

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

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

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

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Інтелектуальне керування розподіленими зрошувальними системами

Виконав: студент 2 курсу, групи 201-пМЕ2
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Думініка Д.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник Леві Л.І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Галай В.М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи «Інтелектуальне керування розподіленими зрошувальними системами»

Робота містить 64 сторінки, 36 ілюстрацій, 14 використаних джерел.

Ключові слова: інтелектуальне керування, розподілені зрошувальні системи, система автоматичного керування, функціональна схема автоматизації, автоматизована системи управління технологічним процесом.

Предметом дослідження є процеси, методи та технології інтелектуального керування зрошувальними системами, що функціонують у розподіленому середовищі з використанням сенсорних мереж, алгоритмів обробки даних та автоматизованого прийняття рішень.

Об'єктом дослідження є сама розподілена зрошувальна система та її керування. Зокрема, це включає інфраструктуру системи зрошення – трубопроводи, насосні станції, резервуари для води та інші технічні компоненти; системи моніторингу та сенсори – датчики вологості ґрунту, кліматичні станції, технології дистанційного контролю; моделі та алгоритми керування – математичне моделювання для оптимізації роботи системи.

Метою дипломної роботи є розробка підходів до синтезу інтелектуальних систем керування розподіленими зрошувальними системами, що забезпечують оптимізацію процесів зрошення для підвищення ефективності та раціонального використання ресурсів.

У процесі виконання дипломної роботи була вирішена поставлена задача інтелектуального керування розподіленими зрошувальними системами. Для цього було виконано наступні завдання: проведено аналіз технологічного процесу зрошення як об'єкту керування; проведено моделювання процесів вимірювання вологості ґрунту в задачах керування розподіленими зрошувальними системами; розроблено систему автоматичного керування для забезпечення необхідних параметрів вирощування рослин у гроубоксі.

Результати досліджень, які містяться в даній дипломній роботі, можуть бути застосовані при модернізації сучасних розподілених зрошувальних системам.

ABSTRACT

of the qualification work "Intelligent control of distributed irrigation systems"

The work contains 64 pages, 36 illustrations, and 14 sources used.

Keywords: intelligent control, distributed irrigation systems, automatic control system, functional automation scheme, automated process control system.

The subject of research is processes, methods and technologies for intelligent control of irrigation systems operating in a distributed environment using sensor networks, data processing algorithms and automated decision-making.

The object of research is the distributed irrigation system itself and its control. In particular, this includes the infrastructure of the irrigation system - pipelines, pumping stations, water tanks and other technical components; monitoring systems and sensors - soil moisture sensors, climate stations, remote control technologies; control models and algorithms - mathematical modeling to optimize the system's operation.

The purpose of the thesis is to develop approaches to the synthesis of intelligent control systems for distributed irrigation systems that provide optimization of irrigation processes to increase efficiency and rational use of resources.

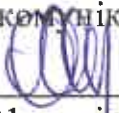
In the process of completing the thesis, the task of intelligent control of distributed irrigation systems was solved. To this end, the following tasks were performed: an analysis of the technological process of irrigation as a control object was performed; modeling of soil moisture measurement processes in the tasks of controlling distributed irrigation systems was performed; an automatic control system was developed to ensure the necessary parameters of plant cultivation in a grow box.

The research results contained in this thesis can be applied in the modernization of modern distributed irrigation systems.

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
автоматики, електроніки та
телекомунікацій


О.В. Шефер
«01» квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ

Думініці Дмитру Сергійовичу

1. Тема роботи «Інтелектуальне керування розподіленими зрошувальними системами»

керівник роботи Леві Леонід Ісаакович, д.т.н., професор
затверджена наказом вищого навчального закладу від 03.03.2025 року
№ 306/1 – ф, а.

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 10.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Агротехнічна документація на вирощування сільськогосподарських культур у гроубоксах. Апаратура та методики для визначення відносної вологості. Основні технічні параметри та характеристики приладів для визначення відносної вологості. Моделі пристроїв для вимірювання вологості ґрунту.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз технологічного процесу зрошення як об'єкту керування. Моделювання процесів вимірювання вологості ґрунту в задачах керування розподіленими зрошувальними системами. Розробка системи автоматичного керування для забезпечення необхідних параметрів вирощування рослин у гроубоксі.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):

- 1) основні характеристики роботи;
- 2) завдання дослідження;
- 3) величини, що характеризують вміст вологи в ґрунті;

- 4) узагальнена структурна схема приладу вимірювання вологості ґрунту;
- 5) залежність питомого опору ґрунту від вологості;
- 6) методи вимірювання вологості;
- 7) системи автоматичного керування для забезпечення необхідних параметрів для вирощування рослин у гроубоксі;
- 8) апаратні засоби САК;
- 9) висновки.

6. Дата видачі завдання 01.04.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
		Дата	Квартал	Відсоток	
1	Аналіз технологічного процесу зрошення як об'єкту керування. Постановка задач на кваліфікаційну роботу	22.04.25	I	20%	Пл. 1, 2
2	Моделювання процесів вимірювання вологості ґрунту в задачах керування розподіленими зрошувальними системами	08.05.25		40%	Пл. 3, 4
3	Розробка схеми системи автоматичного керування для забезпечення необхідних параметрів вирощування рослин у гроубоксі	22.05.25	II	60%	Пл. 5, 6
4	Вибір технічних засобів для побудови системи автоматичного керування для забезпечення необхідних параметрів вирощування рослин у гроубоксі	30.05.25		80 %	Пл. 7, 8
5	Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра	10.06.25	III	100%	Пл. 9, 10

Студент

(підпис)

Думініка Д.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Лєві Л.І.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗРОШЕННЯ ЯК ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ	9
1.1. Основні технічні параметри та характеристики приладів для визначення відносної вологості	9
1.2. Апаратура та методики для визначення відносної вологості	10
1.3. Висновки	24
РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ГРУНТУ В ЗАДАЧАХ КЕРУВАННЯ РОЗПОДІЛЕНИМИ ЗРОШУВАЛЬНИМИ СИСТЕМАМИ	25
2.1. Моделювання пристроїв для вимірювання вологості ґрунту	25
2.2. Аналіз підходів та методів для визначення вологості ґрунту	28
2.3. Висновки	40
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕОБХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН У ГРОУБОКСІ	41
3.1. Формулювання завдання розробки системи автоматичного контролю параметрів для вирощування рослин у гроубоксі	41
3.2. Регулювання концентрації суміші рідин в апараті проточного типу ..	43
3.3. Регулювання температури середовища гідропонної системи	48
3.4. Регулювання вологості середовища гідропонної системи	53
3.5. Керування освітленістю гідропонної системи	57
3.6. Керування рівнем CO ₂ в гідропонній системі	59
3.7. Висновки	60
ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	63
ДОДАТОК А. SECTION 1. ANALYSIS OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF IRRIGATION AS A CONTROL OBJECT	65
ДОДАТОК Б. ГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА	76

ВСТУП

Сучасне вирощування плодоовочевої продукції неможливе без автоматизованих апаратно-програмних засобів для контролю параметрів мікроклімату та управління обладнанням. Одним із ключових методів підвищення ефективності виробництва є створення оптимальних умов вологості та інших важливих параметрів вирощування сільськогосподарських культур. Раціональне управління мікрокліматом сприяє скороченню термінів вирощування та покращенню якості продукції.

Актуальність обраної теми зумовлена тим, що автоматизація процесів підтримання оптимального рівня вологості для сільськогосподарських культур є одним із найперспективніших напрямків у сфері інженерії та науки. Особливо це актуально для України, яка є світовим і європейським лідером у виробництві зернових і плодоовочевих культур. Без використання сучасних апаратно-програмних систем автоматизації ефективний контроль вологості та управління технологічним обладнанням стає майже неможливим. Створення оптимальних умов вологості є ключовим фактором для підвищення ефективності вирощування плодоовочевої продукції.

Предметом дослідження є процеси, методи та технології інтелектуального керування зрошувальними системами, що функціонують у розподіленому середовищі з використанням сенсорних мереж, алгоритмів обробки даних та автоматизованого прийняття рішень.

Об'єктом дослідження є сама розподілена зрошувальна система та її керування. Зокрема, це включає інфраструктуру системи зрошення – трубопроводи, насосні станції, резервуари для води та інші технічні компоненти; системи моніторингу та сенсори – датчики вологості ґрунту, кліматичні станції, технології дистанційного контролю; моделі та алгоритми керування – математичне моделювання для оптимізації роботи системи.

Метою дипломної роботи є розробка підходів до синтезу інтелектуальних систем керування розподіленими зрошувальними системами,

що забезпечують оптимізацію процесів зрошення для підвищення ефективності та раціонального використання ресурсів.

Для досягнення мети дипломної роботи необхідно вирішити такі **завдання:**

- провести аналіз технологічного процесу зрошення як об'єкту керування;
- провести моделювання процесів вимірювання вологості ґрунту в задачах керування розподіленими зрошувальними системами;
- розробити систему автоматичного керування для забезпечення необхідних параметрів вирощування рослин у гроубоксі.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗРОШЕННЯ ЯК ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ

1.1 Основні технічні параметри та характеристики приладів для визначення відносної вологості

Найважливішими технічними параметрами для датчиків вологості, незалежно від сфери застосування, є точність, відтворюваність, сумісність, довготривала нестабільність, здатність до регенерації конденсату та стійкість до хімічних і фізичних забруднень. Також часто необхідно забезпечити енергонезалежність (або низьке енергоспоживання) інтегрованої конструкції приладів для вимірювання вологості і малі лінійні розміри для інтеграції в різноманітне обладнання і розміщення в герметичних упаковках з продуктами і виробами, які потребують контролю кліматичних умов під час зберігання, транспортування і використання. Для всіх видів датчиків вологості слід ввести кілька наріжних параметрів і понять.

Чутливість - це результат ділення вихідного сигналу (зміна частоти або ємності) на зовнішній вплив (відносна вологість). Вона визначає діапазон зовнішніх впливів.

Гістерезис - це властивість, яка визначає різницю між значенням вихідної величини (частота, ємність) для однакової вхідної величини, виміряних за умов підвищеної та зниженої вологості.

Нелінійність - це бажана величина в певних математичних рівняннях, яка містить один або кілька степенів або коефіцієнтів, що залежать від властивостей середовища. Нелінійність можна визначити методом незалежної лінеаризації (найкращий метод лінеаризації). Він полягає у знаходженні прямої, що проходить через середину двох паралельних прямих, які максимально наближені одна до одної і охоплюють всі вихідні значення реальної передавальної функції.

Довгострокова нестабільність – це властивість, яка визначається станом системи, що характеризується неоднорідністю та змінами в часі. Довготривалий дрейф параметрів можна виміряти за досить довгі проміжки часу - від місяців до років. Швидкість старіння залежить від умов зберігання та експлуатації, ступеня ізоляції чутливого елемента від навколишнього середовища та матеріалів, з яких він виготовлений. Сильне старіння характерне для сенсорів з органічними компонентами і менш виражене для сенсорів з неорганічних компонентів. Довгострокова нестабільність виражається у відсотках відносної вологості за рік.

Температурний коефіцієнт - це відношення зміни заданого значення, до різниці температур. Він визначається відхиленням вихідного сигналу в діапазоні робочих температур. Для цього вихідні характеристики (наприклад, частота і ємність) вимірюються з кроком 10°C як функція вологості в усьому діапазоні робочих температур.

1.2 Апаратура та методики для визначення відносної вологості

Ємнісні датчики вологості широкого використовуються у сучасному устаткуванні та побутових приладах завдяки оптимальному поєднанню певних властивостей. Такі датчики виробляються у достатній кількості з використанням технологій мікроелектроніки. Зовнішній вигляд ємнісного сорбційного датчика вологості наведено на рис. 1.1

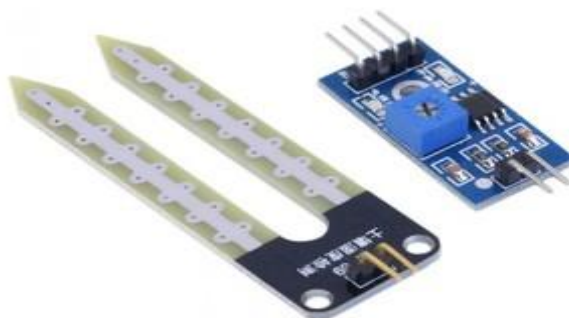


Рис. 1.1 - Ємнісний сорбційний датчик вологості

Теоретично, ємнісний датчик вологості - це конденсатор, де зміни вологості призводять до зміни його здатності. Це гарантується зміною діелектричної проникності матеріалу між кришками конденсатора. Використовуються полімерні матеріали та матеріали, отримані з оксидів металів. Діелектрична проникність води становить 81, а більшість матеріалів мають проникність одиниці, лише кілька речовин виявляють проникність у тисячах і навіть десятки тисяч. Ємність ємності може або збільшуватися, або зменшуватися залежно від використаного матеріалу, оскільки на нього впливає сорбція вологи. Вони складаються з підкладки, на якій розташований тонкоплівковий шар поверх двох провідних електродів, нанесених на поверхню підкладки. Електроди зазвичай виконуються з алюмінію, золота або нікелю. Відстань між ними від десятків до сотень мкм. Наносять електроди магнетронним розпиленням або вакуумним резистивним напиленням. Чутлива поверхня покривається пористим металевим електродом для захисту від забруднення і конденсату. Також цей електрод визначає номінальну ємність датчика - власне він і грає роль другої обкладання конденсатора. Матеріалом підкладки зазвичай служить скло, кераміка або кремній. Зміни діелектричної проникності чутливого шару ємнісного датчика практично прямо пропорційні відносній вологості навколишнього повітря, в результаті вид залежності ємності такого датчика від відносної вологості повітря близький до лінійного. Коливання вологості на 1% викликає зміну ємності на 0,2-2,0 пФ, а зміна ємності в діапазоні відносної вологості від 5 до 98% при кімнатній температурі звичайно становить від 100 до 200 пФ. Номінальна ємність датчиків становить зазвичай 250-1000 пФ. В них деяка нелінійність характеристик спостерігається в областях надзвичайної відносної вологості з низькою значенням вологості (до 8-10%), зміною здатності, коли волога змінюється на 25-50% менше, ніж у основній площі, і при високій вологості (більше 90%) приблизно однакова кількість. Верхній електрод досить захоплюючий. Хоча він не підключається безпосередньо до реєстраційного пристрою, він відіграє вирішальну роль у визначенні основних характеристик

датчика. Він повинен мати можливість протистояти електричному та хімічному впливу у вологому середовищі. Матеріали, пов'язані з відповідними матеріалами, - це золоті, нікель та платинові метали. На додаток до цього, він повинен мати найважливішу властивість - здатність переносити вологу в матеріал діелектрика. Щоб досягти цього, електрод розроблений з пористою структурою. Це забезпечується тим, що при застосуванні до металу майбутній датчик відхиляється від вертикального напрямку потоку атомів металу під досить великим кутом, так що атоми падають на поверхню діелектрика під дуже гострим кутом і утворюють спочатку острівну структуру, яка потім стає пористою матеріалом, коли матеріал накопичується. Ємнісні датчики вологості змінюються залежно від низького коефіцієнта температури. Він також має здатність працювати до 200°C при високих температурах, де полімерна чутливість до матеріалу починає зменшуватися. Ємнісний датчик може повністю відновитись від конденсації і є середньохімічним стійким. Для захисту від конденсованої води датчик покриває тонкою пористою полімерною мембраною, яка запобігає утворенню вологості між електродами для запобігання закриття. Час відповіді для цього типу датчика води становить $30\text{-}60^{\circ}\text{C}$ для зміни відносної вологості в діапазоні $10\text{-}75\%$. Останні ємнісні датчики інтегрують останні досягнення в напівпровідникову мікроелектроніку, яка вже давно використовує зрушення в параметрах та гістерезисі. Ємнісні датчики тонких класів виготовлені з підсилювачів сигналу на дошці. Клас точності типового ємнісного датчика для двоточкового калібрування становить $\pm 2\%$, відносна вологість становить від 5 до 98%. Останні ємнісні датчики для захисту покриті мембраною термічно реактивного полімеру, який захищає чутливі елементи від води і механічно захищає їх від пошкодження світла, пилу та прямих ефектів. Переваги цих датчиків можуть описати широкий спектр вимірювань, стійкості до конденсації та певної сумісності. Недолік - це неточність вимірювань при високих температурах.

Оптичні датчики вологості. Для виявлення наявності домішок певних газів (метану й монооксиду вуглецю) у повітрі чи іншому газі, що є надзвичайно важливим для деяких галузей промисловості, використовуються оптичні газові сенсори, котрі базуються на явищі поглинання молекулами випромінювання з конкретною довжиною хвилі. Існує низка чітко визначених довжин хвиль, де поглинання дуже значне для багатьох молекул газу, і водночас ці лінії доволі віддалені від характерних ліній інших молекул. Перевагою таких оптичних сенсорів є відсутність електричного контакту між газом, що вивчається, і системами сенсора. Також приваблює можливість створення пристрою для одночасного вимірювання концентрацій газів і їх наявності, тобто одночасного якісного та кількісного аналізу. Така можливість з'являється завдяки фундаментальним властивостям поглиненого випромінювання - воно поглинається на певній довжині хвилі, а кількість поглиненого випромінювання пропорційна кількості речовини, що визначається. Зовнішній вигляд оптичного сенсора вологості показано на рис. 1.2.

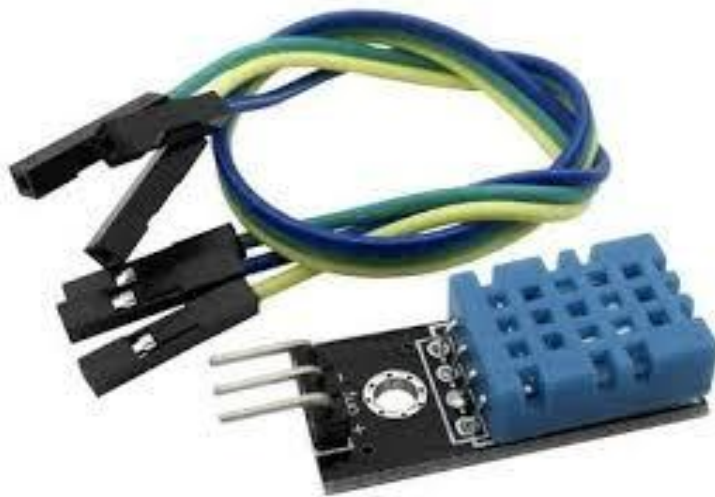


Рис.1.2 - Оптичний датчик вологості

Наприклад, існує абсолютний оптичний датчик вологості. Його принцип дії ґрунтується на поглинанні короткого ультрафіолетового випромінювання у водяній смузі з довжиною хвилі 121,6 нм. Він відрізняється у уповільненні та

відсутності фактичної калібрування. Його недоліки повинні бути віднесені до значно більш величезної кількості ємнісних та більш освітлених датчиків, що утворюються мікроелектронними методами (порівняно з ємнісними та стійкими датчиками вологи). Також відомі інфрачервоні гігрометри, які є складними та дорогими пристроями, але мають неадекватні властивості. Однак необхідно пояснити, що всі характеристики датчиків не враховують важливих параметрів, щоб атмосферний тиск та його зміни суттєво впливали на ознаки будь-якого типу датчика вологи. Датчики вологи, як правило, гігрометри (датчики Taupunk) з охолодженим дзеркалом. Цей гігрометр визначає точку роси при температурі рівня охолодженого металу, коли сліди води або морозу з'являються в конденсації з навколишнього повітря або проаналізованого газу. Конденсований гігрометр складається з дзеркального теплоносія, оптичного або електричного пристрою, який захищає момент конденсації, і термометр, який вимірює температуру дзеркала. Електронні елементи Peltier Effect використовуються в сучасних конденсованих сатигрометрах для охолодження дзеркала. Температуру дзеркала вимірюється стійкістю до дроту або напівпровідниковим мікрометром. Taupunk Tenser з дзеркала охолодження відрізняється відмінною точністю визначення Taupunk Tenser, яке може бути перенесено у відсоток відносної вологості повітря через наявність експресії. Такі датчики також портативні, дуже дорогі і мають значні обмеження на робочій зоні. Тому він в основному використовується для механізації великої рогатої худоби з ємнісним та опором та іншими датчиками, такими як основа.

