

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем
«На правах рукопису»
УДК 681.4

До захисту допущено:
Завідувач кафедри

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Надія БУРАУ
«___» _____ 2021 р.

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно - інтегровані технології та системи навігації і керування» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» на тему: «Система для комплексного контролю параметрів повітря»

Студент 2 курсу, групи ПГ-301мп
Білорусець Іван Вікторович _____

Доцент кафедри КІОНС, к.т.н., доц. Півторак Д.О.

Консультант зі стартап професор, д.е.н. Бояринова К.О. _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ 2021 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет**

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем
Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітньо-професійна програма - комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Надія БУРАУ

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студента
Білорусець Іван Вікторович

1. Тема дисертації «Система для комплексного контролю параметрів повітря», науковий керівник дисертації Півторак Діана Олександрівна, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «___» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації «5» грудня 2021 р.

3. Об'єкт дослідження Контроль параметрів повітря.

4. Предмет дослідження Система для комплексного контролю параметрів повітря _____

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

- проаналізувати етапи розвитку засобів контролю параметрів повітря; _____
- провести порівняльний аналіз існуючих систем для комплексного контролю параметрів повітря; _____
- обґрунтувати вибір елементної бази системи для контролю параметрів повітря, написання програмного забезпечення;
- створення прототипу системи, перевірка працездатності;
- розробка алгоритму визначення якості повітря за комплексними показниками датчиків.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу презентація _____

7. Орієнтовний перелік публікацій 1 матеріали науково-технічних конференцій у наукових збірниках

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Стартап	доц., к.е.н. Бояринова К.О		

9. Дата видачі завдання 04.10.2021

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Етапи розвитку засобів контролю параметрів повітря	18.10.2021	
2	Сучасний стан датчиків контролю параметрів повітря	25.10.2021	
3	Класифікація систем для контролю параметрів повітря	25.10.2021	
4	Обґрунтування вибору елементної бази системи для контролю параметрів повітря	05.11.2021	
5	Написання програмного забезпечення	12.11.2021	
6	Створення прототипу системи. Перевірка працездатності	19.11.2021	
7	Дослідження характеристик системи для комплексного контролю параметрів повітря	26.11.2021	
8	Оформлення пояснювальної записки. Підготовка до захисту	05.12.2021	

Студент

(підпис)

Іван БІЛОРУСЕЦЬ

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Діана ПІВТОРАК

(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається з __119__ сторінок, в ній міститься __39__ ілюстрації, __37__ таблиці та використано __42__ джерел.

Актуальність. Існує такий вид цифрових метеостанцій, як побутові. Зазвичай в побутових метеостанціях застосовуються датчики температури, вологості, атмосферного тиску. Але такі датчики не дають змогу контролювати якість повітря, а саме: виміру концентрації вуглекислого газу (CO₂) та концентрацію кількості летючих частинок. Тому розробка системи для комплексного контролю параметрів повітря є актуальним завданням. Особливістю розробленої системи є те, що до датчиків температури, вологості, атмосферного тиску ще додається датчик якості повітря, який дає змогу вимірювати концентрацію вуглекислого газу (CO₂) та концентрацію кількості летючих частинок.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка макету системи комплексного контролю якості повітря та передачі даних по Wi-Fi та Bluetooth.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Проаналізувати та провести огляд існуючих метеостанцій та їх компонентів
2. Розробити систему для комплексного контролю параметрів повітря
3. Провести дослідження оптимальних параметрам системою комплексного контролю параметрів повітря.
4. Розробити Стартап проект.

Предмет дослідження – контроль параметрів повітря.

Об'єкт дослідження – система для комплексного контролю параметрів повітря.

Наукова новизна магістерської дисертації полягає у вдосконаленні системи комплексного визначення параметрів повітря і контролю кліматичних систем приладів IoT шляхом додання датчиків якості повітря.

Практична значущість магістерської дисертації полягає в тому, що: розроблено алгоритмічно програмне забезпечення для комплексного визначення параметрів повітря і систем контролю кліматичних систем приладів IoT.

Апробація результатів дисертації

Результати роботи магістерської дисертації були оприлюднені на XVII Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні».

Публікації:

Основні результати досліджень викладені в 1 статті у збірнику праць конференцій:

Білорусець І.В. Система для комплексного контролю параметрів повітря / І.В. Білорусець Півторак Д.О. // Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні: зб. праць XVII всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (Київ, 7 – 8 грудня 2021 р.). – Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – С. 14-17.

Ключові слова: метеостанція, датчик температури, датчик тиску, датчик вологості, датчик, цифрові, Arduino, WI-FI, Bluetooth.

ABSTRACT

The master's dissertation consists of 119 pages, it contains 39 figures, 37 tables and uses 42 sources.

Topicality. There is a type of digital weather station, such as household. Usually in domestic meteorological stations sensors of temperature, humidity, atmospheric pressure are used. But such sensors do not allow to control air quality, namely, measuring the concentration of carbon dioxide (CO₂) and the concentration of volatile particles. Therefore, the development of a system for integrated control of air parameters is an urgent task. The peculiarity of the developed system is that the sensors of temperature, humidity, atmospheric pressure are added to the air quality sensor, which allows to measure the concentration of carbon dioxide (CO₂) and the concentration of volatile particles.

The purpose and objectives of the study. The aim of the work is to develop a model of a comprehensive air quality control system and data transmission via Wi-Fi and Bluetooth.

To achieve this goal it is necessary to solve the following tasks:

1. Analyze and survey existing meteorological stations and their components
2. Develop a system for integrated control of air parameters
3. To carry out research of optimum parameters by system of complex control of parameters of air.
4. Develop a startup project.

The subject of research - control of air parameters.

The object of research is a system for complex control of air parameters.

The scientific novelty of the master's dissertation is the improved systems of complex determination of air parameters and control of climatic systems of IoT devices by adding air quality sensors.

The practical significance of the master's dissertation is that: algorithmic software for complex determination of air parameters and control systems of climate systems of IoT devices is developed.

Approbation of dissertation results

The results of the master's dissertation were published at the XVII All-Ukrainian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists "Efficiency of engineering solutions in instrument making".

Publications:

The main results of the research are presented in 1 article in the collection of conference proceedings:

Belarusian IV System for complex control of air parameters / I.B. Belarusian Pivtorak DO // Efficiency of engineering solutions in instrument making: coll. Proceedings of the XVII All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduate Students and Young Scientists (Kyiv, December 7-8, 2021). - Kyiv, KPI named after Igor Sikorsky, 2021. - P. 14-17.

Keywords: weather station, temperature sensor, pressure sensor, humidity sensor, sensor, digital, Arduino, WI-FI, Bluetooth.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1	12
АНАЛІЗ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТЕОСТАНЦІЙ ТА ЇХ КОМПОНЕНТІВ	12
1.1 Історія створення метеорологічних приладів	12
1.2. Сучасний стан датчиків контролю параметрів повітря	16
1.2.1 Сучасний стан датчиків тиску та барометрів	16
1.2.2 Сучасний стан датчиків температури та термометрів	18
1.2.3 Сучасний стан датчиків вологості та гігрометрів.....	21
1.2.4 Сучасний стан датчиків рівня води	22
1.2.5 Сучасний стан піранометрів.....	23
1.2.6 Сучасний стан анемометрів	24
1.3 Класифікація систем для контролю параметрів повітря.....	24
1.3.1 Класифікація метеостанцій по принципу роботи.....	26
1.3.2 Класифікація метеостанцій за територіальним розміщенням	27
1.3.2.1 Дорожні метеостанції	27
1.3.2.2 Аеропортові метеостанції	30
1.3.2.3 Лісові метеостанції	32
1.3.2.4 Побутова (домашня, особиста) метеостанція	32
1.4 Огляд принципу роботи побутових метеостанцій	35
1.5 Поставка задачі.....	42
РОЗДІЛ 2	43
РОЗРОБКА СИСТЕМИ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ПОВІТРЯ.....	43
2.1 Розробка структурної схеми та принцип роботи системи	43
2.2 Вибір елементної бази для системи комплексного контролю параметрів повітря	44
2.2.1. Вибір датчика температури	44
2.2.2 Вибір датчика атмосферного тиску	46
2.2.3 Вибір датчиків якості повітря	48
2.2.4 Вибір Wi-Fi модуля.....	51

2.2.5 Вибір Bluetooth модуля	53
2.2.6 Вибір плати Arduino.....	55
2.2.7 Вибір блоку живлення модуля	57
2.2.8 Опис обраної елементної бази.....	58
2.3 Проектування макету системи комплексного контролю параметрів повітря	58
2.4 Розробка програмного коду для системи комплексного контролю параметрів повітря	62
Висновки до розділу 2	68
РОЗДІЛ 3	69
ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМОЮ КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ПОВІТРЯ	69
3.1 Оптимальні параметри для комфортного існування людини	69
3.2 Формули знаходження параметрів	71
3.3 Експериментальні дослідження	73
3.3.1 Експериментальні дослідження з закритим вікном	74
3.3.2 Експериментальні дослідження із відкритим вікном	79
Висновки до розділу 3	88
РОЗДІЛ 4	90
РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «СИСТЕМИ КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ПОВІТРЯ».....	90
4.1 Опис ідеї проекту	90
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту	92
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	94
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	103
4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	106
Висновки до розділу 4	109
Висновок	111
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	113

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ

РК-дисплей – рідко кристалічний дисплей

Wi-Fi – Wireless Fidelity (стандарт бездротового зв'язку)

ПК – персональний комп'ютер

COM-порт – двонаправелний послідовний інтерфейс.

IDE – Integrated Development Environment (Інтегроване середовище розробки)

LCD-екран – liquid crystal display (рідко кристалічний дисплей)

ПЗ – програмне забезпечення

CO₂ – вуглекислий газ

ICSP – In System Programming In Circuit Serial Programming (У системному програмуванні у ланцюговому послідовному програмуванні)

ASIC – application-specific integrated circuit (інтегральна схема спеціального призначення)

MOX – оксид металу

VOCs (TVOC) – Volatile organic compounds (летючі органічні речовини)

MCU – Multipoint Control Unit (апаратно- програмний прилад)

АЦП- аналогово-цифровий перетворювач.

I²C – Inter-Integrated Circuit (послідовна арифметична шина)

VCC – Voltage Collector Collector (колектор напруги)

GND – GROUND (точка нульового потенціала мікросхеми)

SDA – лінія даних

SCL – лінія синхронізації

TX – шина відправки даних

RX – шина приймання даних

ВСТУП

Метеостанція є приладом, який дає змогу слідкувати за погодними умовами, це можливо навіть в online режимі, контролювати та прогнозувати їх. За допомогою метеостанцій можна отримувати великі об'єми різної інформації, які можна використовувати в необхідних сферах діяльності і удосконалення метеостанцій є важливим так, як дає змогу зменшувати розміри приладів, похибку вимірювань та збільшувати область вимірювань та покращення зручності використання приладів.

Перш за все, метеостанції збирають найважливіші параметри: температуру, атмосферний тиск, вологість, швидкість та напрямок вітру, кількість опадів. Морські станції вимірюють температуру поверхні моря, висоту хвилі та період, а також інші дані про море. Більш обладнані станції вимірюють ультрафіолетовий індекс, вологість листя, вологість та температуру ґрунту, температуру води в різних природних водоймах, таких як озера та річки.

Сучасні побутові метеостанції не дають можливості в повній мірі контролювати якість повітря, це обумовлене тим, що зазвичай в таких метеостанціях використовуються датчики температури, вологості, тиску. Тому в даній роботі було розроблено макет системи для комплексного контролю якості повітря в якому використовуються не тільки датчики температури, вологості та тиску, а й модуль датчиків якості повітря, завдяки якому можна контролювати відповідні параметри.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТЕОСТАНЦІЙ ТА ЇХ КОМПОНЕНТІВ

1.1 Історія створення метеорологічних приладів

В наш час багато часу приділяється спостереженню і кількісному вимірюванню погоди. Це все із-за того, що деякі групи людей мають чутливість до несприятливих погодних умов і погіршення екології. Крім цього, прогнозування погоди є невід'ємною частиною ефективної господарської діяльності людини. Метрологічні прилади мали відповідний розвиток паралельно з науково-технічним прогресом.

Температура навколишнього середовища, тиск, вологість, якість повітря є одними з найважливіших характеристик вимірювання зовнішніх умов. Термометри застосовуються для вимірювання температури, які починали свій розвиток з аналогових пристроїв до сучасних високотехнологічних пристроїв.

Етапи розвитку:

В 1593 році Галілео Галілей (Італія) винайшов перший рідинний термометр(термоскоп) який зображено на рис. 1.1.

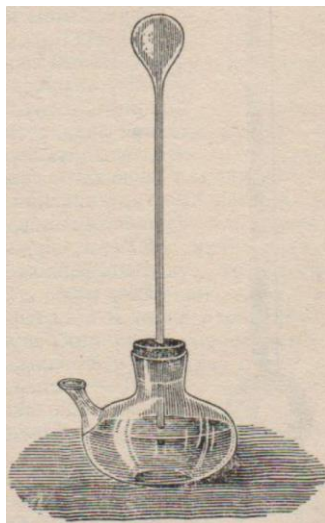


Рис. 1.1 Термометр(термоскоп) Галілео Галілея

В 1714 році Габріель Фаренгейт (Німеччина) створив ртутний термометр зі шкалою Фаренгейта, який зображено на рис. 1.2.



Рис. 1.2 Термометр Габріеля Фаренгейта

При цьому 0 градусів позначала суміш кухонної солі і льоду, а температура танення звичайного льоду була позначена 32 градусами. Температура тіла людини в термометрі дорівнювала 96 градусам, а кипіння води - 212 градусам. В наш час таку шкалу використовують в США і Англії [1]. В 1743 році Андерс Цельсій (Швеція) створив ртутний термометр, який зображено на рис. 1.3.



Рис. 1.3 Термометр Андерса Цельсія

Цельсій позначив температуру кипіння води за 0 градусів, а танення льоду - за 100 градусів. Потім для зручності використання цю шкалу «перевернули». Ця ідея належала ботаніку К. Лінней і астроному М. Штремер. Примітно, що шкали Цельсія і Фаренгейта збігаються в точці -40 градусів (іншими словами - $40^{\circ} \text{F} = -40^{\circ} \text{C}$). Шкала Цельсія є найпопулярнішою в світі. В 1848 році Кельвін Вільям Томсон (Шотландія) довів існування Термометра абсолютного нуля температур. При цьому виконані ним розрахунки дозволили отримати цифру - $273,15^{\circ} \text{C}$ [1].

Раніше використовувались такі аналогові прилади для контролю різних параметрів повітря: рідинний термометр, ртутний термометр, ртутний барометр. Зазвичай це були самостійні прилади, деякі мали великі розміри в порівнянні з сучасними.

Рідинний термометр (ртутний) - це скляна трубка з капілярем усередині й резервуаром, заповненим залежно від призначення термометра різними рідинами. За цим визначенням також можна класифікувати і ртутний термометр. Вони складаються з тонкостінного скляного резервуару, сполученого із скляним капіляром. Для того щоб вимірювати температуру термометр обладнаний шкалою. Частина простору в капілярі не зайнята рідиною, заповнена сухим інертним газом, що запобігає розриву рідини. Принцип дії такого термометра заснований на зміні об'єму рідини зі зміною температури. Найбільше поширення в якості робочої рідини одержали ртуть і підфарбовані спирти. При нагріванні об'єм рідини збільшується, за рахунок чого змінюється її рівень у капілярній трубці. Відлік показань здійснюється за шкалою, яка розміщена поблизу капіляра [2].

Барометр сконструював у 1644 р. молодий італійський фізик та математик – Еванджеліста Торрічеллі. У 1670 році британський вчений Роберт Гук сконструював шкалу барометра. Низький тиск на шкалі віщував швидкий початок грози або бурі, а високий - хорошу сонячну погоду. Перший

анероїдний барометр (барометр без ртуті) зміг сконструювати 1847 року французький вчений Люсьєн Віді. Його барометр був запаяний гофрований циліндр з металу. Шляхом викачування з циліндра повітря створювалося розряджений простір. При підвищенні тиску відбувався стиск циліндра, а при зниженні він розширювався. До кришки циліндра кріпилася пружина, пов'язана зі стрілкою вимірювального приладу, яка показувала значення атмосферного тиску. Дані отримані за допомогою анероїдного барометра не були такими точними як ртутні або водяні барометри, але він виявився більш безпечним і зручним для використання в домашніх умовах. Барометр зображено на рис. 1.4. Барометр - це прилад з рідиною, в якому тиск атмосфери визначається висотою стовпчика ртуті в трубці, що запаяна зверху, а її відкритий кінець занурений у ємність з ртуттю [3].

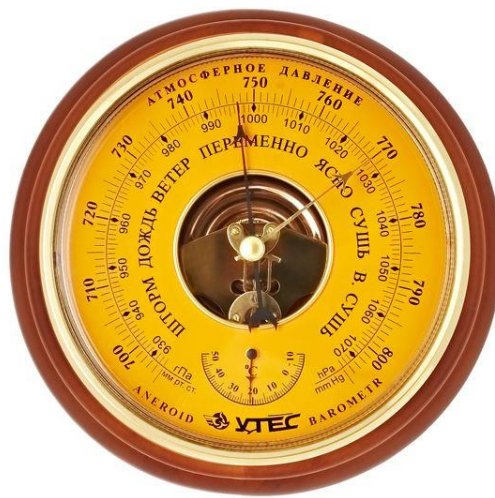


Рис. 1.4 Аналоговий барометр

Гігрометри – це прилади, основною функцією яких є вимірювання вологості, який зображено на рис. 1.5. Леонардо да Вінчі розробив перший гігrometer сирої сировини в 1400-х роках. Франческо Фоллі винайшов більш практичний гігrometer у 1664 р. У 1783 р. Швейцарський фізик і геолог Горас Бенедікт де Соссюр побудував перший гігrometer з використанням людського волосся для вимірювання вологості. Вони називаються механічними

гігрометрами, заснованими на принципі, що органічні речовини стискаються і розширюються у відповідь на відносну вологість.

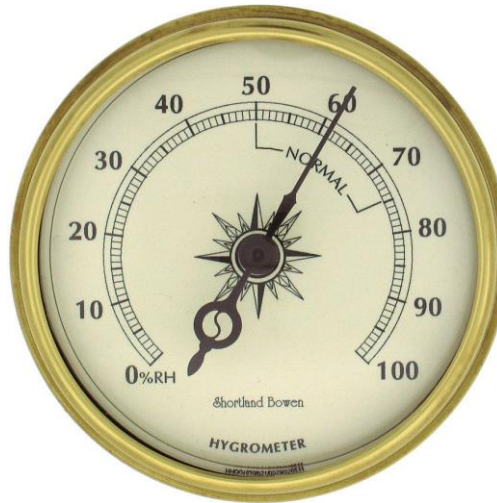


Рис. 1.5 Аналоговий гігрометр

1.2. Сучасний стан датчиків контролю параметрів повітря

В наш час всі аналогові прилади для вимірювання параметрів повітря модернізувались. Якщо раніше всі аналогові датчики (термометри, барометри і т.д.) складались з аналогових механізмів і мали не достатню точність, то сучасні складаються з цифрових механізмів, які можна запрограмувати. Великою перевагою сучасних датчиків є те, що при невеликих розмірах мають достатню точність в порівнянні з аналоговими. Використовують такі цифрові датчики: тиску, температури, вологості, рівня води, якості повітря.

1.2.1 Сучасний стан датчиків тиску та барометрів

Датчик тиску – це пристрій, параметри якого змінюються в залежності від тиску вимірюваного середовища (рідини, газу, пари) (рис. 1.6). У датчиках тиск вимірюваного середовища перетворюється в електричний сигнал або цифровий код. Датчик тиску складається з перетворювача тиску, у складі якого чутливий елемент - приймач тиску, різних конструкції корпусних деталей, в тому числі для герметичного з'єднання датчика з об'єктом і захисту від зовнішніх впливів і

пристрою виведення інформаційного сигналу. Основними відмінностями одних датчиків від інших є межі вимірювань, динамічні та частотні діапазони, точність реєстрації тиску, допустимі умови експлуатації, масогабаритні характеристики, які залежать від принципу перетворення тиску в електричний сигнал: тензометричний, п'єзорезистивний, ємнісний, індуктивний, резонансний та іонізаційний інші.

