

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного менеджменту

Гайдей Станіслав Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 631.415

(індекс)

## БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

**Розроблення інформаційно-вимірювальної системи контролю  
якості повітря навколишнього середовища**

(назва роботи)

Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(назва освітньої програми)

152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва спеціальності)

**Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів  
інших авторів мають посилання на відповідне джерело:**

Здобувач освітнього ступеня С.І. Гайдей

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник Середюк Орест Євгенович д.т.н., проф.

(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

**Допущено до захисту**

**Завідувач кафедри**

В.С.Цих

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетикиКафедра інформаційно-вимірjuвальних технологій та енергетичного менеджментуОсвітній рівень перший (бакалаврський)Спеціальність 152- Метрологія та інформаційно-вимірjuвальна техніка

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**Завідувач кафедри ІВТЕМВ.С. Цих«    »      20   року**З А В Д А Н Н Я  
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**Гайдею Станіславу Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення інформаційно-вимірjuвальної системи контролю якості повітря навколишнього середовищакерівник роботи Середюк орест Євгенович., д.т.н., проф.,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “13” травня 2026 року № 215/72. Строк подання студентом роботи 20.06.20263. Вихідні дані до роботи вимірjuвання атмосферного тиску в межах 30-110 кПа, вимірjuвання температури в діапазоні -40°C...+90°C, вимірjuвання вологості в діапазоні 0-100%, вимірjuвання вмісту вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) в межах від 400 до 8000 частинок на мілльйон

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Методи та засоби вимірjuвання фізичних параметрів повітря навколишнього середовища2. Проектування системи контролю якості повітря навколишнього середовища3. Технічне обслуговування розроблюваної системи

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Алгоритм роботи пристрою моніторингу якості повітря2. Електрична схема пристрою для моніторингу якості повітря3. Структурна схема пристрою4. Апаратна реалізація розроблюваного пристрою

## 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|        |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |
|        |                                           |                |                  |

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів магістерської роботи                                                        | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1.    | <i>Вступ</i>                                                                             |                                |          |
| 2.    | <i>Методи та засоби вимірювання фізичних параметрів повітря навколишнього середовища</i> |                                |          |
| 3.    | <i>Проектування системи контролю якості повітря навколишнього середовища</i>             |                                |          |
| 4.    | <i>Технічне обслуговування розроблюваної системи</i>                                     |                                |          |
| 5.    | <i>Оформлення бакалаврської роботи</i>                                                   |                                |          |
|       |                                                                                          |                                |          |
|       |                                                                                          |                                |          |
|       |                                                                                          |                                |          |
|       |                                                                                          |                                |          |
|       |                                                                                          |                                |          |
|       |                                                                                          |                                |          |
|       |                                                                                          |                                |          |
|       |                                                                                          |                                |          |
|       |                                                                                          |                                |          |

Студент \_\_\_\_\_ Гайдей С.І.  
 ( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Середюк О.Є.  
 ( підпис ) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить: 71 с., 18 рис., 15 табл., 25 джерел, 5 аркушів креслень.

Тема бакалаврської роботи – «Розроблення інформаційно-вимірювальної системи контролю якості повітря навколишнього середовища».

Предмет дослідження – система вимірювання якості повітря, вашкі частинки в повітрі.

Мета роботи – розробити метеостанцію з давачем якості повітря та дистанційним передаванням інформації.

Метод дослідження – чи є в повітрі вашкі частинки і чи придатне повітря для перебування в приміщенні чи на дворі.

У даному дипломному проєкті проведено аналіз методів та засобів вимірювання якості повітря, температури, вологості та атмосферного тиску.

На основі аналізу схемотехнічних рішень пристроїв для вимірювання якості повітря, температури, вологості та атмосферного тиску розроблено систему, на базі Arduino.

МЕТЕОСТАНЦІЯ, ARDUINO, ДАВАЧ, ПЛАТА, ЯКІСТЬ ПОВІТРЯ, ТЕМПЕРАТУРА, ВОЛОГІСТЬ, АТМОСФЕРНИЙ ТИСК.

## ABSTRACT

Bachelor work: 71 pages, 18 figures, 15 tables, 25 sources, 5 sheets of drawings.

The topic of the bachelor's thesis is "Development of information and measurement system for environmental air quality control".

The subject of research - the system of measuring air quality, lice particles in the air.

The purpose of the work is to develop a meteorological station with an air quality sensor and remote transmission of information.

The method of research is whether there are lice particles in the air and whether the air is suitable for staying indoors or outdoors.

In this diploma project the analysis of methods and means of measuring air quality, temperature, humidity and atmospheric pressure is carried out.

Based on the analysis of circuit solutions of devices for measuring air quality, temperature, humidity and atmospheric pressure, a system based on Arduino was developed.

WEATHER STATION, ARDUINO, SENSOR, FEE, AIR QUALITY, TEMPERATURE, HUMIDITY, ATMOSPHERIC PRESSURE.

## ЗМІСТ

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Вступ.....                                                                           | 7  |
| 1 Методи та засоби вимірювання фізичних параметрів повітря навколишнього середовища  | 9  |
| 1.1 Вимірювання температури повітря                                                  | 9  |
| 1.2 Вимірювання вологості повітря                                                    | 12 |
| 1.3 Вимірювання атмосферного тиску                                                   | 17 |
| 1.4 Методи та засоби вимірювання фізичних параметрів якості повітря                  | 19 |
| 1.4.1 Аналіз повітря за допомогою газоаналізаторів (детекторів)                      | 20 |
| 1.4.2 Вимірювання вологості повітря                                                  | 21 |
| 1.4.3 Хімічні аналізи повітря за допомогою тестових трубок                           | 22 |
| 1.4.4 Аналіз повітря методом газової хроматографії із мас-спектроскопічною детекцією | 22 |
| 1.3 Методи дистанційного передавання вимірювальної інформації                        | 22 |
| 2 Проектування системи контролю якості повітря навколишнього середовища              | 29 |
| 2.1 Розробка структурної схеми                                                       | 29 |
| 2.2 Розробка електричної принципової схеми                                           | 30 |
| 2.3 Контролер Arduino Pro Mini                                                       | 32 |
| 2.4 Давач якості повітря CCS811                                                      | 33 |
| 2.5 Давач атмосферного тиску BMP280                                                  | 34 |
| 2.6 OLED дисплей                                                                     | 36 |
| 2.7 Давач температури і вологості DHT22                                              | 37 |
| 2.8 Bluetooth модуль HC-06                                                           | 39 |
| 2.9 Стабілізатор напруги ASM1117                                                     | 40 |
| 2.10 Контролер заряду TP4056                                                         | 41 |
| 2.11 Літій-іонний акумулятор 18650                                                   | 42 |
| 2.12 Конвертор USB-TTL                                                               | 43 |
| 2.13 Розробка алгоритму роботи метеостанції                                          | 44 |

|     |                                                                                            |    |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3   | Технічне обслуговування розроблюваної системи                                              | 46 |
| 3.1 | Технічна реалізація розроблюваної системи                                                  | 46 |
| 3.2 | Розроблення процедури калібрування та випробування гігрометра DHT22                        | 48 |
| 4   | Охорона праці                                                                              | 54 |
| 4.1 | Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії | 55 |
| 4.2 | Розрахунок освітленості робочого місця                                                     | 58 |
|     | Висновки                                                                                   | 61 |
|     | Список використаних джерел                                                                 | 62 |
|     | Додатки                                                                                    | 65 |

## ВСТУП

Метеостанції з цифровим виходом і видачею інформації знаходять все більш широке застосування у сферах життєдіяльності, де необхідний регулярний автоматизований моніторинг температури, вологості та атмосферного тиску.

На даний час високий рівень розвитку цифрових технологій дозволяє отримувати інформацію про стан погоди різними способами. Його передають по телебаченню і радіо, аналогічну інформацію можна знайти на різних сайтах у мережі інтернет.

Але все більше постає питання отримувати точну і детальну інформацію про поточний стан, а також і прогноз погоди безпосередньо в конкретному місці. Напевно кожен стикався з помилковим прогнозом, одягаючись не по погоді або не беручи з собою парасольку, ризикуючи застудитися. Метеорологічний прогноз, який представляють традиційні засоби масової інформації, є усередненими для великої території, хоча відомо що стан погоди мінливий і навіть в межах одного великого міста в конкретних його точках він може бути іншим.

Особливе значення побутові метеостанції має для людей так званої метеозалежної групи людей які страждають від подібної проблеми важливо заздалегідь дізнаватися про зміни в погоді.

Сучасні метеостанції в більшості випадків можна розділити діляться на такі дві категорії: побутові і виробничі. Побутові метеостанції при доступних цінах реалізації дозволяють отримувати показання про температуру і вологість в приміщеннях та за вікном, вимірювати атмосферний тиск, аналізувати динаміку зміни атмосферного тиску, на підставі чого самостійно робити прогноз погоди на 24 годин, однак з не ідеальною точністю і вірогідністю вимірювань. Виробничі метеостанції використовуються із завданням вузькоспеціалізованих вимірювань, в тих місцях, де необхідна точна інформація про параметри навколишнього середовища. Як приклад такого застосування можна представити метеостанції які розміщуються в аеропортах,

лікарнях, на підприємствах і т.д. Деякі метеостанції також додатково забезпечені такими функціями як визначення швидкості і напрямку вітру, вимірювання точки роси, вологості ґрунту, ультрафіолетового випромінювання. В даному дипломному проєкті була розроблена побутова метеостанція, що буде вимірювати, а також зберігати інформацію про вологість, температуру, атмосферний тиск та якість навколишнього повітря. Інформація про погодні показники зберігається в програмі скачаній на телефон з якої її можна передавати на комп'ютер і використовувати для прогнозування погоди або збору статистики.

В представленому дипломному проєкті прийнято рішення застосувати платформу Arduino. Arduino це мініатюрна мікроконтролерна система, призначена для прототипування електроніки. Це платформа з відкритим вихідним кодом, з доступними і легкими у використанні апаратними засобами і програмним забезпеченням.

Основним завданням дипломного проєкту є розробка мікропроцесорного пристрою, що вимірює якість повітря, температуру і вологість повітря та рівень атмосферного тиску.

Для вирішення поставленого завдання необхідно здійснити аналіз методів і засобів для визначення якості повітря, температури і вологості повітря та рівня атмосферного тиску, розробити схеми електричну структурну, електричну принципову та перелік елементів до неї, розробити алгоритм роботи розроблюваної системи, блок-схему роботи мікроконтролера, програмне забезпечення для використаного мікроконтролера, розробити інструкцію з експлуатації для розроблюваної системи, порахувати економічний ефект від впровадження системи у виробництво та розглянути потенційні небезпеки спроектованої системи і можливості її негативного впливу на навколишнє середовище.

# **1. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОВІТРЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

## **1.1 Вимірювання температури повітря**

Термометр – це прилад, призначений для вимірювання температури рідинного, газоподібного або твердого середовища. Винахідником першого пристрою для вимірювання температури є Галілео Галілей. Назва приладу з грецької мови перекладається як «вимірювати тепло». Перший прототип Галілея суттєво відрізнявся від сучасних. У більш звичному вигляді пристрій з'явилася через більш ніж 200 років, коли за вивчення даного питання взявся шведський фізик Цельсій. Він розробив систему вимірювання температури, розділивши термометр на шкалу від 0 до 100. На честь фізика рівень температури вимірюються в градусах Цельсія.

Хоча з моменту винаходу перших термометрів пройшло вже більше 400 років, ці пристрої до сих пір продовжують удосконалюватися. У зв'язку з цим з'являються все нові пристрої, засновані на раніше не використовуваних принципах дії [4].

Зараз актуальними є сім різновидів термометрів:

- рідинні;
- газові;
- механічні;
- електричні;
- термоелектричні;
- волоконно-оптичні;
- інфрачервоні.

Рідинні термометри відносяться до найперших приладів. Вони працюють на принципі розширення рідин при зміні температури. Коли рідина нагрівається - вона розширюється, а коли охолоджується, то стискається. Сам пристрій складається з дуже тонкої скляної колби, заповненої рідкою речовиною. Колба прикладається до вертикальної шкалою, виконаної у вигляді лінійки.

Температура вимірюваного середовища дорівнює поділу на шкалі, на яке вказує рівень рідини в колбі. Ці пристрої є дуже точними. Їх похибка рідко становить більше 0,1 градуса. У різному виконанні рідинні прилади здатні вимірювати температуру до +600 градусів. Їх недолік в тому, що при падінні колба може розбитися.

Газові термометри працюють точно так само як і рідинні, тільки їх колби заповнюються інертним газом. Завдяки тому, що в якості наповнювача використовується газ, збільшується діапазон виміру. Такий термометр може показувати максимальну температуру в межах від +271 до +1000 градусів. Дані прилади зазвичай застосовуються для зняття показів температури різних гарячих речовин.

Механічний термометр працює за принципом деформації металевої спіралі. Такі прилади оснащуються стрілкою. Вони зовні трохи нагадує стрілочний годинник. Подібні пристрої використовуються на панелі приладів автомобілів і різної спецтехніки. Головне достоїнство механічних термометрів в їх міцності. Вони не бояться струсу або ударів, як моделі зі скла.

Електричні термометри працюють за фізичним принципом зміни рівня опору провідника при різних температурах. Чим гаряче метал, тим його опірність при передачі електричного струму вище. Діапазон чутливості електротермометрів залежить від металу, який використаний в якості провідника. Для міді він становить від -50 до +180 градусів. Дорожчі моделі на платині можуть вказувати на температуру від -200 до +750 градусів. Такі прилади застосовуються як датчики температури на виробництві та в лабораторіях.

Термоелектричний термометр має в своїй конструкції два провідника, які вимірюють температуру за фізичним принципом, так званому ефекту Зеєбека. Подібні прилади мають широкий діапазон виміру від -100 до +2500 градусів. Точність термоелектричних пристроїв становить близько 0,01 градуса. Їх можна зустріти в промисловому виробництві, коли вимагається вимірювання високих температур понад 1000 градусів.

Волоконно-оптичні термометри розробляються з оптоволокна. Це дуже чутливі датчики, які можуть вимірювати температуру до +400 градусів. При цьому їх похибка не перевищує 0,1 градуса. В основі такого термометра лежить натягнуте оптоволокно, яке при зміні температури розтягується або стискається. Що проходить крізь нього промінь світла заломлюється, що фіксує оптичний датчик, що зіставляє переломлення з температурою навколишнього середовища.

Інфрачервоний термометр, або пірометр, є одним з найбільш недавніх винаходів. Вони мають верхній діапазон виміру від +100 до +3000 градусів. На відміну від попередніх різновиди термометрів, вони знімають показання без безпосереднього контакту з вимірюваним речовиною. Прилад посилає інфрачервоний промінь на вимірювану поверхню, і на невеликому екрані відображає її температуру. При цьому точність може відрізнятися на кілька градусів. Подібні пристрої застосовуються для вимірювання рівня нагріву металевих заготовок, які знаходяться в горні, корпусу двигуна і ін. Інфрачервоні термометри здатні показати температури відкритого полум'я. Подібні пристрої застосовуються ще в десятках різних сфер.

З кожним роком наука іде в перед і розробляються все нові і нові термометри ось одні з новітніх розробок:

- манометричні;
- термоелектричні.

