

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОНІКИ, РОБОТОТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ МОНІТОРИНГУ
ТА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
_____ Володимир ШУТКО
« ____ » _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 171 «ЕЛЕКТРОНІКА»
ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЇ ПРОГРАМИ «ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ»

Тема: «Система моніторингу мікроклімату в приміщенні на базі платформи
Arduino»

Виконавець
студент групи ЕС-407Б _____ Середенко Владислав Борисович

Керівник
к.т.н., доцент _____ Морозова І.В.

Нормоконтролер _____ Сініцин Р.Б.

КИЇВ 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОНІКИ, РОБОТОТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
МОНІТОРИНГУ ТА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ
171 «ЕЛЕКТРОНІКА», ОПП«ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ»

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

_____ Шутко В.М.

« ___ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

_____ Середенко Владислав Борисович _____

(П.І.Б., випускника)

1. Тема дипломної роботи: «Система моніторингу мікроклімату в приміщенні на базі платформи Arduino» затверджена наказом ректора від «23» березня 2023 р. № 387/ст.
2. Термін виконання роботи: з «23» березня 2023р. по «21» травня 2023р.
3. Вихідні дані до роботи: розробити систему дистанційного керування камерою.
4. Зміст пояснювальної записки: 1 Мікроклімат та його складові, 2 Огляд існуючих аналогів портативних цифрових систем моніторингу, 3 Огляд обраних компонентів та засобу програмної розробки, 4 Електронна система моніторингу мікроклімату.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстрованого) матеріалу: таблиці, рисунки, код програми.

6. Календарний план-графік

№ п/п	Завдання	Термін виконання етапів	Відмітка про виконання
1.	Затвердження теми бакалаврської роботи	23.03.2023р	
2.	Вивчення літератури	24.03.2023р.- 03.04.2023р.	
3.	Мікроклімат та його складові	04.04.2023р.- 09.04.2023р.	
4.	Огляд існуючих аналогів портативних цифрових систем моніторингу	10.04.2023р.- 14.04.2023р.	
5.	Огляд обраних компонентів та засобу програмної розробки	15.04.2023р.- 22.04.2023р.	
6.	Реалізація електронної системи моніторингу мікроклімату	23.04.2023р.- 14.05.2023р.	
7.	Оформлення та усунення недоліків дипломної роботи	15.05.2023р.- 21.05.2023р.	

Дата видачі завдання: «23» березня 2023 р.

Керівник дипломної роботи _____

(підпис керівника)

Морозова І.В.

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис випускника)

Серденко В.Б.

(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Система моніторингу мікроклімату в приміщенні на базі платформи Arduino» містить:

44 сторінок, 17 рисунків, 4 таблиці, 17 використаних джерела.

Актуальність теми полягає у необхідності контролю мікроклімату для забезпечення комфортного середовища для людей.

Мета роботи – розробка системи моніторингу мікроклімату в приміщенні на базі Arduino Nano.

Об’єкт дослідження система моніторингу мікроклімату в приміщенні.

Предмет дослідження – компоненти та засоби для розробки системи моніторингу на базі платформи Arduino.

Мета дипломної роботи – полягає в розробці компактної, простої системи моніторингу мікроклімату в приміщенні на базі Arduino Nano.

Використані методи дослідження включають аналіз існуючих рішень, проектування схеми підключення компонентів, розробку програмного забезпечення. Технічні засоби включають Arduino Nano, дисплей LCD 2004, сенсорну кнопку ТТР223, датчики ВМЕ280, МН-Z19В, DS3231, світлодіод RGB та інші допоміжні елементи схеми.

Основні конструктивні характеристики системи включають компактність, доступність компонентів та легкість впровадження. Технологічні характеристики включають високу точність вимірювань, стабільність роботи та можливість розширення функціоналу.

Отримані результати включають розроблену структурну, принципову електричну схему, алгоритм роботи та програмну реалізацію системи моніторингу мікроклімату, яка буде відображати температуру, вологість, атмосферний тиск, рівень вуглекислого газу. Новизна полягає в інтеграції різних сенсорів та компонентів у єдину систему на базі Arduino Nano.

Ключові слова: МІКРОКОНТРОЛЕР, ДАТЧИКИ, ARDUINO, МІКРОКЛІМАТ, СИСТЕМА, МЕТЕОСТАНЦІЯ, СХЕМА.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. МІКРОКЛІМАТ ТА ЙОГО СКЛАДОВІ.....	10
1.1. Мікроклімат.....	10
1.2. Температура.....	10
1.3. Атмосферний тиск.....	11
1.4. Відносна вологість повітря.....	11
1.5. Рівень вуглекислого газу.....	11
1.6. Швидкість руху повітря.....	12
1.7. Тепловий комфорт.....	12
РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ АНАЛОГІВ ПОРТАТИВНИХ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ.....	13
2.1. Вимірювач рівня CO2 TFA Airco2ntrol Coach.....	13
2.2. Метеостанція Netatmo.....	14
2.3. Метеостанція La Crosse WS6811.....	15
2.4. Метеостанція Govee H5074.....	16
2.5. Метеостанція TFA Weather Pro 35116101.....	17
РОЗДІЛ 3. ОГЛЯД ОБРАНИХ КОМПОНЕНТІВ ТА ЗАСОБУ ПРОГРАМНОЇ РОЗРОБКИ.....	19
3.1. Огляд та характеристики Arduino Nano.....	19
3.2. Середовище розробки Arduino IDE.....	20
3.3. LCD дисплей 20x4 p з підключенням через інтерфейс I2C.....	21
3.4. Датчик вуглекислого газу MH-Z19B.....	23
3.5. Датчик температури, вологості та тиску VME 280.....	24
3.6. Ємнісна кнопка TTP223B (датчик торкання).....	25
3.7. Модуль реального часу DS3231.....	26
3.8. Інші елементи системи.....	27
3.9. Розрахунок енергоспоживання системи моніторингу мікроклімату.....	28
РОЗДІЛ 4. ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ МІКРОКЛІМАТУ.....	30
4.1. Створення структурної схеми.....	30

4.2. Створення принципової електричної схеми	31
4.3. Алгоритм роботи системи	34
4.4. Програмна реалізація	36
ВИСНОВКИ	41
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	43

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

GND (англ. GROUND) — точка нульового потенціалу мікросхеми (земля).

I2C — це послідовна шина даних для зв'язку інтегральної схеми.

IDE (англ. Integrated Development Environment) — складне програмне забезпечення рішення для розробки програмного забезпечення.

LCD (Liquid Crystal Display) — електронний пристрій візуалізації відображення інформації.

SCL або SCK — це послідовний тактовий сигнал.

SDA (Serial Data) — це послідовна лінія даних.

VCC (Voltage Collector, переклад – колектор напруги) – плюс живлення щодо GND.

CO₂ – вуглекислий газ.

TX - Transmit (Передавач). TX - це умовне позначення лінії або порту, який використовується для передачі даних від одного пристрою до іншого.

RX - Receive (Приймач). RX - це умовне позначення лінії або порту, який використовується для отримання даних від іншого пристрою.

UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) - Універсальний асинхронний приймач/передавач. Це обладнання, що перетворює байти даних з комп'ютера в потік бітів для передачі через інтерфейс.

ВСТУП

У сучасному світі системи на базі мікроконтролерів швидко набирають популярність, оскільки вони пропонують широкі можливості автоматизації та контролю різноманітних процесів у повсякденному житті людини. Використання мікроконтролерів відкриває нові горизонти в області розвитку пристроїв, які можуть полегшити наше життя, підвищити ефективність праці та забезпечити комфортні умови для людини. Одним з таких напрямків є створення електронних систем моніторингу мікроклімату, які дозволяють відстежувати та контролювати основні параметри середовища, в якому ми живемо, працюємо та навчаємося.

Ціль даної кваліфікаційної роботи полягає у розробці електронної системи моніторингу мікроклімату на основі мікроконтролера Arduino Nano. Дана система дозволить людині працювати та жити в умовах, які відповідають її фізіологічним потребам. У сучасному світі важливість контролю мікроклімату зростає, оскільки відповідні умови роботи та навчання впливають на працездатність та самопочуття людини.