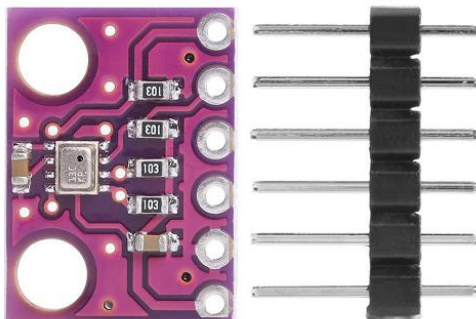


Рис. 1.6 Цифровий датчик тиску

В основі барометрів також використовується вакуумна коробочка, але зняття показань забезпечується завдяки чутливим датчикам. Цифровий барометр зображено на рис. 1.7. Також у цій конструкції передбачається мікропроцесорний блок. Покази виводяться на дисплей. Одна з особливостей таких приладів полягає в тому, що часто вони комбінують кілька пристроїв одночасно. Найчастіше електронні пристрої роблять у вологозахищеному корпусі, тому їх купують рибалки та туристи. Вони чутливі до його різких перепадів. Будь-який без рідинний барометр складається з герметичної металевої коробочки з гнучкою мембраною. Саме вона прогинається в різні боки залежно від перепаду тиску зовні та всередині коробочки. Далі в механічних моделях переміщається з'єднана з мембраною тяга, яка впливає на стрілку. У цифрових рух її фіксує тензометр, який посиляє сигнал на підсилювач. Потім імпульс обробляється цифрами на дисплеї. Є ще електромеханічні прилади, у яких дискретний електричний сигнал датчика перетворюється на аналоговий рух стрілки [4]. Таким чином, зберігається

зручність цифрових приладів та солідність механічних. Вони більше підходять для побутових цілей, ніж похідних. Зайві механізми завжди знижують загальну надійність.



Рис. 1.7. Цифровий барометр

Барометр застосовується для точного вимірювання атмосферного тиску. Воно виявляється у фізичній одиниці - міліметрах ртутного стовпа. На основі цих показань можна судити про подальшу зміну погодних умов у порівнянні з даними про тиск, отриманими у попередній день або кілька годин. Показник атмосферного тиску впливає на погодні умови. Якщо рівень у певній місцевості знижується, повітряні потоки прибувають з іншої території. Саме так створюється вітер, який принагідно приносить важкі дощові хмари. Як наслідок, завдяки застосуванню барометра неважко передбачити опади. У разі, якщо тиск починає зростати, це говорить про те, що наявні на цій місцевості повітряні потоки перемістяться на іншу територію, де тиск знижено. При цьому вони приберуть хмари, тож спостерігається сонячна погода. Таким чином, чим вищий тиск, тим сухіша погода очікується [5].

1.2.2 Сучасний стан датчиків температури та термометрів

Найпростішим датчиком температури є термопара (рис. 1.8). Термопара - це два спаяних між собою провідника, виготовлені з різних матеріалів. Термопара складається з протяжного термоелектроду, що є одночасно електродом термопари, який вимірює температуру в одній із точок (базовий)

термокамери, до якого в точках вимірювання температури та різниць температур приєднують термоелектроди з одного і того ж матеріалу, які служать іншими електродами термопар, і дозволяють вимірювати як температуру в точках приєднання електродів, так і різницю температур між точками приєднання електродів, що відрізняється тим, що термоелектроди термопари виготовляють у вигляді скручування з декількох проводів [6].



Рис. 1.8 Термопара

Принцип дії термопари ґрунтується на термоелектричному ефекті, або ще називають ефект Зеебека. Коли кінці провідника знаходяться за різних температур, між ними виникає різниця потенціалів, пропорційна різниці температур. Коефіцієнт пропорційності називають коефіцієнтом термоедс. У різних металів коефіцієнт термоедс різний і, відповідно, різниця потенціалів, що виникає між кінцями різних провідників, буде різною. Якщо помістити спай з металів з відмінними коефіцієнтами термоедс в середу з температурою T_1 , отримується напруга між протилежними контактами, що знаходяться при іншій температурі T_2 , яка буде пропорційна різниці температур T_1 і T_2 [6].

Перевагою цифрових термометрів є те, що вони мають малі розміри, широкий діапазон температури, що вимірюється в залежності від використовуваних зовнішніх датчиків температури. Зовнішні датчики температури можуть бути як термопари різних типів, так і термометри опору,

мати різні форми та області застосування. Наприклад, є зовнішні датчики температури для газоподібних, рідких та твердих тіл. Цифрові термометри є високоточними, високошвидкісними приладами. В основі цифрового термометра лежить аналого-цифровий перетворювач, що працює за принципом модуляції. Цифровий термометр складається з двох основних частин: блоку реєстрації температури та датчика температури. Цифровий термометр зображено на рис 1.9. Блок реєстрації обробляє сигнал датчика та відображає його на екрані дисплея. Як джерело живлення основного блоку використовується. При підключенні блоку за протоколом USB температурні дані передаються на комп'ютер і за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення в режимі реального часу відображаються на моніторі, зберігаючись у пам'яті комп'ютера у вигляді текстового файлу. Цифрові термометри можуть застосовуватись у побутових цілях і для контролю технологічних процесів у будівництві, у тому числі дорожньому, а також у будівельній індустрії, сільському господарстві, деревообробній, харчовій та інших галузях промисловості. Цифрові термометри мають пам'ять вимірювань і можуть забезпечувати кілька режимів спостереження [7].



Рис 1.9 Цифровий термометр

1.2.3 Сучасний стан датчиків вологості та гігрометрів

Датчик вологості - це пристрій, призначений для вимірювання та перетворення відносної вологості на цифровий сигнал, а також у сигнал напруги.

Сучасні датчики вологості (рис. 1.10) поділяють на: ємнісні, резистивні. Ємнісні датчики вологості в даний час використовують більше за все, так як за простотою і дешевизною вони не поступаються волосяним. Вимірюваною фізичною величиною є ємність конденсатора, що означає, що як індикатор або вихідний пристрій може використовуватися будь-який вимірювач ємності.

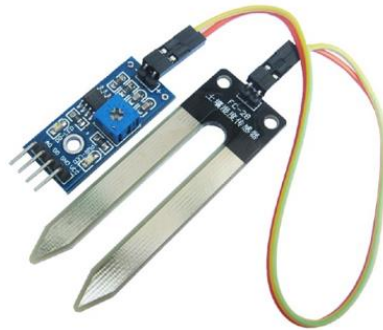


Рис. 1.10 Цифровий датчик вологості

Конструкція резистивного датчика вологості являє собою меандр з двох електродів, що не стикаються, на поверхню якого нанесений тонкий шар гігроскопічного діелектрика. Діелектрик сорбуючи воду з довкілля, змінює опір проміжків між електродами меандра. Про вологість судять щодо зміни опору або провідності такого елемента [8].

Цифровий гігрометр зображений на рис. 1.11. Принцип роботи цифрового гігрометра. На пластинку зі скла або іншої подібної електроізоляційної речовини наносять хлорид-літій. Змінюється вологість – збільшується або зменшується концентрація та опірність хлористого літію. Варто зазначити, що на показники електронного (електролітичного) гігрометра може незначно впливати температура повітря, тому він часто обладнаний вбудованим

термометром. Такий гігрометр точний і дає показання з мінімальною похибкою [9].



Рис. 1.11. Цифровий гігрометр

1.2.4 Сучасний стан датчиків рівня води

Датчик рівня води зображено на рис. 1.12. Датчик рівня води призначений для контролю рівня рідин у різних резервуарах. Може застосовуються контактний чи безконтактний метод вимірювань. При контактному вимірі (датчики поплавкового типу) датчик рівня води розташовується безпосередньо на стінці резервуара та перемикає контакти при досягненні водою рівня його розміщення [10].

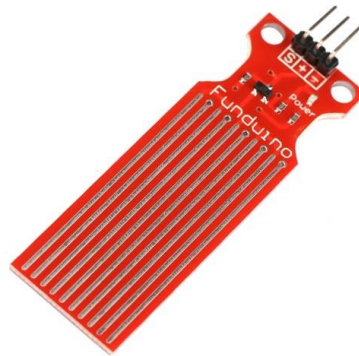


Рис. 1.12 Цифровий датчик рівня води

На основі цифрових датчиків були розроблені такі цифрові прилади: термометр (температура повітря і моря), барометр (атмосферний тиск),

гігрометр (вологість), піранометр (сонячне випромінювання), дощомір (рідкі опади), сонячне світло (кількість сонячного світла в якомусь місці або регіоні), анемометр (швидкість вітру), флюгер (напрямок вітру).

1.2.5 Сучасний стан піранометрів

Цифровий піранометр – це дуже крихкий електронний оптичний прилад, який вимірює розсіяну, сумарну радіацію. Цифровий піранометр (рис. 1.13). складається з корпусу, який виготовлений із анодованого алюмінію з УФ-куполом із видутого оптичного скла. Прилад захищений від потрапляння води та крапель дощу. Невелике додавання силікагелю служить для сушіння внутрішньої частини корпусу та захищає купол від запотівання. Встановлення піранометра слід проводити з великою обережністю, він повинен знаходитись на горизонтальній поверхні. Місце встановлення повинно бути обране таким чином, щоб сонячна енергія торкалася поверхні сенсора протягом усього дня. Піранометр потрібно встановлювати горизонтально, щоб проводити вимірювання у всіх напрямках. Для передачі даних потрібно використовувати кабель. При з'єднанні кабелю з піранометром необхідно подбати про те, щоб настановний паз кабельного роз'єму при з'єднанні відповідав пазу в розетці [11].



Рис. 1.13. Цифровий піранометр

1.2.6 Сучасний стан анемометрів

Цифровий анемометр – це вимірювальний прилад (рис. 1.14), призначений для визначення швидкості вітру, а також для вимірювання швидкості спрямованих повітряних та газових потоків. У цифрових моделях анемометрів визначення швидкості повітряного потоку застосовуються нові типи високоточних датчиків і чутливих елементів. Крім цього, прилади часто оснащуються додатковими функціями, що дозволяють окрім визначення швидкості вітру вимірювати об'ємну витрату, температуру, напрям повітряного потоку, відносну та абсолютну вологість, освітленість, вміст шкідливих домішок та деякі інші параметри. Великі багатофункціональні та високої контрастності рідкокристалічні дисплеї таких анемометрів забезпечуються підсвічуванням, що дозволяє вимірювати швидкість інших параметрів мікроклімату в умовах недостатнього освітлення [12].



Рис. 1.14 Цифровий анемометр

1.3 Класифікація систем для контролю параметрів повітря

Метеостанція – це прилад, який складається з датчиків чи інших приладів, які вимірюють атмосферні умови, щоб допомогти вивчити погоду та клімат конкретного місця. Більша частина метеостанцій вимірюють температуру, вологість, атмосферний тиск, швидкість та напрямок вітру та кількість опадів.

Вимірювані показники різні так, як це залежить від комплектації пристрою та від цілей його розробки [13].

На рис. 1.15 зображені професійні метеостанції.



Рис.1.15 Професійні цифрові метеостанції.

Найчастіше станції встановлюються на землі, але також і в морі - на кораблях. Станції також часто встановлюються в аеропортах, де важливо постійно вимірювати погоду. На станціях, де спостереження здійснює людина, інформація реєструється не рідше одного разу на день, на автоматичних станціях - один раз на годину.

Метеостанції контролюються різними державними установами країн, де вони знаходяться. Існує також Всесвітня метеорологічна організація (ВМО) - спеціальне відомство ООН, яке стежить за тим, щоб кількість станцій не зменшувалась і система збору даних працювала [14].

Перш за все, метеостанції збирають найважливіші дані: температуру, атмосферний тиск, вологість, швидкість та напрямок вітру, кількість опадів. Морські станції вимірюють температуру поверхні моря, висоту хвилі та період, а також інші дані стан моря. Більш обладнані станції вимірюють ультрафіолетовий індекс, вологість листя, вологість та температуру ґрунту, температуру води в різних природних водоймах, таких як озера та річки [14].

Існує велика кількість класифікацій метеостанцій, наприклад:

- по принципу роботи: аналогові та цифрові.

- за територіальним розміщенням метеостанції поділяються на: дорожні, лісові, гідрологічні, побутові (домашні) або ще їх називають особисті метеорологічні станції.

1.3.1 Класифікація метеостанцій по принципу роботи

Аналогові були широко поширені, поки не з'явилися моделі, побудовані на електронних компонентах. Аналогові метеостанції зазвичай показують температуру і атмосферний тиск, додаткові функції в них майже не зустрічаються. Зазвичай основним елементом в них є металева пружина, яка змінює свою форму в залежності від температури, а показання виводяться на шкалу [14].

На рис. 1.16 зображені аналогові метеостанції.



Рис. 1.16 Різновиди аналогових метеостанцій

Аналогова професійна метеостанція складається з наступних основних погодних приладів:

- термометр (температура повітря і моря),
- барометр (атмосферний тиск),
- гігрометр (вологість),
- піранометр (сонячне випромінювання),
- дощомір (рідкі опади),

- сонячне світло (кількість сонячного світла в якомусь місці або регіоні),
- анемометр (швидкість вітру),
- флюгер (напрямок вітру).

Цифрова ж метеостанція може дати широкий функціонал. Вона містить не тільки термометр або барометр, а є досить комплексним пристроєм. Цифрові метеостанції зображені на рис. 1.15. Найпростіша модель цифрової метеостанції буде показувати температуру повітря (зовні і / або всередині), виводити час, а показання будуть винесені на великий РК-дисплей. Елементи живлення забезпечать роботу на кілька місяців або навіть довше [15].

Будь-яка цифрова метеостанція вимірює температуру. Робочим елементом для цього може виступати термопара, термістор або резистор, виконаний на основі металевого дроту або плівкового напilenня. Ці способи реалізації мають свої плюси і мінуси, але всі вони спираються на залежність параметрів елемента від його температури. Термістор і резистор на основі дроту змінюють свій опір при різній температурі, і мікросхем в пристрої легко визначає температуру. Це відбувається завдяки заздалегідь відомої залежності опору від температури. В ідеалі залежність лінійна, наприклад, при використанні чистої платинової дроту. Але в основному мікросхем коригує криву залежності сам.

Станції в аеропортах можуть мати датчик ідентифікації опадів (падіння опадів), дідрометр (розподіл розміру крапель), трансмісометр (видимість), целометр (хмарна стея) [15].

1.3.2 Класифікація метеостанцій за територіальним розміщенням

1.3.2.1 Дорожні метеостанції

Сильний вітер, град та інші погодні умови також можуть мати великий вплив на рух транспорту, вітер може завдати серйозної шкоди будівлям, об'єктам руху тощо. Вітер може також завдати шкоди залізниці, мосту,

комунікаціям та об'єктам електроенергетики, вітер може повалити дерева на дорогу із-за чого може бути перекритий рух транспорту, здути пісок, щоб зменшити видимість. Вітер також може безпосередньо нашкодити потягу, так що швидкість потяга сповільнюється і навіть перекидається [16].

Град також може завдати шкоди автотранспорту та об'єктам дорожнього руху, але часто град має менший діапазон, короткий час удару та менший вплив на рух, ніж інші погодні явища. Грози загрожують безпеці транспортних засобів, мостів тощо. Явище морозу та снігу, спричинене низькою температурою, безпосередньо впливає на коефіцієнт тертя дорожнього покриття. Ожеледиця та сніг на дорозі значно зменшують коефіцієнт тертя дороги, а відповідно збільшуються і безпечний гальмівний шлях автомобіля. Сніг, лавина та інші пошкодження снігу для залізничного руху також дуже важливі, зменшується видимість, швидкість руху, потяг може прибути із запізненням і навіть спричиняє диверсію потяга. Низька видимість на дорозі - основна метеорологічна катастрофа, яка впливає на рух транспорту. Видимість доріг безпосередньо впливає на безпеку руху, особливо на безпеку дорожнього руху. Для передбачення таких погодних умов використовують дорожні метеостанції [16].

Що стосується безпеки дорожнього руху, дорожні метеостанції націлені на найвищі стандарти якості. За допомогою детальних вимірювань таких змінних середовища, як температура поверхні дороги, товщина водної плівки, температури замерзання та низькі температури, придорожні метеостанції вимірюють місцеві погодні умови. Це дозволяє постійно отримувати точну інформацію про дорожні умови [17].

Інтелектуальні дорожні датчики встановлюються врівень з дорогою або встановлюються над дорогою, і щохвилини повідомляють про стан доріг, незалежно від того, сухий він, мокрий, гладкий чи крижаний, чи дорога вкрита снігом. Дорожна метеостанція зображена на рис. 1.17

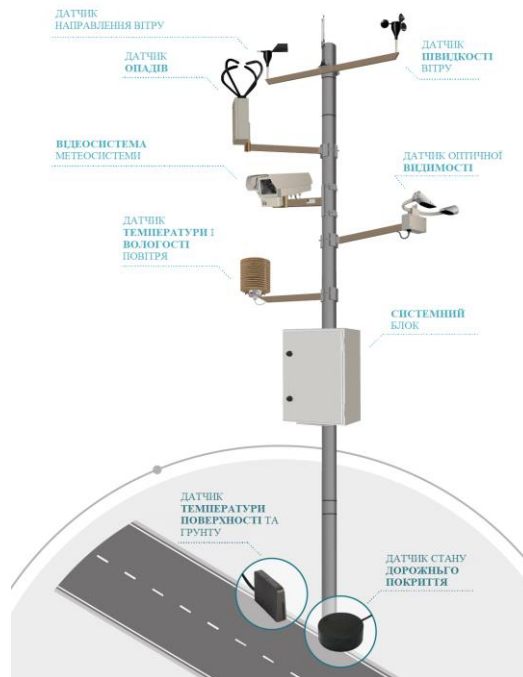


Рис. 1.17 Дорожня метеостанція [16]

Придорожні станції моніторингу погоди можуть надавати в реальному часі критичні дані, такі як температура та вологість повітря, тип та кількість опадів, напрямок та швидкість вітру, тиск та видимість повітря. Одна станція складається з інтелектуального датчика дороги, компактної метеостанції та кольорової камери. Система збору даних передає не тільки дані, але і кольорові фотографії окремих станцій зі швидкістю кілька кадрів в секунду, якщо це потрібно.

У багатьох галузях промисловості доступ до гідрологічних даних є життєво важливим. Незалежно від того, мають справу з конструкціями зрошувальних систем, безпекою питної води чи прогнозуванням та запобіганням повені та посухи, знання місцевих погодних умов є критичним. Тому дані про опади мають вирішальне значення для гідрологічних моделей, що використовуються для управління водними ресурсами, прогнозування та моніторингу повенів і посухи в різних масштабах та місцях водосховища, гідроенергетика, водопідготовка та водовідведення міст. Збір даних, що керує процесами прогнозування, нагляду та контролю за гідроенергетичними

операціями, відбувається на гідрологічних, річкових та рівнях опадів, наземними спостереженнями дощомірами, а також на метеорологічних станціях. Частина даних отримується за допомогою автоматичних станцій, які зчитують інформацію з датчиків і передають їх на електростанцію за допомогою супутника та Інтернету. Однак дощоміри мають відносно низьке просторове охоплення, особливо в гірських регіонах та країнах, що розвиваються. На якість даних також можуть легко впливати помилки вибірки та локальні випадкові помилки. Порівняно з датчиками дощу, якість оцінок радіолокаційних опадів зазвичай страждає від різних джерел невизначеності [17].

Але залишилося складне завдання, пом'якшення невизначеності даних супутникових опадів, таких як розриви у періодах повторного відвідування, поганий прямий зв'язок між сигналами, що віддаляються, і швидкістю опадів, та атмосферні ефекти, що модифікують поле випромінювання. Були проведені численні дослідницькі проекти з метою аналізу характеристик супутникового продукту опадів на просторові та часові характеристики з урахуванням кількісної оцінки помилок щодо спостережень дощомірної мережі. Крім того, через невідповідність супутникових даних та різних алгоритмів пошуку різні типи даних супутникових опадів можуть мати різну точність та гідрологічну корисність у різних регіонах. Таким чином, корисність супутникового продукту опадів потребує подальшого аналізу та оцінки за допомогою різних гідрологічних моделей [17].

1.3.2.2 Аеропортові метеостанції

Аеропортові метеостанції - це віддалені автоматизовані датчики метеостанцій, призначені для обслуговування авіаційних та метеорологічних операцій, прогнозування погоди. Аеропортова метеостанція зображена на рис. 1.18. Загальні елементи вимірювання включають: швидкість та напрямок вітру,

атмосферний тиск, опади дощ та сніг, шум, температура і вологість, підсвічування, сонячна радіація, концентрація твердих частинок.



Рис. 1.18 Аеропортова метеостанція

Автоматична метеостанція аеропорту розроблена і впроваджена на основі новітніх сенсорних технологій та сучасних засобів зв'язку. Він має цілі функції, такі як калібрування, виявлення несправностей, управління статусом, гарантія живлення, блискавкозахист та заходи безпеки; це повністю налаштована система погоди в аеропорту, яка може забезпечувати постійні дані про погоду в режимі реального часу для пілотів, керівників аеропортів та менеджерів та звітувати [18].