Принцип сорбційних датчиків стійкості до вологості полягає у визначенні змін електричної стійкості в гігроскопічних середовищах, які є електричними полімерами, солями або спеціально обробленими субстратами. Зазвичай є стійкі датчики вологості повітря, виготовлені з металевих електродів, які наносяться на рани на дошках або пластикових або скляних циліндрах. Субстрати, що містять фізіологічні або електропровідні полімери, покриті електродами. Після випаровування розчинника (вода або спирт) вся поверхня

майбутнього датчика покрити рівномірним шару вологи. Альтернативно, поверхня сенсорної кислоти може бути оголена, утворюючи функціональні групи. Ці групи прикріплюють воду. Коли відносна вологість змінюється в межах 50%, час реакції для найбільш стійкого датчика адсорбції для вологість повітря зазвичай становить 10-30°C. Область опору типового чутливого до опору елемента-це МОМ 10-10. Насправді, через існуючі ємнісні ефекти, датчик опору абсолютно нестабільний для підтримки десяти МОМ. Основна перевага резистивних датчиків вологи - це їх неперевершена заміна. Таким чином, нормальний опір може бути використаний для регулювання схеми арматури сигналу для певного значення відносної вологості. Це виключає критерії калібрування вологості. Діапазон робочої температури для резистивних датчиків вологи, як правило, мінус 40-100°C [7]. Зазвичай датчики перериваються шляхом змінного струму та напруги. Перед вимірюванням датчик опору вимагає наявності нагрівання для видалення адсорбованої води з чутливості до вологи пальто. Це забезпечує більш високу точність вимірювання шляхом усунення крапель при низьких температурах та високій вологості.

Важливим недоліком датчиків опору є сильна температурна залежність стійкості до вологості, але цей недолік може бути компенсований шляхом введення інтегральної схеми датчика теплової компенсації. Переваги резистивних датчиків вологи повинні включати досить тривалий термін служби (до 5 років). Це ефективно сумісно з виробниками життя побутових приладів (холодильників, посудомийних машин, пральних машин), які зазвичай будують подібні види датчиків. Нафтові ресурси датчика значно знижуються під впливом хімічних парів, тому захисне покриття зазвичай вставляється в керамічну структуру. Пластиковий корпус також використовує анти-паликові фільтри для механічного захисту резисторів. Вихідний сигнал резистивного датчика вологи - це падіння напруги, що безпосередньо пропорційне відносній вологості. Датчик має середній рівень обміну, а також має хороші властивості, оскільки він має точність вимірювання вологи - $\pm 2\%$

відносної вологості - незначно поступається просторим датчиком. Такі датчики опору з поліакриловими нітрилами або сульфополістром плівки явно придатні для використання в домашніх технологіях і можуть бути використані в галузі, але їх легко працювати. Розробники цих датчиків вже вдосконалили виробничі технології в Honeywell та кількох інших американських компаній у 90-х роках [10]. Їх дослідження в цьому напрямку призвели до розвитку відносного датчика стійкості до вологості за допомогою пластику теплового введення, оксиду алюмінію та ліричних мембран хлориду. Важлива перевага датчика опору призводить до широких витрат.

Також застосовуються датчики, які використовуються на основі напівпровідникових пристроїв. На основі польового транзистора кристали з вологості полімерів вироблялися в лабораторії з різних досліджень. Структурна площа становила приблизно 1,5 мм. Індукує N-тип 12 мікрометрів, шириною 7,3 мм, при цьому діелектричне закриття є складом шару діоксиду 50 нм та кришкою кремнію 800 нм. Поверхня пристрою покрита діелектриком (Si₃N₄), яка захищає від наслідків навколишньої атмосфери. Напруга краю становила 1 В. Поліамідна мембрана, чутлива до вологи, була закладена між двома металевими тригерами. Зміни потужності під впливом молекул води змінили управління індукційними каналами, що призвело до зміненого дренажу. Перше закриття керували водою товщиною 20 нм, а друге виводили з мембрани танталу товщиною 300 нм. Обидва жалюзі були з'єднані зовнішнім резистором приблизно 10 МОм. Джерело постійного зсуву встановлює транзисторний режим відповідно до постійного струму, виправляючи можливість закриття. Змінювальний натяг - це контрольний сигнал, де крутий нахил транзистора залежить від здатності полімерної плівки і, таким чином, вологість навколишнього середовища. Завдяки подвійному закриттю пристрій має високі характеристики, несприятливий захист та побудовані датчики температури, що дозволяє йому встановити температуру дрейфу вихідної напруги. У просторі структури датчика вгорі полімерна металева плівка утворює плоский конденсатор. Іншим конструктивним підходом є створення

споруджувального електрода на підкладці, товщиною 2,6 мкм, 623 К полімеру (поліамідна плівка). Коли ця властивість є достатньо лінійною, дотична кута тренду становить лише 0,002, що на 20% менше, ніж попередні конструкції. Транзистор TIR має розкол закриття, яке забезпечується напругою. Канали в області нижче розділеного затвора утворюються лише після завантаження відповідної ємності. Через затримку між вихідним сигналом, пов'язаним з поверхневою стійкістю до плівкового покриття, утворюється тонка плівкова підкладка з пороговою напругою через залежність від вологості повітря навколишнього середовища. Як показують експерименти, за наявності полімерного покриття закритих діалектів, відкриті закриття зі змінами вологості можуть змінюватися в п'ять разів, що призведе до різних змін у затримці транзистора. Виходячи з цього ефекту, було побудовано прямокутний сигнал для схеми, і була побудована частота, що визначається за рахунок заощаджень та вологості навколишнього середовища. Деяка однакова чутливість до вологи транзисторів із передачею заряду, що використовується як активні елементи міжбарів таких генераторів. Аналогічний генератор генерується у вигляді напівпровідникового IP з N-канальним транзистором MDP. Поліамінофенілацетил, який зазвичай використовується у всіляких алях, використовували як полімерне покриття. Безпека води цього покриття гарантується введенням металевих частинок. Площа каналу модифікованого транзистора повністю покрита полімерами та закритими електродами, обприскування в навколишню область каналу з усіх боків, товстий оксид. Ця комбінація транзисторів, яка діє як елемент затримки, дозволяє створювати простий генератор з розміром кристала 1900x1900 мкм. Цей пристрій має керуючий електрод та "плаваючий" електрод, який підключений до управління поверхневою провідністю полімерної плівки (в даному випадку - плівковим поліетиленом від окислення). Пристрої відрізняються своїми діями, параметрами проектування та принципами схеми включення пристроїв. Зазвичай структура є великим повторенням, а сигнал управління - це змінний сигнал струму. Мікроельний електрод та паразитарне судно між плаваючим

електродом та підкладкою (включаючи здатність зв'язування поля транзистора) утворюють дільник, який зменшує вхідний сигнал і змінює його фазу. Якщо покриття електрода має хороші діелектричні властивості, дільник є суто широким, а відношення тонкої повторної вихідної напруги до введення в керувати електродом визначається виключно діелектричною проникністю плівки. Використання тонких полімерних плівок призведе до досить високої реакції на пристрої, компоненти та середні секунди. Автор [14] розробив датчик вологості конденсованого типу для управління вологістю повітря герметичних IPS. Цей датчик виробляється у вигляді кремнію і має стійкий до діода пристрій вимірювання температури, який дозволяє визначати відносну вологість тісного тіла з дуже точною точністю. Цей датчик дозволяє визначити зайву кількість вологи та генерувати її в технічному ланцюзі ІС.

Вологочутливі полімерні плівки. Найбільшого поширення в теперішніх датчиках вологості сорбційного типу набули полімерні покриття, зважаючи на їхню низьку вартість, масовість, керовану селективність, широкий вибір подібних покриттів з незначними відмінностями у властивостях. Сорбційні процеси в полімерах також мають свої особливості. Процес абсорбції та десорбції молекул води полімерами відбувається не тільки шляхом утворення водневих зв'язків, але й, у значно більшій мірі, – шляхом заповнення мономерними молекулами води порожнин у структурі полімеру, де мікрополя полімерної структури утримують поляризовані молекули води. Найбільш цікавим і відповідним для застосування в датчиках вологості полімером є нафіон (Nafion). Нафіон є представником перфторуглеродів. Прекурсором нафіона є перфтороктановою кислота - синтетична кислота, широко застосовувана в різних областях промисловості, яка також відома під позначенням С8. Крім того, ця кислота використовується і при виробництві тefлону і інших фторуглеродних матеріалів. Одним з найбільш важливих застосувань нафіона є виготовлення паливних елементів з полімерною мембраною. Відмінними властивостями нафіона, в яких проявляється його схожість з тefлоном, є висока хімічна стійкість і значна термічна стійкість. У

типовому планарному процесі виробництва сенсорів методом вибухової фотолітографії така стійкість може ускладнювати перехід виробів до масового випуску. Доводиться застосовувати спеціальні розчинники та/або фоторезисти, які розчиняються у речовинах, інертних до нафіону та матеріалів сенсора, але забезпечують необхідну роздільну здатність та технологічність. Окрім цього, висока температура запікання нафіону вимагає термостійких фоторезистів. Радикальніший підхід до вирішення проблеми обробки нафіона – відмова від фотолітографії та нанесення полімеру на всю площину датчика вологості.

Також можна використовувати плівки з полібензоксазолів як чутливі до вологи. Вони містять в періодичній ланці макромолекул фрагменти з бензоксазольними циклами. Найцікавіші ароматичні полібензоксазоли (полігетероарилени) - аморфні або кристалічні речовини жовтого або оранжевого кольору, з щільністю 1,35-1,40 г/см³ та температурою розм'якшення 250-400°C. Полібензоксазоли на основі дикарбонових кислот з С6-С8 розм'якшуються в діапазоні 250-280°C. Більшість полібензоксазолів розчинні лише в концентрованих сірчаній та поліфосфорній кислотах, деякі - у диметилформаміді, ДМСО, м-крезолі, мурашиній кислоті. Характеризуються інтенсивною люмінесценцією в діапазоні 410-580 нм. Стійкі при нагріванні на повітрі до 450°C. Загалом для полібензоксазолів властива висока хімічна стійкість, особливо в кислих та лужних середовищах. На основі полібензоксазолів виготовляють плазмостійкі та термостійкі фоторезисти.

Використання поліметилметакрилату (ПММА) відоме як матеріал для чутливості до вологи в шарах, але порівняно з двома описаними спочатку полімерними матеріалами. Це зменшує здатність поглинати та відновлювати водяну пару. РММА - лінійний термопластичний поліметилметакрилат. РММА дуже прозорий і має високу прозорість як для видимого світла, так і для УФ -спектрів. Він також має повітря, резистентність та відмінні фізичні, механічні та електричні ізоляційні властивості, стійкі до розведених кислот та

лужних, води, спирту, жирів та мінеральних олій. Він також фізіологічно нешкідливий і стійкий до біологічного середовища. Він м'який і простий у обробці при температурі вище всього 120°C. Вільна радикальна полімеризація мономерів рідко зберігається в масі (блоку), а також не зберігається в емульсіях та суспензіях у розчині. ПММА виробляється у вигляді листя та гранул, призначених для лікування, вилившись під тиск або екструзію. РММА вивільняє такі гранули з відповідними розчинниками (Xazol, Toluol, Dichlorotetan) і можуть бути застосовані на поверхню датчика центрифуги, при цьому товщина належним чином контролюється чутливістю до вологи як обертальної швидкості центрифуги, так і вмісту розчинника. Після застосування плівки її слід висушити при кімнатній температурі протягом не менше 24 годин. РММА може вводити всі типи мікро- та наночастинок. РММА також може бути використана для підвищення вологості різних фільмів, таких як кераміка. РММА - одна з найбільш часто використовуваних плівок для різних типів датчиків вологи.

Похідні полівінілового спирту та полівінілацетату (PVA) були популярними як чутливість вологи полімерних мембран. PVA - вінілацетатний полімер. Це тверда, безбарвна та нетоксична речовина, з її молекулярною масою від 10 000 до 1500 000 (залежно від умов утримування). PVA розчинна в багатьох органічних розчинниках, але не в бензині, мінеральній олії або воді. Відповідальність за різні матеріали висока. Вільна радикалізація мономерів може бути отримана як розчин, емульсія або суспензія. PVA доступна у вигляді гранул (перлів), водних дисперсій або розчинів (варенів). PVA також є половиною продукту для синтезу полівінілового спирту та полівінілцеталу. Мономери - вініловий спирт - не можна зберігати. Полівінілхлорид містить до 68% кристалічної фази у вигляді мікрокристалічних шарувальних шарів. Полівінілхлорид легко розчинний у воді, що використовується для практичних цілей - полівініловий спирт використовується як основа для введення чутливих плівок хімічних датчиків з наноольних труб та нанобокон. У цьому випадку він не розчинний в органічних розчинниках, особливо в оліях, жирах,

бензині, інших вуглеводах, розведених кислотах та лугах. У цій галузі полівініловий спирт зберігається в метиловому спиртному розчинах через безпеку полівінілацетату, а каталізатор - сильні кислоти та луги. Властивості PVA та полівінілового алкоголю можуть співпрацювати зі студентами та лабораторними помічниками в лабораторіях, що не заживають, як це часто використовується для створення різних датчиків у навчальних закладах. Полііміди також широко використовуються як чутливість до вологості плівки, особливо для ємнісних датчиків. Полііміди - це полімери, засновані на синтетичних сполуках з високою молекулярною масою, що містять ланцюги полімцикл. Хімічні властивості в першу чергу визначаються ароматичною або аліфатичною структурою полііміду. Він стійкий до органічних кислот і толерантний до впливу високих температур або випромінювання, але має низьку стійкість до лугів та сильних неорганічних кислот. Гідролізується під впливом лугу або перегрітої поліімідної пари. Датчики атмосферної вологості використовують можливість водневого зв'язку, що містить молекули води або гідроксильні групи. Полііміди часто вбудовуються в існуючі технологічні ланцюги виробництва для ємнісних датчиків вологи. Полііміди використовуються як стійкий світлий летястер для вирішення проблем, обробки та старіння. У радіації відомо, що найкращі властивості вологи та вологи включають полімери з дуже високим перехресним прошиванням, що дозволяє запрограмувати майбутні властивості атмосферної вологості. Незважаючи на всі переваги, полімерні фільми мають свої недоліки. Ці недоліки датчиків полімерної вологості включають їх чутливість до деяких газів. Це унеможлиблює вимірювання основних параметрів (вологість повітря та концентрація бічного газу) та плівки полівініл Гарнерс, які часто використовуються як чутливі елементи датчиків вологи. Це може призвести до помилок вимірювання атмосферної вологості на одиницю та розміщення 10%. Тому ці властивості полімерних датчиків необхідно враховувати. Однак при використанні цих газів результати вимірювання не можуть мати значного впливу. Насправді вони присутні в атмосфері, але в дуже невеликих кількостях

і набагато менші, ніж вода, що надає поверхню середню перебування за межами помилок обладнання. Те саме стосується інших газів (O₃, NH₃, NO, SO₂ тощо). Резистентність до органічних молекул, особливо молекул розчинника, зразки ацетону та етанолу у багатьох датчиках, недостатня для наукового використання чи промисловості. Полімери, пов'язані з бічними, мають карбонільні групи, як слабкі гідрофільні області, підходять для датчиків з низькими реакціями, низькими температурами, більшою термічною стійкістю та низькими гідрофільними солями, низьким ростом, низьким ростом та стабільністю. Незважаючи на те, що хімічна стабільність датчика проти органічних розчинників може бути значно збільшена за допомогою бічних полімерів, здатність датчика вразлива до пари ацетону. Зрозуміло, що адсорбція молекул ацетону на полімеру призводить до змін ємності. Для створення високоселективних датчиків вологості повітря необхідні полімери, які дозволяють використовувати воду вибірково адсорбується в присутності ацетону або етанолу. Тим часом збільшення частки бічних зв'язків під час ряду досліджень підтвердило підвищення чутливості. Адсорбційні властивості можна сказати, що контролюються шляхом зміни мікроструктури плівки без зміни гідрофільної (або чутливої) групи. Фільми з бічними структурами демонструють здатність селективно впроваджувати адсорбцію речовин із розправлення розчинів систем водних компонентів, що дозволяє впровадити подібні підходи інших датчиків. Методи фотографії показують, що вони виробляють ефект виробництва безперервних полімерів із складними перехресними з'єднаннями. Наприклад, якщо початковий полімер, що піддається парентеральним стібкам, піддається впливу скляних емоцій, поглинання газу такими полімерами, вирізаними склом, зазвичай описано двома моделями поглинання моди. Дві форми сорбційної моделі ґрунтуються на принципі існування в структурі матеріалів у двох функціональних групах Генрі для адсорбції та закону про сорбцію молекул за законом довгих мавру про заморожену мікропору (діри) та групу адсорбції молекул. У області низького тиску пари Лонгміуровського типу стає домінуючим. Оскільки

отвори в структурі склоподібних полімерів настільки великі, вважається, що адсорбція молекули не змінює загального об'єму полімеру фазової фази. Крім того, цей полімер є стабільним, бічним полімером, як скляний полімер, а фіксована мікропора додатково розділена на невеликі фіксовані порожнини в молекулярному дзеркалі, виконуючи реакцію зшивання. Такі маленькі тверді порожнини називаються Lancet Micropor через підозрілі міркування поверхні плівки. Дозволено на набряк полімеру, а полімерні мікропці відіграють важливу роль в адсорбції. Зростаюча кількість мікросхів у мікрослантах призводить до більших адсорбційних поверхонь. Як результат, адсорбція води збільшується. Крім того, необхідно припустити, що плівка має мікробний розподіл мікрок, що дозволяє зменшити невеликі розміри за допомогою реакцій поперечного шва. Виходячи з цих припущень, підвищення чутливості можна пояснити за рахунок збільшення відсотка перехресного зв'язуючого за рахунок збільшення ефективного простору для поглинання води. З іншого боку, чутливість та поглинання води після досягнення значного зменшуються незначно. Це пояснюється високою щільністю полімерного пакету. Адсорбція води в мікроелях з меншою кількістю води, ніж молекули води, не відбувається.

Окрім причин адсорбції води, той самий висновок може бути перенесений на інші речовини, такі як пари органічної речовини: метанол, етанол, ізопропанол тощо. Очевидно, що є максимум з усіма кривими сорбції цих матеріалів полімерами та адсорбцією води. Крім того, ступінь перехресного з'єднання, де спостерігається максимум, залежить від конкретного матеріалу. Зрозуміло, що найбільше положення є бічним, а молекули матеріалу мають великі розміри. Чим більший розмір молекули газу, тим більше розміру мікроскопа. Як результат, великі молекули не в змозі проникнути в плівку з низькими бічними з'єднаннями, що призводить до сильного зниження адсорбційної здатності. Тому обробка полімерної мембрани після застосування забезпечує структурну стабілізацію та, відповідно, збільшувало

довгострокові властивості (нижчі довгострокові нестабільності) та властивості вологості та селективності.

Порівняльна оцінка параметрів та властивостей існуючих датчиків вологи. Існуючі датчики вологи та відносна вологість мають високі показники для точності вимірювання та відтворюваності. Однак інтеграція в бездротові системи складна. Сучасні системи радіочастот та радіопередачі працюють з НФ, прикрасою або мікрохвильовими хвилями. Включаючи резистивні або ємність датчиків вологи в таких системах, важко зробити його розміри та номінальних інфеданів, не в змозі запобігти антенним пристроям або робочому частоті. Деякі з цих обмежень можуть бути подолані датчиками, які інтегрують чутливі вимірювальні елементи з мікрохвильовими автомобільними доріг або спеціальними радіохвилями з датчиками вологи на основі напівпровідникових пристроїв. Однак це рішення ускладнює масові викиди датчиків, збільшує витрати та знижує надійність. Очевидним способом з цієї ситуації є використання звукових хвиль у суцільних пристроях для пари на передньому плані. Датчики пари на основі ліній затримки або резонаторів дорожчі, ніж датчики ІР. Однак він має кращі характеристики для надійного та бездротового використання.

1.3 Висновки

В даному розділі проведено аналіз технологічного процесу зрошення як об'єкту керування. При цьому розглянуто наступні питання.

1. Проаналізовано основні прилади, що вимірюють вологість, визначено діапазон роботи приладів для вимірювання вологості.

