

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

**В.о. завідувача кафедри
автоматики та робототехнічних систем
ім. акад. І.І. Мартиненка**
(назва кафедри)

К.Т.Н., доц. _____ О.О. Опришко
(підпис) (ПІБ)

" ____ " _____ 2025 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему "КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА
УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ
ПРОРОЩУВАННЯ НАСІННЯ У ТЕРМОСТАТІ З
ВИКОРИСТАННЯМ КТЗ ARDUINO"**

Спеціальність: 151 - "Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології"

Гарант освітньої програми

Д. Т.Н., професор
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Заєць Н.А.
(П.І.Б.)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Кіктєв М.О.
(П.І.Б.)

Виконав

(підпис)

Устимов І.С.
(П.І.Б.)

КИЇВ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

автоматики та робототехнічних систем

ім. акад. І.І. Мартиненка

(назва кафедри)

к.т.н., доц. О.О. Опришко

(підпис)

(ПІБ)

" _____ " _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студентці

Устимова Ігоря Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність: 151 - " Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології "

1. Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: "Комп'ютерно-інтегрована система управління технологічним процесом пророщування насіння у термостаті з використанням КТЗ Arduino ",

затверджена наказом ректора НУБіП України від "18" 11 2024 р. № 2056 "С"

2. Термін подання завершеної роботи на кафедру "31" травня 2025 р.

3. Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи:

3.1. Завдання кафедри на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи.

3.2. Нормативні документи по проектуванню біомедичних систем

3.3. Наукова література з тематики бакалаврської кваліфікаційної роботи.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

4.1. Аналіз стану проблеми підтримки температури і вологості при пророщуванні насіння

4.2. Дослідження пророщування насіння в термостаті як біотехнічного об'єкту .

4.3. Огляд відомих математичних моделей і систем управління процесу пророщування насіння

4.4. Вибір комплексу технічних засобів для реалізації комп'ютерно-інтегрованої системи.

4.5. Розробка програмного забезпечення КІТ

4.5. Схеми комп'ютерно-інтегрованої системи (структурна, функціональна, принципова електрична, монтажні схеми).

- 4.6. Кошторисні розрахунки.
- 4.7. Техніка безпеки і охорона праці.

5. Перелік графічних документів:

- 5.1. Структурна і функціональна комп'ютерно-інтегрованої системи.
- 5.2. Схема електрична принципова комп'ютерно-інтегрованої системи, схеми з'єднань і підключень, щитка керування.

.

Дата видачі завдання "19" грудня 2024 року

**Керівник
бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

(підпис)

Кіктєв М.О.
(П.І.Б.)

**Завдання прийняв до
виконання**

(підпис)

Устимов І.С.
(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота за темою «Комп'ютерно-інтегрована система управління технологічним процесом пророщування насіння у термостаті з використанням КТЗ Arduino» виконана студентом кафедри автоматики та робототехнічних систем ННІ енергетики, автоматики та енергозбереження *Устимовим Ігорем Сергійовичем* зі спеціальності 151 «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології» та складається зі: вступу; 5 розділів, висновків до кожного з цих розділів; загальних висновків; списку використаних джерел, який налічує 26 джерел, та 2 додатків. Кількість таблиць – 12, ілюстрація - 18. Загальний обсяг роботи 72 сторінок.

Метою роботи є підвищення результату якості насіння при його пророщуванні у термостаті за допомогою створення комп'ютерно-інтегрованої системи.

Об'єктом дослідження є технологічний процес пророщування насіння в термостаті .

Предметом дослідження є комплекс моделей, методів, програмних та технічних засобів для комп'ютерно-інтегрованої системи управління процесом пророщування насіння. Програмний додаток дозволяє моніторити температуру і вологість повітря, виконувати автоматизоване управління, зберігати потрібні записи при підключенні до мережі Інтернет. Для створення програмного додатку використовується мова програмування Python. Розроблено інтерфейс в середовищі LabView.

У роботі є короткий огляд методів управління пророщуванням насіння, технічних і програмних засобів.

Ключові слова: пророщування насіння; термостат; візуалізація; алгоритм; Arduino; програмний додаток; Python

ABSTRACT

Thesis on the topic "Computer-integrated control system for the technological process of seed germination in a thermostat using Arduino KTZ" was completed by a student of the Department of Automation and Robotic Systems of the National Research Institute of Power Engineering, Automation and Energy Conservation, Igor Serhiyovych Ustimov, majoring in 151 "Automation and Computer-Integrated Technologies" and consists of: introduction; 5 sections, conclusions to each of these sections; general conclusions; list of sources used, which includes 26 sources, and 2 appendices. Number of tables - 12, illustrations - 18. Total volume of work 72 pages.

The purpose of the work is to improve the quality of seeds during their germination in a thermostat by creating a computer-integrated system.

The object of the study is the technological process of seed germination in a thermostat.

The subject of the study is a set of models, methods, software and hardware for a computer-integrated system for controlling the seed germination process. The software application allows you to monitor air temperature and humidity, perform automated control, and save the necessary records when connected to the Internet. The Python programming language is used to create the software application. An interface has been developed in the LabView environment.

The work provides a brief overview of seed germination control methods, hardware and software.

Keywords: seed germination; thermostat; visualization; algorithm; Arduino; software application; Python

ЗМІСТ

Перелік скорочень

Вступ

1. Технологічна характеристика об'єкта управління

1.1. Актуальність задачі лазерного оптичного опромінення насіння

1.2. Інформаційний аналіз об'єкта управління

1.3. Принцип роботи термостату для визрівання насіння.

1.4. Технологічні параметри процесу визрівання насіння в термостаті.

2. Математичне моделювання процесу

2.1. Планування експерименту щодо лазерного опроміненні і дозрівання насіння у термостаті

2.2. Обробка експериментальних даних і побудова регресійної моделі

2.3. Дослідження динаміки об'єкта управління

3. Реалізація алгоритму керування об'єктом

3.1. Розробка функціональної схеми системи автоматизації

3.2. Термостат ТС-20 і його комплектуючі

3.3. Вибір датчика температури і вологості

3.4. Вибір виконавчого механізму САК та визначення його передатної функції

3.5. Розробка системи автоматичного керування термостатом

3.6. Дослідження системи автоматичного керування на стійкість та визначення якості регулювання

3.7. Перехідний процес САК та визначення показників якості

4. Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи управління термостатом

4.1. Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи управління

4.2. Розробка алгоритму і програмного забезпечення

4.3. Проектування мобільного додатку

5. Розробка схем системи автоматизації

Висновки

Список використаних джерел

Додатки

ВСТУП

Проблема продуктивності рослинництва не втрачає своєї актуальності протягом багатьох століть. На сьогодні відомі різні методи стимуляції росту рослин, зокрема магніто-імпульсні і лазерні. Лазерна стимуляція знайшла своє застосування в біології, медицині, сільському господарстві. Дана робота присвячена вдосконаленню експерименту з лазерного опромінювання насіння, аналізу факторів і параметрів, а також обґрунтуванню апаратного комплексу інформаційно-управляючої системи для проведення експерименту. Аналіз тенденцій розвитку агропромислового виробництва України та розвинутих капіталістичних країн показує, що ріст енергоматеріальних витрат на виробництво продукції рослинництва випереджає ріст врожайності. Тому наукові дослідження, що пов'язані з розробкою новітніх енерго-ресурсозберігаючих технологій, які дозволяють підвищити продуктивність рослинних біосистем є перспективним.

Посівні якості насіння визначають врожайність рослин. Необхідність мати страховий фонд насіння, зберігання в несприятливих умовах, відсутність єдиної ефективної системи контролю за якістю посівного матеріалу призводять до використання насіння із зниженими посівними якостями, що веде до не раціонального використання площ під олійними культурами, підвищення витрат на вирощування. Через це широко застосовуються різні методи передпосівної стимуляції насіння. Найбільш ефективними та екологічно чистими є електрофізичні способи. Лазерне випромінювання оптичного діапазону створює позитивний вплив на активацію ростових процесів рослини на різних стадіях органогенезу. Однак відносно висока вартість устаткування та відсутність рекомендацій щодо параметрів обробки посівного матеріалу перешкоджає його використанню в умовах сільськогосподарського виробництва, особливо для невеликих господарств. Тому пошук і обґрунтування найбільш ефективних технологічних режимів передпосівної обробки насіння соняшнику з

використанням інформації про вихідні якісні показники насіння, розробка технічних засобів для його реалізації є **актуальним**.

Визрівання насіння є критично важливим етапом у життєвому циклі рослин, що безпосередньо впливає на їх схожість, силу росту та майбутній врожай. Цей складний біологічний процес потребує створення оптимальних умов, зокрема точного контролю температури. Традиційні методи управління температурою часто є трудомісткими, менш точними та не завжди дозволяють ефективно адаптуватися до мінливих потреб насіння різних культур.

Саме тут на допомогу приходять комп'ютерно-інтегровані системи управління (КІСУ). Завдяки поєднанню сучасних інформаційних технологій, датчиків, виконавчих механізмів та програмного забезпечення, КІСУ відкривають нові можливості для автоматизації та оптимізації процесу визрівання насіння. Вони дозволяють не лише підтримувати заданий температурний режим з високою точністю, але й збирати та аналізувати дані, прогнозувати потреби та оперативно реагувати на будь-які відхилення, забезпечуючи тим самим максимальну ефективність та якість визрівання.

Ця тема досліджує принципи побудови та функціонування таких систем, їхні переваги порівняно з традиційними підходами, а також потенціал для подальшого розвитку та інтеграції в сучасні агротехнології. Ми розглянемо ключові компоненти, алгоритми управління та практичні аспекти впровадження комп'ютерно-інтегрованих систем для забезпечення оптимальних умов визрівання насіння.

РОЗДІЛ 1

ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ

1.1. Актуальність задачі лазерного оптичного опромінення насіння

Задача підготовки насіння та саджанців до посадки у агрохолдингах та фермерських господарствах стає усе більш актуальною внаслідок збільшення споживання сільськогосподарської продукції та інтенсифікації даного процесу у зв'язку з ростом населення планети. На сьогодні вже проведено багато досліджень щодо вивчення впливу температури вирощування на посівні властивості і якість насіння. Встановлено [3], що підвищення температури приводить до зниження крупності і збільшення вмісту білка в зерні ярової пшениці, а скорочення періоду покою насіння у ярового вівса і твердої пшениці під впливом високої температури в процесі їх визрівання забезпечує підвищення енергії проростання і схожості. У м'якої пшениці високі температури знижують дані показники при посіві свіжезібраного насіння. Аналогічні дослідження наявні й до овочевих культур [4]. В статті [5] досліджено вплив лазерного опромінення на насіння томатів (*Solanum lycopersicum* L) щодо початкового розвитку рослин, толерантності до засолення та врожайності. Метою цього дослідження було знайти оптимальну передпосівну обробку лазерним опроміненням для підвищення врожаю томатів. Автори визначили, що оптимальна лазерна обробка на початковому етапі розвитку рослин підвищила схожість на 10%, ріст корінців на 19%, ріст гіпокотилу на 13% порівняно з контролем. Оптимальна лазерна обробка сіянців під впливом засолення сприяє проростанню до 20%, росту корінців до 23% росту гіпокотилу до 12%. Оптимальна лазерна обробка збільшила масу продукції на 26%.

В статті [6] досліджено, що червоне світло не завжди покращує насінневі показники лікарських рослин. Скановане лазерне випромінювання виявилось найвигіднішим засобом відновлення якості насіння і фотоактивації ростових процесів на початкових етапах онтогенезу. Автори обґрунтували, що лазерне

опромінення в режимі сканування забезпечує вищу фотореактивність цих рослин, краще сприяє розвитку механізмів виведення насіння зі стану спокою порівняно з неперервним. Використання червоного світла для фотоактивації насіння лікарських рослин може дати позитивні результати, але його ефективність невисока.

В статті [7] досліджено передпосівну електрофізичну стимуляцію насіння та режими лазерного опромінення для підвищення посівних якостей насіння соняшнику. Автори дослідили залежності схожості і сили проростання насіння соняшнику від параметрів технологічних режимів передпосівного лазерного опромінення. Розроблено біотехнічну систему лазерної обробки насіння соняшнику, що дозволяє підвищити посівні якості насіння та врожайність даної культури.

Автори статті [8] показали, що важливими є дослідження саме біологічних особливостей вегетативного розмноження досліджуваного виду, в тому числі з використанням фітогормонів та LED-лазерного опромінення, що надає можливість отримати якісний та стійкий посадковий матеріал. Визначені результати впливу стимуляторів росту та лазерного опромінення на ростові процеси та вкорінення живців *Vixus sempervirens* L.

Метою роботи є покращення проростання і визрівання насіння різних культур, опромінених оптичним лазером, шляхом автоматизації експерименту і використання комп'ютерно-інтегрованої системи на базі контролера Arduino.

Об'єктом дослідження є процес визрівання опроміненого оптичним лазером насіння у термостаті .

Предметом дослідження є комплекс програмних та технічних засобів для дистанційного моніторингу і управління процесами в термостаті .

1.2. Інформаційний аналіз об'єкта управління

В дослідженні [1] було виконано постановку факторного експерименту з впливу фізичних показників лазерного опромінювання на посівну якість рослин. (ПЯН). Для проведення експерименту було обрано такі фактори: X_1 - кількість діб від моменту впливу до початку визначення посівної якості насіння, діб; X_2 - кількість імпульсів, шт.; X_3 - щільність енергії, мВт/см². Визначення ПЯН було зроблено на основі відсоткового вмісту схожого насіння в лабораторії. В результаті проведення експериментів було побудовано рівняння регресії і знайдено такі оптимальні значення: кількість діб від експозиції до початку визначення ПЯН – 8,47 діб; кількість імпульсів – 1931 прим.; щільність енергії – 3,25 мВт/см². Отримано графіки залежностей зміни ПЯН від щільності енергії, кількості імпульсів та кількості діб від експозиції до початку визначення ПЯН. Дослідження проводились при імпульсному лазерному опроміненню в діапазоні червоного світла з довжиною хвилі 630-680 нм (довжина хвилі була постійною).

В роботі [2] було побудовано комп'ютерно-інтегровану систему управління процесом опромінення рослин, проведено аналіз зв'язків у біотехнічній системі «рослина - середовище», виявлено матеріальні потоки та канали інформації, виділено набір параметрів стану, прямі та перехресні зв'язки між ними, аргументовані джерела збурень. Визначено основні принципи взаємодії лазерного випромінювання з біологічною тканиною та обґрунтовано біофізичний механізм. Система управління реалізована на базі програмного забезпечення мікроконтролера Arduino та підключена до ноутбука. В статті також наводиться алгоритм прийому-передачі сигналів та LabView.

Визрівання насіння в термостаті – це контрольований процес, який використовується для оптимізації та стандартизації умов дозрівання насінневого матеріалу. Це особливо важливо для сільського господарства, селекції, дослідницьких робіт та насінництва, де потрібно забезпечити максимальну схожість, енергію проростання та однорідність насінневого матеріалу.

Задачі визрівання насіння в термостаті.

Прискорення післязбирального дозрівання. Деякі види насіння після збору врожаю перебувають у стані спокою і потребують певного часу та умов для завершення фізіологічних процесів дозрівання. Термостат дозволяє створити оптимальні умови для цього, прискорюючи процес.

Виведення зі стану спокою (стратифікація, скарифікація). Для багатьох видів насіння (особливо дикорослих або з певними біологічними особливостями) потрібні специфічні умови, щоб "розбудити" їх. Термостат дозволяє імітувати природні умови (наприклад, холодний період, перепади температур) для подолання спокою.