Метеостанція на човні в основному встановлюється на носі для вимірювання поточної швидкості та напрямку вітру, температури та вологості, атмосферного тиску, шуму та інших факторів. Морська метеостанція зображена на рис. 1.20. Точне вимірювання, низьке споживання енергії, антимагнітні перешкоди та надійність в екстремальних умовах роблять нашу ультразвукову метеостанцію ідеальним вибором для моніторингу морської погоди в більшості місць на землі.



Рис. 1.19 Морська метеостанція [18]

1.3.2.3 Лісові метеостанції

Лісові метеорологічні станції використовуються в лісовому господарстві. Навколишні погодні умови мають вирішальне значення для лісового господарства. Можливість мати цю інформацію легкодоступною, змінює повсякденні завдання в галузі лісового господарства, дає змогу приймати рішення щодо відновлення лісів, догляду та проріджування дерев, пожежогасіння, боротьби з ерозією, струмків, поліпшення середовища проживання та підтримки відпочинку.

Регіональні прогнози мають своє місце, але є альтернатива. За допомогою метеостанції, яка налаштована на конкретні потреби дає можливість мати дані конкретної місцевості. Багато метеостанцій використовують реєстратори екологічних даних загального призначення. [19].

1.3.2.4 Побутова (домашня, особиста) метеостанція

Побутова (домашня, особиста) метеостанція - це невелика метеостанція, яку можна встановити вдома. Вони можуть варіюватися від дуже простих моніторів комфорту в приміщенні до набагато складніших станцій. Побутова метеостанція зображена на рис 1.20. Температура та вологість забезпечують

базові показники внутрішніх умов та самостійно збирати дані про погоду навколо себе та отримувати прогноз погоди. Крім того, домашня метеостанція може отримати доступ до додаткових ресурсів. Елементами вимірювання є: температура і вологість, швидкість та напрямок вітру, опади, барометричний тиск, дата і час, показники тенденцій на відкритому повітрі.



Рис. 1.20 Побутова метеостанція

Бездротові метеостанції або метеостанції Wi-Fi є одним із видів домашніх метеостанцій не використовують жодних проводів і навіть дисплеїв. Дані збираються безпосередньо на комп'ютері і використовується спеціальна програма для їх зчитування. Домашні метеостанції, через персональний комп'ютер, можуть синхронізувати точний час і прогноз погоди в Інтернеті. Більшість користувачів в інтернеті в наш час вважають зайвою функцію метеостанції, яка дає можливість визначати рівень ультрафіолетового випромінювання. Метеостанція може показати рівень ультрафіолетового випромінювання та визначити оптимальну тривалість перебування на сонці [15].

Побутові метеорологічні станції збирають однакові основні метеорологічні дані: температура в приміщенні та на вулиці, швидкість вітру та похолодання вітру, вологість повітря, атмосферний тиск та інше - але загалом дані менші порівняно з професійними [14].

Побутові станції обробляють дані та обчислюють прогноз погоди на найближчі 12–24 години. На деяких станціях можна отримати прогноз погоди на 3–5 днів, використовуючи супутникові сигнали (технологія WeatherDirect).

Деякі станції також дозволяють брати участь у глобальних мережах метеостанцій та обмінюватися даними з іншими користувачами в Інтернеті або по радіо.

Параметри за якими є відмінність моделей домашніх метеостанцій [15]:

1. Кількість датчиків в комплектації (для того щоб знати погоду в будинку і на вулиці навколо міста потрібно один барометр, кілька термометрів і гігromетрів, а також флюгер для визначення швидкості і напрямку вітру).

2. Вбудовані або виносні датчики (якщо датчики вбудовані в базу, то інформація буде видаватися тільки по одній кімнаті, тому такі варіанти більше підходять для квартири, але не для будинку з великою площею).

3. Типом живлення: від мережі, пальчикові батарейки або акумулятори. Живлення від акумулятора є самим зручним і практичним; живлення від мережі прийнятний, якщо немає необхідності переносити пристрій або якщо немає можливості переносити.

4. Типом живлення датчиків: круглі таблетки або сонячні батареї.

5. Максимальний радіус сигналу від датчика до станції (з урахуванням перешкод в вигляді стін цей показник не повинен бути менше 30 м, а для приватних будинків - краще 70 м).

6. Максимальним терміном прогнозу (достовірні дані можна отримати при прогнозі змін погоди не більше ніж на 1 - 1,5 доби вперед; також є моделі з прогнозом на кілька годин).

7. Точністю вимірювання. В технічних характеристиках можна знайти заявлену виробником похибку приладу, яка може бути зменшена, особливо в дешевих моделях.

8. Діапазоном робочих температур. пристрої можуть працювати як тільки при позитивних температурах навколишнього середовища, так і справляються зі своїм завданням і при мінус 30 °С; вибір залежить від того при яких умовах буде пристрій.

9. Графікою дисплея (розташування і розмір цифр, присутність зображень, кольорове оформлення, матрицею дисплея).

10. Комплектація проектором для відображення даних на будь-якій поверхні (Для альтернативного варіанту зображення інформації).

11. Наявність підсвічування дисплея (дуже зручно, коли існує необхідність нічного контролю температури).

Майже всі метеостанції для будинку мають такі додаткові функції, як відображення поточного часу, вбудований календар, будильник, вибір одиниць вимірювання температури (за Цельсієм або Фаренгейтом), занесення в журнал критичних показників. У більшості моделей передбачено настінне кріплення. Деякі моделі доповнені місячним календарем і можливістю підключення до ПК.

1.4 Огляд принципу роботи побутових метеостанцій

Для розробки власної системи для комплексного контролю параметрів повітря було розглянуто декілька побутових метеостанцій.

1.



Рис. 1.21 Структурна схема метеостанції [20]

Принципом дії такої системи полягає у передачі метеоданих з віддалених метеостанцій на ПК та мобільні пристрої через центральну плату (рис.1.21). З метеостанцій дані передаються бездротовим радіоканалом за допомогою

модулів передачі даних nRF24L01+. Центральна плата передає дані на ПК через послідовний інтерфейс віртуального COM-порту. На мобільні пристрої дані з центральної плати передаються за допомогою Bluetooth [21].

Метеостанції представляють собою мікроконтролерні плати Arduino з набором кліматичних датчиків і модулем радіозв'язку. Їх програмування здійснюється в середовищі Arduino на мові Wiring, що є модифікацією мови C++. Програмування метеостанцій - написання керуючого коду з підключенням бібліотек [22].

Також є центральна мікроконтролерна плата Arduino, що має модуль радіозв'язку і поєднана з ПК через . Її програмування можна здійснити так само, як і метеостанції. Але, у зв'язку з тим, що одночасне використання різних середовищ розробки не завжди виправдано, було вирішено використовувати середу Processing і мову Java. Програмування проводиться за допомогою вбудованого протоколу Firmata . У Processing IDE є зручний інструмент Library manager. Він надає можливість пошуку необхідної бібліотеки безпосередньо у вікні середовища. Є можливість пошуку по категоріях, перегляду функціоналу до скачування. Після завантаження бібліотека автоматично встановлюється в потрібний каталог, після чого її можна використовувати при роботі [23].

Написання програмного забезпечення для ПК передбачає створення програмного модуля, що зчитує дані з COM-порту і представляє їх у графічному вигляді користувачеві. Для виконання цього завдання можна використовувати величезний спектр програмних пакетів розробки, що мають ті чи інші переваги [23]. Програмування здійснюється за допомогою складання базових блоково-операторів в алгоритми. Після компіляції є можливість налагодження на підключеному Android-пристрої. Таким чином, для розробки найпростішої системи метеомоніторинга необхідне використання від 1 до 4 середовищ розробки програмного забезпечення.

2. Для створення метеостанції використовується мікроконтролер ATmega328, який зображений на рис. 1.22.

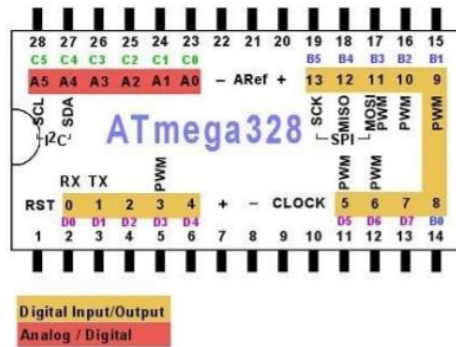


Рис. 1.22 Мікроконтролер ATmega328 [25]

Arduino Uno контролер побудований на ATmega328. Платформа має 14 цифрових входів / виходів, 6 аналогових входів, кварцевий генератор 16 МГц, роз'єм USB, силовий роз'єм, роз'єм ICSP і кнопку перезавантаження. Для роботи з мікроконтролером потрібно підключити його до комп'ютера або подати живлення за допомогою адаптера AC / DC або батареї.

Щоб побачити інформацію використовують LCD дисплей. Так як було вибрано LCD1602 в якому немає ряду символів, то довелось додатково завантажувати його в знакогенератор індикатора. Для підключення мікроконтролера до ПК використовується схема з чотирма проводами даних для економії висновків мікроконтролера. ПК має вісім інформаційних ліній: DB7 ... DB0 і три керуючих: RS, RW, E. Так як метеостанція розрахована на закриті приміщення, то вибирали наступні умови: межа вимірювання температур, не менше діапазону - від плюс 5 ° С до плюс 50 ° С ; межа вимірювання вологості, не менше діапазону - від 20 до 80%; похибки вимірювання вологості і температури не груба: ± 2 ° С - для температури; $\pm 5\%$ - для вологості. Після вибору таких умов було обрано такий датчик температури і вологості DHT11. Також був вибраний датчик абсолютного атмосферного тиску BMP085. Перевагою такого датчика є не тільки значно більш високі характеристики і менша вартість, але і стабільність характеристик. Ще був вибраний годинник

реального часу з послідовним інтерфейсом DS1307. Годинник-календар відраховують секунди, хвилини, години, день, дату, місяць і рік. Остання дата місяця автоматично коригується для місяців з кількістю днів менше 31, включаючи корекцію високосного року. Годинники працюють як в 24-годинному, так і в 12-годинному режимах з індикатором AM / PM. DS1307 має вбудовану схему спостереження за харчуванням, яка виявляє перебої харчування і автоматично перемикається на живлення від батареї [25].

Принцип роботи

Структурна схема такої метеостанції представлена на (рис. 1.23). На початку роботи пристрою та також після включення живлення, проводиться ініціалізація мікроконтролера. Далі відбуваються налаштування портів введення-виведення, установка режимів лінії портів: налаштовуються найпростіші периферійні пристрої, за допомогою яких мікроконтролер отримує цифрові дані і управляє іншими пристроями.

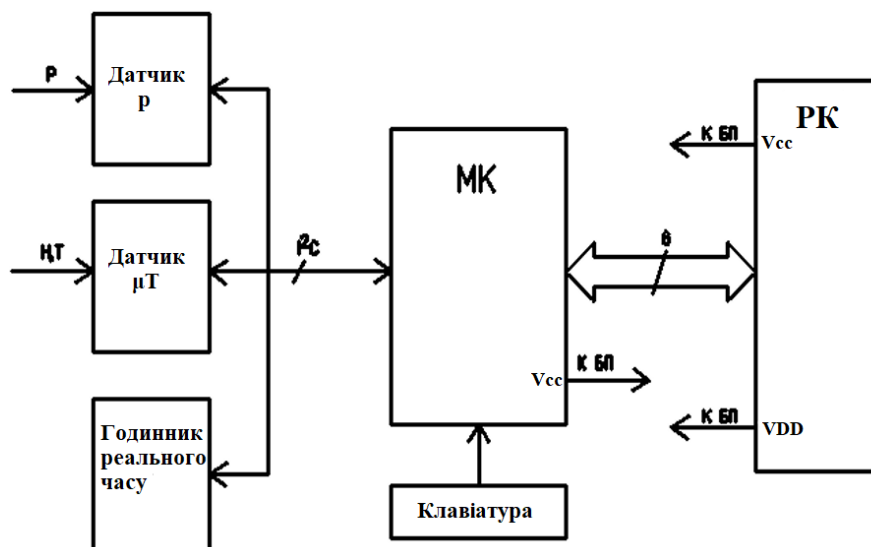


Рис.1.23 Структурна схема метеостанції [25]

Починається ініціалізація РК-дисплей (рідкокристалічний дисплей). Далі йде опитування датчика вологості і температури: зчитуються з датчика мікроконтролером свідчення вологості і температури повітря. Спочатку в регістр загального призначення h21 записуються дані про температуру, потім в

регістр загального призначення h22 записуються дані про вологості. Після обробки даних мікроконтролером йде відображення даних на РК. Показання температури виводяться з регістра в перший рядок РК, а показання вологості в другу. Після невеликої затримки опитування датчика відбувається заново і цикл відновлюється до тих пір, поки на пристрій підключений до джерела живлення [25].

Метеостанція такого типу дозволяє зберігати до 3000 погодних записів, а саме даних про температуру навколишнього середовища, атмосферний тиск і відносній вологості повітря. Інтервал збереження пам'яті: 5 хвилин - 24 години (за умовчанням 1 годину). Ця функція метеостанції дозволяє відстежувати тенденцію глобального потепління за інтенсивністю зміни температур.

3. Мобільна(домашня) метеостанція, яка зображена на рис. 1.24.



Рис. 1.24 Мобільна метеостанція [25]

Метеостанція складається як мінімум з двох блоків. Перший з них являє собою головний блок з дисплеєм, на якому виводяться проаналізовані дані. Друга частина є виносним датчиком, який вимірює поточні показання для прогнозування зміни погодних умов. Центральний блок встановлюється в приміщенні, а система датчиків виводиться на вулицю під відкрите небо і фіксується в будь-якому зручному місці, де вона не буде заважати. Центральний блок, отримуючи різні дані від віддалених датчиків, виводить середнє значення, що дозволяє мінімізувати похибку, викликану неправильним монтажем одного з

них. Наприклад, якщо він розташовується близько до технічних споруд, що виділяють тепло або пар. Подібні фактори змінюють умови навколо такого об'єкта, тому датчик буде фіксувати спотворені показники.

Така мобільна метеостанція складається з вузлів бездротових датчиків, які збирають, обробляють, буферизують і передають дані про погоду в місце зберігання, зване сховищем. Вузол - це пристрій, який здатний виконувати деяку обробку, збирати сенсорну інформацію і обмінюватися даними з іншими підключеними вузлами в мережі. Один спеціальний вузол, відомий як приймач, збирає дані від інших вузлів і передає їх в віддалене сховище через вхід. Потрапивши в сховище, може знадобитися додаткова обробка. Всі вузли датчиків живляться від сонячних панелей або електромережі в залежності від місця розташування [26].

Хоча мобільна метеостанція автоматично збирає і передає дані, йому потрібні інтерфейси, через які можна відстежувати і налаштовувати його операції. Тобто моніторинг окремих вузлів датчиків, а також всієї метеостанції. Вузол датчика може мати інтерфейс, до якого виконуються підключення для його налагодження або настройки за допомогою послідовної зв'язку [26].

Програмне забезпечення підтримки, таке як веб-сервіси (HTTP) на шлюзі AWS, забезпечує віддалений доступ до даних, але виснажує обмежені ресурси бездротових датчиків. У випадках, коли мобільна метеостанція відключена від мережі або живиться від батарей, запуск таких сервісів на метеостанції може знизити його ефективність. На рис.1.25 представлена блок-схема інтерфейсу мобільної метеостанції.

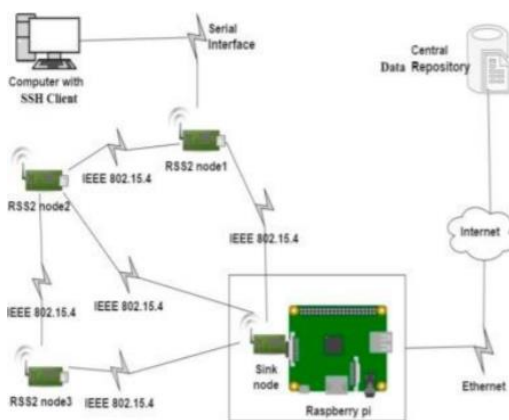


Рис. 1.25 Блок-схема мобільної метеостанції [25].

Метеостанція взаємодіє зі сховищем і об'єктами передачі через варіанти висхідного каналу, які можуть бути Ethernet, оптоволоконним, Wi-Fi, GSM / GPRS, супутником, VHF / UHF / SHF, кросової мережею або мідним кабелем серед інших.

Мобільна метеостанція яка працює від сонячної панелі основа плати якої є «Arduino». Сама робота метеостанції заснована на моніторингу параметрів навколишнього середовища і вивід інформації на носії.

Дана метеостанція складається з наступних компонентів: Arduino UNO; DHT 22; BMP 180; LCD 1602a; TP4056; Сонячна панель; Акумулятор 18650 3,7 У х2; Радіомодуль 433МГц; ESP8266 [27].

Блок схема відображена на рис. 1.26.



Рис. 1.26 Структурна схема мобільної метеостанції [25]

На ній показано що датчики вологості, температури і тиску підключені до плати «Arduino», яка обробляє всю інформацію, що подається з них і виводить на екран. За живлення пристрою відповідає сонячна панель, яка підключена модулю заряду. Модуль має індикацію процесу заряду, і сама відключає акумулятор при досягненні напруги на ньому 4.2В. У момент заряду світиться червоний світлодіод, а коли батарея буде повністю заряджена засвітиться зелений світлодіод, червоний при цьому згасне. Модуль заряду в свою чергу підключений до акумулятора, він потрібен щоб вся система працювала автономно без підключення до мережі. До акумулятора також підключені радіомодуль, який призначений для передачі даних з вуличної частини одного пристрою на інший яке знаходиться в приміщенні. ESP8266 дозволяє передавати дані на мобільний пристрій на якому встановлено відповідне ПЗ [27].

1.5 Поставка задачі

Метою роботи є розробка макету системи комплексного контролю якості повітря та передачі даних по Wi-Fi та Bluetooth. Зазвичай у побутових метеостанціях застосовуються датчики температури, вологості, атмосферного тиску, що не дає змогу контролювати якість повітря в повній мірі (концентрація CO₂ та летючих частинок в повітрі), тому розробка системи для комплексного контролю параметрів є актуальною задачею.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ПОВІТРЯ

2.1 Розробка структурної схеми та принцип роботи системи

Система для комплексного контролю параметрів повітря складається з датчика атмосферного тиску, датчика температури, модулю датчиків якості повітря, Wi-Fi модулю, Bluetooth модулю та блок живлення.

Структурна схема системи зображена на рис. 2.1.

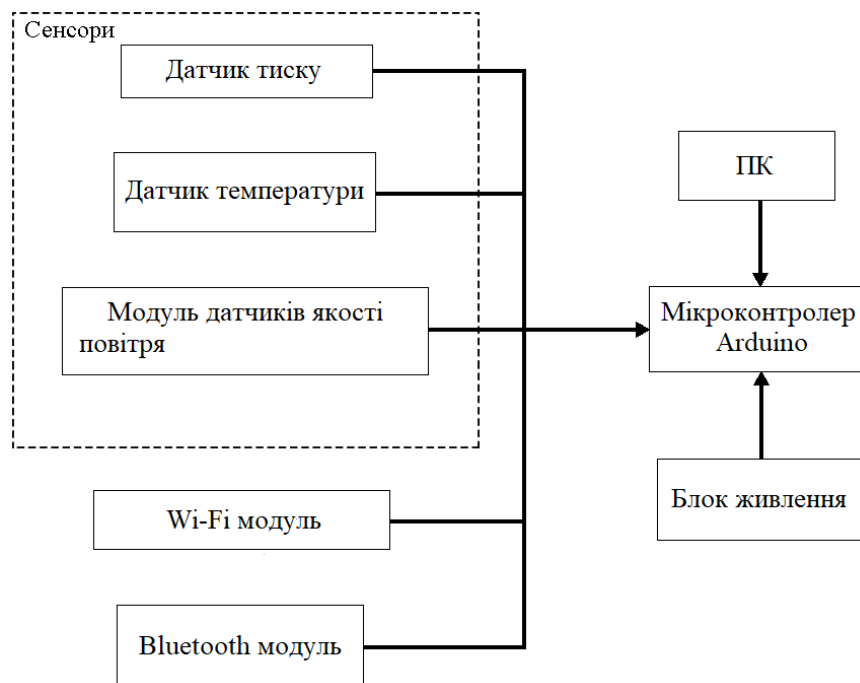


Рис. 2.1. Структурна схема системи комплексного контролю параметрів повітря

Принцип дії такої системи полягає в тому, що головним елементом в структурній схемі є мікроконтролер Arduino Uno, який обробляє інформацію. До якого мікроконтролера приєднуються барометр, датчик температури та модуль датчиків якості повітря. Також на схемі показано, що до мікроконтролера під'єднується Wi-Fi та Bluetooth модуль для передачі обробленої інформації. Для живлення Arduino Uno використовується блок

живлення, який приведено на структурній схемі. Для запису програмного коду на мікроконтролер Arduino Uno використовується комп'ютер (ПК), де за допомогою USB порту можна під'єднати мікроконтролер до ПК.

