

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління

(повна назва)

Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки

(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

Автоматична система збору та прогнозування

показників мікроклімату в приміщенні

(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи СКСм-21-1

Хряпа П.О.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 - Комп'ютерна інженерія

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Спеціалізовані комп'ютерні системи

(повна назва освітньої програми)

Керівник доцент каф. АПОТ Рахліс Д. Ю.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри



(підпис)

Чумаченко С.В.

(прізвище, ініціали)

2022 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління

Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія
(шифр і назва)

Тип програми Освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Спеціалізовані комп'ютерні системи
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« ____ » _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Хряпі Павлу Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматична система збору та прогнозування показників мікроклімату в приміщенні.

затверджена наказом по університету від 14 грудня 2022 р. № 478Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 20 грудня 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: _____

Arduino

Середовище розробки Arduino IDE

Дисплей 2004 I2C, датчик мікроклімату BME280, датчик тиску МН-Z19С, модуль RTC світлодіодний модуль, сенсорна кнопка, макетна плата та з'єднувальні елементи.

Виконувані операції:

1) Показ температури, вологості, тиску, рівня CO₂, реального часу;

2) Побудова графіків основних складових мікроклімату за певні проміжки часу;

3) Сигналізування користувача про рівень двоокису світлодіодом;

4) Прогнозування погоди на основі зміни значень тиску;

5) Керування переглядом за допомогою сенсорної кнопки.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі: _____

Огляд існуючих рішень домашніх метеостанцій на ринку та їх порівняння;

Технологічна платформа реалізації;

Середовище розробки програмного забезпечення;

Програмування мікроконтролера

Тестування розробленого приладу

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) _____
16 слайдів

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

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

7. Дата видачі завдання 02.09.22

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
	Видача теми роботи, її узгодження та затвердження.	02.09.22	виконано
	Аналіз проблемної області, постановка задачі, вибір засобів реалізації.	10.11.2022 – 20.11.2022	виконано
	Придбання необхідних компонентів	20.11.2022 – 22.11.2022	виконано
	Збірка пристрою	23.11.2022 – 27.11.2022	виконано
			виконано
	Написання коду для мікроконтролера	30.11.2022 – 05.12.2022	виконано
	Оформлення пояснювальної записки.	05.12.2021– 10.12.2022	виконано
	Перевірка виконаного проекту, допуск до захисту.	13.12.2022– 15.12.2022	виконано
	Захист проекту.	20.12.2022	виконано

Студент 
(підпис)

Керівник роботи  доц. каф. АПОТ Рахліс Д.Ю.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 64 с., 3 табл., 33 рис., 4 розділи, 4 додатки, 14 джерел.

ARDUINO NANO, ДАТЧИК, ТЕМПЕРАТУРА, ТИСК, МІКРОКЛІМАТ, ПРОГРАМА, ПРОШИВКА, МАКЕТ, СКЕТЧ, ПІН.

Метою кваліфікаційної роботи є проведення аналізу системи автоматичного збору інформації показників мікроклімату приміщення та прогнозування погоди на базі Arduino Nano, а саме дослідження проблеми впливу мікроклімату на фізичний стан та працездатність людини, огляд існуючих рішень на ринку та схематичне зображення майбутнього приладу та апаратна реалізація.

У ході роботи проведено аналіз існуючих рішень на ринку домашніх метеостанцій, які збирають та аналізують показники мікроклімату. Було розглянуто принцип роботи та технічну реалізацію прототипу, виконано підбір обладнання згідно з необхідними параметрами і режимами роботи та створено графічну схему і прототип приладу.

ABSTRACT

Explanatory note of the qualification work: 64 pp., 3 tables, 33 figures, 4 sections, 4 appendices, 14 sources.

ARDUINO NANO, SENSOR, TEMPERATURE, PRESSURE, MICROCLIMATE, PROGRAM, FIRMWARE, LAYOUT, SKETCH, PIN.

The purpose of the qualification work is to conduct an analysis of the system of automatic data collection of indoor microclimate indicators and weather forecasting on the basis of Arduino Nano, namely the study of the problem of the influence of microclimate on the physical condition and working capacity of a person, an overview of existing solutions on the market and a schematic representation of the future device and hardware implementation.

In the course of the work, an analysis of existing solutions on the market of home weather stations, which collect and analyze microclimate indicators, was carried out. The principle of operation and the technical implementation of the prototype were considered, the equipment was selected according to the necessary parameters and operating modes, and a graphic diagram and a prototype of the device were created.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП.....	9
1 ПОНЯТТЯ МІКРОКЛІМАТУ	12
1.1 Складові мікроклімату	12
1.1.1 Вологість повітря	12
1.1.2 Температура	13
1.1.3 Швидкість руху повітря.....	14
1.1.4 Тепловий комфорт.....	14
1.1.5 Рівень вуглекислого газу.....	15
1.1.6 Тиск.....	15
1.2 Види та норми виробничого мікроклімату	16
1.3 Огляд існуючих портативних метеостанцій	20
1.3.1 Портативні метеостанції аналогового типу.....	20
1.3.2 Портативні метеостанції цифрового типу	21
1.3.3 Професійні електронні метеостанції	22
1.4 Дослідження аналогів існуючих метеостанцій на сучасному ринку	23
1.5 Постановка мети та задач роботи.....	26
2 АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	28
2.1 Мікроконтролер Arduino-Nano	28
2.1.1 Апаратна частина мікроконтролера Arduino	29
2.1.2 Сімейство плат Arduino	30
2.1.3 Засоби програмної розробки	32
2.2 Огляд обраних компонентів	33
2.2.1 Arduino Nano від Gravitech	33
2.2.2 LCD дисплей 20x4 I2C.....	34
2.2.3 Датчик BME280	35

2.2.4 Модуль реального часу на DS3231	37
2.2.5 Сенсорний датчик ГТР223В.....	38
2.2.6 Набір дротів та інших монтажних елементів	39
3 АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ЗБОРУ ТА	
ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ МІКРОКЛІМАТУ	40
3.1 Створення прототипу схеми	43
3.1.1 Приклад підключення модуля ВМЕ280 до Arduino Nano.....	43
3.1.2 Підключення LCD дисплею LCD 2004 I2C до Arduino Nano.....	44
3.1.3 Приклад підключення модуля реального часу	44
3.1.4 Приклад підключення сенсорної кнопки до схеми	45
3.1.5 Приклад підключення світлодіода	46
3.1.6 Підключення датчику вуглекислого газу	46
3.2 Тестування схеми	47
3.3 Технічні умови та інструкція користувача.....	51
4 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ	53
4.1 Налаштування скетчу	53
4.2 Підключення бібліотек.....	53
4.3 Створення скетчу мовою С++	54
ВИСНОВКИ	61
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	63
ДОДАТОК А	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТОК Б.....	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТОК В	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТОК Г.....	Ошибка! Закладка не определена.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Скетч – програма-прошивка мікроконтролера (англ. Scetch).

AVR – сімейство восьмибітних мікроконтролерів, що раніше випускалися фірмою Atmel, потім – Microchip.

GND (англ. GROUND) – точка нульового потенціалу мікросхеми.

I2C – послідовна шина даних для зв'язку інтегральних схем.

IDE (англ. Integrated Development Environment) – комплексне програмне рішення для розробки програмного забезпечення.

LCD (англ. Liquid Crystal Display) – електронний пристрій візуального відображення інформації.

SCL або SCK – послідовний тактовий сигнал (англ. Serial Clock).

SDA (англ. Serial Data) – послідовна лінія даних.

VCC (англ. Voltage Collector Collector) – плюс живлення щодо GND.

ВСТУП

Розвиток мікроконтролерних систем у сучасному технологічному середовищі набув неабиякого розвитку. Їх популярність зумовлена тісним зв'язком з повсякденним життям людини, так як людина активно використовує комп'ютери для роботи, відпочинку та дозвілля. Мікроконтролерні системи зараз скрізь: у мікрохвильових печах, автомобілях, холодильниках й інших повсякденних речах. Також вони часто використовуються у різних інноваційних пристроях, таких як квадрокоптер, системи «Розумний дім». Під час даного дослідження ми зацентруємо увагу на використанні мікроконтролера саме для створення портативної метеостанції, розробка якої дасть можливість збирати й аналізувати дані, робити прогноз погоди на основі цих даних та визначати сприятливі умови для людей, які безпосередньо перебувають у приміщенні.

Сучасні умови праці та навчання усе частіше потребують моніторингу таких факторів як температура, відносна вологість повітря та рівень вуглекислого газу в повітрі. Від цих параметрів залежить працездатність людини та її гарне самопочуття. Надмірний рівень вуглекислого газу в повітрі може стати причиною головних болей, запаморочень, сонливості тощо. Особливу увагу слід приділити закладам освіти: школам та дитячим садкам, де рівень вуглекислого газу в повітрі значно перевищує допустимі норми, приміщення не завжди провітрюються, що призводить до негативних наслідків. Також на організм людини негативно впливає підвищена температура, або навпаки її зниження. Зазначені характеристики повітря нормовані в державних санітарних та державних будівельних нормах, однак їх моніторинг не завжди є можливим.

Постійний моніторинг його мінливості в просторових і часових масштабах є важливим для покращення прогнозів погоди. Однак функція прогнозування погоди не єдина функція сучасних метеостанцій. Вони також

можуть стати у нагоді для тих людей, для чийого життя є важливим підтримання належного мікроклімату в робочому середовищі. Інформація про погоду актуальна для життя людей, але також безпосередньо впливає на розвиток усіх сфер життя. Таким чином, питання швидкого ефективного моніторингу метеорологічної інформації є важливим дослідницьким аспектом сучасного суспільства в розвитку науки і техніки. Метеостанції для моніторингу мікроклімату з'явилися над ринку порівняно недавно. У витоків створення таких метеостанціє стоять прості барометри. Функціональність мобільної метеостанції схожа на метеорологічну станцію, тільки обробляються набагато менше даних, які надходять з одного або декількох датчиків, встановлених за вікном та в інших приміщеннях. Домашні метеостанції показують температуру в приміщенні, температуру поза приміщенням, вимірюють вологість, атмосферний тиск і виходячи з обробки процесором отриманих даних формують прогноз погоди на добу. Працюють як від електричної мережі, так і від змінних елементів живлення.

Будь-яка метеостанція містить у своєму складі датчик температури зовнішнього повітря. Це дозволяє знати температуру будь-коли. Такому термометру не перешкода заітнілі або вкрите інієм скло, темрява та інші подібні умови. Обов'язковим датчиком є датчик тиску. Знаючи цю величину, можна визначити тенденції вимірювання погоди. Для цього використовується сучасний барометр побутовий цифровий та високоточний. За своїми характеристиками він не поступається подібним пристроям, які використовуються в наукових цілях. При цьому електронний блок часто може не просто показувати тиск, але й аналізувати його зміни. Все це дозволяє будувати точний прогноз не виходячи з дому і не користуючись засобами масової інформації.

Останнім обов'язковим приладом домашньої метеостанції є датчик вологості чи гігрометр. На відміну від класичного, із двома термометрами, цей гігрометр електронний і не вимагає постійного додавання води. Ще однією важливою його перевагою є відображення вологості, тоді як

звичайний варіант вимагає перекладу показань за спеціальною таблицею. Маючи побутову метеостанцію будь-яка людина, може сама робити свій прогноз погоди. На відміну від глобальних, він буде точнішим для кожного місця проживання. Це дозволить не дивуватися капризам погоди, а вчасно запобігати їх наслідкам. Кімнатний гігрометр дозволяє завжди тримати під контролем рівень вологості всередині приміщення, що дозволить вжити необхідних заходів для профілактики появи цвілі та інших хвороботворних бактерій.

Таким чином, актуальним є дослідження системи автоматичного збору інформації показників мікроклімату приміщення та прогнозування погоди задля контролю якості умов праці з подальших їх удосконаленням та створенням комфортних умов для перебування на робочому місці.

1 ПОНЯТТЯ МІКРОКЛІМАТУ

Мікрокліматом прийнято вважати поєднання характеристик повітряного середовища обраного приміщення, а саме температури, вологості, швидкості руху повітря. Мікроклімат приміщення безпосередньо залежить від сукупності певних факторів. По-перше, це кліматичні умови, тобто клімат місцевості, в якій знаходиться дана будівля, по-друге, ступінь захищеності приміщення від впливу на нього зовнішніх умов (вітру, низьких чи високих температур, вологості), і по-третє, це внутрішні фактори, такі як виділення вологи, тепла від людей чи інших джерел у самому приміщенні, повітряні потоки у ньому. Крім вологи, тепла і вуглекислого газу, продуктами побутової і виробничої діяльності людини можуть бути різноманітні гази, аерозолі, пил. Підвищення концентрації шкідливих речовин у повітрі закритого приміщення негативно позначається на якості мікроклімату в ньому і, відповідно, на здоров'ї людей, їх самопочутті. Щоб забезпечити сприятливі умови праці та відпочинку, оптимальне функціонування технологічних схем, у виробничих приміщеннях створюють штучний виробничий мікроклімат. Розглянемо детальніше складові виробничого мікроклімату та їх вплив на працездатність.