Сьогодні все частіше виникає необхідність моніторингу таких параметрів як температура, відносна вологість повітря та рівень вуглекислого газу в приміщенні. Від цих параметрів залежать рівень комфорту, працездатності та здоров'я людей. Зокрема, неправильне відношення температури та вологості може призвести до різних проблем зі здоров'ям, таких як зниження імунітету, розлади серцево-судинної системи та дискомфорт від перебування в даному середовищі. Рівень CO₂ також має велике значення, бо висока концентрація даного газу може призвести до головного болю, втоми та погіршення рівня уваги.

Враховуючи вищенаведені фактори, метеостанція, запропонована в рамках даної кваліфікаційної роботи, повинна забезпечувати точність вимірювань, простоту використання та доступність для користувачів.

У рамках даного проекту будуть розглянуті основні теоретичні аспекти моніторингу мікроклімату та використання системи на базі мікроконтролерів для

цієї мети. Також будуть розроблені практичні рішення, що включатимуть розробку структурної схеми, схему підключення компонентів системи, розробка алгоритму системи та реалізація програмного коду для Arduino Nano.

Тема даної роботи має актуальне значення, оскільки розвиток систем на базі мікроконтролерів є одним з найбільш прогресивних напрямків у сучасному житті людини. Реалізація такої системи моніторингу мікроклімату може знайти застосування в різних сферах, включаючи домашні умови, офіси, навчальні заклади та промислові об'єкти. Крім того, успішна реалізація даного проекту сприятиме підвищенню свідомості користувачів про необхідність контролю мікроклімату та стимулюватиме науково-технічний прогрес у галузі розробки автоматизованих систем контролю середовища.

Розробка компактної метеостанції на основі мікроконтролера Arduino Nano є важливим кроком у розумінні можливостей та перспектив розвитку систем на основі мікроконтролерів у сучасному житті людини. Дана розробка буде демонструвати практичний підхід для створення корисних та доступних технічних рішень, які можуть покращити якість життя та праці людей. Успішна реалізація даної системи відкриває нові горизонти для подальшого розвитку та інтеграції нових рішень у повсякденне життя.

Отже, розробка електронної системи моніторингу мікроклімату є актуальним та перспективним напрямком досліджень у галузі систем на базі мікроконтролерів. Успішне завершення даної роботи дозволить отримати необхідні знання та навички для подальшого розвитку та впровадження нових рішень у повсякденне життя та професійну діяльність.

РОЗДІЛ 1. МІКРОКЛІМАТ ТА ЙОГО СКЛАДОВІ

1.1. Мікроклімат

Мікроклімат визначається як сукупність кліматичних умов, що характеризують конкретний невеликий простір або область. Ці умови можуть суттєво відрізнятися загальних умов клімату в більш широкому районі або регіоні. Мікроклімат в приміщенні має значний вплив на здоров'я, комфорт та працездатність людини, тому контроль мікроклімату є важливим завданням в робочих та житлових просторах.

Складові мікроклімату включають температуру, атмосферний тиск, тепловий комфорт відносно вологості повітря, швидкість повітря та рівень вуглекислого газу. За нормальних параметрів мікроклімату, температура людини зберігається на рівні 36,6°C. Кількість тепла, що генерується в організмі, регулюється фізичним навантаженням людини, тоді як рівень теплового випромінювання залежить від мікрокліматичних умов виробничого середовища [1]. При високій температурі повітря значна кількість тепла втрачається через випарування. Втрата води, вітамінів, мінеральних солей разом з потом може призвести до зневоднення та порушення метаболізму. Розглянемо кожен з параметрів мікроклімату окремо.

1.2. Температура

Температура повітря в приміщенні впливає на тепловий комфорт та здоров'я людини. За ГОСТ 30494-2011, оптимальний температурний режим для житлових та громадських будівель становить 20-24 °C залежно від сезону та типу приміщення [2]. Занадто низька температура може призвести до гіпотермії та зниження імунітету, а занадто висока - до збільшення ризику теплового удару та сприяти поширенню мікроорганізмів.

1.3. Атмосферний тиск

Атмосферний тиск - це тиск, яку діє на земну поверхню та тіла які розміщені на ній. Він вимірюється в гектопаскалях (гПа) або міліметрах ртутного стовпчика (мм рт. ст.). Зміни атмосферного тиску можуть впливати на самопочуття людини, спричиняти головний біль, втому, порушення сну та інші симптоми. Атмосферний тиск в приміщеннях зазвичай є стабільним і досить близьким до зовнішнього атмосферного тиску, оскільки будівлі не є герметичними і дозволяють обмін повітря між внутрішнім та зовнішнім середовищем.

Однак, системи вентиляції можуть впливати на атмосферний тиск в приміщеннях. Це відбувається через створення перепаду тиску, коли повітря прокачується в або з приміщення.

1.4. Відносна вологість повітря

Відносна вологість повітря - це відношення кількості водяних парів у повітрі до максимально можливої кількості водяних парів при даній температурі, задане у відсотках. Оптимальна відносна вологість для комфортного проживання та роботи в приміщеннях становить 40-60% [1]. Занадто низька вологість може призвести до сухості слизових оболонок, зниження імунітету, тоді як занадто висока вологість сприяє розвитку плісняви, мікроорганізмів та забруднення повітря .

1.5. Рівень вуглекислого газу

Вуглекислий газ є продуктом дихання людей та тварин. Високий рівень CO₂ у приміщеннях може свідчити про недостатній повітрообмін та вентиляцію. Згідно з дослідженнями, підвищений рівень CO₂ може негативно впливати на рішення та когнітивні функції людини, що призводить до погіршення продуктивності роботи [3]. Рекомендовані концентрації CO₂ у приміщеннях становлять 350-1000 ppm (частин на мільйон), хоча деякі джерела дозволяють до 2000 ppm для короткотривалого впливу.

1.6. Швидкість руху повітря

Швидкість руху повітря впливає на теплові відчуття людини та є важливим параметром для забезпечення комфорту в приміщенні. При занадто високій швидкості руху повітря може виникати неприємне відчуття прохолоди та середовища в якому некомфортно перебувати, в той час як занадто низька швидкість може призводити до стійкості повітря та відсутності відчуття свіжості.

Зазвичай, рекомендується підтримувати швидкість руху повітря в діапазоні від 0,1 м/с до 0,2 м/с для забезпечення оптимального комфорту. У рамках даної роботи швидкість руху повітря не вимірюється, проте можна враховувати при плануванні вентиляції або кондиціонування приміщення.

1.7. Тепловий комфорт

Тепловий комфорт є одним з основних параметрів мікроклімату приміщення, який впливає на комфорт і продуктивність людей, що перебувають у приміщенні. Загалом, тепловий комфорт залежить від кількох факторів, таких як температура, вологість, швидкість руху повітря.

Прийнято вважати, що верхнім порогом терморегуляції людини, яка перебуває у стані відпочинку, є 30–31°C при відносній вологості 85% або 40°C при відносній вологості 30%. Під час виконання інтенсивної фізичної роботи, цей поріг суттєво знижується, і рівновага або комфортні умови підтримуються при температурі повітря 12–14 °C [4].

РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ АНАЛОГІВ ПОРТАТИВНИХ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ

Постійний моніторинг мікроклімату в приміщенні важливий для забезпечення комфорту людей, ефективності виробничих процесів та зберігання матеріалів. Портативні цифрові пристрої для моніторингу дозволяють вимірювати такі параметри, як температура, вологість, атмосферний тиск та рівень CO₂, та забезпечують зручність та мобільність. У цьому розділі роботи наведено огляд існуючих аналогів портативних цифрових систем моніторингу, розглядаються їхні особливості та порівнюються характеристики.

2.1. Вимірювач рівня CO₂ TFA Airco2ntrol Coach

TFA Airco2ntrol Coach - це портативний цифровий пристрій (рис. 2.1.), призначений для моніторингу мікроклімату приміщення. Цей пристрій дозволяє вимірювати різні параметри мікроклімату, включаючи концентрацію вуглекислого газу, температуру та вологість повітря.



Рис. 2.1. Зовнішній вигляд TFA Airco2ntrol Coach [5]

Основні характеристики TFA Airco2ntrol Coach включають [5]:

- Діапазон вимірювання температури: від 0 до +50 градусів Цельсія.
- Діапазон вимірювання вологості: від 1% до 95%.
- Діапазон вимірювання CO2: від 0 до 9999 ppm.
- Акумуляторне живлення: з можливістю зарядки від USB.
- Індикатори якості повітря: сигналізують про низький, середній та високий рівень CO2.