2.2 Вибір елементної бази для системи комплексного контролю параметрів повітря

Для розробки макету системи комплексного контролю параметрів повітря необхідно обґрунтувати вибір елементної бази, яка буде відповідати наступним вимогам:

- Діапазон вимірювання датчиків по яким будуть зніматись дані по оптимальним показникам.
- Невеликі розміри датчиків.
- За невеликі гроші вибрати максимально можливої точності датчики та модулі.

2.2.1. Вибір датчика температури

Було розглянуто декілька датчиків температури та порівнювались їх характеристики. Для огляду було вибрано датчик вологості і температури AM2320, датчик вологості та температури DHT11, датчик вологості та температури DHT21/AM2301A та датчик вологості та температури DHT22. Характеристики датчиків наведено в таблиці 2.1 [28].

Таблиця 2.1

Характеристики датчиків температури

	<i>AM2320</i>	<i>DHT11</i>	<i>DHT21/AM2301A</i>	<i>DHT22</i>
Діапазон вимірювання вологості	1-99%	5 - 95%	0-100%	0-100%

	<i>AM2320</i>	<i>DHT11</i>	<i>DHT21/AM2301A</i>	<i>DHT22</i>
Діапазон виміру температури	-40 ~ +80 °C	-20 ~ +60 °C	-40 ~ +80 °C	-40 ~ +80 °C
Точність вимірювання вологості	± 3% RH	± 5% RH	± 2% RH	± 2% RH
Точність вимірювання температури	± 0.5 °C	± 2%	± 0.5%	± 0.5 °C
Напруга живлення	3.3-5.5 В	3-5.5 В	3.5-5.5 В	3.5-5.5 В
Ціна	77 грн.	44-56 грн	133 грн	139 грн

З цих датчиків було обрано датчик вологості та температури DHT11. Аналізуючи характеристики датчиків, зазначені в табл. 2.1, датчик DHT11 повністю задовольняє потребам для розробляємої системи. Невеликі недоліки датчика компенсуються ціною.

DHT11 – це датчик температури та вологості, що дозволяє калібрувати цифровий сигнал на виході. Зовнішній вигляд зображено на рис. 2.1. DHT11 виводить калібрований цифровий сигнал. Його чутливі елементи з'єднані з 8-розрядним одно-кристальним комп'ютером. Датчик цієї моделі має температурну компенсацію та калібрування в точній калібрувальній камері, а коефіцієнт калібрування зберігається в пам'яті OTP [29].

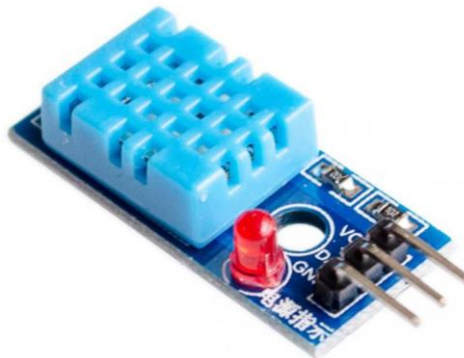


Рис. 2.1 Модуль датчика DHT11 [29]

Для контакту з платою використовуються виводи:

- VCC – для живлення датчика від 3,3 В;

- Data Out – для виводу даних;
- GND – земля.

2.2.2 Вибір датчика атмосферного тиску

Було розглянуто декілька датчиків температури та порівнювались їх характеристики. Для огляду було вибрано датчик атмосферного тиску MS5611, датчик атмосферного тиску LPS25H, датчик атмосферного тиску BMP280. Характеристики датчиків наведено в таблиці 2.2 [30].

Таблиця 2.2

Характеристики датчиків тиску

	<i>MS5611</i>	<i>LPS25H</i>	<i>BMP280</i>
Діапазон вимірювань тиску	10 - 1200 гПа	260 - 1260 гПа	300– 1100 гПа
Діапазон робочих температур	-10 ~ + 65 °C	-30 ~ +105 °C	- 40 ~ +85 °C
Напруги живлення	3.6 - 5 В	1.7 - 3.6 В	1.71 - 3.6 В
Ціна	171 грн.	151 грн.	46-53 грн.

З датчиків характеристики, яких наведені вище у таблиці було вибрано датчик атмосферного тиску BMP280. Аналізуючи характеристики датчиків, датчик BMP280 має майже такий самий діапазон вимірювань тиску, як і MS5611, LPS25H. Діапазон вимірювання температур датчик BMP280 має більший, ніж MS5611 та LPS25H. Також датчик BMP280 в два рази дешевший. Роблячи висновок даний датчик був вибраний тому, що задовільняє вимогам, поставлених до розроблювальної системи та ще має перевагу в ціні.

BMP280 - це датчик тиску, спеціально розроблений для мобільних пристроїв. Його невеликі розміри та низьке енергоспоживання 2,7 мкА при 1 Гц

дозволяють використовувати його в пристроях з батареєю, таких як мобільні телефони. Зовнішній вигляд та схема датчика BMP280 представлена на рис. 2.2.

Датчик BMP280 працює з низьким рівнем шуму, підтримує нові режими фільтрації та інтерфейс SPI. BMP280 ідеально підходять для таких застосувань, як виявлення висоти над рівнем моря та тиску, оскільки датчик має відносну точність $\pm 0,12$ гПа, що еквівалентно ± 1 м різниці у висоті. Дуже низький температурний коефіцієнт зміщення (ТСО) $1,5$ Па/К означає температурний дрейф лише $12,6$ см/К. BMP280 складається з п'єзорезистивного чутливого елемента тиску і ASIC зі змішаним сигналом. ASIC виконує аналого-цифрове перетворення і надає результати перетворення та дані про компенсацію для датчика через цифровий інтерфейс [31].

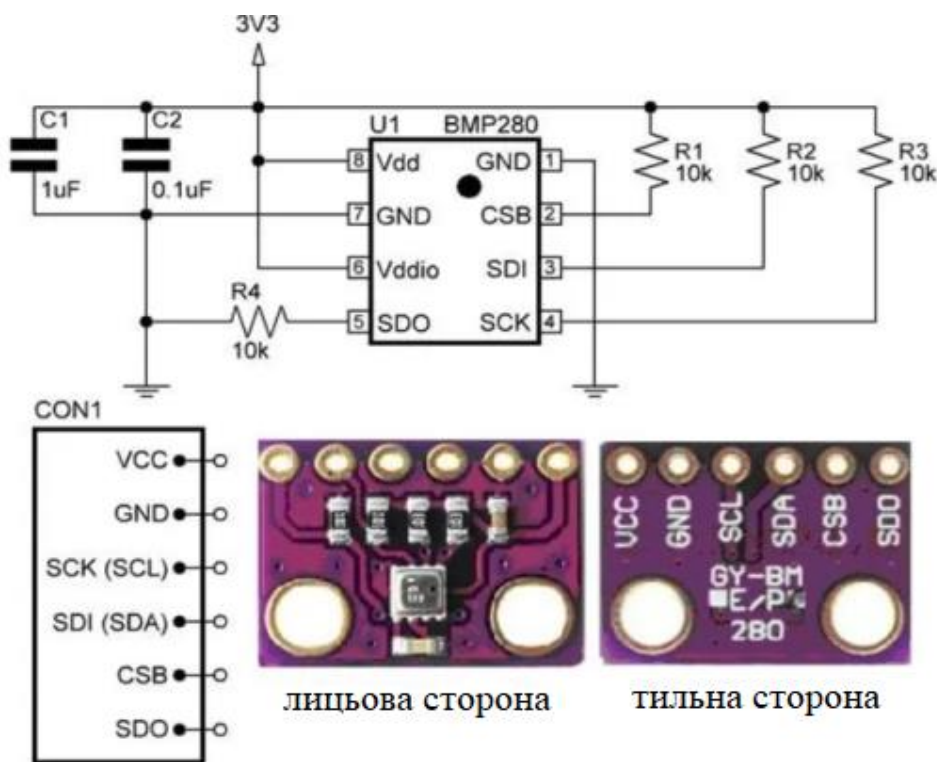


Рис. 2.2 Зовнішній вигляд та схема датчик BMP280 [32]

Період вимірювання BMP280 складається з вимірювання температури та тиску за допомогою вибіркової передвибірки. Після періоду вимірювання дані пропускаються через додатковий фільтр IIR, який усуває короточасні

коливання тиску (наприклад, викликані ударом двері). Зчитування даних виконується шляхом початку серії читання з 0xF7 до 0xFC. Дані зчитуються в беззнаковому 20-бітовому форматі, як для тиску і для температури.

Вибір інтерфейсу виконується автоматично на основі статусу CSB (вибір мікросхеми). Якщо CSB підключено до VDDIO, інтерфейс I²C активний. Якщо CSB витягнути вниз, інтерфейс SPI активується. Після CSB був опущений один раз (незалежно від того, чи був якийсь такт), I²C інтерфейс вимкнено до наступного скидання живлення. Це робиться для того, щоб уникнути ненавмисно декодування трафіку SPI до іншого підпорядкованого пристрою як даних I²C. Оскільки скидання увімкнення живлення виконується лише тоді, коли встановлені як VDD, так і VDDIO, немає ризику виявлення неправильного протоколу через використовувану послідовність включення живлення. VDD та VDDIO використовуються для живлення BMP280 [31].

Інтерфейс I²C використовує такі контакти:

- SCK: послідовний годинник (SCL).
- SDI: дані (SDA).
- SDO: адреса ведомого LSB (GND = '0', VDDIO = '1').

Через дані контакти датчик BMP280 підключається до вибраної плати для передачі інформації.

2.2.3 Вибір датчиків якості повітря

В роботі розглянуті датчики якості повітря такі, як модуль датчика якості повітря BME680, модуль датчиків якості повітря CCS811 + HDC1080 та датчик CO2 MH-Z19B. Характеристики датчиків наведено в таблиці 2.3 [33].

Таблиця 2.3

Характеристики датчиків якості повітря

	<i>BME680</i>	<i>CCS811 + HDC1080</i>	<i>CO2 MH-Z19B</i>
Діапазон вимірювання температури	-40°C ~ 85°C	-20 °C ~ 70 °C	0°C ~ 50°C
Діапазон вимірювання вологості	0 ~ 100%	0 ~ 100%	0 ~ 95%
Діапазон вимірювання IAQ	від 0 до 500		
Діапазон виявлення TVOC		0 ~ 32768ppb	
Діапазон виявлення CO2		400 ~ 32768 ppm	0 ~ 5000 ppm
Діапазон вимірювання тиску повітря	від 300 до 1100 hPa		
Напруга живлення	3 - 5 В	3,3 В	3.6 - 5.5 В
Ціна	422 грн.	461 грн.	826 грн.

Проаналізувавши характеристики модулів було обрано модуль датчика якості повітря CCS811 + HDC1080. Даний модуль має більший діапазон вимірювання CO2, також вимірює кількість летючих частинок. Даний модуль коштує ненабагато більше ніж BME680, але вдвічі дешевший за CO2 MH-Z19B і має кращі характеристики.

Зовнішній вигляд модуля датчиків якості повітря складається з датчика CCS811 та датчика HDC1080 зображено на рис. 2.3.



Рис. 2.3 Модуль датчиків якості повітря CCS811 + HDC1080 [34]

CCS811 – це цифровий датчик газу з наднизькою потужністю, який об’єднує датчик газу з оксиду металу (MOX) для виявлення широкого спектру летючих органічних сполук (VOCs) для моніторингу якості повітря за допомогою мікроконтролера (MCU), який включає в себе аналого-цифровий перетворювач (АЦП) і I²C інтерфейс. Інтегрований MCU керує режимами приводу датчика та необробленими даними датчика, виміряними під час виявлення VOCs. За допомогою цифрового інтерфейсу I²C значно спрощується апаратне та програмне забезпечення. CCS811 підтримує інтелектуальні алгоритми обробки необробленого датчика вимірювання для отримання значення TVOC або еквівалентного рівня CO₂ (eCO₂), якщо основна причина VOCs є від людини [34].

Датчик CCS811 підтримує кілька режимів вимірювання, які були оптимізовані для низького споживання енергії під час вимірювання активним датчиком і режиму очікування, що продовжує термін служби акумулятора в портативних програмах.

Еквівалентний діапазон виходу CO₂ (eCO₂) для CCS811 становить від 400 ppm до 8192 ppm. Значення за межами цього діапазону обрізаються. Діапазон виходу загальних летючих органічних сполук (TVOC) для CCS811 становить

від 0 до 1187 ppb. Значення за межами цього діапазону також обрізаються. Це відкалібровано на типову суміш TVOC у приміщенні. Якщо співвідношення сполук у навколишньому середовищі суттєво відрізняється, це вплине на вихід TVOC, оскільки деякі сполуки VOC матимуть більший чи менший вплив на датчик. Напруга живлення для датчика 3,3 В. Робоча частота при роботі в інтерфейсі I²C становить 400 кГц.

HDC1080 - це цифровий датчик вологості з вбудованим датчиком температури, який має достатню точність вимірювання при дуже низькій потужності. HDC1080 працює в широкому діапазоні. Датчики вологості та температури калібруються на заводі. Результати вимірювань можна зчитувати через I²C інтерфейс. Роздільна здатність базується на часі вимірювання і може становити 8, 11 або 14 біт для вологості; 11 або 14 біт для температури. Однією з ключових особливостей HDC1080 є низьке енергоспоживання, що робить пристрій придатним для роботи з акумулятором або для роботи з акумулятором. У цих програмах HDC1080 проводить більшу частину часу в сплячому режимі: при типовому споживанні струму 100 нА в сплячому режимі середнє споживання струму є мінімальним. Його низьке споживання в режимі вимірювання мінімізує будь-який самонагрів [35].

2.2.4 Вибір Wi-Fi модуля

В роботі розглядані такі Wi-Fi модулі, як Wi-Fi модуль ESP-WROOM-02, Wi-Fi модуль ESP8266 ESP-01S та Wifi міні-модуль ESP-M1 на ESP8285.

Характеристики модулів наведено в таблиці 2.4 [36].

Характеристики Wi-Fi модулів

	<i>ESP-WROOM-02</i>	<i>ESP8266 ESP-01S</i>	<i>ESP-M1 на ESP8285</i>
Протоколи WiFi, що підтримуються	802.11b/g/n	802.11b/g/n	802.11b/g/n
Діапазон частот	2400 МГц – 2483,5 МГц (2,4 ГГц ~ 2,5 ГГц)	2400 МГц – 2483,5 МГц (2,4 ГГц ~ 2,5 ГГц)	2412-2484 МГц
Робоча температура	– 40 °C ~ 85 °C	– 40 °C ~ 125 °C	– 20 ~ 85 °C
Напруга живлення	3 – 3,6 В	3,3 – 3,6 В	3,3 – 3,6 В
Ціна	85 грн.	59 грн.	75 грн.

Проаналізувавши характеристики модулів було обрано модуль Wi-Fi модуль ESP8266 ESP-01S. Модулі, які розглядались мають майже однакові характеристики відмінність тільки в тому, що інші модулі мають додаткові функції, які не потрібні для розробки макету системи комплексного контролю якості повітря, та обраний модуль має більший діапазон температур його роботи. Wi-Fi модуль ESP8266 ESP-01S є дешевшим варіантом та і як зазначалось вище має майже однакові характеристики.

Wi-Fi модуль ESP8266 версії ESP-01 – це автономне мережеве рішення Wi-Fi, яке може переносити програмні додатки або через інший процесор програм видаляти всі можливості мережі Wi-Fi. Wi-Fi модуль ESP8266 зображено на рис. 2.4. Вбудована кеш-пам'ять ESP8266 допомагає підвищити продуктивність системи та зменшити вимоги до пам'яті. Інша ситуація, коли бездротовий доступ до Інтернету бере на себе завдання Wi-Fi адаптера, його можна додати до будь-якої конструкції на основі мікроконтролера, підключення просте, лише через інтерфейс SPI / SDIO або інтерфейс мосту центрального процесора АНВ. Ємність для обробки та зберігання на потужному пристрої

ESP8266, його можна інтегрувати через датчики портів GPIO та інше обладнання, специфічне для додатків, щоб досягти найнижчого рівня на ранніх стадіях розробки та роботи, принаймні, займати системні ресурси. Високо-інтегрований чіп ESP8266, що включає антенний перемикач, перетворювач керування живленням, тому з мінімальною кількістю зовнішніх схем, і включає в себе фронтальний модуль, включаючи все рішення, розроблене для мінімізації місця, зайнятого платою [37].

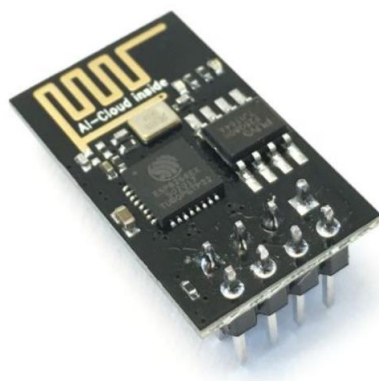


Рис. 2.4 Wi-Fi модуль ESP8266 версії ESP-01 [37]

2.2.5 Вибір Bluetooth модуля

Розглядалися такі Bluetooth модулі, як Bluetooth модуль HC-05, Bluetooth модуль HC-06 та Модуль Bluetooth 4.0 BLE на CC2541. Характеристики модулів наведено в таблиці 2.5 [38].

Таблиця 2.5

Характеристики Bluetooth модулів

	<i>HC-05</i>	<i>HC-06</i>	<i>CC2541</i>
Робоча частота	2,4 ГГц – 2,48 ГГц	2,4 ГГц – 2,48 ГГц	2,4 ГГц
Робочі температури	– 20 ~ +75 С	– 25 °С ~ +75°С	– 40 °С ~ +85°С
Радіус дії	до 10 метрів	до 10 метрів	до 30 метрів
Напруга живлення	3,3 В	5 В	3.3 -6 В
Ціна	151 грн.	165 грн.	110 грн.

Проаналізувавши характеристики модулів було обрано Bluetooth модуль HC-06. Модулі, які розглядались мають майже однакові характеристики відмінності тільки в робочій температурі та радіусу дії, але цього достатньо для розробки макету системи. Даний модуль має більшу ціну, але у використанні простіший.

Bluetooth модуль HC-06 – це підпорядкований пристрій Bluetooth, який має послідовний зв'язок (UART). Зовнішній вигляд Bluetooth модуля HC-06 зображено на рис. 2.5. Він призначений для забезпечення бездротового послідовного зв'язку між мікроконтролером (наприклад, Arduino) та іншими пристроями з підтримкою Bluetooth. Всі дані, отримані через послідовний вхід, передаються модулем бездротовим способом. Коли модуль отримує деякі бездротові дані від головного пристрою (наприклад, смартфона, ПК), ці дані надсилаються через послідовний інтерфейс. Робоча напруга HC-06 становить від 3,3 В до 5 В. Однак рівень допуску контакту RXD становить 3,3 В, а не 5 В. Тому для перетворення входу 5 В на 3,3 В рекомендується використовувати перетворювач логічного рівня [39].



Рис. 2.5 Bluetooth модуль HC-06 [39]

2.2.6 Вибір плати Arduino

Для проведення порівняльного аналізу існуючих плат Arduino розглядаються Arduino Nano, Arduino Uno та Arduino Mega 2560. Характеристики плат наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6.

Характеристики плат Arduino

	<i>Arduino Nano</i>	<i>Arduino Uno</i>	<i>Arduino Mega 2560</i>
Цифрові Входи/Виходи	14	14	54
Аналогові входи	8	6	16
Флеш-пам'ять	16 KB	32 KB	256 KB
ОЗУ	1 KB	2 KB	8 KB
Ціна за Китайську плату	133 грн.	178 грн.	382 грн.

З цих плат було обрано плату Arduino Uno. Аналізуючи характеристики плат в таблиці 2.6, Arduino Uno має достатньо цифрових та аналогових входів для з'єднання всіх компонентів системи, флеш-пам'яті та ОЗП (оперативний запам'ятовуючий пристрій) буде достатньо для запису програмного коду. В Arduino Nano буде недостатньо пам'яті, а в Arduino Mega 2560 залишиться багато вільної пам'яті. Тому Arduino Uno є найбільш підходящою за характеристиками і ціні.