Манометричні термометри сконструйовані для вимірювання температури у діапазоні від -160 до +600 градусів по Цельсію. Принцип дії цих термометрів базується на зміні тиску рідини, газу чи пари, поміщених у замкнений об'єм, при нагріванні чи охолодженні цих речовин. Такі прилади складаються із балону, котрий розміщують у місці вимірювання температури, з'єднувальної трубки (капіляра) та пружинного манометра. В балоні знаходиться газ або легкокип'яча рідина, тиск котрої передається в трубчасту пружину манометра. Шкала приладу проградуєвана у градусах Цельсія. [4]

Термоелектричні перетворювачі (термопари) використовуються при визначенні температури від 0 до 1800 градусів по Цельсію. Принцип

функціонування термопар базується на здатності різнорідних металів та сплавів створювати термо електрорухожучу силу, котра залежить від температури спаю. Термопари – це найрозповсюдженіші пристрої для вимірювання температур. При правильному встановленні вони є досить недорогими датчиками, котрі дозволяють досить точно встановити температуру. Показники термопар можуть бути виведені на центральний щит.

## **1.2 Вимірювання вологості повітря**

Вода може існувати в атмосфері в трьох фазах – рідкій, газоподібній і твердій. Газоподібна фаза води називається парою. Пара, яка знаходиться в термодинамічній рівновазі з рідиною (тобто в стані, коли число молекул, що переходить із рідини в пару, дорівнює числу молекул, що повертаються в рідину за одиницю часу), називається насиченою.

Під вологістю повітря розуміють наявність у ньому водяної пари. Повітря, що містить водяну пару, називають вологим, а те, що не містить – сухим.

Прилади, що використовують для вимірювання вологості повітря, називаються психрометрами або гігрометрами.

Принцип дії психрометра ґрунтується на здатності рідини (води) до випаровування, при цьому внаслідок її випаровування відбувається охолодження поверхні з якої вона випаровується і виникає різниця температур, що можна виміряти термометром.

Принцип роботи гігрометрів ґрунтується на зміні фізичних або хімічних властивостей різних речовин при зміні вологості навколишнього середовища які використовуються в якості чутливих елементів для вимірювання.

Аспіраційний психрометр містить два термометри – сухий і зволожений, ціна поділки термометрів ставити 0,1-0,2 °С. Термометри розташовані у металевих трубках, які потім з'єднані в одну. Резервуар одного з термометрів обмотаний батистом, що змочується. При вимірюванні вологості психрометр

встановлюються горизонтально та обдувають повітрям обидва термометри за допомогою вентилятора. [4]

З поверхні резервуара зволоженого термометра випаровується вода, що залежить від вологості навколишнього повітря. За допомогою аспіраційного психрометра можна оцінити парціальний тиск 'e' за психрометричною формулою:

$$e = E_1 - A(t_c - t_{зв}) * p_A \quad (1.1)$$

Недоліком аспіраційного психрометра є те, що вентилятор захоплює повітря тільки на відстані кількох сантиметрів, що не дає змогу точно визначити вологість на певних ділянках. Крім того, величина психрометричного коефіцієнта A залежить від швидкості вентиляції, температури та типу психрометра. Величина A достовірна для швидкості вентиляції, що перевищують 3 м/с.

Автоматизований аспіраційний психрометр Асмана може бути застосований для автоматизованих вимірювань вологості повітря.

З цією метою прилад обладнаний посудиною з достатньою для довготривалих вимірювань кількістю води, помпою для її накачування та контактними термометрами, які подають результати вимірювань у пам'ять системи реєстрації.

Принцип дії волосяного гігromетра ґрунтується на здатності знежиреної волосини змінювати свою довжину зі зміною вологості. Водяна пара здатна конденсуватися в капілярних порах людської волосини. Збільшення вологості призводить до зменшення угнутої менісків води в порах, завдяки чому волосина видовжується. Видовження волосини відбувається пропорційно логарифму відносної вологості.

Пучок таких волосин використовують в гігрографі – приладі для безперервного запису відносної вологості повітря.

Інші матеріали, що можуть бути застосовані як сенсори в гігromетрах – нейлон, бавовна, кишкова мембрана корови або свині. Перевагою волосяних гігromетрів є незалежність результатів вимірювань від температури – при зміні температури від -30 °C до +40 °C похибки вимірювань знаходяться в інтервалі

від одного до трьох відсотків, кишкова мембрана має найбільшу чутливість до зміни вологості. Волосяні гігromетри характеризуються простою конструкцією та невисокою ціною. Недоліком є збільшення часового відгуку від температури

Ще одним недоліком гігromетрів є явище гістерезису – якщо гігromетр зберігається протягом кількох днів у сухому приміщенні, результати вимірювання вологості можуть значно (до 15 %) відрізнятися від тих, що отримані за допомогою гігromетра, який тримали в вологому приміщенні. Через це гігromетри такого типу вимагають постійного калібрування.

Оснoву ємнісного гігromетра становить гігроскопічна полімерна плівка, з обох боків якої розташовані пористі металеві електроди, що утворюють конденсатор ємністю близько 500 пФ.

При поглинанні плівкою молекул води об'єм плівки збільшується, відстань між електродами також збільшується, що призводить до зміни ємності конденсатора.

Ємнісний гігromетр застосовується для вимірювання відносної вологості. Перевагою приладу є його компактність (розміри приладу становлять 6 мм<sup>2</sup>), слабка залежність результатів вимірювань від зовнішньої температури, лінійність шкали в області 0-80 % відносної вологості, швидкодія, малі значення гістерезису.

Недоліком приладу є вплив зовнішніх забруднень на результати вимірювань. Гігromетри цього типу використовують у засобах автоматизованого контролю вологості повітря.

Конденсаційний гігromетр – це один із методів оцінки абсолютної вологості заснований на вимірюванні точки роси. Якщо пласку гладеньку поверхню охолоджувати, можна спостерігати конденсацію вологи на ній. Температура поверхні в цей момент дуже близька до тієї, при якій повітря стає насиченою водяною парою, тобто до точки роси.

Залишається тільки точно виміряти цю температуру. Конденсаційний гігromетр складається з маленького дзеркала, на яке нанесено тонкий антикорозійний шар золота.

Дзеркало охолоджується напівпровідниковим елементом, що працює на основі ефекту Пельтьє, та опромінюється фотодіодом. Коли поверхня дзеркала вкривається росою, вона починає розсіювати оптичне випромінювання, вертикальна компонента розсіяного випромінювання реєструється фотодетектором, електричний сигнал з виходу якого підсилюється й подається на систему підігрівання дзеркала.

Нагріте дзеркало знову може бути охолоджено і процес вимірювань триває. Визначення температури дзеркала за допомогою термодетектора дає можливість оцінити абсолютну вологість повітря. Перевагою приладу є його висока чутливість, можливість вимірювання абсолютної вологості в широкому інтервалі температур (від  $-80$  до  $+100$  °C) з точністю близько  $1$  °C.

Недоліком приладу є спотворення результатів вимірювання при низьких температурах, необхідність контролювання якості поверхні дзеркала, складність конструкції, висока ціна.

В основу сорбційного гігрометра покладено вимірювання залежності електропровідності вологосорбуючої плівки від вологості середовища, яке аналізується. Для цього використовується сіль LiCl.

Електролітичний гігрометр містить трубку, покриту тонким шаром п'ятиокису фосфору ( $P_2O_5$ ), що заповнює простір між двома спіралеподібними паралельними провідниками.

Якщо газ проходить через трубку, волога в газі поглинається цим шаром. Електричний струм, який пропускають через провідники, розкладає воду на водень та кисень завдяки електролізу. Струм, необхідний для електролізу, пропорційний об'ємній концентрації води в газі.

Принцип дії інфрачервоного газового аналізатора полягає в оцінюванні інтенсивності поглинання водяною парою інфрачервоного ( $1,0$ ;  $1,38$ ;  $1,87$ ;  $2,7$ ;  $6,3$  мкм) випромінювання. Монохроматичний промінь світла, довжина хвилі якого збігається з максимумом поглинання води, пропускають через модулятор інтенсивності та дві кювети, одна з яких заповнена сухим повітрям, а друга – газом, що аналізується.

Якщо ці потоки випромінювання дорівнюють один одному, то система перебуває у рівновазі. Із зміною концентрації газу в вимірювальній кюветі рівновага порушується, сигнал розбалансування посилюється та реєструється. Така двопроменева система здатна виключити зміни інтенсивності джерела випромінювання за рахунок старіння або коливань напруги живлення.

Вологість можна оцінювати у глобальних масштабах за допомогою радіозондів та супутників.

В основі вимірювань є детектування концентрації водяної пари у тропосфері на висотах 4-10 км за допомогою радіозондів та у стратосфері на висотах 10-32 км через супутники. На цих дистанційних засобах розташовані сенсори, чутливі до інфрачервоного випромінювання, яке здатна поглинати водяна пара

Такі дистанційні системи застосовують для моніторингу кліматичних ситуацій та прогнозу погоди.

Структурна схема вимірювання вологості надвисокими частотами наведена на рисунку 1.1.

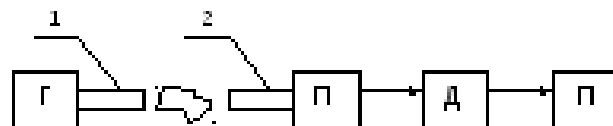


Рисунок 1.1. – Структурна схема вимірювання вологості надвисокими частотами

Коливання НВЧ, які генеруються в генераторі Г, надходять на антену 1 та через речовину, вологість якої слід виміряти, та далі – на приймач 2. Антена з'єднана послідовно з підсилювачем П та детектором Д. Сигнал вимірювальної інформації щодо вологості речовини надходить до вимірювального приладу. При відсутності речовини, що досліджується, між антенами сигнал НВЧ сприймається як початковий стан схеми (фазовий зсув відсутній). Наявність речовини між антенами викликає зсув фази НВЧ – коливань. Це призводить до зміни сигналу на виході приладу. Недолік – залежність від маси та

геометричних розмірів речовини. Перевага – можливість вимірювання вологості в потоці продукту. [4]

### **1.3 Вимірювання атмосферного тиску**

Для метеорологічних цілей атмосферний тиск зазвичай вимірюють за допомогою електронних барометрів, ртутних барометрів, анероїдних барометрів або гіпсометрів. Останній клас приладів, який залежить від співвідношення між температурою кипіння рідини та атмосферним тиском, наразі має лише обмежене застосування.

Більшість сучасних конструкцій барометрів використовують перетворювачі, які перетворюють відгук датчика в електричну величину, пов'язану з тиском, у вигляді аналогових сигналів, наприклад, напруги (постійного або змінного струму з частотою, пов'язаною з фактичним тиском), або цифрових сигналів, наприклад, частота імпульсів або зі стандартними протоколами передачі даних, такими як RS232, RS422, RS485 або IEEE488. Аналогові сигнали можуть відображатися на різноманітних електронних лічильниках.

Анероїдні барометри із перетворювачами зміщення. Безконтактне вимірювання зміщення анероїдної капсули є фактичною необхідністю щодо точних приладів для вимірювання тиску. Використовується широкий спектр таких перетворювачів включаючи ємнісні детектори зміщення, потенціометричні детектори переміщення, тензодатчики, розміщені в стратегічних точках на датчику, і збалансовані за силою сервосистеми, які зберігають розміри датчика постійними незалежно від тиску.

Усі чутливі компоненти повинні бути поміщені в литий корпус. Цей корпус повинен підтримуватися при постійній температурі за допомогою обігрівача з електронним керуванням. Необхідно повністю запобігти конденсації води.

Цифрові п'єзорезистивні барометри. Вимірювання атмосферного тиску стало можливим за допомогою п'єзоелектричного (п'єзорезистивного) ефекту.

Поширена конфігурація включає чотири вимірювальні резистори, розміщені на гнучкій поверхні монолітної кремнієвої підкладки, з'єднаних між собою, щоб утворити мостову схему Уїтстона.

Аксіально навантажені кристалічні кварцові елементи використовуються в цифрових п'єзорезистивних барометрах і є різновидом перетворювача абсолютного тиску. Кристалічний кварц був обраний через його п'єзоелектричні властивості, стабільні частотні характеристики, малий температурний вплив і точно відтворювані частотні характеристики. Тиск, прикладений до впускного отвору, викликає висхідну осьову силу за допомогою гнучкого сильфона, що призводить до стискання кристалічного елемента кварцу. Оскільки кристалічний елемент є по суті жорсткою мембраною, вся механічна структура обмежена незначними відхиленнями, тим самим практично виключаючи механічний гістерезис.

Міст Уїтстона, може складатися з напівпровідникових тензорезисторів або п'єзорезистивних датчиків. Тензодатчики або прикріплені до тонкої круглої діафрагми, яка затиснута по окружності, або атомарно розсіяна в конфігурацію кремнієвої діафрагми. У разі розсіяних пристроїв, сам кремнієвий інтегрований чіп є діафрагмою. Прикладений тиск створює розподілене навантаження на діафрагму, яка, у свою чергу, створює напругу на згин і результуючу деформацію, на яку реагують тензодатчики. Це напруження створює деформацію, яка пропорційна прикладеному тиску і що призводить до дисбалансу моста. Тоді вихід моста пропорційний чистій різниці тиску, що діє на діафрагму.

Цей режим роботи заснований на тому, що атмосферний тиск діє на сенсорний елемент, що охоплює невелику вакуумовану комірку, через яку резистори піддаються стиску і розтягу. За п'єзоелектричним ефектом значення опору змінюються пропорційно атмосферному тиску. Щоб виключити температурні помилки, датчик часто включає в себе вбудований термостат.

Вихід з моста Уїтстона, який живиться від джерела постійного струму, переводиться в стандартний сигнал відповідним підсилювачем.

Циліндричні резонаторні барометри. У циліндричних резонаторних барометрах використовується чутливий елемент, який представляє собою тонкостінний циліндр із нікелевого сплаву. Він електромагнітно підтримується в режимі вібрації як «обруч». Вхідний тиск визначається зміною власної резонансної частоти вібруючої механічної системи, яку він створює. Рух стінки циліндра фіксується за допомогою котушки датчика, сигнал якої підсилюється і повертається до приводної котушки. Тиск повітря, що підлягає вимірюванню, надходить у внутрішню частину циліндра, а зовнішня підтримується як еталонна у вакуумі. При цьому власна резонансна частота вібрації змінюється точно в залежності від напруги, створеної в стіні через різницю тиску на ній. Збільшення тиску призводить до збільшення частоти.

Тонкий циліндр має достатню жорсткість і масу, щоб задовольнити діапазони тиску, в яких він призначений для роботи, і встановлений на міцній основі. Циліндр поміщають у вакуумну камеру, а його вхідний отвір підключають до вільної атмосфери для метеорологічних застосувань. Оскільки існує унікальний зв'язок між власною резонансною частотою циліндра і тиском, атмосферний тиск можна розрахувати з виміряної резонансної частоти. Однак це співвідношення, визначене під час калібрування, залежить від температури та густини газу. Тому необхідна температурна компенсація, і повітря має бути висушене перед тим, як воно потрапить у вхідний отвір.

#### **1.4 Методи та засоби вимірювання фізичних параметрів якості повітря**

Компанії, що пропонують послуги з визначення якості повітря в приміщенні як в Україні, так і в усьому світі, використовують кілька найбільш поширених методів аналізу. Розглянемо особливості кожного з таких методів.

### 1.4.1 Аналіз повітря за допомогою газоаналізаторів (детекторів)

Газоаналізатори (детектори) – це електронні прилади, які складаються з мікроконтролера, дисплея, кнопок та декількох або хоча б одного чутливого елемента – детектора.

