

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ПОГОДЖЕНО
Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження
(назва ННІ)

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

проф., д.т.н. _____ **В.В. Каплун**
(підпис) (ПІБ)

доц., к.т.н. _____ **О.О. Опришко**
(підпис) (ПІБ)

«___» _____ 2026 р.

«___» _____ 2026 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИМ ВПЛИВОМ НА РОСЛИНИ»

Спеціальність:

174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
(шифр і назва)

Освітня програма:

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(назва)

Орієнтація освітньої програми: освітньо-наукова
(назва)

Гарант освітньої програми

_____ **д.т.н., професор**
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Івашук В.В.
(П.І.Б)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

_____ **к.т.н., доцент**
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

..... **Кіктєв М.О.**
(П.І.Б)

Виконав

_____ (підпис)

Петунов І.С.
(П.І.Б студента)

КИЇВ-2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри
автоматики та робототехнічних
систем ім. акад. І.І. Мартиненка

К.Т.Н., доц. _____ **О.О. Опришко**
« ____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧУ
Петунову Едуарду Сергійовичу

Спеціальність:

174– «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Освітньо-професійна програма:

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Орієнтація освітньої програми: освітньо-наукова

Тема магістерської кваліфікаційної роботи **«РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИМ ВПЛИВОМ НА РОСЛИНИ»**

затверджена наказом від 28.11.2026 року №2057«С»

Термін подання студентом магістерської роботи 22.05.2026 року

Вихідні дані магістерської кваліфікаційної роботи: завдання кафедри на виконання магістерської кваліфікаційної роботи; нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації; матеріали дослідження, аналізу та моделювання; наукова література з тематики магістерської роботи.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Офіційна настанова (завдання) від кафедри щодо змісту та обсягу магістерської роботи.
2. Чинні державні та галузеві нормативні документи, стандарти та правила, що стосуються проектування та впровадження систем автоматизації.
3. Зібрані та проаналізовані матеріали попередніх досліджень та аналітичних звітів.
4. Відповідна наукова та технічна література за темою магістерського проекту.

Дата видачі завдання «28» листопада 2024 року

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

(Підпис)

Кіктєв М.О.
(Прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(Підпис)

Петунов Е.С.
(Прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дипломна робота за темою «Розробка та дослідження комп'ютерно-інтегрованої системи управління електрофізичним впливом на рослини» виконана студентом магістратури кафедри автоматики та робототехнічних систем ННІ енергетики, автоматики та енергозбереження *Петуновим Едуардом Сергійовичем* зі спеціальності 174 *«Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»* та складається зі: вступу; 5 основних розділів, загальних висновків; списку використаних джерел (35 джерел), і трьох додатків. В тексті: кількість таблиць – 14, рисунків - 21. Загальний обсяг роботи складає 83 сторінок.

Мета роботи. Оптимізація та підвищення репродуктивних кондицій насіння при термостатичному вирощуванні за рахунок проектування комп'ютерно-інтегрованого керуючого комплексу.

Об'єкт дослідження. Процес формування мікроклімату камери термостата під час пророщування насіннєвого матеріалу.

Предмет дослідження. Комплекс моделей, алгоритмів та програмно-технічного забезпечення для автоматичного регулювання параметрів біотехнічної системи.

Технічне рішення базується на використанні мови програмування Python для побудови бекенд-логіки, збору телеметрії (температура, вологість), реєстрації даних (data-logging) та організації віддаленого веб-інтерфейсу через Інтернет. Людино-машинний інтерфейс (HMI) системи реалізовано в середовищі графічного проектування LabVIEW. Робота містить компаративний аналіз існуючих засобів автоматизації мікроклімату фітокамер.

Ключові слова: *агроінженерія, термостатування, комп'ютерно-інтегроване керування, SCADA-інтерфейс, контролери ОВЕН, Python-скрипти, LabVIEW.*

РЕФЕРАТ

Актуальність теми. Одним із найбільш перспективних напрямків у сільськогосподарській інженерії є електрофізична стимуляція посівного матеріалу, зокрема лазерне оптичне опромінення наносекундної та мікросекундної імпульсної структури в червоному діапазоні спектра (630–680 нм). Даний метод дозволяє істотно підвищити енергію проростання, схожість і силу росту насіння, переводячи його зі стану глибокого фізіологічного спокою в активну фазу онтогенезу. Проте широке впровадження таких технологій в агропромисловому комплексі стримується високою вартістю спеціалізованого обладнання та відсутністю гнучких комп'ютерно-інтегрованих систем автоматичного керування (KICU), здатних з високою прецизійністю забезпечувати температурно-вологісні режими подальшого термостатування опроміненого матеріалу для різних сільськогосподарських культур.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є оптимізація та підвищення репродуктивних кондицій насіння при термостатичному вирощуванні за рахунок проєктування комп'ютерно-інтегрованого керуючого комплексу. Для досягнення поставленої мети вирішено такі завдання:

1. Інформаційний аналіз біотехнічної системи «рослина–середовище»;
2. Проведення повного факторного експерименту з імпульсного лазерного опромінення, побудова поліноміальних регресійних моделей процесу;
3. Дослідження динаміки теплового об'єкта в середовищі Matlab Simulink;
4. Розробка функціональних і принципових схем автоматизації;
5. Створення програмного забезпечення верхнього та нижнього рівнів (Python, LabVIEW, Arduino).

Об'єкт дослідження – процес формування мікроклімату камери сухоповітряного термостата під час пророщування насіннєвого матеріалу сільськогосподарських культур.

Предмет дослідження – комплекс математических моделей, алгоритмів, програмних і технічних засобів для автоматичного прецизійного регулювання технологічних параметрів біотехнічної системи.

Методи дослідження базуються на теорії автоматичного керування, методах планування експерименту (ПФЕ 2³), математичній статистиці (критерії Стюдента та Фішера), об'єктно-орієнтованому програмуванні та методах графічного системного проектування інтерфейсів НМІ.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в удосконаленні математичної моделі залежності посівної якості насіння (ПЯН) від сопряжених параметрів імпульсного лазерного впливу та режимів дозрівання в термостаті (температура, вологість, експозиція) із застосуванням узагальненої функції бажаності Харрінгтона.

Практичне значення полягає у створенні доступної, гнучкої архітектури КІСУ на базі контролерів Arduino та ОВЕН, доповненої Python-скриптами віддаленої телеметрії та інтерактивною НМІ-панеллю LabVIEW, що дозволяє використовувати комплекс у фермерських і селекційних господарствах.

В інструкції та вступі обґрунтовано актуальність теми роботи, сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, показано наукову новизну та практичну цінність розроблених рішень.

У першому розділі проведено детальний аналітичний огляд існуючих електрофізичних методів стимуляції насіння. На основі аналізу робіт вітчизняних та зарубіжних авторів показано перевагу скануючого та імпульсного лазерного випромінювання червоного спектра над безперервним опроміненням..

У другому розділі здійснено постановку та реалізацію повного факторного експерименту. В якості керуючих факторів прийнято: X_1 – кількість діб від моменту лазерного впливу до визначення якості; X_2 – кількість лазерних імпульсів (2000-8000 шт.); X_3 – щільність енергії оптичного потоку (0,5-6,0 мВт/см²). На основі матриці планування експерименту та статистичної обробки за критерієм Стюдента отримано нелінійне рівняння регресії поверхні відгуку

другого порядку. Перевірка за критерієм Фішера підтвердила адекватність моделі. Визначено оптимальні параметри обробки насіння: період стабілізації – 8,47 діб; число імпульсів – 1931; щільність енергії – 3,25 мВт/см², що забезпечили приріст енергії проростання більш ніж на 15-20% порівняно з контрольною групою. У *Matlab Simulink* побудовано схему термостата як об'єкта регулювання з розподіленими параметрами, знято криві розгону за каналами «потужність нагрівача – температура» та «витрата вологого повітря – вологість камери».

У **третьому розділі** розроблено функціональну схему автоматизації. Вибрано та обґрунтовано приладовий склад системи: первинні перетворювачі температури та вологості (датчики лінійки DHT та високоточні термоопори ТСП), виконавчі механізми (ТЕНи, вентилятор примусової конвекції, регульований клапан подачі зволоженого повітря). Проведено синтез контурів автоматичного регулювання, виконано дослідження синтезованої системи на стійкість за критерієм Гурвіца, розраховано показники якості перехідних процесів САР (час регулювання, перерегулювання, статична похибка).

У **четвертому розділі** виконано проектування дворівневої архітектури керування. *Нижній рівень (Direct Control)* реалізовано на базі мікроконтролера загального призначення (*Arduino Uno*) та промислового контролера, що здійснюють безпосереднє опитування датчиків за інтерфейсами та формування ШІМ-сигналів керування силовими ключами. *Верхній рівень (SCADA/HMI)* спроектовано в середовищі графічного програмування *LabVIEW*, де реалізовано віртуальний пульт оператора з візуалізацією трендів, архівацією аварійних подій та можливістю дистанційної корекції уставок.

У **п'ятому розділі** розроблено детальні схеми з'єднань, принципіальні електричні схеми силових ланцюгів живлення нагрівачів та ланцюгів спряження слабострумних контролерів з релейними елементами.

Ключові слова: агроінженерія, термостатування, комп'ютерно-інтегроване керування, SCADA-інтерфейс, контролери ОВЕН, Python-скрипти, *LabVIEW*.

ЗМІСТ

Вступ	9
1. Технологічна характеристика об'єкта управління	11
1.1. Актуальність задачі лазерного оптичного опромінення насіння	11
1.2. Інформаційний аналіз об'єкта управління	13
1.3. Принцип роботи термостату для визрівання насіння.	16
1.4. Технологічні параметри процесу визрівання насіння в термостаті.	17
2. Математичне моделювання процесу	21
2.1. Планування експерименту щодо лазерного опроміненні і дозрівання насіння у термостаті	21
2.2. Обробка експериментальних даних і побудова регресійної моделі	23
2.3. Дослідження динаміки об'єкта управління	28
3. Реалізація алгоритму керування об'єктом	31
3.1. Розробка функціональної схеми системи автоматизації	31
3..2. Термостат ТС-20 і його комплектуючі	32
3.3. Вибір датчика температури і вологості	34
3.4. Вибір виконавчого механізму САК та визначення його передатної функції	37
3.5. Розробка системи автоматичного керування термостатом	38
3.6. Дослідження системи автоматичного керування на стійкість та визначення якості регулювання	43
3.7. Перехідний процес САК та визначення показників якості	45
4. Розробка схем автоматизації	
4.1. Розробка принципової електричної схеми керування	48
4.2. Обґрунтування та вибір пуско – захисної апаратури	48
4.3. Вибір щита керування	49
4.4. Розробка схеми електричних підключень	50
5. Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи управління термостатом	52

5.1. Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи управління	52
5.2. Розробка алгоритму і програмного забезпечення	56
5.3. Проектування мобільного додатку	61
Висновки	62
Список використаних джерел	63
Додатки	66

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 (KISY). Завдяки поєднанню сучасних інформаційних технологій, датчиків, виконавчих механізмів та програмного забезпечення, KISY 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 *Buxus 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 опроміненні 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.



Рис. 1.1. Процес лазерного опромінення насіння на базі приладу Lika-Led

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. 1.1 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.



Рис. 1.2. Дослідні зразки пророщеного насіння огірка: (1-5) насіння, оброблене лазерним опроміненням з різними параметрами, і (6) 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.

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

1.3.2. 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.

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

1.3.4. 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.