Забезпечення оптимальних умов для тестування схожості. Перед випробуванням насіння на схожість його часто витримують у термостаті для забезпечення повноцінного дозрівання, що гарантує точніші та відтворювані результати.

Стандартизація процесу. Термостат дозволяє підтримувати точні температури та вологість, усуваючи вплив зовнішніх факторів і забезпечуючи однорідність умов для всіх зразків.

Захист від несприятливих умов. Насіння, що визріває в термостаті, захищене від перепадів температури, вологості, шкідників та хвороб, які могли б негативно вплинути на його якість у природних умовах.

На рис. 1.2 показано насіння соняшнику гібридного сорту першої репродукції, яке було використане для експерименту. На першій пластині насіння, оброблене методом лазерного імпульсу, а на іншій пластині насіння, не оброблене лазером. У першому випадку насіння було оброблено лазером і сфотографовано через 7 днів.



(a)

(b)

Рис. 1.2. Дослідні зразки пророщеного насіння: (а) насіння, оброблене лазерним опроміненням, і (б) насіння, що не піддавалися лазерному опроміненню.

1.3. Принцип роботи термостату для визрівання насіння.

Термостат – це пристрій, який підтримує задану температуру в робочій камері. Сучасні термостати можуть також контролювати вологість, освітлення та інші параметри.

1. Завантаження насіння. Насіння розміщують у спеціальних ємностях або на підкладках (наприклад, фільтрувальний папір, пісок, ґрунт), які забезпечують необхідний доступ до вологи та повітря.

2. Встановлення параметрів. Задається необхідна температура (або температурний режим з чергуванням, якщо це потрібно для стратифікації), вологість та тривалість процесу. Ці параметри залежать від виду насіння, його початкового стану та бажаних результатів.

3. Контроль та моніторинг. Термостат автоматично підтримує задані умови. Багато моделей мають функції моніторингу та реєстрації даних, що дозволяє відстежувати процес та перевіряти дотримання параметрів.

4. Завершення процесу. Після завершення заданого періоду насіння виймають з термостату. Воно готове до подальшого використання, посіву або тестування схожості.

1.4. Технологічні параметри процесу визрівання насіння в термостаті.

Температурний режим. Вибір температури є критично важливим. Для деяких видів насіння оптимальною є постійна температура (наприклад, +20°C або +25°C), для інших – чергування температур (наприклад, +20°C вдень і +10°C вночі) або тривала дія низьких температур (стратифікація при +3°C...+5°C).

Вологість. Насіння повинно мати доступ до достатньої вологи, але не перебувати у надмірно вологому середовищі, щоб уникнути пліснявіння або загнивання.

Вентиляція. Забезпечення доступу повітря важливе для дихання насіння.

Чистота. Необхідно дотримуватися стерильності, щоб уникнути розвитку патогенних мікроорганізмів, які можуть пошкодити насіння.

Визрівання насіння в термостаті є незамінною технікою в сучасному насінництві та аграрних дослідженнях, дозволяючи значно підвищити якість насіннєвого матеріалу та ефективність виробництва.

Основне технологічне обладнання для проведення експерименту представлено наступними приладами: апарат світлодіодний Lika-Led (виробництво ПП «Фотоніка Плюс», м. Черкаси, Україна) [8] і термостат сухоповітряний ТС-20 (виробництво ТОВ «Медико-Інструментальний завод – Медапарат» («МІЗ-МА») м. Білгород-Дністровський, Україна) [9]. Світлодіодний апарат включає електронний блок з вимірювачем потужності випромінювання, а також 11 насадок з широким спектром випромінювання (410-850 нм). Термостат призначений для отримання і підтримки всередині робочої камери високостабільної температури, він забезпечує автоматичне регулювання і підтримку заданої температури; безперервну цифровий індикації температури; примусову циркуляція повітря в камері. На рис. 1 наведено параметричну схему

експерименту. В лівому прямокутнику показані вхідні параметри, які впливають на якість проростання насіння, в правому прямокутнику – критерії якості. По центру – «чорна скринька», яка містить зв'язки між якістю проростання насіння і параметрами лазерного опромінювання насіння. Після постанови експерименту, проведення і обробки результатів замість «чорної скриньки» буде побудовано регресійна модель.

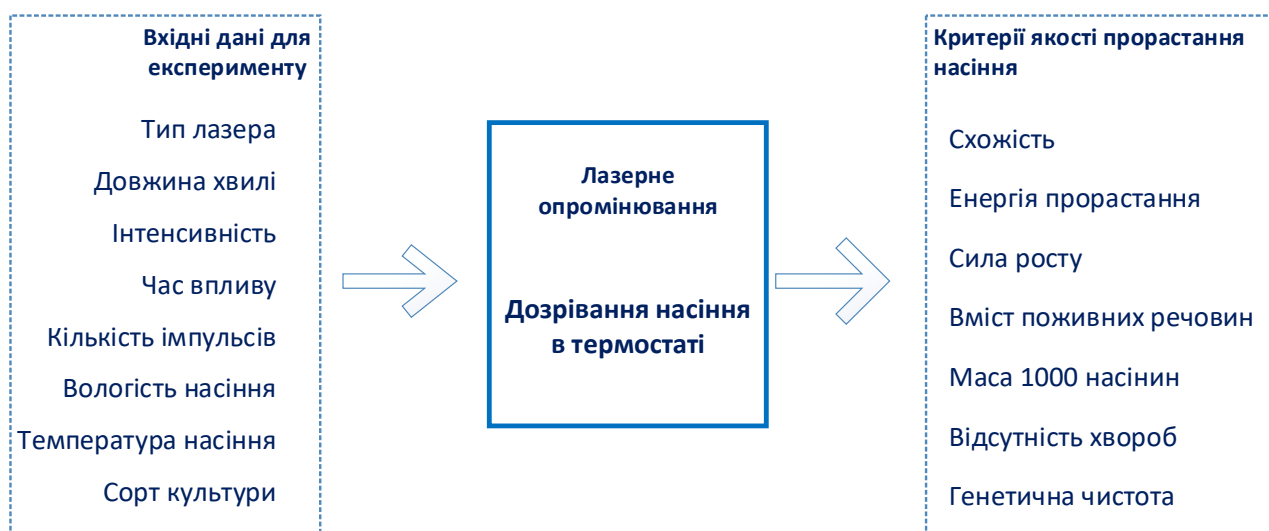


Рис. 1.1. Параметрична модель експерименту

Критерії якості проростання насіння є ключовими показниками, що визначають придатність посівного матеріалу для вирощування здорових та продуктивних рослин. Схожість - це відсоток насіння, яке здатне прорости за оптимальних умов. Висока енергія проростання забезпечує одночасну появу сходів, що важливо для рівномірного розвитку рослин, визначається кількістю пророслих насінин за певний період часу (зазвичай перші 3-5 днів). Сила росту - це показник інтенсивності росту проростків. Життєздатність показує здатність насінини прорости, та дати повноцінну рослину. Здоровий посівний матеріал є запорукою високого врожаю, насіння повинно бути вільним від збудників хвороб та шкідників. Вміст поживних речовин - це кількість білків, жирів та інших поживних речовин у насінні. Маса 1000 насінин – це вага тисячі насінин, показник крупності та повноцінності насіння. Генетична чистота – це відсутність

домішок інших сортів. Ці критерії дозволяють оцінити якість насіння та прогнозувати його здатність до проростання та розвитку в польових умовах.

РОЗДІЛ 2

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ

2.1. Планування експерименту щодо лазерного опроміненні і дозрівання насіння у термостаті

Параметри попереднього експерименту (узагальнені для різних культур) приведені в табл. 1.

Таблиця 1. Параметри проведення експерименту

Параметр	Позначення	Од. вимір.	Допустимі параметри варіювання
Параметри лазерного опромінювання			
Довжина хвилі	λ	нм	630-890
Кількість імпульсів	$N_{\text{імп}}$	шт	1000-8000
Щільність енергії	J	мВт/см ²	0,5-6
Час опромінювання	$T_{\text{опр}}$	с	10-60
Параметри дозрівання в термостаті			
Вологість	μ	%	8-14
Температура	t	°C	20-30
Час дозрівання	$T_{\text{доз}}$	доб	3-15

На рис. 2 приведено апаратне забезпечення експерименту. Насіння опромінюється як безперервним, так і імпульсним способом. Аналіз якості насіння буде виконано в спеціалізованій лабораторії. Для розширення можливостей управління термостатом розроблено апаратно-програмне забезпечення з використанням мікроконтролера (плати Arduino Uno), датчика температури та вологості DHT11 та стандартного екрану для виводу даних

ТМ1637. Написано код програми на мові Python, який виконує заміри температури та вологості в тепловому агрегаті.

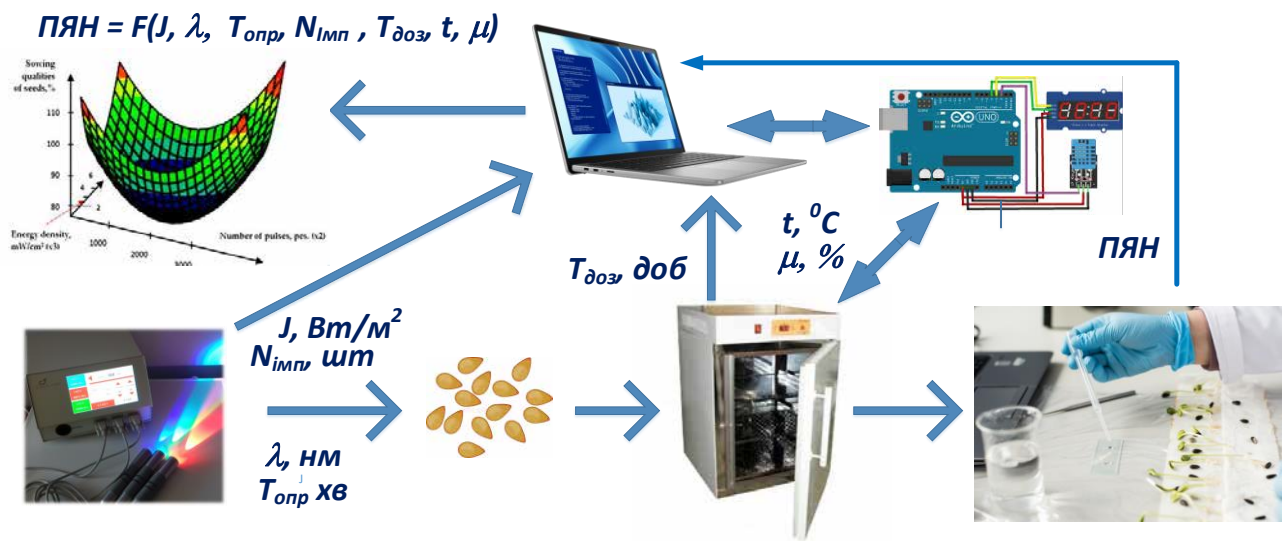


Рис. 2.1. Апаратне забезпечення експериментального дослідження

В результаті роботи визначені попередні фактори для проведення експерименту з дослідження впливу параметрів лазерного опромінювання і дозрівання насіння на якість його проростання. На відміну від проведених раніше експериментів, ми пропонуємо провести варіювання довжини хвилі в межах 630-680 нм, вологості 8-14%, температури 20-30 $^\circ\text{C}$. Дослідження буде проведено з насінням 5 культур: помідори, огірки, перець, соняшник, гарбуз. В подальшому буде сформовано план факторного експерименту, складено таблицю варіювання факторів, визначені значимі та незначимі фактори, а також узагальнений параметр експерименту – показник якості насіння (ПЯН), який визначатиметься з параметрів, вказаних в правій частині рис. 1. Для цього планується використати функцію бажаності Харрінгтона.

Як і будь який тепловий процес, визрівання насіння потребує автоматичного регулювання для підтримання температурно-вологісного режиму. В якості базової установки обираємо термостат сухоповітряний МІЗ-МА ТС-20 (виробництво ТОВ «Медико-інструментальний завод – Медапарат», Білгород-Дністровський, Україна). Він підтримує 4 базових температури, які нам

не достатньо.

Для оцінки залежності посівних якостей насіння (ПЯН) від параметрів імпульсного передпосівного опромінення було проведено повний факторний експеримент.

Для конкретного експерименту обрано такі фори варіювання: X_1 - кількість днів від опромінення до початку визначення посівних якостей насіння, діб ; X_2 - кількість імпульсів, шт. ; X_3 - щільність енергії, мВт/см² (табл. 2.1).

Таблиця 1 - Рівні варіювання факторів

Фактор	Одиниця виміру	Рівні варіювання факторів				Познака
		-1	0	+1	Δ_i	
Кількість днів від опромінення до початку визначення ПЯН	днів	3	9	15	6	X_1
Кількість імпульсів	тис. шт.	2	5	8	3	X_2
Щільність енергії	мВт/см ²	0,5	3,25	6	2,75	X_3

2.2. Обробка експериментальних даних і побудова регресійної моделі

Рівняння регресії будемо шукати в такому вигляді:

$$y_i = B_0 + B_1 z_1 + B_2 z_2 + B_3 z_3 + B_{12} z_1 z_2 + B_{13} z_1 z_3 + B_{23} z_2 z_3 + B_{11} z_1^2 + B_{22} z_2^2 + B_{33} z_3^2$$

Для отриманого рівняння регресії побудовано матрицю плану (рис.2)

$$X := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1.215 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.476225 & 0 & 0 \\ 1 & -1.215 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.476225 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1.215 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.476225 & 0 \\ 1 & 0 & -1.215 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.476225 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1.215 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.476225 \\ 1 & 0 & 0 & -1.215 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.476225 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad Y := \begin{pmatrix} 95 & 95 \\ 85 & 87 \\ 84 & 86 \\ 80 & 79 \\ 91 & 93 \\ 84 & 86 \\ 89 & 89 \\ 82 & 79 \\ 81 & 80 \\ 92 & 94.2 \\ 82 & 81 \\ 80 & 79 \\ 81 & 80 \\ 82 & 83 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Коефіцієнти поліноміальної регресії визначаються з використанням критерію Стьюдента.

$$B =$$

	0
0	31.462
1	4.137
2	1.969
3	0.131
4	0.25
5	-0.125
6	1.125
7	23.505
8	19.237
9	19.914

$$tb =$$

	0
0	118.916
1	15.636
2	7.444
3	0.493
4	0.945
5	-0.472
6	4.252
7	88.84
8	72.707
9	75.268

Після визначення, за критерієм Стьюдента, коефіцієнтів поліноміальної регресії отримано рівняння поверхні другого порядку:

$$y_i = 31,462 + 4,137z_1 + 1,969z_2 + 1,125z_3 + 23,505z_1^2 + 19,237z_2^2 + 19,914z_3^2$$

Адекватність моделі перевірена за критерієм Фішера. Розкодована нелінійна модель має вигляд:

$$y_i = 125,63 - 11,063x_1 - 0,02x_2 - 17,54x_3 + 0,00021x_2x_3 + 0,653x_1^2 + 0,000005x_2^2 + 2,63x_3^2$$

Розглянемо можливі двовимірні значення, що мають найбільше практичного значення. Двовимірний переріз поверхні відгуку характеризується так при $x_1 = 0$

$$y_i = 125,63 - 0,02x_2 - 17,54x_3 + 0,00021x_2x_3 + 2,63x_2^3 + 0,000005x_2^2;$$

Поверхня відгуку є еліпсоїдальну западину, мінімум. Графіки і лінії рівня представлені малюнку 3 .