Найчастіше детектор являє собою напівпровідниковий пристрій, вольт-амперна характеристика якого залежить від концентрації в повітрі певної речовини. Але досягається це не через властивості самого напівпровідника, а завдяки спеціальній хімічній обробці його поверхні, внаслідок чого його електричні властивості різко змінюються за присутності певної речовини (наприклад, формальдегід, вуглекислий газ, чадний газ) або ж у випадку присутності в повітрі цілих класів речовин (таких як альдегіди, спирти, ароматичні вуглеводні тощо) [4].

Прилади для визначення якості повітря в приміщенні такого типу мають кілька недоліків. По-перше, вони недовговічні. Активна оброблена поверхня стає менш чутливою під дією пилу, кисню, речовин, які вимірюються. Зменшення чутливості таких приладів може бути зумовленим навіть тривалим зберіганням у герметичній упаковці.

Ще один недолік таких приладів для аналізу повітря – їх низька селективність. Нещодавно в одній з українських хімічних лабораторій фахівці вирішили перевірити точність приладу такого типу. Детектор формальдегіду підносили до пляшки спирту, очищеного бензину, бензолу, оцтової кислоти та етилацетату. В усіх випадках прилад «плутав» ці речовини із формальдегідом, і показав, що в повітрі знаходиться високий вміст формальдегіду, хоча насправді в повітрі знаходився не формальдегід, а схожі за структурою речовини. Слід зазначити, що навіть у якісних приладів із високою селективністю з часом уміння «розпізнавати» та виділяти певну речовину знижується.

Окрім того, користуючись такими приладами для хімічного аналізу повітря, доволі складно скласти загальну картину щодо якості повітря в приміщенні. Адже вимірювання одним приладом покаже наявність чи відсутність лише одного забрудника або однієї групи забруднювачів. Тому,

навіть замовивши низку досліджень приладами такого типу, чутливими на різні хімічні сполуки та групи сполук, з'ясувати, якою є повна картина з якістю повітря в приміщенні, не вдасться, адже в переліку потенційних забруднювачів повітря є сотні тисяч речовин.

### **1.4.3 Хімічні аналізи повітря за допомогою тестових трубок**

Тестові трубки – це трубки, заповнені пористим матеріалом, просоченим сумішшю реактивів, що змінюють колір за присутності певної речовини. Чим більша концентрація речовини в повітрі, тим більший відрізок трубки від початку змінює забарвлення в ході хімічного аналізу.

Основний недолік такого методу аналізу повітря – його неточність (кольоросприйняття у людей не є точним) [4]. Наприклад, зміна кольору в трубці з оранжевого на зелено-коричневий через жовто-коричневий може бути нечіткою, а межа – розтягнутою, тому точність хімічного аналізу цим методом дуже мала.

По-друге, чутливість таких хімічних аналізів є низькою. Наприклад, при аналізі повітря на вміст формальдегіду за допомогою тестових трубок для помітної для людського ока зміни кольору потрібно досить багато речовини: такий метод чітко показує перевищення ГДК у 20-40 разів (перша поділлка на шкалі – майже в 15 разів більше за ГДК). А от перевищення ГДК у п'ять разів цим методом хімічного аналізу визначити неможливо.

Аналіз повітря в приміщенні за допомогою тестової трубки доцільно проводити в місцях, де не потрібна висока точність, та де є високі концентрації сполук, що вимірюються, зокрема на заводах чи меблевих фабриках, де реально вміст речовин у повітрі вкладається в градуювальну шкалу.

Ще один недолік цього методу – низька селективність. Трубка на фенол покаже фенол за присутності крезолу, гваяколу, поліфенолів, хлорфенолів тощо. А трубка на формальдегід реагуватиме і на ацетальдегід, який видихається з легень при похміллі, тощо.

І врешті, як і з визначенням якості повітря в приміщенні за допомогою газоаналізатора, аналізи повітря за допомогою тестових трубок дадуть лише невеликий фрагмент, а не повну картину якості повітря в приміщенні. Адже кожен окремий аналіз повітря покаже лише вміст певної речовини чи групи речовин, натомість не зможе охопити всіх можливих забрудників повітря.

#### **1.4.4 Аналіз повітря методом газової хроматографії із мас-спектроскопічною детекцією**

Для визначення якості повітря в приміщенні методом газової хроматографії із мас-спектроскопічною детекцією повітря продувається через кілька шарів різних уловлюючих пористих речовин. Під час проходження через трубки органічні сполуки з повітря вилучаються та залишаються в трубці.

Герметично закрита трубка передається в лабораторію для проведення хімічного аналізу. Трубка нагрівається та продувається гарячим газом у спеціальній установці, забрудники з неї вилучаються та потрапляють безпосередньо у прилад, що їх аналізує.

У приладі ці речовини проходять через розділювальну колонку, з якої виходять кожна окремо і потрапляють на мас-спектроскопічний детектор. За мас-спектром (порівняння з базою даних спектрів більше 400 тисяч речовин) забрудники розпізнаються (кожен окремо), а за інтенсивністю сигналу визначаються їх кількості.

Сьогодні аналіз повітря в приміщенні методом газової хроматографії із мас-спектроскопічною детекцією вважається передовим не лише в Україні, але й у світі, адже має цілий ряд переваг у порівнянні з іншими методами аналізу повітря.

### **1.3 Методи передавання вимірювальної інформації**

Для передавання даних від перетворювачів використовують наступні схеми передачі інформації RS232, RS422, RS485, IEEE488. Під позначеннями

RS-232, RS-422 та RS-485 розуміються інтерфейси для цифрової передачі даних. Стандарт RS-232 більш відомий як звичайний порт COM комп'ютера або послідовний порт (хоча послідовним портом також можна вважати Ethernet, FireWire і USB). Інтерфейси RS-422 та RS-485 широко застосовуються в промисловості для з'єднання різного обладнання.

Інтерфейс RS-232 (TIA/EIA-232) призначений для організації приймання-передачі даних між передавачем або терміналом та приймачем або комунікаційним обладнанням за схемою точка-точка.

Швидкість роботи RS-232 залежить від відстані між пристроями, зазвичай на відстані до 15 метрів швидкість дорівнює 9600 біт/с. На мінімальній відстані швидкість зазвичай дорівнює 115,2 кбіт/с, але є обладнання, яке підтримує швидкість до 921,6 кбіт/с.

Інтерфейс RS-232 працює в дуплексному режимі, що дозволяє передавати та приймати інформацію одночасно, тому що використовуються різні лінії для прийому та передачі. У цьому полягає відмінність від напівдуплексного режиму, коли використовується одна лінія зв'язку для прийому і передачі даних, що накладає обмеження на одночасну роботу, тому в напівдуплексному режимі в один момент часу можливий прийом або передача інформації.

Інформація по інтерфейсу RS-232 передається у цифровому вигляді логічними 0 та 1. Логічний "1" (MARK) відповідає напруга в діапазоні від -3 до -15 В. Логічному "0" (SPACE) відповідає напруга в діапазоні від +3 до +15 В.

Додатково до двох ліній прийому та передачі, на RS-232 є спеціальні лінії для апаратного керування потоком та інших функцій. Для підключення до RS-232 використовується спеціальний роз'єм D-sub, зазвичай 9 контактний DB9, рідше застосовується 25 контактний DB25.

Для роботи з пристроями RS-232 зазвичай необхідно лише 3 контакти: RXD, TXD та GND. Але деякі пристрої вимагають усі 9 контактів для підтримки функції керування потоком даних.

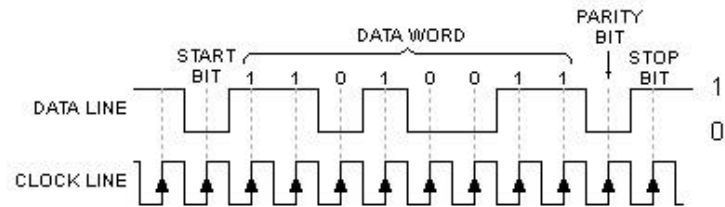


Рисунок 1.2 – Структура даних, що передаються протоколом обміну RS-232

Одне повідомлення, що передається протоколом RS-232/422/485, складається зі стартового біта, кількох біт даних, біта парності та стопового біта (рис. 1.2). Стартовий біт (start bit) - біт, що означає початок передачі, зазвичай дорівнює 0. Дані (data bits) – 5, 6, 7 чи 8 біт даних. Першим бітом є менш значущий біт. Біт парності (parity bit) – біт призначений перевірки парності. Служить для виявлення помилок. Може приймати такі значення:

- парність (EVEN), набуває такого значення, щоб кількість одиниць у повідомленні була парною
- непарність (ODD), приймає таке значення, щоб кількість одиниць у повідомленні була непарною
- завжди 1 (MARK), біт парності завжди дорівнюватиме 1
- завжди 0 (SPACE), біт парності завжди дорівнюватиме 0
- не використовується (NONE)

Стоповий біт (stop bit) – біт, що означає завершення передачі повідомлення, може приймати значення 1, 1.5 (Data bit = 5), 2. Наприклад, скорочення 8E1 означає, що передається 8 біт даних, використовується парний парності в режимі EVEN і стоп біт займає один біт.

Для того щоб не втратити дані існує механізм управління потоком передачі даних, що дозволяє припинити на певний час передачу даних для запобігання переповнення буфера обміну. Є апаратний та програмний метод управління.

Апаратний метод використовує виводи RTS/CTS. Якщо передавач готовий надіслати дані, він встановлює сигнал на лінії RTS. Якщо приймач готовий приймати дані, він встановлює сигнал лінії CTS. Якщо один із сигналів не встановлений, то передачі не відбудеться.

Програмний метод замість виводів використовує символи Xon і Xoff (в ASCII символ Xon = 17, Xoff = 19) передані за тими ж лініями зв'язку TXD/RXD, як і основні дані. У разі неможливості приймати дані приймач передає символ Xoff. Для відновлення передачі даних надсилається символ Xon.

Інтерфейс RS-422 нагадує RS-232, оскільки дозволяє одночасно відправляти і приймати повідомлення в окремих лініях (повний дуплекс), але використовує для цього диференціальний сигнал, тобто. різницю потенціалів між провідниками А та В. Швидкість передачі в RS-422 залежить від відстані і може змінюватися в межах від 10 кбіт/с (1200 метрів) до 10 Мбіт/с (10 метрів). У мережі RS-422 може бути тільки один передавальний пристрій і до 10 пристроїв, що приймають. Лінія RS-422 являє собою 4 дроти для приймання-передачі даних (2 скручені проводи для передачі і 2 скручені проводи для прийому) і один загальний провід землі GND.

Скручування проводів (кручена пара) між собою дозволяє позбутися наведень і перешкод, тому що завади однаково діють на обидва проводи, а інформація отримується з різниці потенціалів між провідниками А і В одній лінії. Напруга на лініях передачі може бути в діапазоні від -6 В до +6 В. Логічному 0 відповідає різниця між А та В більше +0,2 В. Логічній 1 відповідає різниця між А і менше -0,2 В.

Стандарт RS-422 не визначає конкретний тип гнізда, зазвичай це може бути клемна колодка або гніздо DB9. Розпінування RS-422 залежить від виробника пристрою та вказується у документації на нього. При підключенні пристроїв RS-422 необхідно зробити перехрестя між RX і TX контактами, рис. 1.3.

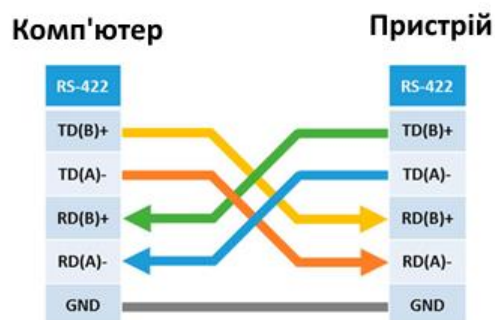


Рисунок 1.3 – Схема підключення пристроїв інтерфейсом RS-422

Оскільки відстань між приймачем і передавачем RS-422 може досягати 1200 метрів, для запобігання дзеркального відображення сигналу від кінця лінії ставиться спеціальний 120 Ом узгоджувальний резистор або "термінатор". Цей резистор встановлюється між RX+ та RX-контактами на початку та в кінці лінії.

У промисловості найчастіше використовується інтерфейс RS-485 (EIA-485), тому що в RS-485 використовується багатоточкова топологія, що дозволяє підключити кілька приймачів та передавачів. Інтерфейс RS-485 схожий на RS-422 тим, що також використовує диференціальний сигнал для передачі даних.

Існує два типи RS-485:

- RS-485 з 2 контактами, працює в режимі напівдуплекс
- RS-485 з 4 контактами, працює у режимі повний дуплекс

У режимі повний дуплекс можна одночасно приймати і передавати дані, а режимі напівдуплекс або передавати, або приймати. В одному сегменті мережі RS-485 може бути до 32 пристроїв, але за допомогою додаткових повторювачів та підсилювачів сигналів до 256 пристроїв. Одночасно активним може бути лише один передавач. Швидкість роботи також залежить від довжини лінії та може досягати 10 Мбіт/с на 10 метрах. Напруга на лініях знаходиться в діапазоні від  $-7$  до  $+12$  В. Стандарт RS-485 не визначає конкретний тип роз'єму, але часто це клемна колодка або роз'єм DB9. Розпінування роз'єму RS-485 залежить від виробника пристрою та вказується у документації на нього.

Для узгодження лінії на великих відстанях RS-485 також ставлять узгоджувальні резистори 120 Ом на початку і в кінці лінії.

У таблиці 1.1 наведено основні відмінності інтерфейсів RS-232, RS-422 та RS-485.

Шина IEEE-488 та відповідний протокол широко використовуються у програмно-апаратних комплексах для з'єднання персональних комп'ютерів та робочих станцій із вимірювальними інструментами (зокрема, у системах збору даних). Розроблений у 60-х роках у Hewlett-Packard, протокол спочатку називався HPIB (Hewlett-Packard Interface Bus, інтерфейсна шина Hewlett-Packard). Згодом інші компанії підхопили ініціативу та почали використовувати протокол для своїх внутрішніх цілей. Протокол був стандартизований

американським Інститутом інженерів електротехнічної та електронної промисловості (IEEE) та перейменований на IEEE-488 (за номером стандарту) або GPIB (General Purpose Interface Bus, інтерфейсна шина загального призначення) у середині 70-х років.

Таблиця 1.1 Порівняння інтерфейсів RS-232, RS-422 та RS-485

| Назва                                 | RS-232                                 | RS-422                            | RS-485                                           |
|---------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------|
| Тип передачі                          | Повний дуплекс                         | Повний дуплекс                    | Напівдуплекс (2 дроти), повний дуплекс (4 дроти) |
| Максимальна дальність                 | 15 метрів при 9600 біт/с               | 1200 метрів за 9600 біт/с         | 1200 метрів за 9600 біт/с                        |
| Задіяні контакти                      | TxD, RxD, RTS, CTS, DTR, DSR, DCD, GND | TxA, TxB, RxA, RxB, GND           | DataA, DataB, GND                                |
| Топологія                             | Точка-точка                            | Точка-точка                       | Багато точок                                     |
| Макс. кількість підключених пристроїв | 1                                      | 1 (10 пристроїв у режимі прийому) | 32 (з повторювачами більше, зазвичай до 256)     |

У міру проникнення прийнятого стандарту протоколу в промисловість з'ясувалося, що конкретний порядок передачі команд по шині був добре визначений.