2. Визначено принципи роботи приладів для вимірювання вологості ґрунту, проаналізовано їх характеристики для застосування для інтелектуального керування розподіленими зрошувальними системами.

РОЗДІЛ 2

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ В ЗАДАЧАХ КЕРУВАННЯ РОЗПОДІЛЕНИМИ ЗРОШУВАЛЬНИМИ СИСТЕМАМИ

2.1 Моделювання пристроїв для вимірювання вологості ґрунту

Вирішення завдання підвищення врожайності сільськогосподарських культур залежить від багатьох факторів, але одним із вирішальних є вологість ґрунту. При нестачі вологи врожайність різко знизиться, а при несвоєчасному поливі рослина може загинути. Поливати рослини необхідно в потрібний час, який залежить не тільки від рівня вологості ґрунту (хоча це теж головний фактор), але і від температури ґрунту, температури повітря, наявності або відсутності опадів. Полив повинен здійснюватися в потрібній кількості і в правильний спосіб, оскільки надлишок води може пригнічувати рослину так само, як її нестаток. Крім того, важливо враховувати, що багатьом культурам потрібен різний режим поливу. У зв'язку з цим актуальним є питання регулювання вологості ґрунту в автоматизованих системах зрошення. Температурний режим ґрунту теж здатний впливати на рослини. Проростання насіння, розвиток кореневої системи, життєдіяльність ґрунтової мікрофлори, засвоєння рослинами продуктів мінерального живлення залежить від температури ґрунту. Наприклад, якщо температура ґрунту буде занадто низькою, рослина почне відчувати фосфорне голодування, занадто висока ж температура призводить до утрудненого всмоктування корінням вологи.

Вологість у ґрунтознавстві визначається як кількість води, яка потрапляє на повністю сухий ґрунт. Важливо відзначити особливість традиційних ґрунтових методів, а саме те, що вологість розраховується за повною сухою масою [13]. Вологість ґрунту зазвичай характеризують масовою або об'ємною вологістю.

Величина масової вологості визначається відношенням маси води, що міститься в ґрунті, до маси твердого сухого ґрунту:

$$W = \frac{M}{M_0}, \quad (2.1)$$

де W - величина масової вологості;

M - величина маси води;

M_0 - величина маси сухого ґрунту.

Під об'ємною вологістю розуміється відношення об'єму води, яка міститься в тілі, до об'єму твердого сухого ґрунту:

$$\theta = \frac{V}{V_0}, \quad (2.2)$$

де θ - значення об'ємної вологості;

V - об'єм води в ґрунті;

V_0 - об'єм сухого ґрунту.

Масова та об'ємна вологості пов'язані між собою співвідношенням:

$$\theta = W \rho_{\text{п}}, \quad (2.3)$$

де $\rho_{\text{п}}$ - щільність ґрунту.

У ґрунтознавчій практиці активно використовуються різні ґрунтові та гідрологічні константи. Гідрологічні константи ґрунту – це характерна вологість ґрунту, яка визначається станом ґрунту або станом контактуючих із ґрунтом об'єктів і використовується для практичних розрахунків і порівняльних оцінок [13]. Нижче ми перерахуємо деякі з них, які будуть використані при розробці систем автоматичного поливу.

Величина повної вологоємності (ПВ) W_s ($W_{\text{ПВ}}$) визначається граничною величиною вологості ґрунту, яка визначається заповненням всього простору в ґрунті водою.

Максимальне значення повної вологоємності для мінеральних ґрунтів [14] визначається співвідношенням:

$$W_{\text{ПВ}} = (40 \dots 50\%)W \quad (2.4)$$

Величина найменшої вологоємності (НВ) $W_{\text{НВ}}$ визначається вологістю попередньо насиченого ґрунту, яка утворюється після надлишкової втрати

води і досягається приблизно через 2-3 дні після сильного дощу або поливу добре дренованих однорідних ґрунтів [13]. Ця константа має дуже важливе практичне значення, вона використовується для поливу рослин. Значення мінімального вмісту вологи відносно повного вмісту вологи визначається наступним чином:

$$W_{\text{НВ}} \approx 0.5W_{\text{ПВ}} \quad (2.5)$$

Величина вологості при в'яненні (ВЗ) визначається вологістю ґрунту, за якої рослини з добре розвиненою кореневою системою проявлятимуть ознаки постійного в'янення, які не зникають після того, як рослини помістять у насичену водяною паром атмосферу на 12 годин [13]. Ця величина є нижньою межею вологості ґрунту, при якій рослина гине. Величина вологи при в'яненні по відношенню до загального вмісту вологи визначається наступним чином:

$$W_{\text{ВЗ}} \approx 0.25W_{\text{ПВ}} \quad (2.6)$$

З цих констант ми виводимо, що максимальний діапазон вологості, доступний для рослин, визначається таким співвідношенням:

$$\text{НВ} - \text{ВЗ} = W_{\text{НВ}} - W_{\text{ВЗ}} \approx 0.25W_{\text{ПВ}} \quad (2.7)$$

Насправді оптимальний діапазон вологості D для рослин такий:

$$D = 0.7\text{НВ} - \text{НВ}, \quad (2.8)$$

Його слід утримувати на рівні кореня, щоб уникнути непродуктивних втрат води в нижні шари, сприяючи при цьому найбільш ефективному розвитку рослини [13].

Таким чином, діапазон вимірювання датчика вологості ґрунту може бути визначений наступним співвідношенням (для комплексного контролю вологості ґрунту):

$$D = (0 \dots 50\%)W, \quad (2.9)$$

Фактично рівень вологості контролюється за допомогою формули (2.9):

$$D_c \approx (0.35 \dots 0.5)W_{\text{ПВ}} = (0.18 \div 0.25)W \quad (2.10)$$

Ці значення служать орієнтиром при виборі датчиків вологості ґрунту.

2.2. Аналіз підходів та методів для визначення вологості ґрунту

Існує два типи (методи) визначення вологості ґрунту: прямі та непрямі. Прямі методи безпосередньо розділяють матеріал на суху речовину і вологу. Непрямі методи вимірюють величини, які функціонально пов'язані з вологістю матеріалу. Методи вимірювання вологості ґрунту проілюстровано на рис. 2.1.

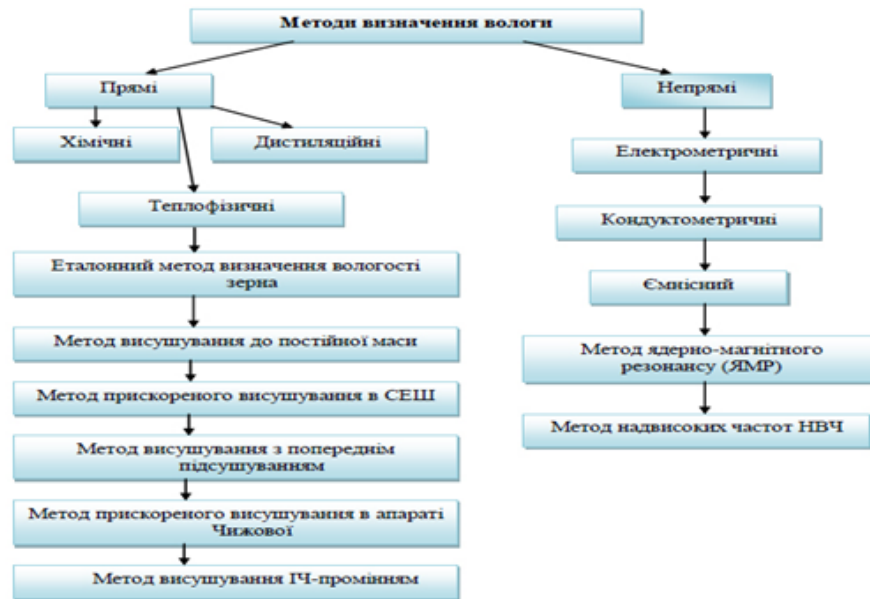


Рис. 2.1 – Класифікація методів вимірювання вологості ґрунту

Прямі методи в основному використовуються в лабораторії і є дуже складними і трудомісткими, тому для практичних вимірювань застосовуються непрямі методи. Непрямі методи можна умовно поділити на електричні та неелектричні. При цьому електричні методи розглядаються як простіші, більш поширені на практиці та дешевші. Однак, в даний час активно розвиваються і неелектричні методи вимірювання вологості, наприклад, безконтактні методи вимірювання вологості ґрунту з використанням інфрачервоного випромінювання. Нижче більш детально розглянемо характеристики, специфічні переваги та недоліки електричних та інших методів вимірювання вологості.

Для аналізу та синтезу пристроїв вимірювання вологості використовується узагальнена блок-схема, зображена на рисунку 2.2.

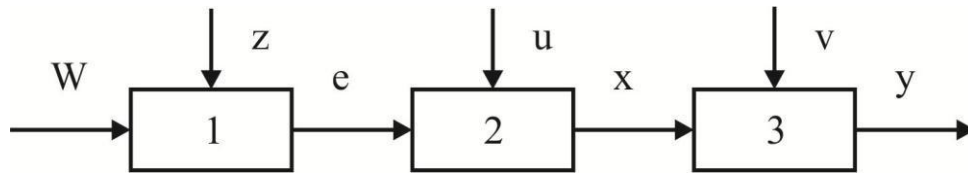


Рис. 2.2 - Загальна структурна схема пристрою для вимірювання вологості ґрунту.

1 - ланка, що перетворює вологість у фізичні властивості матеріалу; - W - вологість ґрунту; e - фізичні властивості матеріалу, що використовується для вимірювання вологості; z - зрівноважувальні впливи на ланку 1 внаслідок зміни властивостей матеріалу під впливом інших факторів (температура, густина, хімічний склад);

2 - первинний вимірювальний перетворювач (ПВП); x - вихідний сигнал ПВП; u - зміни умов вимірювання рівноваги впливають на ланку 2;

3 - вимірювальний пристрій, що порівнює сигнал ПВП x з вимірюваним значенням цієї величини; y - вихідний сигнал пристрою; v - завада, що впливає на вимірювальний пристрій.

Далі ця схема представлена для кондуктивного та діелектричного методів вимірювання вологості ґрунту.

Електропровідність ґрунту є однією з властивостей ґрунту, яка може бути використана для визначення вологості ґрунту. При побудові математичних моделей електропровідність ґрунту можна характеризувати будь-якою з наступних взаємопов'язаних величин.

- 1) опір ґрунту, R Ом;
- 2) електропровідність ґрунту:

$$Q = \frac{1}{R}, \quad (2.11)$$

Ом⁻¹.

де Q - електропровідність ґрунту;

3) питомий опір ґрунту:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l}, \quad (2.12)$$

де ρ - питомий опір, Ом · м ;

R - опір ґрунту, Ом;

S - площа перетину ділянки ґрунту, м²;

l - довжина ділянки ґрунту, м.

Значення опору ґрунту залежить від багатьох факторів, включаючи вологість, щільність, температуру, хімічний і мінералогічний склад, механічний склад і структуру ґрунту. Тому електропровідність ґрунтів змінюється в широкому діапазоні, де відношення максимального до мінімального значення може бути в багато разів більшим. Крім того, опір ґрунту суттєво залежить від методу вимірювання, який, у свою чергу, має різні ефекти:

- 1) при вимірюванні постійним струмом необхідно оцінювати поляризаційні ефекти;
- 2) при вимірюванні змінним струмом необхідно враховувати загальну реактивну складову опору ґрунту, спричинену різними явищами, такими як розподіл струму в ґрунті, орієнтація дипольних молекул, поверхневі скін-ефекти а також вплив частоти струму на результати вимірювань.

Крім того, при вимірах електропровідності ґрунтів виникає цілий ряд методичних труднощів щодо забезпечення ідеального і по можливості постійного контакту між електродами, занурюваними в ґрунт, і самим ґрунтом. Цей контакт змінюється в процесі висихання, ущільнення ґрунту. Також необхідно враховувати корозію електродів, вплив температурного ефекту і багато іншого.

При подачі постійного струму на вологий ґрунт генерується поляризаційна електрорушійна сила, і чим вища напруга, прикладена до електродів, тим більший опір. Цьому небажаному ефекту можна протидіяти різними способами, наприклад, зменшуючи густину струму шляхом

збільшення площі електрода, зменшуючи струм і напругу, збільшуючи площу електрода, зменшуючи струм і напругу, застосовуючи постійний струм, використовуючи змінний струм промислової частоти 50 Гц замість постійного струму, або застосовуючи струм з частотою 1-10 кГц. Крім того, при вимірюванні електропровідності ґрунту виникає ряд методичних труднощів, пов'язаних із забезпеченням повного і, по можливості, постійного контакту між зануреним у ґрунт електродом і самим ґрунтом. Цей контакт змінюється в процесі висихання і усадки ґрунту. Крім того, необхідно враховувати вплив корозії електрода і температури. Фактичні дані про залежність питомого опору ґрунту від вологості представлені на рис. 2.3.

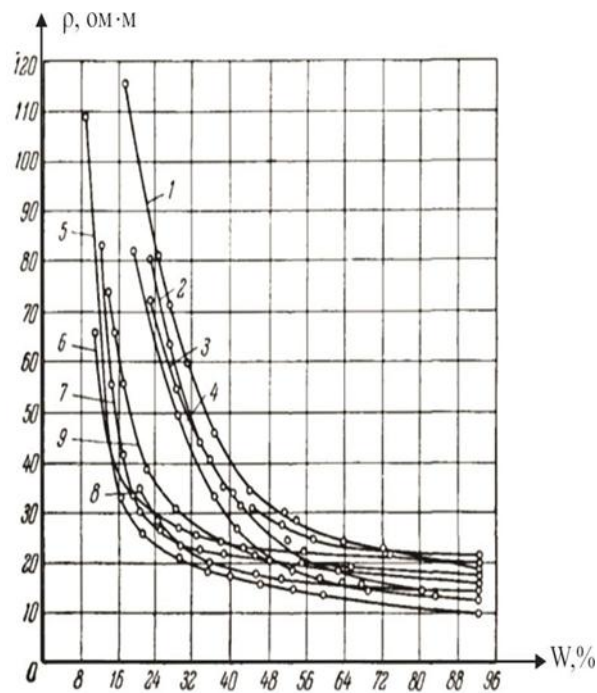


Рис. 2.3 - Залежність питомого опору ґрунту від вологості

Залежності для дрібнозернистих ґрунтів показані тут на рисунках 1-4, а для крупнозернистих - на рисунках 5-9. Щоб отримати ці залежності, всі інші фактори, які можуть одночасно впливати на опір, повинні бути штучно встановлені на постійне значення. В реальних умовах вимірювання на опір ґрунту впливає багато факторів, як описано вище. Ілюстрація цього впливу

представлена на рис. 2.4. Одним із факторів, що впливає на опір ґрунту, є температура ґрунту. Цей вплив проілюстровано на рисунку 2.4.

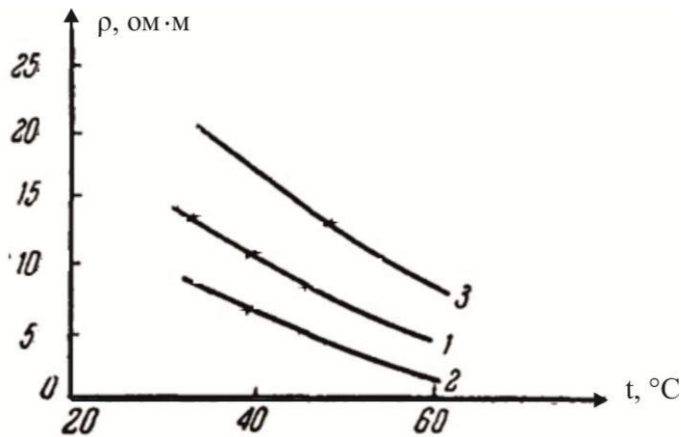


Рис. 2.4 - Вплив температури на питомий опір ґрунту.

Лінійна залежність була отримана для врахування ефекту температури:

$$R_t = R_{21}(1 - \beta(t - t_{21})) \quad (2.13)$$

де R_{21} - опір при 21°C ;

β - температурний коефіцієнт опору ґрунту.

Залежність специфічної стійкості до ґрунту від температури при низькій температурі, показана на рис. 2.5, вказує на те, що отримана лінійна залежність (2.14) може бути екстрапольована. При температурі нижче 0°C вода переходить до іншого загального стану, що призведе до спокійного розбиття характеристик.

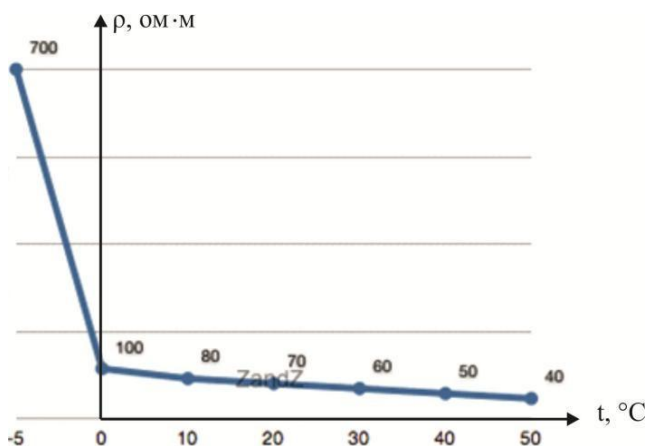


Рис. 2.5 - Залежність питомого опору ґрунту від температури в області більш низьких температур.

Як результат, ми можемо зробити наступні висновки про те, як на стійкість до ґрунту впливає вологість $R(W)$:

1) Перша частина характеристик, що вказують на низьку та середню вологість ($W \leq 30\%$), характеризується високою крутизою, тобто вимірювач вологи дуже чутливий до змін вологості.

2) Регіон з високою вологістю $R(W)$ має помітне зниження чіткості характеристик $R(W)$ та чутливості глибини. Важливо зазначити, що дисперсія ґрунту впливає на чутливість вологоміра.

3) Для забезпечення точних результатів важливо враховувати температуру ґрунту та ввести необхідні коригування вимірюваного опору.

Розглянемо діелектричний підхід при вимірюванні вологості ґрунту. Діелкометрия - це методика, яка використовується для визначення діелектричних властивостей різних матеріалів. Діелектричний метод дослідження, поєднавшись з явищем, є основним підходом, застосованим у сільськогосподарському виробництві для регулювання стану речовин та параметрів технологічних процесів. Діелектричний метод гарантує повторення вимірювань, експлуатації в режимі реального часу та легкого впровадження вимірювальних інструментів.

Діелектрична проникність ґрунту, складного багатофазного матеріалу, залежить не тільки від діелектричних властивостей самого ґрунту (діелектричні властивості якого залежать від його хімічних властивостей, структури частинок та інших факторів), але і від діелектричних властивостей повітря і води, що містяться в ґрунті. При побудові математичних моделей для характеристики діелектричної проникності ґрунтів зазвичай використовують наступні пари значень:

1) складові комплексної діелектричної проникності (дійсна ε' і уявна ε''):

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - i\varepsilon'', \quad (2.14)$$

де ε^* - комплексна діелектрична проникність ґрунту;

2) діелектричної проникністю ε є тангенсом кута діелектричних втрат $\tan \delta$. Формалізація зв'язку між цими параметрами має наступний вигляд:

$$\varepsilon^* = \varepsilon (1 - i \operatorname{tg} \delta); \operatorname{tg} \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \quad (2.15)$$

Співвідношення, яке формалізує зв'язок між ємністю датчика C та діелектричною проникністю, має наступний вигляд:

$$C = g \varepsilon_0 \varepsilon_x, \quad (2.16)$$

де g - геометричні фактори, які слід враховувати при проектуванні ємнісних датчиків;

$\varepsilon_0 = 8,85 * 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}$ - діелектрична проникність у вакуумі;

ε_x - відносна діелектрична проникність ґрунту, яка визначається наступним чином:

$$\varepsilon_x = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \quad (2.17)$$

У теоретичних дослідженнях ґрунти представляють багатокомпонентними середовищами і використовують моделі діелектричної проникності багатокомпонентних середовищ. Дисперсні середовища з стохастичною або частково впорядкованою структурою можуть бути представлені у вигляді діелектричних шарів, паралельних і перпендикулярних вектору електричного поля. Для подальшого обговорення також використовується спрощена трикомпонентна модель ґрунту, як показано на рис. 2.6.



