

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Навчально-науковий центр заочної форми навчання
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та
робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

розробка системи автоматизації технологічного процесу
сублімаційного друку
(тема)

Виконав:
здобувач 2 року навчання,
групи КІТІВЗм-23-1

Сергєєв В. А.

Спеціальності 174 Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Комп'ютерно-інтегровані
технологічні процеси і виробництва

Керівник

доц. Демська Н. П.

Допускається до захисту
Зав. кафедри КІТАР
(підпис)

Невлюдов І. Ш.
(прізвище, ініціали)

2025 р.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Навчально-науковий центр заочної форми навчання
Кафедра КІТАР
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
Тип програми Освітньо-професійна
Освітня програма Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАР _____
(підпис)

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Сергєєву Вячеславу Анатолійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи автоматизації технологічного процесу сублімаційного друку

Затверджена наказом по університету від 12.12.2024 р. № 208 Стз

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 26.01.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи 3.1 Для візуалізації даних з датчиків температури та вологості, інтегруємо в систему Arduino рідкокристалічний дисплей; 3.2 Для розширення можливостей підключення периферії використовуємо модуль розширення портів PCF8574, який працює за протоколом I2C, що дозволяє управляти 8 цифровими портами дисплея, використовуючи лише два піни Arduino.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____
4.1 Аналіз ТЗ; 4.2 Вимоги до систем контролю за температурою та вологістю; 4.3 Основні функції та модулі системи; 4.4 Визначення апаратних і програмних засобів; 4.5 Опис відпрацювання апаратних засобів; 4.6 Моделювання системи контролю вологості та температури сублімаційного друку на папері; 4.7 Ідентифікація математичних моделей основних параметрів температури та вологості; 4.8 Модель лінійної регресії температури та вологості у приміщенні

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій

Демонстраційний матеріал у вигляді презентації – формат PDF, 9с.

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз ТЗ. Вимоги до систем контролю за температурою та вологістю. Основні функції та модулі системи	01.09.24-25.09.24	виконано
2	Визначення апаратних і програмних засобів	26.09.24-25.10.24	виконано
3	Моделювання системи контролю вологості та температури сублімаційного друку на папері	26.10.24-25.11.24	виконано
4	Ідентифікація математичних моделей основних параметрів температури та вологості	26.11.24-25.12.24	виконано
5	Модель лінійної регресії температури та вологості у приміщенні	26.12.24-16.01.25	виконано
6	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом StrikePlagiarism	17.01.25	виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	18.01.25	виконано
8	Подання роботи на рецензію	19.01.25	виконано
9	Подання роботи на підпис зав. кафедри	20.01.25	виконано
11	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК	21.01.25	виконано

Дата видачі завдання 01.09.2024 р.

Здобувач _____
(підпис)

Керівник роботи _____ доц. Демська Н. П.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

Я, як здобувач вищої освіти ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

25 січня 2025 р.

Сергєєв В. А.

Handwritten signature in blue ink, appearing to read "V. A. Sergeev".

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 71 с., 2 табл., 28 рис., 2 дод., 23 джерела.

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ВОЛОГІСТЬ, МІКРОКЛІМАТ, ОСВІТЛЕННЯ СУБЛІМАЦІЙНИЙ ДРУК, ТЕМПЕРАТУРА

Об'єкт дослідження – контроль температури та вологості у приміщенні, де виконується сублімаційний друк на папері.

Предмет дослідження – вплив температурного режиму та вологості на якість друку.

Мета кваліфікаційної роботи – за допомогою інтернета речей, датчиків, контролерів, виконуючих пристроїв та програмного забезпечення досягнення оптимального мікроклімату у приміщенні, де виконується сублімаційний друк на папері.

Методи дослідження та апаратура, що використовувались в роботі – вимірювання температури кімнатним термометром та вимірювання вологості гігрометром.

У кваліфікаційній роботі досліджено вплив зміни температури та вологості на сублімаційний друк.

Для цього проведено комплексне дослідження, що включає аналіз технічних вимог, огляд сучасних систем дистанційного вимірювання температури і вологості та розробку концептуальної моделі керуючої платформи. Було сформовано структурну та функціональну основу платформи, а також обрані необхідні компоненти для її реалізації.

Отримані результати роботи можна віднести до цілей сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», а саме до пункту 9.4 «Сприяти прискореному розвитку високо- та середньо- високотехнологічних секторів переробної промисловості, які формуються на основі використання

ланцюгів «освіта – наука – виробництво», та кластерного підходу за напрямками: «розвиток інформаційно-телекомунікаційних технологій (ІКТ); застосування ІКТ в АПК, енергетиці, транспорті та промисловості; високотехнологічне машинобудування».

ABSTRACT

Explanatory note: 71 p., 2 tabl., 28 fig., 1 appendix, 23 sources.

AUTOMATION, HUMIDITY, MICROCLIMATE, LIGHTING
SUBLIMATION PRINTING, TEMPERATURE

The object of investigation is the control of temperature and moisture in the area where the sublimation hand is placed on the paper.

The subject of investigation is the influence of temperature and moisture on the hand.

Meta-qualified work – using the Internet of speeches, sensors, controllers, other devices and software to ensure the optimal microclimate in the room where the sublimation arm is installed paper.

The research methods and equipment used in the robot were temperature measurements with a room thermometer and humidity measurements with a hygrometer.

A qualified robot was observed to inject a change in temperature and moisture into a sublimation device.

For this purpose, a comprehensive investigation was carried out, which included an analysis of technical advantages, an examination of current systems for remote temperature and moisture modification, and the development of a conceptual model of the ceramic platform.

The structural and functional basis of the platform has been formed, as well as the necessary components for its implementation have been selected.

The results of the work can be attributed to Sustainable Development Goals 9 “Industry, Innovation and Infrastructure”, namely to point 9.4 “Promote the accelerated development of high- and medium-high-tech sectors of the processing industry, which are formed on the basis of the use of the “education - science -

production” chains and a cluster approach in the areas of: “development of information and telecommunications technologies (ICT); application of ICT in agro-industrial complex, energy, transport and industry; “high-tech mechanical engineering”.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	9
Вступ	10
1 Аналіз предметної області	12
1.1 Аналіз проблеми температури та вологості під час сублімаційного друку на папері	13
1.2 Екологічність цифрового друку	14
1.3 Постановка задач досліджень	15
1.4 Використання інтернет речей для оптимізації параметрів вологості та температури	16
1.5 Висновки до першого розділу	17
2 Технічне завдання	19
2.1 Вимоги до систем контролю за температурою та вологістю	19
2.2 Основні функції та модулі системи	20
2.2.1 Основні функції системи	20
2.2.2 Основні модулі системи	21
2.2.3 Схема роботи системи	21
2.2.4 Переваги використання системи контролю:	22
2.3 Визначення апаратних і програмних засобів	22
2.4 Опис відпрацювання апаратних засобів	22
2.5 Процес розробки	24
2.5.1 Вибір технологій для розробки	24
2.6 Висновки	25
3 Огляд технологій для проектування системи контролю за температурою та вологістю	26
3.1 Мікроконтролери	26
3.1.1 Raspberry Pi	26
3.1.2 Arduino	28

3.2 Датчики	29
3.2.1 Датчик вологості та температури DHT12	29
3.2.2 Датчик освітлення	30
3.3 Виконуючі пристрої	30
3.3.1 Тепловий елемент	30
3.3.2 Зволожувач повітря	33
3.3.3 Модуль реле 5V для Arduino	34
3.4 Висновки до третього розділу	35
4 Моделювання системи контролю вологості та температури сублімаційного друку на папері.	37
4.1 Використовуване ПЗ.	37
4.2 Підсистема керування підігрівом повітря	39
4.3 Підсистема контролю за вологістю повітря.....	40
4.4 Підсистема контролю за температурою повітря.....	41
4.5 Підсистема контролю за рівнем освітлення.....	43
4.6 Підключення LCD	44
4.7 Програмний код.....	45
4.8 Висновки до четвертого розділу	49
5 Ідентифікація математичних моделей основних параметрів температури та вологості.....	50
5.1 Модель лінійної регресії температури та вологості у приміщенні.....	51
6 Вимоги безпеки праці під час роботи	56
Висновки	60
Перелік джерел посилання	61
Додаток А Програмний код	64
Додаток Б Демонстраційний матеріал	69

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ОЗУ – оперативна пам'ять;

ОС – операційна система;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПЗУ – постійна пам'ять;

ПК – персональний комп'ютер;

GPIO – General Purpose Input/Output;

IDE – інтерактивне середовище розробки.

ВСТУП

Сучасні поліграфічні виробництва, які займаються сублімаційним друком на тканині, стикаються з проблемою підтримки належної температури та вологості в приміщенні, де відбувається друк принтера (пристрій, який наносить фарбу на спеціалізовану бумагу). Це дуже важлива складова друку, яка відповідає за якість кінцевого продукту.

Вибір високоякісних та дорогих матеріалів, а саме: фарби, трансферний папір та тканини, сприяють фінального очікуваного результату, але нехтування контролем за температурою та вологістю в приміщенні саме у час друку зображення можуть звести нанівець .

Вплив людського фактору на промисловий процес та на деталі виробничого циклу, які потребують постійного нагляду та контролю, може негативно вплинути як на проміжний процес, так і на кінцевий результат взагалі. Всі стадії сублімаційного друку можливо скорегувати і виправити допущені помилки, коштовність виробу збільшується пропорційно витраченим ресурсам на подолання помилки.

Для мінімізації впливу людського фактору, слід застосовувати в процесі друку автоматизацію, яка візьме на себе відповідальність за контроль вологи та температурного режиму в приміщенні, с подальшим регулюванням цих параметрів, вмикаючи прилади, які нормалізують стан вологості та температури.

Окрім цього, важливим елементом сублімаційного друку є інтеграція інтернета речей, які можуть працювати в тандемі з програмним забезпеченням контролю та збереження інформації, яка поступає з датчиків. Розумні прилади дозволяють регулювати та аналізувати інформацію, що поступає з датчиків, забезпечуючи постійну актуальну температуру та вологу, зменшуючи звертання уваги людини на ці параметри.

Таким чином метою даного звіту є розробка автоматичного контролю процесу друку на папері. У звіті буде розглянуто основні етапи проектування, технології, що використовуються.

Об'єкт дослідження – процес керування мікрокліматом для автоматизованої системи у приміщенні, де виконується сублімаційний друк на папері.

Предмет дослідження – автоматизована система управління мікрокліматом на базі платформи Arduino Uno.

Мета кваліфікаційної роботи – за допомогою датчиків, контролерів, виконуючих пристроїв та програмного забезпечення досягти оптимального мікроклімату у приміщенні, де виконується сублімаційний друк на папері.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати особливості впливу температури та вологості на сублімаційний друк на папері;
- підібрати обладнання для корекції мікроклімату у приміщенні;
- розробити алгоритм дій датчиків та виконуючих пристроїв для нормалізації мікроклімату;
- провести розробку програмного забезпечення для зчитування датчиками і відпрацювання виконуючих пристроїв;
- оформити пояснювальну записку згідно з рекомендаціями [1], та вимогами ДСТУ 3008:2015 [2].