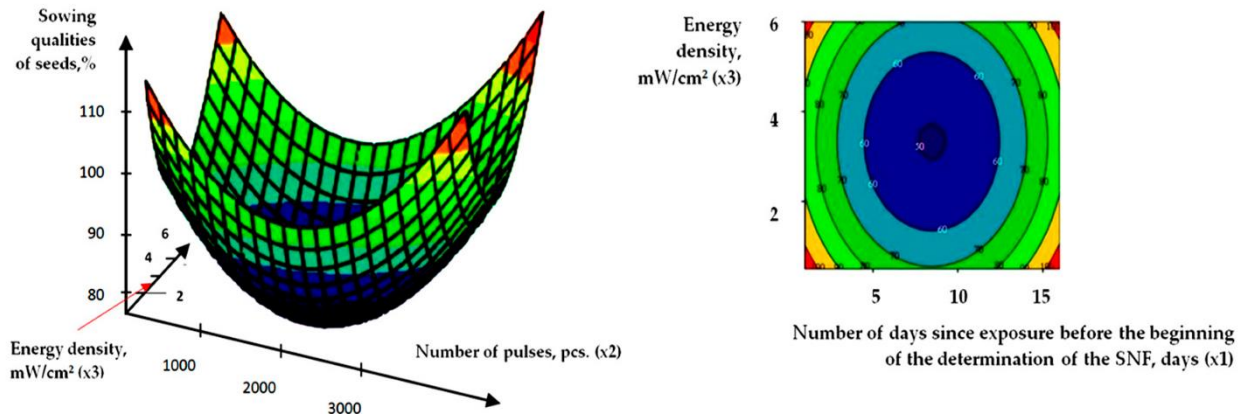


Рис. 2.2. Поверхня та лінії рівня функції відгуку ($x_1 = 0$).

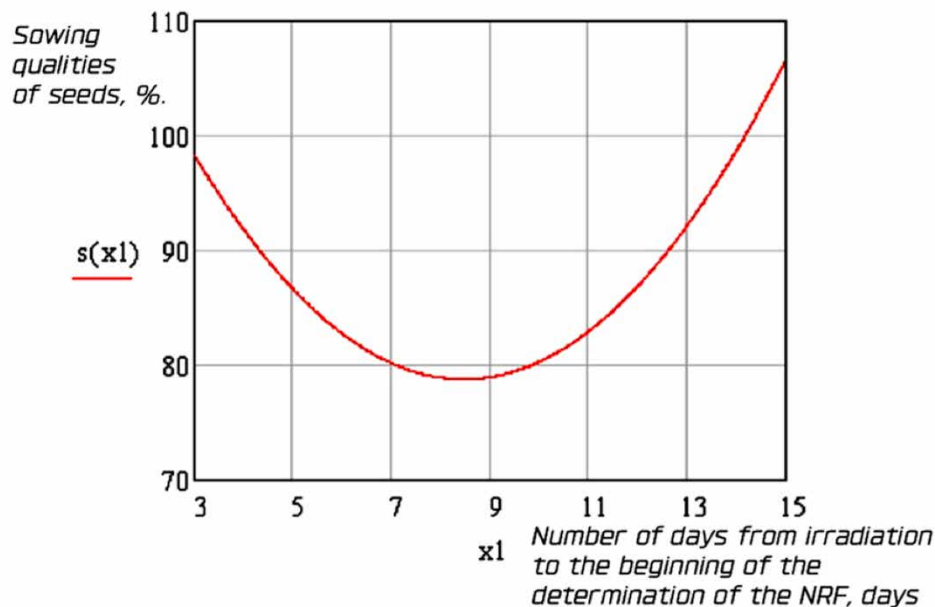


Рис. 2.3. Графік залежності x_1 . Залежність ПЯН, %, від доби від експозиції до початку визначення ПЯН.

З використанням F-критерію Фішера була проведена перевірка гіпотези про адекватність отриманої математичної моделі за відомою методикою, для чого значення критерію Фішера було розраховано за такою формулою:

$$F = \frac{(S_R - S_E) / f_1}{S_E / f_2}$$

де n_0 - число ступенів свободи.

$$f_1 = N - d - (n_0 - 1)$$

де d — кількість значущих коефіцієнтів у рівнянні регресії.

Рівняння вважається адекватним, якщо виконується така умова:

$F < F_{\text{крит}}$ де $F_{\text{крит}}$ визначається для значень f_1 і f_2 за результатами, наведеними в таблицях. Вони наведені для кожного рівняння у відповідних таблицях для розрахунку цих коефіцієнтів).

В результаті проведення повного факторного експерименту, знайдені оптимальні значення: кількість днів від опромінення до початку визначення ПЯН – 8,47 днів; кількість імпульсів – 1931 штук; щільність енергії – 3,25 мВт/см². Отримано графіки залежності зміни ПЯН, від щільності енергії, кількості імпульсів та днів від опромінення до початку визначення ПЯН.

2.3. Дослідження динаміки об'єкта управління

За допомогою пакету прикладних програм Matlab Simulink побудуємо структурну схему математичної моделі (рис.2.3). Для визначення основних динамічних властивостей об'єкта визначимо розгінні характеристики по каналам регулювання температури та вологості в термостаті. Для цього на вхід об'єкта подаватимемо стрибкоподібний сигнал величиною, що рівна номінальному значенню управляючого параметру. Як видно з рівнянь управляючою дією для підтримання температури в термостаті буде включення нагрівача t_g , а для регулювання вологості – подача стисненого зволоженого повітря G_v .

Збурюючою дією є температура зовнішнього середовища t_z .

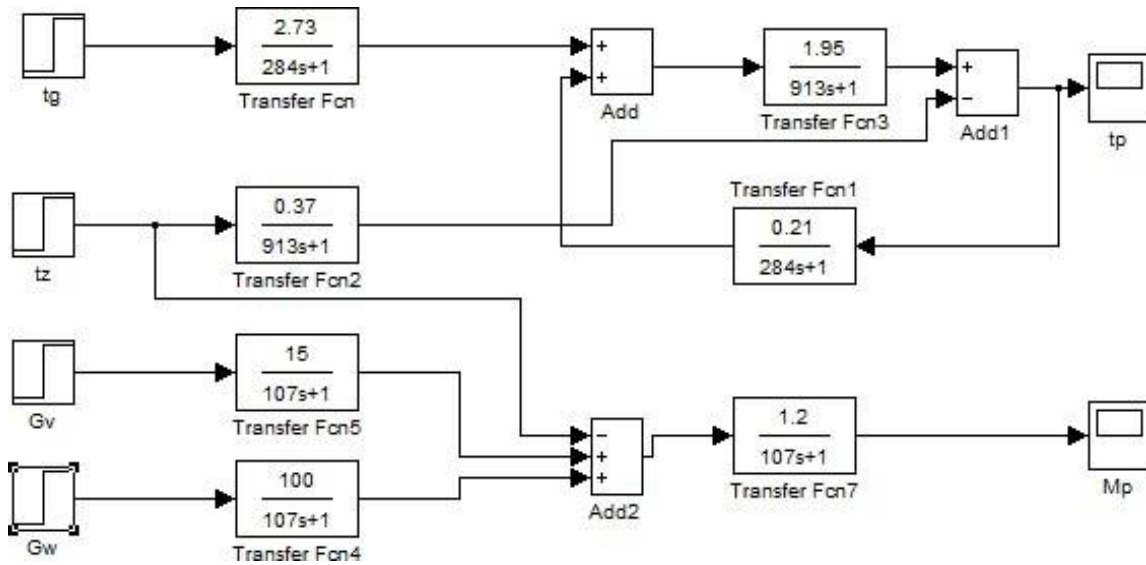


Рисунок 2.3 – Структурна схема математичної моделі об'єкта

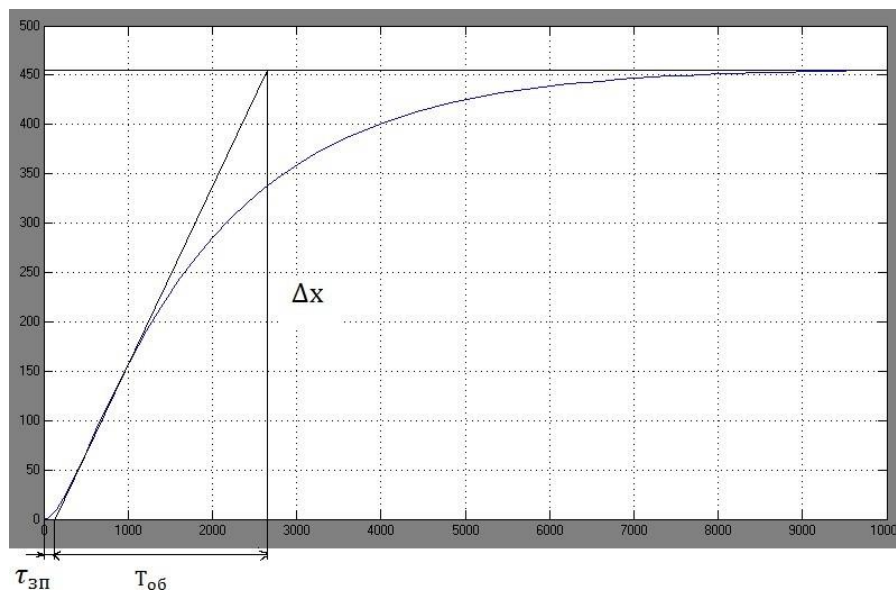


Рисунок 2.4 – Крива розгону об'єкта по каналу регулювання температури в термостаті

Враховуючи, що вхідний стрибкоподібний сигнал $\Delta U = 90 \text{ }^\circ\text{C}$, визначимо ди намічні властивості об'єкта по каналу регулювання температури в термостаті (рис. 2.5):

$$\tau_{зп} = 100\text{с}, T_{об} = 2500\text{с}, K_{об} = \frac{\Delta x}{\Delta U} = \frac{455}{90} = 5,05$$

$$W_{oy(t)}(s) = \frac{5.05}{2500s + 1} e^{-s100}$$

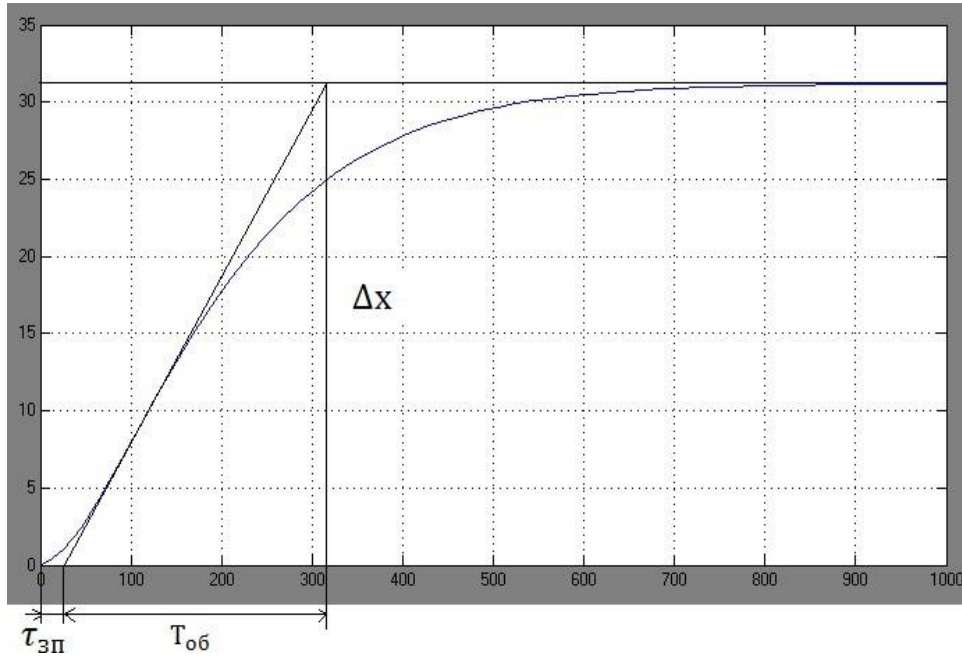


Рисунок 2.5 – Крива розгону об'єкта по каналу регулювання вологості в термостаті

Так як вхідний стрибкоподібний сигнал $\Delta U = 35 \frac{\text{м}^3}{\text{хб}}$ визначимо динамічні

властивості об'єкта по каналу регулювання вологості в теплиці:

$$\tau_{зп} = 27\text{с}, T_{об} = 310\text{с}, K_{об} = \frac{\Delta x}{\Delta U} = \frac{31,5}{35} = 0,9.$$

$$W_{oy(t)}(s) = \frac{0.9}{310s + 1} e^{-s27}.$$

РОЗДІЛ 3

РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТОМ

3.1. Функціональна схема автоматизації управління термостатом для визрівання насіння

Схема представляє систему автоматизації, що складається з двох основних частин: "Обладнання на місці" (процесний об'єкт, який потрібно контролювати) та "Обладнання на щиті" (керуюче обладнання).

Обладнання на місці представлено елементом TE 1a - це *датчик температури* (термоелемент). Він розташований у камері, де відбувається визрівання насіння, і вимірює поточну температуру всередині. У цій частині також присутні компоненти, які, ймовірно, є нагрівальними елементами або виконавчими пристроями, що впливають на температуру: нагрівальні елементи позначені лініями, що йдуть від "Обладнання на щиті" до місця дії, що свідчить про їхнє керування з центральної панелі. *Вентилятор* - один з круглих елементів для розподілу тепла.

Обладнання на щиті. Ця частина схеми містить елементи керування та індикації:

- ✓ **TIARC 18** - це терморегулятор або програмований логічний контролер (ПЛК), який отримує сигнал від датчика температури TE 1a і, на основі заданих параметрів, керує нагрівальними елементами.
- ✓ **HS 2a, H 2в, HS 3a, H 3в, HS 4a, H 4в:** Ці позначення вказують на кнопки управління (HS - Human Switch або ручний перемикач) та індикаторні лампи (H - індикатор, лампа). Вони можуть використовуватися для ручного включення/виключення певних елементів, а також для індикації стану системи (наприклад, "нагрівання увімкнено", "аварія" тощо). Лінії від них ведуть до виконавчих механізмів, розташованих "на місці".

Функціональний принцип.

1. Датчик температури **TE 1a** вимірює температуру в зоні визрівання насіння і передає сигнал до терморегулятора **TIARC 18**.
2. **TIARC 18** порівнює виміряну температуру із заданим значенням.
3. Якщо температура відхиляється від заданої, **TIARC 18** надсилає керуючі сигнали на виконавчі елементи (нагрівальні елементи), щоб відновити оптимальний температурний режим.
4. Оператор може взаємодіяти із системою за допомогою перемикачів **HS**, а індикаторні лампи **H** показують поточний стан системи.

Ця схема є базовою для автоматизації підтримки заданої температури, що є ключовим для визрівання насіння.