Рис. 2.6 - Трьохкомпонентна діелектрична модель ґрунту.

При додаванні води до ґрунтів з діелектричною проникністю в 10-20 разів вищою, ніж діелектрична проникність інших компонентів трикомпонентної моделі, ефективне значення системи зростає. Крім того, аналіз вологих ґрунтів показав, що їхня діелектрична проникність слабо залежить від форми ґрунтових зерен і мало залежить від їхнього радіуса. Залежність діелектричної проникності ґрунту від вмісту води показано на рисунку 2.7.

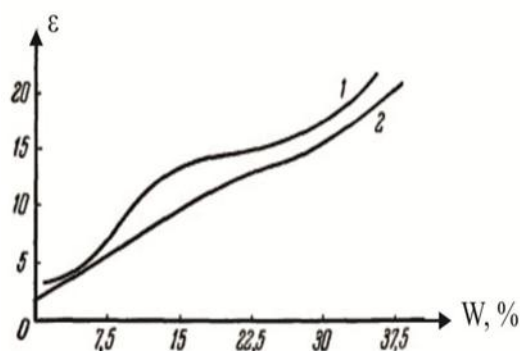


Рис. 2.7. - Залежність діелектричної проникності від вологості різних фракцій ґрунтів.

Температура впливає на діелектричну проникність ґрунту, так само як і на питомий опір. Зміна діелектричної проникності з температурою показана на рисунку 2.8.

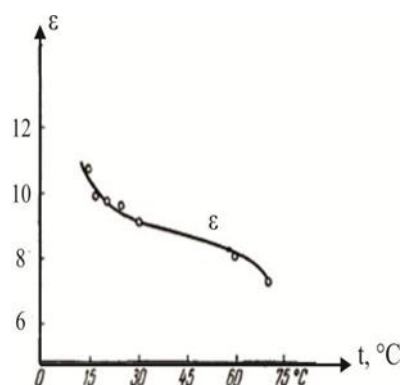


Рис. 2.8. - Залежність діелектричної проникності ґрунту від температури.

Така залежність пов'язана з тим, що, згідно з теорією Дебая, діелектрична проникність залежить від часу релаксації, а час релаксації змінюється з

температурою. Як видно з рисунка 2.9, зміна ефективної діелектричної проникності в цьому діапазоні близька до лінійної і це можна врахувати введенням лінійної поправки. На наступних робочих частотах нижче 100 МГц до результатів вимірювання вологості вводиться поправка за формулою:

$$W = W_{\text{и}} - k_t(t - t_0), \quad (2.18)$$

де W - справжня вологість ґрунту при температурі t ;

$W_{\text{и}}$ - виміряне значення вологості;

t та t_0 - температури ґрунту при вимірюванні і калібруванні датчика відповідно;

k_t - температурний коефіцієнт ґрунту.

Введення поправок до рівняння (2.18) можливе тому, що при від'ємних температурах діелектричні властивості води в ґрунті змінюються настільки різко, що діелектричний метод стає непридатним. Для опису залежності діелектричної проникності ґрунту від вмісту води на практиці використовується наступна емпірична залежність, що базується на трикомпонентній діелектричній моделі ґрунту:

$$\varepsilon = 3,03 + 9,3W + \frac{146W^2}{2} - 76,7W^3 \quad (2.19)$$

$$\varepsilon = \left(\frac{W + b}{a} \right) \quad (2.20)$$

Співвідношення (2.19) справджується при $0 < W \leq 0,55$, співвідношення (2.20) – за умови, що $0,55 < W \leq 1$.

Для вимірювання вологості ґрунту за допомогою діелектричних датчиків найчастіше використовується автогенераторний метод, коли вимірювана величина впливає на частоту або інші параметри генератора частоти. Датчик в цьому випадку використовується як основний вимірювальний перетворювач. В автогенераторній моделі напівемпіричні коефіцієнти підбираються

відповідно до форми гармонік сигналу, що подається на ємнісний датчик. На практиці доцільніше використовувати сигнали збудження у вигляді прямокутних імпульсів. Це значно спрощує конструкцію генератора, зменшує його енергоспоживання та усереднює діелектричну проникність за рахунок розширення частотного спектру сигналу. У зв'язку з цим необхідно компенсувати емпіричні коефіцієнти.

Для протидії впливу провідності та хімічних властивостей ґрунту на вимірювання вологості ємнісні датчики є електрично ізольовані. Це підвищує чутливість і корозійну стійкість, а отже, і надійність.

На практиці найчастіше використовуються два типи датчиків:

1. Датчики з плоскими електродами, розташованими в одній площині і прилеглими до однієї сторони матеріалу. Принцип дії таких датчиків заснований на тому, що ємність на краю датчика змінюється при контакті матеріалу з електродами. Такі датчики вимірюють ємність шару матеріалу поблизу поверхні датчика.

2. Датчики з одним електродом у вигляді струмопровідного стрижня. Принцип дії таких датчиків заснований на зміні ємності відносно землі.

Побудуємо блок-схему статичних характеристик вологоміра з використанням методу вимірювання провідності, виходячи з узагальненої схеми датчика вимірювання вологості ґрунту, наведеної на рисунку 2.2. Структурна схема наведена на рисунку 2.9.

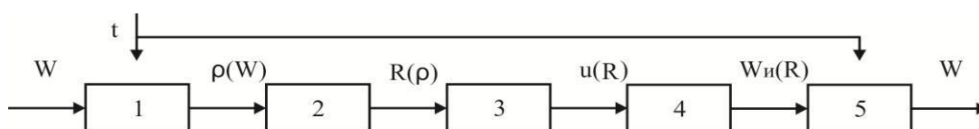


Рис. 2.9 - Статична характеристика кондуктометричного датчика вимірювання вологості

Ланка 1 показує зв'язок між питомим опором ґрунту та вологістю ґрунту. Як показано вище, цей зв'язок можна описати оберненим рівнянням (2.13)

(рівняння (2.13) враховує, що значення питомого опору ґрунту задається безпосередньо для конкретного типу датчика). Ланка 2 показує залежність між питомим опором ґрунту та опором, що сприймається датчиком. Він залежить від конструкції датчика. Ланка 3 - це вимірювальний перетворювач, який вимірює опір ґрунту, що сприймається датчиком, і представляє його у вигляді електричного сигналу. Ланка 4 - це арифметичний блок з АЦП, який оцифровує сигнал і обчислює вимірне значення вологості. Ланка 5 - це блок корекції, який використовує вимірне значення температури ґрунту для внесення поправок і обчислення дійсного вмісту вологи в ґрунті. На основі узагальненої схеми датчика вимірювання вологості ґрунту, зображеної на рис. 2.2, побудовано структурну схему датчика вимірювання вологості ґрунту. На основі узагальненої схеми датчика вимірювання вологості ґрунту, зображеної на рис. 2.2, побудовано структурну схему статичної характеристики вологоміра з використанням діелькометричного методу вимірювання.

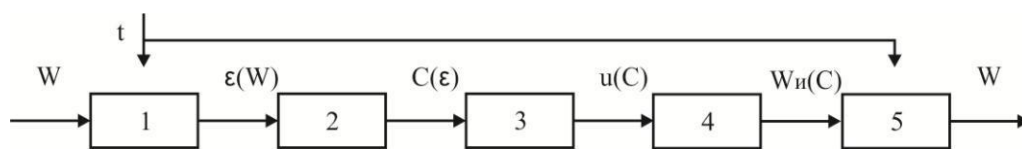


Рис. 2.10 - Статична характеристика діелькометричного датчика вимірювання вологості

Ланка 1 символізує зв'язок між діелектричною проникністю ґрунту ϵ та його вологістю W . Як зазначалося вище, цей зв'язок можна описати рівняннями (2.19) або (2.20). Оскільки діелектрична проникність ґрунту залежить від температури (як показано на рис. 2.8), це враховується шляхом введення поправки в розрахунок вологості ґрунту. Ланка 2 відображає залежність між діелектричною проникністю ґрунту та ємністю датчика, яка описується рівнянням (2.17). Ланка 3 є вимірювальним перетворювачем для вимірювання ємності датчика C та відображення її у вигляді електричного

сигналу u . Ланка 4 символізує арифметичний блок з АЦП, який оцифровує сигнал u і обчислює вимірне значення вологості $W_{\text{и}}$. Ланка 5 – це блок корекції, використовуючий вимірне значення температури ґрунту t для внесення поправок і обчислює істинний вміст води в ґрунті W відповідно до рівняння (2.20).

Порівнюючи статичні властивості, отримані для кондуктометричних та діелектричних сенсорів з характеристиками кожного методу вимірювання, можна відзначити наступні моменти:

- 1) Довжина вимірювального кола для кожного методу вимірювання однакова, а це означає, що складність схеми вимірювального перетворення та сумарна похибка перетворення (в перерахунку на похибку кожної ланки перетворення) однакові.
- 2) Метод електропровідності менш чутливий, коли вологість ґрунту досить висока ($W > 25\%$).
- 3) Залежність від діелектричної проникності є більш лінійною, ніж залежність від питомого опору.
- 4) Загалом, діелектричні методи менш чутливі до впливу таких змінних, як температура та щільність ґрунту.

Статичні властивості обох методів включають емпіричні коефіцієнти, тому датчики вологості ґрунту потрібно калібрувати перед використанням. Щоб правильно відкалібрувати датчик, важливо розуміти його динамічні властивості. Якщо розподіл води в матеріалі рівномірний, електричний датчик вологості ґрунту можна розглядати як безінерційну ланку, що є однією з переваг електричного методу вимірювання вологості ґрунту.

2.3 Висновки

В даному розділі проведено моделювання процесів вимірювання вологості ґрунту в задачах керування розподіленими зрошувальними системами. З цією метою вирішено наступні задачі.

1. Визначено важливість керування вологістю ґрунту при вирощуванні сільськогосподарських культур.

2. Досліджено головні параметри, які визначають вологість, знайдено інтервал зміни вологості, визначено оптимальні значення для сільськогосподарських культур.

3. Розглянуто принципи вимірювання вологості ґрунту та наведено загальну схему побудови електричного вологоміра. Досліджено два електричні методи вимірювання вологості, описано характеристики кожного методу вимірювання, показано типову залежність вихідних параметрів від вологості та визначено вплив різних факторів на зміну вимірюваних параметрів.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕОБХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН У ГРОУБОКСІ

3.1 Формулювання завдання розробки системи автоматичного контролю параметрів для вирощування рослин у гроубоксі

Головна мета автоматизації гідропонної системи – контроль, збереження показників і управління оптимальними умовами для вирощування рослин із заданими параметрами. До них належать температура, вологість повітря, рівень освітленості, склад повітря, а також характеристики розчину, у якому ростуть рослини.

Закрита конструкція гроубоксу дозволяє контролювати різні фактори, сприяючи зростанню рослин і підвищенню якості та обсягу врожаю.

Вода. Оскільки гроубокс закритий і на нього не потрапляють опади, а рослини вирощуються безпосередньо в поживному розчині, необхідно контролювати обсяг води та час її циркуляції, щоб стимулювати зростання.

Тепло. Для полуниці та інших теплолюбних культур важливо регулювати температурний режим, оскільки їхній ріст припиняється при температурах нижче 10°C або вище 32°C. Якщо температура перевищує 29°C, можливі зміни кольору плодів.

Світло. Будь-яка поверхня частково блокує світло, доступне для рослин. У спекотну погоду затінення може бути корисним для запобігання перегріву.

Розхід повітря і рівень вологості, якщо гроубокс залишатиметься закритим, вологість повітря підвищиться. Оскільки здорові рослини поглинають і виділяють кисень, концентрація вуглекислого газу зменшуватиметься, а рівень кисню зростатиме. І навпаки, коли рослини споживатимуть більше повітря, вони також інтенсивніше виділятимуть вуглекислий газ. Важливо враховувати, що грибок може з'являтися на

рослинах при надто низькій або надмірно високій вологості.

Отже, ми можемо або самостійно спостерігати за рослинами та вручну налаштовувати параметри, або впровадити автоматизовану систему для контролю гідропонного середовища. Таку систему можна описати за допомогою схеми (рис. 3.1), яка ілюструє основне завдання – автоматизацію управління умовами вирощування рослин у ґрубоксі.

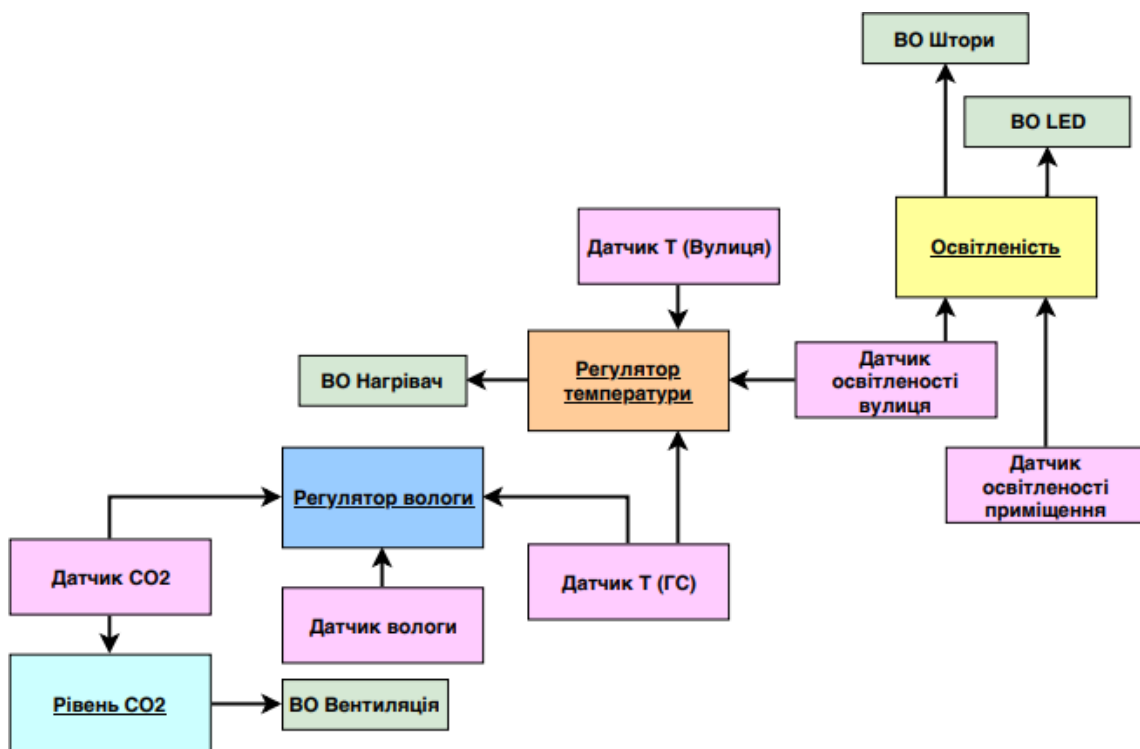


Рис. 3.1 - Схема САК параметрами для вирощування рослин у ґрубоксі

Системи автоматичного керування (САК) є невід'ємною частиною технологічного процесу вирощування рослин у ґрубоксі. Через вплив збурень, які впливають на змінні процесу, може порушуватися встановлений режим роботи об'єкта, що спричиняє зміну вихідних параметрів. Основна мета регулювання – усунути вплив цих збурень та відновити початкові значення вихідних змінних. Автоматичне керування передбачає стабілізацію або зміну вихідних параметрів відповідно до заданого алгоритму за допомогою спеціальних пристроїв – автоматичних регуляторів. Така система складається з об'єкта керування та засобів автоматизації, формуючи динамічну систему,

що описується диференціальними рівняннями. У її структурі виокремлюють дві основні взаємодіючі ланки: об'єкт регулювання та регулятор.

3.2 Регулювання концентрації суміші рідин в апараті проточного типу

Для управління прокачуванням розчину та контролю рівня рН у гідропонній системі в контролері задається бажаний інтервал часу, через який відбувається циркуляція розчину трубопроводами системи [1]. Структурна схема управління прокачуванням розчину та регулюванням рівня рН представлена на рис. 3.2.

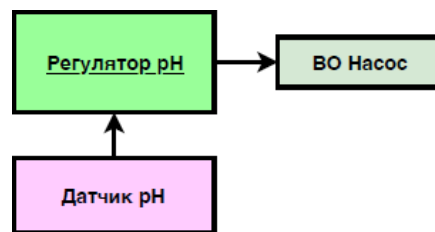


Рис. 3.2 - Структурна схема системи керування прокачкою розчину та рівнем рН

Годинник реального часу відстежує фактичний час, і після закінчення заданого інтервалу розчин починає циркулювати в гідропонній системі. У контролері встановлюється допустимий рівень рН, який визначається як максимальний. Датчик фіксує фактичне значення рН, і якщо воно перевищує встановлений рівень, формується сигнал, який передається на мікроконтролер. Контролер обробляє цей сигнал і виконує відповідні дії, зокрема, у цьому випадку – подає звуковий сигнал оператору [1].

Система автоматичного приготування поживного розчину включає резервуар, трубопроводи для введення та виведення рідини, змішувач і систему подачі добрив. Завдання формулюється наступним чином: приготувати розчин у проточній ємності із заданою концентрацією $C_{a,зд}$, шляхом змішування двох потоків рідини. Об'ємні витрати та концентрації вихідних компонентів позначаються як $v_1, C_{a,1}, C_{a,2}$ ($v_1=1, v_2=1, V=10$).

Відхилення концентрації готового розчину C_a від заданого значення виникає через збурення по навантаженню v_1 і коригується зміною потоку v_2 . Концентрації вихідних компонентів залишаються постійними: $C_{a,1}=1$, $C_{a,2}=1$. Отже, система розглядається як така, що регулюється за відхиленням. Далі отримаємо диференціальне рівняння або передавальну функцію об'єкта регулювання та побудуємо структурну схему моделі системи для П, І, ПІ і ПІД-регуляторів. Отримані криві перехідного процесу будемо аналізувати шляхом моделювання у середовищі Simulink. Також складемо математичний опис ланок системи регулювання. Диференціальне рівняння матеріального балансу змішувача має вигляд:

$$T \frac{dC_a(t)}{dt} + C_a(t) = k_1 v_1 + k_2 v_2 \quad (3.1)$$

Отже, змішувач є аперіодичною одноємнісною системою. Оскільки відбір із ємності v має залишатися стабільним, будь-яка зміна об'ємної витрати v_1 викликає відповідну зміну потоку v_2 за принципом $v_1 = -v_2$. Моделювання виконаємо в середовищі Simulink із використанням ПІД-регулятора, враховуючи датчик і виконавчий механізм у рівняннях ідеального безперервного регулятора. Збурюючий вплив моделюється як ступінчаста зміна об'ємної витрати v_1 . Вхідні параметри включають об'єм змішувача v , об'ємні витрати v_1 і v_2 , характеристики та параметри збурень $v_1(t)$, налаштування регулятора (k_p , k_i , k_d), заданий вплив $C_{a,зд}$ і початкову концентрацію $C_a(0)$ перед виникненням збурень.

Високий рівень рН сприяє засвоєнню катіонів, тоді як низький – аніонів, а будь-яке стабільне значення рН є компромісом. Оптимальний діапазон рН зазвичай становить 5.5–6.5, тому доцільно підтримувати його на рівні 6. Використовуючи криву розгону, визначимо передаточну характеристику системи, подану на рис. 3.3.