TFA Airco2ntrol Coach 31500902 - це компактний та ефективний інструмент для моніторингу якості повітря в приміщеннях, який може використовуватися для виявлення проблем з вентиляцією або надмірної концентрації CO2.

2.2. Метеостанція Netatmo

Netatmo – це портативна метеостанція (рис. 2.2), що пропонує вимірювання температури, відносної вологості, атмосферного тиску, рівня шуму та CO2. Пристрій сумісний зі смартфонами на базі iOS та Android та підключається до них через Wi-Fi.



Рис. 2.2. Зовнішній вигляд метеостанція Netatmo [6]

Основні характеристики Netatmo [6]:

- Діапазон вимірювання температури: -40...+65 °C;
- Діапазон вимірювання відносної вологості: 0...100 %;
- Діапазон вимірювання атмосферного тиску: 260...1160 hPa;
- Рівень шуму: 35...120 dB;
- Рівень CO₂: 0...5000 ppm.

2.3. Метеостанція La Crosse WS6811

La Crosse WS6811 - це сучасна портативна метеостанція, що вимірює температуру, відносну вологість і атмосферний тиск, як всередині, так і поза приміщенням. Пристрій має стильний дизайн і вбудований дисплей, на якому відображаються поточні показники.

Основні характеристики La Crosse WS6811 [7]:

- Діапазон вимірювання температури: -40...+60 °C (внутрішній сенсор), -40...+60 °C (зовнішній сенсор);
- Діапазон вимірювання відносної вологості: 10...99 %;
- Діапазон вимірювання атмосферного тиску: 300...1100 hPa;
- Бездротова передача даних між основним пристроєм та дистанційним датчиком;
- Вбудований дисплей для відображення поточних показників температури, вологи та атмосферного тиску;
- Відображення прогнозу погоди на основі змін атмосферного тиску;
- Функція будильника та календаря.

La Crosse WS6811 є відмінним варіантом для тих, хто шукає портативну метеостанцію з різними функціями вимірювання та стильним дизайном (рис. 2.3). Пристрій може бути використаний як вдома, так і в офісі для контролю мікроклімату приміщення.



Рис. 2.3. Зовнішній вигляд метеостанції La Crosse WS6811 [7]

2.4. Метеостанція Govee H5074

Govee H5074 - компактна та доступна портативна метеостанція (зображено на рис. 2.4), яка вимірює температуру та вологість. Пристрій має вбудований дисплей для відображення даних та можливість бездротової передачі даних на смартфон через Bluetooth. Характеристики Govee H5074:

- Діапазон вимірювання температури: -20...+60 °C
- Діапазон вимірювання відносної вологості: 0...99 %



Рис. 2.4. Зовнішній вигляд метеостанції Govee H5074 [8]

2.5. Метеостанція TFA Weather Pro 35116101

TFA Weather Pro 35116101 є портативною метеостанцією, яка вимірює температуру, відносну вологість, атмосферний тиск, швидкість вітру та напрямок вітру. Цей пристрій має вбудований дисплей, який відображає поточні показники та місцеві прогнози погоди.

Основні характеристики TFA Weather Pro 35116101[9]:

- Діапазон вимірювання температури: -40...+60 °C (внутрішній сенсор), -40...+60 °C (зовнішній сенсор);
- Діапазон вимірювання відносної вологості: 1...99 %;
- Діапазон вимірювання атмосферного тиску: 300...1100 hPa;
- Діапазон вимірювання швидкості вітру: 0...180 км/год;
- Вимірювання напрямку вітру: 16 напрямків;
- Бездротова передача даних між основним пристроєм та дистанційним датчиком;
- Вбудований дисплей для відображення поточних показників температури, вологості, атмосферного тиску, швидкості вітру та напрямку вітру;
- Відображення прогнозу погоди на основі змін атмосферного тиску.

TFA Weather Pro 35116101 (рис. 2.5) є відмінним варіантом для тих, хто шукає портативну метеостанцію з різними функціями вимірювання та можливістю відстежувати місцеві погодні умови. Пристрій може бути використаний як вдома, так і в офісі для контролю мікроклімату приміщення.



Рис. 2.5. Зовнішній вигляд метеостанції TFA Weather Pro 35116101[9]

Огляд існуючих аналогів портативних цифрових пристроїв, таких як TFA Airco2ntrol Coach, Netatmo, La Crosse WS6811, TFA Weather Pro 35116101 та Govee H5074, демонструє різноманітність побутових пристроїв, які доступні на ринку. Вибір конкретної метеостанції залежить від потреб користувача, бажаних параметрів вимірювання та бюджету. При розробці системи моніторингу мікроклімату на базі Arduino Nano необхідно враховувати переваги та недоліки існуючих рішень, а також намагатись забезпечити доступність, надійність та ефективність використання пристрою.

РОЗДІЛ 3. ОГЛЯД ОБРАНИХ КОМПОНЕНТІВ ТА ЗАСОБУ ПРОГРАМНОЇ РОЗРОБКИ

3.1. Огляд та характеристики Arduino Nano

Arduino Nano - це компактна плата мікроконтролера (рис. 3.1), яка працює на базі ATmega328P (представлено в табл. 3.1) та є частиною сімейства Arduino. Вона була розроблена для тих, хто шукає компактні рішення з вбудованими функціями Arduino. Завдяки своєму розміру та функціональності, Arduino Nano стала популярним вибором для різноманітних проектів, які вимагають малого розміру та гнучкості.

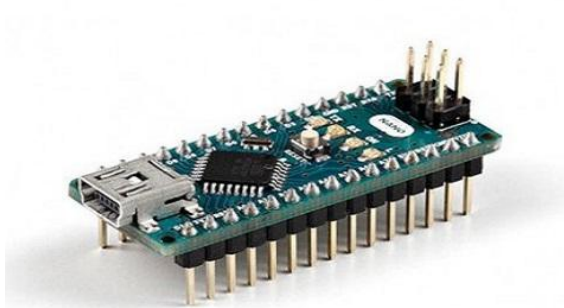


Рис. 3.1. Зовнішній вигляд плати Arduino Nano [10]

Таблиця 3.1

Технічні характеристики Arduino Nano 328p [10]

Процесор	ATmega328P
Вхідна напруга	5 В /7-12 В
Тактова частота	16 МГц
Аналогові входи	8
Цифрові входи, виходи/PWM	14/6
EEPROM	1 КБ
SRAM	2 КБ
Flash-пам'ять	32 КБ
Тип роз'єму для	USB Mini

Плата може живитися від зовнішнього джерела живлення через роз'єм Mini-USB або зовнішніх джерел живлення з напругою від 7 до 12 В. Вбудований стабілізатор напруги забезпечує вихідну напругу 5 В та 3,3 В для забезпечення стабільної роботи плати та підключених до неї компонентів. Цифрові входи або виходи можуть працювати з напругою 5 В та забезпечують максимальний струм до 40 мА.

Arduino Nano підтримує стандартний UART інтерфейс для серійного зв'язку з іншими пристроями, а також I2C та SPI протоколи для спілкування з різними сенсорами та актуаторами.

Дана компактна плата мікроконтролера ідеально підходить для різноманітних вбудованих систем, де розмір плати та споживання енергії є досить важливими факторами.

3.2. Середовище розробки Arduino IDE

Arduino IDE - це інтегроване середовище розробки, яке пропонує зручний інтерфейс (рис. 3.2) для написання програмного коду та його завантаження на різні плати Arduino. Дане програмне забезпечення, доступне для різних операційних систем, включаючи Windows, Linux та macOS [11].

Arduino IDE має простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, який складається з текстового редактора для написання коду, повідомлень про стан для відображення повідомлень та повернення від Arduino, а також ряду кнопок для компіляції та завантаження коду на плату.

Переваги Arduino IDE:

- Відкрите програмне забезпечення з відкритим кодом;
- Сумісність з різними операційними системами;
- Простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс;
- Наявність великої кількості бібліотек для роботи з різними апаратними компонентами.