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

Сублімація – це процес переходу речовини з твердого агрегатного стану в газоподібний, минаючи рідкий стан. Цей процес відбувається при нагріванні матеріалів понад 100⁰С.

Технологія не прямого сублімаційного друку являє собою спосіб нанесення зображення в два етапи. Здійснюється друк зображення на проміжному носії (сублімаційному папері) з подальшим переносом на виріб. При якому частинки барвника, нанесених на папір, миттєво нагріваються (в даному випадку за допомогою термоелемента преса) і змішуються, при переході в газовий стан, глибоко проникаючи в структуру матеріалу. Ця технологія дозволяє наносити зображення фотографічної якості, на будь-яку поверхню, покриту сублімаційним лаком або на тканини з синтетичних матеріалів, у складі яких міститься поліестер.

Mimaki TS100-1600 (рис. 1.1) – це сублімаційний принтер з шириною друку 1600 мм, який є продовженням "100-ї" серії техніки Mimaki. TS100-1600 – це економічне рішення для сегментів друку: модної та спортивного одягу, рекламної та сувенірної галузі, а також оформлення інтер'єру.



Рисунок 1.1 – Mimaki TS100-1600

Система автоматичного коректування позиціонування крапель чорнила та системи подачі носія DAS (Dot Adjustment System) забезпечує високу точність друку, знижуючи тим самим потребу в ручному втручанні оператора та підвищуючи ефективність виробництва.

1.1 Аналіз проблеми температури та вологості під час сублімаційного друку на папері

Сублімаційний друк – це делікатний процес, який вимагає точного дотримання певних параметрів, зокрема температури та вологості. Відхилення від оптимальних значень може призвести до погіршення якості зображення, проблем з адгезією фарби та інших небажаних наслідків:

Температура:

– процес сублімації: чорнила перетворюються з твердого стану в газоподібний під дією високої температури. Якщо температура недостатня, фарба не повністю перейде в газоподібний стан і не закріпиться на матеріалі. Занадто висока температура може призвести до пошкодження матеріалу або зображення;

– вплив на суміш: температура впливає на в'язкість чорнил і їх взаємодію з матеріалом.

Вологість:

– вплив на папір: висока вологість може призвести до деформації паперу, що негативно позначиться на якості друку. Низька вологість може викликати статичну електрику, що ускладнює подачу паперу та призводить до появи дефектів на зображенні;

– вплив на чорнило: вологість може вплинути на швидкість висихання чорнила та їх адгезію до матеріалу.

Проблеми, які можуть виникнути через неправильні параметри:

– неповне закріплення фарби: зображення може бути бляклим, нечітким або легко стиратися;

- деформація матеріалу: папір може зморщитися, погнутися або змінити розмір;
- поява плям і розводів: нерівномірне розподілення чорнила може призвести до появи плям і розводів на зображенні;
- статична електрика: може викликати проблеми з подачею паперу та призвести до появи дефектів на зображенні.

Контроль температури та вологості:

- спеціальне обладнання: використання термопреси з точним регулюванням температури та часу нагрівання;
- кондиціонування повітря: підтримка оптимальний рівень вологості в приміщенні, де проводиться друк;
- калібрування обладнання: регулярна перевірка точність показань термометра та інших датчиків;
- якісні матеріали: використання спеціального паперу для сублімаційного друку та якісні сублімаційні чорнила.

1.2 Екологічність цифрового друку

Для того, щоб зробити друк екологічнішим, необхідно зрозуміти, які етапи цього процесу найбільше шкодять природі. Щоб зменшити негативний вплив друку на довкілля, важливо визначити основні екологічні проблеми, пов'язані з цим процесом. Для досягнення екологічно чистого друку необхідно проаналізувати всі етапи цього процесу з точки зору їх впливу на навколишнє середовище.

Цифровий друк стає все популярнішим завдяки своїй екологічності. На відміну від традиційних методів, які часто пов'язані з використанням шкідливих хімікатів та великої кількості води, цифровий друк мінімізує негативний вплив на довкілля.

Сублімаційний друк вважається більш екологічним, з огляду застосування барвників на водній основі, використання паперу для

перенесення створює додаткові відходи (використана бумага та відходи тканини).

1.3 Постановка задач досліджень

Сублімаційний друк – це високотехнологічний процес, який вимагає точного контролю температурних та вологісних параметрів для досягнення якісного результату. Автоматизація цього процесу дозволяє підвищити стабільність та ефективність виробництва, зменшити кількість браку та забезпечити більш передбачувані результати.

Основні задачі досліджень: аналіз існуючих систем контролю: вивчення сучасних систем автоматизованого контролю температури та вологості, що використовуються в сублімаційному друку.

Розробка математичної моделі процесу: створення математичної моделі, яка описує взаємозв'язки між параметрами процесу (температура, вологість, час експозиції, тип паперу, тип фарби тощо) та якістю кінцевого продукту.

Розробка алгоритмів управління: розробка алгоритмів керування, які забезпечують оптимальний режим роботи обладнання для досягнення заданих параметрів якості друку.

Створення системи автоматизованого контролю: розробка програмного забезпечення для управління системою контролю.

Інтеграція системи з існуючим обладнанням для сублімаційного друку, тестування системи в реальних умовах виробництва.

Дослідження впливу різних факторів на якість друку: вивчення впливу таких факторів, як тип паперу, тип фарби, швидкість друку, температура навколишнього середовища на якість сублімаційного друку.

1.4 Використання інтернет речей для оптимізації параметрів вологості та температури

Інтернет речей (IoT) відіграє важливу роль в оптимізації параметрів вологості та температури у різних галузях. Застосування IoT дозволяє автоматизувати процеси моніторингу та регулювання цих параметрів, забезпечуючи точність і ефективність.

Основні етапи використання IoT для оптимізації вологості та температури:

а) сенсори та датчики:

1) вимірювання параметрів: датчики вологості та температури встановлюються в потрібних місцях, щоб постійно зчитувати дані.

2) підключення до мережі: дані з датчиків передаються через мережу до центральної системи управління;

б) центральна система управління:

1) аналіз даних: центральна система отримує дані від датчиків і аналізує їх у режимі реального часу;

2) прийняття рішень: на основі отриманих даних система приймає рішення про необхідність коригування параметрів;

в) автоматичне регулювання:

1) активування пристроїв: при необхідності система може активувати пристрої для регулювання вологості та температури, такі як осушувачі, зволожувачі, кондиціонери та обігрівачі;

2) зворотний зв'язок: після коригування параметрів система продовжує моніторинг, забезпечуючи зворотний зв'язок для точного підтримання встановлених значень;

г) інтерфейси користувача:

1) моніторинг в реальному часі: користувачі можуть отримувати дані про стан вологості та температури у реальному часі через зручні інтерфейси, такі як мобільні додатки або веб-портали;

2) налаштування параметрів: користувачі можуть змінювати налаштування системи відповідно до своїх потреб;

д) переваги використання IoT для оптимізації параметрів:

1) підвищення ефективності: автоматизація процесів дозволяє швидше та точніше реагувати на зміни умов;

2) збереження ресурсів: оптимальне управління параметрами сприяє економії енергії та інших ресурсів;

3) зручність: дистанційний моніторинг та управління роблять процеси більш зручними для користувачів;

4) безпека та надійність: постійний контроль за параметрами допомагає уникнути несприятливих ситуацій та забезпечити стабільність.

1.5 Висновки до першого розділу

Температура та вологість є критичними факторами, які значно впливають на якість сублімаційного друку. Неправильні умови навколишнього середовища можуть призвести до таких проблем, як:

– погіршення адгезії фарби: занадто висока або низька вологість може вплинути на здатність сублімаційних чорнил проникати в волокна тканини при термопереносі. Це може призвести до нерівномірного кольору, бляклих відтінків або відшарування зображення;

– проблеми з подачею паперу: зміни вологості можуть вплинути на жорсткість паперу, що ускладнює його подачу через принтер. Це може призвести до заїдання паперу, зморщування або розривів;

– скорочення терміну служби друкуючої головки. Екстремальні температури та вологість можуть негативно вплинути на роботу друкуючої головки, скоротивши її термін служби.

Оптимальні умови для сублімаційного друку:

– температура. Оптимальна температура в приміщенні, де проводиться сублімаційний друк, становить від 20 C⁰ до 25 C⁰;

– вологість. Оптимальна відносна вологість повітря становить від 40% до 60%.

Таким чином, дотримання оптимальних умов температури та вологості є важливим аспектом для забезпечення високої якості сублімаційного друку. Незважаючи на високотехнологічний принтер сублімаційного друку, який звів до мінімуму вплив людського фактору на процес друку, слід контролювати мікроклімат у приміщенні, а саме автоматизувати процес оптимальної нормалізації температури та вологості.

Регулярний контроль мікроклімату та використання якісних матеріалів дозволять уникнути багатьох проблем і отримати відмінні результати.

2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

2.1 Вимоги до систем контролю за температурою та вологістю

Сублімаційний друк – це процес, при якому тверді чорнила перетворюються безпосередньо в газоподібний стан, а потім конденсуються на поверхні матеріалу, утворюючи зображення. Для успішного здійснення цього процесу необхідні певні температурні та вологісні умови.

Контроль температури та вологості:

- якість зображення: відхилення від оптимальних параметрів може призвести до нерівномірного перенесення фарби, розмиття зображення, появи плям або інших дефектів;

- ефективність процесу: занадто низька температура може призвести до недостатнього сублімування фарби, а занадто висока – до її надмірного випаровування і втрати;

- збереження обладнання: неправильні умови можуть пошкодити друкувальну головку та інші компоненти принтера.

Вимоги до систем контролю:

- точність: системи повинні забезпечувати високу точність вимірювання температури та вологості. Похибка вимірювання може суттєво вплинути на якість друку;

- швидкість: системи мають швидко реагувати на зміни параметрів навколишнього середовища і відповідно коригувати роботу обладнання;

- надійність: системи повинні бути надійними і стійкими до зовнішніх впливів, таких як вібрація, пил тощо;

- інтерфейс: системи повинні мати зручний інтерфейс, що дозволяє легко налаштовувати і контролювати параметри.

Ключові компоненти системи контролю:

- температурні сенсори: використовуються для вимірювання

температури повітря, поверхні матеріалу та інших критичних точок;

- гігрометри: вимірюють відносну вологість повітря;
- контролер: обробляє дані, отримані від сенсорів, і керує пристроями, відповідальними за підтримку заданих параметрів (наприклад, вентиляторами, обігрівачами);
- виконавчі механізми: це можуть бути вентилятори, обігрівачі, зволожувачі, які змінюють температуру і вологість повітря в приміщенні.