1.1 Складові мікроклімату

1.1.1 Вологість повітря

На ступінь вологості повітря у робочій зоні впливає технологічний процес. Він може підвищувати її до високого рівня (понад 75% відносної вологості) або знижувати. Повітря в цехах із високою відотною вологістю, коли знижується температура, швидко насичується киснем до 100%, утворюється туман і конденсується пара. Потовиділення – найефективніший спосіб самоохолодження організму. Сухість повітря сприяє випаровуванню

поту. Однак за високої вологості воно неефективне, адже піт не може випаровуватися і стікати, не охолоджуючи шкіру. Саме тому високу температуру погано переносять за підвищеної вологості повітря. Одночасно, коли організм збільшує тепловіддачу, зменшується вироблення тепла, оскільки уповільнюються процеси обміну. Висока вологість за низької температури повітря сприяє більшій тепловіддачі радіаційним шляхом: вода поглинає інфрачервоне випромінювання тіла й забирає тепло організму.

1.1.2 Температура

Разом з водою організм втрачає солі і вітаміни, в зв'язку з чим він не справляється з віддачею тепла і наступає перегрівання – теплова гіпертермія. Ознаками її є підвищення температури, сильне потовиділення, спрага, збільшення частоти дихання і пульсу, задишка, головний біль, запаморочення. Перегрівання організму може виявлятися в трьох формах: легкій і середній гіпертермії, тепловому ударі (важка форма гіпертермії) і судомній хворобі. Тепловий удар супроводжується раптовою втратою свідомості, підвищенням температури тіла до 40-41°C, слабим частим пульсом, припиненням потовиділення. Судомна хвороба характеризується порушенням водно-сольового обміну, судомами м'язів, кінцівок, діафрагми, потовиділенням, згущенням крові.

Наявність у виробничих приміщеннях холодних поверхонь також негативно впливає на працівника, оскільки збільшує віддачу тепла з поверхні його тіла. У таких умовах теплоутворення не компенсує втрату тепла і у працівника знижується температура, з'являється слабкість і сонливість. Переохолодження призводить до розладу обміну речовин органів, найбільш віддалених від серця, – пальців рук, ніг, носа, а також до зниження опірності організму до різних захворювань. Найбільш поширеними при цьому є захворювання периферійної нервової системи (радикуліти, невралгії), загострення суглобового і м'язового ревматизму, плеврит, бронхіт та ін.

Потужність теплового опромінення працівників від нагрітих поверхонь технологічного устаткування, освітлювальних приладів, інсоляція від зашкленних огорожень не повинна перебільшувати $35,0 \text{ Вт/м}^2$ – при опроміненні 50% та більше поверхні тіла, 70 Вт/м^2 – при величині опромінюваної поверхні від 25 до 50%, та 100 Вт/м^2 – при опроміненні не більше 25% поверхні тіла працівника.

1.1.3 Швидкість руху повітря

На тепловий обмін людини з навколишнім середовищем впливає рух повітря. За прискореного руху повітря людина легше переносить високу температуру, ніж низьку. Швидкість руху повітря на робочих місцях коливається у межах від 0,09 до 5 м/с і більше. Це залежить від розташування і забудови виробничого комплексу на місцевості, архітектури приміщень, характеру технологічного процесу, природної та штучної вентиляції тощо.

Швидкість руху повітря у виробничому приміщенні пов'язана з тепловіддачею поверхні шкіри. У жарких виробничих приміщеннях при температурі повітря $+ 35^\circ \text{C}$ рух повітря сприяє збільшенню віддачі тепла організмом. Підвищення швидкості повітря при низьких температурах викликає його переохолодження. Різкі коливання температури в приміщенні, яке продувається холодним повітрям (протягом), значно порушують терморегуляцію організму і можуть викликати простудні захворювання. Можливості організму пристосовуватись до метеорологічних умов значні, однак не безмежні.

1.1.4 Тепловий комфорт

Належні умови мікроклімату навколишнього середовища – це безпосередньо тепловий комфорт. Забезпечення теплового комфорту сприятливо впливає на оптимальну роботу механізму терморегуляції. Забезпечується така підтримка теплового балансу і сталість температури внутрішнього середовища. Це обов'язкова умова, щоб організм повноцінно

функціонував. Тепловий комфорт визначають за тепловідчуттям і температурою шкіри. Верхньою межею терморегуляції людини, що знаходиться у стані спокою, прийнято вважати 30–31°C при відносній вологості 85% або 40 С при відносній вологості 30%. При виконанні важкої фізичної праці ця межа значно нижча, рівновага (комфортні умови) зберігається при температурі повітря 12–14 °С.

1.1.5 Рівень вуглекислого газу

Проведені дослідження у даній галузі доводять той факт, що надлишок вуглекислого газу в тілі людини призводить до порушення розумової активності, загальної нервозності і підвищеному рівню стресу. Також посилюються хронічні захворювання, пов'язані з серцем, кровоносною системою та нирками, слабшає імунітет.

Довготривала робота у погано провітрюваному приміщенні може призвести до проблем зі здоров'ям. Спочатку симптоми протікають непомітно, проте з часом з'являються хворобливі відчуття:

- хронічна втома;
- апатія і депресивні настрої;
- поява запаморочення і головного болю/мігрені;
- нудота;
- дратівливість;
- зниження концентрації.

1.1.6 Тиск

Крім вищеописаних параметрів, що є основними, не слід забувати і про атмосферний тиск (Р, Па), який впливає на парціальний тиск основних компонентів повітря (кисень та азот), і на процес дихання.

Життєдіяльність людини проходить в умовах достатньо широкого діапазону тиску 734 - 1276 гПа. Однак, тут потрібно враховувати, що для здоров'я людини небезпечною є різка зміна тиску, а не сама величина цього

тиску. Наприклад, швидке зниження тиску всього на декілька гектопаскалів стосовно нормальної величини 1013 гПа викликає хворобливі відчуття. До переліку таких симптомів слід віднести:

- сонливість;
- швидка втомлюваність;
- головний біль;
- ломота в тілі;
- апатія;
- запаморочення.

Вплив атмосферного тиску на артеріальний проявляється тільки в разі різких змін погодних умов. Такі кліматичні умови впливають не на всіх людей. Здорова людина ніяк не відреагує на змінилися погодні умови і не відчує раптове підвищення або падіння атмосферного тиску. Метеозалежні люди при цьому зіткнуться з нездужанням. Таким чином запропонований проект метеостанції зможе передбачити негоду та бути корисним саме для людей, які є метеозалежними [1].

1.2 Види та норми виробничого мікроклімату

За ДСН 3.3.6.042-99 мікроклімат виробничих приміщень визначають як умови внутрішнього середовища приміщень, які безпосередньо впливають на тепловий обмін працівників шляхом конвекції, кондукції, теплового випромінювання та випаровування вологи. Ці умови визначаються поєднанням температурних показників, відносної вологості та швидкості руху повітря, температури поверхонь, які оточують людину та інтенсивністю теплового (інфрачервоного) опромінення [2].

Різні чинники мікроклімату виробничих приміщень створюють умови, на основі яких можна виділити такі види виробничого мікроклімату:

- нагрівальний – основні цехи чорної та кольорової металургії, ливарні, ковальські, термічні цехи машинобудівного виробництва;

- охолоджувальний – будівельні та монтажні роботи на відкритому повітрі, відкрите видобування корисних копалин, лісорозробки взимку, хол. цехи;
- інтермітувальний (перемінно-охолоджувальний та перемінно-нагрівний);
- доменне виробництво взимку, ливарні цехи;
- помірний (сприятливий) – цехи холодної обробки металів у машинобудуванні, складання та монтаж апаратури, офіси.

Також параметри мікроклімату нормуються для постійних та непостійних місць в залежності від періоду року, категорії важкості робіт за фізичним ступенем навантаженням. Розрізняють такі:

- теплий (середньодобова температура навколишнього повітря становить більше +10 С;
- холодний (середньодобова температура навколишнього повітря становить менше +10 С) періоди року.

Фізична та розумова діяльність людини вимагає витрат енергії. Витрати енергії визначають важкість фізичних навантажень. Тому найбільш поширеною і зручною формою оцінки фізичних зусиль є переведення цих показників у формат енергетичних затрат за одиницю часу (кДж/с, кДж/хв, кДж/год, кДж/8 год, ккал/с, ккал/хв, ккал/год, ккал/8 год.). Даний принцип, який лежить в основі досліджень фізіології праці, дає можливість розглянути і порівняти інтенсивність фізичних зусиль при найрізноманітніших видах діяльності людини.

Інформація про перенесення фізичних навантажень подається в одиницях потужності (Вт, кгм/хв), (л/хв), які можна перетворити в одиниці енергії за допомогою енергетичних еквівалентів: 1 ккал = 4,2 кДж; 1 кДж = 0,24 ккал; 1 л 09 ~ 21 кДж (5 ккал); 1 Ми (Met) - метаболічна одиниця (умовний рівень основного обміну), яка становить 4,2-5,25 кДж/хв (1,0-1,25 ккал/хв).

Категорії важкості робіт по фізичному навантаженню та їх характеристика показані у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Категорії важкості робіт в залежності від енерговитрат

Категорія робіт	Характеристика робіт	Енерговитрати, Дж/с
Легкі фізичні роботи : Ia, Ib	Робота виконується сидячи і не потребує систематичного фізичного напруження (Ia). Робота виконується сидячи, стоячи чи пов'язана з ходьбою та супроводжується деяким фізичним навантаженнями (Ib).	До 140, 141-175
Фізичні роботи середньої важкості: IIa, IIb	Робота пов'язана з ходьбою, і переміщенням дрібних (до 1 кг) предметів в положенні сидячи або стоячи і потребує певного фізичного навантаження (IIa). Роботи, що виконуються стоячи, пов'язані з ходінням, переміщенням невеликих вантажів (до 10 кг) та супроводжуються помірним фізичним навантаженням (IIb).	176-232 233-290
Важкі	Робота пов'язана з постійним переміщенням, перенесенням значних вантажів (понад 10 кг), які потребують великих фізичних зусиль.	291-349

Норми для санітарних умов у виробничих зонах передбачені у Державних санітарних нормах і поширюються на умови мікроклімату в межах робочої зони виробничих приміщень підприємств, закладів, установ тощо, незалежно від їх форми власності та підпорядкування [3].

Оптимальними умовами мікроклімату слід вважати сукупність параметрів мікроклімату, які мають тривалий і системний вплив на людину,

що забезпечує підтримання нормального теплового стану організму без активації механізмів терморегуляції. Вони забезпечують тепловий комфорт і створюють передумови для високого рівня працездатності.

Існує багато різних способів, за допомогою яких можна покращити умови праці та нормалізувати робочий мікроклімат. Таким чином нормалізація несприятливих мікрокліматичних умов здійснюється за допомогою певних заходів та способів, які включають: будівельно-планувальні, організаційно-технологічні, санітарно-технічні та ін. Для профілактики гіпер та гіпотермії робітників використовуються засоби індивідуального захисту, медико-біологічні тощо [4].

Перш за все, завдяки раціональному плануванню та оптимальному плануванню виробничих приміщень повинні бути реалізовані параметри формування мікроклімату робочого місця. Для того аби зменшити термічне навантаження на працівників слід передбачити максимальну механізацію, автоматизацію та дистанційне управління тими технологічними процесами і устаткуванням, які можуть бути керованими без участі людини.

Усі приміщення повинні бути затишними та зручними, для того, щоб створити комфортні умови для працівників. Одним із головних аспектів є забезпечення приміщення належною кількістю природного та штучного освітлення. Рекомендовано розташовувати робочі зони та місця для працівників в місцях максимального потрапляння природного сонячного світла в приміщення. Належним має бути також природна вентиляція та кондиціонування.

У приміщеннях, де використовується значна площа застелених поверхонь передбачається використання засобів від перенагрівання та потраплянь прямих сонячних променів у теплий сезон. При орієнтації на Захід чи Схід у приміщеннях для працівників слід передбачити використання ролетів чи жалюзі. У зимовий період потрібно використовувати певні екрани для робочих місць, теплові завіси, тамбури тощо.

У закритих і невеликих за площею приміщеннях (кабіни кранів, пости та пульти керування, ізольовані бокси, кімнати відпочинку тощо) при пере-

буванні там працівників повинні мати належну систему кондиціонування повітря з індивідуальним регулюванням температури та об'єму повітря, що подається.

1.3 Огляд існуючих портативних метеостанцій

Домашні метеостанції розрізняються між собою і використовуються для різних потреб, проте, принцип роботи та основні функції є загальними практично для всіх моделей. Базові функції портативних метеостанцій наведені нижче.

1. Вимірювання температурних показників. Прилад визначає температуру всередині й зовні приміщення. Похибка при цьому складає лише десяти частки градуса.

2. Вимірювання показників вологості зовні й всередині приміщення в рамках від 1 до 98%. Отримані дані надходять на дисплей.

3. Вимірювання атмосферного тиску Показники останніх діб виводяться на екран як діаграма, максимальне відхилення в показниках – 1 мбар.

4. Вимірювання кількості атмосферних опадів. Інформація визначається показниками випадіння за 24 години в мм / год.