- Підтримка мови програмування C++;

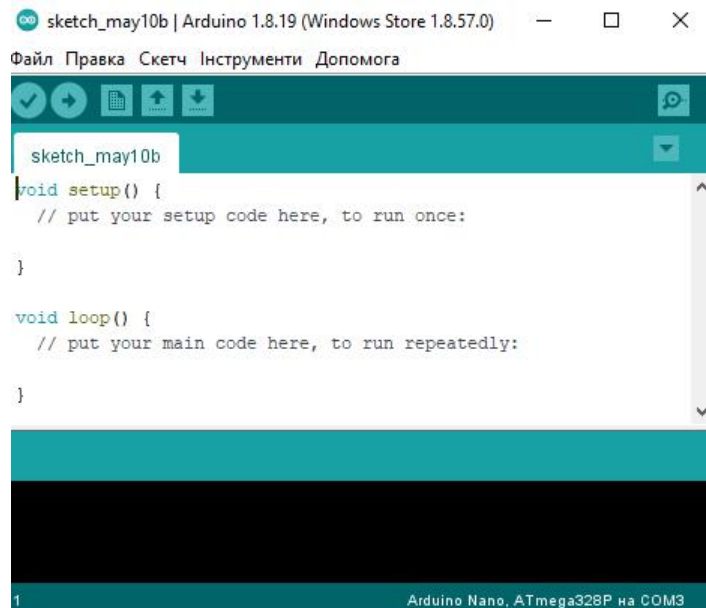


Рис. 3.2. Стартове вікно середовища розробки Arduino IDE

Таким чином, Arduino IDE - це потужне та гнучке середовище розробки, яке ідеально підходить для розробки проектів на основі Arduino, як у нашому випадку – системи моніторингу за мікрокліматом.

3.3. LCD дисплей 20x4 р з підключенням через інтерфейс I2C

Дисплей (рис. 3.3) складається з РК-дисплея на 20 символів x 4 рядки з синьою підсвіткою і білими символами. Кожен із символів складається з матриці 5 x 8 для гарного виділення символів.

Підсвітка має потенціометр для регулювання контрастності дисплея для приємнішого для очей відображення (рис. 3.4).

Характеристики:

- 20 символів x 4 рядки синього РК-дисплея;
- Інтерфейс I2C;
- Регульована інтенсивність і контрастність підсвічування;
- Робоча напруга 5В;

- Розмір дисплея (PCB) - 99 x 60 мм;
- Висота дисплея з друкованою платою - 21 мм;
- Рамка дисплея - 97 x 40 мм.

Піни підключення:

- GND;
- VCC;
- SDA;
- SCL.

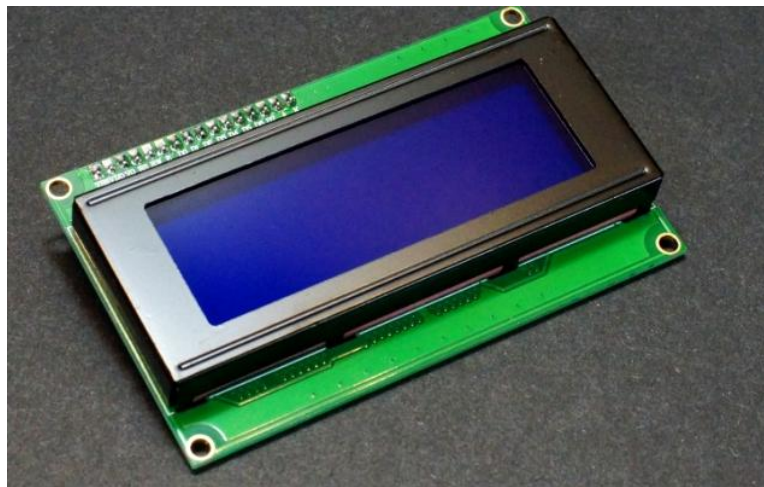


Рис. 3.3 Фронтальна частина LCD дисплею 2004 I2C 20x4 [12]

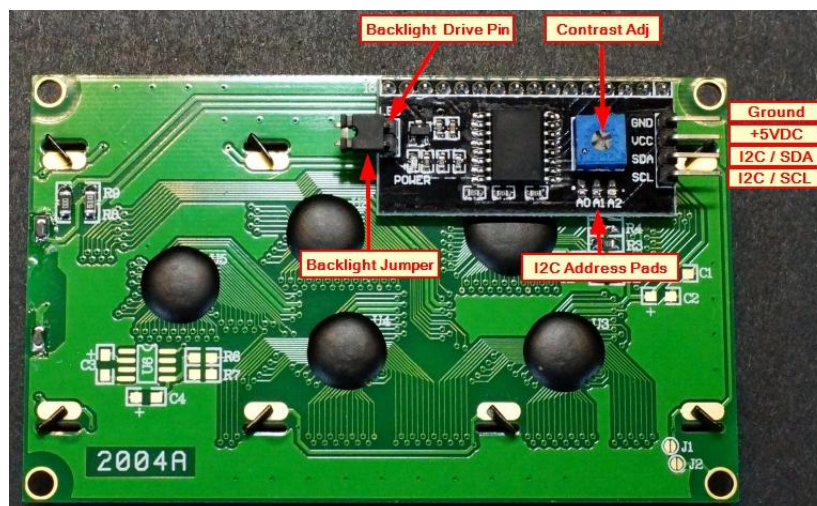


Рис. 3.4. Задня частина LCD дисплею 2004 I2C 20x4 [12]

3.4. Датчик вуглекислого газу МН-Z19В

МН-Z19В - це інфрачервоний датчик (рис. 3.5), призначений для точного вимірювання концентрації CO₂ у повітрі. Цей датчик має два вихідних інтерфейси (табл. 3.2), може компенсувати зміну температури, демонструє високу лінійність та ефективно використовує енергію.

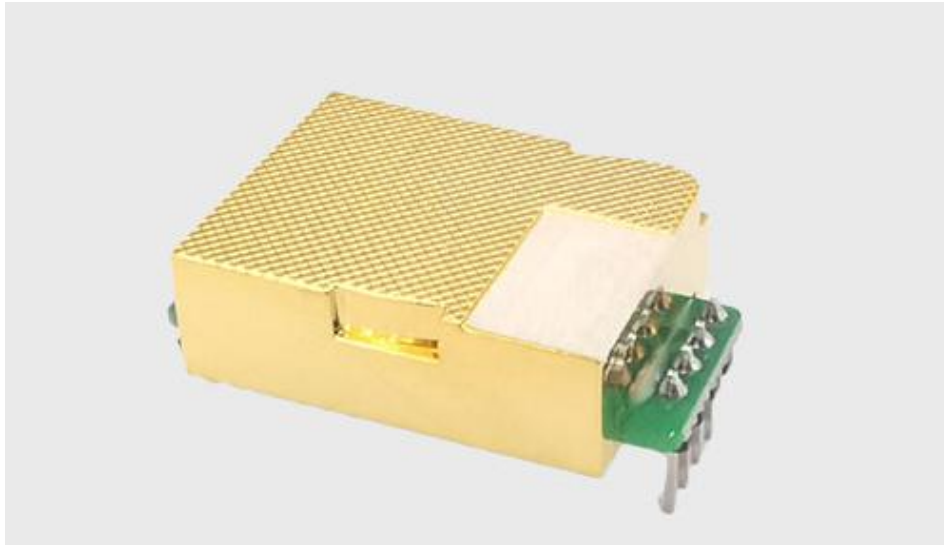


Рис. 3.5. Зовнішній вигляд датчика МН-Z19В [13]

Таблиця 3.2

Технічні характеристики датчика CO₂ МН-Z19В [13]

Робоча напруга	5,0 ± 0,1 В
Середній струм споживання	60 мА
Вихідний сигнал	UART, PWM
Час розігріву	3 хв
Діапазон вимірювання	0-5000 ppm
Робочий діапазон вологості	0-90%
Габарити	33x20x9 мм

3.5. Датчик температури, вологості та тиску BME 280

Модуль датчика BME280 (рис. 3.6) є сучасним поколінням датчиків тиску, які можуть вимірювати не лише атмосферний тиск, але й температуру та вологість.

Цей датчик відрізняється високою точністю вимірювань, швидкодією інтерфейсу та низьким енергоспоживанням. Для з'єднання використовується I2C інтерфейс.

Технічні характеристики BME280 [14]:

- діапазон вимірювання температури: -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$;
- діапазон вимірювання вологості: 0% до 100% відносної вологості;
- діапазон вимірювання тиску: 300 до 1100 гектопаскалів;
- точність вимірювання температури: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$;
- точність вимірювання вологості: $\pm 3\%$ відносної вологості;
- точність вимірювання тиску: ± 1 гектопаскаль;
- інтерфейси: I2C та SPI;
- напруга живлення: 1.8 до 5 В;
- струм в режимі вимірювання тиску: 714 мкА;
- струм в режимі вимірювання вологості: 340 мкА;
- споживаний струм в режимі вимірювання температури: 350 мкА.