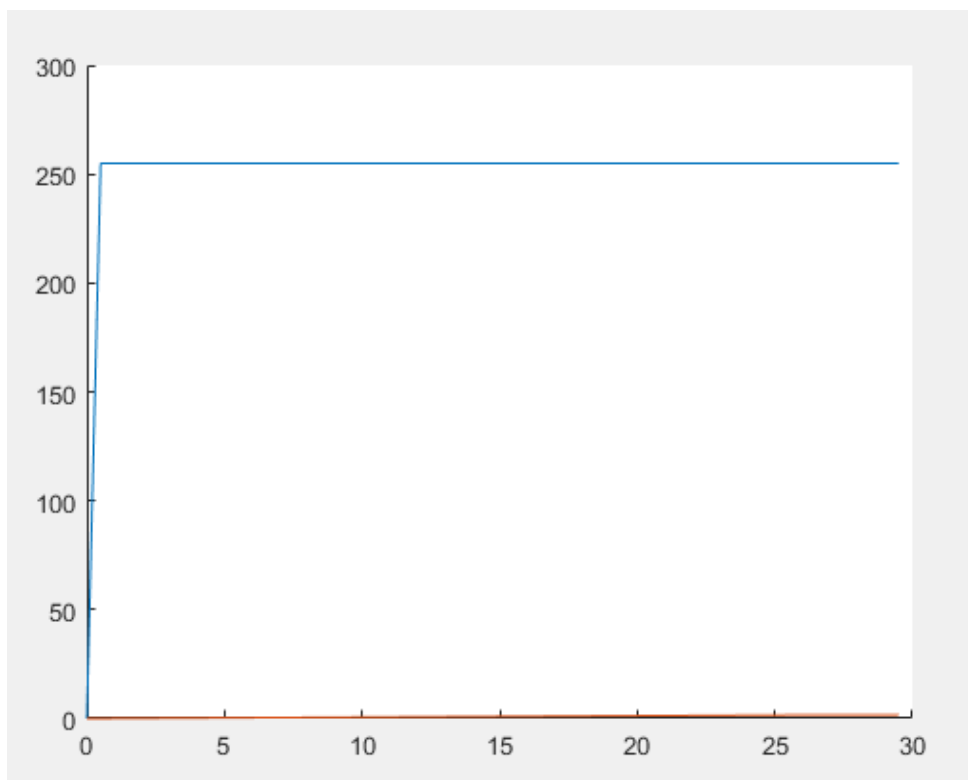


Рис. 3.3 - Передаточна характеристика системи регулювання рівня рН

За допомогою інструментів Matlab збудуємо криву розгону об'єкту керування та виконаємо її ідентифікацію (рис. 3.4).

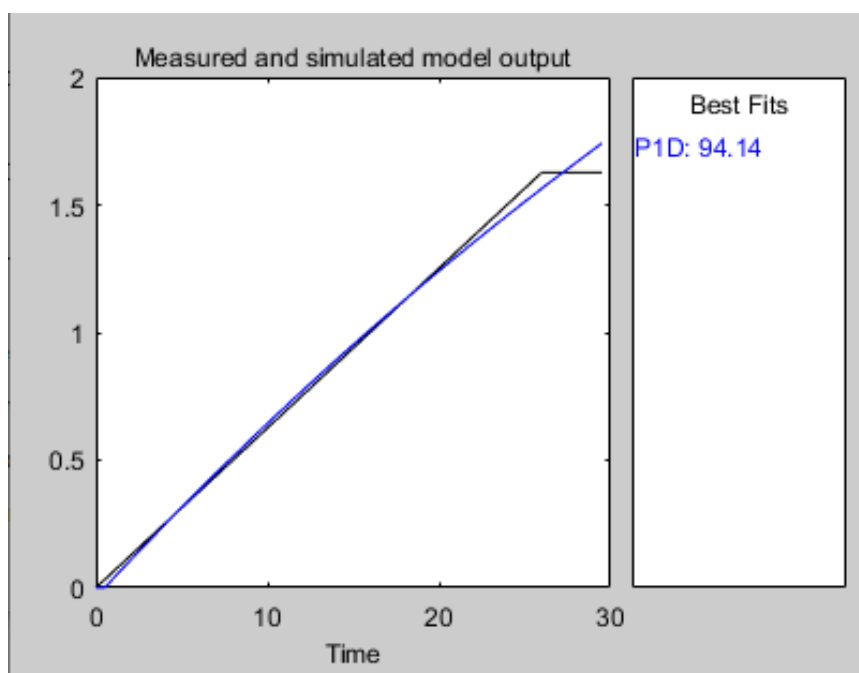
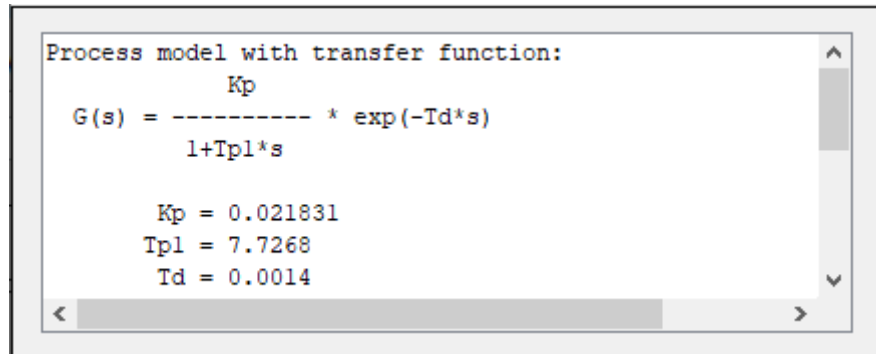


Рис. 3.4 - Крива розгону розглядуваного об'єкту керування

Визначену передаточну характеристику застосуємо як модель об'єкта для контуру регулювання рівня рН (рис.3.5).



```

Process model with transfer function:
      Kp
G(s) = ----- * exp(-Td*s)
      1+Tpl*s

      Kp = 0.021831
      Tpl = 7.7268
      Td = 0.0014
  
```

Рис. 3.5 - перехідна характеристика розглядуваного об'єкта керування першого порядку

У підсистемі приготування поживного розчину використовується суміш із трьох кислот, які зазвичай застосовуються окремо в гідропоніці, що дозволяє отримати переваги кожного з компонентів без їхніх недоліків.

Азотна та фосфорна кислоти ефективно виконують складне завдання первинного регулювання рівня рН, не змінюючи співвідношення N/K під час фаз росту та цвітіння. Крім того, при використанні жорсткої води вони запобігають утворенню фосфорних відкладень на поверхні системи, що часто трапляється при застосуванні лише фосфорної кислоти.

Додатково, органічна лимонна кислота завдяки своїм буферним властивостям поступово стабілізує рівень рН у розчині, забезпечуючи його довготривалу стійкість. Вона також допомагає нейтралізувати надлишки кальцію в жорсткій воді, що сприяє покращенню якості поживного розчину.

Побудуємо ПД-регулятор для керування перехідним процесом зміни концентрації розчину, забезпечуючи стабільний рівень рН у системі. Регулятор дозволить мінімізувати відхилення від заданого значення, підвищити точність та зменшити час виходу на встановлений режим. Схему контуру регулювання рівня рН представлено на рис. 3.6. У цій схемі ПД-регулятор коригує значення рН шляхом зміни дозування реагентів,

грунтуючись на похибці між поточним і заданим рівнями. Подальший аналіз роботи регулятора здійснюється шляхом моделювання у середовищі Simulink, що дозволить отримати перехідні характеристики системи та оцінити її ефективність.

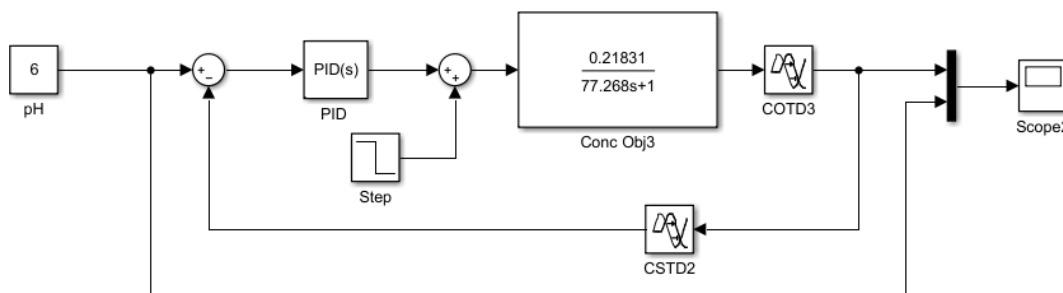


Рис. 3.6 - Схема контуру регулювання рівня рН

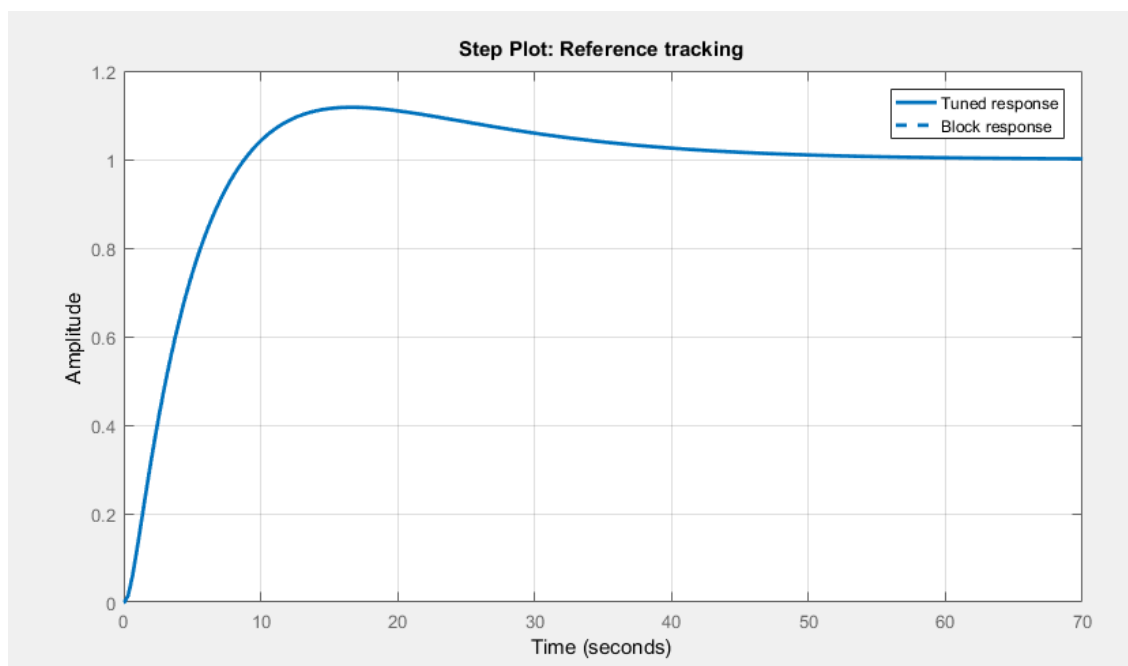


Рис. 3.7 - Графік налаштування під регулятора на найменший час перехідного процесу при мінімальному перерегулюванні

Система налаштована таким чином, щоб забезпечити мінімальний час перехідного процесу, досягаючи заданого рівня рН за 50 сек. Це дозволяє швидко реагувати на зміни концентрації розчину, забезпечуючи стабільність

і точність регулювання. Оптимізація ПІД-регулятора сприяє швидкому встановленню рівноважного стану без значних перерегулювань, що покращує ефективність роботи системи та забезпечує необхідні умови для росту рослин у гідропонному середовищі. Графіки перехідного процесу регулювання рівня рН для даної системи представлено на рис. 3.8.

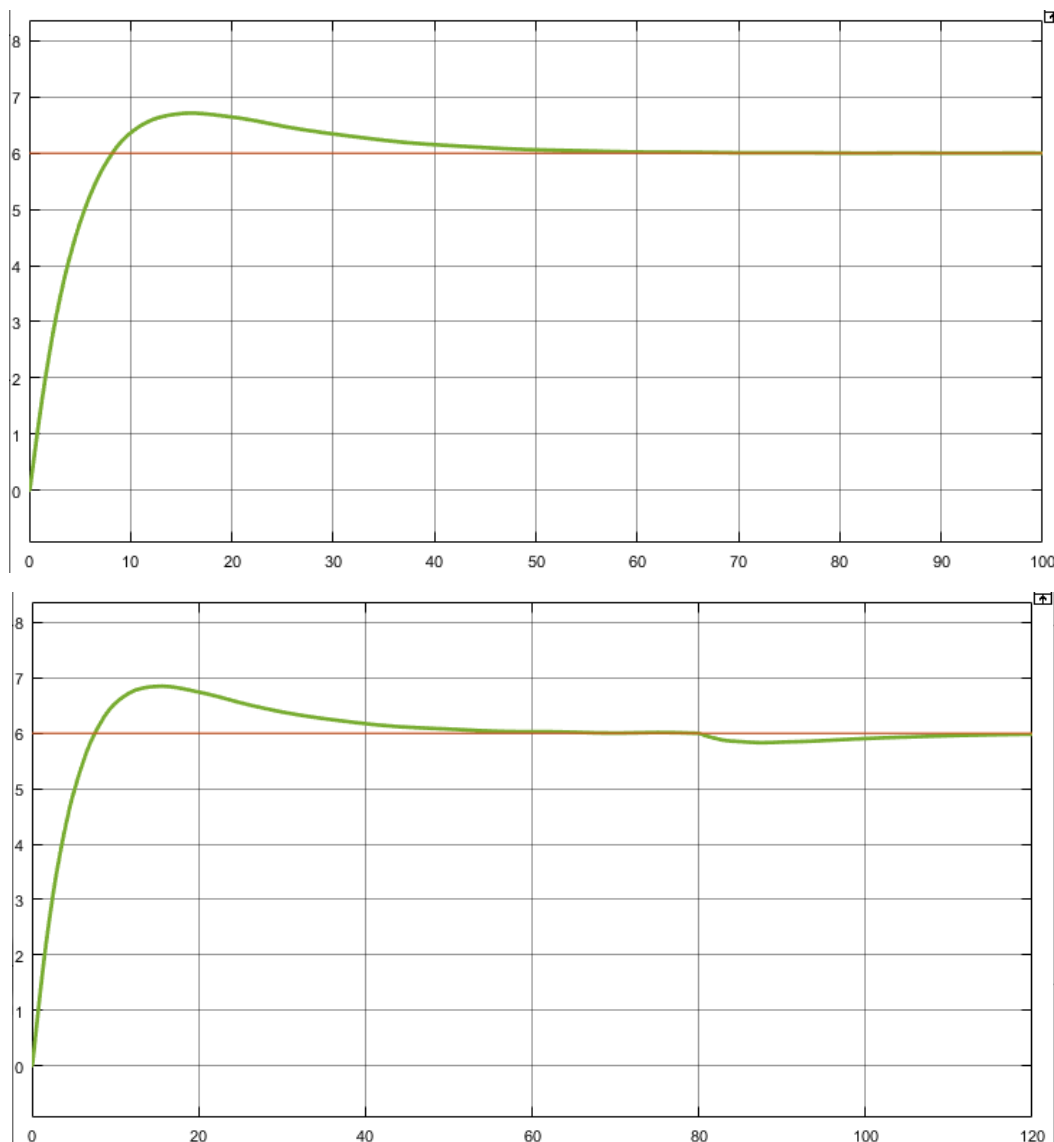


Рис. 3.8 - Графіки перехідного процесу регулювання рівня рН для даної системи

3.3 Регулювання температури середовища гідропонної системи

Для регулювання температури в контролері встановлюється бажане значення, яке називається контрольною або заданою температурою. Температурний датчик вимірює поточне значення температури, а

відхилення визначається як різниця між фактичною та заданою температурами. Контролер отримує цю різницю й обчислює необхідну потужність для подачі на виконавчий пристрій, яким є нагрівач. Він працює з функцією плавного регулювання температури, що реалізується за допомогою широтно-імпульсної модуляції (PWM-сигналу) [1]. Структурна схема системи керування температури гідропонної системи представлена на (рис. 3.9).

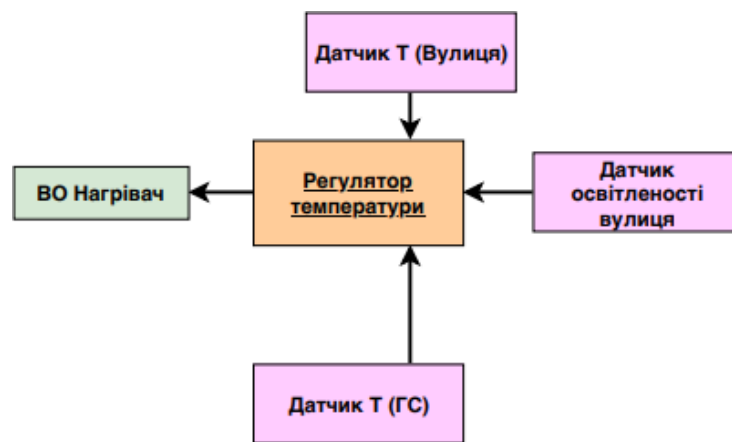


Рис. 3.9 - Структурна схема системи керування температури гідропонної системи

Система регулювання температури гідропонної системи працює за принципом адаптивного керування нагрівальним елементом на основі широтно-імпульсної модуляції (PWM). Якщо температурне відхилення має додатне значення (тобто фактична температура нижча за задану), система збільшує інтенсивність PWM-сигналу для нагрівача, щоб підвищити температуру. У разі перевищення фактичною температурою заданого значення система зменшує PWM, знижуючи потужність нагрівального елемента. Для реалізації такого механізму використовується плата Arduino у поєднанні з датчиком температури. Виконуючим елементом системи є індуктивне джерело тепла, що забезпечує рівномірний нагрів середовища [1].

Функціональні можливості системи:

- Налаштування температури – значення можна змінювати через комп'ютер оператора.
- Моніторинг температури – поточні показники виводяться на екран.
- Аналіз даних – отримані температурні дані можна експортувати в електронну таблицю, що дозволяє будувати графіки та оцінювати ефективність регулювання.

Моделювання та аналіз системи. На основі кривої розгону було визначено передаточну характеристику системи. Аналіз кривої показав, що вона найкраще описується аперіодичною ланкою другого порядку з точністю відповідності 91.96%, тому саме ця модель була обрана для подальшого дослідження динаміки системи (рис. 3.10).

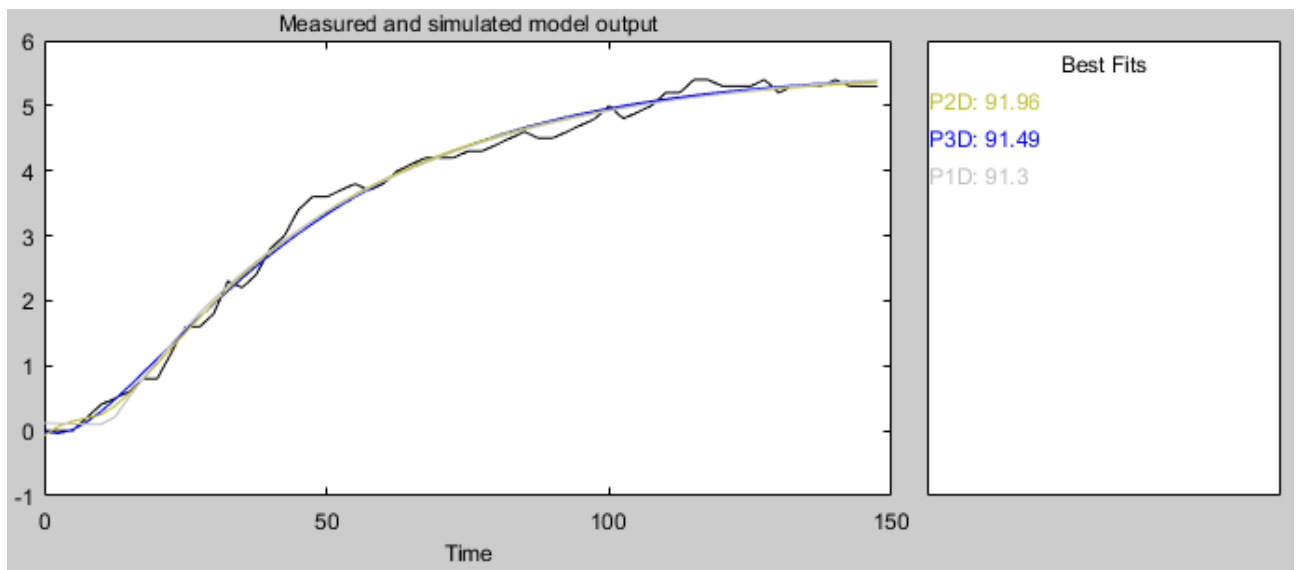


Рис. 3.10 - Опис кривої розгону трьома ланками різних порядків

На основі аналізу знаходимо передаточну характеристику відповідної системи (рис 3.11).