За типом домашні метеостанції поділяють на три типи: аналогові, електронно-цифрові та професійні. Далі розглянемо детальніше кожний тип.

1.3.1 Портативні метеостанції аналогового типу

Звична для нас назва такого типу метеостанції – барометр. Він визначає всі зміни погодних умов за стрілкою. Додатковою опцією барометра є визначення вологості повітря за допомогою гігрометра. Такий метеостанцій існують у двох варіаціях: настільні та настінні. Більшість моделей мають дерев'яний корпус. У комплектацію входить механічний циферблат. Можливий також вбудований спиртовий термометр і барометр, який вказує на

посуку або, навпаки – дощ, вітер або шторм. Недоліком механічних (аналогових) метеостанцій можна вважати похибку вимірювань і використання виключно в приміщенні. У більшості випадків їх купують в якості дизайнерського елемента в декорі інтер'єру [5].



Рисунок 1.1 – Приклад аналогової метеостанції

1.3.2 Портативні метеостанції цифрового типу

Функціонально метеостанції цифрового типу домінують над механічними так, як вони обладнані кількома датчиками. У стандартній комплектації є барометр, гігрометр і термометр. Показники станції відображаються на екрані картинкою – дощ, сніг, град, сонце або хмари. Естетика, функціональність і демократична вартість підвищують попит серед користувачів на цей тип домашніх метеостанцій. Користувач, як правило, в першу чергу звертає увагу на рідкокристалічний дисплей, на який надходить інформація з мікроконтролера. З огляду на це, виробники обладнують певні моделі РК моніторами з підсвічуванням, що дозволяє спостерігати за показаннями навіть в темряві. На дисплеї відображаються дані реального часу і прогноз [6].



Рисунок 1.2 – Приклад цифрової метеостанції

1.3.3 Професійні електронні метеостанції

Цей тип можна віднести до найбільш точних та професійних приладів свого типу. Вони відрізняються переліком функціональних переваг. По-перше, вимірювання і синхронізація записуються на карту пам'яті, вбудовану в прилад, показників рівня опадів, напрямки, швидкості і сили вітру, вологості теплового індексу та інших, передбачених в даній моделі. По-друге, є функція відображення місячних фаз і функція синхронізації з комп'ютером або ноутбуком. По-третє, встановлення точного прогнозу 50-ти кілометрової зони на добу. Варто звернути увагу, що станціями даного типу користуються професійні метеорологи.

Різні моделі метеостанцій виконують аналіз погодних даних з одного, двох або чотирьох датчиків. Максимальна їх кількість не обмежена.

Існують два різновиди аналізаторів – бездротові і дротові. Кожна з них має як свої переваги, так і недоліки.

До переваг бездротових моделей відносять:

- можливість розміщення в зручному місці, що знаходиться на достатній відстані від бази;
- достовірність інформації;
- легкість монтажу;
- висока якість сигналу.

До недоліків відносяться:

- обмеження за часом працездатності внаслідок необхідності в додатковому джерелі живлення;
- можливість перешкод в роботі при невеликому діапазоні сигналу;
- висока ціна.



Рисунок 1.3 – Приклад цифрової професійної метеостанції

1.4 Дослідження аналогів існуючих метеостанцій на сучасному ринку

Загалом на сучасному ринку спостерігається велике різноманіття бюджетних готових метеостанцій. Вони різняться за місцем та видом використання.

Дорожні. У дорожніх метеорологічних станціях використовують датчик температури поверхні й датчик температури на глибині 30 см, а також мікроконтролер і GPRS модуль для передачі даних у центри інформації. Для інформування водіїв про погодні обставини використовують інформаційні табло з температурою поверхні та повітря. Також такі прилади попереджають про «мокру дорогу», «бічний вітер» тощо).

Лісові метеостанції використовують для того аби попередити про можливі лісових пожеж. Переважно такі метеостанції працюють від акумуляторів. Вони збирають кліматичні дані, такі як вологість дерева, ґрунту

та температура на різних рівнях висотності лісів. Таким чином відбувається обробка даних та й моделювання карти пожежної активності, що допомагає легше впоратися пожежникам з можливим займанням, або запобігти поширенню пожежі.

Гідрологічні метеостанції ведуть метеорологічні та гідрологічні спостереження над станом погоди океанів, морів, річок, озер та боліт. Такі метеостанції розташовуються на материках, на морських плаваючих станціях, а також існують річкові, озерні й болотні станції спостереження.

Побутові домашні. З'явилися на ринку порівняно недавно. Родоначалниками побутових метеостанцій є звичайні барометри. Вони досить мобільні та функціональна за рахунок своїх невеликих розмірів. Загалом у ній наявні менше датчиків ніж на великих метеостанціях, тому домашні станції обробляють набагато менше даних.

Побутові станції досить легкі у використанні та при наявності усіх датчиків повністю можуть замінити повнорозмірну станцію.

У ході даного дослідження було проаналізовано сучасні наявні моделі портативних домашніх метеостанцій, які мають досить доступну ціну і їх може придбати кожен охочий. Основною функцією у таких домашніх метеостанціях є вимірювання температури ззовні та всередині, а також відображення реального часу та дати. У цій категорії було досліджено три діапазони вартості домашніх метеостанцій. Приклади наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняння функцій метеостанцій різних категорій

Назва	Зображення	Ціна, грн	Функції
Метеостанція EA2 UM1 Ultra Metal		734,00	<ul style="list-style-type: none"> – внутрішня температура; – зовнішня температура; – будильник; – годинник; – календар; – підсвічування дисплея.

<p>Метеостанція La Crosse WS6825-BLA</p>		<p>2 499,00</p>	<ul style="list-style-type: none"> – індикатор рівня комфорту; – внутрішня вологість; – внутрішня температура; – зовнішня вологість; – зовнішня температура; – прогноз погоди; – точка роси.
<p>Метеостанція La Crosse WS1650 Black</p>		<p>5 029,00</p>	<ul style="list-style-type: none"> – індикатор рівня комфорту; – внутрішня вологість; – внутрішня температура; – зовнішня вологість; – зовнішня температура; – коефіцієнт охолодження вітру; – кількість опадів; – прогноз погоди; – точка роси; – фаза місяця; – швидкість і напрямок вітру.

Відповідно до проведеного аналізу можемо зробити висновок, що різноманіття додаткових функцій метеостанцій залежить від цінової категорії приладу. Основними перевагами розглянутих метеостанцій є їх мобільність та легкість у використанні. Серед недоліків дешевих метеостанцій можна виділити їх недовговічність, погіршення роботи датчиків з часом. Метеостанції середньої цінової категорії мають задовільний перелік функцій, які повністю задовольняють потреби користувача, однак їх не достатньо для більш ґрунтовних досліджень метрологічних умов чи складання прогнозу погоди. Для таких метеостанцій також властива відсутність захисту від вологи та пилу. Дорожчі метеостанції у першу чергу мають високу ціну, однак підходять для детального спостереження метеорологічних умов. У них гарно функціонують як внутрішні так і зовнішні датчики збору інформації.

Під час розробки нашого прототипу метеостанції основними перевагами його є низька ціна – 1400 грн, він легкий у використанні та

управлінні, портативність, не споживає багато енергії, можливе його подальше перепрограмування та калібрування.

Недоліки моделі нашої системи наведено нижче.

1. Налаштування задаються через інтегроване середовище розробки;
2. На момент завершення проектування пристрій працює від USB-роз'єму;
3. Для розробки краще придбати якісні та перевірені датчики, які будуть функціонувати належним способом;
4. Схема розташована на макетній платі, але у майбутньому може бути замінена на суцільний пластиковий корпус.

1.5 Постановка мети та задач роботи

Проведений аналіз існуючих комерційних рішень задачі збору показників навколишнього середовища показав актуальність обраної теми.

Таким чином, метою роботи є створення моделі автоматичної системи збору та прогнозування показників мікроклімату в приміщенні.

Об'єкт дослідження – система автоматичного збору показників мікроклімату та її компоненти.

Предмет дослідження – модель збору та прогнозування показників мікроклімату на базі мікроконтролера Arduino Nano.

Пристрій буде створено на базі Arduino Nano в силу його невеликих розмірів та потрібної функціональності, а саме можливості підключення LCD дисплею, різноманітних датчиків таких як датчик CO₂ і т.д. (ідеальна кількість пінів для макетної плати невеликого розміру). Дисплей матиме розмір 20x4. Цього достатньо для коректного виводу текстової інформації і побудови графіків. Оскільки платформа Ардуіно створена для аматорського використання, можливо з'єднати всі компоненти схеми за допомогою дротів на макетній платі. Це дає можливість не вдаватися до паяння, тобто всі складові залишаються у стандартному вигляді, що добре вплине на хід роботи і

демонстраційні складові. Живлення прототипу буде здійснюватися шляхом під'єднання до нього блоку живлення роз'ємом mini USB (так зазначено у специфікації Arduino Nano). Програмна частина буде створена у середовищі розробки Arduino IDE мовою C++. Результатом роботи має бути прототип приладу автоматичної системи збору та прогнозування показників мікроклімату в приміщенні.

Таким чином необхідно вирішити наступні задачі:

- вивчити літературу та ознайомитись з основними теоретичними даними за темою проекту;
- виконати аналіз існуючих комерційних рішень за темою роботи;
- розробити модель автоматичної системи збору та аналізу показників мікроклімату;
- виконати підбір компонентів;
- створити макет;
- написати скетч-програму для мікроконтролера;
- прошити мікроконтролер та протестувати його працездатність.

2 АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

2.1 Мікроконтролер Arduino-Nano

Основою цифрової частини портативної метеостанції обрано мікроконтролер Arduino Nano, представленим на рисунку 2.1.

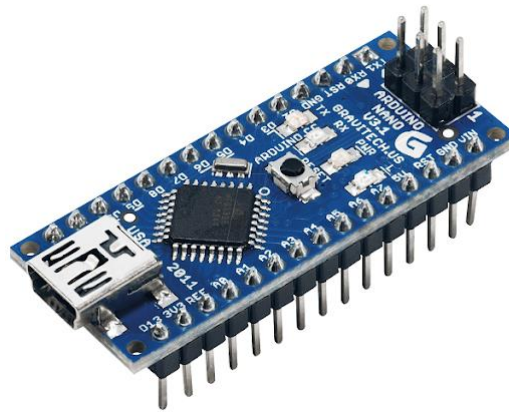


Рисунок 2.1 – Мікроконтролер Arduino Nano

Arduino – апаратна обчислювальна платформа, створена для аматорського використання. Її основними компонентами є плата мікроконтролера з компонентами введення/виведення та середовищем розробки Processing/Wiring на мові програмування, яка є спрощеною підмножиною C/C++ [7]. Arduino можна використовувати як для створення автономних інтерактивних об'єктів, так і для підключення до програмного забезпечення, розробленого на комп'ютері (наприклад: Processing, Adobe Flash, Max/MSP, Pure Data, SuperCollider). Інформація про плати (відбитки друкованих плат, характеристики компонентів, програмне забезпечення) є загальнодоступною та доступна для тих, хто хоче створити власні плати. Програмне забезпечення для такого типу мікроконтролерів можна знайти у вільному доступі. У 2006 році Arduino було визнано в категорії Digital Community на фестивалі Ars Electronica Prix.

2.1.1 Апаратна частина мікроконтролера Arduino

Налічується декілька версій платформи Arduino. Плата Arduino містить мікроконтролер Atmel AVR і набір елементів обв'язки для програмування та інтеграції з іншими пристроями. Більшість плат мають лінійний стабілізатор +5 В або +3,3 В. Тактування здійснюється кварцовим резонатором на 16 або 8 МГц. Мікроконтролер має вбудований завантажувач, тому зовнішній програматор не потрібен. На концептуальному рівні всі плати можна програмувати через послідовне з'єднання RS-232, але реалізація цього методу відрізняється від версії до версії. Новіші плати можна програмувати через USB, наданий чіпом FTDI FT232R USB-to-serial перетворювача. Плати Arduino дозволяють використовувати велику кількість висновків мікроконтролера як вхід/вихід у зовнішніх схемах. Наприклад, плата Decimila має 14 цифрових входів/виходів, 6 з яких можуть генерувати ШІМ-сигнали, і 6 аналогових входів. Ці сигнали доступні на платі через контактні площадки або штифтові роз'єми. Існує також ряд різних зовнішніх плат розширення, які називаються «щитами», які підключаються до плати Arduino через контактні роз'єми [Arduino Language Reference].

AVR – сімейство восьмибітних мікроконтролерів, що раніше випускалися фірмою Atmel, потім – Microchip (рис. 2.2).

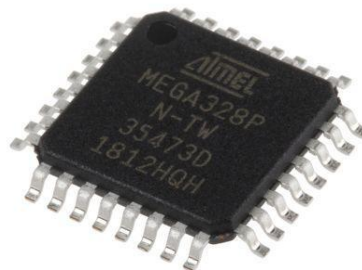


Рисунок 2.2 – Мікроконтролер AVR ATMEGA328P

Мікроконтролери AVR мають гарвардську архітектуру (дані та програми знаходяться в окремих адресних просторах) і систему команд,

ідеологічно схожу на RISC. Процесор AVR має 32 8-розрядних регістри загального призначення, об'єднані в регістровий файл [9].