Рис. 3.6. Зовнішній вигляд датчика BME280[14]

3.6. Ємнісна кнопка ТТР223В (датчик торкання)

Датчик торкання ТТР223 представлено на рис. 3.7 (сенсорна ємнісна кнопка) працює на основі електричної ємності людського організму. Робота модуля полягає у комутації при дотику пальця до сенсорної поверхні датчика. У відсутності торкання на виході модуля подається низький рівень напруги, а при торканні він змінюється на високий. Якщо протягом 12 секунд датчик не фіксує торкань, модуль автоматично переходить в режим низького енергоспоживання для збереження енергії.

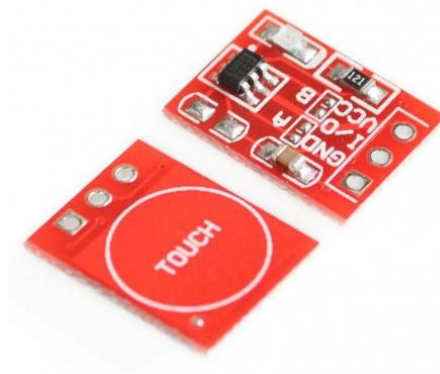


Рис. 3.7. Зовнішній вигляд ємнісної кнопки ТТР223В [15]

Таблиця 3.3

Технічні характеристики кнопки ТТР223В

Напруга живлення	2.5-5 В
Відгук у робочому режимі	60 мс
Час реакції в режимі енергозбереження	220 мс
Діапазон чутливості	0...50 пФ
Габарити	14 x 11 мм

На платі розташовані перемички (А, В), за допомогою яких можна налаштувати режими роботи кнопки [15]:

- АВ = 00: незафіксована кнопка, при активації видає високий рівень напруги на виході;

- АВ = 01: зафіксована кнопка, при активації видає високий рівень напруги на виході;
- АВ = 10: незафіксована кнопка, при активації видає низький рівень напруги на виході;
- АВ = 11: зафіксована кнопка, при активації видає низький рівень напруги на виході.

3.7. Модуль реального часу DS3231

DS3231 є високоточним реально-часовим годинником зі вбудованим кварцевим кристалом та температурно-компенсованим кварцевим осцилятором. Модуль DS3231 міні-версії - це компактний варіант цього RTC, який забезпечує точність часу та дати навіть при відключенні живлення, завдяки використанню батареї.

Основні характеристики модуля DS3231 міні-версії[16]:

- чіп: DS3231;
- напруга живлення: 3.3V - 5V;
- інтерфейс: I2C;
- температурний діапазон: -40°C до +85°C;
- точність: $\pm 2 \text{ppm}$ від 0°C до +40°C;
- вбудована кварцевий резонатор 32kHz;
- автоматичне визначення року, місяця, дня, години, хвилини та секунди;
- функція будильника та програмований вихід на інтервали.



Рис. 3.8. Зовнішній вигляд модуль реального часу DS3231 [16]

3.8. Інші елементи системи

Світлодіод 5мм RGB OSTAMA5B31A використовується в системі моніторингу мікроклімату для сигналізації рівня CO₂. Він є трьохкольоровим світлодіодом (червоний, зелений та синій) і може відображати різні кольори залежно від значень CO₂.

Технічні характеристики світлодіода RGB:

- Діаметр: 5 мм;
- Кольори: червоний, зелений, синій;
- Напруга живлення: 2.0 V (червоний), 3.2 V (зелений та синій);
- Струм: 20 мА.

Резистор 220 Ом використовується для обмеження струму, який протікає через світлодіод RGB. Він забезпечує захист світлодіода від пошкоджень через перевантаження струмом.

- Технічні характеристики резистора 220 Ом:
- Номінальне опір: 220 Ом;
- Потужність: 0.25 Вт;
- Точність: $\pm 5\%$.

Плата перехідник micro usb тип B – дана друкована плата (рис. 3.9) використовується для підключення блоку живлення від зарядного пристрою або зовнішнього акумулятора – повербанку, для додаткового живлення системи, бо живлення від Arduino Nano може бути недостатнім для функціонування всієї системи.

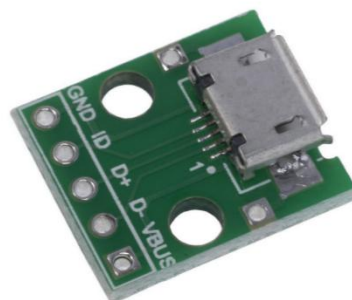


Рис. 3.9. Плата перехідник micro usb тип B [17]

3.9. Розрахунок енергоспоживання системи моніторингу мікроклімату

Для розрахунку енергоспоживання системи моніторингу мікроклімату в приміщенні на базі платформи Arduino, необхідно врахувати напругу живлення та струм споживання всіх компонентів системи: Arduino Nano, дисплей LCD 2004, сенсори BME280, МН-Z19В, DS3231, а також RGB світлодіод. Нижче в табл. 3.4 представлені дані компонентів для подальших розрахунків.

Таблиця 3.4

Параметри компонентів

Компонент	Напруга живлення, В	Струм споживання, мА
Arduino Nano	5	19 (без навантаження)
Дисплей LCD 2004 з I2C	5	80 (при активному відображенні)
Датчик BME280	5	0.71 (режим вимірювання)
Датчик МН-Z19В	5	60 (режим вимірювання)
Годинник реального часу DS3231	5	0.3
Світлодіод RGB	2.0-3.2	20

Розрахуємо енергоспоживання для кожного з компонентів за формулою:

$$P = U \times I$$

(3.9)

де P – потужність, мВт;

U – напруга споживання, В;

I – струм споживання, мА.

Для Arduino Nano:

$$P_1 = 5 V \times 19 mA = 95 мВт$$

Для дисплея LCD 2004 з I2C:

$$P_2 = 5 V \times 80 mA = 400 мВт$$

Для датчика BME280:

$$P_3 = 5 V \times 0.71 mA = 3.55 мВт$$

Для датчика МН-Z19В:

$$P_4 = 5 V \times 60 mA = 300 мВт$$

Для модуля реального часу DS3231:

$$P_5 = 5 V \times 0.3 mA = 1.5 мВт$$

Для RGB світлодіоду. З урахуванням середню напруги світлодіоду 2.6 В:

$$P_6 = 2.6 V \times 20 mA = 52 мВт$$

Тепер можна розрахувати загальне енергоспоживання споживання всіх компонентів системи за формулою:

$$P_{заг} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6,$$

(3.10)

$$P_{заг} = 95 мВт + 400 мВт + 3.55 мВт + 300 мВт + 1.5 мВт + 52 мВт,$$

$$P_{заг} = 852.05 мВт.$$

Загальне енергоспоживання системи моніторингу мікроклімату в приміщенні на базі платформи Arduino складає приблизно 852.05 мВт. Ці дані корисні для

проектування системи живлення та оцінки тривалості роботи від акумулятора, якщо система буде використовуватися у віддалених місцях без доступу до електромережі.

РОЗДІЛ 4. ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ МІКРОКЛІМАТУ

4.1. Створення структурної схеми

Після розгляду аналогічних пристроїв та аналізу апаратної частини, ми синтезуємо структурну схему нашого пристрою. Структурна схема пристрою для контролю мікрокліматичних умов у виробничих приміщеннях представлена на рисунку 4.1. Дана схема розроблена в графічному середовищі Visio.

Основний компонент розробленої схеми - це плата Arduino Nano, до якої підключені різні периферійні модулі.



Рис. 4.1. Структурна схема електронної системи моніторингу мікроклімату

Схема включає такі компоненти:

- плата Arduino Nano;
- LCD дисплей 20x4 з I2C інтерфейсом;
- датчик BME280 5В з I2C інтерфейсом;
- датчик CO2 MH-Z19В;
- модуль реального часу на базі DS3231;
- сенсорний датчик TTP223В;
- RGB світлодіод;
- резистор з опором 220 Ом;
- плата перехідник мікро usb для підключення додаткового зовнішнього живлення.

4.2. Створення принципової електричної схеми

На рис. 4.2 представлено принципову електричну схему системи моніторингу мікроклімату в приміщенні. Розроблено в редакторі принципальних схем EasyEDA. Розглянемо функції компонентів, що представлені на схемі:

Arduino Nano є мікроконтролером на базі ATmega328P, який використовується як основа для керування компонентами метеостанції.