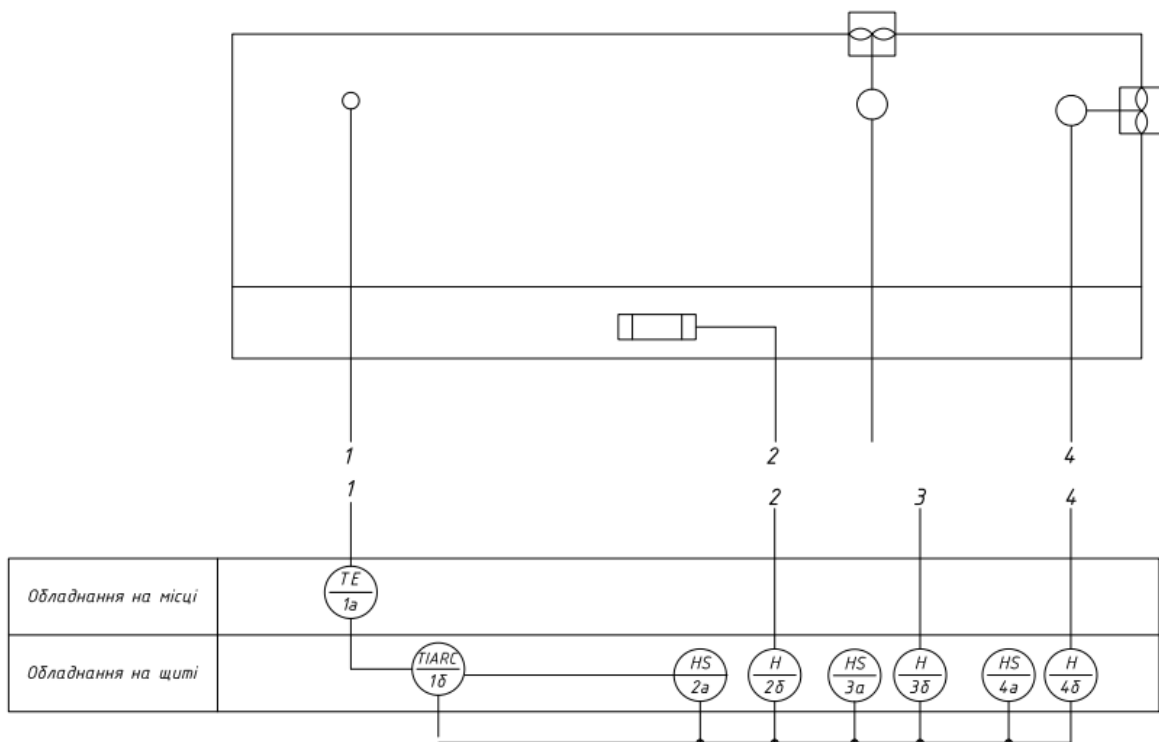


Рис. 3.1. Функціональна схема автоматизації термостатом

3.2. Термостат ТС-20 і його вузли

Пророщування здійснювалося шляхом приміщення зволоженого паперу з насінням на піддони в бокс, що термостатується, зображення якого представлено на рис. 3.2.



Рис. 3.2. Термостат сухоповітряний ТС-20

Задача дипломної роботи – забезпечити підтримку розширеного температурного діапазону для визрівання насіння, в тому числі овочевих культур. Вирішення задачі досягається шляхом створення комп'ютерно-інтегрованої системи керування термостатом з використанням процесора Arduino Uno і програмного забезпечення на мові Python. Об'єктом управління є термостат, який складається з таких вузлів (рис. 3.4): 1 – Блок-плата управління. Використовується для вибору температури та виведення даних на дисплей; 2 – Дисплей ТМ 1637, використовується для виведення даних температури (після вдосконалення ще й для виведення даних вологості); 3 – Керуюча плата, керує потужністю на нагрівальні елементи та швидкістю обертів вентилятора в середині, приймає дані з датчика температури і передає її для виведення на плату 1; 4 – Вентилятор.

На рис. 3.3 показана плата Arduino Uno та датчик температури і вологості «DHT 11», а також схема його підключення. Після підключення та первинної перевірки датчику, було вирішено залишити «рідний» дисплей термостату, адже він підходив під нашу плату.



Рис. 3.3. Об'єкт управління – термостат ТС-200 та його вузли

Технічні характеристики термостату приведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Технічні характеристики термостата ТС-20

Характеристика	Значення
Розміри робочої камери(ВхШхГ), мм:	257x368x255
Об'єм робочої камери, дм ³ , не менше	20
Діапазон температур в робочій камері в сталому режимі і при перевіщенні заданої температури над температурної навколишнього середовища не менше 5°C	T° довкілля +5 ÷ 70
Дискретність встановлюваних температур °C	0,1
Час досягнення сталого режиму, годин	1
Точність підтримки температури в опорній точці камери, ° C	± 0,4
Відхилення температури за обсягом робочої камери в контрольованих точках від температури в опорної точці (геометричному центрі робочої камери), ° C	± 1
Максимальна споживана потужність, кВт, не більше	0,3
Потужність нагрівального елемента (ТЕН), кВт	0,3

Термостат працює від однофазної мережі змінного струму:	220В ±10% і 50 Гц
Габаритні розміри термостата(ВхШхГ), мм	420x600x414
Середній строк служби, років	10
Маса термостата, кг	20
Комплект поставки	
Термостат	1 шт
Полиця	2 шт
Опора	4 шт
Шнур живлення	1 шт
Вставка плавка 6А	1 шт
Вставка плавка 1А	1 шт
Інструкція з експлуатації і технічний опис	1 екз.

3.3. Вибір датчика

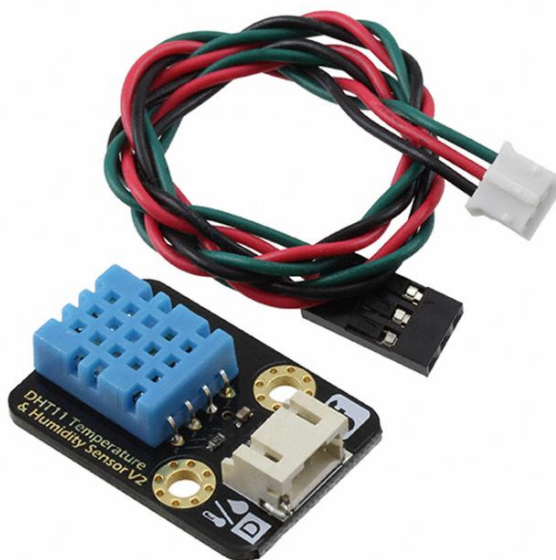


Рис. 3.4. Зовнішній вигляд датчика температури і вологості напруги DHT

Таблиця 3.2. Технічні характеристики ДНТ 11:

Модель	ДНТ11
Джерело живлення	3-5,5 В постійного струму
Вихідний сигнал	цифровий сигнал через одну шину
Чутливий елемент	Полімерний резистор
Діапазон вимірювання	вологість 20-90% відносної вологості; температура 0-50 градусів Цельсія
Точність	вологість $\pm 4\%$ відносної вологості (макс. $\pm 5\%$ відносної вологості); температура $\pm 2,0$ градусів Цельсія
Роздільна здатність або чутливість	вологість 1% відносної вологості; температура 0,1 градусів Цельсія;
Повторюваність	вологість $\pm 1\%$ відносної вологості; температура ± 1 градусів Цельсія
Гістерезис вологості	$\pm 1\%$ відносної вологості
Довготривала стабільність	$\pm 0,5\%$ відносної вологості/рік
Період вимірювання	Середня: 2 с
Взаємозамінність	повністю взаємозамінний
Розміри	розмір 12*15,5*5,5 мм

Для визначення передатної функції сприймаючого елемента скористаємось його статичною характеристикою (рис. 3.6).

За динамічними властивостями датчик є інерційною ланкою, передатна функція якого має вигляд $W_{CE}(s) = \frac{k_{CE}}{T_{CE} \cdot s + 1}$.

Коефіцієнт передачі k_{CE} (чутливість), визначається за формулою:

$$k = \frac{\Delta U}{\Delta T} = \frac{0,9 - 0,5}{40 - 0} = 0,01 \frac{B}{^{\circ}C}, \quad (3.1)$$

де ΔT – різниця значень температур в робочому діапазоні, $^{\circ}C$;

ΔU – різниця напруги, що відповідає значенням температур в робочому діапазоні, В.

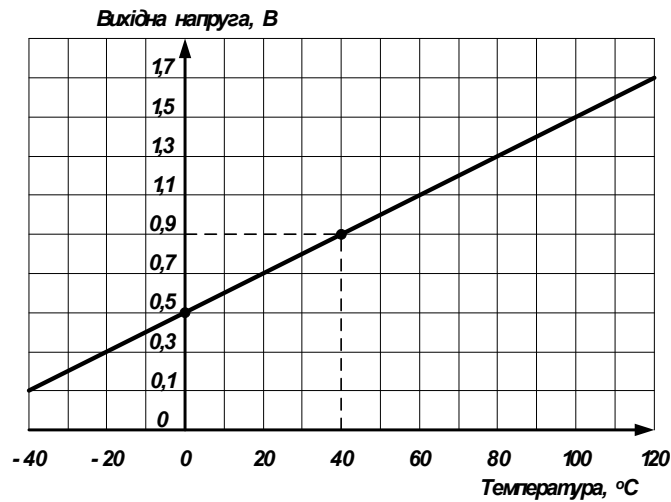


Рис. 3.5. Статична характеристика датчика температури DHT 11

Тоді, враховуючи, що інерційність сприймаючого елемента складає

$$T_{CE} = 7 \text{ с}, \text{ передатна функція датчика } W_{CE}(s) = \frac{k_{CE}}{T_{CE} \cdot s + 1} = \frac{0,01}{7 \cdot s + 1}.$$

Залежність точності вимірювання датчика температури DHT 11 від напруги живлення зображена також на рис. 3.7. Як видно, похибка вимірювання в робочому діапазоні температур не перевищує $0,5^\circ\text{C}$, а найбільша точність вимірювання знаходиться саме в діапазоні $+0\dots+56^\circ\text{C}$ при напрузі живлення датчика напругою $5,5 \text{ В}$.

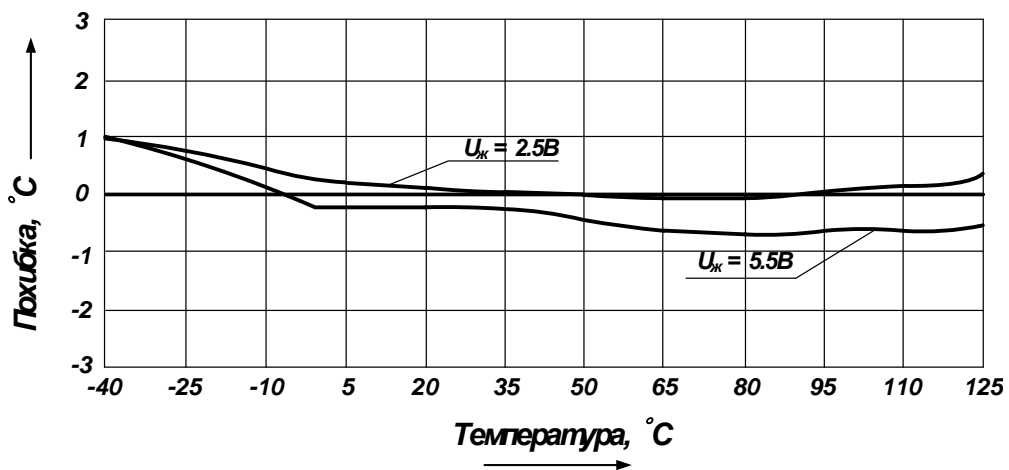


Рис. 3.6. Залежність точності вимірювання датчика температури DHT 11 від напруги живлення

3.4. Вибір виконавчого механізму САК та визначення його передатної функції

У термостаті ТС-20 використовується невеликий, надійний і відносно тихий осьовий вентилятор з двигуном постійного струму, що забезпечує достатню циркуляцію повітря для підтримання заданої температури по всьому об'єму робочої камери моделі Sunon EE40201S1-0000-A99. Загальні характеристики осьового вентилятора (для термостата або подібних пристроїв):

Таблиця 3.3. Характеристика вентилятора EE40201S1-0000-A99

Характеристика	Значення
Розмір:	120x120x38 мм
Напруга живлення:	DC (постійний струм): 24В. АС (змінний струм): 220В
Споживана потужність	від 1 Вт до 10 Вт.
Швидкість обертання	Від 1500 RPM до 6000 RPM (об/хвил)
Рівень шуму	Менше 30-40 дБ.

Безколекторний двигун постійного струму (Brushless DC motor, BLDC) в термостаті ТС-20 представлений китайським брендом (табл. 3.4).

Таблиця 3.4.

Характеристика	Параметр
Назва бренду	Ні
Номер моделі	57BL115S21-230
Походження	Китай
Тип	DC motor
Сертифікація	Європейський сертифікат відповідності
Конструкція	Постійний магніт
Вихідна напруга	200W
Момент, що крутить	0.7N.m

Блок живлення (Power Supply Unit - PSU). Всередині термостата, який живиться від мережі 220В АС, встановлений блок живлення. Цей блок перетворює змінний струм високої напруги (220В АС) у постійний струм низької напруги (наприклад, 12В DC або 24В DC), який потрібен для роботи більшості внутрішніх електронних компонентів, включаючи контролер, датчики та, дуже часто, двигун вентилятора.

3.5. Розробка системи автоматичного керування термостатом

Завжди актуальною є задача підвищення рівня автоматизації, що дозволить збільшити можливості конкретної системи автоматизації та підвищити її відповідність сучасним вимогам і техніко-економічну ефективність. Показником рівня автоматизації вважають ту частину праці по управлінню процесом, яка здійснюється автоматично, без участі людини. Важливою умовою, яка характеризує підготовку підприємства до автоматизації, є механізація всіх основних і допоміжних операцій. Важливе значення має використання типових комплексно-механізованих виробничих ліній, що дає можливість застосовувати розроблені для них типові схеми автоматизації. Правильне розташування обладнання забезпечує можливість здійснення комплексної механізації та автоматизації виробничих процесів, безпеку виробничого персоналу.

Велике значення при підготовці об'єкта або технологічної дільниці до автоматизації має вибір основних технологічних параметрів, по яких здійснюється об'єктивне управління процесом. Теплиця характеризується високим рівнем механізації і автоматизації основних виробничих процесів. Всі технологічні операції по приготуванню живильного розчину, контролю та підтриманню температури, вологості, освітленості і т.д. повністю механізовані і частково автоматизовані.

Головне обладнання оснащено засобами контролю та автоматизації, що дозволяють найбільш повно забезпечити вимоги технології та техніки безпеки, а також підвищити продуктивність праці. В курсовій роботі пропонується розробити автоматизовану систему управління мікрокліматом в термостаті,

побудовану на базі управляючої обчислювальної техніки, мікропроцесорних контролерів (МПК) та персональних комп'ютерів. Розроблена система автоматизації забезпечить комплексний контроль за мікрокліматом термостаті, а саме управління температурою, вологістю, вентиляцією, обігрівом та рециркуляцією повітря в автоматичному та ручному режимі.

Сучасна система автоматизації повинна забезпечувати безперебійну роботу промислового обладнання, і управляти технологічним процесом з потрібною точністю і чіткістю. В даній курсовій роботі забезпечена автоматизація в таких режимах:

- ✓ ручному режимі з щита управління за допомогою ручних задатчиків і ключів управління;
- ✓ автоматичне управління з використанням мікропроцесорного контролера.

Розроблена система управління, регулювання і контролю параметрів мікроклімату в термостаті.

Центральним пристроєм системи автоматизації є мікроконтролер.

Від вірного вибору приладів та засобів автоматизації багато в чому залежить безперервна та надійна робота системи автоматизації. Основними факторами, які впливають на вибір приладів та засобів автоматизації є:

- ✓ особливості технологічного процесу та технологічних середовищ;
- ✓ вимоги щодо безпеки протікання технологічного процесу;
- ✓ вимоги щодо надійності системи автоматизації;
- ✓ матеріальні кошти, які виділяються на придбання приладів та засобів автоматизації, матеріалів та комплектуючих.

Мікроконтролер є центральним управляючим пристроєм всієї САК. На вхідні модулі контролера подаються сигнали про стан технологічних параметрів і управляючі вхідні сигнали. До вихідних модулів МПК підключають виконавчі механізми і регулюючі органи.