Рекомендації щодо встановлення та налаштування:

- розміщення сенсорів: сенсори слід розміщувати в стратегічних точках, щоб отримати найбільш точну інформацію про температурний режим і вологість;
- калібрування: систему необхідно регулярно калібрувати, щоб забезпечити точність вимірювань;
- моніторинг: слід регулярно контролювати роботу системи і аналізувати отримані дані.

2.2 Основні функції та модулі системи

Система контролю за температурою та вологістю є критично важливою для забезпечення стабільної та високої якості сублимаційного друку. Вона відповідає за створення та підтримання оптимальних умов, необхідних для ефективного перетворення твердих сублимаційних чорнил на газ і їх подальшої конденсації на поверхні матеріалу.

2.2.1 Основні функції системи

Вимірювання:

- температури. Вимірювання температури повітря в приміщенні, температури поверхні друкованого матеріалу, температури нагрівальних елементів принтера;
- вологості. Вимірювання відносної вологості повітря в приміщенні.

Контроль:

- порівняння з еталонними значеннями: постійне порівняння вимірних значень з заданими параметрами;
- регулювання: при виявленні відхилень від заданих параметрів система автоматично запускає механізми корекції (наприклад, вмикає/вимикає обігрівачі, вентилятори, зволожувачі).

2.2.2 Основні модулі системи

Датчики:

- температурні датчики. Термопари, терморезистори, термометри опору;
- датчики вологості. Гігрометри.

Контролер:

- мікроконтролер. Збирає дані з датчиків, порівнює їх з заданими значеннями і керує виконавчими механізмами.

Виконавчі механізми:

- обігрівачі: підвищують температуру в приміщенні або нагрівають друковану поверхню;
- вентилятори: забезпечують циркуляцію повітря для рівномірного розподілу температури і вологості;
- зволожувачі: підвищують вологість повітря.

Програмне забезпечення:

- інтерфейс користувача: забезпечує взаємодію оператора з системою, дозволяє налаштовувати параметри, переглядати дані;
- алгоритми управління: реалізують логіку роботи системи, забезпечують оптимальне регулювання температури і вологості.

2.2.3 Схема роботи системи

- датчики збирають дані про температуру і вологість;
- контролер отримує дані від датчиків і порівнює їх з заданими

значеннями;

- якщо виявлені відхилення, контролер віддає команди виконавчим механізмам для корекції параметрів;
- програмне забезпечення відображає поточні значення і стан системи на дисплеї або передає дані на комп'ютер.

2.2.4 Переваги використання системи контролю:

- стабільна якість друку: забезпечення оптимальних умов для сублимації;
- зменшення відходів матеріалу: мінімізація браку через неякісний друк;
- продовження терміну служби обладнання: захист принтера від перегріву та інших негативних впливів;
- автоматизація процесу: звільнення оператора від ручного регулювання параметрів.

2.3 Визначення апаратних і програмних засобів

Для впровадження програмного забезпечення необхідно визначити апаратні та програмні засоби, які забезпечать його ефективну роботу. Апаратні засоби включають:

- датчики руху, термо та вологості для моніторингу присутності у приміщенні і показників температури та вологості;
- сервер для обробки даних та забезпечення стабільної роботи системи;
- пристрої, які пов'язані з контролером релейним блоком.

2.4 Опис відпрацювання апаратних засобів

Відпрацювання засобів регулювання температури і вологості – це процес, під час якого компоненти системи реагують на зміни вимірних параметрів (температури та вологості) і виконують необхідні дії для їх корекції. Цей процес є ключовим для забезпечення стабільної роботи системи

і високої якості друку.

Основні етапи відпрацювання:

Вимірювання:

– датчики температури та вологості постійно збирають інформацію про стан середовища;

– отримані дані передаються на контролер.

Порівняння з еталонними значеннями:

– контролер порівнює виміряні значення з заданими параметрами, які були встановлені користувачем або автоматично розраховані системою.

Прийняття рішення:

– якщо виміряні значення відрізняються від заданих більш ніж на допустиму величину, контролер приймає рішення про необхідність коригування параметрів.

Управління виконавчими механізмами:

– контролер віддає команди виконавчим механізмам (обігрівачам, вентиляторам, зволожувачам) для зміни температури або вологості в потрібному напрямку.

Виконання команди:

– виконавчі механізми виконують отримані команди, змінюючи параметри середовища.

Повторення циклу:

– процес вимірювання, порівняння і управління повторюється циклічно з певною періодичністю.

Типові схеми управління:

– PID-регулятор: найбільш поширений тип регулятора, який використовує три параметри: пропорційний (P), інтегральний (I) і диференціальний (D). Ці параметри дозволяють налаштувати регулятор таким чином, щоб він забезпечував швидку і стабільну реакцію на зміни параметрів;

– релейний регулятор: простий тип регулятора, який вмикає або вимикає виконавчі механізми залежно від того, чи перевищує виміряне значення

задане;

- нечіткий регулятор: базується на теорії нечітких множин і дозволяє використовувати експертні знання для прийняття рішень.

Фактори, що впливають на відпрацювання системи:

- точність датчиків: від точності датчиків залежить точність вимірювань і, відповідно, ефективність регулювання;
- швидкість реакції контролера: чим швидше контролер обробляє дані і віддає команди, тим швидше система реагує на зміни параметрів;
- характеристики виконавчих механізмів: потужність, швидкість реакції виконавчих механізмів впливають на ефективність регулювання;
- параметри середовища: зміни атмосферного тиску, температури за вікном можуть впливати на роботу системи;
- налаштування регулятора: правильне налаштування параметрів регулятора дозволяє досягти оптимальної роботи системи.

2.5 Процес розробки

2.5.1 Вибір технологій для розробки

Для успішної розробки програмного забезпечення з управління температурою і вологістю під час сублимаційного друку на папері, важливо вибрати відповідні технології, які забезпечать надійність та інтеграцію з існуючими контролерами та датчиками. Основні технології включають:

- протоколи, по яким з'єднуються датчики з контролером;
- фреймворк для фронтенду: Angular або React можуть бути використані для створення інтерактивного інтерфейсу користувача, що забезпечить зручність роботи з системою для операторів і адміністраторів;
- система управління базами даних: MySQL або PostgreSQL (реляційні) для зберігання даних про температуру і вологість в приміщенні де відбувається друк в певну годину. Для роботи з великими обсягами даних або в реальному часі також може використовуватися NoSQL-база, наприклад

MongoDB;

– інтеграційні технології: REST API або WebSocket для зв'язку між різними модулями системи та інтеграції з іншими системами.

2.6 Висновки

Розробка системи автоматичного контролю вологості та температури є актуальним завданням у поліграфічній галузі, а саме в сублимаційному друці на папері. Така система дозволяє оптимізувати процеси, підвищити якість продукції та забезпечити комфортні умови для людей.

Автоматизація контролю дозволяє звільнити персонал від рутинних операцій і зосередитися на більш складних завданнях. Це підвищує продуктивність праці та знижує ризик людського фактора.

Сучасні датчики та мікроконтролери забезпечують високу точність вимірювань та швидке реагування на зміни в умовах середовища.

3 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЗА ТЕМПЕРАТУРОЮ ТА ВОЛОГІСТЮ

3.1 Мікроконтролери

Мікроконтролер – це мініатюрний комп'ютер, вмонтований в єдину мікросхему, який керує роботою різноманітних електронних пристроїв. На відміну від звичайних комп'ютерних процесорів, він має вбудовані модулі для взаємодії з зовнішнім світом, такі як порти вводу-виводу, таймери, АЦП (аналогово-цифрові перетворювачі) та інші. Це робить його ідеальним рішенням для створення вбудованих систем, які зустрічаються в побутовій техніці, автомобілях, промислових установках та багатьох інших галузях.

Ключові компоненти мікроконтролера:

а) процесор: Виконує обчислювальні операції та керує роботою інших компонентів.

б) пам'ять:

1) оперативна пам'ять (ОЗУ): Використовується для тимчасового зберігання даних під час виконання програми;

2) постійна пам'ять (ПЗУ): Зберігає програму, яка керує роботою мікроконтролера.

в) порти вводу-виводу: Забезпечують взаємодію мікроконтролера з іншими пристроями.

г) периферійні модулі: Розширюють функціональність мікроконтролера (таймери, АЦП, SPI, I2C тощо).

3.1.1 Raspberry Pi

Raspberry Pi – це компактний одноплатний комп'ютер, який за розміром не перевищує кредитну картку. Незважаючи на свої скромні габарити, він здатний виконувати широкий спектр завдань, які раніше були доступні лише

повнорозмірним комп'ютерам.

Створений у 2012 році британською компанією Raspberry Pi Foundation, цей мікрокомп'ютер спочатку позиціонувався як інструмент для навчання програмуванню. Однак, завдяки своїй доступності, гнучкості та постійному розвитку, Raspberry Pi швидко завоював популярність у різних сферах: від освіти та хобі до промислової автоматизації (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд Raspberry Pi 4B

Ключові особливості:

- компактність: легко вписується в будь-який проект;
- продуктивність: сучасні моделі забезпечують достатню потужність для запуску операційних систем, програмного забезпечення та навіть ігор;
- гнучкість: підтримує різноманітні операційні системи (Linux, Windows, Android) та дозволяє підключати безліч периферійних пристроїв;
- розширюваність: наявність портів GPIO (General Purpose Input/Output) відкриває широкі можливості для створення власних електронних пристроїв;
- спільнота: велика спільнота користувачів, яка активно розробляє нове програмне забезпечення та ділиться досвідом.

Застосування:

- освіта: вивчення програмування, електроніки та робототехніки;
- хобі: створення ігор, мультимедійних центрів, домашніх метеостанцій та інших цікавих проектів;
- промисловість: автоматизація виробництва, контроль процесів,

створення прототипів;

– розвиток IoT: підключення до мережі Інтернету речей для створення розумних будинків та інших систем автоматизації.

3.1.2 Arduino

Arduino – це універсальна платформа, яка дозволяє навіть новачкам легко створювати власні електронні пристрої та втілювати в життя найсміливіші ідеї (рис. 3.2).

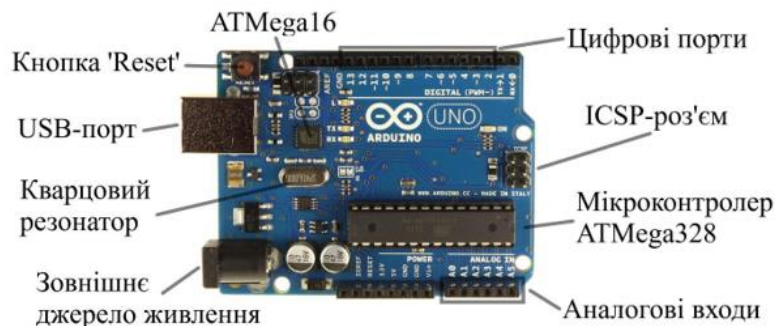


Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд Arduino UNO

Вона складається з двох основних компонентів:

– апаратна частина: це фізичні плати з мікроконтролерами, які є "серцем" ваших проектів. Існує безліч моделей плат Arduino, що відрізняються за потужністю, розмірами та набором функцій;

– програмна частина: Arduino IDE – це зручне середовище розробки, яке дозволяє писати код для керування платою, компілювати його та завантажувати на пристрій.