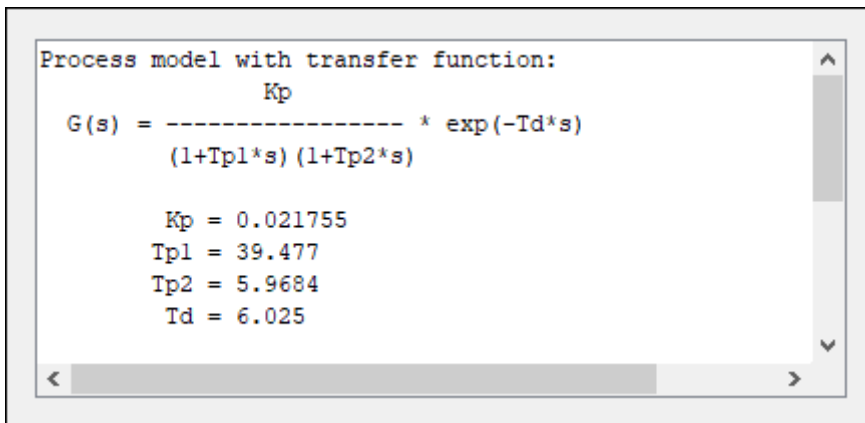


Рис. 3.11 - Передаточна характеристика системи регулювання температури в гідропонній системі

На основі отриманої передаточної характеристики розробляється контур регулювання температури із застосуванням ПІД-регулятора. Даний регулятор дозволяє забезпечити точне та стабільне підтримання температури шляхом комбінованого пропорційного, інтегрального та диференціального керування.

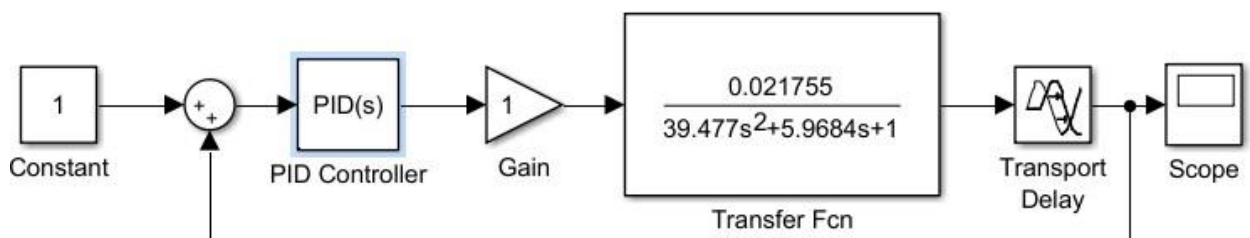


Рис.3.12 - Контур регулювання температури в гідропонній системі

Налаштування ПІД-регулятора здійснюється з метою забезпечення мінімального часу перехідного процесу при мінімальному перерегулюванні. Це дозволяє досягти швидкого реагування системи на зміни температури без значних коливань та перевищень заданого рівня. (рис. 3.13).

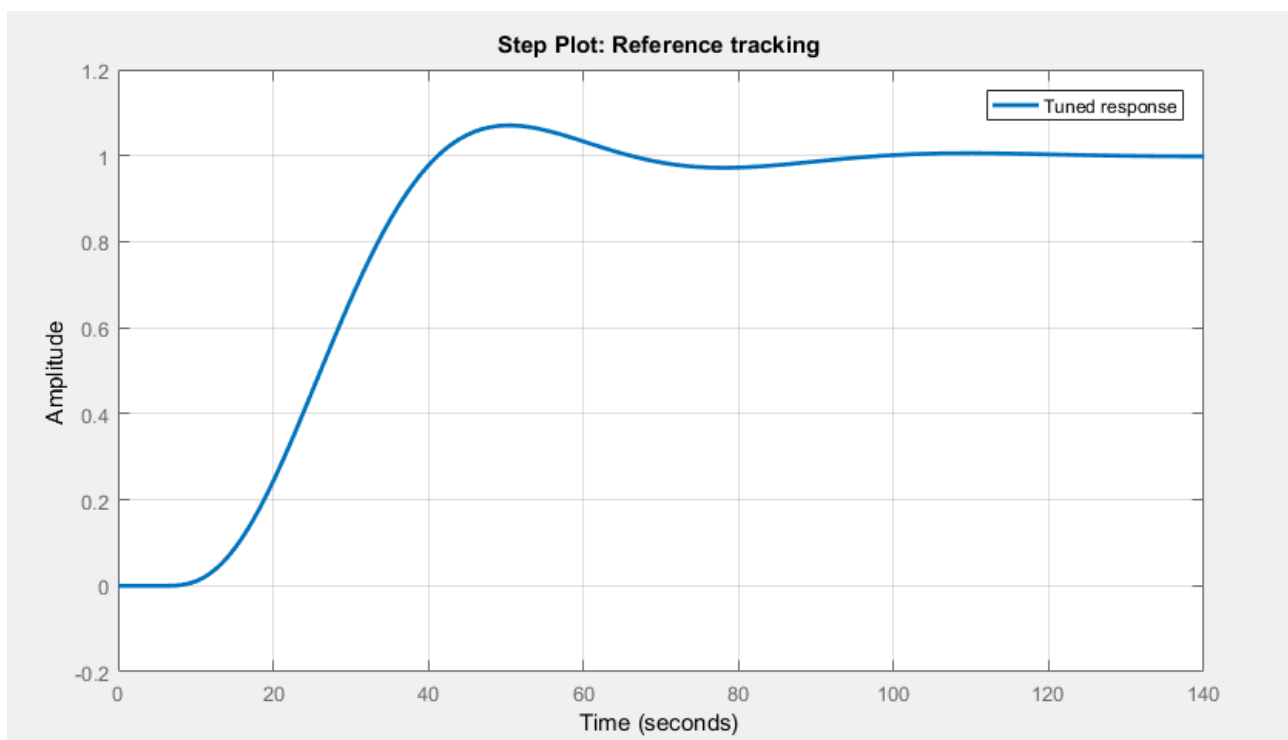


Рисунок 3.13 - Налаштування регулятора на потрібні параметри в гідропонній системі

Перехідний процес системи триває 100 секунд, що відповідає вимогам стабільності та швидкодії нашої системи. Це означає, що система регулювання температури досягає заданого значення без значних коливань та перерегулювання, забезпечуючи плавне та ефективне керування. (рис 3.14).

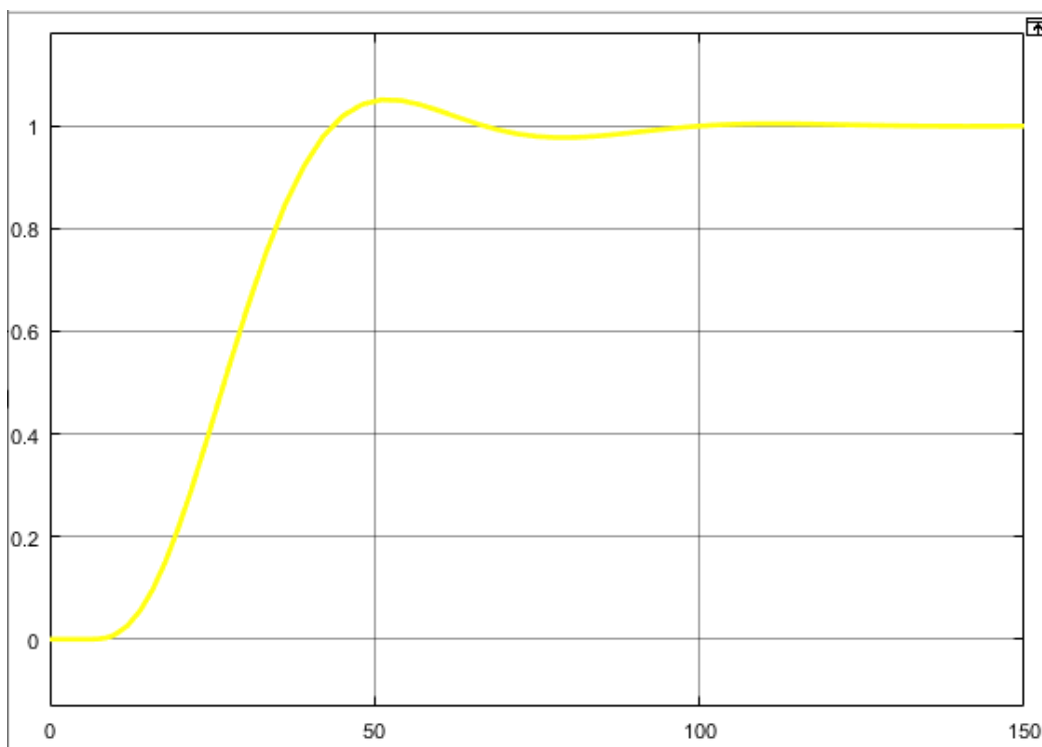


Рис. 3.14 - Перехідний процес регулювання температури в гідропонній системі

3.4 Регулювання вологості середовища гідропонній системи

Для керування рівнем вологості в контролері задається бажане значення, яке можна назвати контрольною або цільовою вологістю. Датчик фіксує поточний рівень вологості, а відхилення визначається як різниця між фактичним і заданим значенням. Контролер обробляє це відхилення для розрахунку необхідної потужності, що подається на виконавчий пристрій. У цьому випадку таким пристроєм є зволожувач повітря, який працює в режимі вмикання/вимикання [1]. Структурна схема системи керування вологістю в гідропонній системі представлена на рис.3.15.

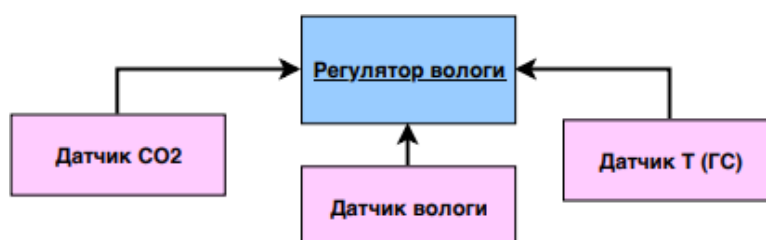


Рис.3.15 - Структурна схема системи керування вологістю в гідропонній системі

Якщо відхилення вологості має додатне значення (тобто задана вологість перевищує фактичну), це означає, що в гідропонній системі недостатньо волого, і зволожувач повітря слід увімкнути. Навпаки, якщо фактична вологість перевищує задану, система вже достатньо зволожена, і зволожувач потрібно вимкнути. У цьому випадку для реалізації регулювання вологості шляхом вмикання та вимикання зволожувача використовується плата Arduino та датчик вологості. Функцію зволожувача виконує генератор туману [1]. Заданий рівень вологості можна встановлювати за допомогою команд, що надсилаються з комп'ютера оператора, при цьому зчитані значення вологості також відображатимуться на його екрані. Отримані показники можна копіювати та вставляти в електронну таблицю, що дозволяє будувати графіки для аналізу якості регулювання вологості [1]. Залежність вихідного сигналу (вологість) від вхідного в часі наведено на рис. 3.16.

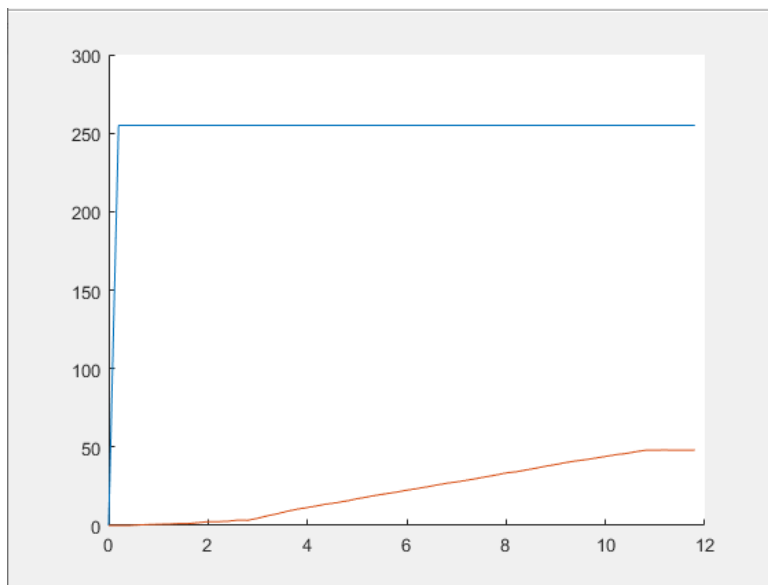


Рис. 3.16 – Залежність вихідного сигналу (вологість) від вхідного в часі

Виходячи з кривої розгону, можна побудувати передаточну характеристику системи. Після аналізу, криву було зіставлено з аперіодичними ланками другого порядку. Оскільки ланка першого порядку показала найвищий рівень відповідності – 94,74%, саме її було обрано для опису кривої розгону (рис. 3.17).

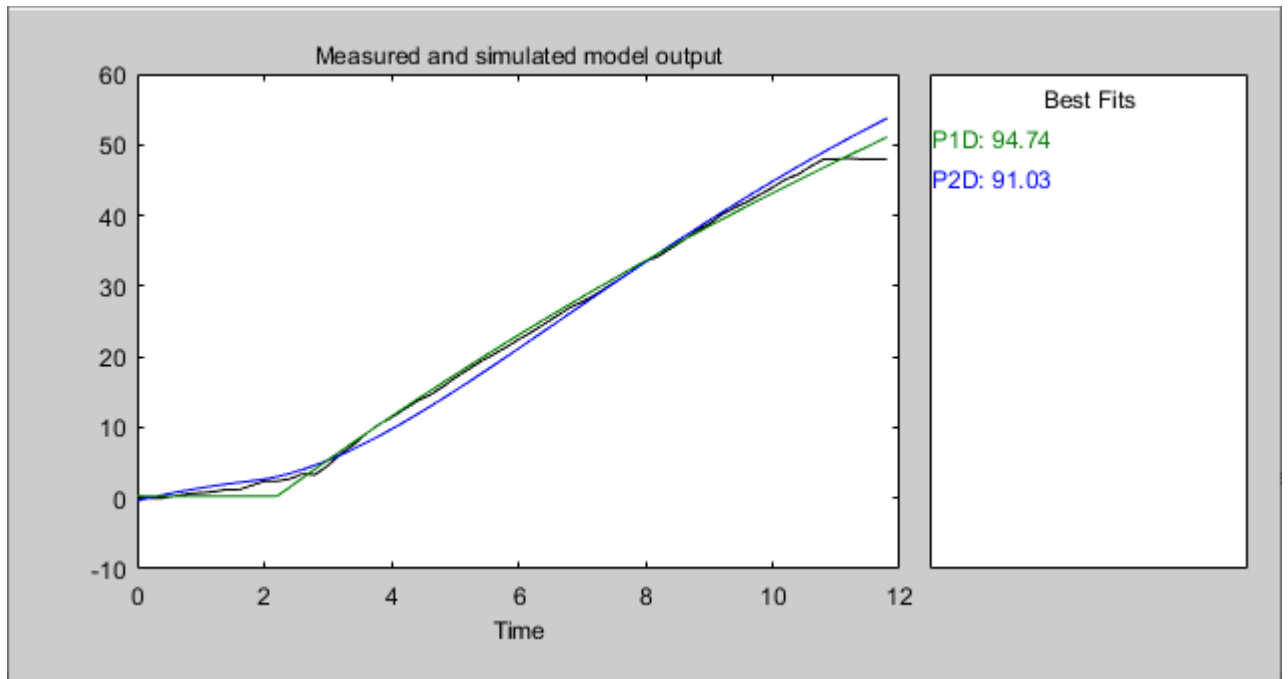


Рис. 3.17 – Опис кривої розгону двома ланками різних порядків

Таким чином, отримуємо передаточну характеристику, що відповідає заданим параметрам (рис. 3.18).

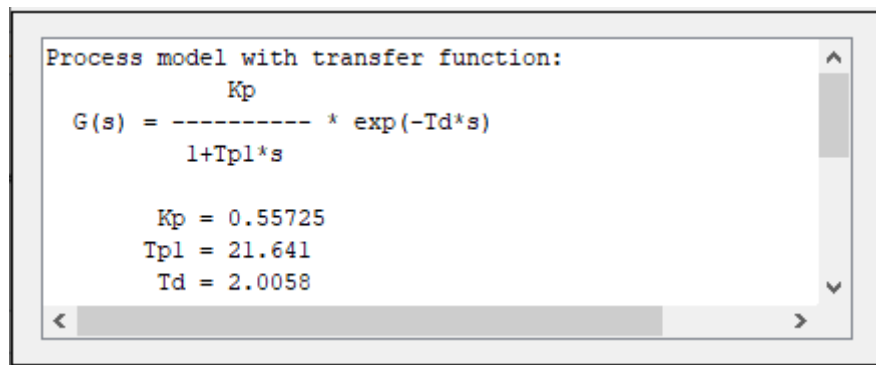


Рис. 3.18 – Передаточна характеристика системи керування вологістю

Для заданої системи синтезуємо регулятор із параметрами, представленими на рисунку 3.19.

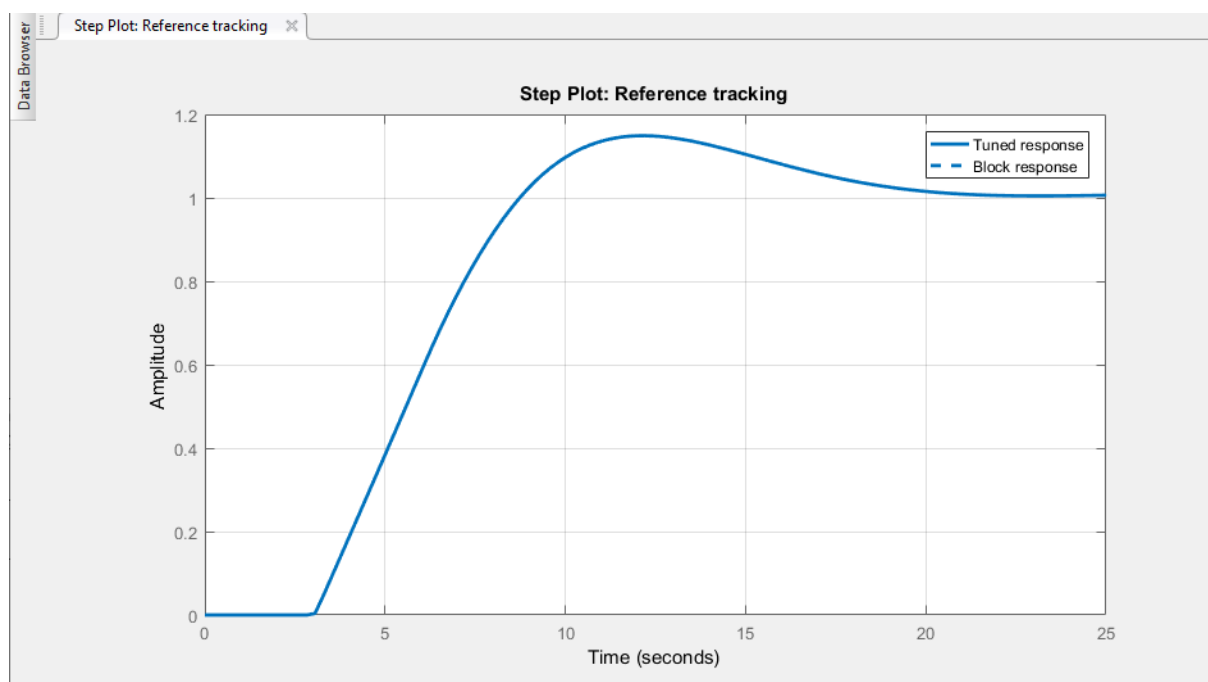


Рис. 3.19 - Параметри регулятора контуру регулювання вологи в гідропонній системі

Вологість даної системи залежить не тільки від системи керування вологістю, а й від контуру регулювання температури (рис 3.20).

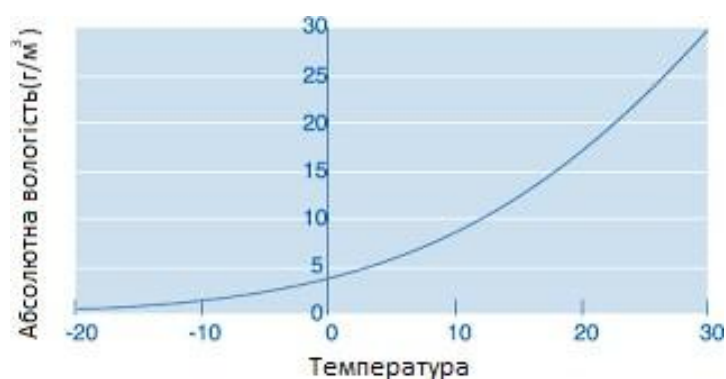


Рис. 3.20 - Залежність вологості від температури в гідропонній системі

На основі цього загальна схема контуру матиме вигляд, зображений на рис. 3.21.