Стандарт був переглянутий та доповнений у 1987 році (додано опис протоколу передачі). Новий стандарт містить дві частини: IEEE-488.1, що описує апаратну частину та низькорівнену взаємодію з шиною, та IEEE-488.2, що визначає порядок передачі команд по шині. Стандарт IEEE-488.2 був ще раз переглянутий у 1992 році.

Оскільки шина IEEE-488 добре стандартизована та протестована, більшість виробників автоматизованих вимірювальних систем та інструментів вбудовують у свої вироби інтерфейси GPIB як основний канал передачі даних.

Стандарт GPIB визначає три різні типи пристроїв, які можуть бути підключені до шини: "приймач", "передавач" та/або контролер (точніше, пристрої можуть перебувати в стані "приймач" або "передавач" або бути типу "контролер"). у стані "приймач" зчитує повідомлення із шини; пристрій може посилати повідомлення на шину. У кожний конкретний момент часу "передавач" може бути один і тільки один, у той час як в стані "приймач" може бути довільна кількість пристроїв. Контролер виконує функції розподілу і визначення, які з пристроїв на даний момент перебувають у стані "передавач" та "приймач".

## 2 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 2.1 Розробка структурної схеми

Пристрій для вимірювання температури, вологості, якості повітря, атмосферного тиску та автоматичного передавання інформації на телефон складається із декількох основних частин:

- акумулятор – призначений для живлення схеми;
- блок зарядки і розрядки – призначений для заряду акумулятора від MicroUSB;
- перетворювач напруги – призначений для перетворення напруги з 4.2 В в 3.3 В;
- мікроконтролер – це спеціалізований програмований прилад, який призначений для використання у керуючих пристроях та системах передачі даних і системах автоматизованого керування технологічними процесами із наперед заданим набором команд;
- дисплей – пристрій який призначений для візуального відтворення і відображення інформації;
- барометр – прилади, призначені не тільки для вимірювання атмосферного тиску або тиску повітря, але також для визначення висоти щодо рівня моря;
- датчик якості повітря – призначений для контролю якості повітря яким можна швидко і легко визначити навіть найнезначніші відхилення в вмісті шкідливих речовин в повітрі;
- датчик температури та вологості – призначений для вимірювання температури та вологості повітря;
- Bluetooth модуль – призначений для підключення розроблюваного пристрою до телефона або до інших пристроїв з інтерфейсом Bluetooth.

## 2.2 Розробка схеми електричної принципової

Враховуючи описану вище структуру приладу було розроблено схему електричну принципову яка зображена на рис 2.1.

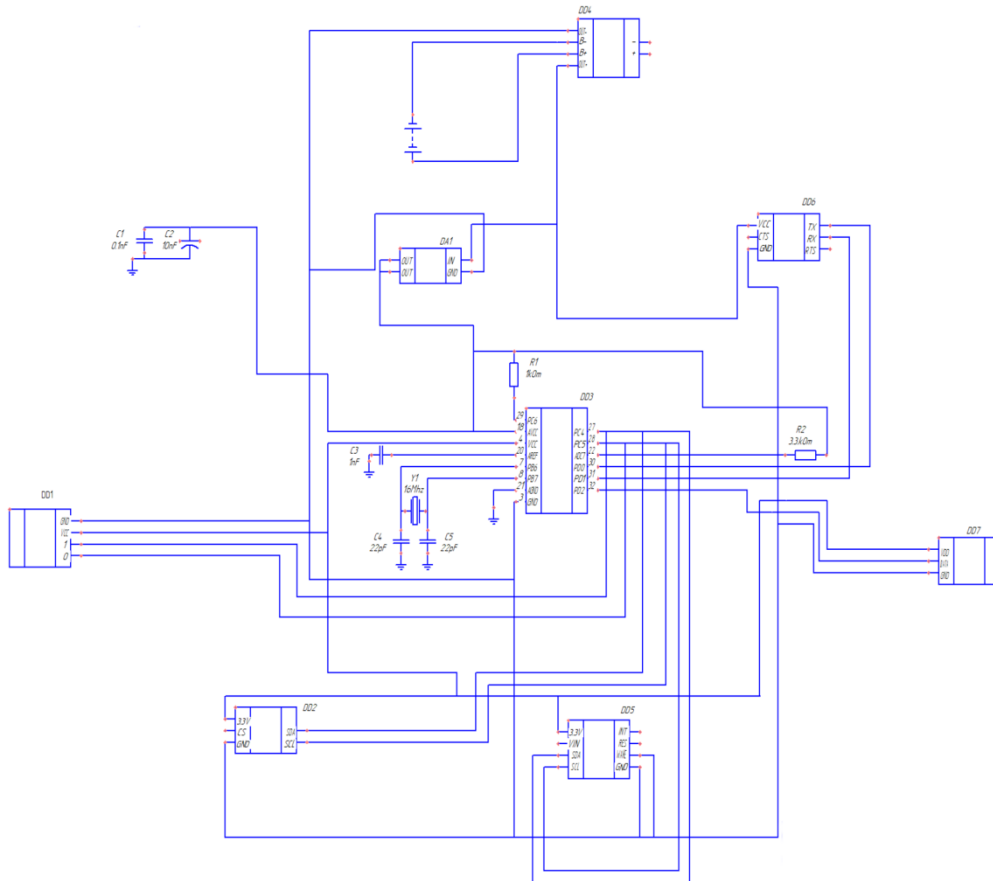


Рисунок 2.1 – Електрична принципова схема розроблюваного пристрою

Видно, що до складу схеми електричної принципової входить роз'єми OUT+ і OUT-, які служать для підключення плати автоматизованої системи заряду та розряду до акумулятора з напругою 4.2 В. На виході контролер заряду і розряду напруга подається на стабілізатор і уже на виході з стабілізатора отримуємо напругу 3.3 В, яка подається на мікроконтролер та з мікроконтролера на інші периферійні пристрої.

Мікросхема DD1 є OLED дисплеєм, який підключається до електричної системи чотирма провідками: два з них підключаються по шині I<sup>2</sup>C до електричних входів SDA і SCL плати Arduino Pro Mini, вивід VCC – служить живленням дисплею, а вивід GND – заземленням. DD2 це мікросхема

барометра BMP280, мікросхема DD5 служить давачем якості повітря CCS811 і підключається так само як і мікросхеми DD1 і DD2, а мікросхема DD7 служить давачем DHT22, та підключається трьома електричними виводами: прешій – цифровий вхід даних, який підключений до цифрового виходу INT0 плати Arduino Pro Mini, вивід VCC – служить живленням дисплею, а вивід GND – заземленням. Для бездротового передавання інформації встановлена мікросхема DD6, яка служить Bluetooth модулем HC-06, котрий під'єднується до виводів RXD і TXD та живиться від джерела живлення з напругою в діапазоні від 3.3 В до 4.2, підключений до акумулятора, та виводом GND – для заземлення. Для отримання інформації з приладу скачана на смартфон програма Serial Bluetooth Terminal.

### **2.3 Контролер Arduino Pro Mini**

Arduino Pro Mini – це пристрій розроблений на базі мікроконтролера ATmega328. До складу вибраного мікроконтролера входить: 14 цифрових входів/виходів (з них 6 можуть використовуватися як ШІМ-виходи), 8 аналогових входів, кварцовий резонатор, кнопка скидання та контактні майданчики для впаявання роз'ємів. Шестиконтактний роз'єм може служити для живлення та взаємодії з платою через USB за допомогою FTDI-перехідника або макетної плати.

Arduino Pro Mini призначений для напівстаціонарного монтажу у різне обладнання чи установки. Плата спеціально поставляється без впаяних роз'ємів, що дозволяє користувачеві впаявати дроти або використовувати необхідні типи роз'ємів на власний розсуд. За виводами Arduino Mini Pro сумісний Arduino Mini.

Існує дві версії Pro Mini: одна працює від 3.3В за частоти 8 МГц, інша - від 5В за 16 МГц.

З використанням функцій `pinMode()`, `digitalWrite()` і `digitalRead()` кожен із 14 цифрових виводів Pro Mini може працювати як вхід або вихід. Залежно від моделі рівень напруги на виводах обмежений 3.3В або 5В. Максимальний

струм, який може давати або споживати один вивід, становить 40 мА. Всі виводи пов'язані з внутрішніми резисторами (за замовчуванням відключеними) номіналом 20-50 кОм. Крім цього, деякі виводи Ардуїно можуть виконувати додаткові функції:

- послідовний інтерфейс: виводи 0 (RX) та 1 (TX). Використовуються для отримання (RX) та передачі (TX) даних за послідовним інтерфейсом. Ці виводи з'єднані з лініями TX-0 та RX-1 шестиконтактного гнізда.

- зовнішні переривання: виводи 2 і 3. Дані виводи можуть бути джерелами переривань, що виникають за різних умов: за низького рівня сигналу, по фронту, за спадом або за зміни сигналу цих виводів.

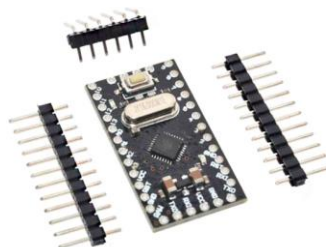
- ШІМ: виводів 3, 5, 6, 9, 10 та 11. За допомогою функції `analogWrite()` можуть виводити 8-бітові аналогові значення у вигляді ШІМ-сигналу.

- інтерфейс SPI: виводи 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Ці висновки дозволяють здійснювати зв'язок за інтерфейсом SPI. У пристрої реалізована апаратна підтримка SPI, проте на даний момент мова Ардуїно поки що її не підтримує.

- світлодіод: 13. Вбудований світлодіод, приєднаний до цифрового виводу 13. При надсиланні значення HIGH світлодіод вмикається, при відправленні LOW - вимикається.

Arduino Pro Mini має 6 аналогових входів, кожен з яких може представити аналогову напругу у вигляді 10-бітного числа (1024 різних значення). Чотирьох з них виведено на контакти біля краю плати; два інших (входи 4 і 5) виведені на розпайкові майданчики всередині плати. Вимірювання напруги здійснюється відносно від діапазону 0 до VCC. Крім цього, деякі аналогові входи мають додаткові функції:

- I2C: виведення A4 (SDA) та висновки A5 (SCL). З використанням бібліотеки `Wire` дозволяють здійснювати зв'язок за інтерфейсом I2C.



## 2.4 Давач якості повітря CCS811

Використовуючи давач контролю якості повітря можна швидко і легко визначити навіть найнезначніші відхилення в змісті шкідливих речовин в повітрі. Необхідно лише правильно підібрати відповідне обладнання.

Розділяють кілька типів давачів такого призначення:

- давач диму сигарет. Такий давач якості повітря використати можна для магазину, готелю, офісу і будь - якого іншого приміщення. Система швидко спрацює, якщо норма сигаретного диму буде перевищена.

- давач вимірювання чадного газу, вуглекислого газу, вологості і температури (можна використовувати практично на будь - яких об'єктах);

- окремо варто виділити давач якості повітря в приміщенні для готелів.

Використання таких давачів дозволить оперативно отримувати інформацію про зміни вмісту шкідливих речовин в повітрі.

- давач прихованого типу;

- давач стану повітря для офісних приміщень.

Завдяки великому вибору продукції можна підібрати давач для будь - яких цілей. Необхідно враховувати ряд факторів, а саме тип приміщення, і які зміни повинен вловлювати давач. Сучасні давачі якості повітря працюють в повністю автоматичному режимі, оперативно проводять заміри і порівнюють їх з еталонними показниками, мають аналоговий або цифровий вихід. При найменших змінах стану повітря давач сигналізує про це.

CCS811 давач складається з 2 частин: вбудований мікроконтролер і давач MOX (Metal Oxide Semiconductor), який може забезпечити еквівалентний рівень вуглекислого газу або загального летючих органічних сполук (TVOC) індекс. У той же час, з використанням окремих газових давачів і MOX рішень, CCS811 може заощадити витрати на інвентар обладнання. Даний давач може використовуватися в системах вентиляції для визначення рівня TVOC і eCO<sub>2</sub> і автоматичного провітрювання, а так само для оцінки якості повітря в

приміщенні в цілому. Мікроконтролер забезпечує опитування давача, передачу даних по шині I<sup>2</sup>C і управління живленням.

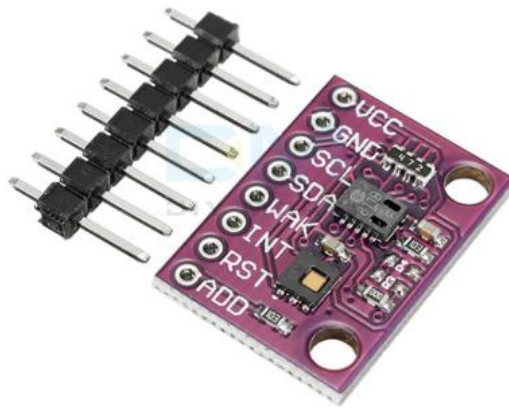


Рисунок 2.3 – давач CCS811

## 2.5 Давач атмосферного тиску BMP280

Барометри - прилади, призначені не тільки для вимірювання атмосферного тиску або тиску повітря, але також для визначення висоти щодо рівня моря. Ці прилади використовуються на метеорологічних станціях, повітряних і морських судах і т. д[5].

Самі по собі такі прилади відрізняються зовнішнім виглядом, розмірами, способом і точністю вимірювання, вони можуть бути стаціонарними і переносними. При цьому барометр може бути не тільки аналоговим, а й цифровим. Електронні прилади не тільки зручні, але і функціональні.

За способом вимірювання прийнято розрізняти рідинні (ртутні) і без рідинні (анероїди) пристрої. Ртутний вимірювач атмосферного тиску виглядає як U-подібна скляна трубка, всередині якої знаходиться ртуть. При зміні атмосферного тиску ртуть розширюється або звужується і, відповідно, піднімається або опускається по трубці. Шукану величину при цьому визначають по різниці показників довгого і короткого ділянки трубки.

Анероїди сприймають зміну тиску еластичними хвилеподібними стінками вакуумної коробки. При зміні значення тиску стінки то прогинаються, то випинаються. Так як вони пов'язані зі стрілкою приладу системою важелів, на градуйованій шкалою стрілка показує актуальну величину атмосферного

тиску, вимірюваного в міліметрах ртутного стовпа. У разі цифрових пристроїв дані вимірювань виводяться на дисплей.

На метеостанціях для постійних спостережень за атмосферним тиском використовують так звані самописці (або барографи). Вимірювання величини атмосферного тиску виробляються постійно протягом певного проміжку часу. При цьому коливання показників прилад реєструє на вміщеній в обертовий барабан градуйованою стрічкою.

Метеорограф використовуються для комплексного підходу до спостереження за погодою. Вони дозволяють одночасно вимірювати і реєструвати значення атмосферного тиску, температури і вологості повітря. У деяких випадках до цих параметрів додається швидкість повітряного потоку. Метеорограф може бути високоточним, доповненим самописцем і призначеним для отримання актуальних метеорологічних зведень, а може бути компактним і переносним, призначеним для побутового використання в домашніх умовах або в подорожах. У першому випадку його встановлюють на стаціонарній метеостанції, а також запускають в повітря на зондах або аеростатах, літаках і ракетах.

Давач BMP280 розроблений для пристроїв, де є необхідність у перетворювачі з малими розмірами і низьким споживанням енергії. До таких пристроїв можна віднести навігаційні системи, системи прогнозування погоди, індикатори вертикальної швидкості та інші. Давач має високу точність, володіє хорошою стабільністю і лінійністю.