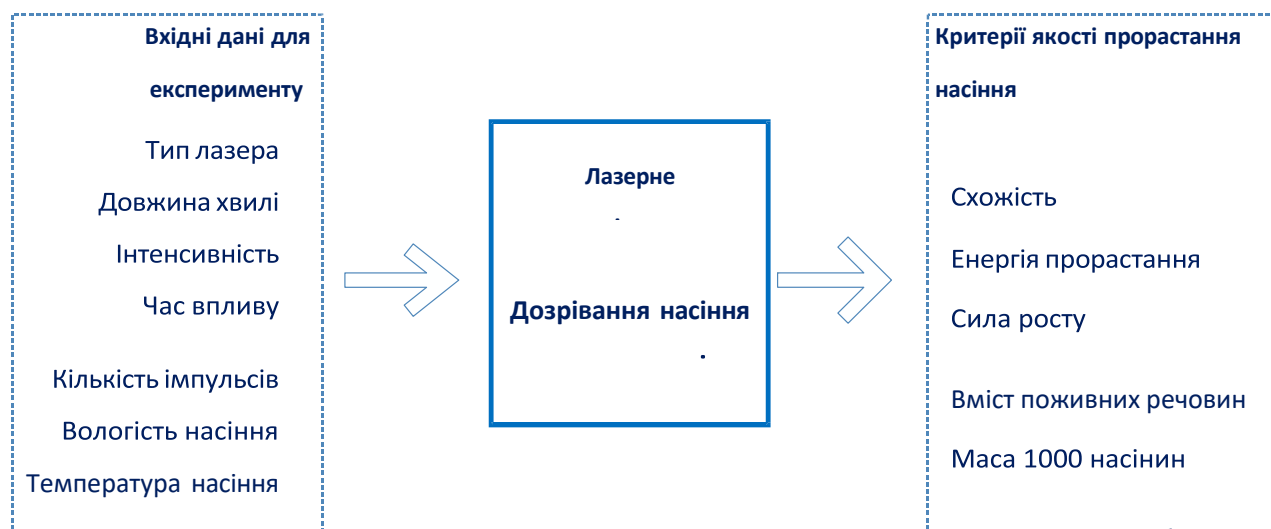


Рис. 1.3. Параметрична модель експерименту

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.

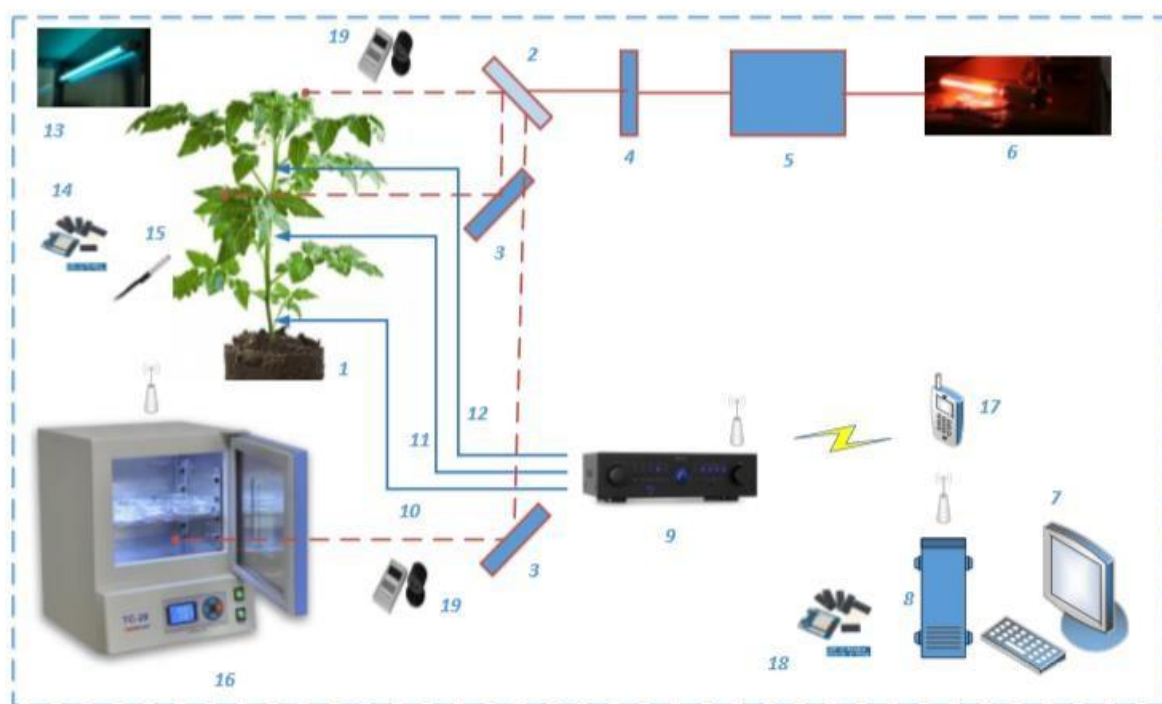


Рис. 1.4. Схема експериментальної установки для випромінювання рослин

1 - рослина; 2 - напівпрозора пластина; 3 - дзеркало; 4 - апертура; 5 - поляризаційний фільтр; 6 - джерело локального випромінювання (He-Ne лазер); 7 - клітка Фарадея; 8 - записуючий пристрій; 9 - багатоканальний підсилювач; 10 -

опорний електрод; 11, 12 - вимірювальні електроди; 13 - джерело нелокального випромінювання (флуоресцентна лампа Radium); 14 - плата бездротового передавача; 15 - датчик температури; 16 - термостат для пророщування насіння; 17 - смартфон; 18 - плата бездротового приймача; 19 – вимірювач потужності лазера.

РОЗДІЛ 2

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ

2.1. Планування експерименту щодо лазерного опромінення 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 TM1637. Написано код програми на мові Python, який виконує заміри температури та вологості в тепловому агрегаті.

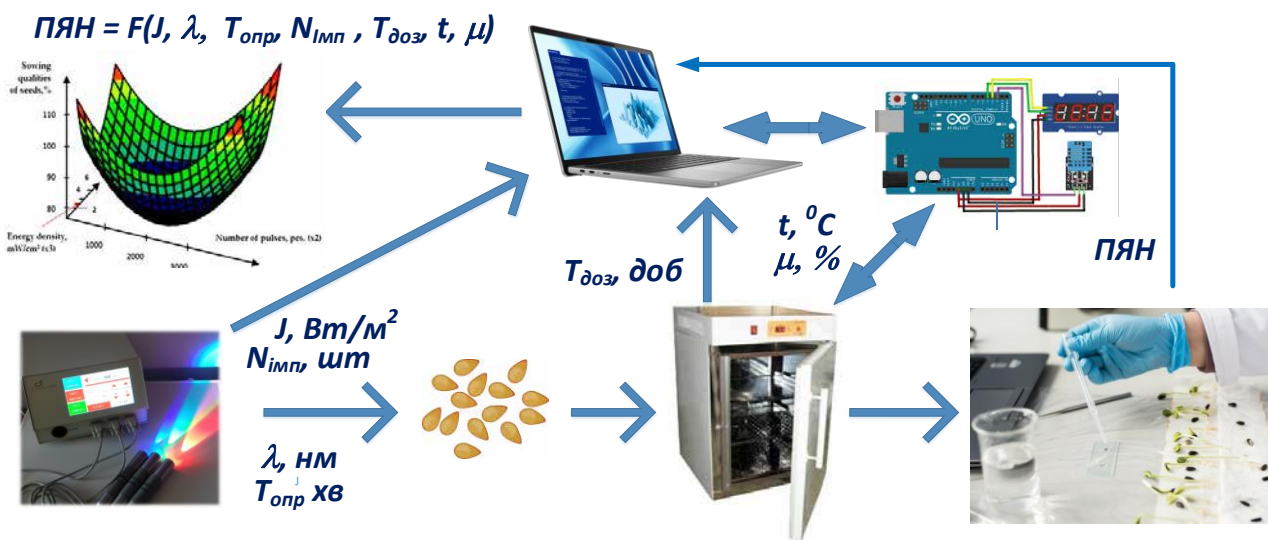


Рис. 2.1. Апаратне забезпечення експериментального дослідження

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 °С. Дослідження 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. 2.1. 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 МИЗ-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 2.1. 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. 2.2). Коефіцієнти поліноміальної регресії визначаються з використанням критерію Стюдента (рис. 2.3).

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

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

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

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

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

Рис. 2.2. Матриця плану експерименту

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

Рис. 2.3. Коефіцієнти поліноміальної регресії

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 рис. 2.4 .

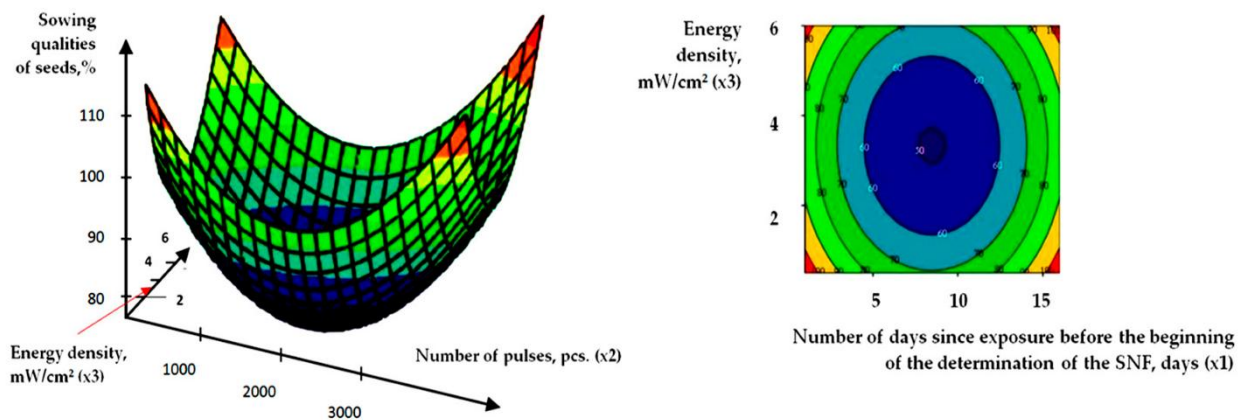


Рис. 2.4. Поверхня та лінії рівня функції відгуку ($x_1 = 0$).

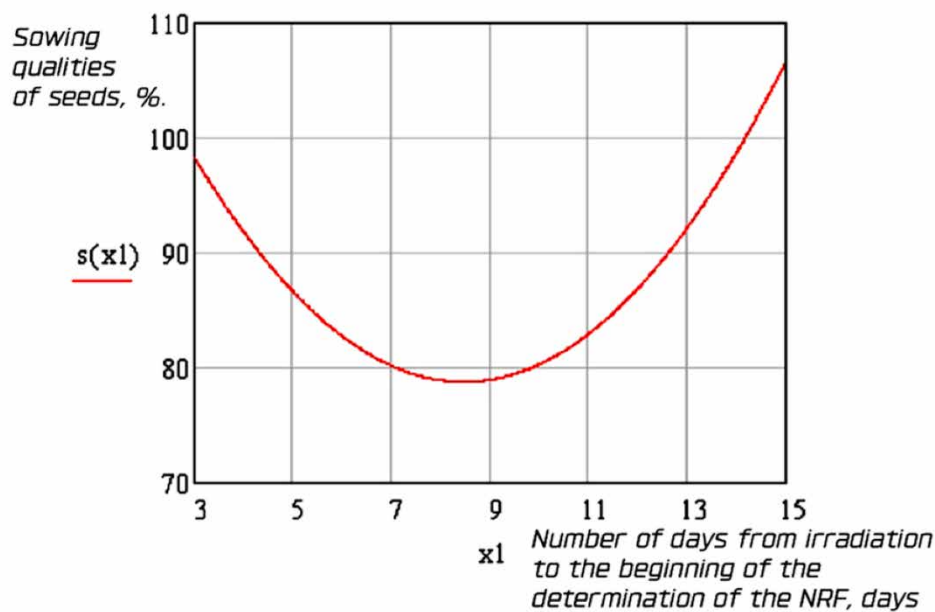


Рис. 2.5. Графік залежності x_1 . Залежність ПЯН, %, від доби від експозиції до початку визначення ПЯН.

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 $F_{\text{критий}}$ 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.

В табл. 2.2 і 2.3 представлені результати проростання насіння огірків для кожної з 6-ти груп експериментів.

Таблиця 2.2. Результати проростання насіння в результаті експериментів

Група	Промінь / Потужність	Вижило (з 5 пагонів)	Схожість (Виживання, %)	Довжина Коріння (см)	Середня Висота (см)	ВСЬОГО Потенційних Плодових Елементів*
1	Червоний (10 мВт)	4	80%	8	47.5	39
2	Червоний (90 мВт)	4	80%	6	27.5	36
3	ІЧ (10 мВт)	4	80%	8	39	51 (Лідер)
4	ІЧ (90 мВт)	4	80%	5	30	22 (Аутсайдер)
5	Зелений (50 мВт)	5	100%	6	55	48
6	Контроль	5	100%	8	57.5 (Лідер)	33



Рис. 2.6. Формування зв'язів огірків у фітотроні (а) і моніторинг процесу

Таблиця 2.3. Результати моніторингу зростання рослин

Група	Висота (min-max)	Середня Висота	Вижило	Особливості Цвітіння та Зав'язі (Жовті квіти + Бутони + Огірки)
1	10–85 см	47.5 см	4/5	16 великих, 3 малих жовтих квіток; 16 зелених бутонів; 4 маленькі огірки.
2	10–45 см	27.5 см	4/5	4 великих, 6 малих жовтих квіток; 22 зелених бутони; 4 маленькі огірки.
3	18–60 см	39 см	4/5	2 великих, 0 малих жовтих квіток; 42 зелених бутони; 7 маленьких огірків.
4	15–45 см	30 см	4/5	0 великих, 0 малих жовтих квіток; 22 зелених бутони; 0 маленьких огірків.
5	20–90 см	55 см	5/5	5 великих, 3 малих жовтих квіток; 36 зелених бутонів; 4 маленькі огірки.
6	20–95 см	57.5 см	5/5	4 великих, 18 малих жовтих квіток; 7 зелених бутонів; 4 маленькі огірки.