Дисплей LCD 2004 використовується для відображення показників мікроклімату, таких як температура, вологість та рівень CO₂. Підключення до Arduino Nano відбувається через I2C інтерфейс. Для цього потрібно підключити SDA (дані) і SCL (годинник) шини до відповідних портів на Arduino Nano (A4 та A5 відповідно).

ТТР223В - це сенсорна емнісна кнопка, яка використовується для керування дисплеєм та навігації по меню. Його можна підключити до будь-якого цифрового входу/виходу на Arduino Nano.

RGB світлодіод використовується для візуальної сигналізації рівня CO₂. Керуючі піни R, G та B повинні бути підключені до відповідних портів на Arduino Nano (D9, D6 та D5).

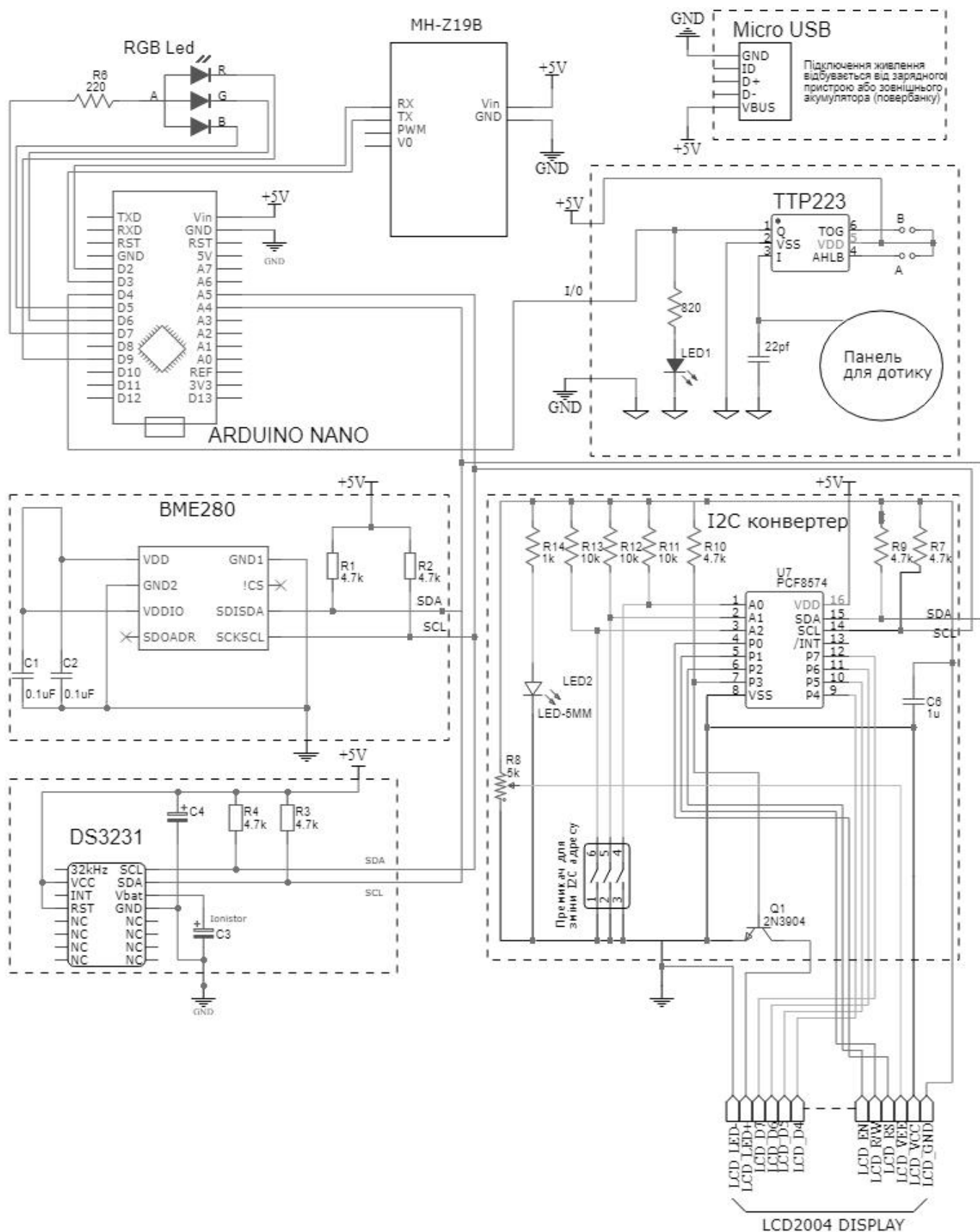


Рис. 4.2. Принципова електрична схема системи моніторингу мікроклімату

BME280 - сенсор, який вимірює температуру, вологість та атмосферний тиск. Він також підключається через I2C інтерфейс. Потрібно підключити SDA та SCL шини BME280 до тих самих портів на Arduino Nano (A4 та A5), які використовуються для дисплея.

MH-Z19B - сенсор вимірювання рівня CO₂, який використовує UART інтерфейс для комунікації з Arduino Nano. Підключіть TX та RX шини MH-Z19B до відповідних портів на Arduino Nano (D2 та D3).

DS3231 - модуль реального часу, який дозволяє відслідковувати час та дату. Цей модуль також підключається через I2C інтерфейс до портів A4 та A5 на Arduino Nano.

4.3. Алгоритм роботи системи

Алгоритм роботи даної системи можна описати наступним чином:

1. Зчитування значень температури, вологості, атмосферного тиску та CO₂ з датчиків.
2. Зчитування поточного часу з модуля DS3231.
3. Визначення кольору RGB LED на основі рівня CO₂.
4. Зчитування стану кнопки TTP223B для перемикання режимів відображення на дисплеї.
5. Відображення поточного часу або даних з датчиків на LCD дисплеї в залежності від вибраного режиму.
6. Затримка між операціями зчитування даних та оновлення дисплею.

Основний цикл роботи метеостанції (починається зі зчитування значень з датчиків та часу з модуля DS3231. Далі перевіряється стан кнопки TTP223 для перемикання режимів відображення на дисплеї. В залежності від вибраного режиму відображається час або дані з датчиків. Цикл повторюється з певною затримкою (2 секунди), що дозволяє оновлювати дисплей зі свіжими даними.