Arduino Uno – це контролер побудований на ATmega328. Плату Arduino Uno зображено на рис. 2.6. Платформа має 14 цифрових вхід/виходів (6 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ), 6 аналогових входів, кварцовий генератор 16 МГц, USB-роз'єм, силовий роз'єм, роз'єм ICSP і кнопку перезавантаження. Для роботи необхідно підключити платформу до комп'ютера за допомогою кабелю USB або подати живлення за допомогою адаптера AC/DC або батареї [40].



Рис. 2.6 Зовнішній вигляд плати Arduino Uno [40]

Arduino Uno може отримувати живлення через підключення USB або зовнішнього джерела живлення. Джерело живлення вибирається автоматично. Зовнішнє живлення може подаватися через перетворювач напруги AC/DC (блок живлення) або акумуляторною батареєю. Перетворювач напруги підключається за допомогою роз'єму 2.1 мм із центральним позитивним полюсом. Провід від батареї підключається до виводів Gnd і Vin роз'єму живлення.

Плата може працювати при зовнішньому живленні від 6 до 20В. При напрузі живлення нижче 7В, вивід 5В може видавати менше 5 В, при цьому платформа може працювати нестабільно. При використанні напруги вище 12В регулятор напруги може перегрітися та пошкодити плату. Рекомендований діапазон від 7 до 12 В. Роз'єми живлення плати: VIN. Вхід використовується для подачі живлення від зовнішнього джерела (без 5 В від роз'єму USB або іншого регульованого джерела живлення). Подача напруги живлення відбувається через вивід; 5V. Регульоване джерело напруги, яке використовується для живлення мікроконтролера та компонентів на платі. Живлення може подаватися від виведення VIN через регулятор напруги або від роз'єму USB, або іншого регульованого джерела напруги 5В; 3V3. Напруга на виведенні 3.3В генерується вбудованим регулятором на платі. Максимальне споживання струму 50 мА; GND. вивід заземлення [40].

2.2.7 Вибір блоку живлення модуля

Розглядалися такі блоки живлення: блок живлення 9В/2А, блок живлення 9В/1А та блок живлення Sunny 9В 1.33А. Характеристики блоків живлення наведено в таблиці 2.7. Характеристики блоків живлення наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7

Характеристики блоків живлення

	<i>Блок живлення 9В/2А</i>	<i>Блок живлення 9В/1А</i>	<i>Блок живлення Sunny 9В 1.33А</i>
Вихідна напруга	9 В	9 В	9 В
Максимальна вхідна напруга	240 В	240 В	264 В
Мінімальна вхідна напруга	150 В	150 В	90 В
Вихідний струм, не більше	2.0 А	1.0 А	1.33 А
Ціна	76 грн.	60 грн.	220 грн.

Проаналізувавши характеристики блоків живлення було обрано блок живлення 9В/1А. Даний блок живлення дешевший та за своїми характеристиками задовольняє для живлення плати та всієї системи. Зовнішній вигляд блоку живлення 9В/1А зображено на рис. 2.7.



Рис. 2.7 Блок живлення 9В/1А

2.2.8 Опис обраної елементної бази

Для розробки макету системи комплексного контролю параметрів повітря було обрано наступні компоненти:

- датчик атмосферного тиску BMP280,
- датчик температури DHT11,
- модуль датчиків якості повітря CCS811 + HDC1080,
- Wi-Fi модуль ESP8266 версії ESP-01,
- Bluetooth модуль HC-06,
- блок живлення на 9В/1А.

2.3 Проектування макету системи комплексного контролю параметрів повітря

Перед початком з'єднання всіх компонентів до основної плати було розглянуто під'єднання кожного елемента окремо.

З'єднання датчика DHT11 до плати Arduino Uno виконується наступним чином (рис. 2.8): для живлення датчика контакт VCC підключається до макетної плати на «+» живлення, потім з макетної плати до основної до плати Arduino Uno на контакт живлення 3,3 В. Контакт GND датчика підключається до

макетної плати зі знаком «-» після до контакту GND на платі Arduino Uno. Контакт датчика OUT підключається до плати напряму на контакт 2 з якого знімаються дані датчика.

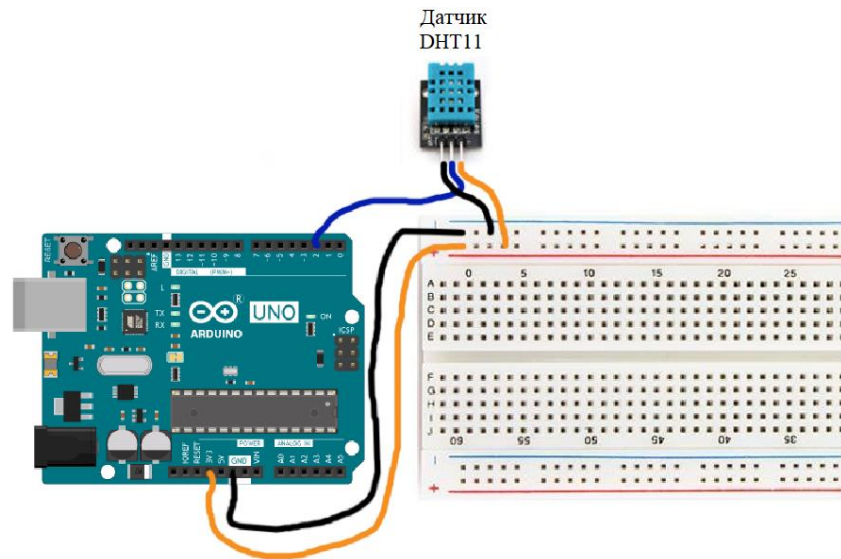


Рис. 2.8. Схема підключення датчика DHT11 до плати Arduino Uno

Датчик BMP280 та модуль датчиків якості повітря CCS811+HDC1080 до плати Arduino Uno вмикаються наступним чином (рис.2.9): контакти VCC датчиків підключаються до макетної плати зі знаком «+» послідовно, потім до плати Arduino Uno на контакт живлення 3,3В. Контакти GND вмикаються до макетної плати зі знаком «-» послідовно, потім до основної плати на контакт GND. Контакти датчиків SDA вмикаються до макетної плати паралельно потім вмикаються до плати Arduino Uno на контакт A4. Контакти датчиків SCL вмикаються до макетної плати паралельно, потім вмикається до основної плати на контакт A5. Контакти A4 та A5 відповідають за підключення датчиків по інтерфейсу I²C. Для того щоб знімалися данні з цього інтерфейсу правильно, з усіх датчиків які підключені, потрібно за допомогою програмного коду I²C SCANNER щоб дізнатись адрес кожного датчика і щоб по цим адресам передавались дані. З контактів SDA та SCL знімаються дані з датчиків.

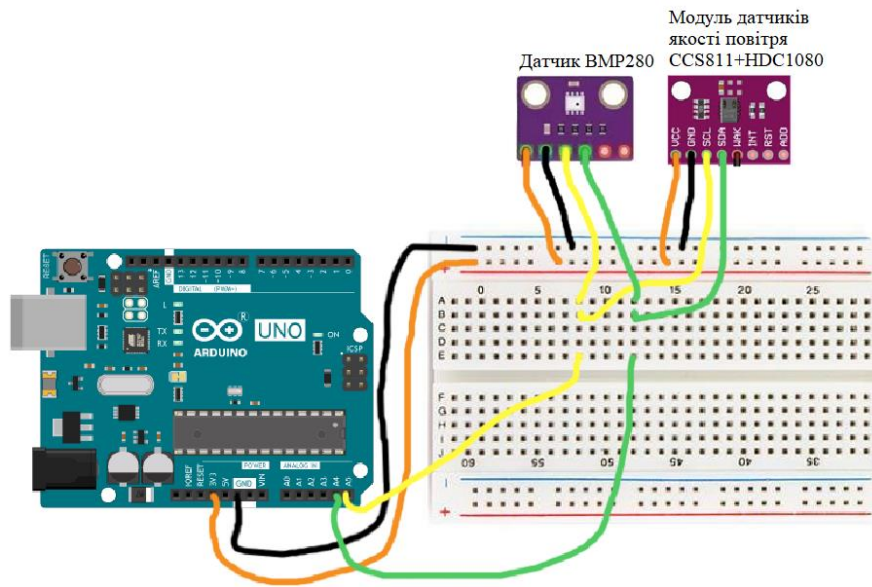


Рис. 2.9. Схема підключення датчика BMP280 та модуля датчиків якості повітря CCS811+HDC1080 до плати Arduino Uno

Wi-Fi модуль ESP8266 версії ESP-01 вмикається до плати Arduino Uno наступним чином (рис. 2.10): контакт модуля VCC приєднується до макетної плати зі знаком «+», потім до плати Arduino Uno до контакту 3,3В, контакт GND модуля вмикається до макетної плати зі знаком «-», а з макетної плати до GND основної плати. Контакти TX та RX модуля вмикаються до контактів плати Arduino Uno 5 і 6. З контактів TX та RX знімаються дані.

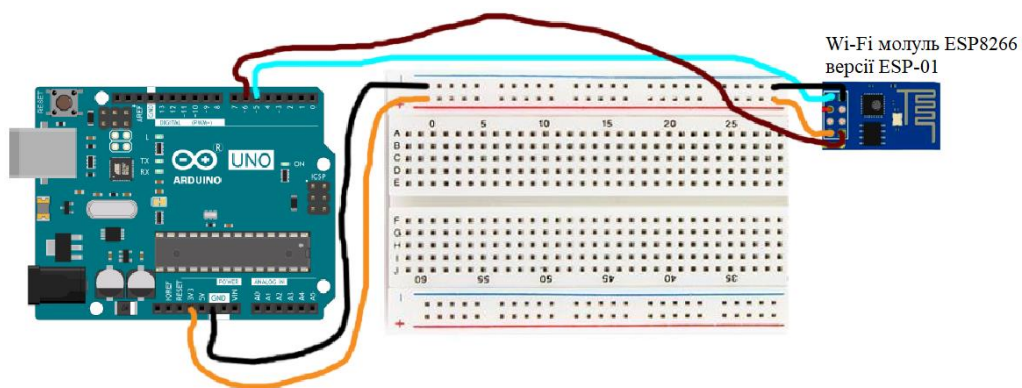


Рис. 2.10. Схема підключення Wi-Fi модуля ESP8266 версії ESP-01 до плати Arduino Uno

Bluetooth модуль HC-06 вмикається до плати Arduino Uno наступним чином (рис. 2.11): контакт модуля VCC приєднується до плати Arduino Uno до

контакту 5В для живлення модуля, контакт GND модуля вмикається до GND основної плати. Контакти TX та RX модуля вмикаються до контактів плати Arduino Uno 3 і 4. З контактів TX та RX знімаються дані.

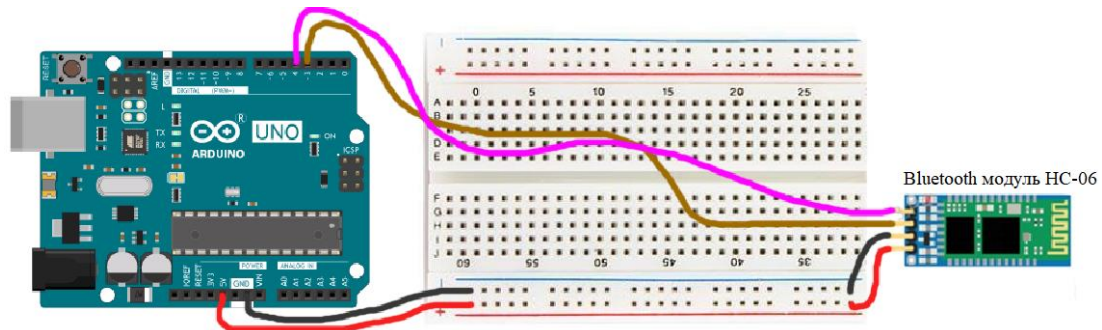


Рис. 2.11. Схема підключення Bluetooth модуля HC-06 до плати Arduino Uno

Макетна плата слугує для вмикання декількох компонентів до основної плати Arduino Uno. Так як для всіх датчиків та модуля Wi-Fi для їх живлення потрібно 3,3В, а на платі Arduino Uno є тільки один контакт з живленням 3,3В, тому використовується макетна плата, де всі ці компоненти підключаються послідовно до «+» макетної плати і потім вже одним проводом з макетної плати приєднується до контакту 3,3В плати Arduino Uno. Так само вмикається контакт GND цих компонентів. Для підключення датчика BMP280 та модуля датчиків якості повітря CCS811+HDC1080 до інтерфейсу I²C також потрібна макетна плата щоб під'єднати ці датчики до контактів A4 та A5.

Схема підключення всіх компонентів до плати Arduino Uno зображена на рис. 2.12.

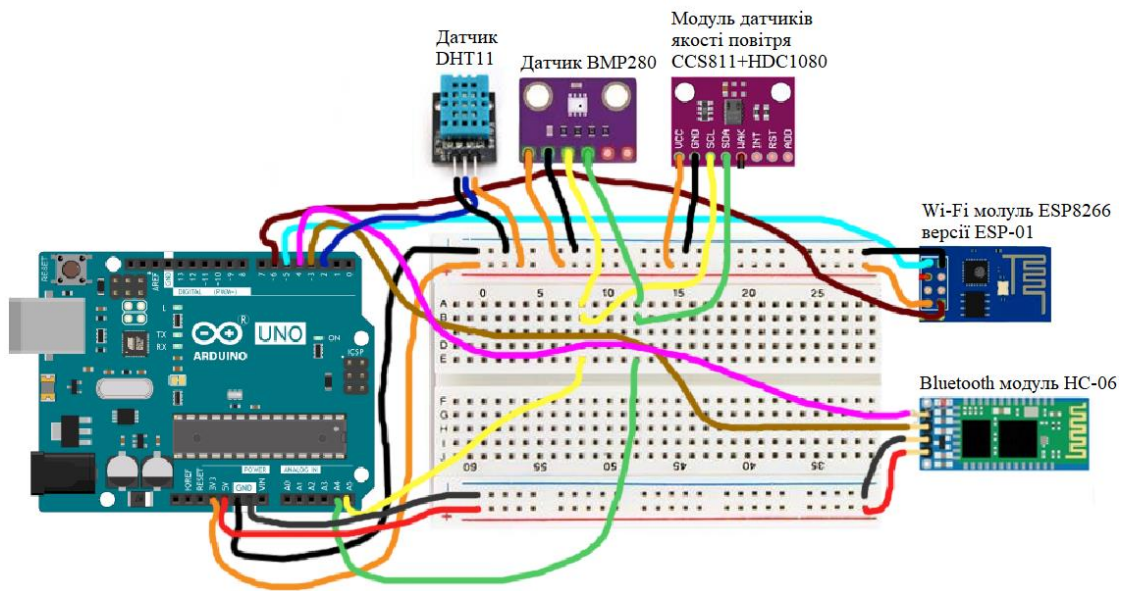


Рис. 2.12 Схема підключення компонентів до плати Arduino Uno

Всі обрані комплектуючі для розробки макету системи комплексного контролю якості повітря було підключено на макетній платі (рис. 2.13).

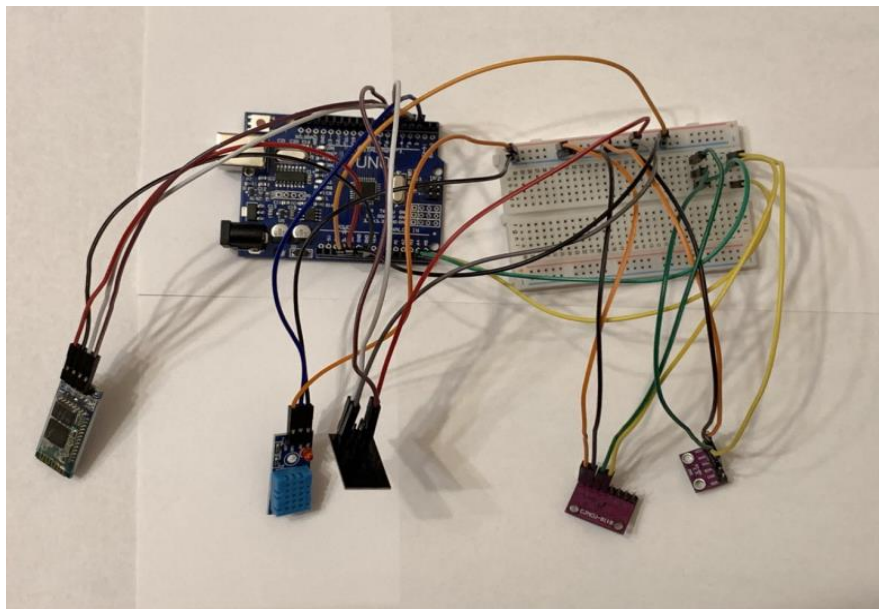


Рис.2.13. Макет системи комплексного контролю якості повітря

2.4 Розробка програмного коду для системи комплексного контролю параметрів повітря

Програмний код було розроблено в програмі Arduino IDE. Нижче представлено програмний код для системи комплексного контролю параметрів повітря:

```
[code]
#include <Wire.h>
#include <DHT.h>
#include <Adafruit_BMP280.h>
#include <Adafruit_CCS811.h>
#include <ClosedCube_HDC1080.h>
#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial mybluetooth(3, 4);
SoftwareSerial myWifi(3, 4);

#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
Adafruit_BMP280 bmp280;
Adafruit_CCS811 ccs;
ClosedCube_HDC1080 hdc1080;

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    mybluetooth.begin(9600);
    myWifi.begin(9600);
    dht.begin();
    hdc1080.begin(0x40);
    ccs.begin(0x5A);
}

void loop() {
    mybluetooth.print(F("Вологість по датчику DHT11: "));
    mybluetooth.print(dht.readHumidity());
```

```

mybluetooth.println(" %t");
    myWifi.print(F("Вологість по датчику DHT11: "));
    myWifi.print(dht.readHumidity());
    myWifi.println(" %t");

mybluetooth.print(F("Температура по датчику DHT11: "));
mybluetooth.print(dht.readTemperature());
mybluetooth.println(" *C");
    myWifi.print(F("Температура по датчику DHT11: "));
    myWifi.print(dht.readTemperature());
    myWifi.println(" *C");

mybluetooth.print(F("Температура по датчику BMP280: "));
mybluetooth.print(bmp.readTemperature());
mybluetooth.println(" *C");
    myWifi.print(F("Температура по датчику BMP280: "));
    myWifi.print(bmp.readTemperature());
    myWifi.println(" *C");

mybluetooth.print(F("Тиск по датчику BMP280: "));
mybluetooth.print(pressure_event.pressure);
mybluetooth.println(" hPa");
    myWifi.print(F("Тиск по датчику BMP280: "));
    myWifi.print(pressure_event.pressure);
    myWifi.println(" hPa");

mybluetooth.print(F("Висота по датчику BMP280: "));
mybluetooth.print(bmp.readAltitude(1013.25));
mybluetooth.println(" m");
    myWifi.print(F("Висота по датчику BMP280: "));
    myWifi.print(bmp.readAltitude(1013.25));
    myWifi.println(" m");

```



```

mybluetooth.print(F("Температура по датчику HDC1080: "));
mybluetooth.print(hdc1080.readTemperature());
mybluetooth.println("^C");

myWifi.print(F("Температура по датчику HDC1080: "));
myWifi.print(hdc1080.readTemperature());
myWifi.println("^C");


mybluetooth.print(F("Вологість по датчику HDC1080: "));
mybluetooth.print(hdc1080.readHumidity());
mybluetooth.println("%");

myWifi.print(F("Вологість по датчику HDC1080: "));
myWifi.print(hdc1080.readHumidity());
myWifi.println("%");


if(ccs.available())
{
    if(!ccs.readData())
    {
        //Serial.println("\n");
mybluetooth.print(F("CO2 по датчику CCS811: "));
mybluetooth.print(ccs.geteCO2());
mybluetooth.println("ppm");

myWifi.print(F("CO2 по датчику CCS811: "));
myWifi.print(ccs.geteCO2());
myWifi.println("ppm");


mybluetooth.print(F("TVOC по датчику CCS811: "));
mybluetooth.print(ccs.getTVOC());
mybluetooth.println("ppb");

myWifi.print(F("TVOC по датчику CCS811: "));
myWifi.print(ccs.getTVOC());

```

```

myWifi.println("ppb");
}
else
{
  mybluetooth.println("ERROR!");
  myWifi.println("ERROR!");
  while(1);
}
}
delay(6000);
}
[/code]

```

Для того, щоб всі вибранні датчики мали можливість записувати інформацію даної системи комплексного контролю параметрів повітря потрібно при написанні коду підключити бібліотеки цих датчиків та супутніх бібліотек для виводу даних. Бібліотеки які були підключені зображено на рис. 2.14.

```

#include <Wire.h>
#include <DHT.h>
#include <Adafruit_BMP280.h>
#include <Adafruit_CCS811.h>
#include <ClosedCube_HDC1080.h>
#include <SoftwareSerial.h>

```

Рис. 2.14 Підключенні бібліотеки для роботи з датчиками

Передача даних з датчиків виконується на вибір, або Wi-Fi або Bluetooth модуль, для можливості передачі даних потрібно використовувати бібліотеку SoftwareSerial та прописати в коді до яких контактів підключаються модулі, зображено на рис. 2.15.

```

SoftwareSerial mybluetooth(3, 4);
SoftwareSerial myWifi(3, 4);

```

Рис. 2.15 Підключення модулів до контактів плати

На рис. 2.16 зображено частину коду, де прописано увімкнення всіх датчиків для зчитування інформації.

```
#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
Adafruit_BMP280 bmp280;
Adafruit_CCS811 ccs;
ClosedCube_HDC1080 hdc1080;
```

Рис. 2.16 Увімкнення всіх датчиків для зчитування інформації

В void setup було прописано швидкості портів через які будуть виводитись дані та адреса датчиків, зображено на рис. 2.17.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  mybluetooth.begin(9600);
  myWifi.begin(9600);
  dht.begin();
  hdc1080.begin(0x40);
  ccs.begin(0x5A);
}
```

Рис. 2.17. void setup

В void loop прописується все для виводу даних з датчиків. За допомогою команд mybluetooth.print та myWifi.print виводяться дані з датчиків. Частина коду з використанням mybluetooth.print та myWifi.print зображена на рис. 2.18.