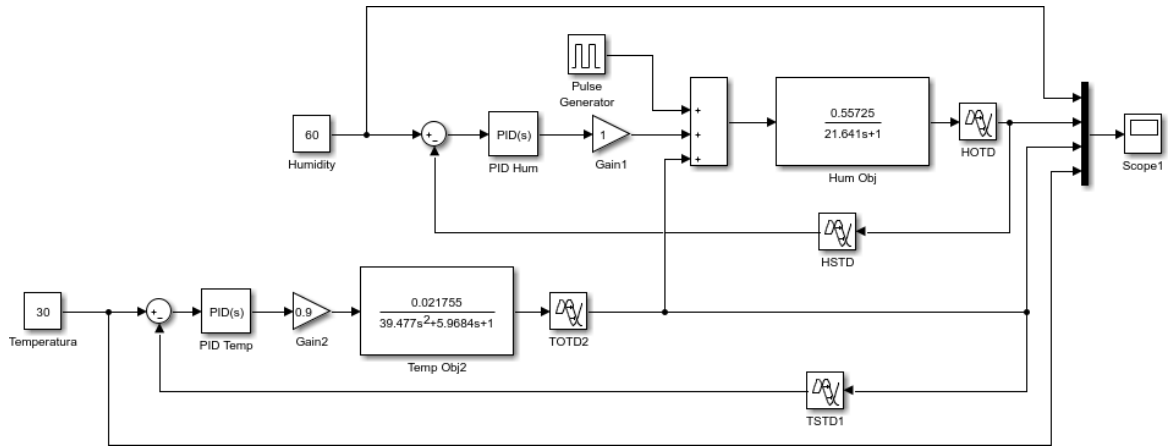


Рис. 3.21 - Схема регулювання вологості в гідропонній системі

Розпочавши процес регулювання вологості й досягнувши потрібного рівня, з графіка на рисунку 3.22 видно, що підвищення температури спричиняє збурюючий вплив на систему контролю вологості.

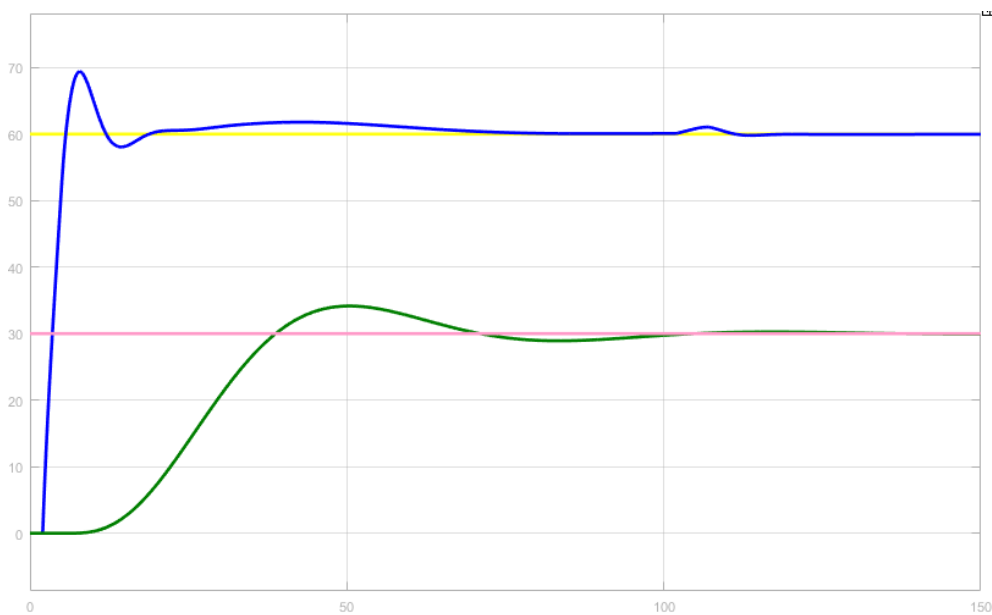


Рис. 3.22 - Графік перехідного процесу регулювання вологості за умови залежності вологості від температури

3.5 Керування освітленістю гідропонної системи

У сучасних теплицях зазвичай використовують натрієві лампи високого тиску, спеціально пристосовані для потреб рослинництва, відомі як аграрні

натрієві лампи. Однак такі лампи перетворюють лише третину енергії на корисне випромінювання для фотосинтезу, а значна частина енергії витрачається на виділення тепла. Згідно з дослідженнями інституту «Гіпронсельпром», для досягнення необхідного рівня освітленості 40 Вт/м^2 у теплицях, де вирощують розсаду, потрібна натрієва лампа потужністю щонайменше 120 Вт. Для забезпечення рівня 100 Вт/м^2 , потрібного для вирощування готової продукції, мінімальна потужність лампи має становити 300 Вт. За умов світлового дня тривалістю 14 годин для розсади та 16 годин для продукції споживання електроенергії на квадратний метр сягає кількох кіловат-годин на добу. Водночас використання світлодіодних світильників може зменшити це споживання щонайменше втричі. Завдяки меншій потужності та оптимально підбраному спектру випромінювання, світлодіоди забезпечують більш ефективне освітлення, що дозволяє знизити необхідну потужність лампи, а також скоротити витрати електроенергії. Як зазначено у статті [5], освітлення світлодіодами забезпечило повний цикл розвитку рослин, тоді як при освітленні люмінесцентними лампами рослини досягли лише стадії цвітіння. Це відкриває перспективи прискорення циклу розвитку та збільшення кількості плодоношення, що досягається завдяки ретельно підбраному спектру світлодіодного освітлення.

У контролері задається бажана освітленість, яку можна назвати контрольною або встановленою. Датчик вимірює реальну освітленість, а різниця між фактичною та встановленою освітленістю визначає величину відхилення. На основі цього контролер розраховує необхідну потужність для виконавчого пристрою, такого як світлодіодна стрічка, яка працює в режимі плавного регулювання потужності [1]. Якщо освітленість є меншою за встановлену (відхилення додатне), це свідчить про недостатнє освітлення в гідропонній системі, і потужність стрічки збільшується. У разі перевищення фактичною освітленістю встановленого рівня, потужність знижується, оскільки світла вже достатньо. Також система передбачає функцію «сну» для рослин, що забезпечує повне вимкнення освітлення на

певний період (наприклад, уночі), який задається через комп'ютер оператора [1]. Для реалізації цієї системи контролю освітленості використовуються плата Arduino, датчик освітленості та реле, що дозволяють регулювати потужність світлодіодної стрічки [1]. Структурна схема системи керування освітленням гідропонної системи наведена на рис. 3.23.

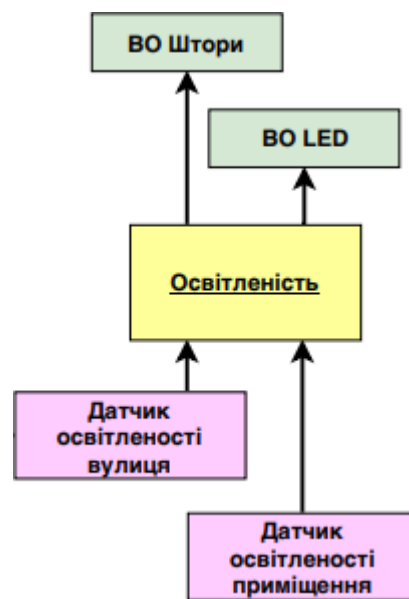


Рис.3.23 - Структурна схема системи керування освітленням гідропонної системи

Для встановлення бажаного рівня освітленості оператор може передавати команди через комп'ютер. Інформація про показники освітленості буде відображатися на моніторі, що дозволяє копіювати отримані дані та вставляти їх у електронну таблицю. На основі цих даних можна створювати графіки, які наочно демонструють ефективність регулювання освітленості [1]. Процес регулювання здійснюється за допомогою програмного забезпечення і не вимагає додаткового фізичного регулятора.

3.6 Керування рівнем CO₂ в гідропонній системі

Для регулювання рівня CO₂ у гроубоксі контролер налаштовується на бажаний, або встановлений, рівень. Датчик здійснює вимірювання реального

рівня CO₂, а різниця між фактичним і заданим значеннями визначає величину відхилення. Контролер використовує цю інформацію для розрахунку потужності сигналу, що передається до виконавчого пристрою, яким у цьому випадку є вентилятор [1].

У структурному описі системи регулювання рівня CO₂ у гідропонній системі представлена схема, яку можна побачити на рис. 3.24.

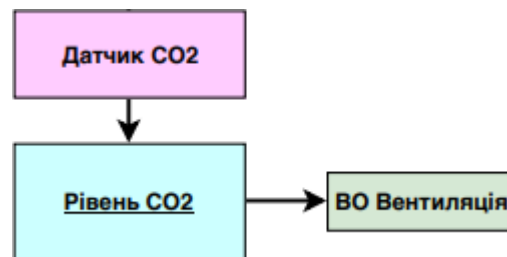


Рис. 3.24 - Структурна схема системи керування рівнем CO₂ в гідропонній системі

Якщо відхилення є додатним (заданий рівень CO₂ перевищує фактичний), це свідчить про низький рівень CO₂ у гідропонній системі, що потребує посилення PWM для двигуна. У випадку, коли фактичний рівень CO₂ перевищує заданий, рівень CO₂ у системі є високим, що дозволяє зменшити PWM для вентилятора. Для здійснення регулювання рівня CO₂ шляхом плавного контролю роботи вентилятора використовується плата Arduino та датчик CO₂. Виконавчим пристроєм у системі виступає вентилятор [1]. Оператор може задавати контрольний рівень CO₂ через комп'ютер, а поточний рівень буде відображатися на моніторі. Отримані дані про рівень CO₂ можна копіювати та вставляти до електронної таблиці, створюючи графіки, які демонструють ефективність регулювання рівня CO₂ [1].

3.7 Висновки

В даному розділі розроблено систему автоматичного керування для забезпечення необхідних параметрів вирощування рослин у гроубоксі. З цією

метою вирішено наступні задачі.

1. Регулювання концентрації суміші рідин в апараті проточного типу гідропонної системи.
2. Регулювання температури середовища гідропонної системи.
3. Регулювання вологості середовища гідропонної системи.
4. Керування освітленістю гідропонної системи.
5. Керування рівнем CO_2 в гідропонній системі.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи бакалавра була вирішена поставлена задача інтелектуального керування розподіленими зрошувальними системами. Для цього було виконано наступні завдання:

- проведено аналіз технологічного процесу зрошення як об'єкту керування;
- проведено моделювання процесів вимірювання вологості ґрунту в задачах керування розподіленими зрошувальними системами;
- розроблено систему автоматичного керування для забезпечення необхідних параметрів вирощування рослин у гроубоксі.

Результати досліджень, які містяться в даній роботі, можуть бути застосовані при модернізації сучасних розподілених зрошувальних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.
2. William Texier. Hydroponics for all. All About Home Gardening: HydroScope, 2013. - 296 p. - ISBN 978-2-84594-089-5. Bentley M.
3. "Using LED Lights for Greenhouse Lighting: Reality and Perspectives" STA - PRESS, 2015.
4. Gaurav Sablok - Plant Metallomics and Functional Omics – Springer, University of Technology Sydney Australia 2019.
5. Jack W. Lewis - Feedback Control Systems Demystified - Surber Press; 1.1 edition 409pg. (March 29, 2014).
6. Anand Udupa - Zen of Analog Circuit Design 156 pg – 2015.
7. Датчик вологи DHT 22 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>
8. Датчик якості повітря\CO2 MQ135 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/SNS_MQ135/resources/SNS-MQ135.pdf
9. Датчик температури DS18B20 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
10. Фітосвітлодіоди для вирощування рослин [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
http://www.symmetron.ua/N_A/news:n02092015
11. Humidity sensors principle, mechanism, and fabrication technologies: A comprehensive review / Farahani H. [et al.] // Sensors. – 2014. – №14. – P. 7881-7939.
12. Proton transport property in supported nafion nanothin films by

electrochemical impedance spectroscopy / Devproshad K. [et al.] // Journal of Electrochemical Society. – 2014. – Vol. 161, Is. 14. – P. 1395-1402.

13. Леві Л.І. Генетичні алгоритми оптимізації в задачах керування зрошувальними системами // Збірник наукових праць: Системи управління, навігації та зв'язку Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» / - №3 (61), 2020. – С. 36 - 40.
<http://doi.org/10.26906/SUNZ.2020.3.036>
<http://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/8669>
14. Леві Л.І. Інтелектуальні інформаційні технології в ідентифікації і керуванні складними технічними об'єктами в умовах невизначеності: [монографія]. – Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2021. – 194 с.
<http://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/9464>

ДОДАТОК А
SECTION 1. ANALYSIS OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF
IRRIGATION AS A CONTROL OBJECT

SECTION 1

ANALYSIS OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF IRRIGATION AS A CONTROL OBJECT

1.1 Main technical parameters and characteristics of devices for determining relative humidity

The most important technical parameters for humidity sensors, regardless of the scope of application, are accuracy, reproducibility, compatibility, long-term instability, the ability to regenerate condensate and resistance to chemical and physical contaminants. It is also often necessary to ensure energy independence (or low energy consumption) of the integrated design of humidity measuring devices and small linear dimensions for integration into various equipment and placement in sealed packages with products and products that require climate control during storage, transportation and use. For all types of humidity sensors, several key parameters and concepts should be introduced.

Sensitivity is the result of dividing the output signal (change in frequency or capacitance) by the external influence (relative humidity). It determines the range of external influences.

Hysteresis is a property that determines the difference between the value of the output quantity (frequency, capacitance) for the same input quantity, measured under conditions of increased and decreased humidity.

Nonlinearity is a desired quantity in certain mathematical equations, which contains one or more powers or coefficients that depend on the properties of the medium. Nonlinearity can be determined by the method of independent linearization (the best linearization method). It consists in finding a straight line passing through the middle of two parallel straight lines that are as close to each other as possible and cover all the initial values of the real transfer function.

Long-term instability is a property that is determined by the state of the system, characterized by heterogeneity and changes in time. Long-term drift of parameters can be measured over fairly long periods of time - from months to years. The rate of

aging depends on the storage and operating conditions, the degree of isolation of the sensing element from the environment and the materials from which it is made. Severe aging is characteristic of sensors with organic components and less pronounced for sensors with inorganic components. Long-term instability is expressed in percentages of relative humidity per year.

The temperature coefficient is the ratio of the change in the set value to the temperature difference. It is determined by the deviation of the output signal in the operating temperature range. For this, the output characteristics (for example, frequency and capacitance) are measured in 10°C increments as a function of humidity over the entire operating temperature range.

1.2 Equipment and methods for determining relative humidity

Capacitive humidity sensors are widely used in modern equipment and household appliances due to the optimal combination of certain properties. Such sensors are produced in sufficient quantities using microelectronics technologies. The appearance of a capacitive sorption humidity sensor is shown in Fig. 1.1



Fig. 1.1 - Capacitive sorption humidity sensor

Theoretically, a capacitive humidity sensor is a capacitor where changes in humidity lead to a change in its capacity. This is ensured by a change in the dielectric constant of the material between the capacitor covers. Polymeric materials and materials derived from metal oxides are used. The dielectric constant of water is 81,

and most materials have a permittivity of unity, only a few substances exhibit a permittivity in the thousands and even tens of thousands. The capacitance of the capacitor can either increase or decrease depending on the material used, as it is affected by moisture sorption. They consist of a substrate on which a thin film layer is located above two conductive electrodes deposited on the surface of the substrate. The electrodes are usually made of aluminum, gold or nickel. The distance between them is from tens to hundreds of microns. The electrodes are applied by magnetron sputtering or vacuum resistive sputtering. The sensitive surface is covered with a porous metal electrode to protect against contamination and condensation. This electrode also determines the nominal capacitance of the sensor - in fact, it plays the role of the second coating of the capacitor. The substrate material is usually glass, ceramic or silicon. Changes in the dielectric constant of the sensitive layer of a capacitive sensor are almost directly proportional to the relative humidity of the ambient air, as a result, the dependence of the capacitance of such a sensor on the relative humidity of the air is close to linear. A 1% fluctuation in humidity causes a change in capacitance by 0.2-2.0 pF, and the change in capacitance in the range of relative humidity from 5 to 98% at room temperature is usually from 100 to 200 pF. The nominal capacitance of sensors is usually 250-1000 pF. In them, some nonlinearity of the characteristics is observed in areas of extreme relative humidity with low humidity values (up to 8-10%), a change in capacity when the humidity changes by 25-50% less than in the main area, and at high humidity (more than 90%) approximately the same amount. The upper electrode is quite fascinating. Although it is not connected directly to the recording device, it plays a crucial role in determining the main characteristics of the sensor. It must be able to withstand electrical and chemical influences in a humid environment. Materials related to suitable materials are gold, nickel and platinum metals. In addition to this, it must have the most important property - the ability to transfer moisture to the dielectric material. To achieve this, the electrode is designed with a porous structure. This is ensured by the fact that when applied to metal, the future sensor deviates from the vertical direction of the flow of metal atoms at a sufficiently large angle, so that the

atoms fall on the surface of the dielectric at a very acute angle and form initially an island structure, which then becomes a porous material as the material accumulates. Capacitive humidity sensors vary depending on the low temperature coefficient. It also has the ability to operate up to 200° C at high temperatures, where the polymer sensitivity to the material begins to decrease. The capacitive sensor can fully recover from condensation and is moderately chemically resistant. To protect against condensed moisture, the sensor is covered with a thin porous polymer membrane that prevents the formation of moisture between the electrodes to prevent closure. The response time for this type of humidity sensor is 30-60° C for a change in relative humidity in the range of 10-75%. The latest capacitive sensors integrate the latest advances in semiconductor microelectronics, which has long used parameter shifts and hysteresis. Capacitive sensors of thin classes are made of signal amplifiers on the board. The accuracy class of a typical capacitive sensor for two-point calibration is $\pm 2\%$, the relative humidity is from 5 to 98%.

The latest capacitive sensors for protection are covered with a membrane of thermally reactive polymer, which protects the sensitive elements from moisture and mechanically protects them from damage by light, dust and direct effects. The advantages of these sensors can describe a wide range of measurements, resistance to condensation and some compatibility. The disadvantage is the inaccuracy of measurements at high temperatures.

Optical humidity sensors. To detect the presence of impurities of certain gases (methane and carbon monoxide) in air or other gas, which is extremely important for some industries, optical gas sensors are used, which are based on the phenomenon of absorption by molecules of radiation with a specific wavelength. There is a number of clearly defined wavelengths where absorption is very significant for many gas molecules, and at the same time these lines are quite distant from the characteristic lines of other molecules. The advantage of such optical sensors is the absence of electrical contact between the gas under study and the sensor systems. Also attractive is the possibility of creating a device for simultaneous measurement of gas concentrations and their presence, that is,

simultaneous qualitative and quantitative analysis. This possibility appears due to the fundamental properties of absorbed radiation - it is absorbed at a certain wavelength, and the amount of absorbed radiation is proportional to the amount of the substance being determined. The appearance of an optical humidity sensor is shown in Fig. 1.2.