2.1.2 Сімейство плат Arduino

Основні версії плат Arduino представлені нижче (рис 2.3).



Рисунок 2.3 – Сімейство плат Arduino

Arduino Nano – це маленька "дружня" версія плати Arduino Uno. Має трохи меншу функціональність у порівнянні з Arduino Uno, зате і розмір у неї компактніший. Основними відмінностями плати Arduino Nano від Arduino Uno є відсутність роз'єму постійного струму, використання порту Mini USB замість USB B і використання іншого чіпа для перетворювача USB-TTL - Arduino Nano він побудований на FT232 замість ATmega16U2 в Arduino Uno.

Uno – це, безсумнівно, найпопулярніша плата розробки у сімействі плат Arduino. Вона побудована на основі мікроконтролера ATmega328P. Її виняткова популярність пояснюється її невисокою ціною, простотою освоєння та широким набором різноманітних додаткових модулів, які розширюють її функціонал. Вона містить 14 цифрових контактів вводу/виводу, на 6 з яких можна проводити формування ШІМ-сигналів, 6 аналогових контактів (з 10-бітними АЦП) та основні комунікаційні інтерфейси, такі як SPI, I2C та UART.

Arduino Micro – подібно до того, як Arduino Nano є аналогом UNO у маленькому форм-факторі, Arduino Micro є аналогом плати Arduino Leonardo у зменшених розмірах. За функціоналом вона практично відповідає Arduino Leonardo, відмінність полягає лише у відсутності у неї роз'єму постійного струму. Аналогічно Leonardo її також можна підключати до інтерфейсу HID або віртуального порту COM. Arduino Mega – плата на базі потужного мікроконтролера. Містить значну кількість портів.

Arduino Due – фактично, це апгрейжена Arduino Mega у тому самому форм-факторі, що містить потужніший 32-бітовий ARM мікроконтролер. Як і Mega, плата Arduino Due містить 54 цифрових контактів вводу/виводу та 12 аналогових контактів. Обчислювальну потужність цієї плати забезпечує процесор Atmel SAM3x8E Arm Cortex-M3, що працює на частоті 84 МГц. Плата Arduino Due підтримує ряд додаткових інтерфейсів, яких не було раніше розглянутих плат Arduino – це інтерфейси USB OTG, DAC і JTAG. Плата працює тільки з рівнями напруги 3.3V, тому її контакти "нетерпимо" відносяться до напруги 5V.

Arduino LilyPad – конструкційні особливості дають можливість використовувати плату в предметах одягу та текстилю.

Arduino Ethernet – має можливість підключення до мережі через Ethernet-дріт, а також містить роз'єм для microSD картки.

Pro Mini – по своїй суті це урізана версія плати Arduino Nano. За великим рахунком вона володіє практично тим же функціоналом що і Arduino Nano, але одним з її суттєвих недоліків є відсутність USB порту і власного перетворювача USB - TTL. Але на її край винесені контакти послідовного порту (UART) – через них ми можемо програмувати плату, використовуючи зовнішній модуль USB-UART.

Arduino Yún – має підтримку дистрибутива Linux, вбудований слот Ethernet і Wi-Fi, слот для microSD, а також підтримку USB.

Diecimila – попередня версія базової платформи Arduino USB.

Leonardo – Основою плати Arduino Leonardo є мікроконтролер ATmega32U4, а не ATmega328P як у попередніх розглянутих платах. Він має більше контактів введення виведення (20), контактів для формування ШІМ сигналів (7) і аналогових контактів (12). Також ще однією істотною перевагою мікроконтролера ATmega32U4 є вбудовані в нього можливості взаємодії за інтерфейсом USB, що унеможливує використання додаткового перетворювача USB в UART. Також це дозволяє підключати плату до інтерфейсу HID (Human Interface Device) або віртуального послідовного порту COM.

Mega ADK – версія плати Mega 2560 з підтримкою USB host інтерфейсу для зв'язку з телефонами на Android та іншими пристроями з USB інтерфейсом.

Mega2560 – нова версія плати серії Mega, що розроблена на базі чіпа Atmega2560 із використанням ATmega8U2 для послідовного з'єднання по USB порту.

Fio – платформа розроблена для бездротового використання, містить роз'єм для батареї LiPo, роз'єм для радіо, XBee і інтегровану схему підзарядки [10].

2.1.3 Засоби програмної розробки

Arduino IDE являє собою інтегроване середовище розробки для Windows, MacOS і Linux, розроблена на основі мов програмування C і C++, призначена для створення та завантаження програм на Arduino-сумісні плати та плати інших виробників (рис. 2.4).

Вихідний код цього середовища випускається під стандартною громадською ліцензією GNU версії 2. Вона використовує спеціальні угоди про структуру коду для підтримки мов C і C++. Середовище розробки Arduino IDE надає бібліотеку програмного забезпечення проекту Wiring, яка надає безліч загальних процедур введення та виведення. Написаному користувачем коду потрібні лише дві основні функції для запуску скетчу та

основного циклу програми. Вони скомпільовані і пов'язані з програмною заглишкою `main()` в циклічну програму, що виконується, яка також входить в набір інструментів GNU в дистрибутиві IDE [11].

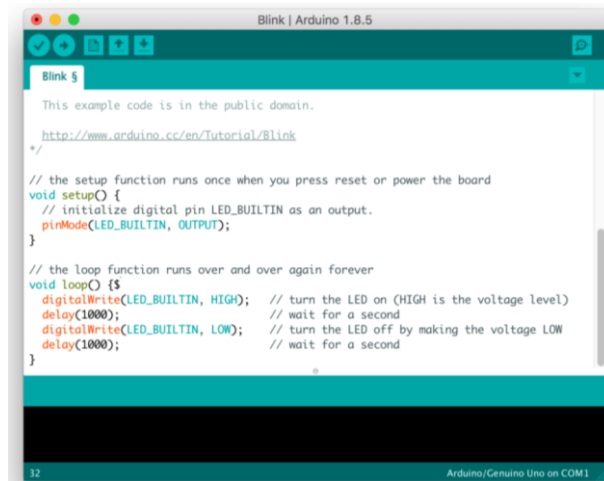


Рисунок 2.4 – Вікно середовища розробки Arduino IDE

2.2 Огляд обраних компонентів

2.2.1 Arduino Nano від Gravitech

Arduino Nano - це невеликий повнофункціональний пристрій на базі мікроконтролера ATmega328 (Arduino Nano 3.0), що підходить для використання з макетною платою (рис. 2.5). Функціонально пристрій схожий на Arduino Duemilanove, але відрізняється розмірами, відсутністю роз'єму живлення та типом кабелю USB (Mini-B). Arduino Nano розроблений та виготовлений компанією Gravitech [12].

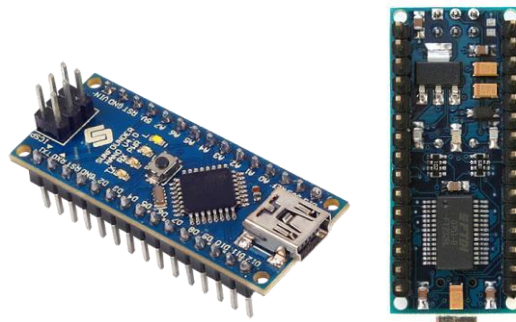


Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд плати Arduino Nano 328p

Специфікацію плати представлено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічна інформація мікроконтролера Arduino Nano 328p

Мікроконтролер	ATmega328
Робоча напруга (логічний рівень)	5В
Напруга живлення (рекомендована)	7-12В
Напруга живлення (гранична)	6-20В
Цифрові входи / виходи	14
Аналогові входи	8
Максимальний струм одного виводу	40 мА
Flash-пам'ять	32 КБ з яких 2 КБ використовуються завантажувачем
SRAM	2 КБ
EEPROM	1 КБ
Тактова частота	16 МГц
Розміри плати	1.85 см x 4.3 см

Ми можемо використовувати функції `pinMode()`, `digitalWrite()` та `digitalRead()`, щоб кожен із 14 цифрових контактів Arduino Nano працював як входи або виходи. Робоча напруга терміналу 5В. Максимальний струм, який може бути отриманий або спожитий одним контактом, становить 40 мА. Всі виходи підключені до внутрішніх резисторів номіналом 20-50 кОм (за замовчуванням відключені). Крім основних, деякі виходи Arduino можуть виконувати додаткові функції [13]. Повний список пінів Arduino Nano наведено у додатку В.

2.2.2 LCD дисплей 20x4 I2C

LCD екран (рис. 2.6) шириною в 20 символів і 4 рядки з керуванням по шині I2C (TWI, IIC), що дуже зручно при нестачі вільних висновків на

Arduino, досить підключити всього два дроти (само-собою не рахуючи живлення) і можна повністю управляти дисплеєм. Відображає кирилицю.

Характеристики:

- I2C адреса 0x27 або 0x3f (в залежності від версії I2C адаптера);
- чіп конвертера I2C: PCF8574A;
- кількість символів в рядку: 20;
- кількість рядків: 4;
- напруга живлення: 5В;
- розміри точки: 0.55 x 0.55 мм;
- розміри символу: 2.96 x 4.75 мм;
- крок символів: 3.55 x 5.35 м;
- розміри: 98 x 60 x 20 мм.

Цоколювка роз'єму:

- GND: загальний;
- VCC: напруга живлення;
- SDA: шина даних;
- SCL: шина тактування даних.

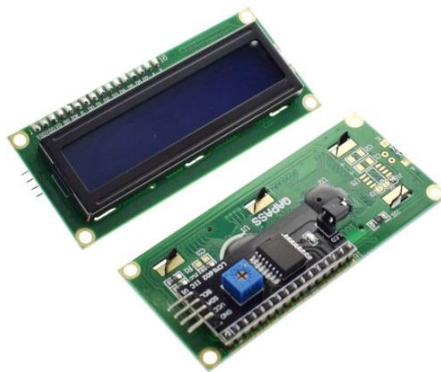


Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд LCD 2004 I2C 20x4

2.2.3 Датчик BME280

Модуль датчика BME280 (рис. 2.7) - нове покоління датчиків тиску, що дозволяють вимірювати не тільки значення атмосферного тиску, а й температуру і вологість. Датчик характеризується високою точністю

вимірювання, високою швидкістю інтерфейсу та досить малим споживанням. Для підключення використовується I2C.

Характеристики та специфікація:

- інтерфейс підключення: I2C;
- максимальна швидкість інтерфейсу: I2C до 3.4МГц;
- межі вимірювання температури: від -40 до 85 градусів;
- точність вимірювання температури: від 0.5 до 1 градуса;
- межі вимірювання вологості: від 0 до 100%;
- точність вимірювання вологості: 3%;
- межі вимірювання тиску: від 300 до 1100 гПа;
- точність вимірювання тиску: 1гПа;
- напруга живлення: від 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;
- струм в режимі сну: від 0.1 мкА до 0.5 мкА;
- розміри модуля: 15 x 12 x 3 мм.

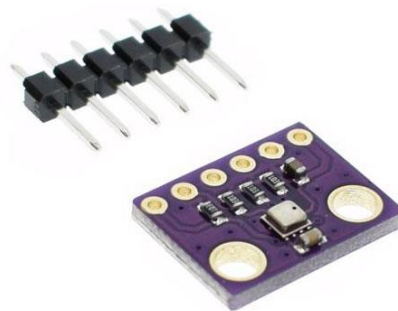


Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд датчика BME280 3.3В I2C

2.2.4 Датчик CO2 MH-Z19B

Датчик інфрачервоного вимірювача концентрації CO₂ MH-Z19B (рис. 2.8) призначений для кількісного визначення питомого вмісту вуглекислого газу в повітрі. Датчик має два вихідних інтерфейси, температурну компенсацію, високу лінійність і мале енергоспоживання.

Характеристики:

- робоча напруга: від 3.6 до 5.5 В;
- напруга логічних рівнів: 3,3;
- середній споживаний струм: <18 МА;
- вимірюваний діапазон: від 0 до 0.5%;
- вихідні сигнали: UART, PWM;
- час розігріву: 3 хвилини;
- час вимірювання: $t_{90} < 60$ s;
- робоча температура: від 0 до 50°;
- робоча вологість: від 0 до 95% RH;
- розміри: 33 мм × 20 мм × 9 мм;
- вага: 21 грам.

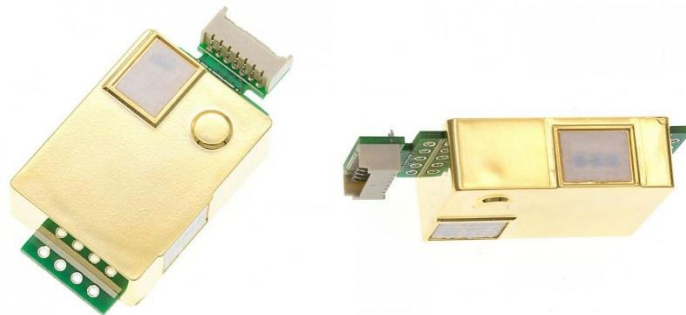


Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд датчика CO2 MH-Z19B

2.2.4 Модуль реального часу на DS3231

Даний модуль годинника реального часу (RTC) відрізняється від подібних модулів тим, що він побудований на унікальній мікросхемі DS3231 (рис. 2.9). Унікальність її полягає в дуже високій точності ходу годинника. Цього вдалося досягнути, помістивши кварцовий резонатор у корпус мікросхеми та забезпечивши температурну компенсацію і цифрову корекцію частоти задаючого генератора. Внутрішній датчик температури доступний через внутрішні регістри годинника. Доступні два програмованих будильника. Типорозмір елемента живлення – CR2032.