З таблиць 2.2 і 2.3 видно, що групи 5 та 6 демонструють найкращий загальний ріст, тоді як Група 3, не зважаючи на помірну висоту, є лідером за кількістю потенційних плодів (сумарно 51 елемент). Група 4 є аутсайдером за усіма показниками.

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.

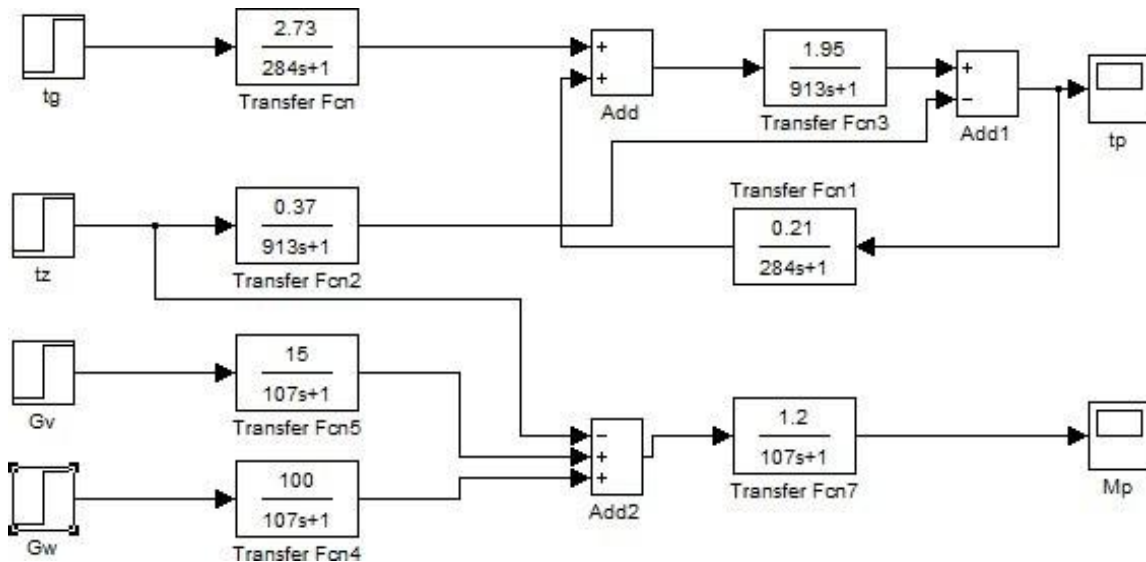


Рис. 2.3 . Структурна схема математичної моделі об'єкта

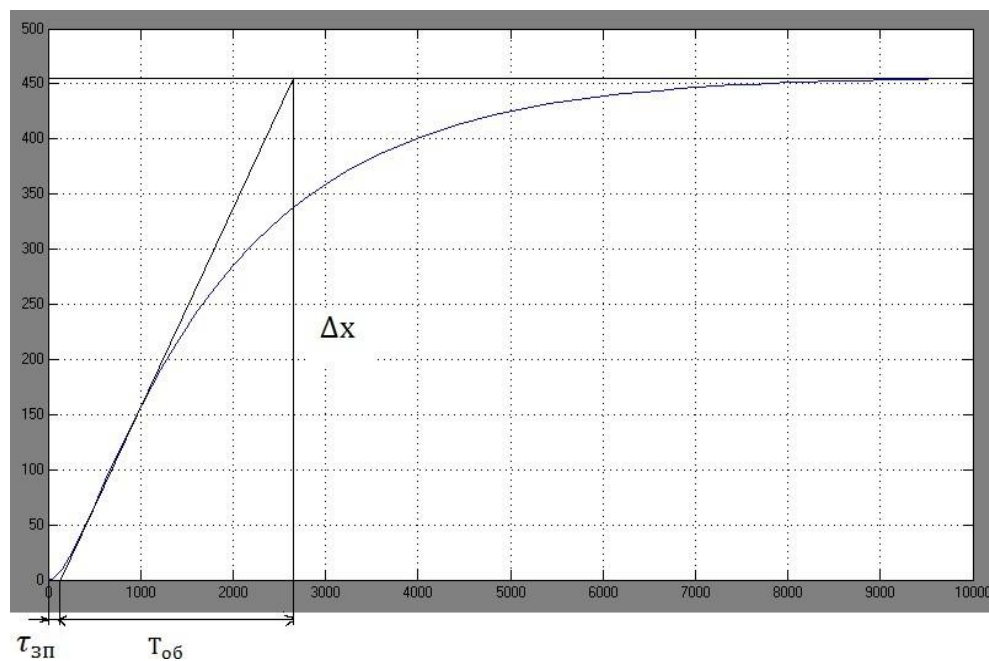


Рис. 2.4 – Крива розгону об'єкта по каналу регулювання температури в термостаті

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

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

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

Так як вхідний стрибкоподібний сигнал $\Delta U = 35 \frac{\text{м}^2}{\text{хб}}$ визначимо динамічні

властивості об'єкта по каналу регулювання вологості в теплиці:

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

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

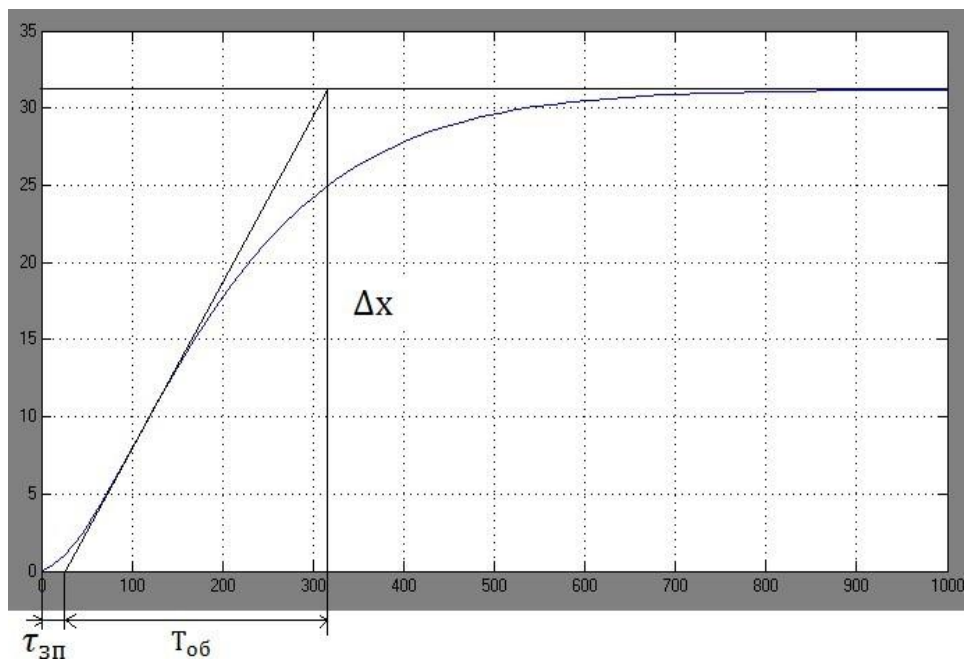


Рис. 2.5 – Крива розгону об'єкта по каналу регулювання вологості в термостаті

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".

Функціональна схема автоматизації.

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 Н показують поточний стан системи.

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

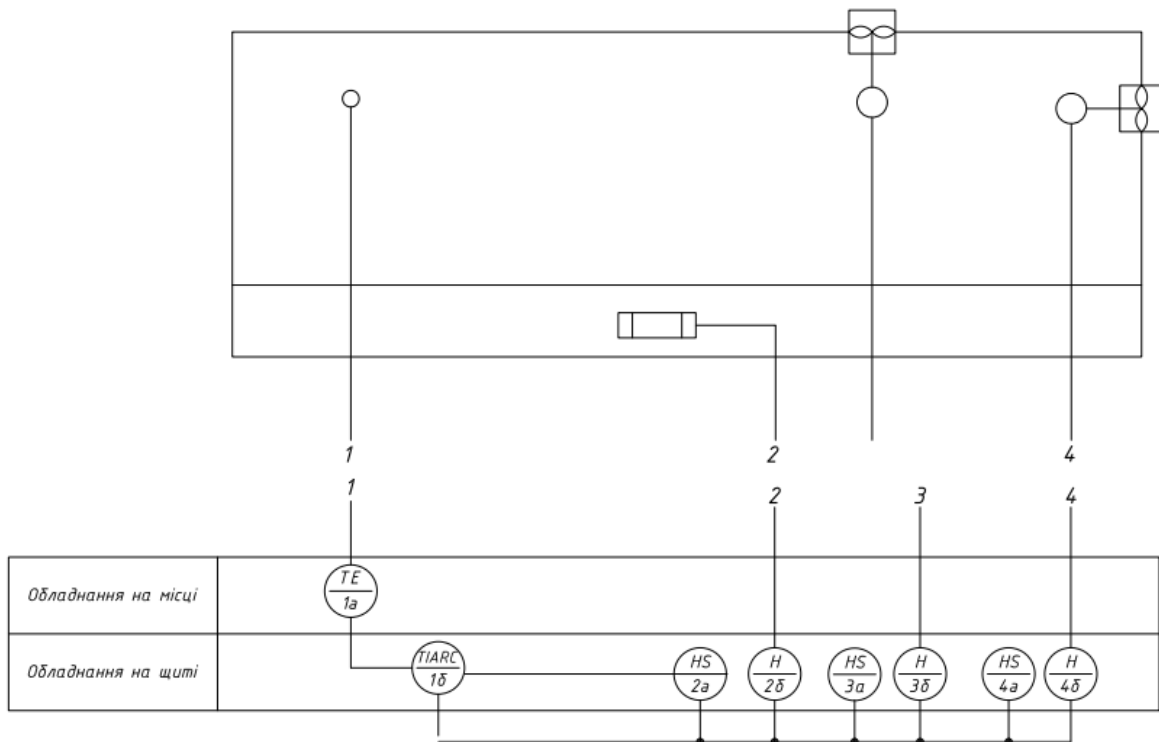


Рис. 3.1. Функціональна схема автоматизації термостатом

3..2. Термостат ТС-20 і його вузли

Пророщування здійснювалося шляхом приміщення зволоженого паперу з насінням на піддони в бокс, що термостатується, зображення якого представлене 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. Технічні характеристики термостату приведені в табл. 3.1.



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

3.3. Вибір датчика

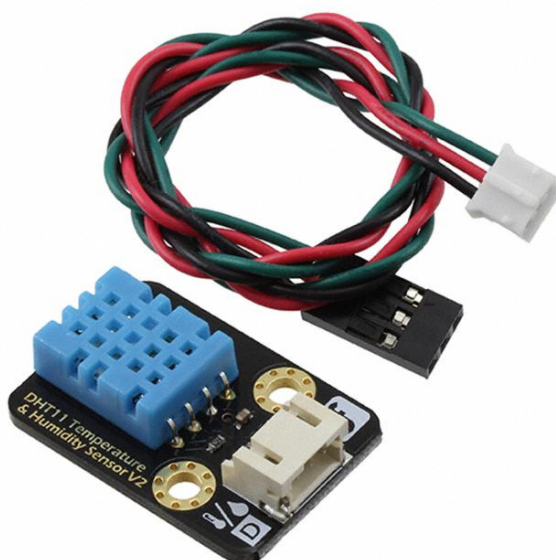


Рис. 3.4. Зовнішній вигляд датчика температури і вологості напруги DHT

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 $W_{CE}(s) = \frac{k_{CE}}{T_{CE} \cdot s + 1}$.