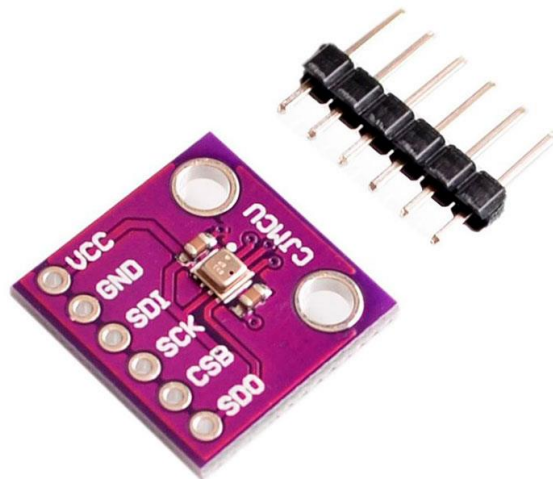


Рисунок 2.4 – давач BMP280

## 2.6 OLED дисплей

Технологія OLED (organic light-emitting diode) – заснована на виготовленні дисплеїв на базі органічних світлодіодів. Основним технічним відмінністю таких продуктів від попередників IPS є відсутність зовнішньої підсвічування[5]. У більш сучасному вирішенні органічні світлодіоди самостійно випромінюють світіння. Все, що для цього потрібно - подати на них харчування. Тому OLED матриці мають плівкову структуру, розташовану між двома провідниками.

Переваги OLED дисплеїв:

- мінімальна товщина. За рахунок того, що в сучасних матрицях відсутня шар світлодіодного підсвічування, вони є більш тонкими. Завдяки цьому розробникам вдалося зменшити товщину гаджетів, в яких встановлені такі дисплеї.

- глибокий чорний колір. Органічні світлодіоди, які відповідають за чорний колір, повністю відключаються, що не випромінюючи світіння. Завдяки цьому чорний колір виходить максимально глибоким і насиченим.

- низький рівень споживання енергії. OLED дисплеї не мають світлодіодного підсвічування, яка постійно працює. Завдяки цьому знижується загальне енергоспоживання матриці.

- максимальні кути огляду. Розташування користувача щодо площині дисплея не позначається на якості зображення.

- висока контрастність. Завдяки можливості отримувати глибокий чорний колір збільшилася контрастність матриці.

Жодна технологія виготовлення дисплеїв не є ідеальною, тому OLED матриці теж мають кілька недоліків:

- висока вартість. Сама по собі технологія виготовлення OLED дисплеїв є досить витратною, тому їх встановлюють, як правило, виключно в високотехнологічних гаджетах. Кінцевий продукт має досить високу вартість.

- вигорання органічних світлодіодів. Так як кожен світлодіод OLED матриці самостійно випромінює світло, то він має свій обмежений ресурс. З кожним роком розробники намагаються оптимізувати роботу таких дисплеїв, щоб збільшити їх термін служби[13].

- переважання синього кольору. Це незначний, але тим помітний недолік OLED дисплеїв. В результаті постійного світіння синій колір сприймається яскравіше, ніж червоний і зелений. Прибрати даний ефект розробники намагаються впровадженням додаткових технологій.

Дисплей – пристрій, призначений для візуального відтворення і відображення інформації (рисунок 2.5.).

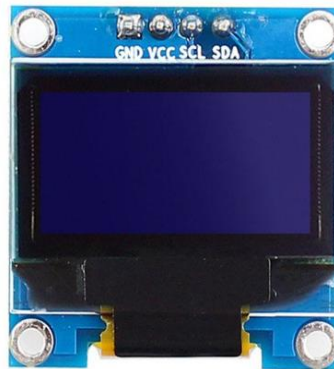


Рисунок 2.5 – OLED дисплей

## 2.7 Давач температури і вологості DHT22

На сьогоднішній день існують такі види давачів для вимірювання температури:

- термоелектричні (термопари);
- терморезистивні;
- п'єзоелектричні;
- акустичні;
- пірометричні.

Згідно поставленої задачі, вимірювати необхідно температуру води, отже давач повинен працювати в діапазоні від 0 до 100 °С. Давачі, робота яких заснована на основі безконтактних методів вимірювання температури, недоцільно використовувати для цього діапазону, оскільки вони значно

дорожчі, порівняно з контактними і їх використання доцільне лише у випадках неможливості використання контактних чи необхідності отримання даних про температуру у реальному часі з мінімальною затримкою, яка спричинена конструкцією контактних датчиків. В даному випадку відсутні вимоги щодо високої точності і низької затримки вимірювань.

Давачі вологості повітря за принципом роботи поділяються на:

- ємнісні;
- резистивні.

Ємнісні гігрометри у простому варіанті давачі вологості на основі зміни ємності є конденсаторами з повітряним діелектриком між обкладками. Його діелектрична проникність залежить від величини вологості, з цього слідує, що зміна вологості повітря веде до зміни ємності конденсатора. До переваг поточного виду давачів відносяться лінійна залежність ємності від вологості, низька інерційність, невисока вартість, значна точність вимірювань. Ємнісні давачі мають певні недоліки. Вони зі значною похибкою вимірюють вологість менше 0.5%, також досліджуваний зразок не повинен містити матеріали з високою діелектричною проникністю, оскільки це значно спотворить результати вимірювань. Також важливо, щоб досліджуваний зразок залишався незмінної форми.

Конструктивно резистивний давач складається з двох електродів на підкладці. Зверху електроди покриті шаром матеріалу з низьким опором, який значно змінюється при зміні вологості. Найчастіше використовують оксид алюмінію внаслідок його дешевизни і поширеності. Цей матеріал здатний адсорбувати порівняно значну кількість вологи і це призводить до значної зміни опору датчика. Опір можна визначити за законом Ома, вимірявши прикладену напругу і струм через давач. Важливими перевагами давачів резистивного типу є їх низька вартість, простота конструкції, логарифмічна залежність опору від вологості, що спрощує перетворення опір-вологість, малі розміри, стабільність характеристик у часі [5].

Давач DHT22 є дуже популярним в радіоаматорському співтоваристві, оскільки він простий у використанні і дуже легко підключається до плати

Arduino. Тим більше для роботи з ним є проста і зрозуміла бібліотека для Arduino IDE. Давач складається з двох частин: ємнісного перетворювача вологості і давача температури.



Рисунок 2.6 – давач DHT22

## 2.8 Bluetooth модуль HC-06

Bluetooth модуль дозволяє підключати модулі Arduino до телефонів, PDA, смартфонів, ноутбуків, і будь-яким іншим пристроям, які мають Bluetooth, що працює в режимі master. Дозволяє використовувати стандартний інтерфейс RS-232 і передавати дані на Arduino контролер.

Для використання Bluetooth модуля потрібно спочатку на його основі зібрати прототип: підключити живлення, контролер, пристрій з master Bluetooth [13]. Потім потрібно записати в Arduino контролер спеціальну програму. Потім на комп'ютері потрібно створити COM порт по Bluetooth з'єднанню. Після цього знадобиться програма-термінал для відправки даних через COM порт по Bluetooth з'єднанню, наприклад, безкоштовна Termite. Потім потрібно провести налаштування і тестування модуля за допомогою AT-команд і починати роботу. Також є можливість підключення до Linux і Android. При підключенні до модулю живлення, на корпусі повинен спалахнути червоний світлодіод. Корпус модуля обтягнутий плівкою для захисту від статичної електрики і забруднення.

Управління Bluetooth модулем здійснюється з master пристрою (телефон, PDA, ноутбук та ін.). Дані модуль передає згідно із стандартом UART, який вбудований в Arduino. Також можливо управління Bluetooth модулем за допомогою AT-команд.

Bluetooth модуль з антеною має один 4-х піновий штирьовий інтерфейс.

Позначення контактів:

- VCC (напруга живлення);
- GND (загальний контакт);
- RXD (прийняті дані);
- TXD (передані дані).

Також на корпусі є дві клеми, які за умовчанням не задіяні, але можуть використовуватися:

- STATE – сюди подається сигнал для світлодіода, який відображає стан модуля: активний світлодіод блимає, зв'язок встановлено – горить;
- EN – включення / вимикання, якщо подати на цей контакт логічну одиницю (5 В), то модуль вимкнеться, якщо логічний нуль (або пін буде не задіяний), то модуль буде працювати.

Bluetooth модуль HC-06 працює в пасивному режимі, тобто потрібно знайти його на керуючому пристрої, після цього в ньому з'явиться послідовний порт. Все що буде надіслано в нього з'явиться на Arduino, і навпаки, все що Arduino надішле вам буде прийнято на комп'ютері (смартфоні). Для підлаштування параметрів модуля можна використати AT команди.



Рисунок 2.7 – Bluetooth модуль HC-06

## 2.9 Стабілізатор напруги AMS1117

Стабілізатор напруги – електромеханічний або електричний (з дистанційним управлінням) пристрій, що має вхід і вихід по напрузі, призначений для підтримки вихідної напруги в вузьких межах, при істотній зміні вхідної напруги і вихідного струму навантаження.

Джерело стабілізованого живлення – обладнання, яке використовується

для перетворення електричної енергії в форму, придатну для подальшого використання[13].

Лінійний стабілізатор напруги AMS1117-3.3 – це понижуючий стабілізатор напруги постійного струму популярної серії AMS1117. Вихідна напруга мікросхеми становить 3,3 В. Стабілізатор напруги часто використовується в аналогових пристроях, портативних приладах, зарядках акумуляторів і т. д.

Мікросхема AMS1117-3.3 В виготовлена в корпусі «SOT-223». Максимальне значення вихідного струму стабілізатора складає 800 мА. Даний стабілізатор працює в широкому діапазоні температур, який знаходиться в межах від -40 до +125 °С.

Попри невеликі габарити стабілізатора, він володіє широким діапазоном вхідної напруги в межах від 4,8 до 12 В.



Рисунок 2.8 – стабілізатор напруги

## 2.10 Контролер заряду TP4056.

Стандартний зарядно-розрядний модуль для літій-іонних акумуляторів може і буде заряджати будь-який літій-іонний акумулятор незалежно від форми, розміру і ємності до правильної напруги 4.2 вольт. Навіть якщо це величезний літій-іонний пакет на 8000mah. Модуль дає зарядний струм 1 ампер, це означає що їм можна без побоювання заряджати будь-який акумулятор ємністю від 2000mah і вище і відповідно час зарядки в годиннику дорівнюватиме ємності акумулятора в амперах [13]. Модуль дозволяє заряджати і живити Li-Ion акумулятори, автоматично відключає зарядку при досягненні повної зарядки акумулятора 4.2 V, тим самим запобігає

передчасному виходу акумулятора з ладу, так само захищає акумулятори від переразряда, відключає батарею при падінні напруги менше 2,5 V.

Контролер заряду Li-ion Li-Pol акумуляторів з індикацією процесу заряду на TP4056 із захистом від перезаряду і перерозряду.



Рисунок 2.9 – Контролер заряду TP4056

### 2.11 Літій-іонний акумулятор 18650

Літій-іонний акумулятор (Li-Io, Li-Po) є найпопулярнішими на даний момент перезаряджасим джерелом електричної енергії. Літій-іонний акумулятор має номінальну напругу 3.7 В, саме воно вказується на корпусі. Однак, заряджений на 100% акумулятор має напругу 4.2 В, а розряджений "в нуль" - 2.5 В, взагалі немає сенсу розряджати акумулятор нижче 3 В, по-перше, він від цього псується, по-друге, в проміжку від 3 до 2.5 В акумулятор віддає всього пару відсотків енергії [13]. Таким чином, робочий діапазон напруг приймаємо 3 - 4.2 Вольта

Літій-іонний акумулятор 18650 29E 2900 mAh E7 – промисловий корейський Li-ion акумулятор форм-фактора 18650 без плати захисту. Дана модель акумуляторів відрізняється високою реальною ємністю і високою струмовіддачею.



Рисунок 2.10 – Літій-іонний акумулятор 18650

## 2.12 Конвертор USB-TTL

USB-TTL перетворювач – виконаний на мікросхемі, служить для підключення мікроконтролерів до ПК, через порт UART.

Мікросхема, створює на ПК віртуальний COM-порт. Конвертер використовується для програмування мікросхем і мікроконтролерів, що підтримують рівні сигналів TTL (0 – 5В). Застосовується для прошивки різних пристроїв на мікроконтролерах [13].

USB TTL конвертер має два інтерфейси для підключення до комп'ютера і для підключення програмованих пристроїв:

Щоб підключити пристрій до комп'ютера використовується стандартний USB інтерфейс.

Для підключення програмованих пристроїв використовується 5-ти контактний штирьовий інтерфейс. Позначення контактів:

- 3.3V - живлення пристроїв з рівнем сигналу TTL 3,3;
- 5.0V - живлення пристроїв з рівнем сигналу TTL 5В;
- RXD - прийом даних;
- TXD - передача даних;
- GND - загальний контакт.

Живлення конвертера здійснюється від USB порту комп'ютера напругою в 5В.



Рисунок 2.10 – Конвертор USB-TTL

## 2.13 Розробка алгоритму роботи метеостанції

Особливістю роботи всіх пристроїв з мікропроцесорним керуванням є те, що вони працюють за заздалегідь заданим алгоритмом. Завданням алгоритму є аналіз впливу зовнішніх факторів на сенсори і визначення поведінки виконавчих елементів пристрою.

Для розробки алгоритму роботи метеостанції з давачем якості повітря спершу необхідно визначити входні параметри, на основі яких буде відбуватися керування роботою системи. Зрозуміло, що основним параметром для метеостанції з давачем якості повітря є безпосередньо значення якості повітря в приміщенні та поза ним. Тому цей параметр і буде входним для системи керування, побудованої на основі мікроконтролера Arduino.

Керування значенням якості повітря розробленою системою здійснюється мікроконтролерним пристроєм за алгоритмом, блок схема якого наведена на рис. 2.11.

Програма роботи пристрою починається з задання директив препроцесора та оголошення змінних, які будуть необхідні під час виконання програми, це такі як: підключення бібліотек “Adafruit\_CCS811.h”, “Wire.h”, “Adafruit\_GFX.h”, “Adafruit\_SSD1306.h”, “Adafruit\_BMP280”, “DHT.h”.

Після підключення бібліотек оголошується константа. Розпочинається робота в функції `setup()`, яка призначена для створення об'єктів для керування модулями, підключеними до плати Arduino. Також під час виконання цієї функції відбувається ініціалізація оголошених раніше змінних, налаштування входів і виходів мікроконтролера.

Після налаштування давача BMP280 запускається функція `loop()` всередині якої налаштовуються виводи шрифту та тексту на дисплей, та виводи для шрифту та даних з датчиків.

Для того щоб значення оновлювалися встановлена затримка 5 секунд. Ці дії повторюються через функцію `loop()` яка є за своєю суттю нескінченним циклом, мікроконтролер опрацьовує внутрішні та зовнішні переривання, що можуть виникати внаслідок натискання кнопок чи спрацювання таймерів.

На основі описаних вище алгоритмів було розроблено блок-схему роботи розроблюваної метеостанції яка наведена на рис 2.11.