Переваги Arduino:

– простота: інтуїтивно зрозуміле середовище розробки та велика кількість навчальних матеріалів роблять Arduino доступною для всіх;

– гнучкість: широкий вибір плат і щитів дозволяє адаптувати Arduino під різноманітні завдання;

– відкритість: Arduino – це open-source проект, що означає вільний

доступ до схем, програмного коду та великої спільноти розробників;

– вартість: Arduino відносно недорого, що робить її доступною для освітніх закладів, хобі-проектів та малого бізнесу.

Сфери застосування Arduino:

– робототехніка: створення роботів, дронів, автономних транспортних засобів;

– "розумний дім": автоматизація освітлення, опалення, поливу рослин та інших систем;

– інтернет речей (IoT): створення пристроїв, які збирають дані з навколишнього середовища та передають їх в мережу;

– наукові експерименти: вимірювання фізичних величин, створення датчиків та актуаторів;

– хобі-проекти: від простих світлодіодних лампочок до складних музичних інструментів.

3.2 Датчики

Для якісного друку на папері, необхідно створити середовище, максимально наближене до оптимального. Для цього використовуються датчики, які відстежують такі параметри як температура, вологість та інші. Датчики перетворюють фізичні величини, які ми хочемо виміряти (наприклад, температуру або рівень вологості), в електричні сигнали, зрозумілі для мікроконтролера. Ці сигнали надалі обробляються, і на їх основі приймаються рішення про управління системою, яка вирівнює показники міуроклімату в приміщенні.

3.2.1 Датчик вологості та температури DHT11, DHT22

DHT11 та DHT22 – це популярні цифрові датчики, які одночасно вимірюють температуру та вологість повітря (рис. 3.3). Їхнє використання дозволяє спростити конструкцію пристроїв, знизити витрати та підвищити

надійність. Хоча обидва датчики мають схожий принцип роботи, DHT22 відрізняється більшою швидкістю та точністю вимірювань. Однак, DHT11 є більш доступним за ціною і простим у використанні.



Рисунок 3.3 – Датчики DHT11 (зліва) та DHT22 (справа)

3.2.2 Датчик освітлення

Для ефективної праці, та зменшення ризиків впливу людського фактору на процес друкування, в приміщенні потрібно бути достатньо світла. Щоб забезпечити необхідною добовою нормою освітлення (8 годин), особливо взимку, можна використовувати додаткові джерела світла. Для автоматизації цього процесу застосовують датчики освітлення (рис. 3.4), які вмикають підсвітку за необхідності та вимикають її, коли природного світла достатньо.

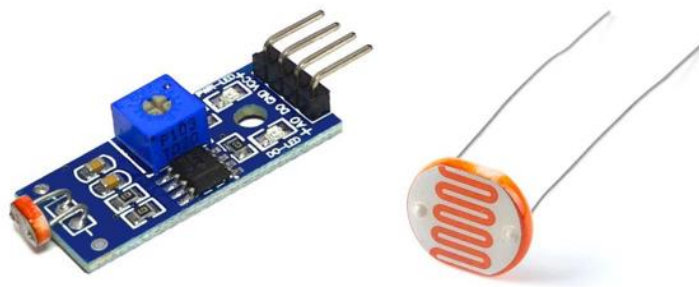


Рисунок 3.4 – Модуль датчика освітлення (зліва) та фоторезистор

3.3 Виконуючі пристрої

3.3.1 Тепловий елемент

Керамічні обігрівачі (рис. 3.5) міцно зайняли свою нішу на ринку завдяки привабливому дизайну та ефективності обігріву. Однак, чи впливає

їхнє використання на рівень вологості в приміщенні? Розберемося детальніше, як працюють керамічні обігрівачі та які наслідки вони можуть мати для мікроклімату в вашій оселі.

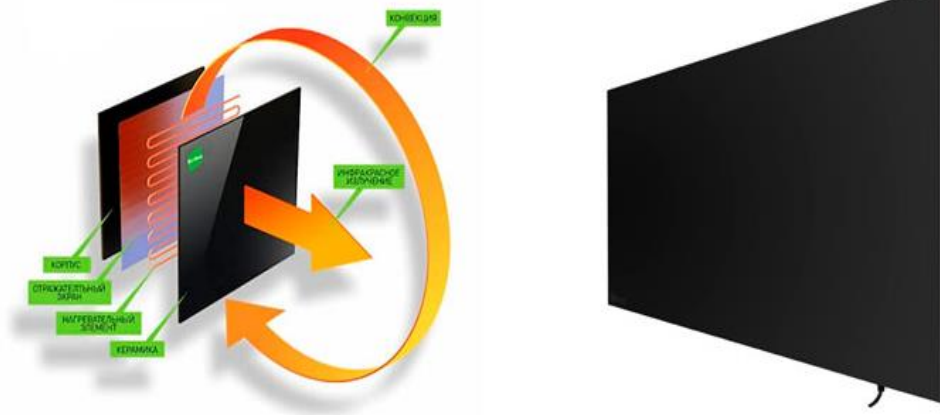


Рисунок 3.5 – Керамічний інфрачервоний обігрівач

Принцип роботи керамічних обігрівачів полягає в поєднанні конвекції та інфрачервоного випромінювання. Керамічна поверхня нагрівається до високої температури, передаючи тепло як безпосередньо предметам у кімнаті, так і нагріваючи повітря. Такий підхід забезпечує швидкий і ефективний обігрів приміщення.

На відміну від традиційних обігрівачів, які часто пересушують повітря, керамічні моделі дбайливо ставляться до мікроклімату в приміщенні. Завдяки особливостям своєї роботи, вони допомагають підтримувати оптимальний рівень вологості, запобігаючи сухості шкіри, подразненню дихальних шляхів та появі алергічних реакцій.

Керамічні інфрачервоні обігрівачі працюють за принципом прямого нагрівання предметів. Нагрівальний елемент передає тепло керамічній плиті, яка випромінює інфрачервоні промені. Ці промені нагрівають не повітря, а стіни, підлогу, меблі, а вже від них тепло поширюється по кімнаті. Завдяки цьому, досягається висока ефективність обігріву та рівномірний розподіл тепла.

Конвекційні керамічні обігрівачі (рис. 3.6-3.7) представляють собою вдосконалену версію традиційних інфрачервоних моделей. Їхньою особливістю є наявність додаткового профільованого теплообмінника, розташованого між нагрівальним елементом і керамічною плитою. Цей теплообмінник виконує важливу функцію: він знижує інтенсивність інфрачервоного випромінювання, яке проходить через його профілі. Одночасно, повітря, що циркулює між профілями, нагрівається за рахунок природної конвекції, забезпечуючи рівномірний розподіл тепла по всьому приміщенню.



Рисунок 3.6 – Керамічний конвекційний обігрівач



Рисунок 3.7 – Керамічний біоконвектор Ecoteplo DUO 1000 ME

Переваги конвекційних керамічних обігрівачів:

- оптимальне поєднання методів обігріву: комбінація інфрачервоного випромінювання і конвекції забезпечує швидкий нагрів предметів і рівномірний розподіл тепла по всьому приміщенню;
- менша сухість повітря: завдяки конвекції, обігрівач не пересушує повітря, що позитивно впливає на комфорт і здоров'я;
- вища ефективність: за рахунок ефективного використання теплової енергії, такі обігрівачі забезпечують більш економічне споживання електроенергії;
- рівномірний розподіл тепла: завдяки конвекції, тепло рівномірно розподіляється по всьому приміщенню, створюючи комфортний мікроклімат.

3.3.2 Зволожувач повітря

Зволожувач повітря – це побутовий прилад, призначений для підвищення рівня вологості в приміщенні. Він працює за принципом випаровування води, яка потім розподіляється по кімнаті, створюючи комфортний мікроклімат.

Існує кілька основних типів зволожувачів:

- парові: нагрівають воду до кипіння і випускають пару в повітря. Ефективні, але споживають багато енергії і можуть бути гарячими на дотик;
- ультразвукові: використовують високочастотні вібрації для розпилення води на дрібні частинки. Тихі, енергоефективні, але можуть мінералізувати повітря;
- традиційні: працюють за принципом випаровування води з великої поверхні. Екологічні, але менш ефективні за інші типи.

Позитивним аспектом роботи ультразвукового зволожувача є те, що розпорошення і поширення води в приміщення проходить майже без шуму. Але варто врахувати той факт, що пристрій вкрай чутливий до якості води, яка потрапляє в спеціальний резервуар. Вода повинна бути очищена і профільтрована, інакше зволожувач незабаром прийде в непридатність.

Ультразвуковий пристрій для підвищення вологості повітря працює від електромережі.

Зволожувач повітря (рис. 3.8) Liberton LAN-5801 – це ультразвуковий зволожувач повітря забезпечує ефективне холодне зволоження із продуктивністю 300 мл/год, підходить для приміщень до 30 м². Оснащений сенсорним керуванням, об'ємним резервуаром на 4,2 літри та потужністю 25 Вт. Пристрій має функції ароматизації, регулювання рівня зволоження, таймер, нічний режим та автовідключення за відсутності води. Модель відрізняється наявністю LED-дисплея та пультом керування.



Рисунок 3.8 – Зволожувач повітря Liberton LAN-5801

3.3.3 Модуль реле 5V для Arduino

Модуль одноканального реле з керівником сигналом 5 В, для збирання дослідів на програмованому мікроконтролері Arduino (рис. 3.9). Основною перевагою 1-канального реле є його надійність і можливість пропускання струму в 10А за напруги до 230 В. Коли мікроконтролер Arduino подає керівний сигнал 5 В, реле замикається, це можна використовувати під час увімкнення та вимкнення різних пристроїв: обігрівачів, освітлювальних пристроїв, зволожувачив що дасть змогу зберегти цілісність мікроконтролера

Arduino, оскільки за допомогою цього простого пристрою можна працювати з навантаженнями та напругою, які сильно перевищують допустимий номінал у програмування.

Технічні характеристики одноканального реле Ардуїно:

- 1-канальний реле;
- керувальний сигнал 5V;
- затискні гвинтові клеми;
- максимальний струм комутації 10 А;
- максимальна напруга 220 В;
- світлодіод показує стан реле.