```

void loop() {
    mybluetooth.print(F("Вологість по датчику DHT11: "));
    mybluetooth.print(dht.readHumidity());
    mybluetooth.println(" %t");
    myWifi.print(F("Вологість по датчику DHT11: "));
    myWifi.print(dht.readHumidity());
    myWifi.println(" %t");

    mybluetooth.print(F("Температура по датчику DHT11: "));
    mybluetooth.print(dht.readTemperature());
    mybluetooth.println(" *C");
    myWifi.print(F("Температура по датчику DHT11: "));
    myWifi.print(dht.readTemperature());
    myWifi.println(" *C");

    mybluetooth.print(F("Температура по датчику HDC1080: "));
    mybluetooth.print(hdc1080.readTemperature());
    mybluetooth.println("^C");
    myWifi.print(F("Температура по датчику HDC1080: "));
    myWifi.print(hdc1080.readTemperature());
    myWifi.println("^C");

    mybluetooth.print(F("Вологість по датчику HDC1080: "));
    mybluetooth.print(hdc1080.readHumidity());
    mybluetooth.println("%");
    myWifi.print(F("Вологість по датчику HDC1080: "));
    myWifi.print(hdc1080.readHumidity());
    myWifi.println("%");

    if(ccs.available())
    {
        if(!ccs.readData())
        {
            //Serial.println("\n");
            mybluetooth.print(F("CO2 по датчику CCS811: "));
            mybluetooth.print(ccs.getCO2());
            mybluetooth.println("ppm");
            myWifi.print(F("CO2 по датчику CCS811: "));
            myWifi.print(ccs.getCO2());
            myWifi.println("ppm");