Таблиця 3.1. Технічні характеристики термостата ТС-20

Характеристика	Значення
Розміри робочої камери(ВхШхГ), мм:	257х368х255
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° докiлля +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 елементу (ТЕН), кВт	0,3
Термостат працює від однофазної мережі змінного струму:	220В ±10% і 50 Гц
Габаритні розміри термостата(ВхШхГ), мм	420х600х414
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.

Таблиця 3.2. Технічні характеристики DHT 11:

Модель	DHT11
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

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

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

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

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

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 $0,5^{\circ}C$, а

найбільша точність вимірювання знаходиться саме в діапазоні $+0...+560^{\circ}\text{C}$ при напрузі живлення датчика напругою 5,5 В.

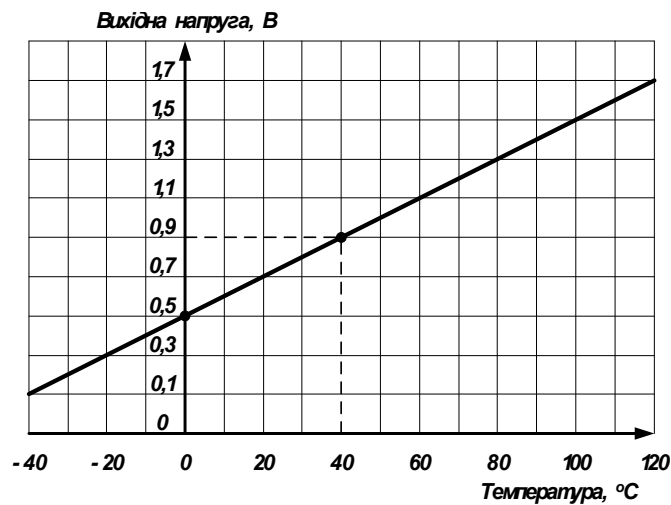


Рис. 3.5. Статична характеристика датчика температури DHT 11

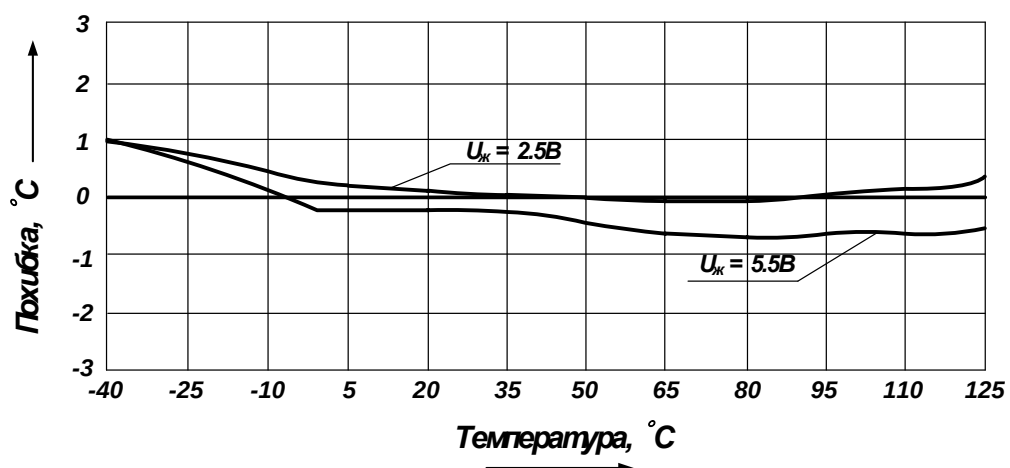


Рис. 3.6. Залежність точності вимірювання датчика температури DHT 11 від напруги живлення

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.



Рис. 3.7. Вентилятор EE40201S1

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.

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	Hi
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



Рис. 3.8. Безколекторний двигун постійного струму

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 розімкнутої 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 розімкнутої 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 (рис. 3.7).

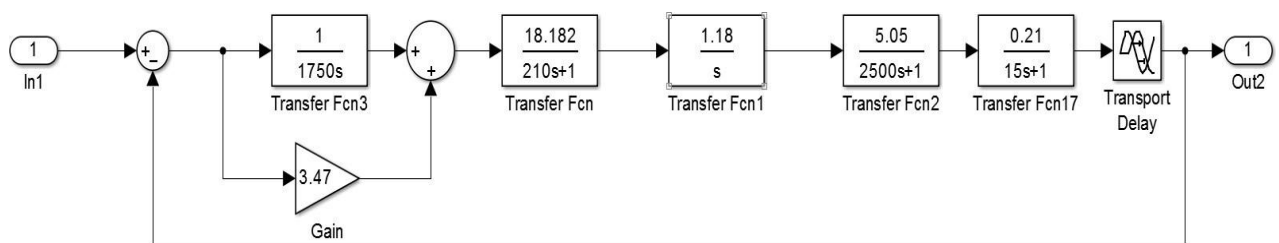


Рис. 3.7 – Структурна схема для побудови годографа Найквіста по каналу регулювання температури

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:

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

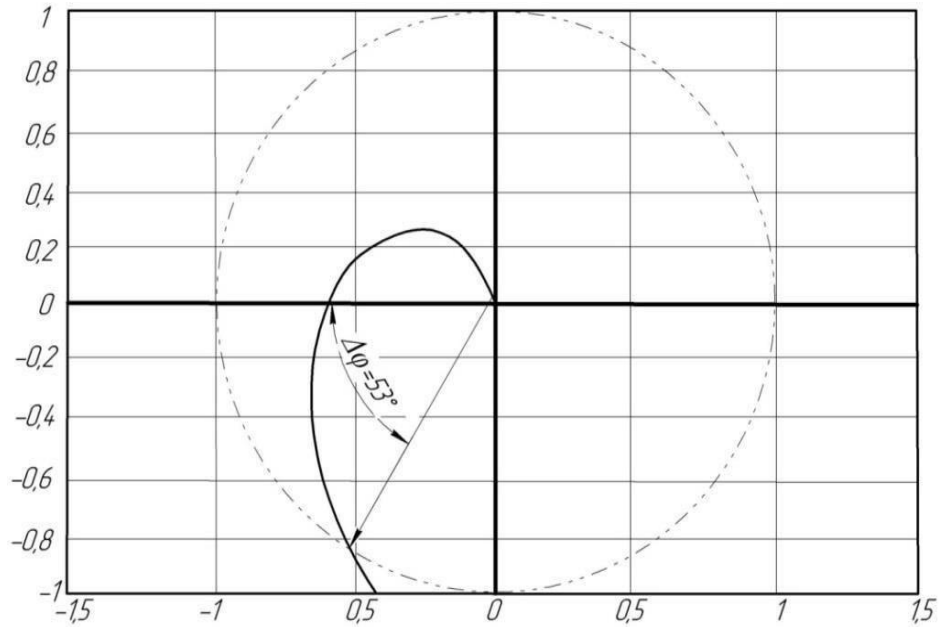


Рис. 3.8 – Годограф Найквіста по каналу регулювання температури

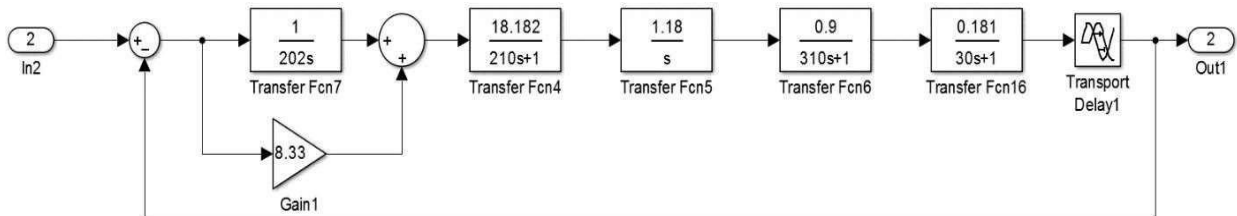


Рис. 3.9 – Структурна схема для побудови годографа Найквіста по каналу регулювання вологості

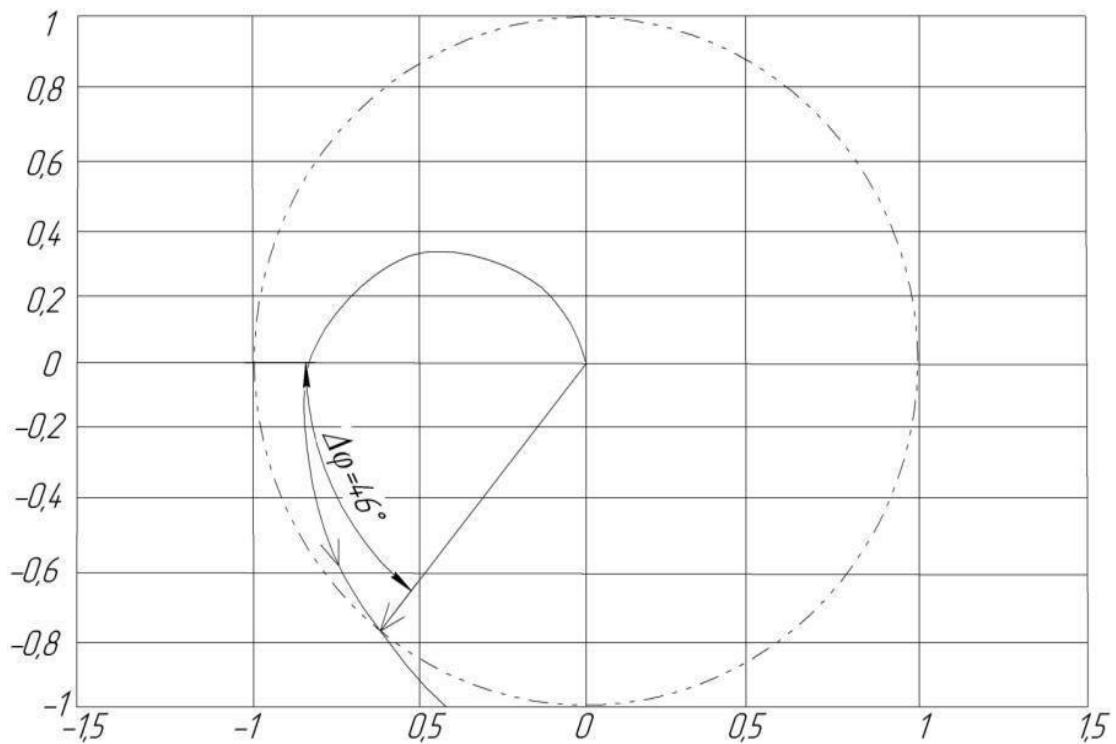


Рис. 3.10 – Годограф Найквіста по каналу регулювання вологості

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 регістрів 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.