Використовування мікроконтролера як центрального управляючого

органу має значні переваги перед традиційними локальними технічними способами управління. В системі алгоритм управління реалізується за допомогою програми, яку розробляють з урахуванням технологічних вимог до роботи всієї установки. Це дає можливість застосовувати оптимальні алгоритми управління.

Проаналізувавши даний процес можна поставити наступні вимоги до вибору засобів автоматизації:

- ✓ наявність агресивних середовищ, що потребує особливої уваги при виборі засобів автоматизації;
- ✓ різноманітність комунікаційних трубопроводів різних розмірів, що потребує додаткової уваги до вибору датчиків та виконавчих механізмів.

Отже, в якості мікроконтролера вибрано СВ - 4000 на 8 посадочних місць, де вміщено 4 модуля розподіленого вводу/виводу і центральний процесор.

При виборі датчиків і первинних перетворювачів враховувались наступні фактори:

1. Відповідність діапазону первинного перетворювача номінальним значенням, відповідно до технологічного процесу. Всі датчики підібрані таким чином, щоб номінальне значення входило в діапазон. Всі виконавчі механізми підібрані з потрібною пропускнуою здатністю.
2. Відповідність наперед заданому класу точності. В даному випадку клас точності всіх засобів автоматизації не нижче 0,5%.
3. Відповідність монтажних розмірів засобів автоматизації до тих комунікацій і апаратів, де вони встановлені.
4. Відповідність матеріалів, з яких виготовленні засоби автоматизації таким що не піддаються дії агресивних середовищ. Тому корпуси приладів виконані переважно з нержавіючої сталі, або матеріалів, які не піддаються впливу агресивних середовищ. Всі ущільнюючі вставки

чи прокладки виконанні з матеріалів, які теж мають відповідний захист (EPDM).

При виборі первинних перетворювачів вибирались такі, що мають уніфікований вихідний сигнал (для зручності підключення до МПК). Всі датчики мають вихідний сигнал 4 - 20 мА. Якщо первинний перетворювач не має уніфікованого виходу підібрано відповідний нормуючий перетворювач.

При виборі вторинних приладів враховувались вище перераховані діапазон і точність. Також підбирались такі прилади, до яких можна було б підключити сигнали від первинних перетворювачів.

Вибрано такі вторинні прилади, які мають в своєму складі кнопку переходу з автоматичного режиму в ручний, і ручку потенціометра, в якості ручного за датчика. (Для того контура, де є аналогове регулювання).

При виборі виконавчих механізмів та регулюючих органів враховувались діаметр умовного проходу клапанів і діаметри трубопроводів (їх відповідність). Підбирались клапани з таких матеріалів, які не піддаються впливу агресивних середовищ.

Клапани і двигуни вибрано такими, щоб управляючий сигнал співпадав з сигналом із контролера. Для потужних електроклапанів і двигуна підібрано проміжні реле і магнітний пускач.

3.6. Дослідження системи автоматичного керування на стійкість та визначення якості регулювання

Передаточна функція розімкненої системи автоматичного керування мікрокліматом в термостаті по каналу регулювання температури має вигляд:

$$W_{\text{роз}(t)}(s) = W_{\text{KE}(t)}(s) \cdot W_{\text{BM}}(s) \cdot W_{\text{PO}}(s) \cdot W_{\text{CE}(t)}(s) \cdot W_{\text{OY}(t)}(s);$$

Передаточна функція розімкненої системи автоматичного керування мікрокліматом в термостаті по каналу регулювання вологості має вигляд:

$$W_{\text{роз}(W)}(s) = W_{\text{KE}(W)}(s) \cdot W_{\text{BM}}(s) \cdot W_{\text{PO}}(s) \cdot W_{\text{CE}(W)}(s) \cdot W_{\text{OY}(W)}(s);$$

АФЧХ – це характеристика, яка показує, як змінюється амплітуда і фаза вихідного сигналу в залежності від частоти вхідного сигналу з одиничною амплітудою. Для побудови АФЧХ нашої системи скористаємось пакетом прикладних програм "MatLab", структурна схема якої буде мати такий вигляд:

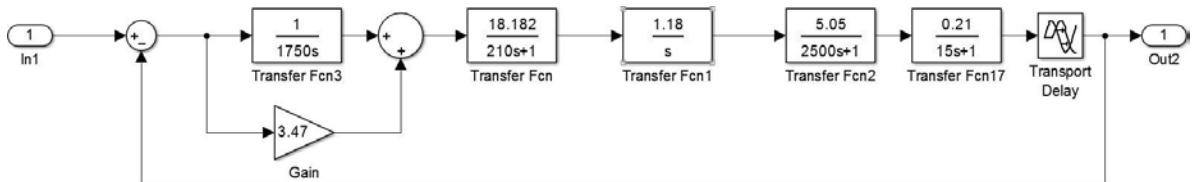


Рисунок 3.7 – Структурна схема для побудови годографа Найквіста по каналу регулювання температури

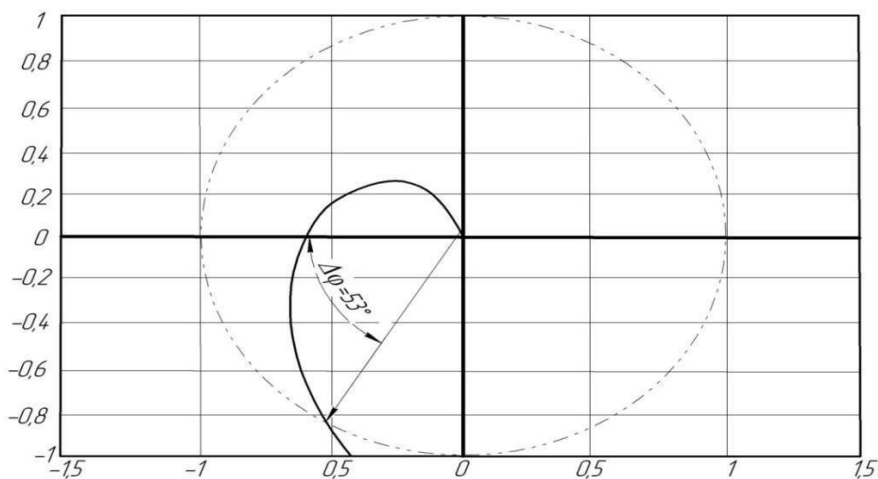


Рисунок 3.8 – Годограф Найквіста по каналу регулювання температури

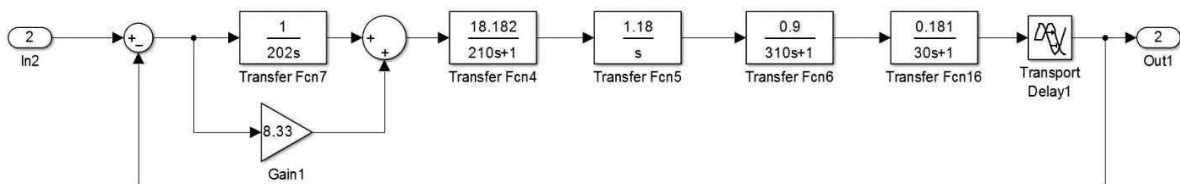


Рисунок 3.9 – Структурна схема для побудови годографа Найквіста по каналу регулювання вологості

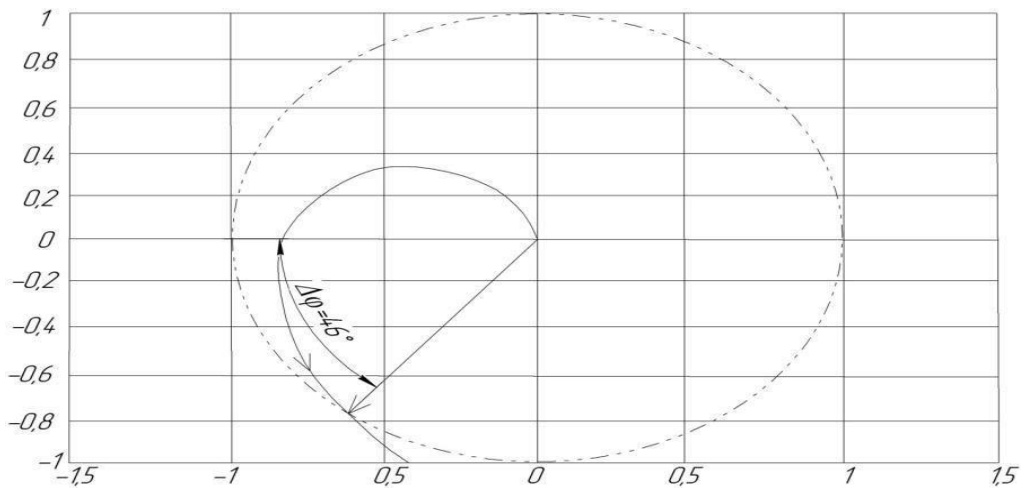


Рисунок 3.10 – Годограф Найквіста по каналу регулювання вологості

Аналізуючи вигляд годографів Найквіста по двох каналах регулювання видно, що при зміні частоти від 0 до ∞ годограф не охоплює точку з координатами $(-1; 0)$, а це означає що система автоматичного регулювання стійка. Запас стійкості по амплітуді ΔL_t та ΔL_w визначається автоматично програмою і він складає:

$$\Delta L_t = 21 \text{ дБ, та } \Delta L_w = 18 \text{ дБ}$$

запас по фазі визначається графічним методом і складає:

$$\Delta \varphi_t = 53^\circ \text{ та } \Delta \varphi_w = 46^\circ.$$

3.7. Перехідний процес САК та визначення показників якості

Приміщення термостату являє собою об'єкт управління. Температура в термостаті підтримується у визначених межах за рахунок тепла, що надходить від реєстрів опалення. В разі зміни температури в термостаті і дихання насіння, змінюється і відносна вологість повітря, яка не відповідає агротехнічним нормам для виду рослин. В цьому випадку або зменшують вміст вологи вентиляванням повітря або збільшують вміст вологи розпилюванням води у вигляді «туману». В якості збурюючої дії (F) виступають – зовнішнє повітря, відчинення дверці термостату, нещільності конструкції тощо.

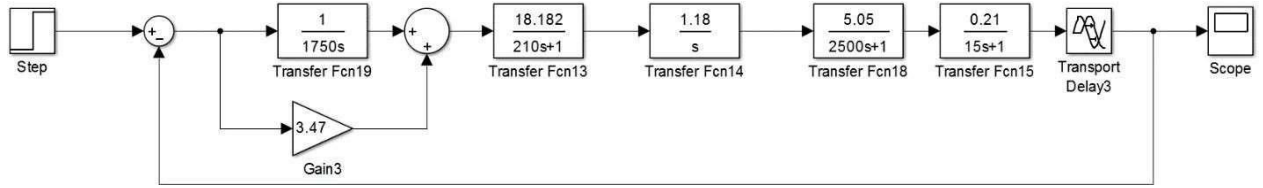


Рисунок 3.11 – Перехідний процес керування температури в термостаті

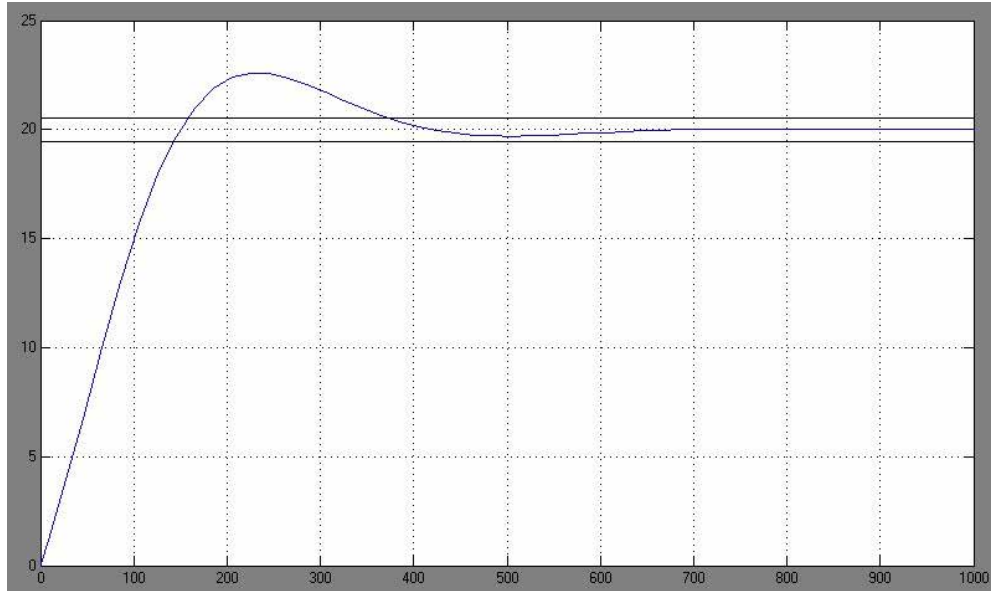


Рисунок 3.12 – Перехідний процес керування температури в термостаті

Із побудованого графіка перехідного процесу в САК температури визначимо, що час регулювання даної системи $t_p = 360$ с, кількість напівхвиль $n=2$, статична похибка відсутня, а пере регулювання не виходить за межі 20 % і складає:

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

що задовольняє технологічним

ВИМОГАМ.

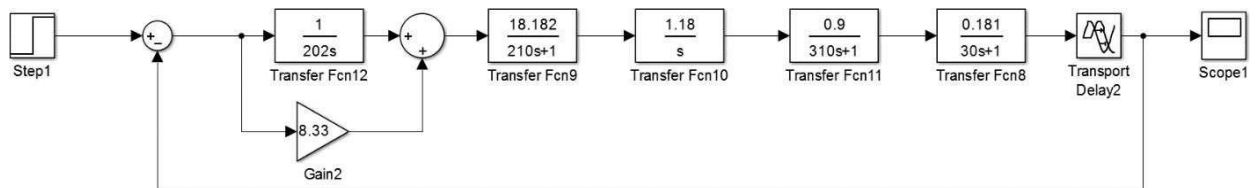


Рисунок 3.13– Перехідний процес керування вологості в термостаті

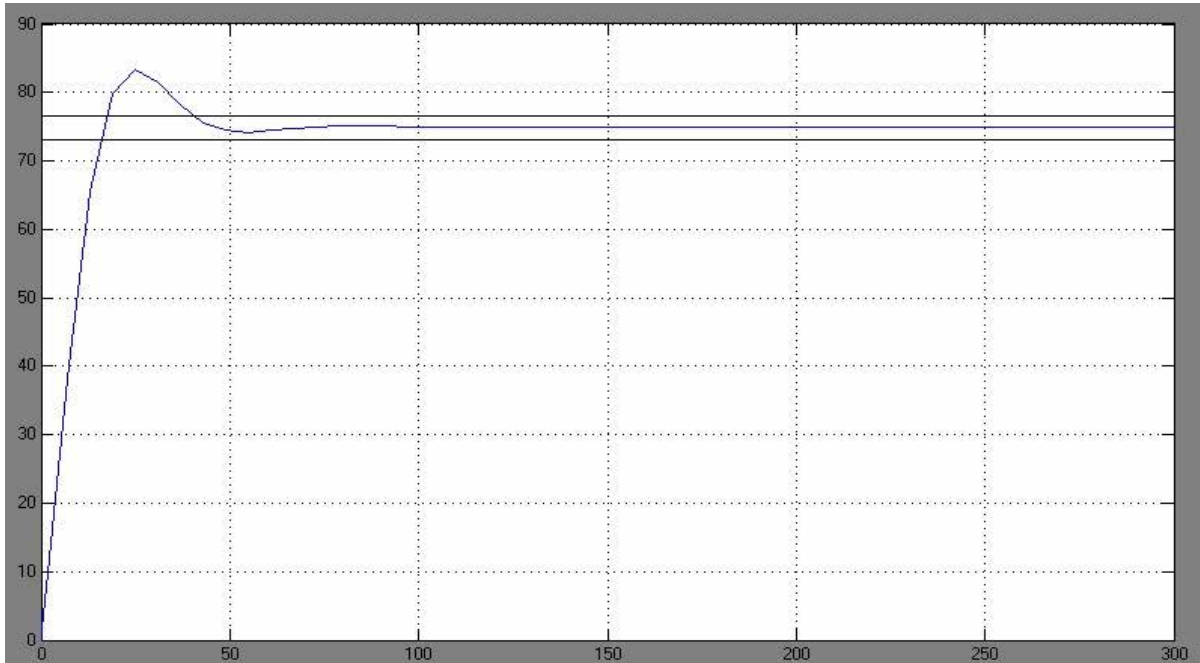


Рисунок 3.14 – Перехідний процес керування вологості в термостаті

Із побудованого графіка перехідного процесу в САК вологості визначимо, що час регулювання даної системи $t_p = 40$ с, кількість напівхвиль $n=2$, статична похибка відсутня, а пере регулювання не виходить за межі 20% і складає:

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

що також задовольняє технологічним вимогам.