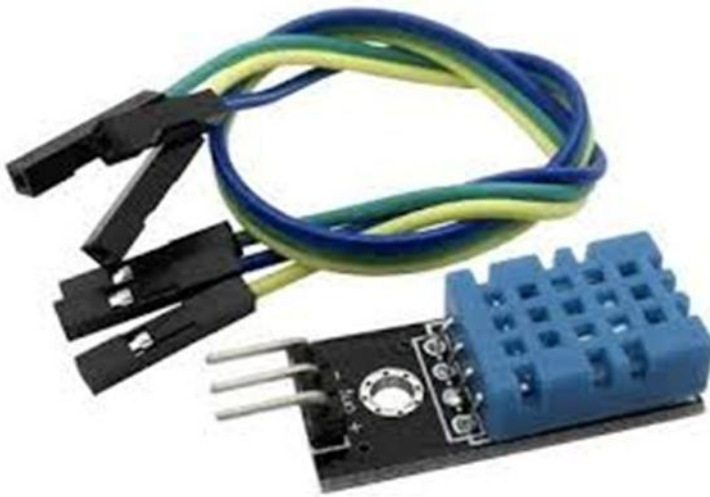


Fig.1.2 - Optical humidity sensor

For example, there is an absolute optical humidity sensor. Its operating principle is based on the absorption of short ultraviolet radiation in the water band with a wavelength of 121.6 nm. It differs in its slowness and lack of actual calibration. Its disadvantages should be attributed to the much larger number of capacitive and more illuminated sensors formed by microelectronic methods (compared to capacitive and resistive humidity sensors). Infrared hygrometers are also known, which are complex and expensive devices, but have inadequate properties. However, it must be explained that all the characteristics of the sensors do not take into account important parameters, so that atmospheric pressure and its changes significantly affect the characteristics of any type of humidity sensor. Humidity sensors are usually hygrometers (Taupunk sensors) with a cooled mirror. This hygrometer determines the dew point at the temperature of the cooled metal

level when traces of water or frost appear in the condensation from the ambient air or the analyzed gas. The condensed hygrometer consists of a mirror heat carrier, an optical or electrical device that protects the moment of condensation, and a thermometer that measures the temperature of the mirror. Peltier Effect electronic elements are used in modern condensed hygrometers to cool the mirror. The mirror temperature is measured by wire resistance or a semiconductor micrometer. The Taupunk Tenser with a cooled mirror is distinguished by excellent accuracy in determining the Taupunk Tenser, which can be transferred to a percentage of relative humidity due to the presence of an expression. Such sensors are also portable, very expensive and have significant limitations on the working area. Therefore, it is mainly used for mechanization of cattle with capacitive and resistive and other sensors such as the base.

The principle of sorption humidity sensors is to determine the changes in electrical resistance in hygroscopic media, which are electrical polymers, salts or specially treated substrates. Usually there are resistant air humidity sensors made of metal electrodes, which are applied to wounds on boards or plastic or glass cylinders. Substrates containing physiological or electrically conductive polymers are coated with electrodes. After evaporation of the solvent (water or alcohol), the entire surface of the future sensor is covered with a uniform layer of moisture. Alternatively, the surface of the sensor acid can be exposed, forming functional groups. These groups attach water. When the relative humidity changes within 50%, the response time for the most resistant adsorption sensor for air humidity is usually 10-30°C. The resistance range of a typical resistance-sensitive element is 10-10 MΩ. In fact, due to the existing capacitive effects, the resistance sensor is completely unstable to support ten MΩ. The main advantage of resistive humidity sensors is their unsurpassed interchangeability. Thus, the normal resistance can be used to adjust the signal armature circuit for a certain value of relative humidity. This eliminates the humidity calibration criteria. The operating temperature range for resistive humidity sensors is usually minus 40-100°C [7]. The sensors are usually interrupted by alternating current and voltage. Before measurement, the resistance sensor requires

the presence of heating to remove adsorbed water from the moisture-sensitive coat. This provides higher measurement accuracy by eliminating drops at low temperatures and high humidity. An important disadvantage of resistance sensors is the strong temperature dependence of the resistance to humidity, but this disadvantage can be compensated by introducing a thermally compensated sensor integrated circuit. The advantages of resistive humidity sensors should include a fairly long service life (up to 5 years). This is effectively compatible with manufacturers of household appliances (refrigerators, dishwashers, washing machines), which usually build similar types of sensors. The oil resources of the sensor are significantly reduced by exposure to chemical vapors, so the protective coating is usually inserted into the ceramic structure. The plastic housing also uses anti-stick filters to mechanically protect the resistors. The output signal of the resistive humidity sensor is a voltage drop that is directly proportional to the relative humidity. The sensor has a medium exchange rate and also has good properties, as it has a moisture measurement accuracy of $\pm 2\%$ relative humidity - slightly inferior to the spacious sensor. Such resistance sensors with polyacrylonitriles or sulfopolyester films are clearly suitable for use in home technology and can be used in industry, but they are easy to work with. The developers of these sensors have already improved the manufacturing technology at Honeywell and several other American companies in the 90s [10]. Their research in this direction led to the development of a relative humidity resistance sensor using thermally induced plastic, aluminum oxide, and chloride ionic membranes.

Moisture-sensitive polymer films. Polymer coatings are most widely used in current sorption-type humidity sensors, due to their low cost, mass, controllable selectivity, and a wide range of similar coatings with minor differences in properties. Sorption processes in polymers also have their own characteristics. The process of absorption and desorption of water molecules by polymers occurs not only through the formation of hydrogen bonds, but also, to a much greater extent, by filling the cavities in the polymer structure with monomeric water molecules, where the microfields of the polymer structure hold polarized water molecules. The most

interesting and suitable polymer for use in humidity sensors is Nafion. Nafion is a representative of perfluorocarbons. The precursor of Nafion is perfluorooctanoic acid - a synthetic acid widely used in various fields of industry, which is also known under the designation C8. In addition, this acid is also used in the production of Teflon and other fluorocarbon materials. One of the most important applications of Nafion is the manufacture of fuel cells with a polymer membrane. The distinctive properties of Nafion, in which its similarity to Teflon is manifested, are high chemical resistance and significant thermal stability. In a typical planar process of manufacturing sensors by explosive photolithography, such resistance can complicate the transition of products to mass production. It is necessary to use special solvents and/or photoresists that dissolve in substances inert to Nafion and sensor materials, but provide the necessary resolution and processability. In addition, the high baking temperature of Nafion requires heat-resistant photoresists. A more radical approach to solving the problem of processing Nafion is to abandon photolithography and apply the polymer to the entire surface of the humidity sensor. Films of polybenzoxazoles can also be used as moisture-sensitive. They contain fragments with benzoxazole cycles in the periodic chain of macromolecules. The most interesting aromatic polybenzoxazoles (polyheteroarylenes) are amorphous or crystalline substances of yellow or orange color, with a density of 1.35-1.40 g/cm³ and a softening temperature of 250-400°C. Polybenzoxazoles based on dicarboxylic acids with C6-C8 soften in the range of 250-280°C. Most polybenzoxazoles are soluble only in concentrated sulfuric and polyphosphoric acids, some - in dimethylformamide, DMSO, m-cresol, formic acid. They are characterized by intense luminescence in the range of 410-580 nm. They are stable when heated in air up to 450°C. In general, polybenzoxazoles are characterized by high chemical stability, especially in acidic and alkaline environments. Based on polybenzoxazoles, plasma-resistant and heat-resistant photoresists are made.

The use of polymethyl methacrylate (PMMA) is known as a material for moisture sensitivity in layers, but compared to the two polymer materials described initially. This reduces the ability to absorb and regenerate water vapor. PMMA is a

linear thermoplastic polymethyl methacrylate. PMMA is very transparent and has high transparency for both visible light and UV spectra. It also has air, resistance and excellent physical, mechanical and electrical insulating properties, resistant to diluted acids and alkalis, water, alcohol, fats and mineral oils. It is also physiologically harmless and resistant to biological environments. It is soft and easy to process at temperatures above only 120°C. Free radical polymerization of monomers rarely persists in the mass (block), and also does not persist in emulsions and suspensions in solution. PMMA is produced in the form of sheets and granules intended for treatment by pouring under pressure or extrusion. PMMA releases such granules with appropriate solvents (Xazol, Toluol, Dichlorotetan) and can be applied to the surface of the centrifuge sensor, with the thickness properly controlled by the sensitivity to moisture of both the centrifuge rotational speed and the solvent content. After applying the film, it should be dried at room temperature for at least 24 hours. PMMA can introduce all types of micro- and nano-particles. PMMA can also be used to increase the moisture content of various films such as ceramics. PMMA is one of the most commonly used films for various types of moisture sensors. Derivatives of polyvinyl alcohol and polyvinyl acetate (PVA) have been popular as moisture-sensitive polymer membranes. PVA is a vinyl acetate polymer. It is a solid, colorless and non-toxic substance, with a molecular weight of 10,000 to 1,500,000 (depending on storage conditions). PVA is soluble in many organic solvents, but not in gasoline, mineral oil or water. The responsibility for various materials is high. Free radicalization of monomers can be obtained as a solution, emulsion or suspension. PVA is available in the form of granules (pearls), aqueous dispersions or solutions (boils). PVA is also a half-product for the synthesis of polyvinyl alcohol and polyvinyl cetal.

1.3 Conclusions

This section analyzes the technological process of irrigation as a control object. The following issues are considered.

1. The main devices that measure humidity are analyzed, the operating range of devices for measuring humidity is determined.
2. The principles of operation of devices for measuring soil moisture are determined, their characteristics are analyzed for use in intelligent control of distributed irrigation systems.

ДОДАТОК Б
ГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

Кафедра автоматичної, електроніки та телекомунікацій

Кваліфікаційна робота

Бакалавр

НА ТЕМУ: «Інтелектуальне керування розподіленими зрошувальними системами»

ВИКОНАВ: студент групи 201-тІМЕ2 Думнінік Д.С.

КЕРІВНИК: д.т.н., професор Леві Л.І.

Полтава -2025

Основні характеристики роботи

- ❖ **Актуальність обраної теми** зумовлена тим, що автоматизація процесів підтримання оптимального рівня вологості для сільськогосподарських культур є одним із найперспективніших напрямків у сфері інженерії та науки.
- ❖ **Об'єктом дослідження** є сама розподілена зрошувальна система та її керування. Зокрема, це включає інфраструктуру системи зрошення – трубопроводи, насосні станції, резервуари для води та інші технічні компоненти; системи моніторингу та сенсори – датчики вологості ґрунту, кліматичні станції, технології дистанційного контролю; моделі та алгоритми керування – математичне моделювання для оптимізації роботи системи.
- ❖ **Предметом дослідження** є процеси, методи та технології інтелектуального керування зрошувальними системами, що функціонують у розподіленому середовищі з використанням сенсорних мереж, алгоритмів обробки даних та автоматизованого прийняття рішень.
- ❖ **Мета даної роботи** - розробка підходів до синтезу інтелектуальних систем керування розподіленими зрошувальними системами, що забезпечують оптимізацію процесів зрошення для підвищення ефективності та раціонального використання ресурсів.

Завдання Дослідження:

- ❖ аналіз технологічного процесу зрошення як об'єкту керування;
- ❖ моделювання процесів вимірювання вологості ґрунту в задачах керування розподіленими зрошувальними системами;
- ❖ синтез системи автоматичного керування для забезпечення необхідних параметрів вирощування рослин у гроубоксі.

Величини, що характеризують вміст води в ґрунті

- ❖ Під масовою вологістю розуміється відношення маси води, яка міститься в ґрунті, до маси твердого сухого ґрунту:

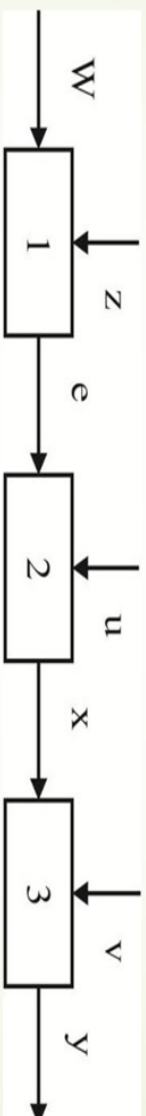
$$W = \frac{M}{M_0},$$

- ❖ Під об'ємною вологістю розуміється відношення обсягу води, яка міститься в тілі, до обсягу твердого сухого ґрунту:

$$\theta = \frac{V}{V_0},$$

Узагальнена структурна схема приладу 5

Вимірювання вологості ґрунту



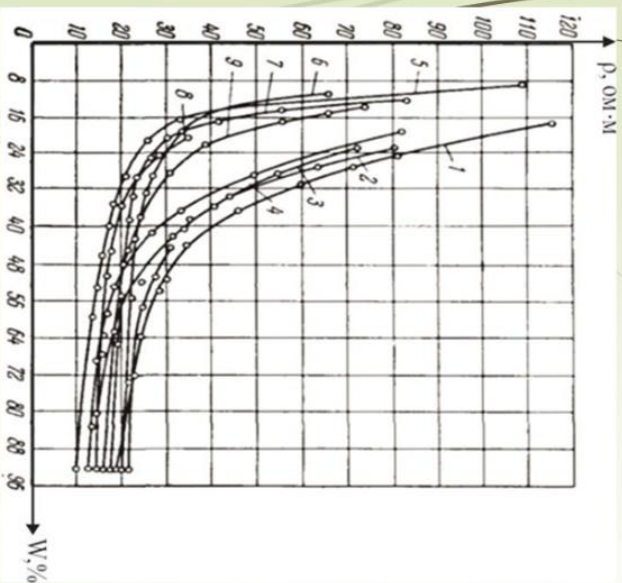
- ❖ 1- ланка, що здійснює перетворення вологості в фізичну властивість матеріалу; W - вологість ґрунту; e - фізична властивість матеріалу, використовуюваного для вимірювання вологості; z - вплив рівноваги на ланку 1;
- ❖ 2- первинний вимірювальний перетворювач (ВП); x - вихідний сигнал первинного ВП; **вплив** рівноваги на ланку 2, пов'язаний зі зміною умов вимірювання;
- ❖ 3- вимірювальний пристрій, що порівнює сигнал первинного ВП x з мірою цієї величини; y - вихідний сигнал приладу; v - перешкода, що впливає на вимірювальний пристрій.

Залежність питомого опору ґрунту від

вологості

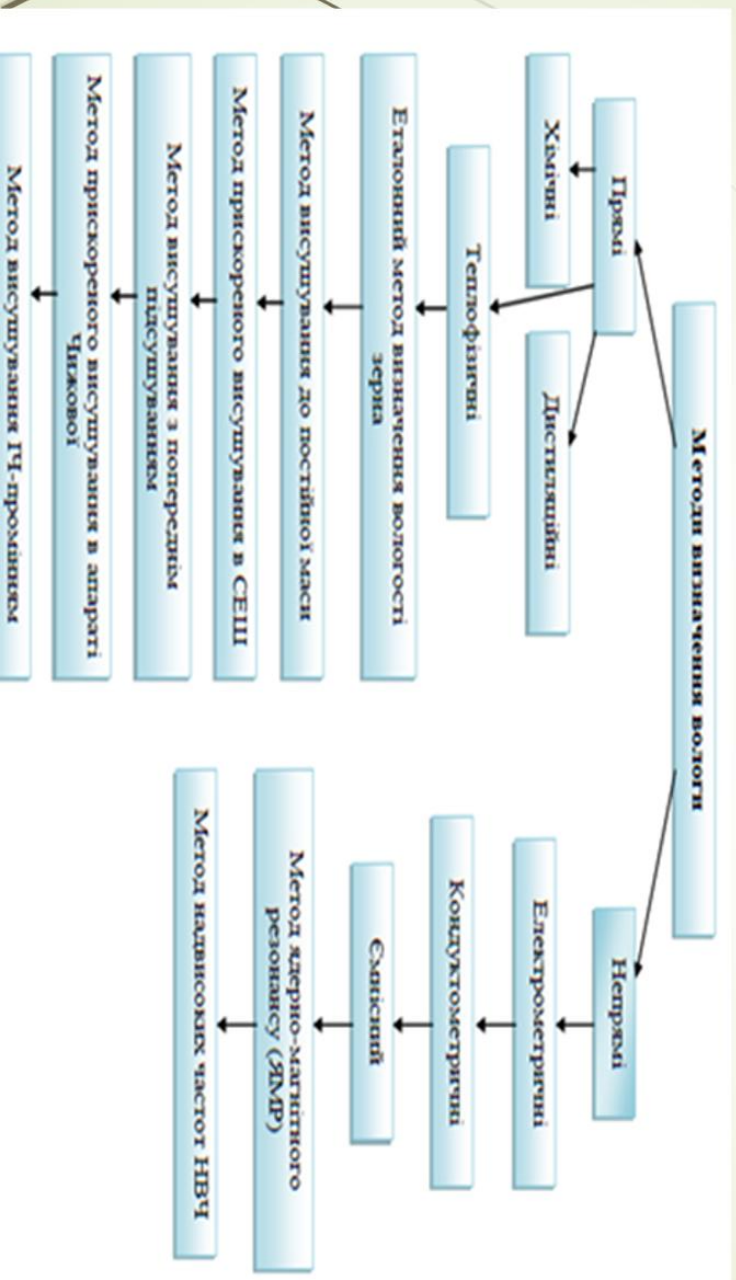
Показано залежності для тонкодисперсних ґрунтів на графіках 1-4, для грубодисперсних ґрунтів на графіках 5-9.

Для отримання цієї залежності всі інші фактори, які можуть одночасно з величиною впливати на опір, повинні штучним чином приводитися до стабільності.

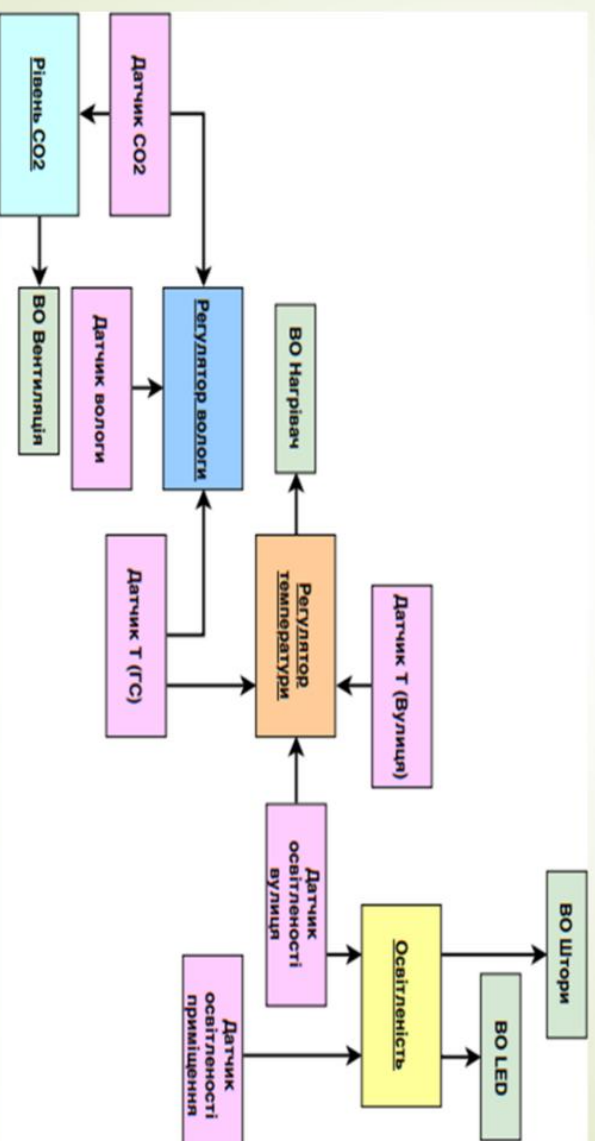


Методи вимірювання вологості

7



Системи автоматичного керування для забезпечення необхідних параметрів виращування рослин у гроубоксі



Апаратні засоби САК

9

Датчик витрат УF-S401

- ▶ Компактний, простий в установці;
- ▶ Високі показники герметизації;
- ▶ Високоякісний датчик на основі ефекту Холла;
- ▶ Сумісність із RoHS (Restriction of Hazardous Substances).



Датчик температури DS18B20

- ▶ Унікальний інтерфейс 1-Wire вимагає лише одного порту для спілкування.
- ▶ Зменшена кількість компонентів за допомогою інтегрованого датчика 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 в діапазоні від -10°C до $+85^{\circ}\text{C}$.
- ▶ Програмована роздільна здатність від 9 біт до 12 біт.
- ▶ Не потрібні зовнішні компоненти.



ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було вирішено поставлена задача інтелектуального керування розподіленими зрошувальними системами. Для цього було виконано наступні завдання:

- проведено аналіз технологічного процесу зрошення як об'єкту керування;
- проведено моделювання процесів вимірювання вологості ґрунту в задачах керування розподіленими зрошувальними системами;
- розроблено систему автоматичного керування для забезпечення необхідних параметрів вирощування рослин у ґрунбоксі.

Результати досліджень, які містяться в даній роботі, можуть бути застосовані при модернізації сучасних розподілених зрошувальних системам.