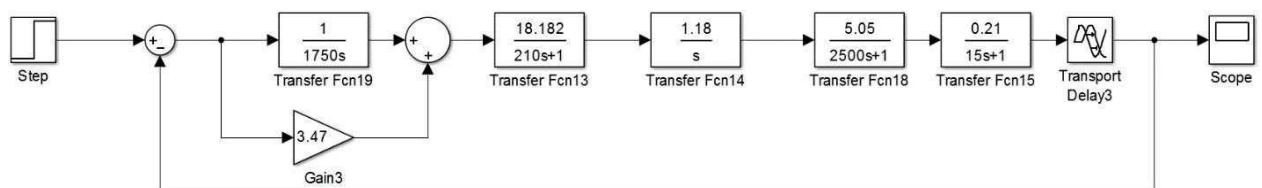


Рис. 3.11 – Перехідний процес керування температури в термостаті

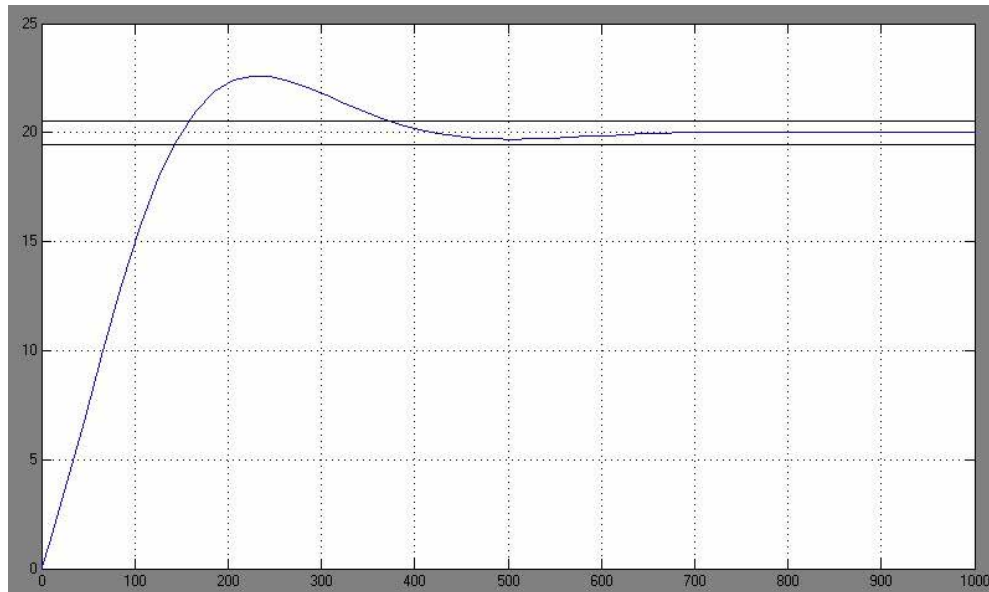


Рис. 3.12 – Перехідний процес керування температури в термостаті

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:

$$\sigma = \frac{y_{\max} - y(\infty)}{y(\infty)} \cdot 100\% = \frac{22 - 20}{20} \cdot 100\% = 10\%, \text{ що задовольняє технологічним вимогам.}$$

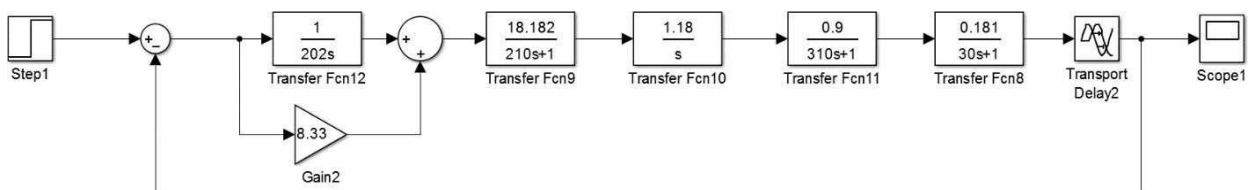


Рис. 3.13– Перехідний процес керування вологості в термостаті

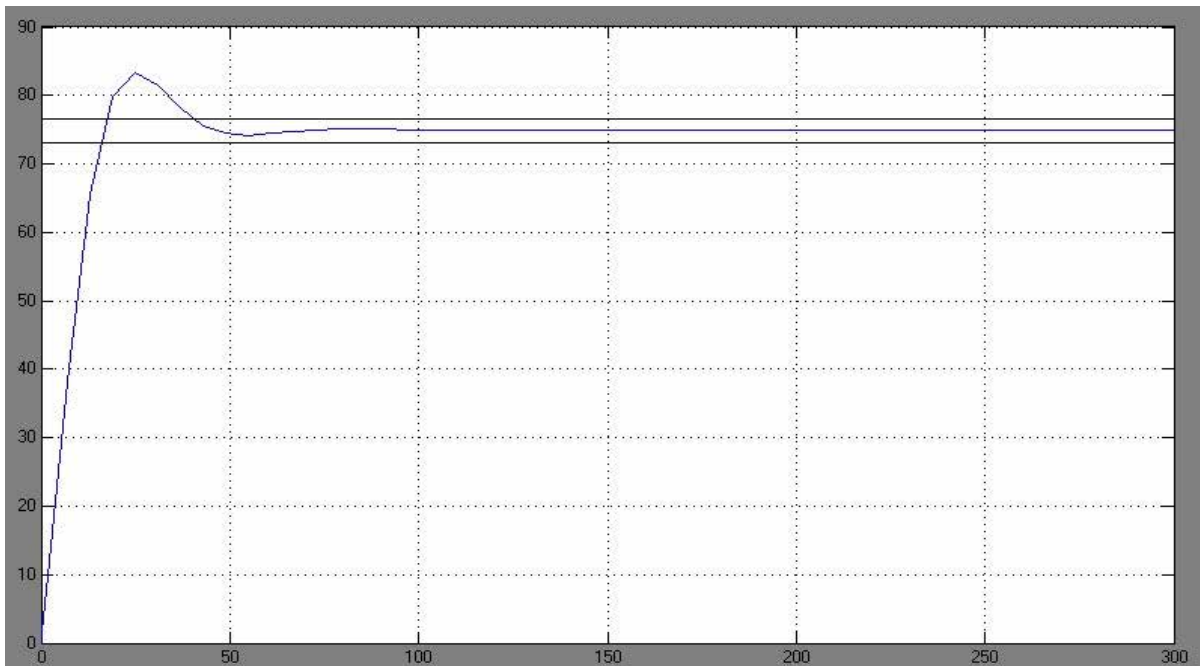


Рис. 3.14 – Перехідний процес керування вологості в термостаті

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.

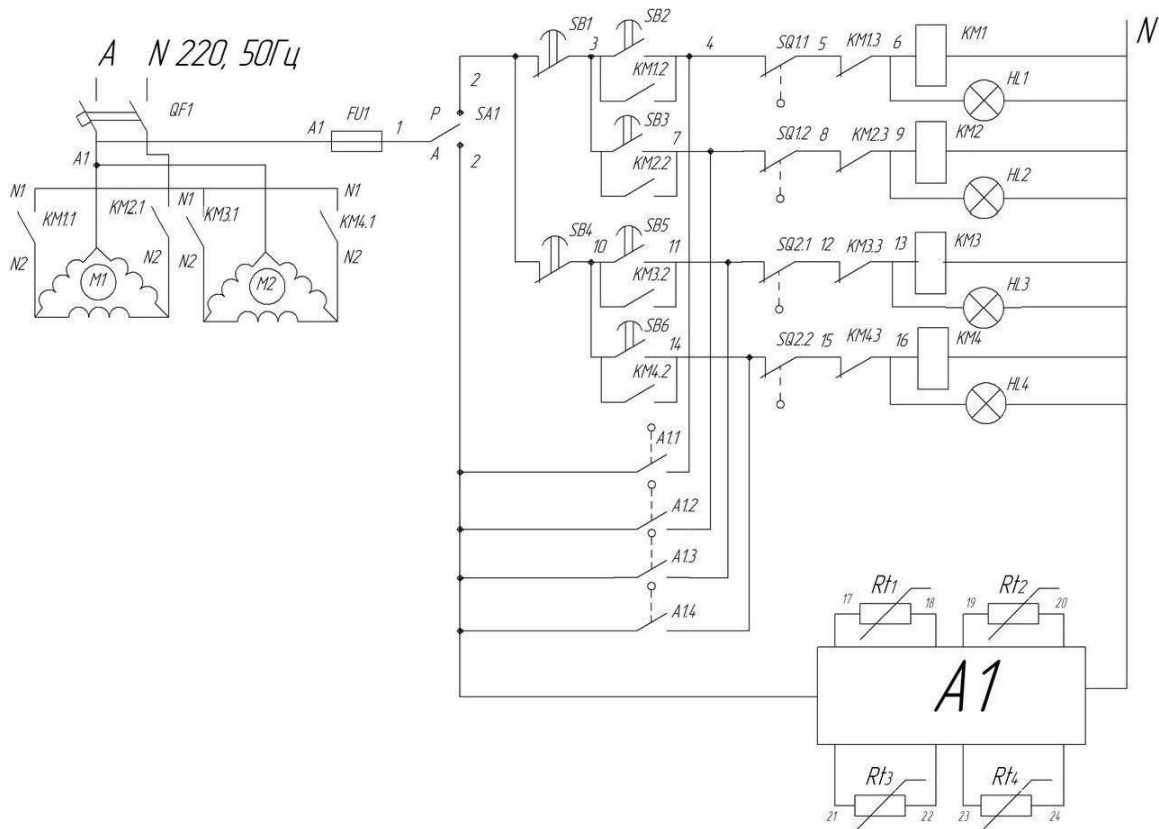


Рис. 4.1 –Принципова електрична схема

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 кожну 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 KM1.3...KM4.3. 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 A1, що ґрунтується на показах датчиків температури RT1...RT4, та вмикає своїми контактами A1.1...A1.4 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.

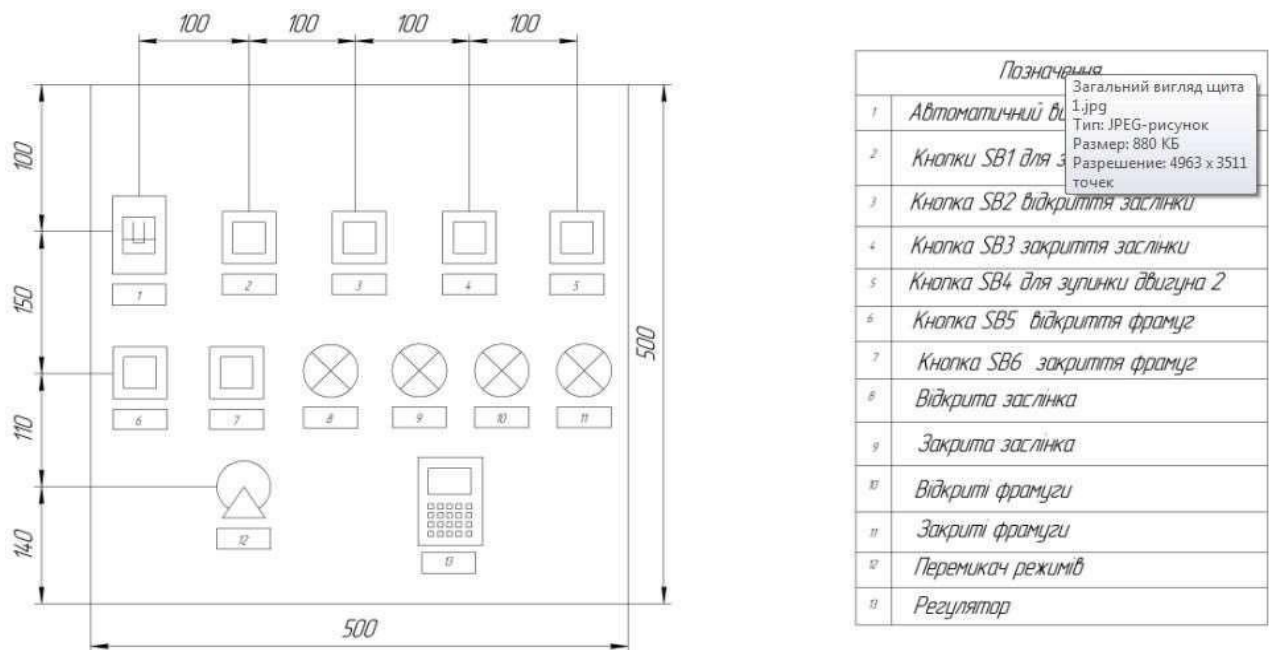


Рис. 4.2 – Загальний вигляд щита керування мікрокліматом в термостаті

4.4. Розробка схеми електричних підключень

Схема підключень – показує зовнішнє підключення апаратів, установок, щитів, пультів тощо.

На схемі електричній підключень (рис 2.31) показані зв'язки щита керування САК із зовнішніми пристроями такими як: щит живлення, електродвигуни приводу заслінки і фрамуг, кінцеві вимикачі, датчики температури. Зображено до яких контактів клемної збірки підключень чи інший пристрій, позначено марки кабелів, що з'єднують пристрої.