Отже, на основі проведених досліджень можна зробити висновок, що при проектуванні системи автоматичного регулювання мікроклімату в термостаті для підтримання на заданому рівні температури та вологості слід обрати ПІ-закон регулювання, що з легкістю реалізується будь-яким мікроконтролером.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА СХЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

4.1. Розробка принципової електричної схеми керування

Принципова електрична схема – це проектний документ, що визначає повний склад електричних елементів, зв'язків між ними та дає повне уявлення про принцип роботи системи. Принципова електрична схема керування мікрокліматом в термостаті наведена на рис.2.28.

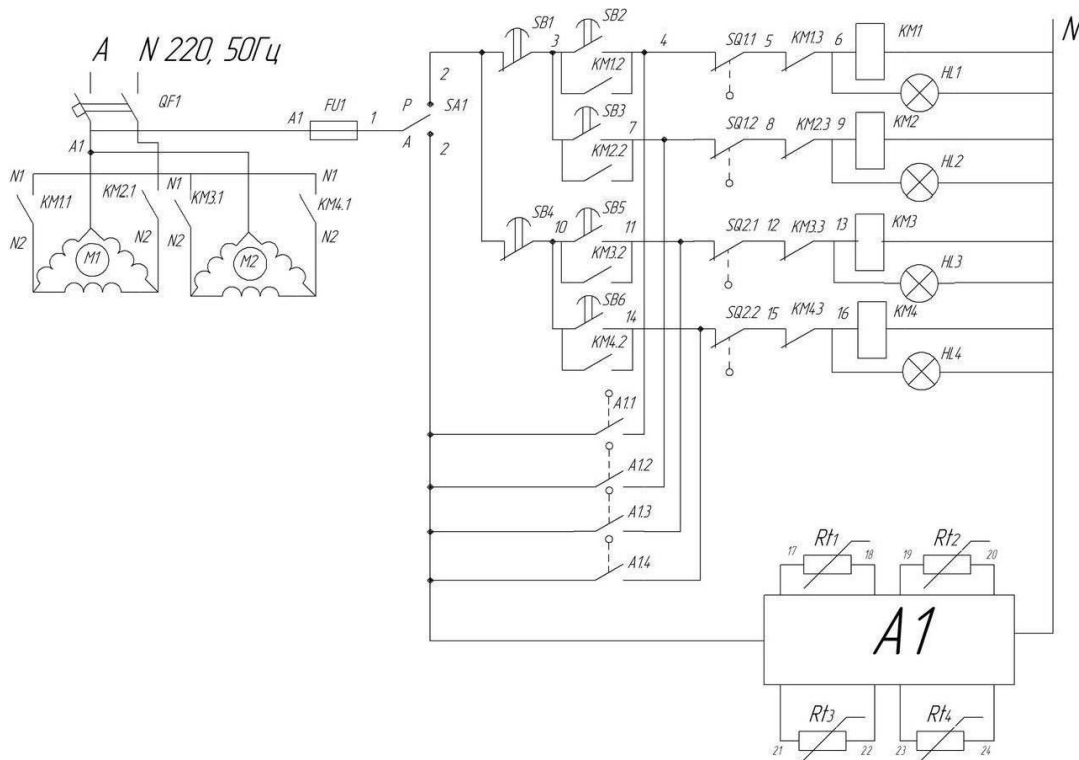


Рисунок 4.1 –Принципова електрична схема

При ввімкненні автоматичного вимикача QF1 на схему подається живлення. В залежності від положення перемикача режимів SA1 схема може працювати в ручному та автоматичному режимі.

В ручному режимі схема працює в залежності від натискання кнопок SB2, SB3 та SB5, SB6. При натисканні на кожен із кнопок подається живлення на відповідну котушки магнітних пускачів KM1...KM4. Контакти кнопок дубльовані замикаючими контактами магнітних пускачів та здійснюють само підтримання. Також в кожному ланцюзі передбачено захист від одночасного

вмикання двох реле для однієї заслінки у вигляді розмикаючих контактів КМ1.3...КМ4.3. При досягненні заслінкою свого максимального положення спрацьовують кінцеві вимикачі SQ1 та SQ2. Ручну зупинку забезпечують стопові кнопки SB1 та SB4. Про подання напруги на котушки магнітних пускачів свідчать сигнальні лампи HL1...HL4.

В автоматичному режимі схемою керує регулятор А1, що ґрунтується на показах датчиків температури RT1...RT4, та вмикає своїми контактами А1.1...А1.4 відповідні котушки магнітних пускачів.

4.2. Обґрунтування та вибір пуско – захисної апаратури

Електричні апарати пуску, керування та захисту - це електротехнічні пристрої та механізми, що призначені для вмикання і вимикання, забезпечення певного режиму роботи і для захисту електроспоживачів і електричних кіл. Апарат може виконувати одну або кілька з вказаних функцій.

Для вмикання і вимикання електроспоживачів та електричних кіл і керування ними призначені рубильники, пакетні вимикачі, кнопки керування, ракетно-кулачкові перемикачі, контактори, електромагнітні пускачі та автоматичні вимикачі. Автоматичні вимикачі та електромагнітні пускачі за наявності в них теплових реле виконують також функції захисту електроустановок і електричних кіл. Апаратами захисту є також запобіжники.

Електричні апарати вибирають за родом струму, напругою, потужністю, числом полюсів, вимогами до електричного захисту від нормальних режимів роботи електроспоживачів і електричних кіл та за виконання залежно від умов навколишнього середовища.

Всі електроустановки повинні мати захист від струмів короткого замикання (к.з.). Апарати захисту - практично миттєво повинні вимикати групи к.з. і не спрацьовувати під час пускового струму нормальної тривалості. Електродвигуни вентиляторів потребують також захисту від струмів перевантаження, надмірного спаду напруги та довільного спрацювання.

Електромагнітні пускачі є основними апаратами автоматизованого та автоматичного керування електроустановками. Вони призначені для дистанційного пуску безпосереднім вмиканням у мережу, зупинки і реверсування трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором. За наявності теплового реле пускачі також захищають електродвигуни від перевантажень.

4.3. Вибір щита керування

За будь-якого рівня автоматизації за людиною-оператором залишається головна роль. Тому проектуванню постів (щитів) керування, звідки здійснюється централізоване керування обладнанням і де знаходиться оперативний персонал, приділяється велика увага в технічних проектах всіх станцій. При цьому необхідно враховувати дві сторони: а) технічні характеристики об'єкта – тип, складність обладнання, структуру зв'язків, рівень автоматизації об'єкта тощо; б) психологічні, фізіологічні, біологічні особливості і можливості людини-оператора.

На (рис.4.2) зображено загальний вигляд щита керування мікрокліматом в термостаті.

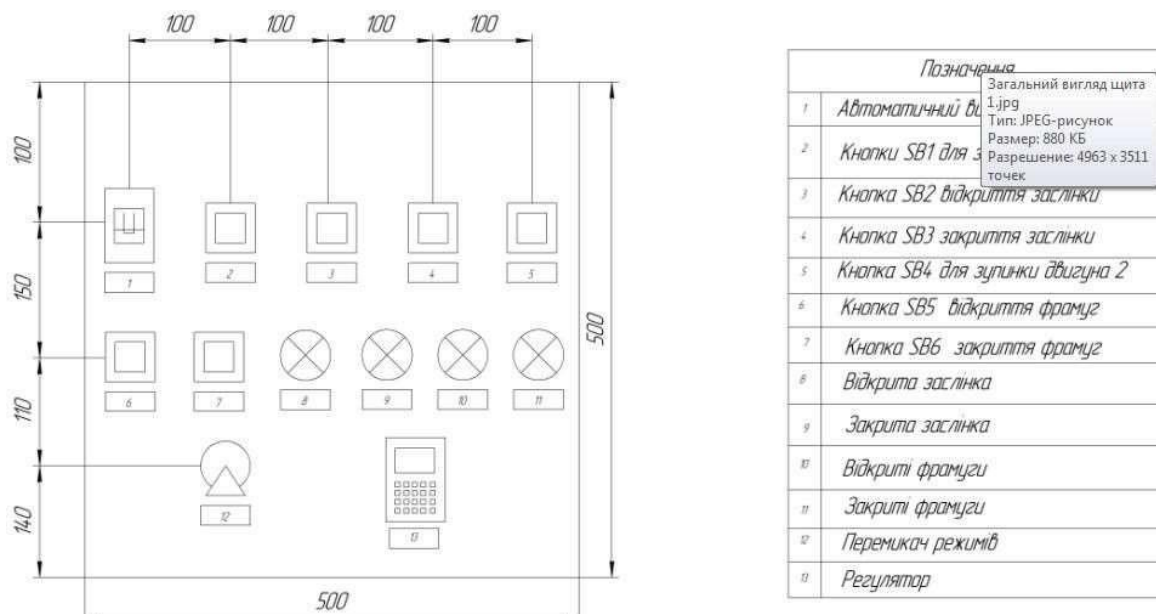


Рисунок 4.2 – Загальний вигляд щита керування мікрокліматом в термостаті

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕРМОСТАТОМ

5.1. Розробка структури комп'ютерно-інтегрованої системи

На рис. 5.1 показано код програми щодо підключення термостату до інтегрованої плати Arduino Uno. Код виконує заміри температури та вологості в тепловому агрегаті. На основі цих даних в майбутньому буде створена система яка автоматично регулюватиме температуру та вологість, на основі мікроконтролера "Arduino".

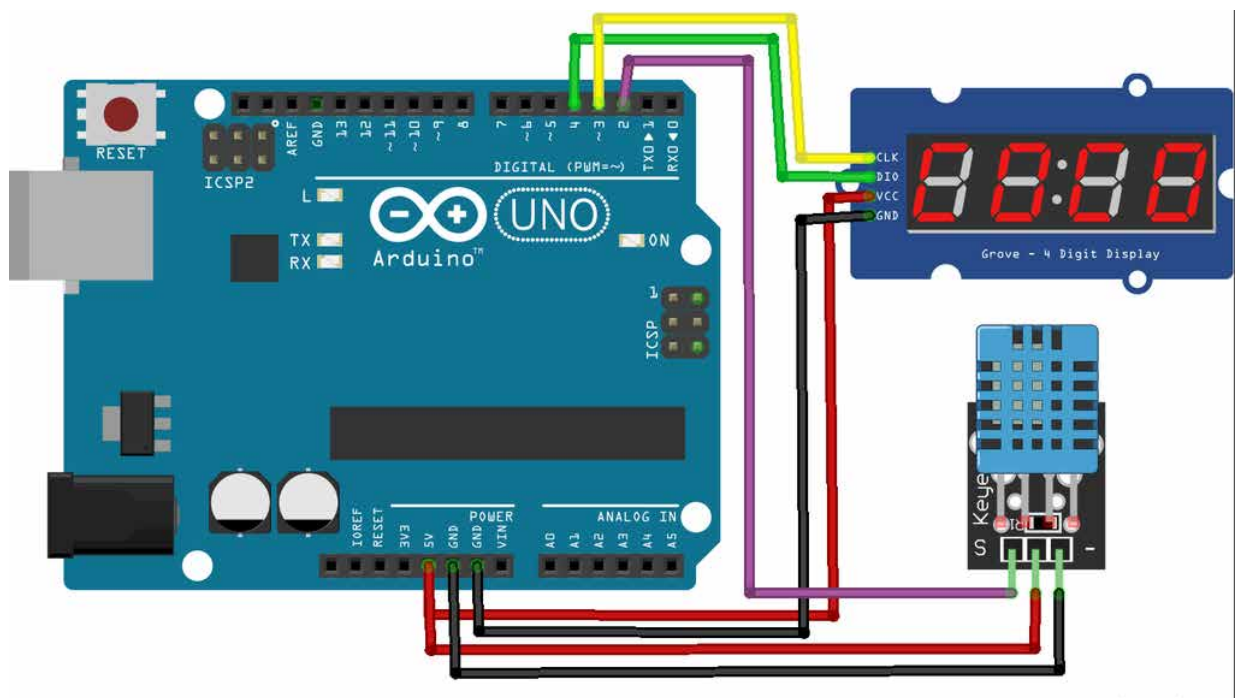


Рис. 5.1. Підключення датчика і індикатора до інтегрованої плати Arduino Uno.

5.2. Розробка алгоритму і програмного забезпечення

Алгоритм управління термостатом реалізований через цикл переривання таймера 0 (кожні 25 мкс) та основний цикл (рис. 3.3). Цикл переривання таймера відповідає за швидке та точне керування вихідним сигналом, що подається на нагрівальний елемент. Він включає декремент лічильників STCNT та URCNT,

перевірку їх переповнення, встановлення вказівника PHASE, завантаження значень та заборону/дозвіл переривань INTO (INT 1). Основний цикл обробляє команди від користувача, такі як "REW" (перемотка), "STOP" (зупинка) та "FFD" (швидкий вперед), які встановлюють бажане значення VR. Цей цикл також коригує "швидкість" VC, яка впливає на тривалість імпульсів або період керування нагріванням через змінну T, що розраховується як $T=256000/VC$. Таким чином, T безпосередньо контролює частоту або шпаруватість імпульсів, що подаються на нагрівач, регулюючи середню потужність нагріву та температуру. Загалом, алгоритм реалізує пропорційно-інтегрально-диференціальне (ПІД) або схоже регулювання.

Наданий код є програмою для мікроконтролера Arduino, написаною мовою C++, яка призначена для зчитування даних з датчика температури та вологості DHT (ймовірно, DHT11 або DHT22) та їх відображення. Програма починається з підключення необхідних бібліотек: DHT.h та DHT_U.h для роботи з датчиками DHT, а також TM1637.h для взаємодії з модулем 7-сегментного дисплея TM1637 (рис. 3.6).

Далі визначаються константи та ініціалізуються об'єкти. Піни для підключення дисплея TM1637 визначені як CLK (пін 3) та DIO (пін 2). Хоча в коді є потенційна помилка з DHTPIN, припускається, що датчик DHT підключений до піна 11, а його тип визначений як DHT11. Створюються об'єкти dht (для роботи з датчиком) та tm1637 (для роботи з дисплеєм).

Функція setup(), яка виконується один раз при запуску мікроконтролера, ініціалізує послідовний порт для зв'язку з комп'ютером на швидкості 9600 бод. Це дозволяє виводити показання датчиків для моніторингу та відладки. Також ініціалізуються датчик DHT та дисплей TM1637.