Характеристики:

- стабільність генератора ± 2 PPM в діапазоні температур від 0 °C до +40 °C;
- стабільність генератора $\pm 3,5$ PPM в діапазоні температур від -40 °C до +85 °C;
- точність внутрішнього цифрового датчика температури ± 3 °C;
- реєстр корекції точності ходу годинника;
- два режиму шини I2c: стандартний (100КГц) та швидкий (400 КГц);
- робоча напруга живлення від 3.0в до 5.5В;
- робочий температурний діапазон: від 0 до + 70 °C для комерційного; виконання та від -40 до + 85 °C для промислового;
- два програмованих будильника;
- програмований вихід прямокутних імпульсів.

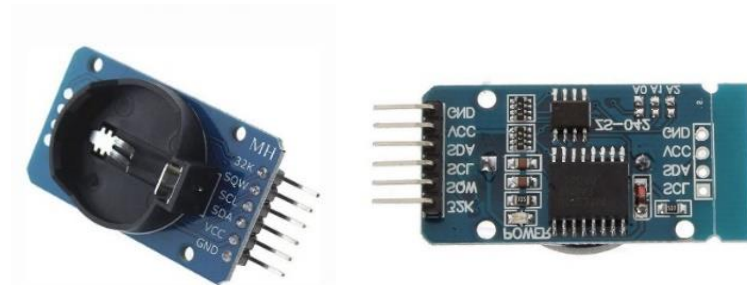


Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд модулю реального часу на DS3231

2.2.5 Сенсорний датчик ТТР223В

Сенсорний модуль побудований на мікросхемі ємнісного датчика дотику ТТР223В (рис. 2.10). У нормальному стані на виході модуля низький логічний рівень. При торканні сенсорного майданчика на виході встановлюється високий логічний рівень. Дуже малий струм споживання спільно з режимом зниженого споживання дозволяє використовувати модуль в системах з автономним живленням. Модуль можна монтувати на пластикові, скляні або будь-які інші неметалеві поверхні. Чутливість датчика дозволяє монтувати його за поверхнями невеликої товщини, що дуже зручно

для використання його в якості прихованих кнопок. Сенсор впевнено спрацьовує на відстані до 4 мм.

Характеристики:

- робоча напруга живлення VCC 3.3V – 5V;
- високий рівень вихідного сигналу 0.8V;
- низький рівень вихідного сигналу VOL 0.3V;
- вихідний струм 8mA;
- струм вихідного підтягуючого резистора 4mA;
- час відгуку 60 ms.

Призначення виводів модуля:

- інтерфейс: GND – загальний, VCC – живлення, SIG (DI) – вихід;
- індикатор живлення: зелений світлодіод, що світиться при подачі напруги живлення;
- кріпильні отвори: 4 M2 отвори діаметром 2.2мм по кутах модуля.

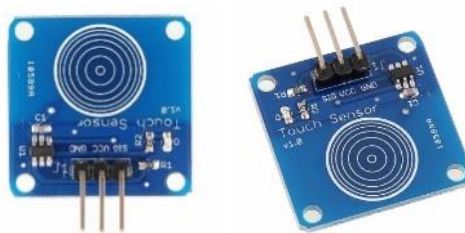


Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд сенсорного датчика TTP223B

2.2.6 Набір дротів та інших монтажних елементів

Набір сполучних дротів (рис 2.11) будемо використовувати для швидкого макетування на безпачній макетній платі. Світлодіодний модуль RGB застосуємо для індикації рівню CO₂ у повітрі.



Рисунок 2.11 – Зовнішній вигляд монтажних елементів

3 АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ЗБОРУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ МІКРОКЛІМАТУ

На рисунку 3.1 наведено модель автоматичної системи збору показників мікроклімату.

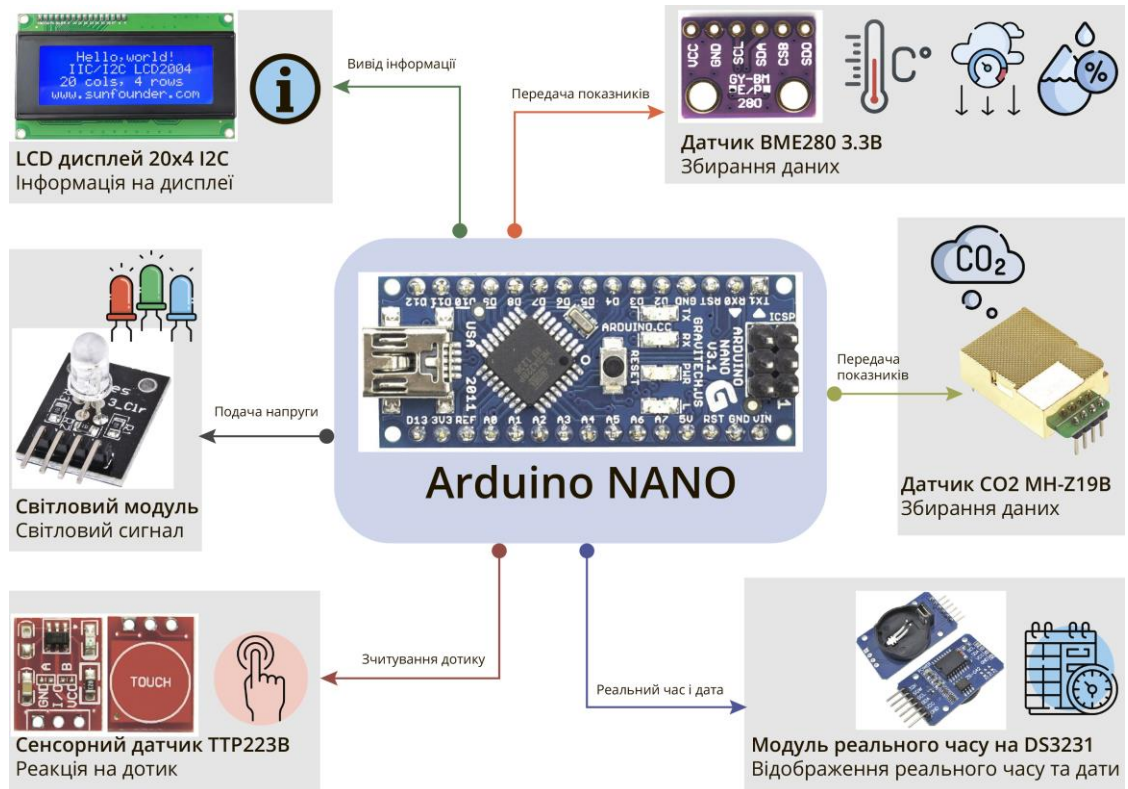


Рисунок 3.1 – Модель системи збору показників мікроклімату та прогнозування погоди

Основою розробленої схеми є плата Arduino Nano із під'єднаними до неї периферійними модулями. Живлення схеми буде відбуватися через mini-USB порт або ж через блок живлення шляхом перепайки самого mini-USB (рис 3.2).

На даній схемі розташовані:

- плата Arduino Nano;
- LCD дисплей 20x4 I2C;
- датчик BME280 3.3В I2C;

- датчик CO2 MH-Z19B;
- модуль реального часу на DS3231;
- сенсорний датчик TTP223;
- RGB світлодіод;
- резистор з опором 220 Ом;
- адаптер I2C для символних дисплеїв на PCF8574;
- монтажні елементи.

Розглянемо з'єднання компонентів детальніше. На схематичному зображенні, червоним кольором зазначено VCC (напругу 5В), синім кольором GND (заземлення), зеленим кольором SDA (послідовну лінію даних), помаранчевим синхросигнал (Clock), жовтим та фіолетовим інформаційне з'єднання датчика CO2 з Arduino.

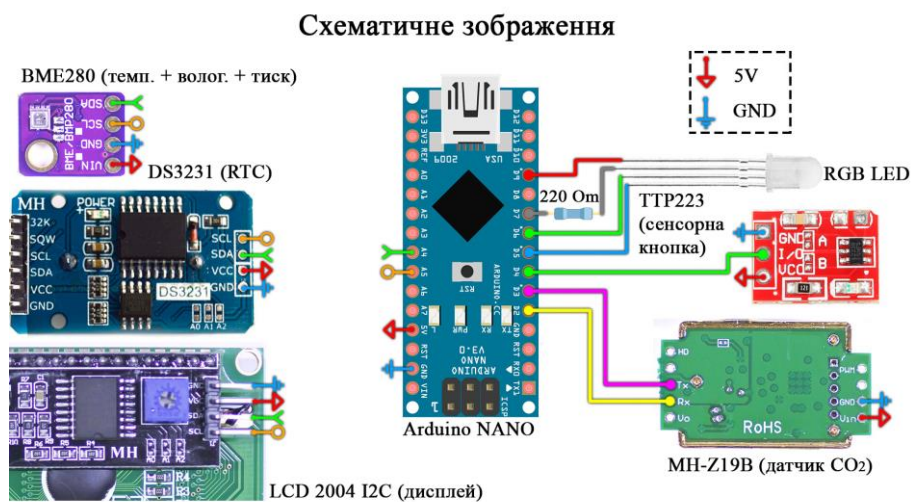


Рисунок 3.2 – Схематичне зображення прототипу

Схема, зображена на рисунку 3.3 є діючою схемою з'єднання Arduino Nano та периферійних пристроїв на даний момент. Можна не використовувати резистори під час проектування, але для того, щоб світлодіод проіснував довше, сила струму на компоненти повинна бути стабільно меншою. Також можна використати RGB модуль із спільним катодом, у такому випадку резистор не знадобиться. Для дисплею потрібен перетворювач-адаптер I2C для зв'язку мікроконтролера із екраном для

коректного виводу інформації. Усі компоненти схеми розташовані на безпечній макетній платі MB-102 на 830 точок. Компоненти з'єднані між собою за допомогою комбінації дротів тато-тато та тато-мама.

Дана модель має певний принцип роботи: при підключенні живлення до пристрою відбувається зчитування даних з основних датчиків пристрою та їх аналіз кожні 4, 10, 90 хв. За допомогою цих інтервалів часу будуються графіки та здійснюється прогноз погоди. Наступним кроком йде перевірка рівню CO₂ у повітрі та індикація світлодіода на основі значень з датчика MH-Z19C. Після цього цикл обробки натискань та затискань сенсорної кнопки (управління пристроєм). Детальніше це показано на рис. 3.3.

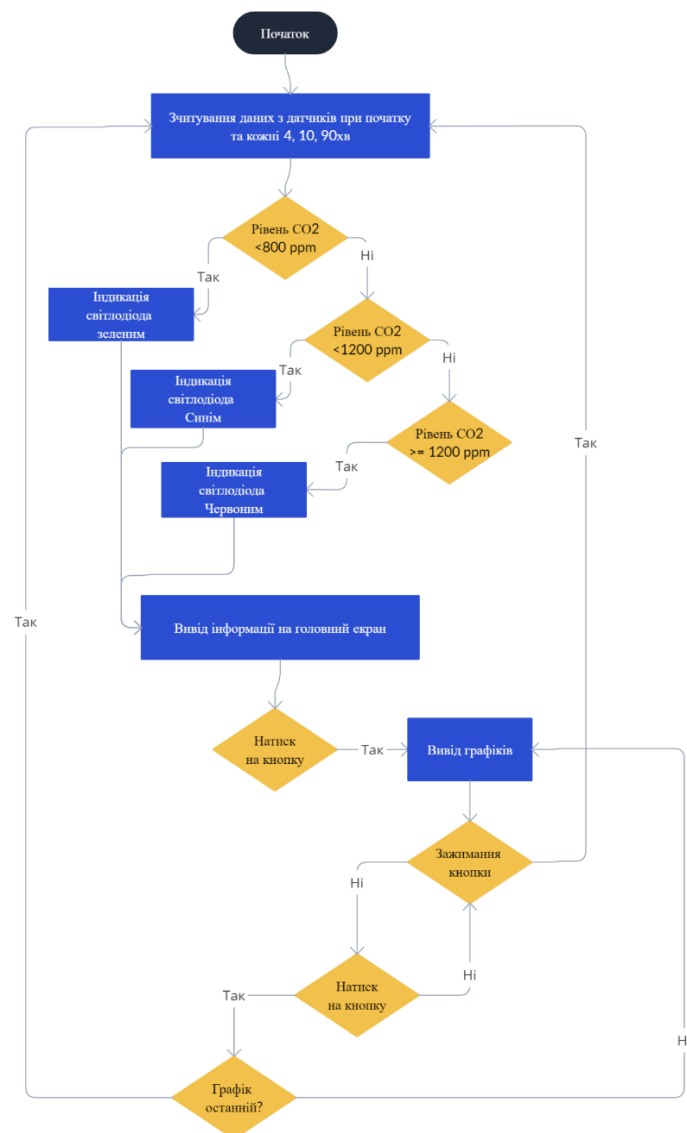


Рисунок 3.3 – алгоритм роботи моделі, що проектується

3.1 Створення прототипу схеми

Розглянемо з'єднання компонентів.