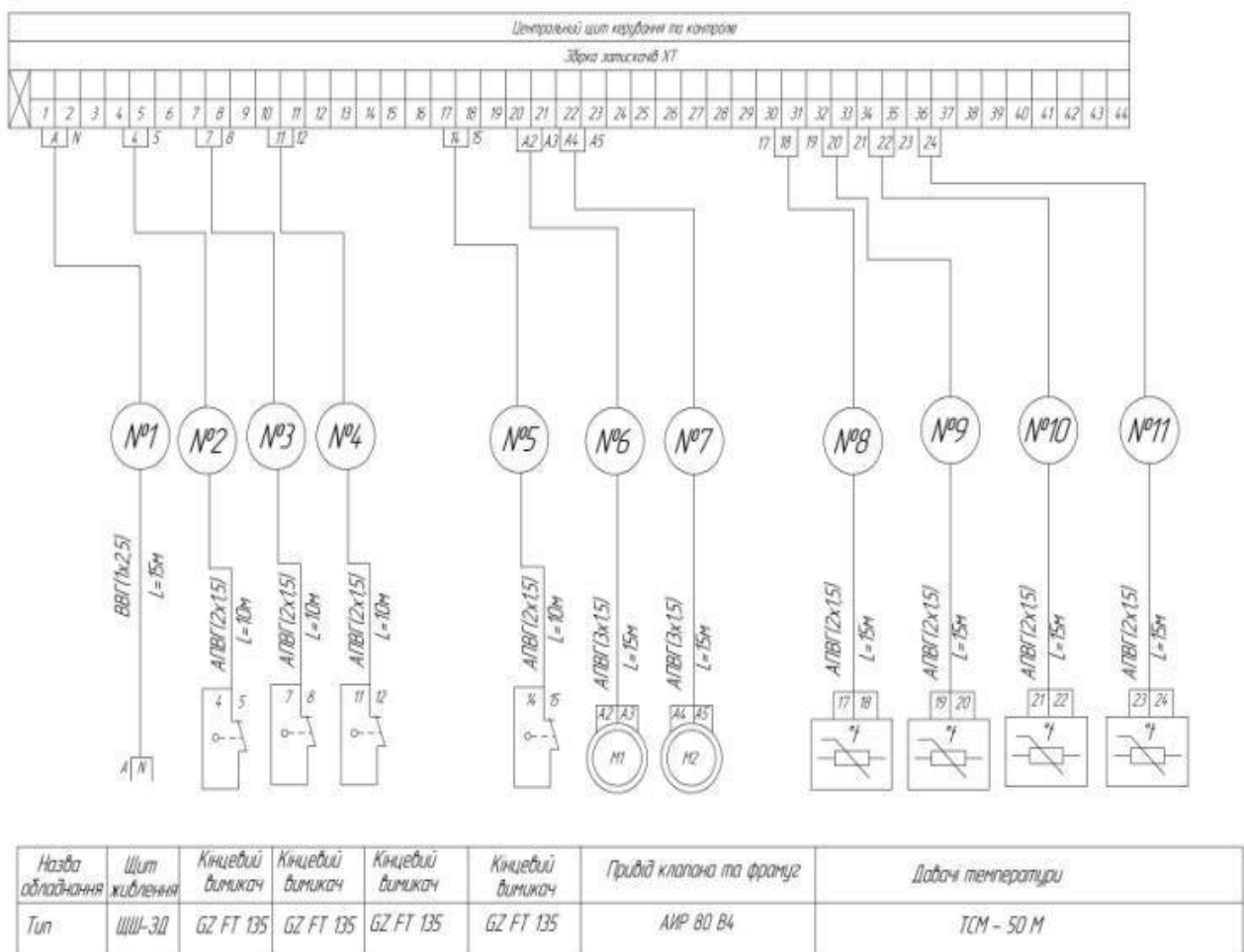


Рис. 4.3 – Загальний вигляд електричних підключень системи керування мікрокліматом в термостаті

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".

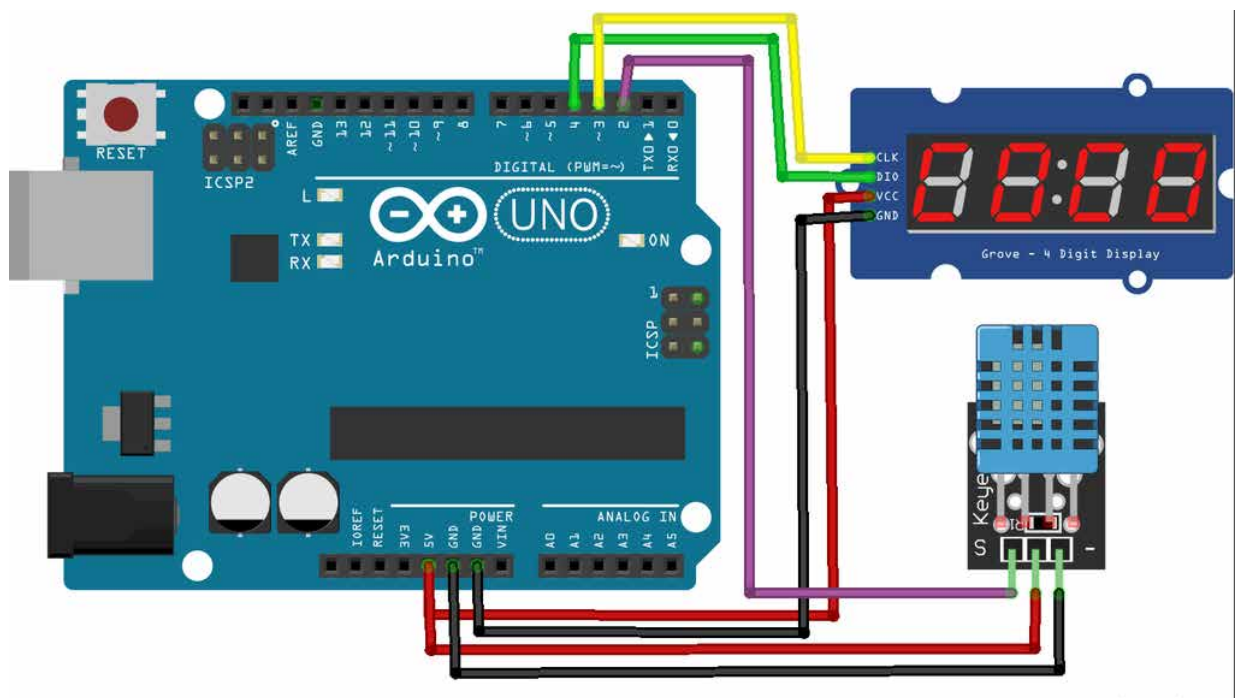


Рис. 5.1. Підключення датчика і індикатора до інтегрованої плати Arduino Uno.

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.

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.

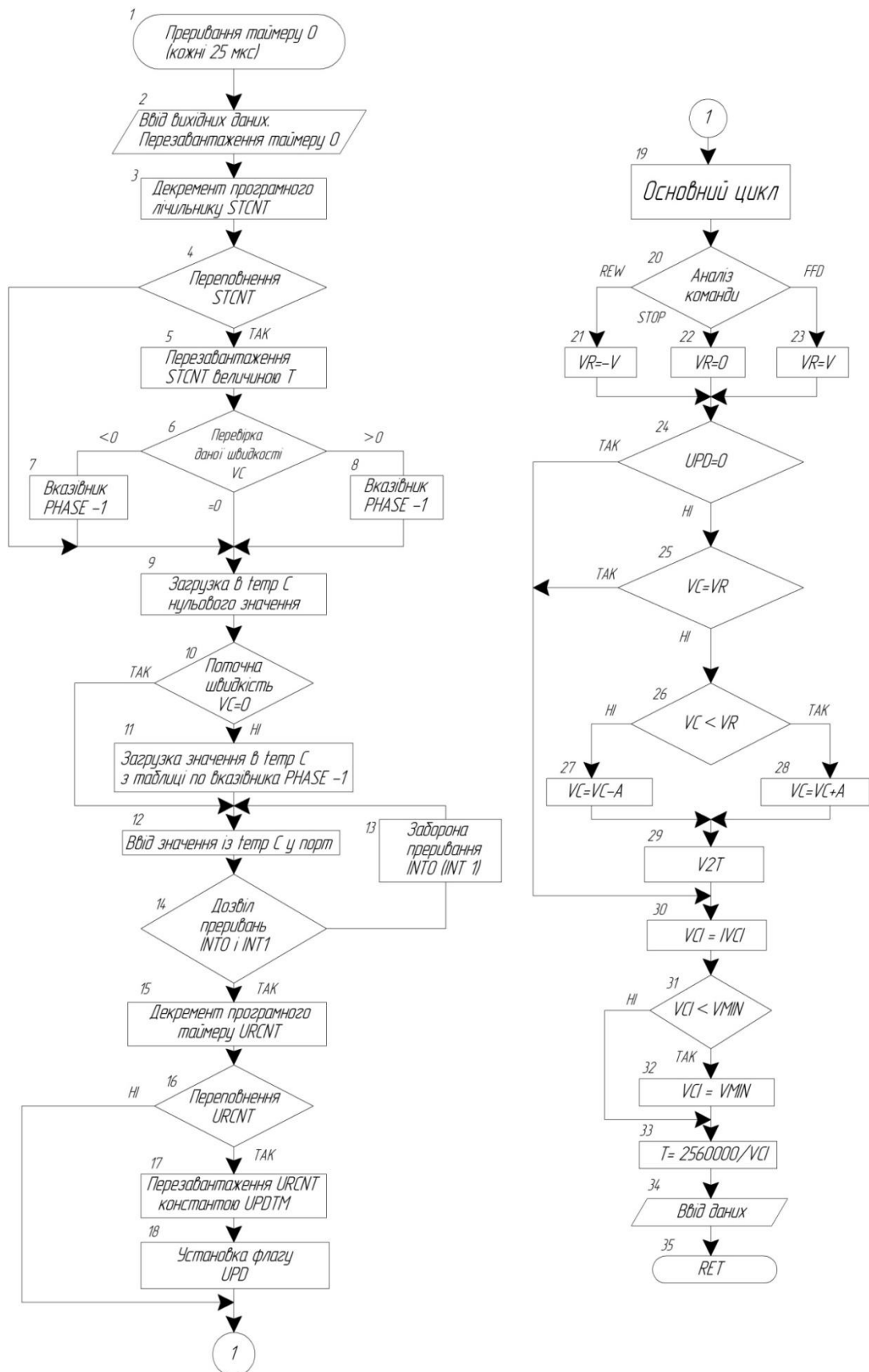
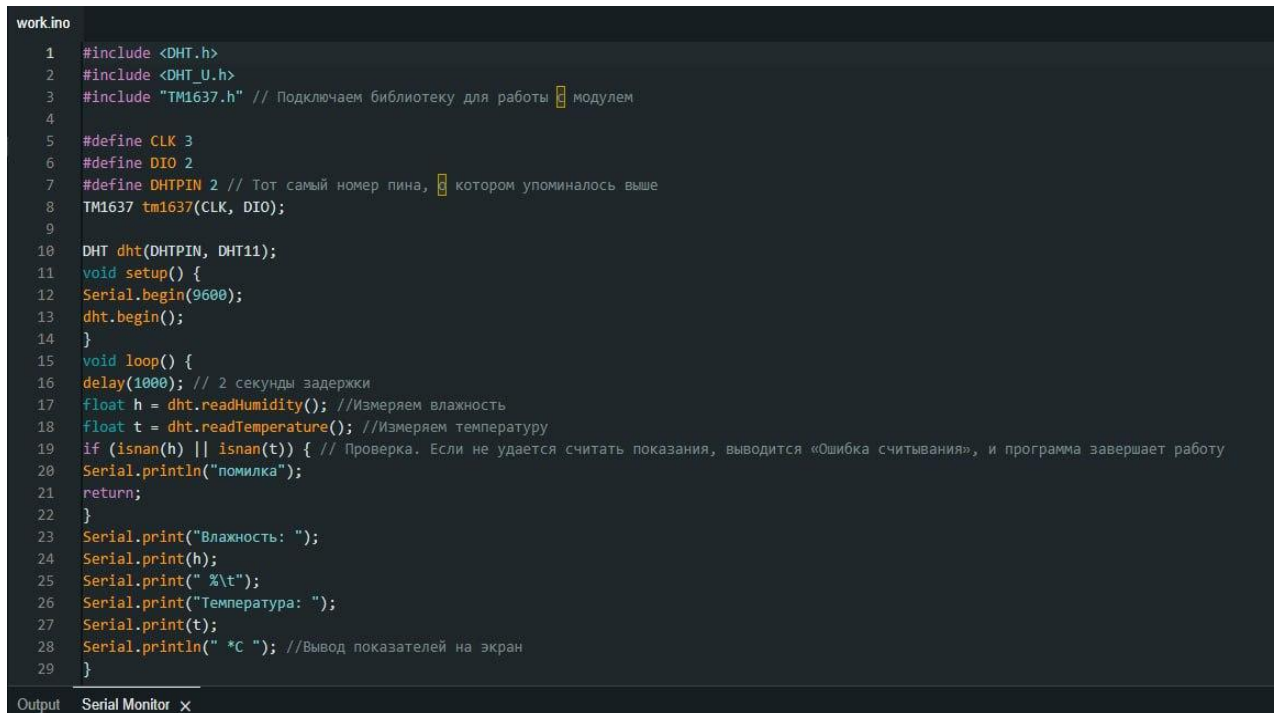


Рис. 5.2. Блок - схема алгоритму управління термостатом.