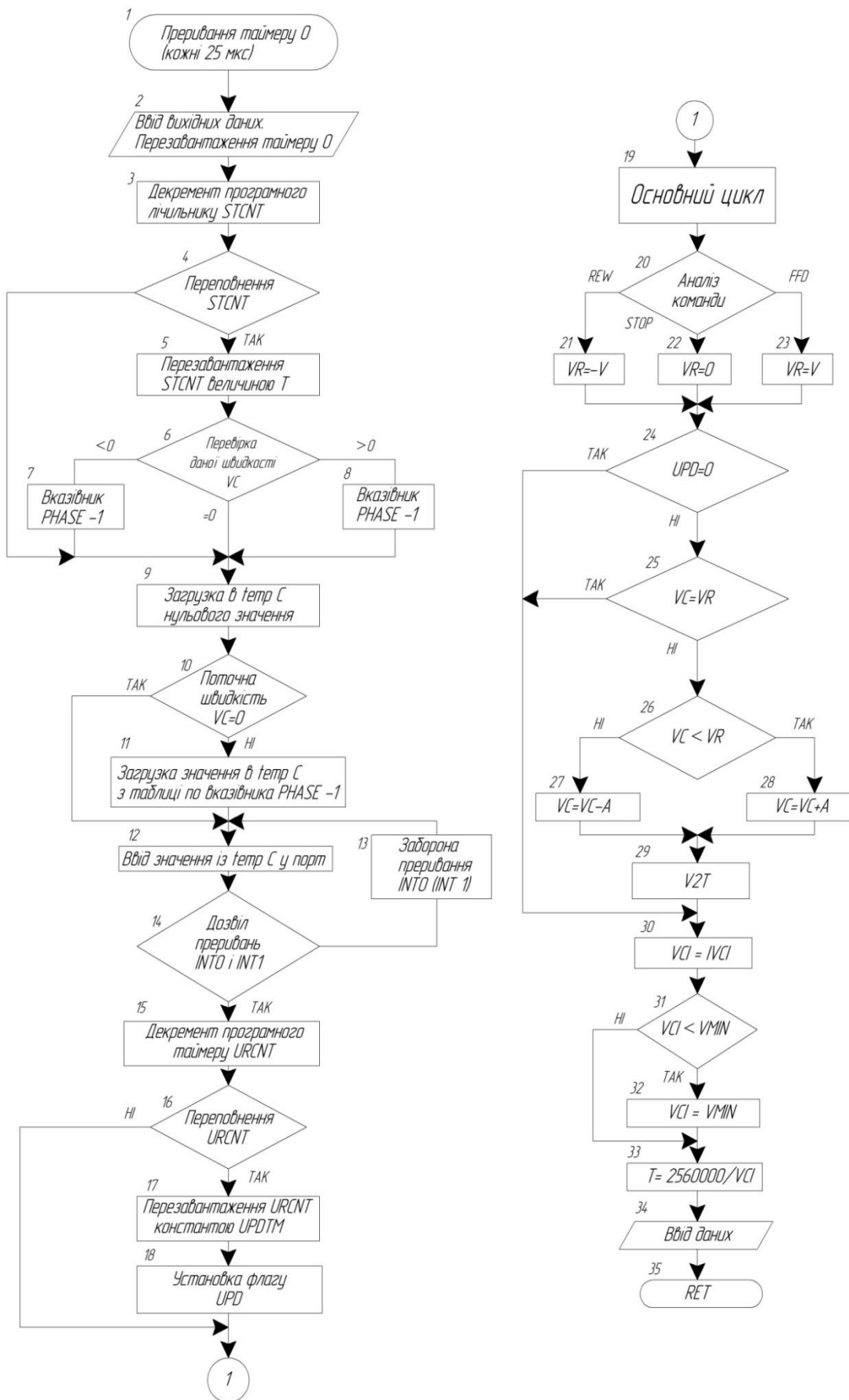


Рис. 5.2. Блок - схема алгоритму управління термостатом.

Основна функція `loop()` виконується безперервно. Вона починається із затримки в 1 секунду (1000 мілісекунд), щоб уникнути занадто частого зчитування даних з датчика. Потім зчитуються значення вологості (`h`) та температури (`t`) з датчика DHT. Програма перевіряє, чи є зчитані значення числовими; якщо вони не є числами (`NaN`), це свідчить про помилку зчитування, і на послідовний порт виводиться повідомлення "Помилка зчитування!", після чого поточна ітерація функції завершується. У разі успішного зчитування, програма виводить на послідовний порт мітки "Вологість: " та "Температура: ", а також відповідні значення `h` та `t`. Також виводиться символ "C ". Наприкінці коду є рядок `tm1637.display(h)`, який, ймовірно, призначений для виведення даних на 7-сегментний дисплей, але його реалізація може бути невірною, оскільки функція `display()` зазвичай вимагає масиву чисел. Цей код є базовим компонентом для системи управління термостатом, оскільки дозволяє зчитувати ключові параметри довшілля.

```
work.ino
1 #include <DHT.h>
2 #include <DHT_U.h>
3 #include "TM1637.h" // Підключаем бібліотеку для роботи модулем
4
5 #define CLK 3
6 #define DIO 2
7 #define DHTPIN 2 // Тот самый номер пина, котром упоминалось выше
8 TM1637 tm1637(CLK, DIO);
9
10 DHT dht(DHTPIN, DHT11);
11 void setup() {
12   Serial.begin(9600);
13   dht.begin();
14 }
15 void loop() {
16   delay(1000); // 2 секунды задержки
17   float h = dht.readHumidity(); //Измеряем влажность
18   float t = dht.readTemperature(); //Измеряем температуру
19   if (isnan(h) || isnan(t)) { // Проверка. Если не удастся считать показания, выводится «Ошибка считывания», и программа завершает работу
20     Serial.println("помилка");
21     return;
22   }
23   Serial.print("Влажность: ");
24   Serial.print(h);
25   Serial.print(" %\t");
26   Serial.print("Температура: ");
27   Serial.print(t);
28   Serial.println(" *C "); //Вывод показателей на экран
29 }
```

Output Serial Monitor x

Рис. 5.3. Код програми щодо підключення термостату до інтегрованої плати Arduino Uno.

Після підключення датчику, на цифровий індикатор було виведено значення температури та вологості повітря в середині термостату. Даний код виконує заміри температури та вологості в тепловому агрегаті. На основі цих даних в майбутньому буде створена система яка автоматично регулюватиме температуру та вологість, на основі мікроконтролера Arduino.

Таким чином, на даному етапі роботи було розроблено комп'ютерно-інтегровану систему моніторингу температури у термостаті з виведенням інформації на екран ноутбуку і на індикатор термостату. Подальшими дослідженнями будуть моніторинг вологості та управління параметрами термостату для визрівання насіння різних культур.

5.4.. Розробка інтерфейсу системи керування термостатом

Алгоритм роботи системи керування наведено на Рисунку 7. Система працює наступним чином:

- 1) після пред'явлення джерела живлення вся система ініціалізується, вводиться критичне значення часу t_k ;
- 2) ефективне значення часу t порівнюється з критичним значенням часу t_k (час, протягом якого відбувається весь технологічний процес);
- 3) вимірювання технологічних параметрів;
- 4) перевірити бездротове з'єднання, призначити IP-адресу;
- 5) при підключенні через бездротовий зв'язок виміряне значення відображається;
- 6) очікування команди; перейти до пункту 2;
- 8) при відсутності бездротового зв'язку система переходить в автоматичний режим;
- 9) після передачі керуючої дії на виконавчі механізми дані передаються на персональний комп'ютер загальної системи управління; перейти до пункту 2.
- 11) при досягненні критичного часу програма завершується.

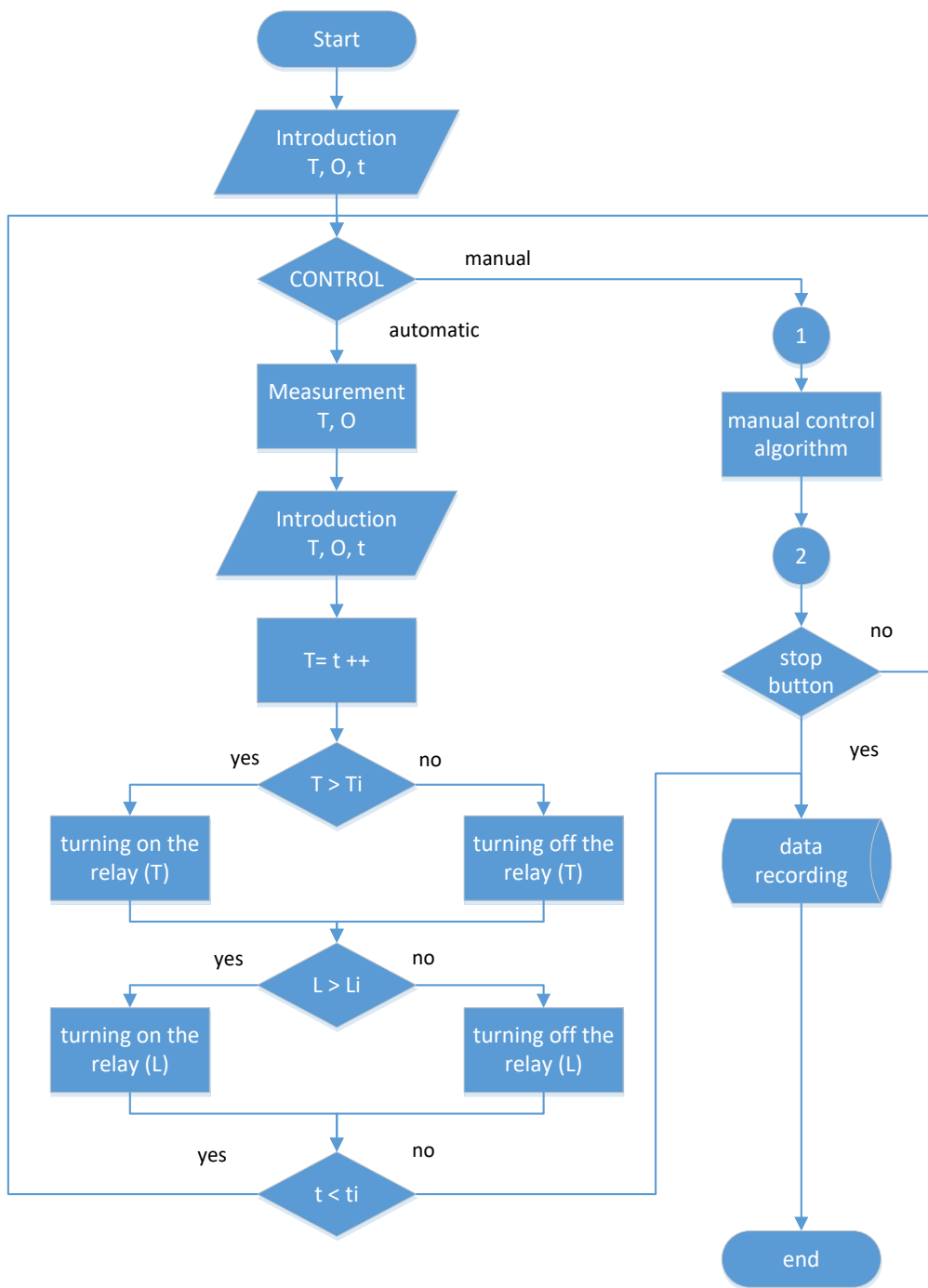


Рисунок 5.4. Алгоритм дистанційного вимірювання температури (Т)

Однією з найважливіших особливостей ESP8266 (Espressif Systems, Китай) є те, що він може не тільки підключатися до існуючої мережі Wi-Fi і діяти як веб-сервер, але також може налаштувати власну мережу, дозволяючи іншим пристроям безпосередньо підключатися до нього та отримувати до нього доступ. на веб-сторінки. Це можливо, тому що ESP8266 може працювати в трьох різних режимах: режимі станції, режимі точки доступу та обох перших режимах

одночасно. Рисунок 8 деталізує формування керуючих впливів – вмикання реле.

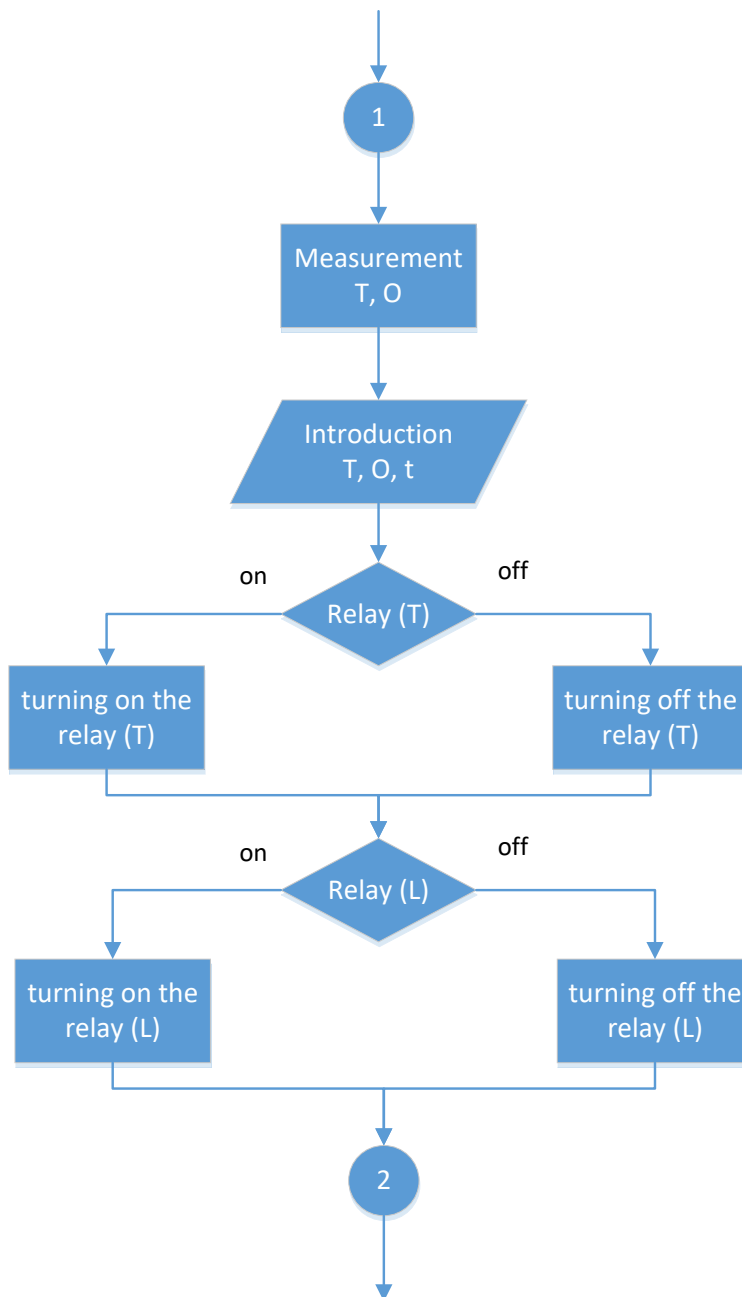


Рисунок 5.5. Підпрограма формування керуючих впливів

Опис алгоритму:

Після ініціалізації системи вводяться початкові значення. Потім вибір режиму управління: автоматичний або ручний. При виборі автоматичного керування спочатку активується таймер роботи (t). Далі система керування вимірює технологічні параметри, після чого вимірне значення порівнюється із

