.
9. Jack W. Lewis - Feedback Control Systems Demystified - Surber Press; 1.1 edition 409pg. (March 29, 2014)
10. Anand Udupa - Zen of Analog Circuit Design 156 pg - 2015
11. "Commercial Aeroponics: The Grow Anywhere Story". In Vitro Report. Research News. The Society for In Vitro Biology. 44 (2). 2008. Режим доступу до ресурсу: <https://www.wikizero.com/en/Hydroponics>

12. Датчик вологи DHT 22 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>
13. Датчик якості повітря\CO2 MQ135 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/SNS_MQ135/resources/SNS-MQ135.pdf
14. Датчик температури DS18B20 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
15. Фітосвітлодіоди для вирощування рослин [Електронний ресурс] –Режим доступу до ресурсу: <http://www.symmetron.ua/News/news:n02092015>
16. Правила охорони праці під час виконання робіт в захищеному ґрунті [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://dnaop.com/html/32105/doc-p-r-a-v-i-l-aohoroni-praci-pid-chas-vikonannyarobit-v-zahishhenomu-grunti>
17. Гроубокс [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%80%D0%BE%D1%83%D0%B1%D0%BE%D0%BA%D1%81>
18. Федоров Ю.Н. - Порядок создания, модернизации и сопровождения АСУТП, 234с – 2015г
19. Термін окупності інвестицій [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:http://om.net.ua/4/4_3/4_33139_srok-okupaemosti-investitsiy-Rayback-Period-PP.html
20. Підбір комплектуючих деталей [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://prom.ua.html>