Рисунок 3.9 – Модуль реле 5V для Arduino

3.4 Висновки до третього розділу

Після детального вивчення різних платформ, виконуючих пристроїв та датчиків, ми прийняли рішення використовувати Arduino Uno як основу нашого проекту. Також було обрано датчик DHT22 для вимірювання температури та вологості. У якості виконуючих пристроїв, а саме для покращення температурного режиму та вологості в приміщенні був обрано керамічний обігрівач конвекторного типу, як самий оптимальний пристрій у співвідношенні функціоналу та ціни, а також змоги підігрівати актуальну площу, де виконується друк. Також був обрано потужний ультразвуковий

зволожувач з можливістю налаштувань.

Наступним кроком буде розробка алгоритму роботи системи, створення електричної схеми та написання програмного коду для мікроконтролера Arduino.

4 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ТА ТЕМПЕРАТУРИ СУБЛІМАЦІЙНОГО ДРУКУ НА ПАПЕРІ

Основні вимоги до розроблюваної системи

Основними вимогами до розроблюваної системи є:

- автоматичний обігрів повітря в залежності від температури всередині приміщення;
- автоматичне зволоження повітря;
- автоматичне вмикання / вимикання додаткового джерела світла в залежності від рівня природнього освітлення.

Для автоматизації процесів догляду за температурою та вологістю, система буде складатися з чотирьох взаємопов'язаних підсистем:

- система терморегуляції автоматично підтримуватиме оптимальну температуру повітря шляхом керування обігрівом;
- система регулювання вологістю, автоматично підтримуватиме оптимальну вологість повітря шляхом керування зволожувачем;
- система освітлення автоматично регулюватиме інтенсивність освітлення, створюючи оптимальні умови для відстеження друку оператором;
- автоматичне провітрювання приміщення в залежності від температури повітря ззовні та всередині.

4.1 Використовуване ПЗ

Для розробки та тестування електронних схем використовується програмне забезпечення Proteus VSM від компанії Labcenter Electronics (рис. 4.1). Це потужний інструмент, який дозволяє створювати віртуальні прототипи електронних пристроїв та моделювати їх роботу. Багата бібліотека компонентів Proteus, включаючи мікроконтролери та різноманітні електронні

Arduino IDE – це інтегроване середовище розробки, спеціально розроблене для платформи Arduino. Воно надає зручний інтерфейс для написання коду на мові C++, компіляції та завантаження програм на плату. IDE підтримує широкий спектр плат Arduino та дозволяє легко підключати додаткові бібліотеки для роботи з різноманітними пристроями. Завдяки великій кількості прикладів та доступній документації, Arduino IDE є ідеальним інструментом як для новачків, так і для досвідчених розробників. IDE є безкоштовним і працює на трьох найпопулярніших ОС – Windows, macOS, Linux.

На рисунку (рис 4.3) показано інтегроване середовище розробки Arduino IDE та приклад простої програми «Blink».

```

Blink | Arduino 1.8.13
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь
Blink §

// the setup function runs once when you press reset or power the board
void setup() {
  // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
}

// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000); // wait for a second
}

17 Arduino Nano, ATmega328P на COM4

```

Рисунок 4.3 – Arduino IDE та програма-приклад «Blink»

4.2 Підсистема керування обігрівом повітря

Підсистема обігріву працює за принципом терморегулятора. Коли температура в приміщенні знижується нижче заданого порогу, реле

автоматично вмикає обігрівач. Як тільки температура досягає бажаного значення, обігрів вимикається. Такий підхід дозволяє створити умови для оптимальної температури в приміщенні та уникнути постійного контролю зі сторони людини. Така система контролю (рис. 4.4) дає можливість займатись більш значними справами в зручному тепловому комфорті.

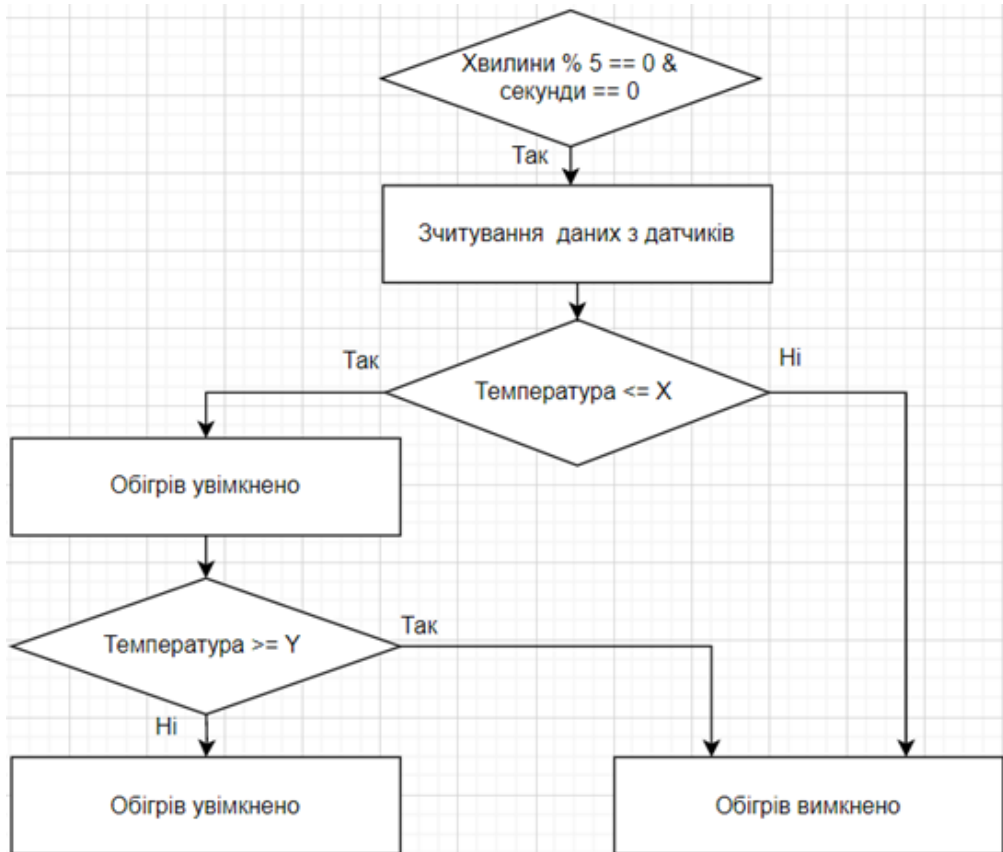


Рисунок 4.4 – Алгоритм керування обігрівом

4.3 Підсистема контролю за вологістю повітря

Оскільки датчики DHT22 здатні вимірювати як температуру, так і вологість, додаткових сенсорів не потрібно. Існуючий DHT22 всередині приміщення де виконується друк буде використовуватися для контролю вологості. Він (датчик) розташований безпосередньо біля плотеру (друкуючої на папері пристрою). Кожні 5 хвилин система зчитує дані з датчика і порівнює їх з пороговими значеннями: при зниженні вологості до 40% активується

пристрій, який зволожує повітря, а при підвищенні до 60% – вимикається (рис. 4.5).

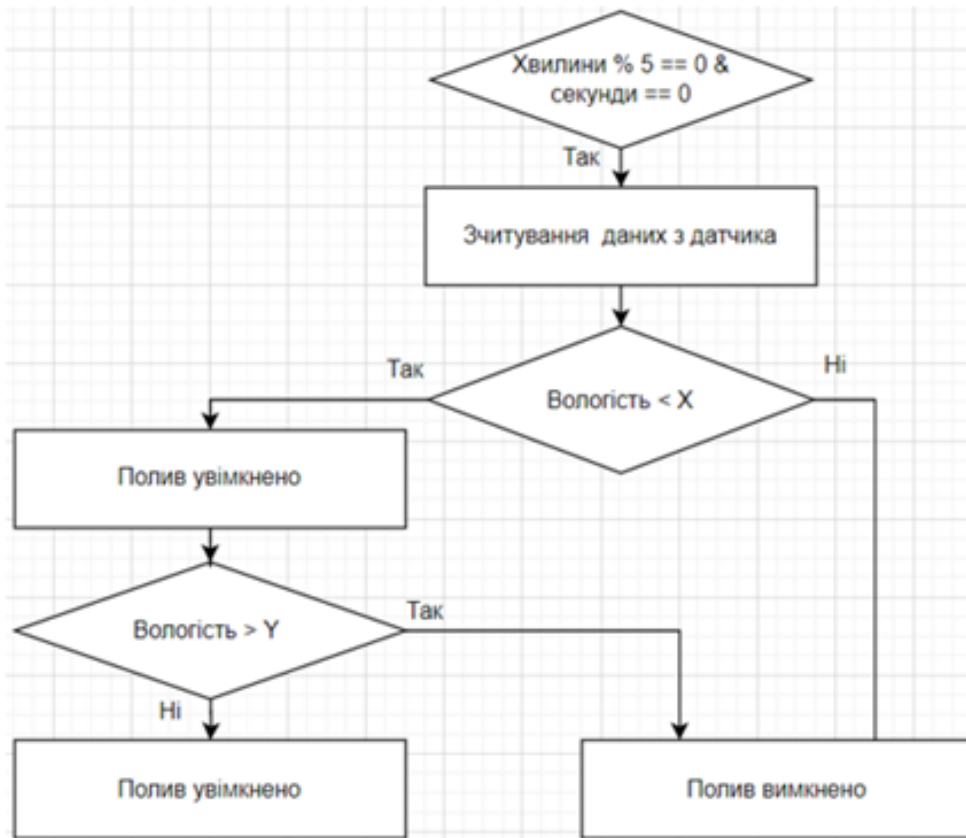


Рисунок 4.5 – Алгоритм керування вологістю

4.4 Підсистема контролю за температурою повітря

Принцип роботи системи базується на постійному моніторингу температури всередині та зовні теплиці за допомогою датчиків. Кожні п'ять хвилин система порівнює отримані дані. При перевищенні зовнішньої температури над внутрішньою, сервопривод активується, відкриваючи вентиляційні отвори. У зворотному випадку сервопривод закриває їх, зберігаючи тепло всередині приміщення. Ця підсистема забезпечує економію електроенергії в міжсезоння і подовжує строк служби пристрою обігріву приміщення. Забезпечує приміщення свіжим повітрям і вентиляцією (рис. 4.6).