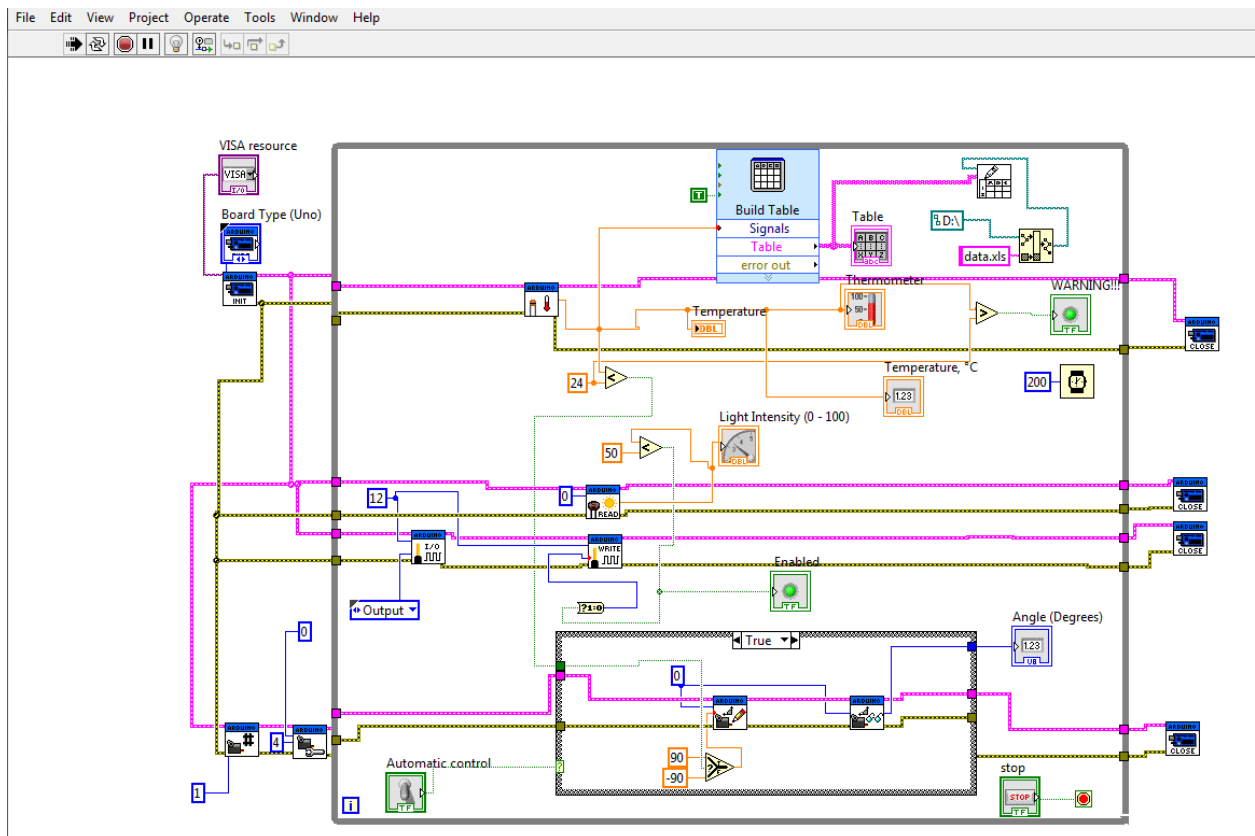


Рисунок 5.7. Блок-діаграма системи управління в пакеті LabVIEW

Програмне забезпечення для зазначеної системи реалізовано в середовищі LabVIEW, а зчитування інформації з датчиків також декомпозовано в інтерфейсі оператора. Крім того, зареєстровані значення були передані в базу даних для подальшого статистичного аналізу – побудови кореляційних залежностей, прогнозування, кластеризації та ін.. Дані зберігаються в пам'яті у вигляді таблиці, уніфікованої з програмами обробки даних, головною частиною яких є Microsoft Office Excel.

5.4. Проектування мобільного додатку

Перспективою даного проекту є створення мобільного додатку для реєстрації та аналізу параметрів експерименту з лазерним опромінюванням насіння. Додаток дозволить вводити вихідні параметри, зберігати результати та відображати їх у вигляді графіків або таблиць. Також планується забезпечити

можливість інтеграції з мікроконтролерами Arduino для отримання даних із датчиків. В планах проєкту також збереження введених даних з використанням локальної бази даних SQLite або Room Database та можливістю збереження декількох експериментів та їх подальшого перегляду. Вдосконалити результат планується шляхом додавання модулю аналізу та візуалізації результатів. Необхідно також виконати побудову графіків залежностей для аналізу впливу параметрів на проростання насіння і прогнозування результатів за допомогою ARIMA-моделі. Інтеграція з мікроконтролерами включатиме обмін даними з Arduino через Bluetooth або Wi-Fi Технічне виконання планується здійснити на базі середовища Android Studio з використанням бази даних SQLite / Room Database. Графічний інтерфейс буде реалізовано на базі XML Layouts для створення UI ConstraintLayout для адаптивного дизайну. Моделювання даних – з використанням графіків (MPAndroidChart або аналогічних бібліотек) і вбудованої система статистичного аналізу (рис. 3.7).

Даний додаток стане ефективним інструментом для дослідження впливу лазерного опромінювання на проростання насіння. Простота інтерфейсу та можливість аналізу даних зробить його корисним як для навчальних, так і для наукових цілей.

20:01

Ввести параметри експерименту

Довжина хвилі
750

Кількість імпульсів
2300

Щільність енергії
2.5

Час впливу
45

Вологість
35

Температура
24

Перейти до результатів

Назад

Зберегти параметри

20:01

Список збережених експериментів

Довжина хвилі: 750
Імпульси: 2300
Інтенсивність: 2.5
Час впливу: 45
Вологість: 35
Температура: 24

Довжина хвилі: 450
Імпульси: 254
Інтенсивність: 12
Час впливу: 56
Вологість: 12
Температура: 45

Показати графік

Назад

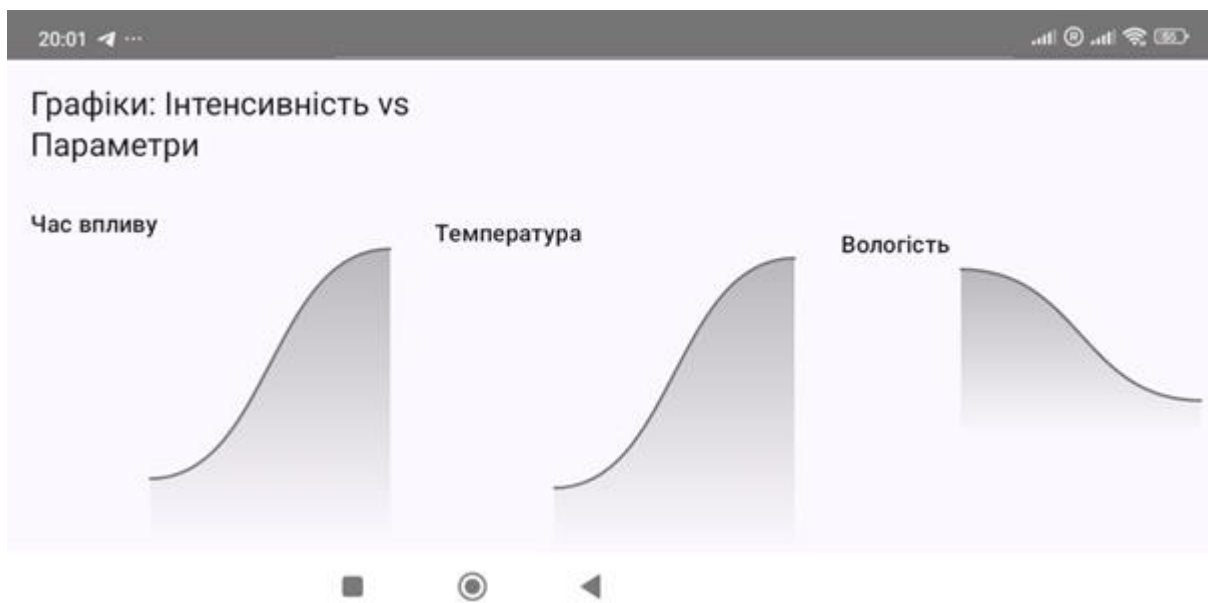


Рис. 5.7. Проект мобільного додатку для управління лазерною утановкою і термостатом

ВИСНОВКИ

Комп'ютерно-інтегрована система управління термостатом для визрівання насіння є актуальним напрямком, що дозволяє оптимізувати процес визрівання насіння завдяки точному контролю температури та автоматизації.

Була розглянута функціональна схема автоматизації, яка включає датчики температури, виконавчі механізми (нагрівальні елементи), терморегулятор / ПЛК та елементи керування/індикації, що дозволяє підтримувати заданий температурний режим.

Описано алгоритм управління термостатом, який, ймовірно, реалізує ПІД-регулювання, використовуючи цикли переривання таймера для швидкого керування та основний цикл для обробки команд і коригування інтенсивності нагріву.

Проаналізовано код програми для зчитування даних з датчика температури та вологості (DHT) та виведення їх на послідовний монітор та, ймовірно, на 7-сегментний дисплей (TM1637), що є базовою складовою для моніторингу параметрів середовища термостата.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Chu, Y. -, & Chang, J. -. (2020). Regulation of floral bud development and emergence by ambient temperature under a long-day photoperiod in white-fleshed pitaya (hylocereus undatus). *Scientia Horticulturae*, 271 doi:10.1016/j.scienta.2020.109479.
- [2] Adjerid, H. E., Remram, Y., & Attari, M. (2020). Development of an electronic system for the control of climatic parameters in a phytotron. Paper presented at the CCSSP 2020 - 1st International Conference on Communications, Control Systems and Signal Processing, 417-421. doi:10.1109/CCSSP49278.2020.9151598.
- [3] Ouammi, A., Achour, Y., Dagdougui, H., & Zejli, D. (2020). Optimal operation scheduling for a smart greenhouse integrated microgrid. *Energy for Sustainable Development*, 58, 129-137. doi:10.1016/j.esd.2020.08.001.
- [4] Akkaş, M. A., & Sokullu, R. (2017). An IoT-based greenhouse monitoring system with micaz motes. Paper presented at the *Procedia Computer Science*, 113 603-608. doi:10.1016/j.procs.2017.08.300
- [5] Bozchalui, M. C., Cañizares, C. A., & Bhattacharya, K. (2015). Optimal energy management of greenhouses in smart grids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 6(2), 827-835. doi:10.1109/TSG.2014.2372812
- [6] Hou, J., & Gao, Y. (2010). Greenhouse wireless sensor network monitoring system design based on solar energy. Paper presented at the *International Conference on Challenges in Environmental Science and Computer Engineering, CESCE 2010*, , 2 475-479. doi:10.1109/CESCE.2010.274
- [7] Grigoriu, R., Voda, A., Arghira, N., Calofir, V., & Iliescu, S. S. (2016). Temperature control of a greenhouse heated by renewable energy sources. Paper presented at the *Joint International Conference - ACEMP 2015: Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics, OPTIM 2015: Optimization of Electrical and Electronic Equipment and ELECTROMOTION 2015: International Symposium on Advanced Electromechanical Motion Systems*, 494-499. doi:10.1109/OPTIM.2015.7427009

- [8] Abdelouhahid, R. A., Debauche, O., Mahmoudi, S., Marzak, A., Manneback, P., & Lebeau, F. (2020). Open phytotron: A new IoT device for home gardening. Paper presented at the Proceedings of 2020 5th International Conference on Cloud Computing and Artificial Intelligence: Technologies and Applications, CloudTech 2020, doi:10.1109/CloudTech49835.2020.9365892.
- [9] T. Lendiel, N. Kiktev, N. Pasichnyk. Control System of Electrotechnical Phytotron Complex with the Use of Internet of Things Technology. Selected Papers of the VIII International Scientific Conference "Information Technology and Implementation" (IT&I-2021). http://ceur-ws.org/Vol-3179/Paper_23.pdf
- [10] Lysenko, V., Zhylytsov, A., Bolbot, I., Lendiel, T., & Nalyvaiko, V. (2020). Phytomonitoring in the phytometrics of the plants. Paper presented at the E3S Web of Conferences, Volume 154, art. no.07012, doi:10.1051/e3sconf/202015407012.
- [11] V. Lysenko, T. Lendiel and D. Komarchuk, "Phytomonitoring in a Greenhouse Based on Arduino Hardware," 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), 2018, pp. 365-368, doi: 10.1109/INFOCOMMST.2018.8632030.
- [12] Lysenko, V., Bolbot, I., & Lendel, T. (2019). Energy efficient system of electrotechnological complex control in industrial greenhouse. [Enerhoefektyvna systema keruvannia elektrotekhnolohichnym kompleksom promyslovykh teplyts]. Technical Electrodynamics, 2019(2), 78-81. doi:10.15407/techned2019.02.078. (In Ukrainian).
- Vetchinnikov, A.A., Filatov, D.A., Olonina, S.I., Kazakov, A.V., Olonin, I.Y. Influence of the radiation intensity of LED light sources of the red-blue spectrum on the yield and energy consumption of microgreens. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 723(3), 032046
- [13] Smirnov I.G., Khort D.O., Filippov R.A., Kutyrev A.I. Factor analysis of irradiation of the strawberries (*fragaria* × *ananassa*) seeds pulsed low-frequency magnetic field. Indian Journal of Agricultural Sciences. 2019. T. 89. № 5. C. 113-118.

- [14] Izmailov A.Y., Smirnov I.G., Khort D.O., Filippov R.A., Kutyrev A.I. Magnetic-pulse processing of seeds of berry crops. *Research in Agricultural Engineering*. 2018. T. 64. № 4. С. 181-186.
- [15] Cherenkov A. Justification of the electromagnetic impulse method destruction of insect pests in gardens / Aleksandr D. Cherenkov; Nataliia G. Kosulina; Yaroslav I. Yaroslavskij; Nataliia V. Titova; Aliya Aizhanova; Jecsek Tanas // Published in *SPIE Proceedings Potonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments* – 2018. – Vol. 10808. – Pp. 157 – 166.
- [16] Л. Є. Никифорова. Концепція створення автоматизованих біотехнічних систем у рослинництві. *Енергетика і автоматика*, № 4, 2019 р. - с. 80-90. DOI: 10.31548/energiya2019.04.080
- [17] Апарат світлодіодний Lika-Led. ПП Фотоніка-Плюс. <http://www.fotonikaplus.com.ua/produksiya/istochniki-izlucheniya/apparat-svetodiodyj-lika-led.html> (Доступ 30.04.2023).
- [18] Kiktev, N., Lendiel, T., & Osypenko, V. (2021). Application of the internet of things technology in the automation of the production of compound feed and premixes. Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings, vol 2833, pp 124-133.
- [19] Kiktev N, Lendiel T, Vasilenkov V, Kapralyuk O, Hutsol T, Glowacki S, Kuboń M, Kowalczyk Z. Automated Microclimate Regulation in Agricultural Facilities Using the Air Curtain System. *Sensors*. 2021; 21(24):8182. <https://doi.org/10.3390/s21248182>
- [20] Д.М. Трачова. Напрями підвищення економічної ефективності овочівництва закритого ґрунту. Автореф. на здобуття наук. ступеня канд. екон. наук, ННЦ „Інститут аграрної економіки” УААН, Київ, 2006. – 19 с.
- [21] N. Kiktev, T. Lendiel, N. Pasichnyk, D. Khort and A. Kutyrev, "Using IoT Technology to Automate Complex Biotechnical Objects," *2021 IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T)*, Kharkiv, Ukraine, 2021, pp. 17-22, doi: 10.1109/PICST54195.2021.9772218.