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 довкілля.



```
work.ino
1 #include <DHT.h>
2 #include <DHT_U.h>
3 #include "TM1637.h" // Підключаєм бібліотеку для роботи з модулем
4
5 #define CLK 3
6 #define DIO 2
7 #define DHTPIN 2 // Тот самий номер пина, з яким у нас було підключено датчик
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); // 1 секунда 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(" %\n");
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.

5.3. 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.

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.

Опис алгоритму:

Після ініціалізації системи вводяться початкові значення. Потім вибір

режиму управління: автоматичний або ручний. При виборі автоматичного керування спочатку активується таймер роботи (t).

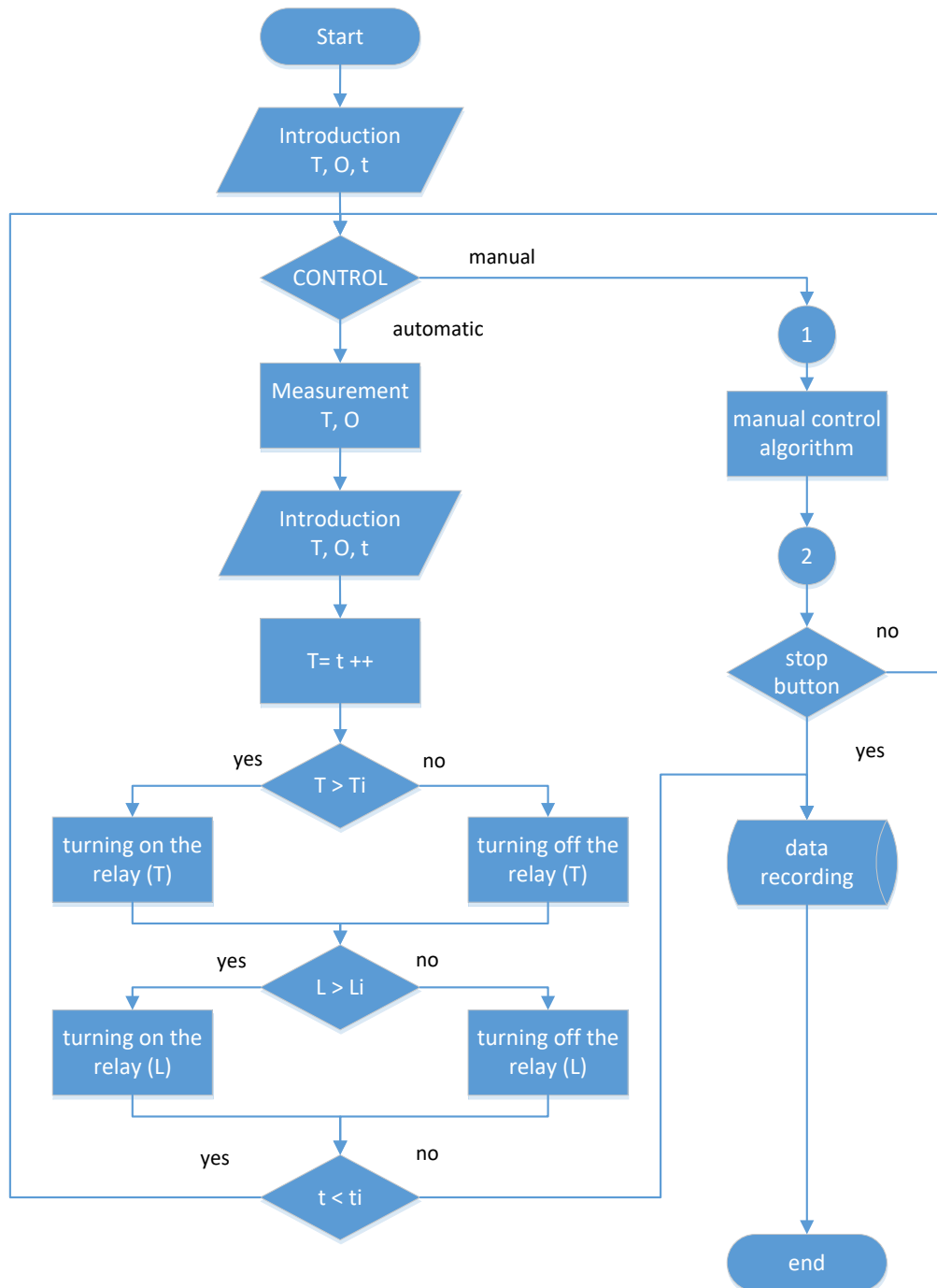


Рисунок 5.4. Алгоритм дистанційного вимірювання температури (T)

Далі система керування вимірює технологічні параметри, після чого виміряне значення порівнюється із заданими. Після кожного порівняння реле приводу вмикається або вимикається (реле T, реле L). В автоматичному режимі після кожної виконаної операції час системного таймера збільшується на одну

сходінку. Автоматичний режим виконується до досягнення заданого часу керування ($t > t_i$).

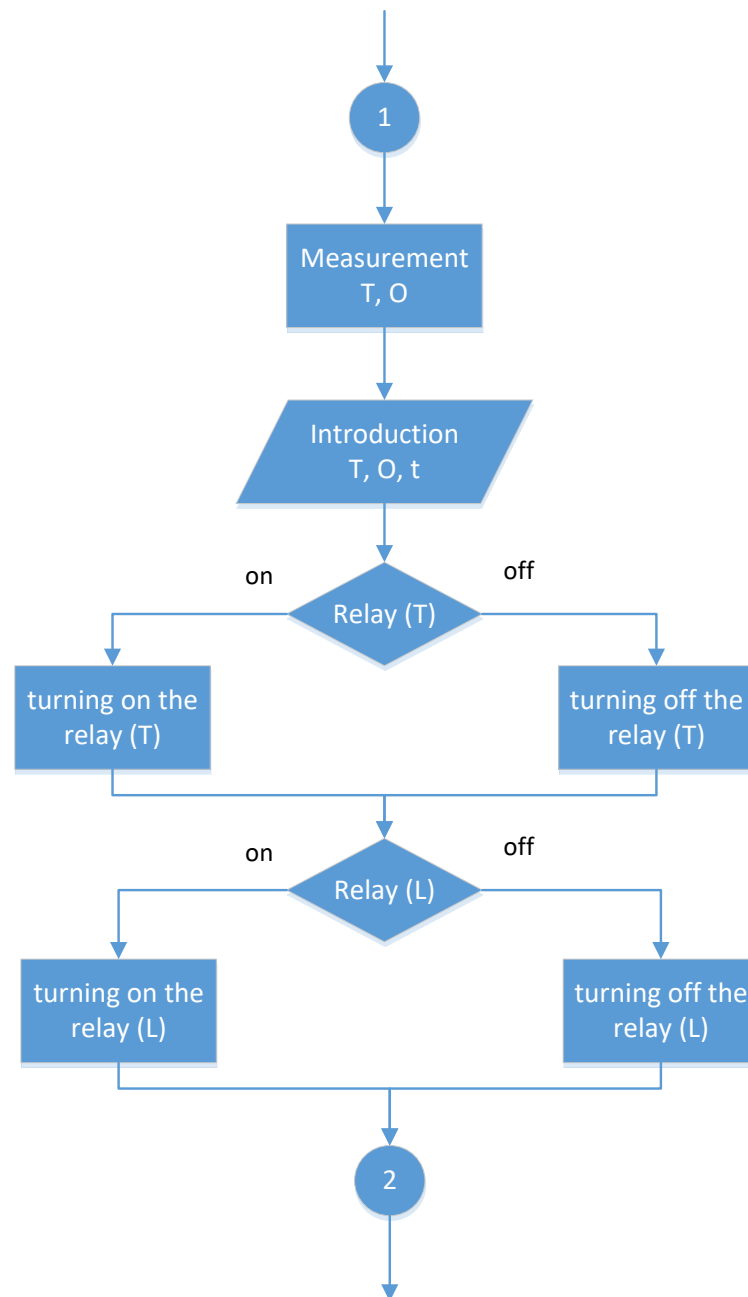


Рис. 5.5. Підпрограма формування керуючих впливів

У ручному режимі керування вимірюються технологічні параметри, а після натискання оператором кнопок управління вмикаються або вимикаються реле виконавчих пристроїв (реле Т, реле L). Вимірювання записуються в обох режимах. Графічне зображення інтерфейсу системи програми у вигляді інтерфейсу наведено на Рис. 5.6.

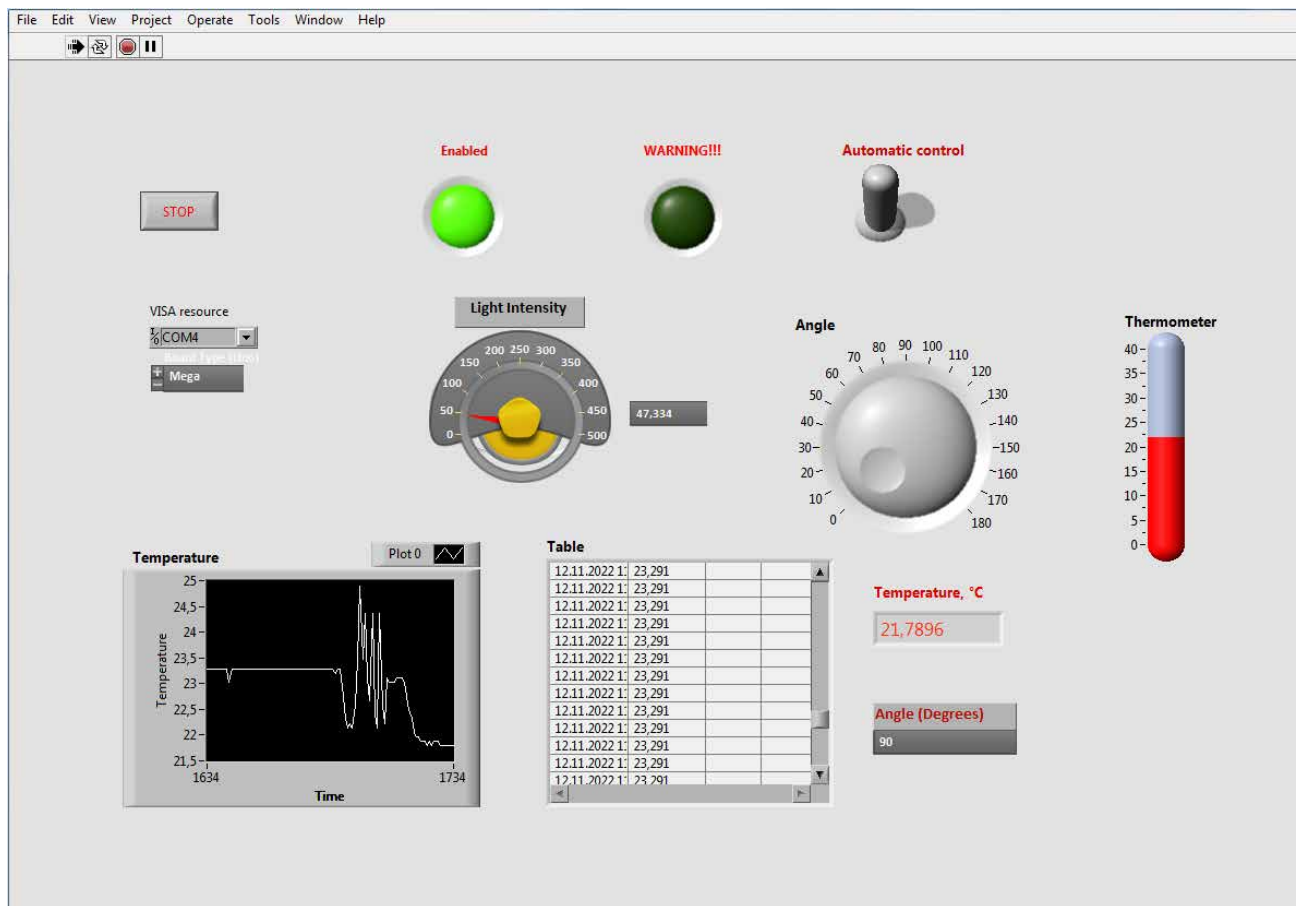


Рис. 5.6. Вікно оператора