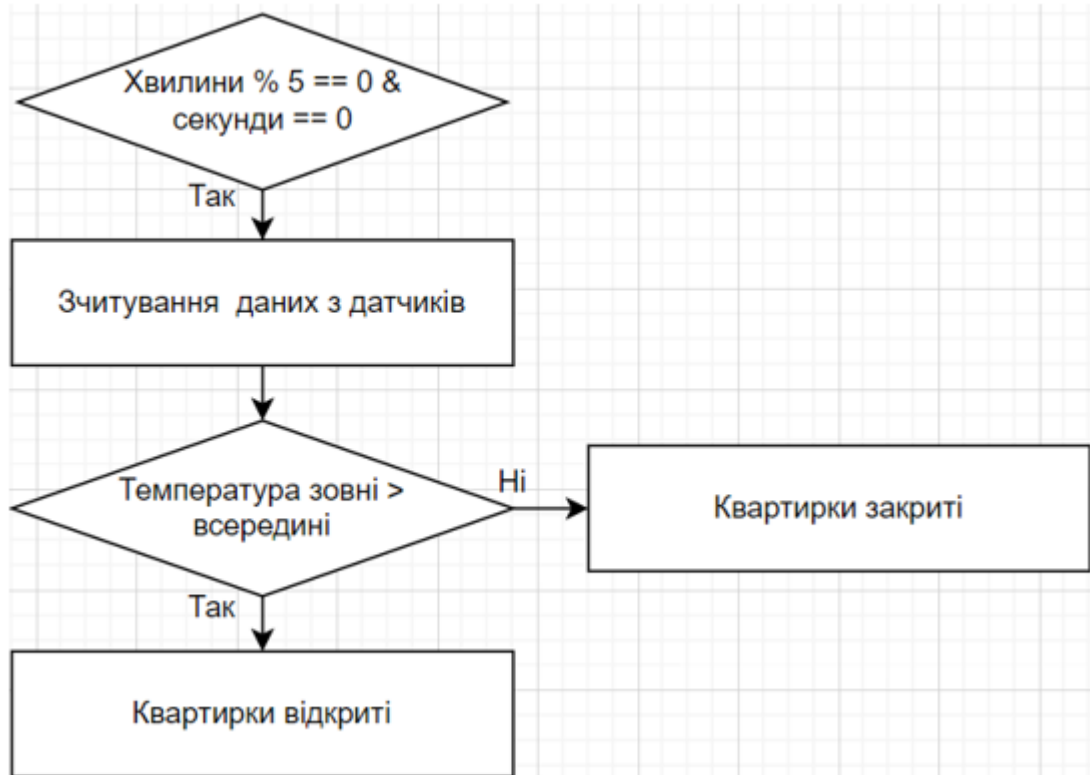


Рисунок 4.6 – Алгоритм керування температурою повітря

Система автоматичного провітрювання та контролю температури в приміщенні друку дозволяє створити індивідуальні умови для кожного сезону року. Можна налаштувати кут відкриття вентиляційних отворів відповідно до розмірів приміщення, та необхідності кількісного заповнення повітрям ззовні.

Крім того, система забезпечує автоматичний контроль температури: при зниженні температури нижче заданого порогу вмикається обігрівач, а при підвищенні – вимикається або, за потреби, активується система охолодження.

Це дозволяє не втручатися в цей процес оператора друку. Також настроївши цю систему, людина відчуває себе добре, так як оптимальні параметри вологості та температури для друку теж комфортні для людини.

4.5 Підсистема контролю за рівнем освітлення

У приміщенні друку встановлено датчик світла, який постійно вимірює його яскравість. Ці дані передаються на мікроконтролер Arduino, який порівнює їх із заданим значенням. Якщо світла недостатньо, мікроконтролер вмикає додаткові лампи через реле. Яскравість ламп та поріг спрацювання датчика можна налаштувати відповідно до потреб оператора друку. Система працює за розкладом: з 9 ранку до 18 вечора, забезпечуючи оптимальне освітлення в певний час доби (рис. 4.7).

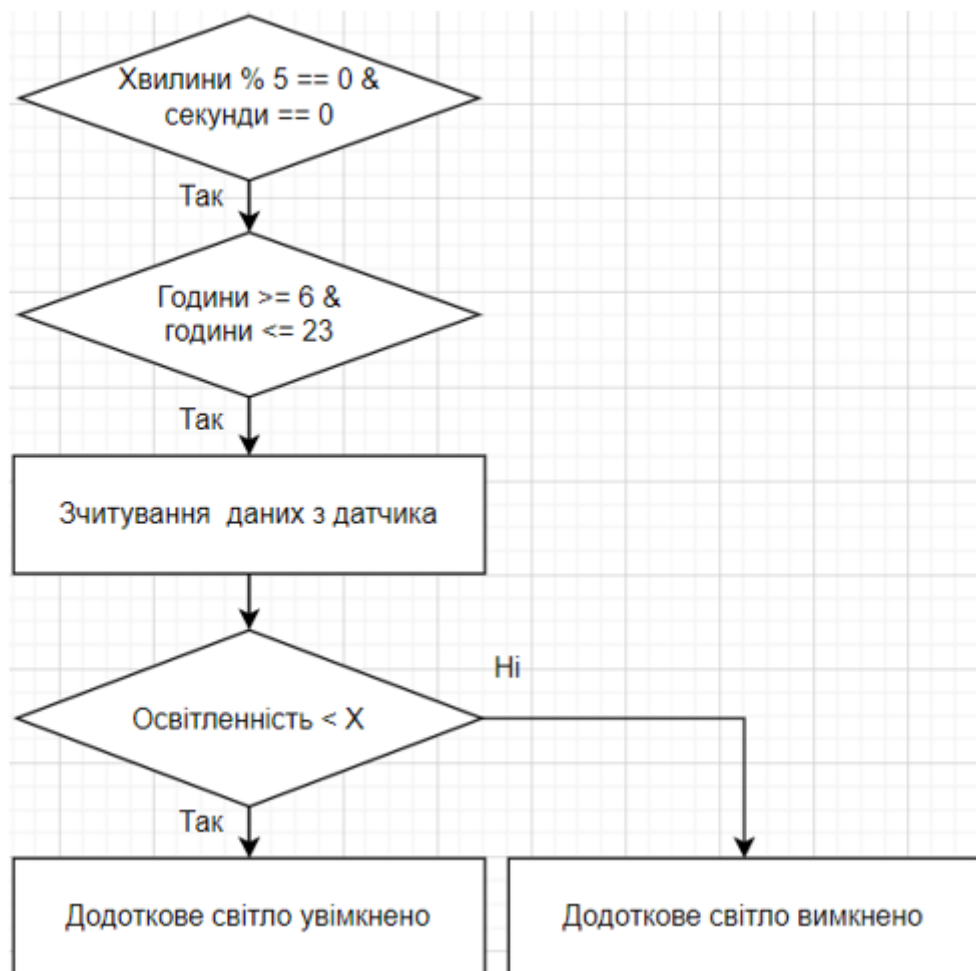


Рисунок 4.7 – Алгоритм контролю за рівнем освітлення

4.6 Підключення LCD

Для візуалізації даних з датчиків температури та вологості, інтегруємо в систему Arduino рідкокристалічний дисплей. Для розширення можливостей підключення периферії ми використовуємо модуль розширення портів PCF8574 (рис. 4.8), який працює за протоколом I2C. Це дозволяє управляти 8 цифровими портами дисплея, використовуючи лише два піни Arduino.

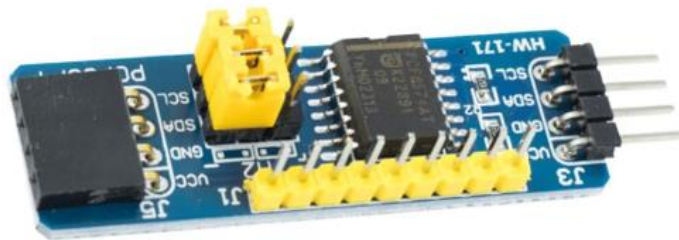


Рисунок 4.8 – Зовнішній вигляд модуля PCF8574

Контакт SDA модуля PCF8574 підключається до аналогового контакту A4 друкованої плати, а контакт SCL – до контакту A5. Контакти A0, A1 і A2 модуля підключаються до землі, контакти P0, P1, P2, P4, P5, P6, P7 – до контактів RS, RW, E, D4, D5, D6, D7 РК-дисплея відповідно.

Схема підключення LCD наведена на рис. 4.9. Червоні дроти підключають плату та РК-дисплей до джерела живлення 5V, чорні – до землі, а зелені відповідають за з'єднання LCD, плати та модуля PCF8574.

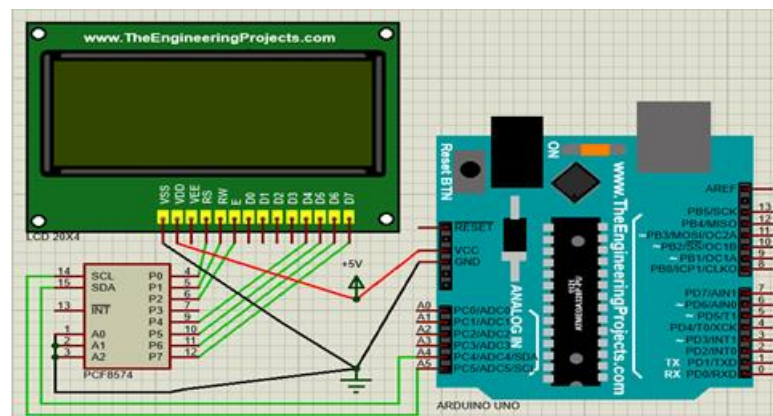


Рисунок 4.9 – Підключення LCD до Arduino Uno

4.7 Програмний код

Цей розділ містить пояснення до функціональних блоків програмного забезпечення, що керують системою. Кожна функція, відповідальна за виконання певної задачі (прівітрювання (рис. 4.10), обігрів (рис. 4.11), зволоження (рис. 4.12) та ін.), описана окремо.

```
void ventilation(float temp1, float temp2) {  
    // якщо температура зовні вище, ніж всередині теплиці, відкриваємо  
    квартирки  
    if (temp2 > temp1) {  
        engine.write(180);  
    }  
    else {  
        engine.write(0);  
    }  
}
```

Рисунок 4.10 – Функція, що відповідає за прівітрювання

Для функції `ventilation` приймаються два параметри типу `float`. Використовуючи оператор `if-else`, перевіряється умова (температура зовні перевищує температуру всередині). Відповідно до результатів цієї перевірки, кут повороту сервоприводу встановлюється функцією `write()`, і передане значення цієї функції вказує кут повороту в градусах.

```

void heating(float temp) {
    // якщо температура менше вказаного значення - вмикаємо обігрів if
    (temp <= 20) {
        digitalWrite(HEATER_RELAY, HIGH);
    }
    if (temp >= 25) {
        digitalWrite(HEATER_RELAY,
        LOW);
    }
}

```

Рисунок 4.11 – Функція, що відповідає за обігрів

Функція `heating` приймає параметр типу `float`. За допомогою двох операторів `if` перевіряються певні умови, і якщо вони виконуються, функція `digitalWrite()` подає на реле напругу `HIGH` (5V) або `LOW` (0V). Перший параметр цієї функції визначає пін на друкованій платі Arduino, до якого підключене реле, а другий – значення напруги.

```

void irrigation(float humidity) {
    // якщо вологість повітря зменшується до 40% - вмикається
    зволожувач
    // при досягненні вологості повітря значення 60% - вимикається
    зволожувач
    if (humidity < 40) { digitalWrite(PUMP_RELAY, HIGH);
    }
    if (humidity > 60) { digitalWrite(PUMP_RELAY, LOW);
    }
}