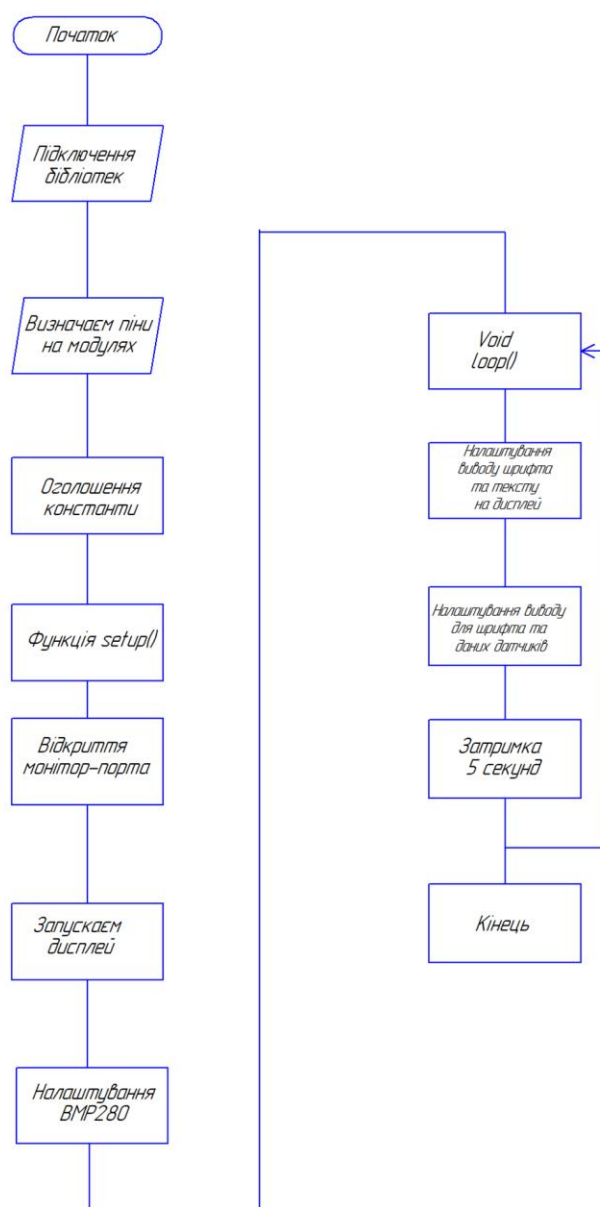


Рисунок 2.11 – Блок-схема роботи метеостанції

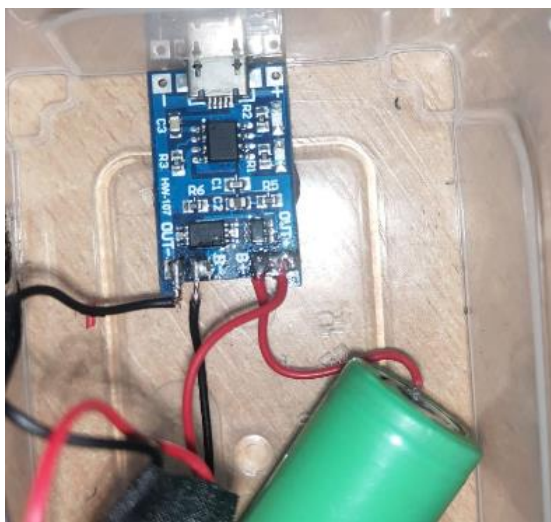
### 3. ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ РОЗРОБЛЮВАНОЇ СИСТЕМИ

#### 3.1 Технічна реалізація розроблюваної системи

Метеостанція з давачем якості повітря та бездротовим передаванням інформації окрім вимірів температури, вологості і атмосферного тиску, також може і вимірюват показники якості повітря за вмістом різних газів, та передавати получену інформацію на дисплей самого приладу, чи на сам смартфон через bluetooth з'єднання. Працює від літій-іонного акумулятора напругою 4.2 В і стабілізується в 3.3 В.

Метеостанція може проводити вимірювання якості повітря, температури, вологості та атмосферного тиску, як в приміщенні, так і на вулиці, але за зміни конструкції самого корпусу, роблячи його водонепронекним. Найчастіше використовують таку метеостанцію в приміщеннях, де вирощують харчову продукцію, виготовляють різні хімічні речовини, а найчастіше в побуті.

Найголовнішим пристроєм в схемі метеостанції є Arduino Pro Mini. Метеостанція розпочинає свою роботу тим що подається живлення від акумулятора до контролера заряду рис. 3.1, а. З контролера заряду на мікроконтролер Arduino Pro Mini рис. 3.1, б який керує усіма давачами.



а



б

Рисунок 3.1 – Реалізація підключення метеостанції до акумуляторної батареї

Найголовнішим давачем у схемі є давач якості повітря CCS811 рис. 3.2, а який визначає рівень різних газів та кількості важких частинок у повітрі.



а



б

Рисунок 3.2 – Реалізація підключення давач якості повітря CCS811 (а) та DHT22 (б)

Наступним є давач DHT22 рис. 3.2, б який визначає температуру та вологість повітря.

Для визначення атмосферного тиску використовується давач BMP280 рис. 3.3.



Рисунок 3.3 – Реалізація підключення давача атмосферного тиску BMP280

Усі дані передаються на мікроконтролер, обробляються і передаються на дисплей рис. 3.4, а та Bluetooth модуль рис. 3.4, б.



а



б

Рисунок 3.4 – Відображення вимірної інформації на дисплеї (а) підключення Bluetooth модуля (б)

Bluetooth модуль передає інформацію на смартфон і виводяться у терміналі. В якості терміналу використовується програма Serial Bluetooth Terminal рис. 3.5.

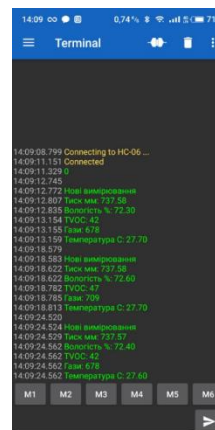


Рисунок 3.5 – Відображення вимірної інформації на дисплеї смартфона

### 3.2 Розроблення процедури калібрування та випробування гігрометра DHT22

Точне і повторюване вимірювання відносної вологості, як відомо, є складним (прилади з вимірюванням відносної вологості точністю 1–2% є дорогими мають вартість понад 1000 доларів США). Мета для даної процедури калібрування отримати корекційну криву для покращення заводського калібрування. Калібрування виробника є постійним і визначається на заводі і не налаштовується користувачем, тому вони не можуть бути повторно калібровані в будь-якому фізичному сенсі. Проте можна ввести певні коригуючі коефіцієнти у програму розроблюваного пристрою.

Метод, який буде використано ґрунтується на тому, що критична відносна вологість повітря вища від насиченого водного розчину. Якщо запечатати чисту воду в герметичній посудині, вода буде випаровуватися, поки баланс рідини і пари не досягне рівноваги при 100% відносній вологості. Тоді водяна пара буде випаровуватися і конденсуватися, обмінюючись між рідкою і газоподібною фазами, але завжди підтримуючи баланс при 100% відносної вологості. На практиці це визначення того, що означає 100%, це дає метод встановлення 100% точки калібрування гігрометра. Простіше кажучи, можна використати герметичну коробку з водою. Також можна встановити точку калібрування 0%, запечатавши датчик у коробці із агресивним осушувачем повітря. На практиці нуль і 100 рідко зустрічаються в реальному житті, тому їх калібрування представляє обмежений інтерес.

Коли розчинна у воді хімічна речовина розчиняється, її атоми заважають випаровуванню на поверхні води, а це означає, що стабільна рівновага між водяною парою та розчином стає меншою за 100%. Дуже точно регулюючи концентрацію розчину, можна контролювати вологість повітря над цим розчином. Зазвичай використовуються гідроксид натрію ( $\text{NaOH}$ ), сірчана кислота ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) або хлорид літію ( $\text{LiCl}$ ). На жаль,  $\text{NaOH}$  і  $\text{H}_2\text{SO}_4$  обидва неприємні в обробці, і цей метод важкий без точних ваги та мір. Автори [Madge (1961)] надають вичерпні таблиці того, яку концентрацію  $\text{NaOH}$  використовувати для створення будь-якої вологості, яку ви хочете, для діапазону температур (0–40°C), що дозволяє встановити будь-яку вологість у діапазоні 6–100%.

Замість різної концентрації певної солі можна використати насичені розчини кількох різних солей. Залежно від розчинності конкретної солі, у рівновазі з розчином буде створюватися різна відносна вологість. Солі з низькою розчинністю призведуть до високої вологості, тому що в будь-якому випадку розчин не є просто водою. Солі з дуже високою розчинністю, навпаки, призведуть до низької вологості. Для експерименту буде використано насичені розчини, оскільки їх легко отримати без будь-яких точних вимірювань.

Таким чином, тест теоретично дуже простий. Закрити гігрометр у герметичній посудині зі зразком насиченого розчину та отримати результати вимірюванню. На практиці є багато речей, які можуть піти не так і вплинути на результати, і вони будуть обговорені нижче.

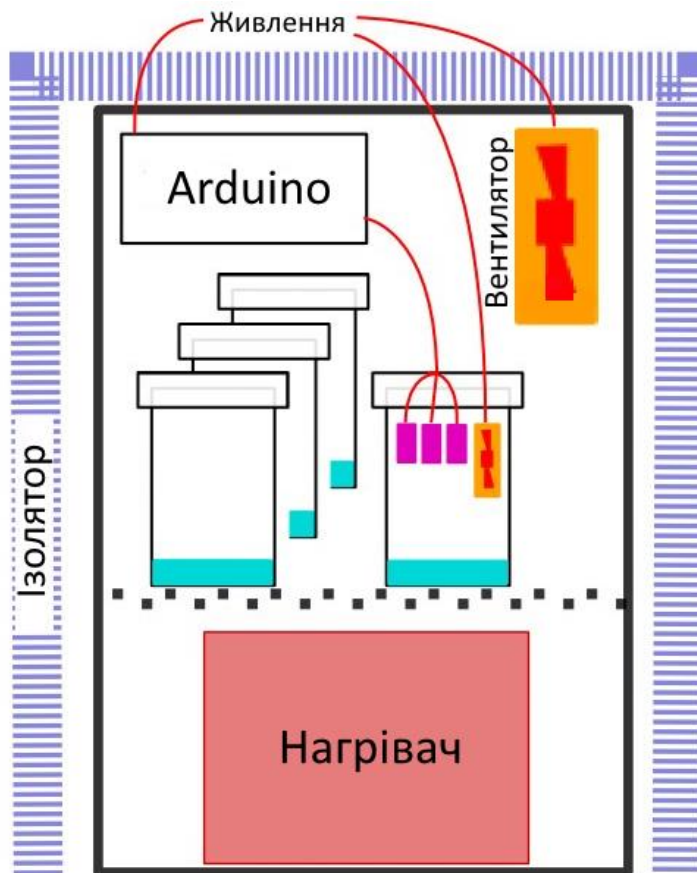
Для експерименту вибрано шість пристроїв. Всі вони мають маркування DHT22 і індивідуальні серійні номери. Для зчитування даних із сенсорів використано плату на Arduino з ATmega328P, з радіомодулем RFM12B, завдяки чому дуже легко надсилати вимірювання на зовнішній реєстратор даних (рис.3.6).

Вимірювання проводилися з використанням активного теплового контролю для забезпечення збору даних за відомої та стабільної температури. В якості вимірювальної комірки використовувалися герметичні банки. Датчики прикріплені до нижньої сторони кришки, а кабелі проходять через отвори, заклеєні герметиком. Маючи однакові баночки можна просто змінювати кришку для швидкого продовження експерименту. Крім датчиків, в банку поміщався вентилятор для кращої циркуляції повітря.

Потім десять банок із різними розчинами укладають у велику ізольовану картонну коробку разом із невеликим малопотужним тепловентилятором. Тепловентилятор використовується для активного контролю температури повітря всередині боксу. Також є ще один вентилятор, який працює безперервно, щоб забезпечити кращу циркуляцію повітря навколо банок і підтримувати температуру в коробці якомога однорідною. Теплові градієнти всього лише  $0,1^{\circ}\text{C}$  в будь-якому місці апарату створюють значні похибки.

Програмне забезпечення мікроконтролера зчитує температуру та вологість із шести DHT22 кожні тридцять секунд. Температури усереднюються і використовуються для керування PID-регулятором для тепловентилятора. Оскільки обігрівач керується у аналоговому режимі, вмикаючи і вимикаючи його встановлюють робочий цикл, який становить 20–30 двосекундних імпульсів на годину. Спочатку використовували чотири секундні імпульси, але більш часті, коротші імпульси давали помітно кращий контроль температури. Обидва циркуляційні вентилятори (усередині банки і всередині коробки)

працюють безперервно що виявилось необхідним для підтримки стабільності температури.



а)



б)

Рисунок 3.6 – Схематичне зображення досліджуваної установки для зняття показів з DHT22 (а), фотографія вимірювальної установки (б).

Для дослідження було розроблено декілька ( $\text{LiCl}$ ,  $\text{MgCl}$ ,  $\text{KI}$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{NaCl}$ ) розчинів у дистильованій воді. На рисунку 3.7 аміачна селітра виділяється як єдина зі значним температурним коефіцієнтом. Хлорид кальцію також має сильний температурний коефіцієнт і використовувався деякий час.

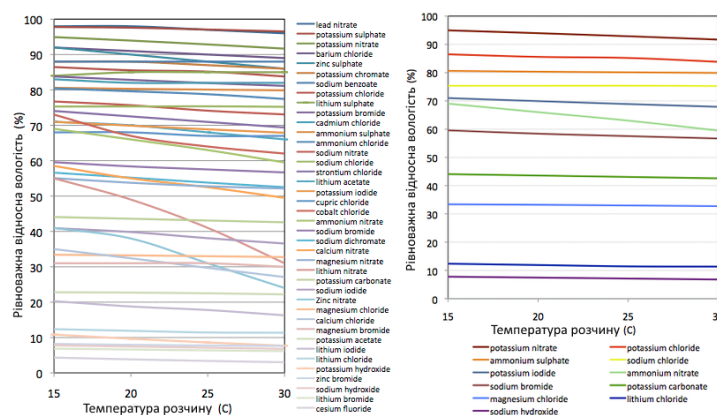


Рисунок 3.7 - Вимірювання вологості для різних хімічних речовин

Спочатку розглянемо різну реакцію датчика на різні еталонні вологості, виміряні при одній фіксованій температурі рисунок 3.8. Цей графік в першу чергу показує які за стабільні вимірювання та як швидко реагують датчики. Всі показання стабілізуються через 1–4 години після зміни. Цей графік також ілюструє ефективність PID-регулятора в утриманні комірки на заданій точці, коли центральне опалення включається і вимикається в будинку вдень і вночі. Кожного разу, коли я відкриваю камеру, на температурному сліді видно одне-два коливання, а потім він швидко заспокоюється. Нарешті, гістерезисна поведінка очевидна.