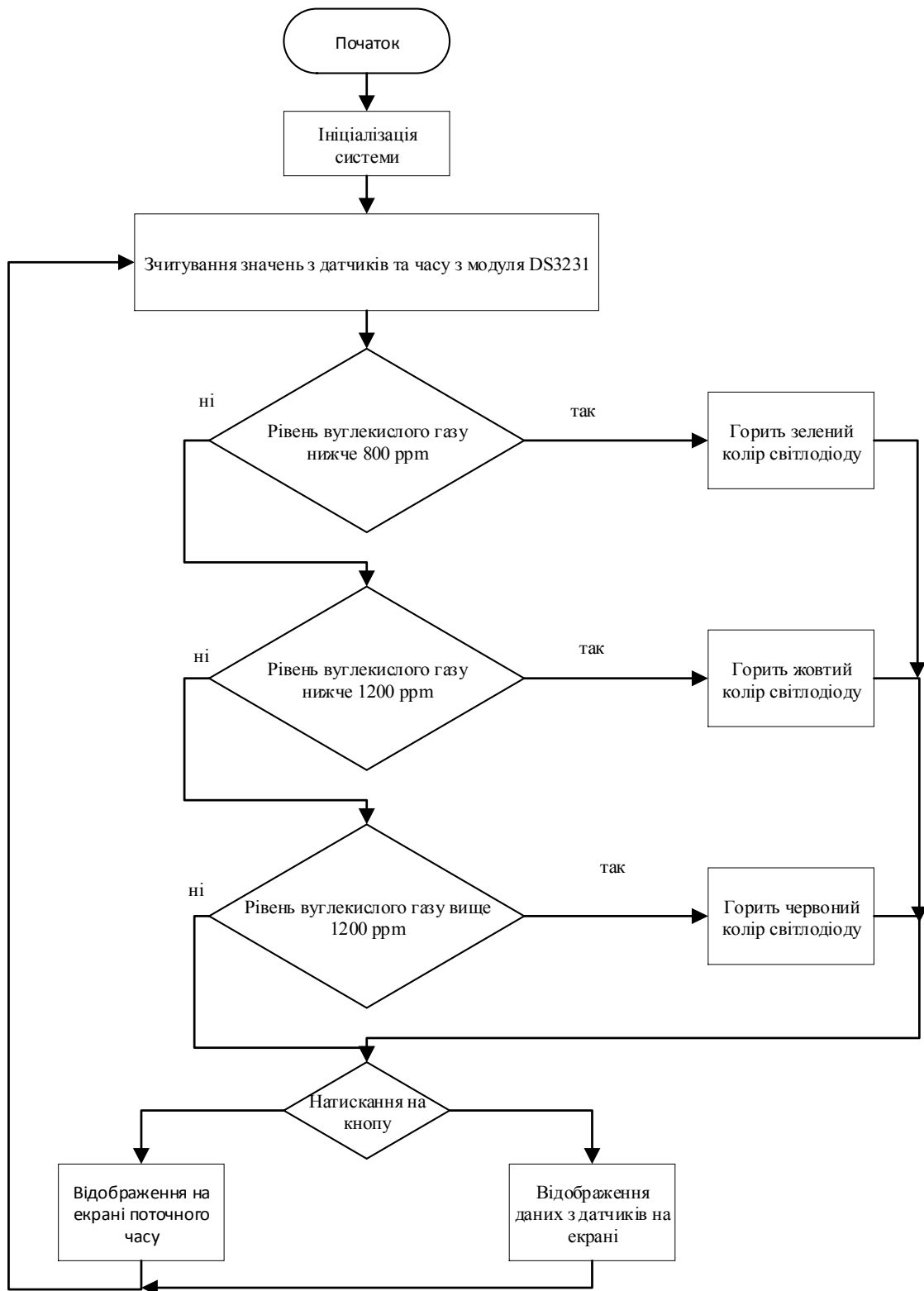


Рис. 4.3. Алгоритм роботи системи моніторингу мікроклімату в приміщенні

4.4. Програмна реалізація

В процесі розробки програмного забезпечення метеостанції було використано кілька бібліотек, які спрощують роботу з різними компонентами та протоколами зв'язку. У цьому розділі надається опис кожної використаної бібліотеки та їх призначення у проєкті.

До даного проєкту підключено 6 бібліотек:

- “Wire.h”;
- “LiquidCrystal_I2C.h”;
- “Adafruit_sensor.h”;
- “Adafruit_BME280.h”;
- “MHZ19.h”;
- “RTCLib-master.h”;
- “SoftwareSerial.h”.

Бібліотека Wire.h є стандартною бібліотекою Arduino для роботи з протоколом I2C. Ця бібліотека використовується для спілкування Arduino з I2C-пристроями, такими як LCD-дисплей і датчик BME280. Wire.h забезпечує можливість відправляти та отримувати дані через I2C-інтерфейс, що дозволяє контролювати пристрої та зчитувати дані значення з датчиків.

Бібліотека LiquidCrystal_I2C.h розширює функціональність стандартної бібліотеки LiquidCrystal, додаючи підтримку I2C-інтерфейсу для LCD-дисплеїв. Завдяки цій бібліотеці Arduino може легко контролювати I2C LCD-дисплеї, відображати текст та створювати анімацію. У даному проєкті LiquidCrystal_I2C.h використовується для відображення даних з датчиків та часу на LCD-дисплеї.

Adafruit_Sensor.h - це уніфікований інтерфейс для роботи з датчиками від компанії Adafruit. Бібліотека дозволяє легко інтегрувати датчики різних типів у проєкт та стандартизує спосіб отримання даних від них. У даному проєкті Adafruit_Sensor.h використовується разом з бібліотекою Adafruit_BME280.h для забезпечення роботи з датчиком BME280.

Бібліотека Adafruit_BME280.h розроблена компанією Adafruit для роботи з датчиком BME280, який зчитує температуру, вологість та атмосферний тиск. Бібліотека спрощує процес зчитування даних з датчика та робить його більш надійним. У даному проекті Adafruit_BME280.h використовується для отримання даних з датчика BME280 та відображення їх на LCD-дисплеї.

Бібліотека MHZ19.h призначена для роботи з датчиком CO2 MH-Z19, який вимірює концентрацію вуглекислого газу в повітрі. Ця бібліотека спрощує процес отримання даних з датчика та відправлення команд керування. У даному проекті MHZ19.h використовується для зчитування значень концентрації CO2 та відображення їх на LCD-дисплеї.

SoftwareSerial.h - це стандартна бібліотека Arduino, яка дозволяє використовувати будь-які цифрові виводи мікроконтролера як серійні порти замість апаратних портів. Вона дозволяє одночасно використовувати кілька серійних портів на одному мікроконтролері. У даному проекті SoftwareSerial.h використовується для створення додаткового серійного порту для зв'язку з датчиком MH-Z19.

Бібліотека RTCLib.h розроблена для роботи з різними моделями годинників реального часу (RTC). Вона надає спільний інтерфейс для взаємодії з RTC-модулями та спрощує процес налаштування та зчитування часу з них. У даному проекті RTCLib.h використовується для роботи з модулем RTC DS3231, який відображає поточний час на LCD-дисплеї.

В Лістингу 4.1 наведено оголошення пінів для використання у проекті. Ідентифікатори пінів дозволяють просто змінити підключення компонентів до мікроконтролера.

Лістинг 4.1 – Оголошення пінів для підключення компонентів

```
#define SDA_PIN A4
#define SCL_PIN A5
#define MHZ19_RX_PIN 2
#define MHZ19_TX_PIN 3
#define TTP223_PIN 4
#define RED_PIN 9
#define GREEN_PIN 6
#define BLUE_PIN 5
```

У лістингу 4.2 створюються об'єкти для роботи з LCD-дисплеєм, датчиками BME280 та MH-Z19, серійним портом та годинником реального часу. Також ініціалізуються змінні для контролю інтервалу оновлення даних та режиму відображення.

Лістинг 4.2 - Ініціалізація об'єктів та змінних

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
Adafruit_BME280 bme;
MHZ19 mhz19;
SoftwareSerial mhz19_serial(MHZ19_RX_PIN, MHZ19_TX_PIN);
RTC_DS3231 clock;
unsigned long prevMillis = 0;
const unsigned long interval = 2000;
int displayMode = 0;
```

Функція `setRGBForCO2` (лістинг 4.3) відповідає за управління світлодіодами RGB-індикатора, який відображає рівень CO₂. Вона приймає один аргумент - рівень, на якому слід встановити індикатор, і змінює стан пінів відповідно до цього рівня.

Лістинг 4.3 - Функція `setRGBForCO2()`

```
void setRGBForCO2(int level) {
  switch (level) {
    case 1:
      digitalWrite(RED_PIN, HIGH);
      digitalWrite(GREEN_PIN, LOW);
      digitalWrite(BLUE_PIN, LOW);
      break;
    case 2:
      digitalWrite(RED_PIN, LOW);
      digitalWrite(GREEN_PIN, HIGH);
      digitalWrite(BLUE_PIN, LOW);
      break;
    case 3:
      digitalWrite(RED_PIN, LOW);
      digitalWrite(GREEN_PIN, LOW);
      digitalWrite(BLUE_PIN, HIGH);
      break;
    default:
      digitalWrite(RED_PIN, LOW);
      digitalWrite(GREEN_PIN, LOW);
      digitalWrite(BLUE_PIN, LOW);
      break; }
}
```

Функція `setup()` представлена на лістингу 4.4 виконується один раз при запуску мікроконтролера. Вона ініціалізує зв'язок по I2C, LCD-дисплей, датчики BME280 та MH-Z19 та годинник реального часу. Також встановлюються режими роботи пінів для датчика сенсорного перемикача та світлодіодів RGB-індикатора.

Лістинг 4.4 – Функція `setup()`

```
}  
void setup() {  
  Wire.begin();  
  lcd.init();  
  lcd.backlight();  
  
  bme.begin(0x76);  
  mhz19_serial.begin(9600);  
  mhz19.begin(mhz19_serial);  
  
  if (!clock.begin()) {  
    lcd.print("RTC not found!");  
    while (1);  
  }  
  
  pinMode(TTP223_PIN, INPUT);  
  pinMode(RED_PIN, OUTPUT);  
  pinMode(GREEN_PIN, OUTPUT);  
  pinMode(BLUE_PIN, OUTPUT);  
}
```

Функція `loop()` представлено на лістингу 4.5 виконується безперервно після завершення `setup()`. Вона перевіряє, чи настав час оновити дані від датчиків, зчитує значення температури, вологості, атмосферного тиску та CO₂, а також стан сенсорного перемикача. Відповідно до отриманих даних про рівень CO₂, функція змінює RGB-індикатор. У разі виявлення дотику на сенсорному перемикачі, режим відображення на LCD-дисплеї перемикається між відображенням часу та даними датчиків.

Оновлені дані датчиків відображаються на LCD-дисплеї у відповідності до вибраного режиму відображення: в режимі 0 відображається поточний час, а в режимі 1 - значення температури, вологості, атмосферного тиску та рівень CO₂.

Лістинг 4.5 – Функція void loop()