```

Рисунок 4.12 – Функція, що відповідає за зволоження

Функції `irrigation` та `lighting` розроблені аналогічно до функції `heating`. Однак у функції `lighting` (рис. 4.13) використовується перевірка реального часу за допомогою оператора `if`, і подальша частина функції виконується тільки за умови, що ця перевірка пройшла успішно. Змінній `illumination` присвоюється значення, яке зчитується функцією `analogRead()` з вказаного аналогового піна.

```

void lighting() {
    // якщо освітлення менше вказаного значення - вмикаємо додаткове
джерело світла
    // (лише з 9 години ранку до 18 години вечора) if (time.Hours >= 9 &
time.Hours <= 18) {
        illumination = analogRead(photoresistor); if (illumination < 500) {
            digitalWrite(LED_RELAY, HIGH);
        }
        else {
            digitalWrite(LED_RELAY, LOW);
        }
    }
}

```

Рисунок 4.13 – Функція, що відповідає за освітлення

За відображення даних на РК-дисплеї (рис. 4.14) відповідає функція *data_display*. Їй передається три параметри – два типу *float* і один типу *int*.

```

void data_display(float temperature, float humidity, int light) { LCD.setCursor(0, 0);
    LCD.print(time.getTime("d-m-Y, H:i:s"));

    LCD.setCursor(0, 1);
    LCD.print("T = ");
    LCD.print(temperature)
    ; LCD.write(0);
    LCD.print("C");

    LCD.setCursor(0, 2);
    LCD.print("Humidity:
"); LCD.print(humidity);
    LCD.print("%");

    LCD.setCursor(0, 3);
    LCD.print("Light: ");
    LCD.print(light);
    LCD.print(" lux");
}

```

Рисунок 4.14 – Функція, що відповідає за відображення даних

Перед виконанням програми необхідно імпортувати потрібні бібліотеки, а саме:

- DHT.h – для керування датчиком DHT22;
- Servo.h – для керування сервоприводом;
- iarduino_RTC.h – для керування датчиком реального часу DS1307;
- LiquidCrystal_I2C – для керування LCD.

Для цього використовується директива *#include*, а назва бібліотеки зазначається у кутових дужках (рис. 4.15).

```
#include <DHT.h>
#include <Servo.h>
#include <iarduino_RTC.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

Рисунок 4.15 – Підключення бібліотек

У програмному кодї використовується директива *#define*, яка присвоює імена номерам пінів, через які компоненти (реле, датчики) підключаються до друкованої плати. Функція *setup* включає ініціалізацію датчиків температури та вологості повітря, RTC-модуля, LCD, початкове положення реле та сервопривода, а також встановлює режими роботи пінів як входу (INPUT) або виходу (OUTPUT) за допомогою функції *pinMode()*. Також під час першого запуску тут необхідно вказати поточні дату і час (рис. 4.16); при наступних компіляціях цей рядок можна закоментувати.

```
// (секунди, хвилини, години, число, місяць, рік, день тижня)
time.setTime(55, 4, 18, 8, 5, 23, 1);
```

Рисунок 4.16 – Встановлення дати та часу

Для отримання даних з датчиків DHT22 (рис. 4.17) використовуються функції *readHumidity()* та *readTemperature()*. Щоб уникнути помилок перед виконанням наступної частини програми, додано перевірку, чи не є зчитані дані значеннями NaN (Not a Number).