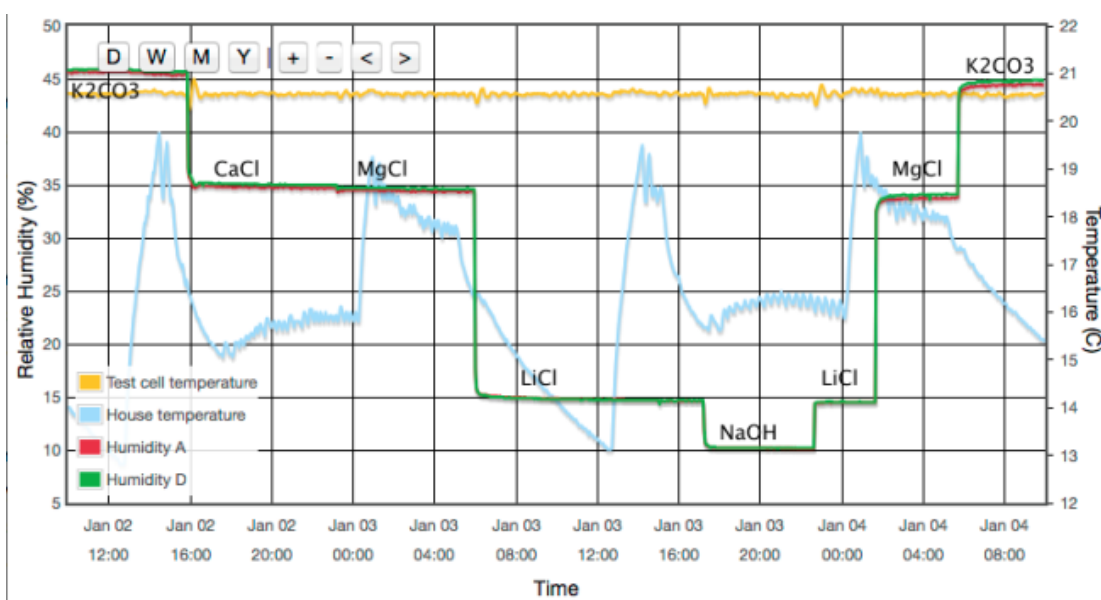


Рисунок 3.8 - Дводенна реєстрація даних на кількох різних солях

Результати експерименту при  $20,57^{\circ}\text{C}$  представлені в таблиці 3.1. Значення які представлені в колонці «Еталонне значення», це очікувані значення, взяті з опублікованих літературних джерел, інтерполюване на температуру на момент вимірювання. «Виміряна RH» — це вихідні значення, отримані від пристроїв DHT22. Контроль температури був довільно встановлений на  $20,57^{\circ}\text{C}$ , і дані зчитувалися лише тоді, коли вимірювання стабілізувалися до цієї заданої точки  $\pm 0,03^{\circ}\text{C}$ . Температура повністю визначається показаннями з DHT22 без будь-якого зовнішнього калібрування.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювань на різних солях при температурі 20,57°C для шести датчиків

| Сіль                            | Еталонне значення | Виміряна RH % |       |       |       |       |       |
|---------------------------------|-------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                 |                   | A             | B     | C     | D     | E     | F     |
| NaOH                            | 7.42              | 10.17         | 11.16 | 11.29 | 10.20 | 9.60  | 8.88  |
| LiCl                            | 11.90             | 14.68         | 15.40 | 15.49 | 14.70 | 13.99 | 13.34 |
| CaCl                            | 32.07             | 34,74         | 34,69 | 34,96 | 35.02 | 34.22 | 33.01 |
| MgCl                            | 33.18             | 34.37         | 34.36 | 34,69 | 34,62 | 33,71 | 32,61 |
| K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>  | 43,52             | 45,59         | 45,53 | 45,99 | 45,82 | 46,50 | 43,65 |
| NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> | 65,58             | 65,98         | 65,27 | 66,23 | 65,61 | 66,83 | 65,87 |
| NaCl                            | 75,31             | 77,56         | 76,38 | 77,44 | 78.09 | 77,60 | 79,74 |
| NH <sub>4</sub> SO <sub>4</sub> | 80,31             | 82,54         | 80,91 | 81,97 | 82,51 | 81,88 | 85,42 |
| KCl                             | 85,57             | 86,73         | 84,86 | 85,93 | 86,73 | 86.06 | 90,94 |
| K <sub>2</sub> NO <sub>3</sub>  | 93,77             | 96,43         | 93,36 | 94,43 | 95.21 | 95,80 | 99,90 |
| H <sub>2</sub> O                | 100,00            | 99.9          | 99.4  | 99.9  | 99.9  | 99.9  | 99.9  |

Провівши аналіз отриманих даних можна зробити висновок, що пристрої A, D і E постійно показують приблизно 2%. Пристрої B і C показують 4% високо в сухому стані, але мають тенденцію до досить точних показів при високій вологості. Пристрій F є єдиним, який показує великі відхилення від правильного. Він показує з точністю нижче 60%, але досить сильно відхиляється (до 6% абсолютної похибки) при високій вологості.

Існують систематичні зміни в залежності від вологості, як і очікувалося, і багатоточкове калібрування, безсумнівно, корисно. Однак, якби я використовував калібрування за однією точкою з NaCl на 75%, як це було б розумно виконати будь-яким користувачем цих пристроїв, результати були б не такими поганими. Датчики A, D і E показують лише слабкі тенденції, і калібрування за однією точкою було б достатнім. Вони завжди читають близько 2%. Пристрій F — єдиний випадок, коли калібрування NaCl за однією точкою може зробити «виправлені» результати гіршими, ніж бездіяльність. Це змусить вас повірити, що датчик показує 4% високого рівня, тоді як насправді він є найточнішим із шести з відносною вологістю нижче 60%.

## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці — це система законодавчих актів, соціально-економічних, гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів і засобів, які забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Завдання охорони праці — звести до мінімуму імовірність ураження або захворювання працюючого з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці. Реальні виробничі умови характеризуються, як правило, наявністю деяких небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Відповідно до закону України - Про охорону праці на все нове обладнання, що розробляється, необхідно розробляти безпечні умови для обслуговуючого персоналу. Тому питання безпеки та покращення умов праці разом з підвищенням продуктивності машини та випускаємої продукції є визначальним для конструктора.

В даному розділі дипломного проєкту визначимо основні потенційно шкідливі і небезпечні чинники які мають місце при розробці, виготовленні та експлуатації спроектованого пристрою. Також запропоновані технічні рішення та організаційні заходи щодо покращення умов праці на робочому місці, заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії. Основну увагу в цьому розділі присвячено освітленості робочого місця, що має при проведенні технологічного процесу пайки велику важливість.

Проаналізуємо основні потенційно шкідливі і небезпечні фактори, що виникають при виготовленні даного пристрою:

- небезпека ураження електричним струмом;
- наявність електромагнітного випромінювання;
- незадовільні параметри мікроклімату у робочій зоні;
- значні психофізіологічні навантаження;
- негативний вплив аерозолів свинцю;
- пил і загазованість в повітрі робочої зони;
- незадовільна освітленість робочих місць або підвищена яскравість світла;

- незадовільні метеорологічні умови в робочій зоні;
- вплив бризів та крапель розплавленого припою;
- нервово - психічні перевантаження;
- небезпека виникнення пожежі.

Одним з найбільш небезпечних і шкідливих факторів, при виробництві спроектованого пристрою, є пайка виводів радіо компонентів. При пайці використовується олов'яно-свинцевий припій ПОС-61, до складу якого входить свинець, що відноситься до першого класу небезпеки.

#### **4.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії**

Однією із необхідних умов здорової і високопродуктивної праці є забезпечення чистоти повітря і нормальних метеорологічних умов у робочій зоні приміщення – просторі висотою до 2 м над рівнем підлоги. Знешкодження дії таких небезпечних виробничих факторів, як газів і парів, пилу, надлишкової теплоти і вологості, і створення здорового повітряного середовища є важливим народногосподарським завданням, яке повинно здійснюватися комплексно, одночасно з вирішенням основних питань виробництва. Ручна пайка супроводжується забрудненням повітряного середовища аерозолем припою. Знаходячись у запиленій атмосфері, робітники піддаються впливу пилу та пару, шкідливі речовини осідають на шкірі, попадають на слизову оболонку порожнини рота, очей, верхніх дихальних шляхів, зі слиною заковтуються в травний тракт, вдихаються в легені. Поряд із забрудненням повітряного середовища забруднюються робочі поверхні й одяг робітників. Ступінь впливу аерозолів залежить від хімічного складу. Більшість елементів, що входять до складу застосовуваних припоїв, є шкідливими для здоров'я та життя людини. У розроблювальному технологічному процесі застосовується припій ПОС-61 ГОСТ 21931-76. До складу припою входить 61% олова, інше — свинець. Біологічна дія, клас небезпеки і ГДК в повітрі робочої зони вихідних компонентів, що входять до складу аерозолу приведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 — Біологічна дія, клас небезпеки і ГДК в повітрі роб. Зони

| Компоненти     | Характер токсичності дії                                                                                                            | Клас небезпеки | ГДК у повітрі робочої зони, мг/м <sup>3</sup> |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------|
| Свинець        | При отруєнні спостерігається поразка нервової системи, крові, серцево судинної системи, шлунково-кишкового тракту, статеві системи. | 1              | 0,01                                          |
| Олово          | Поразка бронхів. При тривалому впливі можливий пневмокніоз.                                                                         | 3              | 10,0                                          |
| Спирт етиловий | Має наркотичну і дратівну дію при тривалому контакті.                                                                               | 4              | 1000                                          |
| Каніфоль       | Має дратівну дію. При тривалому впливі на шкіру викликає дерматит.                                                                  | -              | -                                             |

Згідно ДСТУ Б В.2.5-82:2016 науково-дослідницька лабораторія відноситься до приміщень без підвищеного ризику отримання електротравм. Електроустаткування, що використовується у роботі, відповідно до ДСТУ ІЕС 61140:2015 належить до устаткування класів I та II за електрозахистом. Спроектований виріб має III клас за електрозахистом. Напруга доторкання — це напруга між двома точками електричного кола, до яких одночасно доторкається людина. Гранично допустимі значення напруги доторкання аварійного режиму роботи електроустановок регламентуються ПУЕ-2017 [17-19].

Основними технічними засобами, що забезпечують безпеку робіт є: надійна ізоляція, захисне заземлення, занулення, захисне відключення, засоби індивідуального захисту. У системі трифазних мереж із глухо заземленою нейтраллю, яка використовується у науково-дослідницькій лабораторії,

найкращими засобами захисту є надійна ізоляція струмоведучих частин електроустаткування і занулення відповідно до ПУЕ.

Для умов, що розглядаються в проєкті і характеру роботи, який можна класифікувати як роботу програміста обчислювальної машини у лабораторії для теоретичних робіт та обробки даних, рівні шуму визначені ДСН 3.3.6.037-99 [20].

Джерелами шуму в умовах робочого приміщення, що розглядається в роботі є вентилятори охолодження внутрішніх систем персонального комп'ютера (вентилятори блоку живлення, радіатора процесора та відеокарти) і система кондиціонування повітря.

Очікувані рівні звукового тиску і рівень звуку відповідно до шумових характеристик цих джерел :

- рівень шуму, створюваний внутрішніми елементами ПК дорівнює 35 дБ;
- рівень шуму системи кондиціонування на низьких/високих частотах дорівнює 25/30 дБ.

Оскільки рівні звуку потенційних джерел шуму нижчі допустимих, умови робочого приміщення відповідають вимогам.

Як видно з таблиці 6.1 найбільш небезпечною речовиною аерозолі є свинець. Виходячи з вищесказаного, небезпека процесу визначається токсичністю свинцю, причому наявність олова знижує токсичний ефект.

Зробимо розрахунок концентрації аерозолі свинцю в повітрі робочої зони. На робочих місцях питоме утворення аерозолі свинцю при пайці електропаяльником складає 0,02 мГ/100 пайок. Концентрація аерозолі в атмосфері складає :

$$C = 0.6 * \frac{y * n * t * N}{V}, \quad (4.1)$$

де  $y = 0,02$  [мГ/100пайок] — питоме утворення свинцю;  $n = 7$  — кількість пайок за хвилину, шт.;  $t = 10$  [год] — тривалість зміни;  $N = 2$  — кількість робочих місць, де ведеться пайка, шт.;  $V = 25$  [3 м ] — об'єм приміщення.

$$C = 0.6 * \frac{0.02 * 7 * 10 * 2}{25} = 0.067 [\text{мг}/\text{м}^3].$$

$$0,067 [\text{мг}/\text{м}^3] > 0,01 [\text{мг}/\text{м}^3].$$

Після проведення розрахунку можна зробити такий висновок, так як концентрація аерозолі свинцю перевищує ГДК, нам необхідні відповідні заходи щодо поліпшення умов праці. Потрібно на робочих місцях монтажника встановити примусові місцеві відсоси.

Виконувані роботи при пайці згідно з ДСН 3.3.6.042-99 [20] відповідають категорії II, а робота — сидяча, з підняттям ваги до 1 кг. Розглядається холодний період року.

У приміщенні використовується 6-ти секційна чавунна батарея центрального опалення для підтримки нормальної температури повітря в холодну пору року. Також є кондиціонер для підтримки постійної температури в приміщенні.

Для підтримки необхідних параметрів повітря в приміщенні використовується природна вентиляція. У приміщенні є вікно, яке можна відкривати, якщо буде потреба в теплий період. Шкідливі речовини в приміщенні не зберігаються й не використовуються.

Фактичні параметри мікроклімату в робочій зоні відповідають приведеним вище нормам ДСН 3.3.6.042–99.

## 4.2 Розрахунок освітленості робочого місця

Перевіримо освітленість, що забезпечується загальним рівномірним штучним освітленням. Для визначення освітленості застосуємо метод коефіцієнта використання світлового потоку. Як джерело світла використовуємо люмінесцентні лампи ЛБ–80 потужністю 80 [Вт]. Застосовуються світильники ПВЛМ чи ЛСПО 62\*80-08.

Освітленість дорівнює:

$$E = \frac{N \cdot \Phi_0 \cdot \eta}{S \cdot K_3 \cdot Z}, \quad (4.2)$$

де  $N = 12$  — кількість світильників у приміщенні;  $\Phi_0 = 5220$  Лм — світловий потік світильника;  $K_3$  — коефіцієнт запасу;  $S = 35 \text{ м}^2$  — площа освітлюваного приміщення;  $\eta$  - коефіцієнт використання світлового потоку. Визначається в

залежності від індексу приміщення і коефіцієнтів відбиття стелі,  $\eta_1 = 0,7$ , стін  $\eta_2 = 0,5$ , підлоги  $\eta_3 = 0,1$ .

$$i = \frac{l*b}{h(l+b)}, \quad (4.3)$$

де  $l = 7[\text{м}]$  — довжина приміщення;  $b = 5[\text{м}]$  — ширина приміщення;  $h = 3[\text{м}]$  — висота підвісу світильників;

$$i = \frac{7 * 5}{3 * (7 + 5)} = 0.97$$

Визначаємо  $\eta = 0,34$ .

При використанні люмінесцентних ламп у приміщеннях з повітряним середовищем, що містить менше за  $1\text{мг/м}^3$  пилу;  $K_z = 1,5$ ;  $Z = 1,1$  — коефіцієнт нерівномірності освітлення

За результатами розрахунків освітленість складає  $385,32 \text{ Лк}$ .

Норма загального освітлення робочих місць (контраст об'єкта розрізнення середній, фон середній; робота високої точності) складає  $300 \text{ Лк}$ . Фактичне  $E$  більше необхідного, і норми ДБН В 2.5–28–2018 виконуються [21].

На робочому місці монтажу РЕА комбіноване освітлення повинне забезпечити освітленість місця норм  $E_{\text{норм}} = 750 \text{ Лк}$ . Загальне освітлення забезпечує  $385 \text{ Лк}$ , місцеве повинно бути норм  $E_{\text{норм}} - E_{\text{заг}} = 365 \text{ Лк}$ . Застосуємо джерело місцевого освітлення МЛ–2х80. Перевіримо чи забезпечить даний світильник необхідну освітленість

$$E = \frac{n*\Phi_0*L*N*\mu*\psi}{1000*K_z}, \quad (4.4)$$

де  $N = 1$  — число світильників;  $E$  — освітленість, яку забезпечує місцевий світильник;  $K_z = 1,5$  — коефіцієнт запасу;  $n = 2$  — число ламп у світильнику;  $\Phi_0 = 4070 [\text{Лм}]$  — світловий потік лампи ЛД80;  $\mu = 1,2$  — коефіцієнт збільшення освітленості від навколишніх предметів;  $L = 100$  — умовна освітленість за графіком;  $\psi = 1$  — враховує кут нахилу робочої площини, тоді:

За результатами розрахунків освітленість складає  $620,2 \text{ Лк}$ .