            mybluetooth.print(F("TVOC по датчику CCS811: "));
            mybluetooth.print(ccs.getTVOC());
            mybluetooth.println("ppb");
            myWifi.print(F("TVOC по датчику CCS811: "));
            myWifi.print(ccs.getTVOC());
            myWifi.println("ppb");
        }
        else
        {
            mybluetooth.println("ERROR!");
            myWifi.println("ERROR!");
            while(1);
        }
    }
    delay(6000);
}

```

Рис. 2.18 void loop

Висновки до розділу 2

В даному розділі розроблена структурна схема майбутнього макету системи комплексного контролю якості повітря. Обґрунтований вибір елементної бази: датчика температури, вологості, тиску, якості повітря, модулів Bluetooth і Wi-Fi, основної плати та блоку живлення. Для розробки макету системи комплексного контролю якості повітря було обрано: датчик температури DHT11, датчик тиску BMP280, модуль датчиків якості повітря CCS811 + HDC1080, модуль Wi-Fi ESP8266 версії ESP-01 та Bluetooth модуль HC-06. Детально описані схеми підключення кожного датчика та модуля окремо з основною платою та схема підключення всіх датчиків та модулів з платою.

Розроблене програмне забезпечення, яке дозволяє знімати дані з датчиків та передавати їх на ПК через Wi-Fi та Bluetooth.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМОЮ КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ПОВІТРЯ

3.1 Оптимальні параметри для комфортного існування людини

Оптимальні параметри якості повітря в житлових будівлях визначаються за допомогою ГОСТ 30494-2011 та СанПіН 2.1.2.2645-10, де наведено діапазон оптимальних параметрів повітря: температури, тиску, вологості, вмісту CO₂ в квартирі для комфортного життя.

За ГОСТом температура у теплий період рекомендується в діапазоні 22-25°C. У холодну пору року трохи нижче: 20-23°C – для житлових кімнат, 24-26°C – для ванної, 23-24°C – для дитячих і близько 20°C – для всіх інших приміщень. Оптимальними параметрами для вологості є відносна вологість в діапазоні 40-60%. Перевищення цієї позначки може спричинити появою цвілі, що є небезпекою для здоров'я людини. Вологість нижче зазначених параметрів також може негативно впливати на самопочуття людини: може відчутись сухість в горлі, очах. Шкіра теж може пересохнути і загрубіти, в першу чергу, це стосується шкіри обличчя і рук. За ГОСТом і СанПіН оптимальна вологість має інші значення: 30-45% взимку і 30-60% влітку. Однак далеко не кожен при таких показниках буде відчувати себе комфортно. Між іншим, діти потребують більш вологого повітря, ніж дорослі. Більш детальна інформація про оптимальні параметри температури та вологості наведено в таблиці 3.1

Таблиця 3.1

Оптимальні параметри температури та вологості

Період року	Приміщення	Температура повітря, °C	Відносна вологість, %
Холодний	Житлова кімната	20-22	45-30
	Кухня	19-21	45-30
	Туалет	19-21	
	Ванна	24-26	
	Коридор	18-20	45-30
Теплий	Житлова кімната	22-25	60-30

Повітря в квартирі містить забруднення з різних джерел:

1) Частинки, що надходять в приміщення зовні: через відкриті вікна або систему вентиляції без очищення. Це може бути як пил і пилок, так і вихлопні гази і заводські викиди.

2) Випаровування від меблів, оздоблювальних матеріалів, предметів. Нерідко в повітрі квартир можна виявити формальдегід.

3) Біологічні забруднення від людей – так звані антропотоксини. Організм людини виділяє ацетон, аміак, феноли, аміни, вуглекислий газ CO₂.

Наведені категорії забруднювачів відрізняються за ступенем небезпеки. Концентровані викиди сірководню з сусіднього заводу заподіють більше шкоди, ніж будь-який з антропотоксинів. Хороший мікроклімат в квартирі є мінімальний вміст забруднювачів в повітрі. Непрямим показником чистоти повітря служить концентрація CO₂. Чим більша концентрація, тим гірша вентиляція повітря. А чим гірша вентиляція, тим більше забруднень накопичується в повітрі квартири. На свіжість повітря безпосередньо вказує вміст вуглекислого газу, який вимірюється в одиницях ppm. Як і у випадку з вологістю, вимоги державних стандартів і рекомендації фізіологів щодо оптимальної концентрації CO₂ значно розходяться. ГОСТ «Параметри

мікроклімату» вважає прийнятним рівнем 800 – 1 400 ppm. Від 400 ppm до 800 ppm вважається оптимальнішим параметром CO₂. На цій позначці більшість людей відчують себе комфортно. Від 800 до 1000 ppm вважається середнім параметром якості повітря. Від 1000 ppm до 1400 ppm гранично допустимі параметри якості повітря. Від 1400 ppm вважаються параметри низької якості повітря. Також оптимальні параметри наведені в таблиці 3.2. З ростом рівня CO₂ з'являється відчуття задухи, млявості, втоми, знижується концентрація і працездатність [41].

Таблиця 3.2

Оптимальні параметри концентрації CO₂

<i>Якість повітря в приміщенні</i>	<i>Вміст CO₂, ppm</i>
Висока	400 і менше
Середня	400-600
Допустима	600-1000
Низька	1000 та більше

3.2 Формули знаходження параметрів

Температура повітря T , °C (K) - фізична величина, прямо пропорційна до середньої кінетичної енергії теплового руху частинок. Вимірюється температура в градусах Кельвіна по такій формулі:

$$T^0 = t^0 + 273^0,15 \quad (3.1)$$

де температуру позначають t^0 . А в формулах, використовуваних для обчислення індексу заломлення повітря в геодезичній далекометрії, використовують абсолютну температуру, тобто температуру повітря виражають у градусах Кельвіна. В цьому випадку температуру позначають T^0K або просто T^0 .

Вологість повітря – вміст у повітрі водяного пара. Вологість повітря може бути абсолютною, максимальною та відносною. Оскільки атмосферне повітря є сумішшю різних газів (азот, кисень, вуглекислий газ та ін.) і водяної пари, то атмосферний тиск визначається сумою парціальних тисків компонентів сухого повітря і водяної пари. Використовуючи рівняння Клапейрона-Менделєєва, щільність пари можна визначити через її парціальний тиск.

Абсолютна вологість $\rho_{\text{п}}$, г/м³ - маса водяної пари, об'єму повітря, що знаходиться в одиниці. Абсолютна вологість вимірюється по формулі [43]:

$$\rho_{\text{п}} = \frac{p_{\text{п}} M}{RT}, \quad (3.2)$$

де $M = 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ – молярна маса води, T = температура повітря.

Максимальна вологість F , г/м³ - максимально можлива (насичувальна) маса водяної пари, що знаходиться в одиниці об'єму повітря при даній температурі (температурі сухого термометра).

Відносна вологість φ , %, - відношення абсолютної вологості повітря $\rho_{\text{п}}$ до щільності водяного пару при даній температурі. Відносна вологість вимірюється по формулі [43]:

$$\varphi = \frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{н}}}, \quad (3.3)$$

Чим нижча відносна вологість повітря, тим інтенсивніше випаровується вода. При відносній вологості повітря $\varphi = 100\%$ водяна пара стає насиченою і виявляється в динамічній рівновазі зі своєю рідиною. У цьому випадку процеси випаровування та конденсації йдуть з однаковою швидкістю. Оскільки щільність пари та її парціальний тиск пов'язані співвідношенням (3.2), то відносну вологість можна визначити як відношення парціального тиску $p_{\text{п}}$ водяної пари, яка знаходиться в повітрі при даній температурі, до тиску $p_{\text{н}}$ насиченої пари при тій же температурі:

$$\varphi = \frac{p_p}{p_n}, \quad (3.4)$$

Таким чином, відносна вологість залежить не тільки від абсолютної вологості, але й температури повітря. Залежність температури від вологості і навпаки можна дивитись у відповідних таблицях.

Визначення обміну повітря згідно з кратністю обміну повітря в приміщенні [43]:

$$L = V_{\text{пом}} * K_p \quad (3.5)$$

де $V_{\text{пом}}$ – об'єм приміщення, м^3 , K_p – мінімальна кратність обміну повітря

Визначення обміну повітря відповідно до кількості людей у приміщенні

$$L = L_1 * N_L \quad (3.6)$$

де L_1 – норма повітря одної людини, $\text{м}^3/\text{ч}$, N_L – кількість людей в приміщенні.

Визначення обміну повітря при виділенні вологи [43]:

$$L = D / ((dv - dn) * \rho) \quad (3.7)$$

де D – кількість вологи, що виділяється, $\text{г}/\text{год}$; dv – вміст вологи, що видаляється, $\text{г води}/\text{кг повітря}$; dn – вміст вологи припливного повітря, $\text{г води}/\text{кг повітря}$; ρ – густина повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$ (при $20^\circ\text{C} = 1,205 \text{ кг}/\text{м}^3$).

Визначення повітрообміну для видалення надлишків тепла [43]:

$$L = Q / (\rho * C_p * (tv - tn)) \quad (3.8)$$

де Q – виділення у приміщення тепла, кВт ; tv – температура повітря, що видаляється, $^\circ\text{C}$; tn – температура повітря, $^\circ\text{C}$; ρ – густина повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$ (при $20^\circ\text{C} = 1,205 \text{ кг}/\text{м}^3$); C_p – теплоємність повітря, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$ (при 20°C ; $C_p = 1,005 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$).

3.3 Експериментальні дослідження

Після визначення оптимальних параметрів та їх залежностей проведемо ряд експериментальних досліджень, які будуть полягати в наступному:

- Вимірювання параметрів повітря: температури, вологості, тиску та CO₂ в кімнаті з закритим вікном.
- Вимірювання параметрів повітря: температури, вологості, тиску та CO₂ в кімнаті з відкритим вікном.
- Вимірювання параметрів повітря: температури, вологості, тиску та CO₂ із увімкненою газовою плитою (на кухні).

3.3.1 Експериментальні дослідження з закритим вікном

Даний експеримент проводився в кімнаті із закритим вікном (рис. 3.3). Вимірювання проводились в зимову пору року, коли було опалення осель. Дані знімалися кожну хвилину протягом 30 хвилин. Результати вимірювань наведені в таблиці 3.1. За результатами експериментальних даних побудовані графіки залежності вимірювальних параметрів від часу.

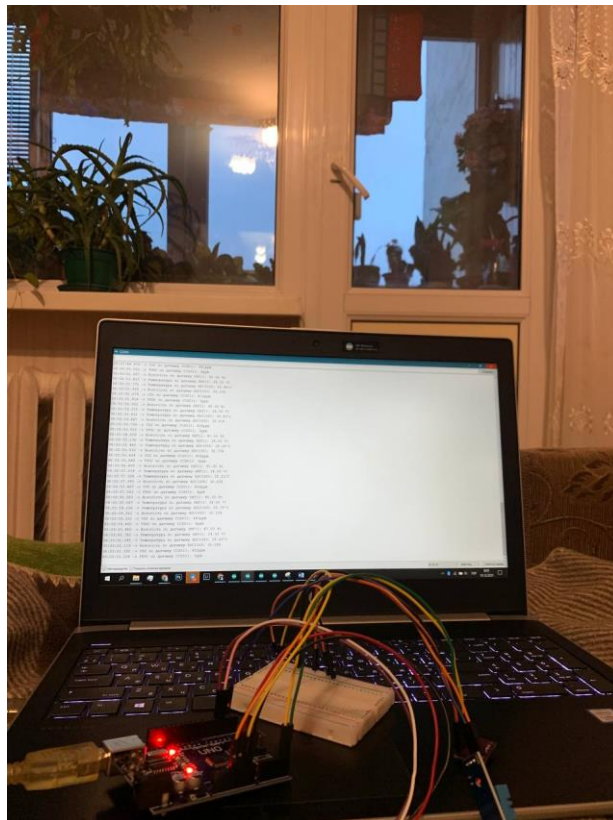


Рис. 3.1 Фото експерименту із закритим вікном

Таблиця 3.3

Результати вимірювань

<i>Час, години</i>	<i>Температура по датчику DHT11, °C</i>	<i>Вологість по датчику DHT11, %</i>	<i>Температура по датчику HDC1080, °C</i>	<i>Вологість по датчику HDC1080 %</i>	<i>CO2 по датчику CCS811, ppm</i>	<i>TVOC по датчику CCS811, ppb</i>
00:52:52	22	52	27,08	42,57	1413	154
00:54:32	21	51	26,82	42,38	1534	195
00:56:13	22	51	26,86	42,38	1524	187
00:57:55	22	51	26,82	42,49	1581	229
00:59:35	22	51	26,79	42,50	1567	220
01:01:16	22	51	27,04	42,19	1572	223
01:02:57	21	50	27,15	42,07	1601	246
01:04:38	22	51	26,92	42,19	1607	252
01:06:18	22	51	27,13	42,17	1631	273
01:08:00	21	50	26,98	42,19	1624	266
01:09:40	23	51	27,08	42,17	1660	298
01:11:22	21	50	26,76	42,41	1690	329
01:13:03	22	51	27,15	42,27	1685	323
01:14:43	22	51	26,96	42,19	1704	342

<i>Час, години</i>	<i>Температура по датчику DHT11, °C</i>	<i>Вологість по датчику DHT11, %</i>	<i>Температура по датчику HDC1080, °C</i>	<i>Вологість по датчику HDC1080 %</i>	<i>CO2 по датчику CCS811, ppm</i>	<i>TVOC по датчику CCS811, ppb</i>
01:16:24	22	51	27,00	42,09	1715	354
01:18:05	22	51	27,01	42,19	1751	391
01:19:46	21	50	26,97	42,09	1744	385
01:21:26	22	51	27,03	42,19	1770	414
01:23:08	22	51	27,08	42,27	1799	448
01:24:49	21	50	26,97	42,29	1813	465
01:26:29	21	51	26,97	42,29	1820	476
01:28:10	21	50	26,86	42,29	1815	469
01:29:51	21	50	27,23	42,19	1774	421
01:31:32	21	50	26,96	42,19	1734	369
01:33:03	22	51	26,92	42,29	1728	365

З таблиці 3.3 були взяті дані та побудовані графіки динаміки зміни параметрів повітря (рис. 3.2-3.6): температури, вологості, концентрації CO₂ та TVOC.



Рис. 3.2 Динаміка зміни температури повітря у приміщенні



Рис. 3.3 Динаміка зміни вологості у приміщенні



Рис. 3.4 Динаміка зміни концентрації CO2 у приміщенні



Рис. 3.5 Динаміка зміни концентрації TVOC у приміщенні



Рис. 3.6 Графік залежності вологості від температури

З таблиці 3.1 з експериментальними даними та графіків, видно, що температура та вологість при закритому вікні майже не змінювались протягом експерименту. Температура була в діапазоні від 21°C до 23°C, що відповідає оптимальним параметрам. Вологість вимірялась в діапазоні від 50 % до 52%, що також відповідає оптимальним параметрам. За весь час експерименту концентрація CO₂ збільшувалась, а під кінець експерименту трохи зменшилась. Концентрація CO₂ вимірялась в діапазоні від 1413 до 1820 ppm, що не відповідає оптимальним параметрам. Проаналізувавши результати досліджень можна побачити, що температура та вологість задовільняє оптимальним параметрам, але концентрація CO₂ перевищує оптимальні параметри для комфортного життя людини та показує низьку якість повітря, причиною цього є те, що вікно зачинене і немає можливості отримувати свіже повітря. Якщо не відкрити вікно, то з часом концентрація CO₂ буде збільшуватись, що зменшить вміст кисню в повітрі, це погано для людини, що призведе до головокружіння та зменшить концентрацію людини.

3.3.2 Експериментальні дослідження із відкритим вікном

Даний експеримент проводився в кімнаті із відкритим вікном (рис. 3.7). Вимірювання проводились в зимову пору року, коли було опалення осель. Дані знімались кожну хвилину протягом 30 хвилин. Результати вимірювань наведені в таблиці 3.4.

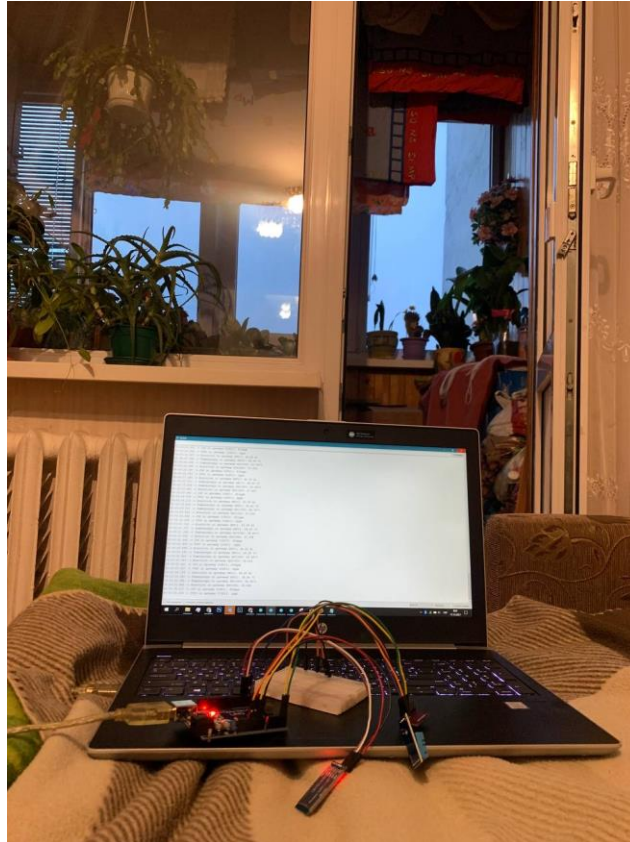


Рис. 3.7 Фото експерименту із відчиненим вікном

Таблиця 3.4

Результати вимірювань

Час, години	Температура по датчику DHT11, °C	Вологість по датчику DHT11, %	Температура по датчику HDC1080, °C	Вологість по датчику HDC1080 %	CO2 по датчику CCS811, ppm	TVOC по датчику CCS811, ppb
22:21:32	17	49	20.24	42.05	531	19
22:23:13	17	47	20.50	41.53	497	14
22:24:53	17	46	19.92	41.53	497	14
22:26:34	17	46	20.42	41.93	456	8
22:28:15	17	47	20.59	41.43	447	7
22:29:56	18	46	21.80	39.63	459	8
22:31:37	17	45	22.26	38.89	459	8
22:33:18	18	45	22.40	38.68	452	7
22:34:59	19	44	22.46	38.48	433	5
22:36:40	19	44	22.78	38.24	413	1
22:38:21	20	44	22.80	37.74	414	2
22:40:01	22	43	22.99	37.54	418	2
22:41:43	20	43	23.33	37.40	405	0
22:43:23	19	43	23.16	37.42	411	1

<i>Час, години</i>	<i>Температура по датчику DHT11, °C</i>	<i>Вологість по датчику DHT11, %</i>	<i>Температура по датчику HDC1080, °C</i>	<i>Вологість по датчику HDC1080 %</i>	<i>CO2 по датчику CCS811, ppm</i>	<i>TVOC по датчику CCS811, ppb</i>
22:46:45	19	43	23.37	37.30	400	0
22:48:26	19	42	23.20	37.42	405	0
22:50:06	19	42	23.13	37.42	425	3
22:51:48	19	43	23.49	37.08	422	3
22:53:29	19	42	21.45	40.95	411	1
22:55:10	19	44	19.44	44.45	436	5
22:56:51	18	46	19.19	44.97	400	0
22:58:31	18	48	19.17	45.37	403	0
23:00:12	16	48	18.70	45.32	400	0
23:01:53	16	49	18.49	45.74	411	0
23:03:34	16	49	18.74	45.82	411	1
23:05:15	16	49	18.43	45.74	416	2
23:06:56	16	50	18.45	45.64	400	0

З таблиці 3.4 були взяті дані та побудовані графіки динаміки зміни параметрів повітря (рис. 3.8-3.12): температури, вологості, концентрації CO₂ та TVOC.



Рис. 3.8 Динаміка зміни температури повітря у приміщенні



Рис. 3.9 Динаміка зміни вологості у приміщенні



Рис. 3.10 Динаміка зміни концентрації CO2 у приміщенні



Рис. 3.11 Динаміка зміни концентрації TVOC у приміщенні



Рис. 3.12 Графік залежності вологості від температури

З таблиці 3.2 з отриманими експериментальними даними та графіків видно, що температура та вологість майже не змінювалась протягом експерименту. Температура була в діапазоні від 16°C до 22°C. Більша частина даних про температуру не відповідає оптимальним параметрам. Вологість вимірялась в діапазоні від 43 % до 50%, що відповідає оптимальним параметрам. Концентрація CO₂ вимірялась в діапазоні від 400 до 531 ppm, що відповідає оптимальним параметрам. Проаналізувавши результати досліджень можна побачити, що температура не задовільняє оптимальним параметрам. Температура була нижче ніж діапапазон оптимальних параметрів температур, це може призвести до замерзання людини і стати причиною захворювання, що може позначитись на здоров'ї людини. Вологість та концентрація CO₂ задовільняє оптимальним параметрам.

3.3.3. Експериментальні дослідження із увімкнутою газовою плитою (на кухні)

Даний експеримент проводився на кухні із увімкнутою газовою плитою (рис. 3.13). Вимірювання проводились в зимову пору року, коли було опалення

осель. Дані знімалися кожну хвилину протягом 30 хвилин. Результати вимірювань наведені в таблиці 3.5.

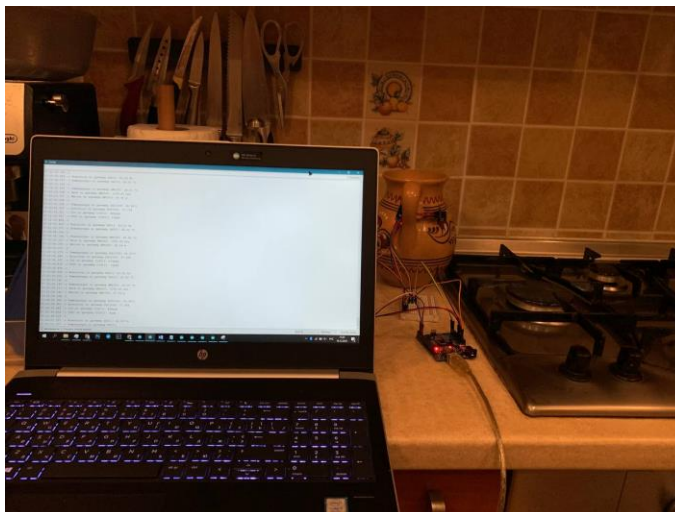


Рис. 3.13 Фото експеремену із увімкнутою газовою плитою (на кухні)

Таблиця 3.5

Результати вимірювань

<i>Час, години</i>	<i>Температура по датчику DHT11, °C</i>	<i>Вологість по датчику DHT11, %</i>	<i>Тиск по датчику BMP280, hPa</i>	<i>CO2 по датчику CCS811, ppm</i>	<i>TVOC по датчику CCS811, ppb</i>
17:15:26	24	41	1006.45	1567	220
17:16:14	24	41	1006.45	1560	214
17:18:01	24	41	1006.47	1553	209
17:19:15	24	41	1006.46	1560	214
17:21:32	24	41	1006.49	1567	220
17:23:13	24	41	1006.52	1578	227
17:24:53	24	41	1006.48	1598	244
17:26:34	24	41	1006.47	1603	248
17:28:15	24	41	1006.44	1607	252

<i>Час, години</i>	<i>Температура по датчику DHT11, °C</i>	<i>Вологість по датчику DHT11, %</i>	<i>Тиск по датчику BMP280, hPa</i>	<i>CO2 по датчику CCS811, ppm</i>	<i>TVOC по датчику CCS811, ppb</i>
17:29:56	24	41	1006.47	1611	255
17:31:37	24	41	1006.48	1616	261
17:33:18	24	42	1006.43	1621	265
17:34:59	24	41	1006.44	1612	257
17:36:40	24	42	1006.45	1632	274
17:38:21	24	43	1006.44	1636	278
17:40:01	24	42	1006.48	1637	279
17:41:43	24	41	1006.52	1648	288
17:43:23	24	43	1006.50	1652	292
17:46:45	24	44	1006.48	1648	288
17:48:26	24	43	1006.48	1651	291
17:50:06	24	43	1006.52	1647	287
17:51:48	24	43	1006.48	1651	291
17:53:29	24	43	1006.53	1647	287
17:55:10	24	43	1006.47	1668	307
17:56:51	24	43	1006.50	1652	292
17:58:31	24	43	1006.48	1659	297
18:00:12	24	43	1006.52	1648	288
18:01:53	24	44	1006.53	1663	301
18:03:34	24	43	1006.51	1659	297
18:05:15	24	43	1006.48	1641	283

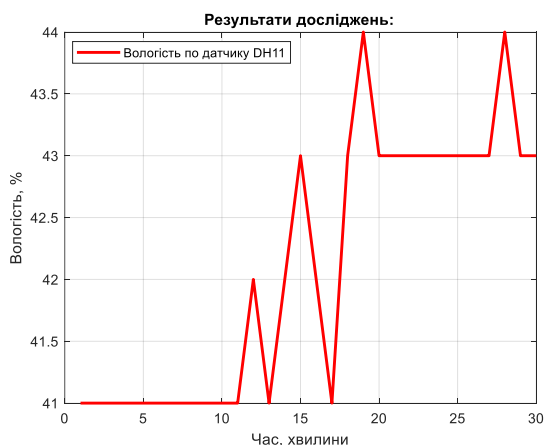


Рис. 3.14 Динаміка зміни вологості у приміщенні

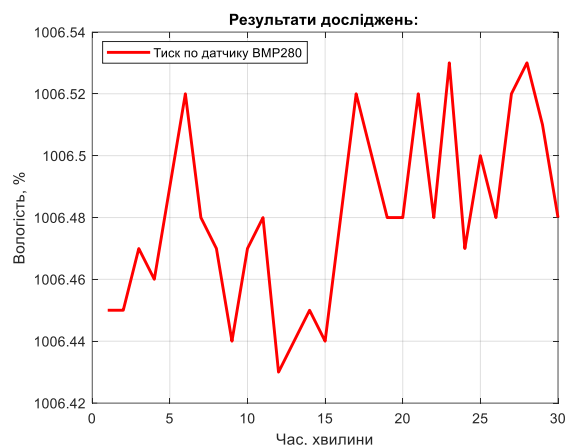


Рис. 3.15 Динаміка зміни тиску у приміщенні



Рис. 3.16 Динаміка зміни концентрації CO2 у приміщенні



Рис. 3.17 Динаміка зміни концентрації TVOC у приміщенні

З таблиці 3.2 з отриманими експериментальними даними та графіків видно, що вологість майже не змінювалась протягом експерименту. Температура була 24°C та не змінювалась протягом експерименту та відповідала оптимальним параметрам. Вологість вимірялась в діапазоні від 41% до 43%, що відповідає оптимальним параметрам. Концентрація CO2 вимірялась в діапазоні від 1553 до 1668 ppm, що відповідає низькій якості повітря і є небезпечним для людини. Даний експеримент є досить небезпечним тому

протягом експерименту значення концентрації CO₂ контролювались щоб не було різкого збільшення концентрації CO₂. Проаналізувавши результати досліджень можна побачити, що температура та вологість задовільняє оптимальним параметрам, але концентрація CO₂ перевищує оптимальні параметри для комфортного життя людини та показує низьку якість повітря.

3.4. Алгоритм визначення якості повітря за комплексними показниками датчиків

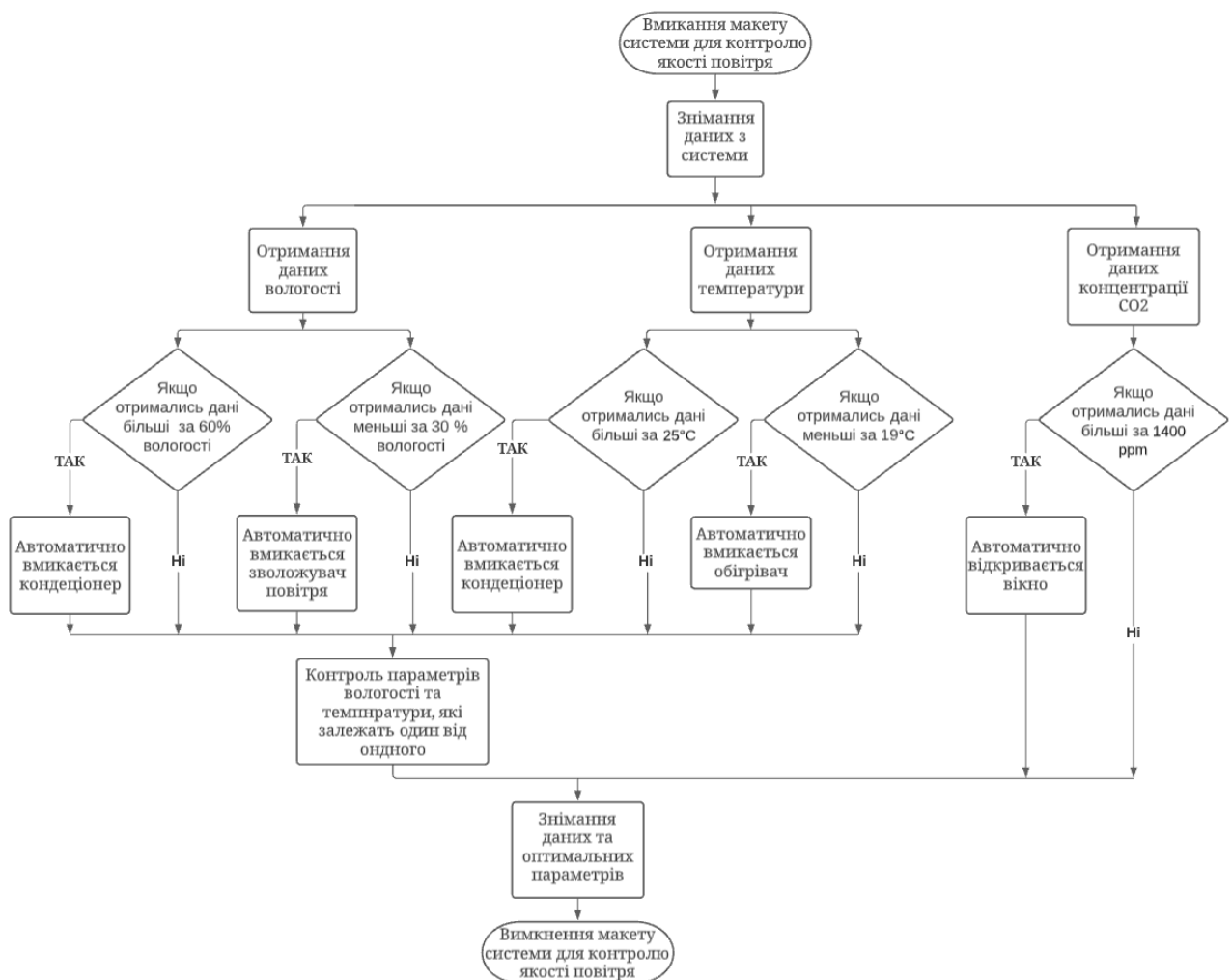


Рис. 3.13 Блок-схема алгоритму визначення якості повітря за комплексними показниками датчиків

Була розроблена блок-схема алгоритму визначення якості повітря за комплексними показниками датчиків (рис. 3.13). Алгоритм починається з увімкнення макету системи. Далі знімаються дані з датчиків. Якщо надходять дані про температуру більше 25°C автоматично вмикається кондеціонер для зменшення температури до оптимальних параметрів. Якщо надходять дані про температуру менше 19°C автоматично вмикається обігрівач для збільшення температури до оптимальних параметрів. Якщо надходять дані з системи про відсоток вологості менший за 30% в кімнаті автоматично вмикається зволожувач повітря для збільшення вологості до оптимальних параметрів. Якщо з системи надходять дані про відсоток вологості більший за 60% автоматично вмикається кондеціонер для висушування повітря в кімнаті. Для параметрів температури та вологості присутня частина в алгоритмі для їх контролю. Дані параметри пов'язані між собою і після увімкнення наприклад обігрівача, щоб збільшити температуру до оптимальних параметрів може зменшитись відсоток вологості, тому для температури та вологості важливо контролювати параметри разом. Важливим параметром є концентрація CO_2 в кімнаті. Якщо надходять дані з системи контролю якості повітря вище 1400 ppm автоматично відкривається вікно для зменшення концентрації CO_2 в кімнаті провітривши її. Проаналізувавши вище написане можна дійти висновку, що дану систему для контролю якості повітря можна додати до однієї із складових системи розумний будинок для кількісного контролю оптимальних параметрів температури, вологості, концентрації CO_2 в кімнаті.

Висновки до розділу 3

В даному розділі описані оптимальні параметри для комфортного та здорового життя людини з наведеними таблицями. Були написані теоретичні дослідження з формулами. Проводились експериментальні дослідження з закритим та відкритим вікном. Проаналізувавши дані можна зробити висновок,

що концентрація CO₂ відповідає оптимальним параметрам тільки коли вікно відкрито, при закритому вікні концентрація CO₂ перевищує оптимальні параметри. Вологість в обох експериментах відповідає оптимальним параметрам. Дані температури в свою чергу при закритому вікні задовільняють оптимальним параметрам, а при відкритому ні. Це обумовлено тим, що експеримент проводився в зимову пору року. Дані з експериментів були наведені в таблицях та зображені в графіках.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «СИСТЕМИ КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ПОВІТРЯ»

4.1 Опис ідеї проекту

Останнім часом якість повітря навколишнього середовища стала гіршою. Це обумовлене тим, що у багатьох країнах світу виробництво електроенергії є основним джерелом забруднення повітря, наприклад вугільні електростанції. Промислові виробничі процеси та застосування розчинників у хімічній та гірничодобувній галузях також забруднюють повітря. Транспортні засоби мають майже чверть викидів двоокису вуглецю, пов'язаних із споживанням енергії, до того ж ця частка продовжує збільшуватися. Майже половина всіх смертей через забруднення повітря транспортними засобами обумовлена викидами дизельних двигунів, а у тих, хто проживає в безпосередній близькості від транспортних магістралей, ймовірність діагностування деменції на 12 відсотків вище. Відкрите спалювання сміття та викидання органічних відходів на звалищах призводить до викидів в атмосферу шкідливих діоксинів, фуранів, метану та сажистого вуглецю, що сильно впливає на якість. У всьому світі на відкритому повітрі спалюється приблизно 40 відсотків відходів, що є достеменною великою цифрою. Виверження вулканів, пилові бурі та інші природні процеси також породжують проблеми. Особливе занепокоєння викликають піщані та курні бурі. В результаті цих бурь частинки пилу можуть переміщатися на тисячі кілометрів, а також переносити з собою патогени та шкідливі речовини, що викликають гострі та хронічні респіраторні захворювання. Після вищеперерахованих причин є важливим слідкування за якістю повітря навколишнього середовища.

Основною ідеєю проекту є розробка системи для комплексного контролю параметрів повітря, для того щоб була можливість слідкувати за якістю повітря.

У таблиці 4.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 4.1

Опис ідеї стартап-проекту		
<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Розробка системи комплексного контролю якості повітря	1.Побутове використання системи	Дає можливість слідкувати за якістю повітря в дома, офісі чи на виробництві.
	2.Використання компаніями які потребують слідкування якості повітря	

Висновок: В таблиці приведені основні напрямки застосувань запропонованої системи комплексного контролю якості повітря. Користувачами системи виступають люди.

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;
- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ n/ n	Технікоеконом ічні характеристи к и ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабк а сторн а)	N (нейтр альна сторон а)	S (сил ьна сто рон а)
		Мій проект	Конку рент 1	Конкур ент 2	Конкур ент 3			
1.	Функціональ ність	Висока	Висок а	Присут ня	Присут ня			+
2.	Ефективність	Висока	Висок а	Середн я	Висока			+
3.	Простота у використанні	Висока	Висок а	Висока	Середн я			+