```
humidity1 = dht1.readHumidity();  
temperature1 = dht1.readTemperature();  
if (isnan(humidity1) || isnan(temperature1)) {  
  Serial.println("Failed to read indicators.");  
  return;  
}
```

Рисунок 4.17 – Дані з датчика DHT22

4.8 Висновки до четвертого розділу

У четвертому розділі було розроблено складові системи автоматичного регулювання температури та вологості, а саме підсистеми, що відповідають за автоматичне функціонування розумної кімнати (контроль за температурним режимом, вологістю повітря та освітленістю). Проект містить датчики температури та вологості повітря DHT22, датчик освітлення (фоторезистор). Для відображення даних з датчиків було використано рідкокристалічний дисплей, який підключається до друкованої плати за допомогою I2C модуля PCF8574.

Також було написано програмний код, що забезпечують коректне функціонування розробленої системи. Для написання даного коду використовувалось Arduino IDE, схема проекту була складена з використанням можливостей PROTEUS.

5 ІДЕНТИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ВОЛОГОСТІ

Ідентифікація математичних моделей параметрів температури та вологості є важливою для розуміння кліматичних умов у приміщенні та ключовим етапом у розробці систем автоматичного контролю мікроклімату. Це може бути використано для оптимізації енергоспоживання, забезпечення комфорту та попередження пошкодження від вологості та дозволяє точно описувати поведінку цих параметрів в часі та просторі, а також прогнозувати їх зміни.

Важливі фактори:

- оптимізація управління. Точні моделі дозволяють розробити ефективні алгоритми управління системами опалення та зволоження;
- прогнозування. За допомогою моделей можна передбачати зміни температури та вологості, що дозволяє своєчасно вживати необхідних заходів;
- аналіз впливу зовнішніх факторів. Моделі допомагають зрозуміти, як зміни зовнішніх умов (температура повітря, вологість) впливають на мікроклімат у приміщенні.

Визначення математичної моделі основних параметрів температури та вологості включає декілька етапів:

1. Збір даних. Перший крок – це збір даних про температуру та вологість у приміщенні протягом визначеного часу. Дані можна зібрати з використанням відповідних датчиків, таких як DHT22.

2. Попередня обробка даних. Необхідно перевірити дані на наявність аномалій та видалити некоректні значення. Також може бути корисним масштабування даних.

3. Вибір моделі. Для моделювання залежності між температурою та вологістю можна використовувати різні методи, такі як:

- лінійна регресія: проста модель, яка підходить, якщо залежність між

параметрами є лінійною. $Y = a + bX$;

- моделі часових рядів (ARIMA). Підходять для аналізу даних, зібраних у вигляді часових рядів;

- машинне навчання (нейронні мережі, дерева рішень). Можуть використовуватись для більш складних моделей та нелінійних залежностей.

4. Побудова та навчання моделі. Використовуючи зібрані дані, навчання обраної моделі. Наприклад, у випадку лінійної регресії, визначте коефіцієнти a та b , щоб отримати рівняння залежності.

5. Оцінка якості моделі. Після навчання моделі важливо оцінити її якість за допомогою метрик, таких як середньоквадратична помилка (MSE) або коефіцієнт детермінації (R^2).

6. Валідація та тестування моделі. Валідація та тестування моделі на нових даних дозволяють оцінити її здатність прогнозувати нові значення.

5.1 Модель лінійної регресії температури та вологості у приміщенні

Лінійна регресія – це статистичний метод, який дозволяє виявити зв'язки між змінними. У контексті температури та вологості, вона дозволяє:

- прогнозувати. Передбачити майбутні значення температури та вологості на основі існуючих даних;

- аналізувати. Виявити, як зміна однієї змінної (наприклад, зовнішньої температури) впливає на іншу (температуру всередині приміщення);

- оптимізувати. Знайти оптимальні умови для системи опалення, вентиляції та кондиціонування.

Процес побудови моделі лінійної регресії:

1. Збір даних: необхідно зібрати дані про температуру та вологість у приміщенні протягом певного періоду часу. Також можуть бути використані дані про зовнішню температуру, сонячну радіацію, вітер тощо.

2. Візуалізація: необхідно побудувати графіки розсіювання (рис. 5.1), щоб візуально оцінити зв'язки між змінними. Наприклад, графік

розсіювання температури всередині та зовні приміщення може показати, чи існує лінійна залежність між ними.

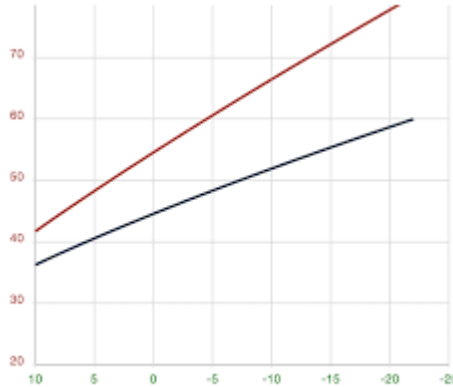


Рисунок 5.1 – Графік розсіювання температури всередині та зовні приміщення

Вибір моделі лінійної регресії. Найпростіша модель має вигляд:

$$y = a + bx.$$

де y – залежна змінна (наприклад, температура всередині);
 x – незалежна змінна (наприклад, зовнішня температура);
 a – вільний член;
 b – коефіцієнт регресії.

Оцінка параметрів параметрів a і b методом найменших квадратів. Це дозволить знайти пряму лінію, яка найкраще описує залежність між змінними.

Перевірка моделі на якість моделі за допомогою різних критеріїв, таких як коефіцієнт детермінації R^2 . Чим ближче R^2 до 1, тим краще модель описує дані.

Використовування отриманої моделі для прогнозування значень залежної змінної при заданих значеннях незалежної змінної.

Фактори, які впливають на точність моделі:

- якість даних. Чим більше даних і чим вони точніші, тим краще буде модель;
- вибір змінних. Важливо вибрати правильні незалежні змінні, які впливають на залежну змінну;
- тип моделі. Для більш складних залежностей можуть знадобитися більш складні моделі, ніж проста лінійна регресія.

Застосування моделі:

- оптимізація енергоспоживання: модель може бути використана для прогнозування необхідної температури зовні і відповідно регулювати роботу системи опалення/пріветрювання;
- контроль мікроклімату: модель може бути використана для створення оптимальних умов у приміщенні для різних цілей;
- розуміння взаємозв'язків: Модель дозволяє зрозуміти, як зміни зовнішніх умов впливають на внутрішній клімат приміщення.

5.2 Створення моделі лінійної регресії для прогнозування вологості на основі температури у приміщенні.

Для створення моделі лінійної регресії для прогнозування вологості на основі температури у приміщенні використано наступні дані (табл. 5.1):

Таблиця 5.1 – Дані з датчика температури

Температура (°C)	Вологість (%)
20	30
22	35
24	40
26	45
28	50

Для побудови моделі лінійної регресії ми використовуємо рівняння:

$$Y = a + bX$$

де Y – залежна змінна (вологість);

X – незалежна змінна (температура);

a – вільний член (інтерцепт);

b – коефіцієнт регресії (нахил лінії).

Кроки побудови моделі лінійної регресії:

1. Визначення коефіцієнтів: Обчислити коефіцієнти a та b , використовуючи метод найменших квадратів.

2. Формули для обчислення:

$$b = \frac{n \sum (X_i Y_i) - \sum X_i \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

$$a = \frac{\sum Y_i - b \sum X_i}{n}$$

3. Обчислення коефіцієнтів на основі даних:

– нехай

$$\sum X = 20 + 22 + 24 + 26 + 28 = 120$$

– нехай

$$\sum Y = 30 + 35 + 40 + 45 + 50 = 200$$

– нехай

$$\sum XY = (20 * 30) + (22 * 35) + (24 * 40) + (26 * 45) + (28 * 50) = 6670$$

– нехай

$$\sum X^2 = 20^2 + 22^2 + 24^2 + 26^2 + 28^2 = 2924$$

$$\sum X^2 = 20^2 + 22^2 + 24^2 + 26^2 + 28^2 = 2924;$$

– кількість спостережень $n = 5$.

Тоді коефіцієнти:

$$b = \frac{5 * 6670 - 120 * 200}{5 * 2924 - 120^2} \approx 5;$$

$$a = \frac{200 - 5 * 120}{5} = 20.$$

Отже, рівняння лінійної регресії: $Y = 20 + 5X$

4. Прогнозування: Використовуючи це рівняння, можна прогнозувати вологість на основі температури. Наприклад, якщо температура становить 25°C: $Y = 20 + 5 * 25 = 145$.

Таким чином, за температури 25°C, прогнозована вологість буде 45%.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Загальні характеристики приміщення

Створення безпечних умов праці – це інвестиція в майбутнє. Завдяки знанням фізіології праці можна оптимізувати робочі процеси, знизити фізичне та психологічне навантаження на працівників. Це, в свою чергу, призводить до зростання продуктивності, зменшення кількості помилок та поліпшення загального самопочуття працівників. Охорона праці – це не лише виконання законодавчих вимог, а й відповідальний підхід до людей, який приносить відчутні результати.

6.2 Стан мікроклімату робочого місця

На працездатність працівника впливають різноманітні фактори мікроклімату (табл. 6.1): температура повітря, вологість, освітленість, рух повітря та теплові випромінювання. Для сидячої роботи, яка не потребує значних фізичних зусиль, існують певні норми мікроклімату, що залежать від пори року.

Таблиця 6.1 – Оптимальні характеристики мікроклімату

Пора року	Температура повітря, °С	Вологість повітря, %
	Оптимальна	Оптимальна
Зима/осінь	від 22 до 24	від 40 до 60
Весна/літо	від 24 до 25	від 40 до 60

Температура в приміщенні залежить не тільки від температури повітря, а й від тепловиділення різних об'єктів, таких як електрообладнання та люди. Незважаючи на додаткове тепло, загальний тепловий баланс у приміщенні

вкладається в норми, зазначені в джерелі [22]. Температура повітря становить комфортні 26°C.

Для забезпечення оптимальних умов роботи в приміщенні передбачено комбіноване освітлення: природне через вікна з регульованими жалюзі та штучне за допомогою центральної люстри зі світлодіодними лампами. Така система освітлення відповідає санітарним нормам, викладеним у джерелі [22].

6.3 Оцінка умов безпеки праці

Відповідно до вимог НПАОП 40.1–1.21–98, приміщення відділу розробки програмного забезпечення класифікується як приміщення з нормальними умовами, оскільки відсутні фактори, що підвищують ризик ураження електричним струмом. Для забезпечення безпеки використовується електрощит з пристроєм захисту, а всі розетки мають відповідне маркування. Робочі регулярно проходять інструктаж з охорони праці.

Згідно з нормативним документом НПАОП 0.00–4.12–05, підприємства зобов'язані проводити комплексний інструктаж з охорони праці, який включає в себе вступний, первинний на робочому місці, повторний, позаплановий та цільовий інструктажі.

Розрахунок занулення – це комплекс технічних розрахунків, спрямованих на визначення параметрів системи занулення, які забезпечать надійний захист від ураження електричним струмом у разі виникнення аварійних ситуацій.

Основні завдання розрахунку занулення:

- визначення струму короткого замикання. Розрахунок величини струму, який виникне при короткому замиканні між фазним провідником та зануленим корпусом обладнання. Цей параметр необхідний для вибору пристроїв захисту (автоматичних вимикачів, плавких запобіжників), які повинні спрацювати вчасно і відключити пошкоджену ділянку мережі;
- визначення часу спрацювання захисту. Розрахунок часу, за який

пристрій захисту відключить пошкоджену ділянку мережі після виникнення короткого замикання. Цей параметр важливий для забезпечення безпеки людини, оскільки чим швидше відбудеться відключення, тим менше часу людина буде піддаватися впливу електричного струму;

– визначення напруги дотику. Розрахунок напруги, яка може виникнути між зануленим корпусом обладнання і землею в аварійний період. Цей параметр дозволяє оцінити ступінь небезпеки для людини при дотику до зануленого корпусу.

6.4 Електробезпека

Оцінка ризику ураження електричним струмом в приміщенні показала, що за відсутності факторів, що підвищують провідність, таких як висока вологість чи хімічні речовини, небезпека ураження є мінімальною. Електромережа обладнана відповідно до вимог безпеки: використовується трипровідна система з заземленням, що забезпечує захист від ураження електричним струмом.

Основними причинами потенційної пожежі в приміщенні можуть бути несправність електрообладнання та порушення правил пожежної безпеки. Для зменшення ризику було вжито низку заходів: використання негорючих матеріалів, встановлення системи пожежної сигналізації та проведення інструктажу персоналу

6.5 Вимоги безпеки праці в аварійних ситуаціях.

При виявленні пожежі працюючий повинен: негайно повідомити про це начальника ПСО, найближчу пожежну частину чи чергового райвідділу внутрішніх справ та відповідального за охорону праці; подати сигнал тривоги; приступити до гасіння пожежі підручними засобами, про необхідності організувати евакуацію людей і тварин з небезпечної зони. Рухатись в

задимленому приміщенні слід вздовж стін прикривши рот і ніс мокрим платком. Якщо загорівся одяг, кого зривають або гасять, обгорнувши людину щільною тканиною (ковдра, кошма, брезент і т.д.).

При нещасному випадку потерпілому необхідно надати першу допомогу, про випадок повідомити керівника робіт, при необхідності потерпілого відправити в лікарню. До повного розслідування зберегти на робочому місці обставини і обладнання такими, якими вони були в момент нещасного випадку (якщо це не загрожує життю і здоров'ю працюючих і не порушить безперервного технологічного процесу).

ВИСНОВКИ

В рамках кваліфікаційної роботи була розроблена система автоматичного управління мікрокліматом приміщення, де виконується сублімаційний друк на папері на базі Arduino Uno. Система здатна відстежувати та регулювати температуру та вологість повітря, забезпечуючи оптимальні умови для друку а також для самопочуття людини (оператора), яка відстежує процес друку.

Проведені дослідження та тестування підтвердили ефективність розробленого рішення.

Мета роботи була досягнута: створена система автоматичного управління мікрокліматом, яка дозволяє ефективно контролювати умови мікроклімату і забезпечувати якісний друк.

Використання мікроконтролера Arduino Uno забезпечило гнучкість та доступність системи.

Проведені експерименти підтвердили здатність системи до точного вимірювання та регулювання кліматичних параметрів.

Отримані результати роботи можна віднести до цілей сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», а саме до пункту 9.4 «Сприяти прискореному розвитку високо- та середньо- високотехнологічних секторів переробної промисловості, які формуються на основі використання ланцюгів «освіта – наука – виробництво», та кластерного підходу за напрямками: «розвиток інформаційно-телекомунікаційних технологій (ІКТ); застосування ІКТ в АПК, енергетиці, транспорті та промисловості; високотехнологічне машинобудування».

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка, освітньо-професійних програм: «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкоровайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипенко, О. М. Цимбал. Харків: ХНУРЕ, 2024. 57 с.
2. ДСТУ 3008: 2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. К.: ДП «УкрНДНЦ». 2016. 30 с.
3. Проектування та виготовлення розумної теплиці с Наглядний контроль параметрів навколишнього середовища / Ю. Алавіян, Н. Агасієдабдолла, М.Садафі, А. Яздізаде. // Іранська конференція з обробки сигналів та інтелектуальних систем (ICSPIS). – 2020. – С. 3.
4. Болл Стюарт Р. Аналогові інтерфейси мікроконтролерів / Р. Болл Стюарт – М.: Видавничий дім «Додека – XXI», 2017. – 360с..
5. Мелешин В.І. Транзисторна перетворювальна техніка/В.І. Мелешин - М.: Техносфера, 2017. - 632с.
6. Алехандро Кастаньєда-Міранда. Розумний контроль заморозків в теплицях за допомогою моделей нейронних мереж / Алехандро КастаньєдаМіранда, Віктор М. Кастаньо. // <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2017.03.024>. – 2017. – С. 3–7.
7. DHT-11. [Електронний ресурс]: документація. – режим доступу: <http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>.
8. DS18B20. [Електронний ресурс]: документація. – режим доступу: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temp/DS18B20.pdf>.
9. I2C 1602 Serial LCD Module. [Електронний ресурс]: документація. – режим доступу: <https://opencircuit.nl/ProductInfo/1000061/I2C-LCD->

interface.pdf.

10. Крамарова В. О. Створення системи дистанційного контролю та моніторингу мікрокліматом // Автоматизація та приладобудування (Automation and Development of Electronic Devices): збірник студентських наукових статей. – Харків, ХНУРЕ, 2021р. – С. 63-67.

11. Raspberry Pi Wikipedia: [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi.

12. Arduino Wikipedia [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: <https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino>.

13. Arduino Uno: [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: <https://cdn.shoplightspeed.com/shops/642375/files/29464252/800x800x3/arduino-uno-r3-development-board.jpg>.

14. Getting Familiar With Arduino IDE: [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: <https://www.techtonions.com/getting-familiar-with-arduino-ide/>.

15. Офіційний сайт компанії Arduino [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: <https://www.arduino.cc/>.

16. DHT22: [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: https://shop.nag.ru/files/new_shop/items/DHT22/main/9713f9c089c22b6037192cb-ed4ddaff.webp.

17. DHT11: [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: https://3d-diy.ru/upload/resize_cache/webp/iblock/6e3/cifrovoj-datchik-temperature-i-vlazhnosti-dht11.webp

18. Proteus: [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: <https://www.labcenter.com/.20>.

19. Модуль реле: [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: https://images.prom.ua/3534654525_w640_h640_modul-1-rele.jpg.

20. Arduino: [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: <https://arduino.ua>

21. Романов Н. Огляд сучасних технологій нанесення зображення на

тканеві матеріали із природних та синтетичних матеріалів. URL:
<http://surl.li/hrjm>

22. Правила охорони праці під час експлуатації електроннообчислювальних машин. НПАОП 0.00-1.28-10 (затверджено наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 26.03.2010р. № 65).

23. Методичні вказівки до виконання розділу "Охорона праці" у випускних роботах ОКР "бакалавр" усіх форм навчання / упоряд.: В. А. Айвазов, Т. Є. Стиценко., Н. Л. Березуцька ; М-во освіти і науки України, ХНУРЕ. – Харків : ХНУРЕ, 2018. – 28 с. – 1,81.