Комбіноване освітлення з джерелом МЛ–2х80 забезпечить необхідну освітленість на робочому місці монтажника ( $620,2 > 381$ ).

Відповідно до ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 робоче приміщення лабораторії відноситься до категорії В за вибухопожежною небезпекою. Відповідно до ПУЕ-2017 клас робочих зон приміщення лабораторії за пожежонебезпекою - П-Па. Можливими причинами пожежі в приміщенні є несправність електроустаткування, коротке замикання проводки, і порушення протипожежного режиму (використання побутових нагрівальних приладів, паління) [22]. У зв'язку з цим, відповідно до вимог ПУЕ, необхідно передбачити наступні заходи:

1. Ретельну ізоляцію всіх струмоведучих провідників до робочих місць, періодичний огляд та перевірку ізоляції.
2. Дотримання норм протипожежної безпеки на робочих місцях.
3. Відповідні організаційні заходи(заборона паління, інструктаж).

Для гасіння пожежі в робочому приміщенні лабораторії (клас пожежі „Е”- наявність електрообладнання під напругою) використовуються вогнегасники ОП-1 – “Момент”. Така кількість вогнегасників відповідає вимогам ДСТУ 3675-98, яким передбачена обов'язкова наявність вогнегасників до 100 м<sup>3</sup> площі підлоги для приміщення типу конструкторське бюро [23].

Дотримано усі вимоги ДБН В.1.1-7-2016 за шириною евакуаційних проходів і виходів із приміщень назовні [24].

З метою профілактики загоряння електропроводки необхідно не менш одного разу в три місяці проводити профілактичні огляди електромережі. Рубильники для відключення мережі мають знаходитись на видному місці, підходи до них необхідно звільнити. У випадку виникнення пожежі в приміщенні, згідно ДБН, забезпечена можливість безпечної евакуації людей, через евакуаційні виходи [24].

У робочому приміщенні виконуються усі вимоги щодо пожежної безпеки у відповідності до НАПБ А.01.001-2004 – “Правила пожежної безпеки в Україні” [25].

## ВИСНОВКИ

В даній бакалаврській роботі було розроблено метеостанцію з давачем якості повітря та бездротовим передаванням інформації на базі Arduino Pro Mini. Проаналізовано та описано основні компоненти які використовувались у створенні проєкту а саме: Arduino Pro Mini, давач якості повітря, давач температури та вологості повітря, давач атмосферного тиску, OLED дисплей, bluetooth модуль, стабілізатор напруги, контролер заряду, акумулятор.

В теоретичній частині проаналізовано методи і засоби вимірювання температури, вологості повітря та атмосферного тиску, розглянуто принцип роботи та різновиди давачів якості повітря, а також бездротового передавання інформації.

В конструкторській частині проведено розробку структурної та електричної принципової схем метеостанції з давачем якості повітря. Обґрунтований вибір мікроконтролера, давачів та модулів, виконаний вибір елементної бази для метеостанції.

У програмній частині виконано опис блок-схеми програми, а також розглянуто програму для програмування мікроконтролера та програмний код мікроконтролера.

В розділі «Технічне обслуговування» виконано детальний перелік технічних характеристик метеостанції та її складових частин, надано інструкції з експлуатації метеостанції з давачем якості повітря.

В розділі "Охорона праці" розглянуті організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії та розрахунок освітленості робочого місця.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пітчук Л.В. Методичні вказівки до курсового та дипломного проектування для студентів усіх спеціальностей. – Івано-Франківськ, 2019.
2. Інженерна та комп'ютерна графіка. Правила виконання схем цифрової обчислювальної техніки. Правила виконання кресленика друкованої плати. Методичні вказівки до вивчення тем дисципліни і контрольні завдання для студентів факультету інформатики та обчислювальної техніки/ Уклад.: В.В. Перевертун, Т.М. Надкернична. – К.: НТУУ «КПІ», 2011.
3. Метрологічне забезпечення якості продукції на стадії виготовлення : монографія / М. М. Микийчук ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т "Львів. політехніка". – Вижниця : Черемош, 2014.
4. Метрологія та вимірювання : навч. посіб. / М. М. Дорожовець, Р. М. Івах, В. П. Мотало та ін. ; за наук. ред. Б. І. Стадника ; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. ун-т "Львів. політехніка". – Л. : Вид-во Львів. політехніки, 2012.
5. Метрологія та вимірювальна техніка : підручник / Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець, В. О. Яцук та ін. ; за ред. Є. С. Поліщука ; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. ун-т "Львів. політехніка". – 2-ге вид., доповн. та переробл. – Л. : Вид-во Львів. політехніки, 2012.
6. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація : Підруч. для вищ. навч. закл. / Р. В. Бичківський, П. Г. Столярчук, П. Р. Гамула; Нац. ун-т "Львів. політехніка". - Л., 2002.
7. Метрологія, стандартизація, сертифікація та управління якістю в системах зв'язку : підруч. [для студ. техн. напрямків підготов.] / Л. В. Коломієць, П. П. Воробієнко, М. Т. Козаченко [та ін.] ; за заг. ред. Л. В. Коломійця ; М-во освіти і науки України, М-во трансп. та зв'язку України. — Одеса : ВМВ, 2009.
8. Суровцев, О. А. Порівняння сучасних бездротових технологій обміну інформацією / О. А. Суровцев, О. М. Павловський // XI Науково-практична

конференція студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2018 р., м. Київ, Україна : збірник статей / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ. – Київ : Центр учбової літератури, 2018.

9. Гармонов А.В. та ін. Технічний огляд стандарту IEEE 802.16 // Мобільні системи, 2005.

10. Ільченко М.Є., Кравчук С.А. Перспективи розвитку телекомунікацій // Матеріали 11-ї Міжнародної конференції КриМіКо'2001 «СВЧ-техніка і телекомунікаційні технології», 10-14 вересня 2001 р Севастополь, Крим, Україна.- Севастополь: «Вебер», 2001.

11. Коваль, К. А. Використання інформаційно-комунікаційних технологій в навчальному процесі / К. А. Коваль, С. А. Затока // XIV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 4-5 грудня 2018 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна : збірник праць конференції / КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПБФ, ФММ. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018.

12. Шиллер Й. Мобільні комунікації. М.-СПб: Вільямс, 2002.

13. Олійник В.Ф., Сайко В.Г., Булгач С.В. Радіотелекомунікаційні технології мобільних систем: теоретичні основи і практичне застосування. Том 1. Системи стільникового рухомого радіозв'язку. К .: ДУІКТ, 2004.

14. Гайдук О.В. та ін.. Радіотелекомунікаційні технології: радіопередавальні та радіоприймальні пристрої. Ніжин: Видавництво «Аспект-Поліграф», 2007.

15. Погорілий Сергій Дем'янович, Калита Дмитро Миколайович. Комп'ютерні мережі. Апаратні засоби та протоколи передачі даних: підручник для студ. вищих закл. освіти / Київський національний ун-т ім. Тараса Шевченка. - К. : ВПЦ "Київський ун-т", 2007.

16. Шахновіч І. Бездротові локальні мережі. Анатомія стандартів IEEE 802.11 // Електроніка НТБ, 2005.

17. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Видання. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. Київ, 2016. 16 с.

18. ДСТУ EN 61140:2015 Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання (EN 61140:2002, IDT) [Чинний від 2016-01-01]. Прийнято як національний стандарт методом «підтвердження», 2006. 100 с.

19. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво “Форт”, 2017. - 760 с.

20. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку [Чинні від 1999-01-12]. Вид. офіц. Київ, 2016.

21. ДБН В.2.5 -28-2018 Державні будівельні норми України. Природне і штучне освітлення. [Чинні від 2006-05-15]. Вид. офіц. Київ, 2006.

22. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків, установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [Чинні від 2007-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2016.

23. ДСТУ 3675-98 Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань. [Чинні від 1999-01-01]. Вид. офіц. Київ, 1998.

24. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинні від 2017-06-01]. Вид. офіц. Київ, 2017.

25. НАПБ А.01.001-2004 Правила пожежної безпеки в Україні. Редакція: від 25.11.2020 [Чинні від 2014-12-30]. Вид. офіц. Київ, 2014.

# Додатки

## Додаток А

### Розробка програмного забезпечення для мікроконтролера метеостанції

Програмний код для управління мікроконтролером Arduino pro mini, лістинг:

```
#include <Adafruit_CCS811.h>    // Підключаєм бібліотеку Adafruit_CCS811.h.
#include <Wire.h>                // Підключаєм бібліотеку Wire.h
#include <Adafruit_GFX.h>        // Підключаєм бібліотеку Adafruit_GFX.h
#include <Adafruit_SSD1306.h>    // Підключаєм бібліотеку Adafruit_SSD1306.h
#include <Adafruit_BMP280.h>     // Підключаєм бібліотеку Adafruit_BMP280.h
#include "DHT.h"                // Підключаєм бібліотеку DHT.h

#define DHTPIN 2

#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302), AM2321
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

#define OLED_RESET 4
Adafruit_SSD1306 display(OLED_RESET);
Adafruit_CCS811 ccs;
Adafruit_BMP280 bmp;

void setup() {
  Serial.begin(9600);           // Відкриваємо монітор порта
  Serial.println("DHTxx test!");
  dht.begin();
  Serial.println("CCS811 test");
  display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C); // Запуск дисплея
  display.clearDisplay();         // Очищення дисплея
  if(!ccs.begin()){              // При не виконанні інструкції
запуску датчика CCS811 виводиться надпис
    Serial.println("Failed to start sensor! Please check your wiring.");
    while(1);
  }
}
```

```

    if(!bmp.begin()) {                                     // Інструкція якщо датчик BMP280 не
знайдено
        Serial.println("BMP280 SENSOR ERROR"); // Виводим сповіщення про
помилку
        while(1); // Переходим в безкінечний цикл
    }
    bmp.setSampling(Adafruit_BMP280::MODE_NORMAL, // Режим роботи
        Adafruit_BMP280::SAMPLING_X2, // Точність вим. температури
        Adafruit_BMP280::SAMPLING_X16, // Точність вим. тиску
        Adafruit_BMP280::FILTER_X16, // Рівень фільтрації
        Adafruit_BMP280::STANDBY_MS_500); // Період прокидання, мсек
}
void loop() {
    if(ccs.available()){
        float temp = ccs.calculateTemperature();
        if(!ccs.readData()){
            Serial.println("Нові вимірювання");
            display.setTextSize(1);
            display.setTextColor(WHITE);
            display.setCursor(0,0);
            display.print("MMRS: ");
            Serial.print("Тиск мм: ");
            display.setTextSize(1);
            display.setTextColor(WHITE);
            display.setCursor(30,0);
            display.print(bmp.readPressure() * 0.00750061683);
            Serial.println(bmp.readPressure() * 0.00750061683);

            display.setTextSize(1);
            display.setTextColor(WHITE);
            display.setCursor(67,0);

```

```
display.print("Humd: ");  
Serial.print("Вологість %: ");
```

```
display.setTextSize(1);  
display.setTextColor(WHITE);  
display.setCursor(97,0);  
display.print(dht.readHumidity());  
Serial.println(dht.readHumidity());
```

```
display.setTextSize(1);  
display.setTextColor(WHITE);  
display.setCursor(0,10);  
display.print("TVOC: ");  
Serial.print("TVOC: ");
```

```
display.setTextSize(1);  
display.setTextColor(WHITE);  
display.setCursor(30,10);  
display.print(ccs.getTVOC());  
Serial.println(ccs.getTVOC());
```

```
display.setTextSize(1);  
display.setTextColor(WHITE);  
display.setCursor(67,10);  
display.print("CO2: ");  
Serial.print("Гази: ");
```

```
display.setTextSize(1);  
display.setTextColor(WHITE);  
display.setCursor(97,10);  
display.print(ccs.getCO2());
```

```
Serial.println(ccs.getCO2());

display.setTextSize(1);
display.setTextColor(WHITE);
display.setCursor(33,20);
display.print("Temp: ");
Serial.print("Температура C: ");

display.setTextSize(1);
display.setTextColor(WHITE);
display.setCursor(68,20);
display.println(dht.readTemperature());
Serial.println(dht.readTemperature());
display.display();
display.clearDisplay();
}
else{
    Serial.println("Помилка!");
    while(1);
}
}
delay(5000);
Serial.println("");
}
```

| Поз.<br>позначення | Найменування                            | Кіль. | Примітка |
|--------------------|-----------------------------------------|-------|----------|
|                    |                                         |       |          |
|                    | <u>Мікросхеми</u>                       |       |          |
| DD1                | OLED дисплей                            | 1     |          |
| DD2                | BMP280 барометр                         | 1     |          |
| DD3                | ATMEGA328 мікросхема                    | 1     |          |
| DD4                | TP4056 контролер заряду                 | 1     |          |
| DD5                | CCS811 давач якості повітря             | 1     |          |
| DD6                | HC-06 bluetooth модуль                  | 1     |          |
| DD7                | DHT22 давач температури та вологості    | 1     |          |
|                    |                                         |       |          |
| DA1                | AMS1117 стабілізатор                    | 1     |          |
|                    |                                         |       |          |
|                    | <u>Резистори</u>                        |       |          |
| R1                 | 1 кОм $\pm 5\%$                         | 1     |          |
| R2                 | 3,3 кОм $\pm 5\%$                       | 1     |          |
|                    |                                         |       |          |
|                    | <u>Конденсатори</u>                     |       |          |
| C1                 | 0.1 nF 101 3kV                          | 1     |          |
| C2                 | 10uF 50V 105°C                          | 1     |          |
| C3                 | 1nF, 102, $\pm 20\%$ 50V                | 1     |          |
| C4-C5              | 22pF, 50V, Y5P $\pm 20\%$               | 2     |          |
|                    |                                         |       |          |
| Y1                 | Кварцовий кристалічний осцилятор 16 Mhz | 1     |          |
|                    |                                         |       |          |
|                    |                                         |       |          |
|                    |                                         |       |          |
|                    |                                         |       |          |
|                    |                                         |       |          |
|                    |                                         |       |          |

|          |                |          |        |      |                                                                                                         |  |  |             |      |         |   |  |
|----------|----------------|----------|--------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|-------------|------|---------|---|--|
|          |                |          |        |      | ДП.ТК-16-01.09.00.00.000 ПЕЗ Г                                                                          |  |  |             |      |         |   |  |
| Зм.      | Арк.           | № докум. | Підпис | Дата | Метеостанція з давачем<br>якості повітря та<br>бездротовим передаванням інформації<br>Перелік елементів |  |  | Літ         | Арк. | Аркушів |   |  |
| Виконав  | Коржак І.Д.    |          |        |      |                                                                                                         |  |  | н           |      | 1       | 2 |  |
| Перев.   | Малисевич В.В. |          |        |      |                                                                                                         |  |  | КЕП ІФНТУНГ |      |         |   |  |
| Н.контр. | Андрусів О.М.  |          |        |      |                                                                                                         |  |  | ТК-16-01    |      |         |   |  |
| Затв.    |                |          |        |      |                                                                                                         |  |  |             |      |         |   |  |