Так, як в Arduino Nano є лише один порт живлення 5 В, то я поєднав його з каналом живлення + на макетній платі. Із портом GND зробив аналогічно.

3.1.1 Приклад підключення модуля BME280 до Arduino Nano

Приклад підключення буде представлено більш дорогою версією датчика температури та вологості із тиском, але він має ту ж саму функціональність та принцип дії. Для коректної роботи модуля необхідно підключити 4 контакти: GND, VCC, SCK, SDA (рис. 3.4):

- а) GND – до землі Arduino, GND-GND;
- б) VIN(5V) – до плюса джерела живлення, +5V – VIN;
- в) SCK – пін A5 мікроконтролера, SCK – A5;
- г) SDI(SDA) – сигнал передачі даних: SDI – A4.

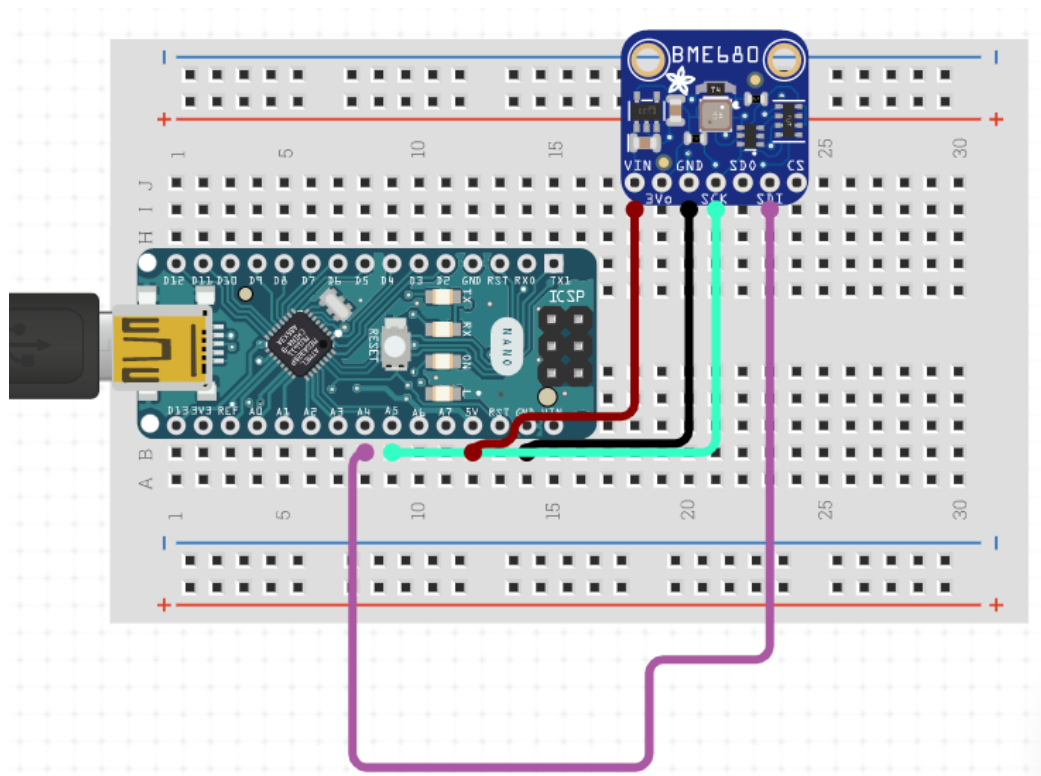


Рисунок 3.4 – Приклад підключення модуля BME680 до Arduino Nano

3.1.2 Підключення LCD дисплею LCD 2004 I2C до Arduino Nano

Для коректної роботи модуля необхідно підключити 4 контакти (GND, VCC, SCL, SDA) за допомогою адаптера I2C підключеного до дисплею аналогічно як модуль BME 280 (рис. 3.5):

- | | |
|-------------------------------------|------------|
| а) GND – до землі Arduino, | GND – GND; |
| б) VCC – до плюса джерела живлення, | +5V – VCC; |
| в) SCL – до порта SCL Arduino | SCL – A5; |
| г) SDA – до порта SDA Arduino | SDA – A4. |

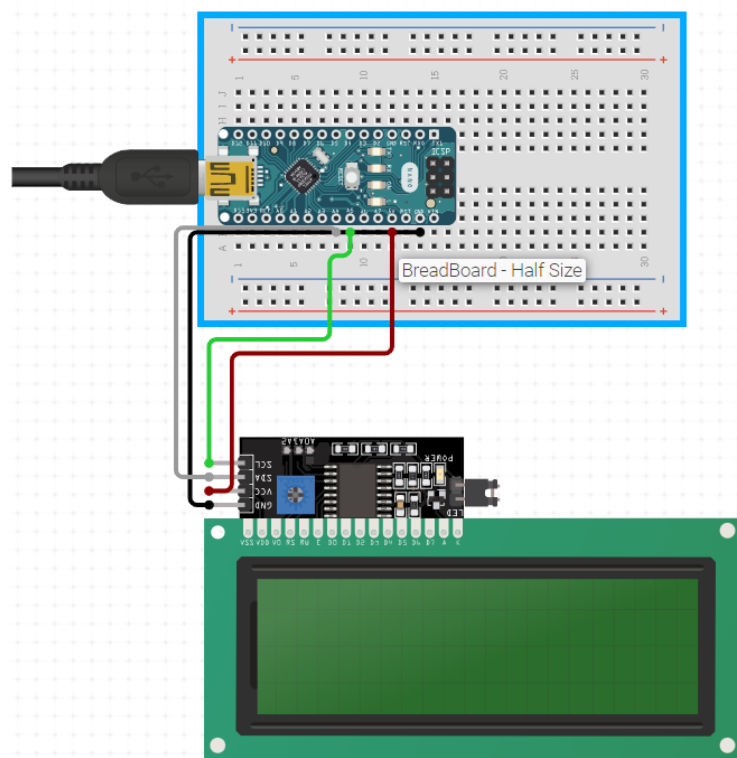


Рисунок 3.5 – Приклад підключення LCD дисплею до Arduino

3.1.3 Приклад підключення модуля реального часу

Підключення модуля реального часу має той самий принцип що і підключення датчика BME280 та LCD дисплею (рис. 3.6):

- | | |
|-------------------------------------|------------|
| а) GND – до землі Arduino, | GND – GND; |
| б) VCC – до плюса джерела живлення, | +5V – VCC; |
| в) SCL – до порта SCL Arduino | SCL – A5; |
| г) SDA – до порта SDA Arduino | SDA – A4. |

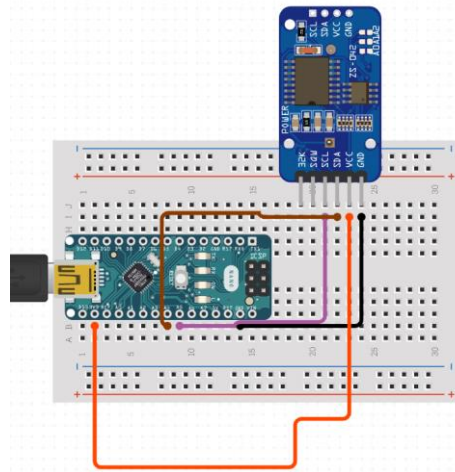


Рисунок 3.6 – Приклад підключення модуля реального часу до Arduino Nano

3.1.4 Приклад підключення сенсорної кнопки до схеми

Для керування пристроєм дотиком достатньо трьох контактів, а саме живлення, заземлення, інформаційного входу-виходу та тактового синхросигналу за необхідністю (рис 3.7) (VCC, GND, SDA, SCL):

- а) GND – до землі Arduino, GND – GND;
- б) VCC – до плюса джерела живлення, +5V – VCC;
- в) SCL – до порта SCL Arduino SCL – A5;
- г) SDA – до порта SDA Arduino SDA – A4.

Інформаційний канал можна назначити не обов'язково на A4, у конструкційній роботі датчик дотику буде під'єднаний до піну D4 мікроконтролера.

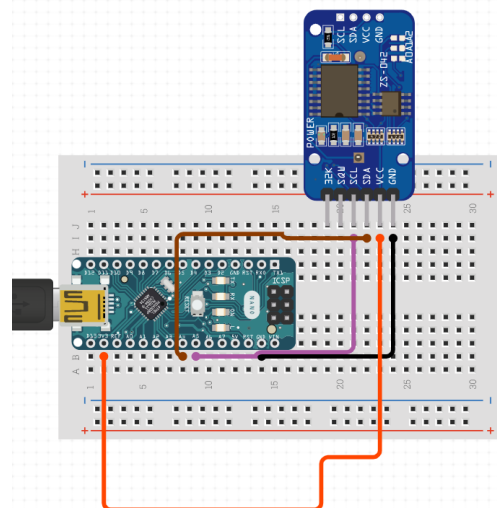


Рисунок 3.7 – Приклад підключення сенсорної кнопки до Arduino Nano

3.1.5 Приклад підключення світлодіода

Світлодіод має дуже простий принцип дії. Потрібно три контакти, а саме живлення, заземлення та канал який замикає кільце (рис. 3.8).

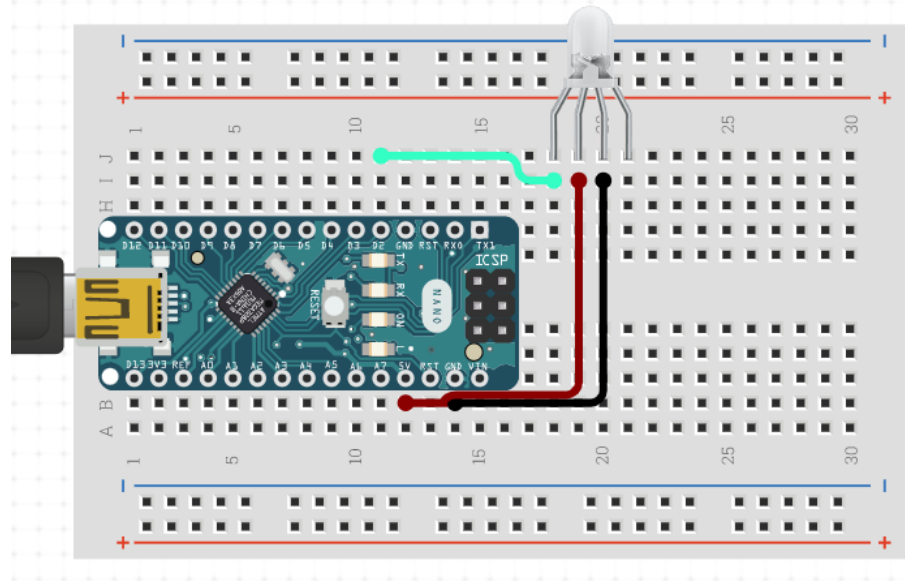


Рисунок 3.8 – Приклад підключення світлодіода до Arduino Nano

3.1.6 Підключення датчику вуглекислого газу

За специфікацією модуля контакт Rx це аналоговий вхід, а Tx це аналоговий вихід. Вхід датчику під'єднано до піну D2 мікроконтролера, а вихід до піну D3 (рис 3.9). Живлення та заземлення відбувається як і у іншій периферії, +5V – VCC, GND – GND.

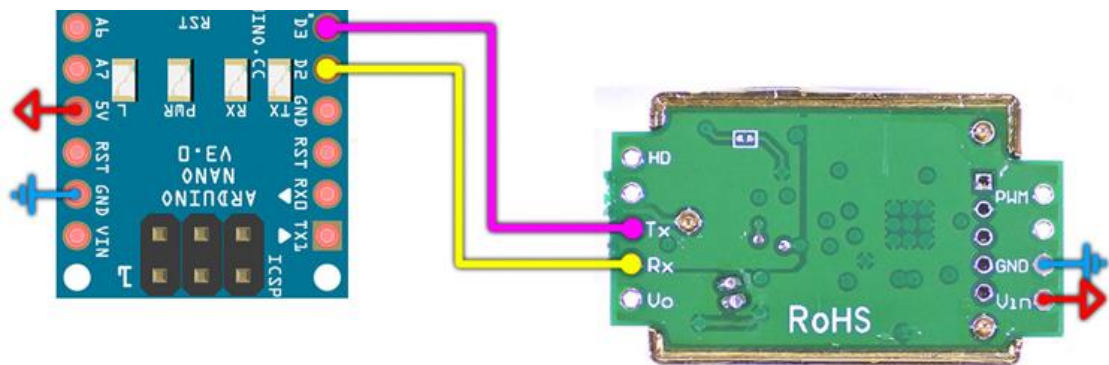


Рисунок 3.9 – Приклад підключення датчику вуглекислого газу

3.2 Тестування схеми

Зібрана схема з пункту 3.1 перевірена на справність авторським скетчем подачі сигналу на основні модулів приладу. При ініціалізації схеми на дисплей виводиться інформація про стан основних датчиків. Якщо все підключено правильно то ми отримаємо наступну інформацію, наведену на рисунках 3.10 та 3.11.