```
void loop() {
  unsigned long currentMillis = millis();
  if (currentMillis - prevMillis >= interval) {
    prevMillis = currentMillis;
    // Зчитування даних з датчиків
    float temperature = bme.readTemperature();
    float humidity = bme.readHumidity();
    int pressure = bme.readPressure() / 100.0F;
    int dispCO2 = mhz19.getCO2();
    bool touch = digitalRead(ТТР223_PIN);

    //Змінна індикації RGB в залежності від рівня CO2
    if (dispCO2 < 800) setRGBForCO2(2);
    else if (dispCO2 < 1200) setRGBForCO2(3);
    else if (dispCO2 >= 1200) setRGBForCO2(1);
    // Перевірка на наявність сигналу на кнопці та перемикання режиму відображення
    if (touch) {
      displayMode = (displayMode + 1) % 2;
      delay(500); // Debounce delay
    }
    lcd.clear();
    if (displayMode == 0) {
      DateTime now = clock.now();
      String currentTime = now.hour() + String(":") + now.minute() + String(":") + now.second();
      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.print("Time: " + currentTime);
    } else {
      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.print("T: " + String(temperature) + "C H: " + String(humidity) + "%");
      lcd.setCursor(0, 1);
      lcd.print("P: " + String(pressure) + "hPa CO2: " + String(dispCO2) + "ppm");
    }
  }
}
```

Цей код детально розглядає основні аспекти програмної реалізації метеостанції. Він демонструє роботу з використанням різних компонентів та бібліотек, а також показує процес зчитування даних від датчиків, управління RGB-індикатором та взаємодії з сенсорним перемикачем для перемикання режимів відображення на LCD-дисплеї.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи «Система моніторингу мікроклімату в приміщенні на базі платформи Arduino» були детально вивчені основні аспекти мікроклімату та його ключові компоненти, такі як температура, атмосферний тиск, відносна вологість повітря, рівень вуглекислого газу, швидкість руху повітря, та тепловий комфорт.

Було проведено огляд та аналіз існуючих аналогів портативних цифрових систем моніторингу. Особливу увагу було приділено вивченню характеристик та особливостей роботи Arduino Nano, середовища розробки Arduino IDE, LCD дисплея, датчика вуглекислого газу MH-Z19B, датчика температури, вологості та тиску BME 280, ємнісної кнопки TTP223B, модуля реального часу DS3231, а також світлодіоду для сигналізації рівня вуглекислого газу.

Після огляду існуючих рішень було розроблено електронну систему моніторингу мікроклімату. Створення системи включало розробку структурної та принципової електричної схем, а також алгоритму роботи системи та програмної реалізації.

В результаті отримано систему для моніторингу мікроклімату в приміщенні на базі платформи Arduino, яка має досить не великі та прості за функціоналом компоненти, що зумовлює до створення досить компактного та простого за принципом роботи фізичного прототипу. Алгоритм системи дозволяє вчасно реагувати на зміни показників мікроклімату, що сприяє підтримці комфортних умов в приміщенні.

Майбутні напрямки розвитку даної системи можуть включати підключення додаткових датчиків для моніторингу інших параметрів, а також розробку мобільного додатку для віддаленого контролю та моніторингу даних мікроклімату.

Також, було б важливо розглянути в майбутньому можливість інтеграції системи з вже існуючими системами «розумного будинку», що дозволить

автоматизувати процеси регулювання мікроклімату на основі даних, отриманих від нашої системи.

Додатковим кроком у вдосконаленні системи може стати розробка алгоритму для прогнозування ймовірності опадів на основі отриманих значень атмосферного тиску, щоб в подальшому забезпечити комфорт в приміщенні.

Незважаючи на труднощі, які виникли під час розробки, виконання проекту дозволило розширити наші знання в області моніторингу мікроклімату та розробки проектів на платформі Arduino. Отже, будуть корисними для майбутніх проектів.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мікроклімат та його вплив на працездатність людини. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://consumerhm.gov.ua/956-mikroklimat-ta-jogo-vpliv-na-pratsezdattnist-lyudini> (дата звернення: 04.04.2023р). – Назва з екрана.
2. Стандарт ГОСТ 30494-2011 «Житлові та громадські будівлі. Параметри мікроклімату в приміщеннях», [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=66378 Дата доступу: 06.04.2023 р. – Назва з екрана.
3. Is CO₂ an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO₂ Concentrations on Human Decision-Making Performance / U. Satish та ін. Environmental Health Perspectives. 2012. Т. 120, № 12. С. 1671–1677.
4. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99. Офіційний вебпортал парламенту України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/card/va042282-99>. Дата доступу: 08.04.2023 р. – Назва з екрана.
5. Вимірювач рівня CO₂ з термогігрометром TFA "AirCO₂ntrol Coach" 31500902: продаж, ціна у Києві. "METEOPROSTOR магазин гарної погоди" - контакти, товари, послуги, ціни. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://meteoprostor.com.ua/ua/p1443477652-izmeritel-urovnya-co2.html> Дата доступу: 10.04.2023 р. – Назва з екрана.
6. Smart Home Weather Station | Netatmo. Netatmo. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.netatmo.com/en-gb/smart-weather-station>. Дата доступу: 11.04.2023 р. –
7. Метеостанція La Crosse WS6811-White/Silver. Vencon. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vencon.ua/ua/products/meteostanitsiya-la-crosse-ws6811-white-silver>. Дата доступу: 12.04.2023 р. – Назва з екрана.

8. Govee Hygrometer Thermometer H5074. Amazon . [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.amazon.com/Govee-Hygrometer-Thermometer-H5074-Bundle/dp/B0B1TDS15G> Дата доступу: 13.04.2023 р.
9. Wireless weather station with wind and rain gauge WEATHER PRO | TFA Dostmann. TFA Dostmann. [ЕЛЕКТРОННИЙ РЕСУРС]. – РЕЖИМ ДОСТУПУ: <https://www.tfa-dostmann.de/en/product/wireless-weather-station-with-wind-and-rain-gauge-weather-pro-35-1161/>. Дата доступу: 14.04.2023 р. – Назва з екрана.
10. Elprocus - An Overview of Arduino Nano Board. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.elprocus.com/an-overview-of-arduino-nano-board/>. Дата доступу: 15.04.2023 р. – Назва з екрана.
11. Software. Arduino - Home. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.arduino.cc/en/software> Дата доступу: 16.04.2023 р. – Назва з екрана.
12. Protosupplies - LCD2004 20×4 I2C Blue LCD Display. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://protosupplies.com/product/lcd2004-20x4-i2c-blue-lcd-display/>. Дата доступу: 16.04.2023 р. – Назва з екрана.
13. Mini-tech – Датчик вуглекислого газу CO2 MH-Z19В модуль. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mini-tech.com.ua/datchik-co2>. Дата доступу: 18.04.2023 р. – Назва з екрана.
14. Imrad - інтернет-магазин радіодеталей та електронних комплектуючих. https://imrad.com.ua/userdata/modules/productFiles/file_Z9JSsIr.pdf. Дата доступу: 19.04.2023 р. – Назва з екрана.
15. Сенсорна, ємнісна кнопка TTP223B (Датчик торкання). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ardushop.in.ua/arduino/touch-capacitive-button-ttp223b-touch-sensor>. Дата доступу: 20.04.2023 р. – Назва з екрана.
16. Mini-tech – DS3231 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mini-tech.com.ua/rtc-modul-ds3231-mini> Дата доступу: 21.04.2023 р. – Назва з екрана.

17. Micro usb тип В на платі. РКС Компоненти - РАДІОМАГ. [ЕЛЕКТРОННИЙ РЕСУРС]. – РЕЖИМ ДОСТУПУ: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/micro-usb-tip-v-na-plati_151042.html. Дата доступу: 21.04.2023 р. – Назва з екрана.