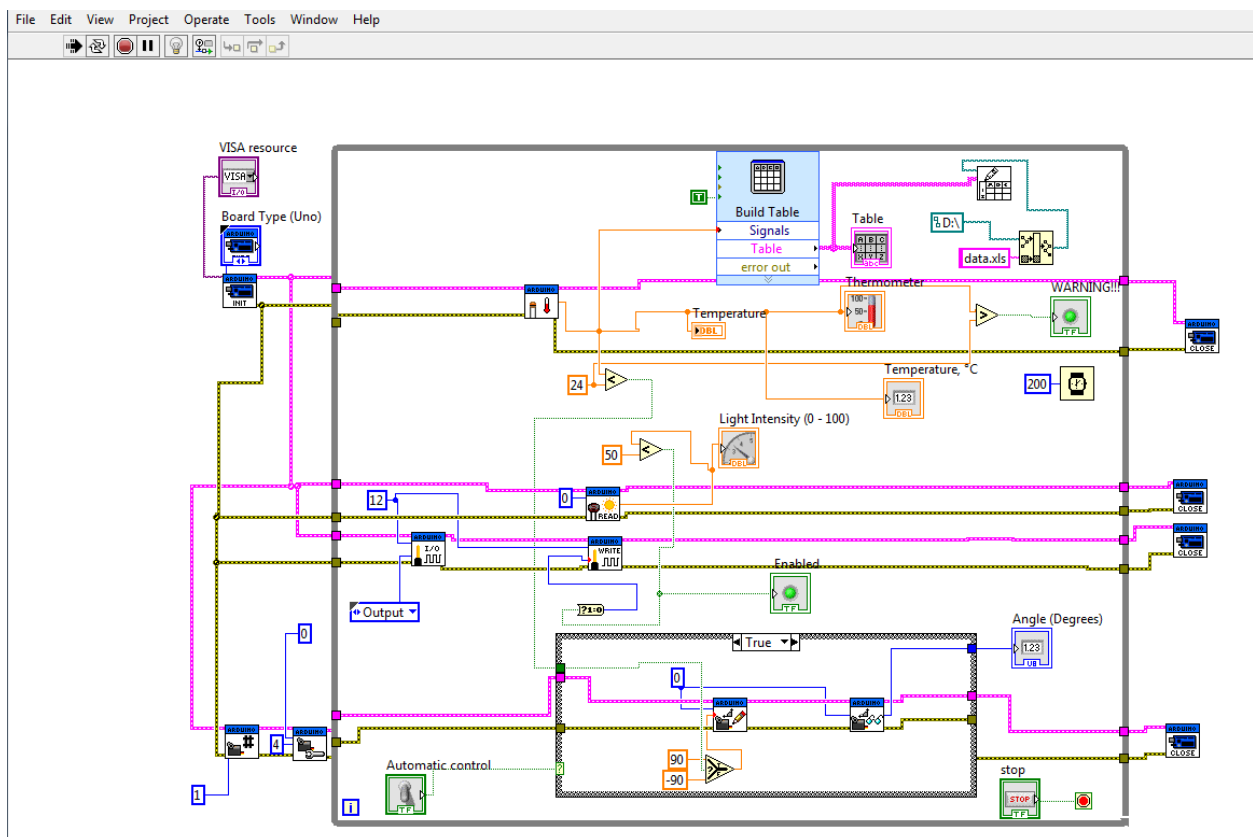


Рис. 5.7. Блок-діаграма системи управління в пакеті LabVIEW

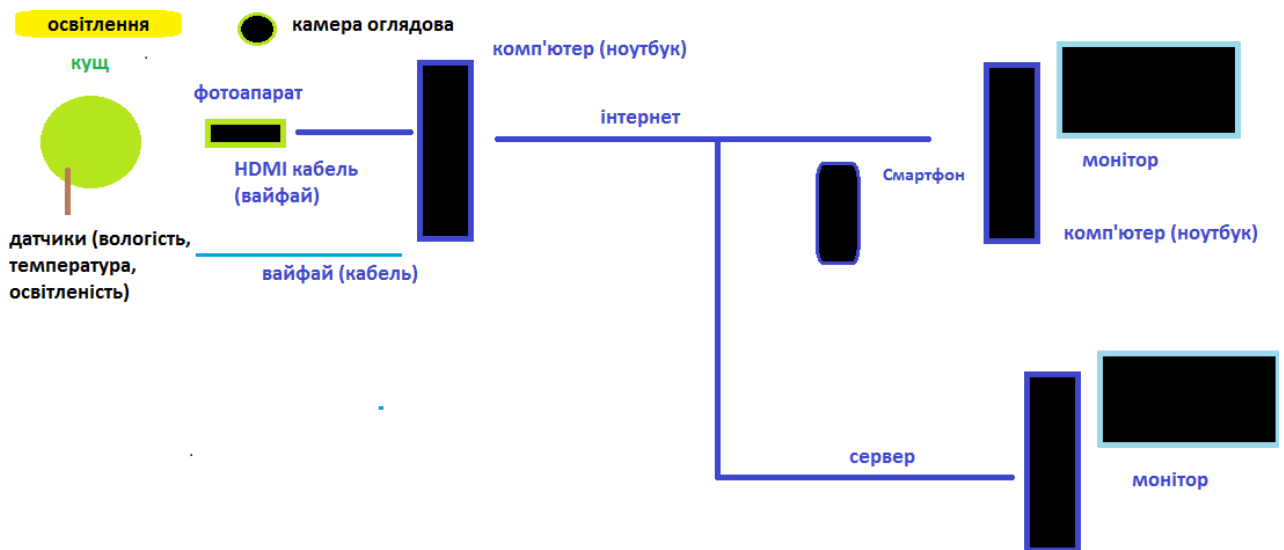


Рис. 5.8. Загальна структура апаратного забезпечення експериментального дослідження

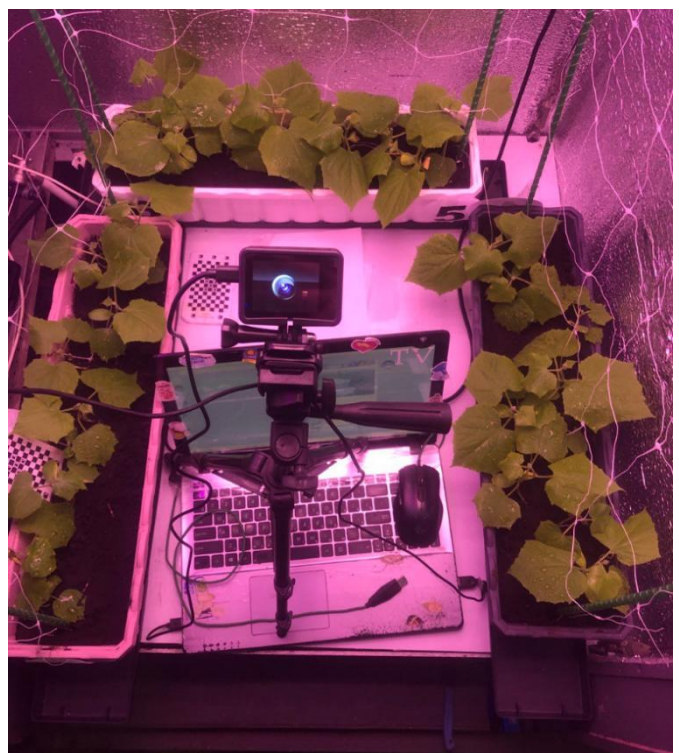


Рис. 5.9. Моніторинг процесу зростання огірків фітотроні

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. Загальна структура апаратного забезпечення експерименту показана на рис. 5.8.

5.4. Проектування мобільного додатку

Перспективою даного проєкту є створення мобільного додатка 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.

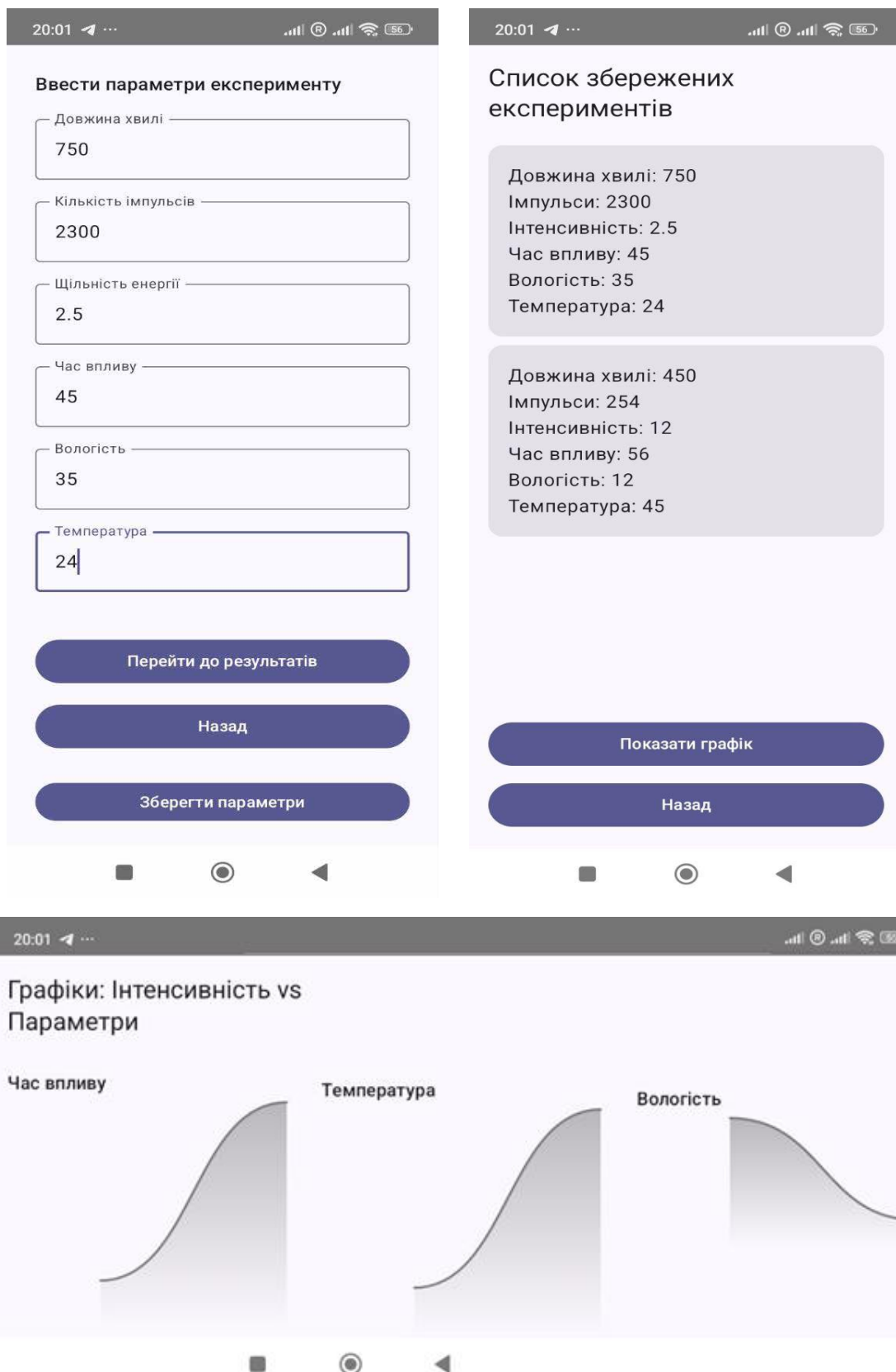


Рис. 5.7. Проект мобільного додатку для управління лазерною установкою і термостатом

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 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).
- [13] 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
- [14] Cherenkov A. Justification of the electromagnetic impulse method destruction of insect pests in gardens / A. Cherenkov; N. Kosulina; Ya. Yaroslavskij; N.

- Titova; A. Aizhanova; J. Tanas // Published in SPIE Proceedings Potonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments – 2018. – Vol. 10808. – pp. 157 – 166.
- [15] 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
- [16] Апарат світлодіодний Lika-Led. ПП Фотоніка-Плюс. <http://www.fotonikaplus.com.ua/produktsiya/istochniki-izlucheniya/apparat-svetodiodnyj-lika-led.html> (Доступ 30.04.2023).
- [17] 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.
- [18] Kiktev N, Lendiel T, Vasilenkov V, Kaprallyuk 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>
- [19] 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.
- [22] 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.