Рисунок 3.10 – Приклад тестування справності модулів

Рисунок зібраного макету, приведенного вище, підтверджує працездатність мікроконтролера, дисплею та основних датчиків приладу.



Рисунок 3.11 – Екран тестування з від'єднаним датчиком CO2

Прошивка мікроконтролера тестувальним скетчем стандартної бібліотеки `LiquidCrystal_I2C`, виводить бігучий напис "Hello world", що

повністю підтверджує справність дисплею, а саме оновлення екрану через певні інтервали часу.

Сенсорна кнопка-перемикач протестована простою програмою включення світлодіода. Модуль реального часу буде протестований під час написання програмного коду (рис. 3.12). Даний рисунок вже реалізує повний програмний код пристрою, тобто вивід на екран показників мікроклімату приміщення, час та вірогідність дощу на основі зміни тиску та вологи. При проектуванні прототипу використовувалась схема пінів Ардуіно, яка показана у додатку В.



Рисунок 3.12 – Тестування головного екрану пристрою

У ході аналізу даних було проведено тестування приладу на предмет можливості складання ним графіків з відповідних датчиків. На рисунку 3.13 представлено приклад складання графіку CO₂, який створюється автоматично за 1 годину.



Рисунок 3.13 – Приклад складання графіку рівня вуглекислого газу

Після тестування всіх компонентів прототипу можна перейти до перевірки побудови графіків на основі показань датчиків приладу. Для цього будемо звіряти показання діаграм метеостанції з аналоговими приладами, таких як кімнатний термометр, барометр. Показання вологості та рівню вуглекислого газу за відсутності необхідних приладів перевірити неможливо.

Покази температури за годину з прототипу наведені на рисунку 3.14.



Рисунок 3.14 – Графік температури за годину з прототипу

Реальні покази температури за годину продемонстровані рисунку 3.15.

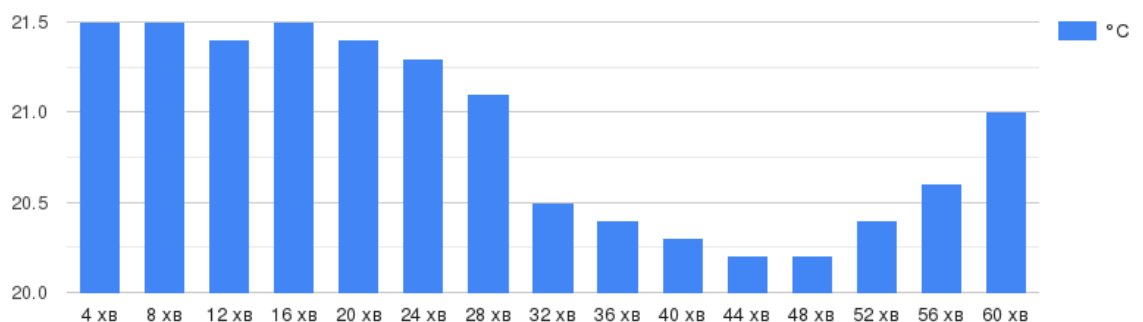


Рисунок 3.15 – Графік реальної температури за годину з прототипу

Покази вологості за годину з прототипу наведені на рисунку 3.16.



Рисунок 3.16 – Графік вологості за годину з прототипу

Покази рівню CO₂ за годину з прототипу наведені на рисунку 3.17.



Рисунок 3.17 – Графік рівню CO₂ за годину з прототипу

Графік вірогідності дощу за годину з прототипу на основі зміни тиску атмосферного тиску наведений на рисунку 3.18.



Рисунок 3.18 – Графік вірогідності опадів за годину з прототипу

На графіках, наведених вище ми можемо бачити можливість моніторингу показників мікроклімату. На двадцятій хвилині експерименту у

кімнаті було відкрито вікно і на діаграмах вуглекислого газу та температури ми можемо бачити зміни на цих проміжках часу. Через зміни показань вірогідність опадів зменшилася на основі незначної зміни вологості та температури.

Отже, зібрана схема довела свою працездатність та можливість будувати графіки з прогнозуванням вірогідних опадів. Фінальний вигляд прототипу наведений на рисунку 3.19.



Рисунок 3.19 – Зовнішній вигляд готового прототипу

3.3 Технічні умови та інструкція користувача

Для того, щоб використовувати даний прилад, потрібно:

- під'єднати Arduino до джерела живлення за допомогою Mini USB (під'єднати Arduino можна до ноутбука, комп'ютера чи павербанку, де є вхід USB);
- при першому підключенні необхідно потримати прилад на свіжому повітрі приблизно пів години;
- вставити батарейку формату CR2032 у батарейний відсік.

Інтерфейс доволі простий. Є головний екран на якому знаходяться основні покази приладу, а саме актуальний час, дата та навіть рік при налаштуванні, рівень вологості, температура, тиск, рівень вуглекислого газу та прогноз погоди (вірогідність дощу за аналізом тиску та вологості). Для перегляду графіків необхідно натиснути на сенсорну кнопку. Першим відкривається графік зміни конкретного значення за годину. Кожна секція відповідає чотирьом хвилинам реального часу ($4\text{хв} * 16 = 60\text{хв}$).

Графік слід переглядати зліва на право, тобто нові колонки з'являються з правої сторони. При наступному натиску відкривається графік показань за добу. Береться середнє статистичне значення за годину і рівномірно розподіляється вздовж ширини екрану. З правої сторони відображається назва значення, яке переглядається, тип графіку (за годину чи добу) максимальне та мінімальне значення за годину чи добу, в залежності від натиску на сенсорну кнопку.

Для виходу на головний екран потрібно затиснути сенсорну кнопку протягом кількох секунд. Послідовні натиски на кнопку відкривають графіки в наступному порядку: температура, вологість, тиск, рівень вуглекислого газу. На приладі розташований світлодіод який сигналізує про наступне:

- зелений колір свідчить про те, що рівень вуглекислого газу в повітрі оптимальний;
- синій колір сигналізує про середній рівень CO₂ у навколишньому середовищі;
- мерехтіння червоного кольору дає інформацію про завищений рівень двоокису вуглецю навколишнього середовища, що у свою чергу свідчить про те, що слід негайно провітрити кімнату або покинути небезпечну ділянку.

Метеостанція має розміри 20х6х9 см, вагу 300-400 грам та рідкокристалічний дисплей на 20х4 символів.

4 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ

4.1 Налаштування скетчу

Програма створена в інтегрованому середовищі розробки Arduino IDE. Вона завантажена з офіційного сайту arduino.cc. Скетч реалізований на C++.

В Arduino IDE обираємо потрібну конфігурацію, а саме:

- інструменти -- плата -- Arduino Nano;
- інструменти -- процесор -- Atmega328p;
- порт COM3 (у моєму випадку COM3, але на інших ПК назву порта можна подивитись у диспетчері пристроїв).

4.2 Підключення бібліотек

Для даного проекту необхідні 5 бібліотек:

- “Adafruit_BME280_Library”;
- “Adafruit_sensor”;
- “LiquidCrystal_I2C”;
- “mhz19_uart”;
- “RTCLib-master”.

Бібліотеки “Adafruit_BME280_Library” та “Adafruit_sensor” розроблені спеціально для зчитування показників з датчика BME280. Таке технічне вирішення має простий та зрозумілий функціонал, який легко реалізувати.

Основними функціями бібліотек є:

- `readTempera ()` зчитує показання температури;
- `readPressure ()` зчитує показання тиску;
- `readHumidity` зчитує показання вологості.

Бібліотека `LiquidCrystal_I2C` дозволяє керувати рідкокристалічним дисплеєм та розподіляти на ньому інформацію за допомогою програмного

коду. Основні функції поділяють на два типи, системні та ті, що працюють з текстом.

Системні функції:

- `init()` обов'язкова ініціалізація;
- `begin(col, row, size)` ініціалізація дисплею з урахуванням кількості стовпців, рядків і розміру символу відповідно;
- `backlight()` активує підсвітку;
- `noBacklight()` деактивує підсвітку;
- `display()` вмикає вивід на екран;
- `noDisplay()` вимикає вивід на екран.

Основні функції для роботи з текстом:

- `clear()` очищає екранну область та ставить курсор у позицію 0.0;
- `home()` скидання курсору у позицію 0.0;
- `setCursor(col, row)` ставить курсор в конкретне положення;
- `print("text")` виводить текст на екран.

Дана бібліотека “`mhz19_uart`” дозволяє Ардуіно взаємодіяти з датчиком CO2. Вона спеціально створена конкретно для модуля MH-Z19.

Бібліотека `RTClib` використовується для роботи з годинником реального часу на мікросхемах PCF8523, DS1307, DS3221 [14]. Її основні функції:

- `print(now.year(), DEC)` повертає поточний рік;
- `print(now.day(), DEC)` повертає поточний день;
- `print(now.hour(), DEC)` повертає поточну годину;
- `print(now.minute(), DEC)` повертає поточну хвилину;
- `print(now.second(), DEC)` повертає поточну секунду.

4.3 Створення скетчу мовою C++

Наведемо перелік пінів, за допомогою яких відбувається керування пристроєм та виведення потрібної нам інформації на дисплеї. Приклад наведено нижче у лістингу 4.1.

Лістинг 4.1 – Оголошення пінів

```
#define BACKLIGHT 10
#define PHOTO A3

#define MHZ_RX 2
#define MHZ_TX 3

#define LED_COM 7
#define LED_R 9
#define LED_G 6
#define LED_B 5
#define BTN_PIN 4

#define BL_PIN 10 // пін підсвітки дисплею
#define PHOTO_PIN 0
```

Об`ява змінних для виводу на екран:

```
float dispTemp;
byte dispHum;
int dispPres;
int dispCO2;
int dispRain;
```

Об`ява масивів графіків:

```
int tempHour[15], tempDay[15];
int humHour[15], humDay[15];
int pressHour[15], pressDay[15];
int co2Hour[15], co2Day[15];
int delta;
uint32_t pressure_array[6];
uint32_t sumX, sumY, sumX2, sumXY;
float a, b;
byte time_array[6];
```

Наступним етапом є ініціалізація годинника (лістинг 4.2).

Лістинг 4.2 – Ініціалізація годинника

```
void drawClock(byte hours, byte minutes, byte x, byte y, boolean
dotState) {
    lcd.setCursor(x, y);
    lcd.print("      ");
    lcd.setCursor(x, y + 1);
    lcd.print("      ");

    //if (hours > 23 || minutes > 59) return;
    if (hours / 10 == 0) drawDig(10, x, y);
    else drawDig(hours / 10, x, y);
    drawDig(hours % 10, x + 4, y);

    drawDig(minutes / 10, x + 8, y);
    drawDig(minutes % 10, x + 12, y);}
}
```

Функція `drawDig ()` відповідає за коректний вивід числових значень та їх розмір відносно стовпців та рядків у правій частині екрану. Повний лістинг функції знаходиться у додатку Б2. Далі ми проводимо конфігурацію головного світлодіода, який буде давати інформацію про рівень вуглекислого газу (лістинг 4.3).

Лістинг 4.3 – Конфігурація світлодіода

```
#if (LED_MODE == 0)
byte LED_ON = (LED_BRIGHT_MAX);
byte LED_OFF = (LED_BRIGHT_MIN);
#else
byte LED_ON = (255 - LED_BRIGHT_MAX);
byte LED_OFF = (255 - LED_BRIGHT_MIN);
#endif

void setLED(byte color) {
  // спочатку все вимикаємо
  if (!LED_MODE) {
    analogWrite(LED_R, 0);
    analogWrite(LED_G, 0);
    analogWrite(LED_B, 0);
  } else {
    analogWrite(LED_R, 255);
    analogWrite(LED_G, 255);
    analogWrite(LED_B, 255);
  }
  switch (color){// 0 вимкн, 1 червоний, 2 зелений, 3 синій (або жовтий)
  case 0:
    break;
  case 1: analogWrite(LED_R, LED_ON);
    break;
  case 2: analogWrite(LED_G, LED_ON);
    break;
  case 3:
    if (!BLUE_YELLOW) analogWrite(LED_B, LED_ON);
    else {
      analogWrite(LED_R, LED_ON - 50); // зменшуємо рівень червоного
      analogWrite(LED_G, LED_ON);
    }
    break;}
}
```

Далі буде описаний основний код в функції `void setup()`, який буде виконуватись на постійній основі при початку роботи програми (лістинг 4.4).

Лістинг 4.4 – Функція `void loop()`

```
void loop() {
  Serial.begin(9600);

  pinMode(BACKLIGHT, OUTPUT);
  pinMode(LED_COM, OUTPUT);
}
```

```

pinMode(LED_R, OUTPUT);
pinMode(LED_G, OUTPUT);
pinMode(LED_B, OUTPUT);
setLED(0);

digitalWrite(LED_COM, LED_MODE);
analogWrite(BACKLIGHT, LCD_BRIGHT_MAX);

lcd.init();
lcd.backlight();
lcd.clear();

#if (DEBUG == 1 && DISPLAY_TYPE == 1)
    boolean status = true;

    setLED(1);
...

```

Даний код призначений для перевірки статусу роботи програми. Якщо змінна `DEBUG` та `DISPLAY_TYPE`(залежить від типу дисплея, 16x4 або 20x4) приймають значення 1, то прилад виводить на екран статус підключення основних периферійних пристроїв. Детальніше про це написано у розділі тестування метеостанції. Якщо умова не виконується, то ініціалізується робота основної програми.

Лістинг 4.5 – Ініціалізація роботи основної програми

```

#if (CO2_SENSOR == 1)
    mhz19.begin(MHZ_TX, MHZ_RX);
    mhz19.setAutoCalibration(false); #endif
    rtc.begin();
    bme.begin(&Wire);
#endif
    bme.setSampling(Adafruit_BME280::MODE_FORCED,
                    Adafruit_BME280::SAMPLING_X1, //temperature
                    Adafruit_BME280::SAMPLING_X1, // pressure
                    Adafruit_BME280::SAMPLING_X1, // humidity
                    Adafruit_BME280::FILTER_OFF );
    if (RESET_CLOCK || rtc.lostPower())
    rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
    now = rtc.now();
    secs = now.second();
    mins = now.minute();
    hrs = now.hour();
    bme.takeForcedMeasurement();
    uint32_t Pressure = bme.readPressure();
    for (byte i = 0; i < 6; i++) {
        pressure_array[i] = Pressure;
        time_array[i] = i;}
    if (DISPLAY_TYPE == 1) {
        loadClock();
        drawClock(hrs, mins, 0, 0, 1);
        drawData();}
    readSensors();
    drawSensors();}

```

Остання функція основної програми `void loop()` виконує періодичне зчитування показань датчиків, перераховування часу та мерехтіння точок на годиннику, відловлювання натискань на сенсор та зміну режиму виводу інформації, і перемальовування графіків (лістинг 4.6).

Лістинг 4.6 – Функція виконання основної програми

```
void loop() {
  if (brightTimer.isReady()) checkBrightness();
  if (sensorsTimer.isReady()) readSensors();
  #if (DISPLAY_TYPE == 1)
    if (clockTimer.isReady())
      clockTick();
  plotSensorsTick();
  modesTick();
  if (mode == 0) {
    if (drawSensorsTimer.isReady()) drawSensors();
  } else {
    if (plotTimer.isReady()) redrawPlot();
  }
  #else
  if (drawSensorsTimer.isReady()) drawSensors();
  #endif
}
```

У лістингу 4.7 розглянемо детальніше файл функцій, які використовуються у тілі основної програми.

Лістинг 4.7 – Перевірка освітленості приміщення

```
void checkBrightness() {
  if (analogRead(PHOTO) < BRIGHT_THRESHOLD) { // якщо темно
    analogWrite(BACKLIGHT, LCD_BRIGHT_MIN);
  #if (LED_MODE == 0) #else
    LED_ON = (LED_BRIGHT_MIN);
    LED_ON = (255 - LED_BRIGHT_MIN); #endif
  } else { // якщо світло
    analogWrite(BACKLIGHT, LCD_BRIGHT_MAX);
  #if (LED_MODE == 0)
    LED_ON = (LED_BRIGHT_MAX); #else
    LED_ON = (255 - LED_BRIGHT_MAX); #endif
  }
  if (dispCO2 < 800) setLED(2);
  else if (dispCO2 < 1200) setLED(3);
  else if (dispCO2 >= 1200) setLED(1);}
```

Вище описаний лістинг конфігурує яскравість світлодіода та задає йому колір в залежності від рівня вуглекислого газу в повітрі. Наступний лістинг 4.8 показує перехід від основного екрану до графіків в залежності від

натискань сенсорної кнопки та змінює значення флагу, де “0” відповідає за основний екран а “1” за графіки.

Лістинг 4.8 – Перевірка на тип виводу програми

```
#if (CO2_SENSOR == 1)
    if (mode > 8) mode = 0;
#else
    if (mode > 6) mode = 0;
#endif
    changeFlag = true;
}
if (button.isHeld()) {
    mode = 0;
    changeFlag = true;
}

if (changeFlag) {
    if (mode == 0) {
        lcd.clear();
        loadClock();
        drawClock(hrs, mins, 0, 0, 1);
        if (DISPLAY_TYPE == 1) drawData();
        drawSensors();
    } else {
        lcd.clear();
        loadPlot();
        redrawPlot();
    }
}
}
```

Наступна функція, наведена у лістингу 4.9 зчитує показання датчиків та оновлює колір світлодіода.

Лістинг 4.9 – Функція зчитування показань датчиків

```
void readSensors() {
    bme.takeForcedMeasurement();
    dispTemp = bme.readTemperature();
    dispHum = bme.readHumidity();
    dispPres = (float)bme.readPressure() * 0.00750062;
    #if (CO2_SENSOR == 1)
        dispCO2 = mhz19.getPPM();

        if (dispCO2 < 800) setLED(2);
        else if (dispCO2 < 1200) setLED(3);
        else if (dispCO2 >= 1200) setLED(1);
    #endif }
}
```

Найголовніша функція прогнозування погоди передбачає зміну тиску через певні проміжки часу (10 хвилин), та на основі цієї різниці виводиться

відсоткова вірогідність опадів. Існує дві причини виникнення дощу, це циклон та конвекційні хмари. Обидва способи появи опадів супроводжуються зниженням атмосферного тиску. Чим більший показник зміни тиску, тим більша вірогідність дощу чи снігопаду. Будемо відштовхуватись від формули $\Delta P = (P - P_{\text{мин}}) / \text{час}$. Якщо $\Delta P = +1-2$ гПа/г, то це мінлива хмарність. Якщо $\Delta P = +0.25-0.5$ гПа/г, то це антициклон. $\Delta P = -1-2$ гПа/г свідчить про бурю взимку, грозу влітку. $\Delta P = -0.25-0.5$ гПа/г прогнозує циклон (довгострокова зміна). Розрахунок вірогідності опадів наведено у лістингу 4.10.

Лістинг 4.10 – Функція прогнозування погоди на основі показань тиску

```

if (predictTimer.isReady()) {
    // тут робимо лінійну апроксимацію для передбачення погоди
    long averPress = 0;
    for (byte i = 0; i < 10; i++) {
        bme.takeForcedMeasurement();
        averPress += bme.readPressure();
        delay(1);
    }
    averPress /= 10;
    for (byte i = 0; i < 5; i++)
    {
        pressure_array[i] = pressure_array[i + 1];    //
    // здвигаємо масив тиску окрім останньої ланки назад
    }
    pressure_array[5] = averPress;    // останній елемент масиву тепер
    // новий тиск
    sumX = 0;
    sumY = 0;
    sumX2 = 0;
    sumXY = 0;
    for (int i = 0; i < 6; i++) {    // для усіх елементів масиву
        sumX += time_array[i];
        sumY += (long)pressure_array[i];
        sumX2 += time_array[i] * time_array[i];
        sumXY += (long)time_array[i] * pressure_array[i];
    }
    a = 0;
    a = (long)6 * sumXY;    // розрахунок коефіцієнта нахилу прямої
    a = a - (long)sumX * sumY;
    a = (float)a / (6 * sumX2 - sumX * sumX);
    delta = a * 6;    // розрахунок зміни тиску
    dispRain = map(delta, -250, 250, 100, -100);
    // перераховуємо у відсотки
}
}

```

ВИСНОВКИ

У даному дослідженні було розглянуто та проаналізовано поняття мікроклімату, розглянуто його основні складові. У ході роботи було виявлено, що мікроклімат є поєднанням певних характеристик повітряного середовища обраного приміщення, а саме температури, вологості, швидкості руху повітря як саме вони впливають на працездатність людини.

Було розглянуто види та норми сприятливого мікроклімату для належних умов праці. Доведено прямий взаємозв'язок мікроклімату з працездатністю людини. Таким чином з'ясовано актуальність даного дослідження у зв'язку з тим, що у сучасних умовах стресу та надмірних навантажень людині потрібно дотримуватися гігієни праці, тому розробка домашніх систем збору та аналізу показників мікроклімату стануть у нагоді у такому випадку, аби контролювати мікроклімат у виробничому приміщенні.

Проведено аналіз доступних на сучасному ринку портативних метеостанцій та виявлено, що прототип, який було розроблено повністю відповідає характеристикам метеостанцій середнього цінового сегменту.

Під час розробки схем та конструкційних робіт було створено прототип автоматичної системи збору та прогнозування показників мікроклімату в приміщенні. У процесі проектування було складено перелік та характеристики необхідного обладнання для приладу, за допомогою схем в спеціальному конструкторі подано приклади підключення компонентів до мікроконтролера Arduino Nano, проведено тестування прототипу за допомогою спеціального середовища розробки Arduino IDE, створено скетч-програму і складено інструкцію користувача.

Легкість конструювання, невеликий бюджет компонентів та потужний потенціал роблять даний проект корисним приладом для людей, які прагнуть слідкувати за своїм робочим мікрокліматом задля контролю змін у ньому та попередження захворювань пов'язаних з порушення належних робочих умов.

Як зазначається у роботі, даний прилад, у першу чергу, слугує як домашня метеостанція, яка у подальшій розробці та удосконаленні може стати повноцінним приладом збору метеоданих, який може використовуватися на малих чи великих підприємствах для контролю якості умов для працівників різних сфер діяльності. Також дана розробка може бути використана при наочному вивченні мікроконтролерних систем у нашому університеті та слугувати бюджетним аналогом демонстраційного матеріалу для студентів, які займаються вивченням спеціальності “Спеціалізовані комп’ютерні системи”.

Під час розробки приладу було виявлено, що даний прототип можна вдосконалити наступними кроками, наведеними нижче.

1. Позбутися макетної плати та провести зпаювання всіх компонентів за допомогою з’єднувальних дротів у відповідності до складеної схеми.

2. Спроекувати контейнер-корпус для всіх датчиків та компонентів для покращення естетичних та функціональних якостей, який захистить наповнення від механічних пошкоджень і надасть приладу привабливого вигляду.

3. У майбутньому можливо передбачити місце для акумуляторного відсіку, що у свою чергу зробить прилад портативним та автономним.

4. Також можливе додавання Wi-Fi модуля до схеми для з’єднання приладу зі смартфоном, щоб здійснювати передачу даних та сигналізувати про показники мікроклімату.

Отже, спираючись на актуальність даної роботи, можна стверджувати про користь цієї розробки, що у свою чергу може бути корисним у подальших дослідженнях як з теоретичної так і з практичної точки зору.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Monitoring temperature and humidity using arduino nano and module-dht11 sensor with real time DS3231 data logger and LCD display [Текст] / Kuria K. P., Kuria O. O. R., Gabriel M. M. // International journal of engineering research & technology (IJERT). 2020. Vol. 9, no. 12. P. 416–422.
2. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Текст] / Київ. Постанова від 01.12.1999 р. № 42.
3. ДНАОП 0.03-3.06-80. Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень № 2152-80 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://document.ua>. – Дата доступу: 15.09.2022 р. – Заг. з екрану.
4. Мікроклімат виробничих приміщень та вплив мікроклімату на працездатність людини [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://km.dsp.gov.ua/news/3669-mkroklmat-virobnichih-primschen-ta-vpliv-mkroklmatu-na-pracezdatnst-lyudini.html>. – Дата доступу: 10.10.2022 р. – Заг. з екрану.
5. The intelligent weather station system based on Arduino [Текст] / Gao J., Ma H., Liu H. // International conference on engineering and advanced technology, 2016. – No. 82. – P. 300-308.
6. Wireless weather station using arduino mega and arduino nano [Текст] / A. Gheorghe, C. Stoica // The scientific bulletin of electrical engineering faculty. – 2021. – Vol. 21, no. 1. – P. 35-38.
7. Wikipedia – Arduino. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Arduino/>. – Дата доступу: 17.02.2021 р. – Загол. з екрану.
8. Arduino Language Reference [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.arduino.cc/en/Reference/HomePage/>. – Дата доступу: 17.03.2021 р. – Загол. з екрану.

9. Arduino nano A hands-on guide for beginner [Текст] / Kurniawan A. PE Press, 2019. 104 p.
10. Аналіз впливу мікроклімату в промислових теплицях на виробничий персонал [Текст] / Савченко Л., Савченко В. // Науковий журнал «Інженерія природокористування». 2020. Т. 2, № 10. С. 122–129.
11. Програмування на Ардуіно [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://https://doc.arduino.ua/ru/prog/>. – Дата доступу: 23.09.2022 р. – Загол. з екрану.
12. Сукач С. В. Моніторинг і керування рівнями фізичних факторів виробничого середовища [Текст] : дис. ... д-ра техн. Наук / С. В. Сукач. – К., 2017. – 254 с.
13. The influence of microclimate conditions on ozone disinfection efficacy in working places / C. Pironti et al. Environmental science and pollution research. 2021. No. 28. P. 64687–64692. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15457-2>. – Дата доступу: 11.10.2022 р. – Загол. з екрану.
14. Arduino – Projects [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://arduino-project.net/>. – Дата доступу: 15.03.2021 р. – Загол. з екрану.