4.	Багатоплатф орменість	Присут ня	Прису тня	Присут ня	Присут ня		+	
5.	Безпечність	Середн я	Серед ня	Присут ня	Середн я		+	
6.	Задоволення потреб покупця	Висока	Висок а	Індивід уа льна	Висока			+
7.	Достовірні результати	Висока	Висок а	Низька	Середн я			+

Висновки: в таблиці було визначено перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї. Також було визначено коло конкурентів, які виробляють схожий продукт. Проведено порівняльний аналіз показників, з чого можна сказати що сильними сторонами розробленого проекту є : функціональність, ефективність, простота у використанні і задоволення потреб покупця.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах технології проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту. Насамперед це буде передбачати аналіз таких складових:

- 1) Технологію за якою буде виготовлено товар.
- 2) Існування таких технологій.
- 3) Доступність цих технологій.

В табл. 4.3 проводиться аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту.

Таблиця 4.3

Технологічна здійсненність ідеї проекту

<i>Ідея проекту</i>	<i>Технології її реалізації</i>	<i>Наявність технологій</i>	<i>Доступність технологій</i>
Розробка функціональної схеми	Для визначення і кращого представлення елементів приладу	Наявно	Доступно
Визначення принципу роботи	Дані з датчиків повинні передаватись через плату Arduino Uno на Bluetooth та Wi-Fi	Наявно	Доступно
Вибір елементної бази	Датчики температури, вологості, тиску, якості повітря	Наявно	Доступно
	Плата Arduino Uno, Bluetooth та Wi-Fi модулі		
Доступність методики	Методика розробки системи для комплексного контролю якості повітря є в легкому доступі, не	Наявно	Доступно

<i>Ідея проекту</i>	<i>Технології її реалізації</i>	<i>Наявність технологій</i>	<i>Доступність технологій</i>
Доступність методики	враховуючи розробку програмного забезпечення	Наявно	Доступно
Простота у використанні	Подається живлення і сиситема працює	Наявно	Доступно
Обробка і представлення результатів	Програмне забезпечення	Наявно	Доступно
	Код програми вимірювання		

Дана таблиця показує, що можливість технологічної реалізації даного проекту висока. Оскільки, технології, що використовуються при розробці продукту доступні та включають поєднання існуючих методів та алгоритмів. Тому розробка системи для контролю якості повітря можлива.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Рентабельність — поняття, що характеризує економічну ефективність виробництва, за якої підприємство за рахунок грошової виручки від реалізації продукції (робіт, послуг) повністю відшкодовує витрати на її виробництво й одержує прибуток як головне джерело розширеного відтворення. Для кількісного виміру рентабельності в цілому по аграрних підприємствах використовують такі три традиційні показники: рівень рентабельності, норму прибутку і приведену до земельної площі масу прибутку. Рівень рентабельності (Р) визначається за формулою:

$$R = \Pi / B_v \cdot 100\% \quad (4.1)$$

де Π — валовий прибуток від реалізації (робіт, послуг);

Вв — виробничі витрати на реалізовану продукцію (її виробнича собівартість).

Для повнішої уяви про реальну ефективність певного виду товарної продукції доцільно цей показник обчислювати з врахуванням витрат на її збут, зменшивши при цьому валовий прибуток на величину цих витрат і водночас збільшивши на них знаменник формули.

Таблиця 4.4

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	1000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Конкуренти, що тривалий час знаходяться на ринку
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	30%

Висновок: за результатами складеної таблиці можна сказати, що вихід на ринок є рентабельним. Невелика кількість головних гравців свідчить про великий поріг входу на ринок через особливості даного ринку, проте акцентуючи 92 увагу на особливості запропонованого продукту та компенсуючи в майбутньому недоліки може надати переваги над конкурентами.

Далі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

<i>№</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
1	Контроль та слідкування за якістю повітря	Приватні фірми, підприємства, фізичні особи.	Особливості викликані зі специфікою проведення дослідів	- простота експлуатації; - стабільність експлуатації

Висновки: формування ринку визначається потребою в системі за контролем якості повітря. Також визначено основні вимоги до системи керування(товару) це керованість, точність, надійність, адаптивність, швидкість відпрацювання.

Надалі складемо таблицю факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. 4.6-4.7). Фактори в таблиці подавати в порядку зменшення значущості.

Таблиця 4.6

Фактори загроз

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Конкуренція	Конкуренцію складають не лише головні гравці ринку, але й безліч стартапів	Випуск нових версій продукту з більш розширеним функціоналом
2	Якість	Низька якість	Відмова від продукту
3	Функціонування	Недостача	Розширення функціоналу

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
3	Функціонування	функціоналу для задоволення потреб користувача	Розширення функціоналу
4	Програмне забезпечення системи керування	Поява кращого програмного забезпечення для дослідження	Вдосконалення свого програмного забезпечення

Висновки: в даній таблиці було розглянуто основні фактори загроз, що можуть негативно вплинути на продукт. Основною загрозою являється вихід на ринок більш просунутого продукту від конкурентів. Але це можна переграти випустивши також більш просунутий продукт ніж у конкурентів. Такі перегони можна спостерігати в багатьох великих компаніях, і це добре, таким чином з'являється стимул до більшого розвитку.

Таблиця 4.7

Фактори можливостей

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Високий попит на продукцію	Доцільно збільшити товарообіг	Впровадження модифікацій товару
2	Необхідність модифікацій	Потреба в спеціальних можливостях системи	Розширення функціоналу системи, режимів роботи
3	Розширення функціоналу системи	Зростання лояльності клієнтів	Покращення сервісу
4	Дешевше	Зменшення витрат на	Підтримання програмного

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
4	використання програмного продукту	програмне забезпечення для системи керування	продукту, для подальшого отримання знижки використання

Висновки: У табл. 4.7 приведені основні можливості, основна з яких це збільшення попиту, адже призведе до збільшення кількості користувачів системою для комплексного контролю якості повітря, за рахунок цього виникають можливості описані у таблиці. Подальші фактори, можуть призвести до зниження ціни на програмне середовище для створення системи керування, а також покращення характеристик самої системи.

Далі проведемо аналіз пропозиції де визначаються загальні риси конкуренції на ринку (табл. 4.8).

Таблиця 4.8

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
1. Чиста конкуренція	Конкуренти не мають прямого впливу один на одного	Надавати клієнтам продукт, що буде в повній мірі задовольняти їх потреби
2. Міжнародна конкуренція	Продукт легко пристосувати до потреб інших країн	Міжнародний ринок

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
3. Внутрішньогалузева конкуренція	Конкурентна боротьба між підприємствами в межах однієї галузі.	Формування адекватної ринкової вартості товару.
4. Товарно-видова конкуренція	Конкуренція товарів одного виду.	- Задоволення потреб клієнтів - Відповідність ринку
5. Нецінова конкуренція	Залежить від якості продукту	Постійно покращувати продукт
6. Марочна конкуренція	Вибір продукту залежить від бренду	Створити репутацію надійного бренду

Висновки: Проаналізовано основні риси конкуренції на ринку, їх вплив на діяльність підприємства, а також можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною. Визначено, що конкуренція у галузі є невеликою, і вона існує між товарами одного виду, є можливості виходу на міжнародний ринок, використання товару можливі у різноманітних сферах, а довіра до товару будується за рахунок якості продукту, адже підприємств які можуть виготовляти даний товар не так і багато.

Таблиця 4.9

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

<i>Складові аналізу</i>	<i>Прямі конкуренти в галузі</i>	<i>Потенційні конкуренти</i>	<i>Постачальники</i>	<i>Клієнти</i>	<i>Товаризамі</i>
	Побутові метеостанції	Доступні ціни, достатньо великий асортимент	Концентрація постачальників, попит споживачів	Контроль якості, доступність, обсяги закупок	Ціна
Висновки:	Конкуренція невелика так, як немає датчика якості повітря	Можливість виходу на ринок через 3 місяці. Наявні непрямі конкуренти	Вартість складових приладу	Попит на продукт	Обмежень немає

Виходячи із аналізу конкуренції в галузі можна зробити висновок, що даний проект може вийти на ринок. Враховуючи те, що окрім стандартних вимірювань температури, вологості, тиску є ще вимірювання якості повітря навколишнього середовища. На основі аналізу конкуренції, проведеного в табл. 4.9, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту табл. 4.2, вимог споживачів до товару табл. 4.5 та факторів маркетингового середовища табл. 4.6-4.7) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності табл. 4.10.

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

<i>№ п/п</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)</i>
1	Простота	Простота використання для нових користувачів
2	Функціональність	Завдяки високій функціональності користувач швидко і без проблем вимірювати якість повітря
3	Програмне забезпечення	Доступність програмного забезпечення, без додаткових витрат
4	Висока точність	Висока точність продукту яка дозволяє клієнту бути впевненим в своїх результатах досліджень

Висновки: Як видно з таблиці наведеної вище, основні фактори конкурентоспроможності простота, функціональність, програмне забезпечення, висока точність, також присутні обґрунтування, які визначають сильні сторони системи керування, а також користь для потенційного користувача.

За визначеними факторами конкурентоспроможності табл. 4.10 проведемо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту табл. 4.11.

Таблиця 4.11

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з іншими побутовими метеостанціями						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Простота	18							+
2	Функціональність	17						+	
3	Програмне забезпечення	16						+	
4	Висока точність	17						+	

Висновки: Беручи до уваги дані з табл. 4.11 та 4.10 можна підсумувати, що продукт матиме достатньо переваг, щоб бути конкурентоспроможним на ринку з іншими продуктами.

Таблиця 4.12

SWOT-аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Простота 2. Висока точність 3. Невеликі розміри 4. Адаптивність 	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Низька репутація на початку 2. Надійність 3. Сертифікованість
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Високий попит на продукцію 2. Зростання лояльності клієнтів 3. Розширення функціоналу системи 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Програмне забезпечення системи керування 2. Конкуренція

Висновки: Провівши SWOT-аналіз, визначені можливі загрози та можливості, вони передбачаються сильними та слабкими сторонами проекту. Загрози присутні, це викликано тим, що система досить нова

Далі за SWOT-аналізом розробимо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок. І визначимо оптимальні строки реалізації табл. 4.13.

Таблиця 4.13

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</i>	<i>Ймовірність отримання ресурсів</i>	<i>Строки реалізації</i>
1	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Ймовірність висока, тому що продукт стане більш конкурентоспроможним	10 місяців
2	Встановлення низької початкової ціни на товар з метою заохочення більшої кількості покупців та завоювання більшої частки ринку.	Ймовірність висока, тому що продукт має переваги	7 місяців
3	Залучення інвесторів	Ймовірне	2 місяці

Висновки: Провівши аналіз обираємо альтернативу – встановлення низької початкової ціни на товар з метою заохочення більшої кількості покупців та завоювання більшої частки ринку, через високу ймовірність, тому що продукт стане більш конкурентоспроможним. Друга альтернатива програє у стратегії компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями, та залученні інвесторів.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.14

Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Промислові компанії	Висока	Середня	Інтенсивна	Середня складність
2	Звичайні користувачі		Висока		
Які цільові групи обрано: Під час аналізу потенційних груп споживачів було вибрано, що промислові компанії та звичайні користувачі у яких є необхідність у визначенні якості повітря.					

Висновки: Провівши опис цільових груп потенційних клієнтів, а також готовність споживачів прийняти продукт, простоту входу та інтенсивність. Цільові групи, які були обрані це промислові компанії та звичайні користувачі.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку.

Таблиця 4.15

Визначення базової стратегії розвитку

<i>№ n/n</i>	<i>Обрана альтернатива розвитку проекту</i>	<i>Стратегія охоплення ринку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи</i>	<i>Базова стратегія розвитку*</i>
	Довіра покупців, завдяки якості та швидкості вимірювання	Диференційовани й маркетинг	Якісний продукт, до якого прихильні споживачі, постійний зворотній зв'язок з клієнтами.	Стратегія диференціації

Була обрана стратегія диференціації тому, що в ній передбачається надання товару з певними відмінностями від конкурентів, що є важливими на думку користувача. Виберемо стратегію конкурентної поведінки.

Таблиця 4.16

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

<i>№ п/п</i>	<i>Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</i>	<i>Стратегія конкурентної поведінки*</i>
1	Ні	Так	Копіювання не буде. Продукт може мати схожі методи синтезу, але більш вдосконалені.	Стратегія лідера

Була обрана стратегія лідера, що сфокусована на розширенні первинного попиту, тобто компанія попутно буде займатися реалізацією заходів щодо формування попиту зі сторони нових користувачів і пропагандувати нові напрями застосування.

Таблиця 4.17

Визначення стратегії позиціонування

<i>№ п/п</i>	<i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)</i>
1	Вдосконалення продукту враховуючи побажання споживачів	Стратегія диференц іації	Висока якість продукту. Формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.	Якість. Ціна. Зворотній зв'язок із виробником. Технічна підтримка.
2	Достовірність результатів			

Висновки: Окрім вдосконалення продукту враховуючи побажання споживачів користувачі також потребують достовірність результатів. Базова стратегія, яку було обрано це стратегія диференціації.

4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 4.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.2

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</i>
1	Точність	Точність значень вимірювання	Точно вимірює значення якості повітря
2	Зручність	Легкий у використанні	Проста конструкція

Висновки: З табл. 4.18 видно, що є багато переваг для споживача, а саме у точності та зручності. Системи конкурентів, не можуть запропонувати деякі з характеристик системи потенційному клієнту.

Розробимо трирівневу маркетингову модель товару таблиця 4.19.

Таблиця 4.19

Опис трьох рівнів моделі товару

<i>Рівні товару</i>	<i>Сутність та складові</i>		
I. Товар за задумом	Система для комплексного контролю якості повітря, яка дає змогу вимірювати температуру, вологість, тиск та якість повітря.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1.Довговічність	Нм	Тх
	2. Надійність	Нм	Тх
	3. Точність	Нм	Тх
	4. Вартість	М	Вр
	Якість: сертифікати відповідності якості ISO		
	Пакування: програмне забезпечення записане на компакт диск.		
	Марка: Датчик для вимірювання якості повітря		
III. Товар із підкріпленням	До продажу – реклама в різних ресурсах, та учать в різних технічних виставках		
	Після продажу – оновлення алгоритму просування.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: за рахунок охоронних документів.			

Висновки: За результатами таблиці вище, отримали опис трьох рівнів моделі, за ними можна зрозуміти призначення товару, а також проблеми які він вирішує, наведені його основні характеристики, та техніко-економічні властивості. Товар буде захищено за допомогою патентування, а також комерційної таємниці.

Таблиця 4.20

Визначення меж встановлення ціни

<i>№ п/п</i>	<i>Рівень цін на товари-замінники</i>	<i>Рівень цін на товари-аналоги</i>	<i>Рівень доходів цільової групи споживачів</i>	<i>Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу</i>
1	900-2000	650 – 3000	11000-19000	1000-2000

Висновки: Якщо збільшити кількість користувачів, то можна трохи зменшити ціну товару. Ціна менша за товари-аналоги та замінники.

Надалі виконаємо визначення оптимальної системи збуту, в межах якої приймається рішення табл. 4.21.

Таблиця 4.3

Формування системи збуту

<i>№ п/п</i>	<i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i>	<i>Глибина каналу збуту</i>	<i>Оптимальна система збуту</i>
1	Замовлення заздалегідь, з підписанням контракту	Забезпечення постійною технічною підтримкою після продажу	Прямий	Пряма

Висновок: Як видно з таблиці вище, найкраще використовувати прямий канал збуту, через компанії. Це дасть змогу контролю ціни у порівнянні з конкурентами, а також використовуючи прямий канал збуту допоможе зосередити дохід в одних руках.

Надалі проведемо розроблення концепції маркетингових комунікацій Таблиця 4.22.

Таблиця 4.22

Концепція маркетингових комунікацій

<i>№ п/п</i>	<i>Специфіка поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти</i>	<i>Ключові позиції, обрані для позиціонування</i>	<i>Завдання рекламного повідомлення</i>	<i>Концепція рекламного звернення</i>
	Забезпечення постійною технічною підтримкою	Формальні та неформальні комунікації	Комплексний підхід	Стимулювання на купівлю; Інформування щодо характеристик, якості і можливостей; Пошук вигідних контрактів	Розроблений продукт являється сучасним, точним та унікальним

Висновки до розділу 4

Розробляючи стартап-проект було виконано етапи, які необхідні для аналізу ринку, конкурентоспроможності, вибір чітких стратегій для того, щоб впровадити стартап-проект на ринок, проведена оцінка ризиків та можливостей, все це виконано для того щоб проект став успішним. При визначенні основних напрямків застосування, було виявлено, той факт, що товар має досить великий попит у різних сферах, такі сфери: військова сфера, приладобудування та картографія. Це забезпечується кращими характеристиками товару по відношенню до конкурентів. Провівши аналіз ринкових можливостей запуску, було виявлено те, що ринок є привабливим для входу, причому середній рівень рентабельності у галузі є досить високим. Було визначено основний ризик це конкуренція, можлива реакція компанії покращення характеристик системи. Основна можливість була обрана, як зростання попиту, що призведе до збільшення клієнтів, а для підтримання цього, можлива реакція компанії, збільшення режимів роботи. Аналізуючи риси конкуренції на ринку, можна сказати, що конкуренція не є великою, існують виходи на міжнародний ринок, використання товару повністю можливе у різних сферах. При подальшому аналізі бачимо, що для окремих потенційних клієнтів є специфічні умови, також очевидно те, що товари-замінники не зможуть повністю задовольнити потреби клієнтів. Проведено аналіз сильних та слабких сторін, до сильних сторін відносяться простота, висока точність, невеликі розміри, адаптивність, слабкі сторони – низька репутація на початку, надійність та сертифікованість. Надалі була розроблена ринкова стратегія проекту, цільові групи, які було обрано – промислові компанії та звичайні користувачі, також було обрано базову стратегію розвитку – диференціацію. Стратегія конкурентної поведінки – стратегія лідера. Ключові слова, які формують позицію проекту: стійка,

адаптивна, якісна. Далі після розроблення маркетингової програми стартап-проекту. Розроблений проект доцільний для використання.

ВИСНОВКИ

В першому розділі було проведено огляд та аналіз існуючих метеостанцій. Проаналізовано сучасний стан датчиків температури, вологості, рівня води, тиску, якості повітря та приладів, в які входять ці датчики, для кращого розуміння конструкції метеостанцій. Проведений огляд видів метеостанцій, а саме по принципу роботи: аналогові та цифрові та за територіальним розміщенням: дорожні, лісові, гідрологічні, побутові (домашні). Для розробки макету системи комплексного контролю якості повітря були розглянуті сучасні побутові метеостанції та постановка задачі.

В другому розділі розроблено макет системи для комплексного контролю якості повітря. Описана структурна схема та принцип дії системи. Обґрунтовано вибір елементної бази. Для розробки макету системи для комплексного контролю якості повітря було обрано: датчик температури DHT11, датчик тиску BMP280, модуль датчиків якості повітря CCS811 + HDC1080, модуль Wi-Fi ESP8266 версії ESP-01 та Bluetooth модуль HC-06. Детально описані схеми підключення кожного датчика та модуля окремо з основною платою та схема підключення всіх датчиків та модулів з платою. Розроблено програмне забезпечення в середовищі Arduino IDE, яке дозволяє знімати дані з датчиків та передавати їх на ПК через Wi-Fi та Bluetooth.

В третьому розділі описані оптимальні параметри для комфортного та здорового життя людини з наведеними таблицями. Проведені експериментальні дослідження з закритим та відкритим вікном та отримані параметри повітря. Проаналізувавши дані можна зробити висновок, що концентрація CO₂ відповідає оптимальним параметрам (400-800 ppm) тільки коли вікно відкрито, при закритому вікні концентрація CO₂ перевищує оптимальні параметри. Вологість в трьох експериментах відповідає оптимальним параметрам (30-60%). Дані температури в свою чергу при закритому вікні та при експерименті з газовою плитою задовільняють оптимальним параметрам (19-25°C), а при

відкритому вікні ні. Це обумовлено тим, що експеримент проводився в зимову пору року. Дані експериментальних досліджень представлені у вигляді таблиць та зображені в графіках.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Історія появи метеостанцій [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.rusimpuls.ru/about/publications/4156/>
2. Кирик А. М., Бреусова С. В. ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ РІДИННИХ МЕДИЧНИХ ТЕРМОМЕТРІВ. Національний фармацевтичний університет, м. Харків, Україна – С. 25
3. Настич Н. В. Основные метеорологические приборы // «Евразийский Научный Журнал №8 2016» (август).
4. Гайнуллаева А.Г. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ // «Научно-практический электронный журнал Аллея Науки» №9. 2017
5. Маркова Н. Н ТРЕХМЕРНА ДИФФЕРЕНЦІАЛЬНА ТЕРМОПАРА Маркова Н. Н // Сборник материалов X Международной научно-практической интернет-конференции 2012 – С. 274-277
6. Боровкова Т. В. Методика определения погрешности измерения температуры с помощью термопар в элементах конструкций из неметаллических функционально неразрушаемых материалов // Типография МГТУ им Н Э Баумана – Москва 2008
7. Коваленко Н. О. Электронный медицинский термометр Н. О. Коваленко, Л. Ю. Свириденко, И. В. Куварзин // Журнал: Приборы и техника Эксперимента 2007, №1 – С. 163
8. Патент РФ № 2018104563. Кондратенко В. С., Сакуненко Ю. И., Тикменов В. Н. Кабельный датчик влажности Приор. 06.02.2018
9. Воронова Т.С., Габа А.М., Иващенко В.Е., Симулик М.Д. ГИГРОМЕТР И СИСТЕМА ДЛЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ. Вестник АГТА № 1 2007 г. (том 1)
10. Киляков Л. А. ПРИМЕНЕНИЕ ДАТЧИКОВ УРОВНЯ ВОДЫ В КОЛОДЦЕ ЗАГОРОДНОГОДОМА // Научно-образовательный потенциал

молодёжи в решении актуальных проблем XXI века, №12 Декабрь-2018 г. «Инновационные технологии в агроинженерии»

11. Виссарионов, В.И. Солнечная энергетика: учеб. пособие для вузов // В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин - М.: Энергия, 2008. - 126 с. Харченко, Н. В. Индивидуальные солнечные установки: учеб. пособие для вузов // Н.В. Харченко — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 208 с. Шеер Г. Восход солнца в мировой экономике. Стратегия экологической модернизации / Г. Шеер - М.: Тайдекс Ко, 2002. - 320 с

12. Петров Е. Г. ИНТЕГРАЛЬНЫЙ АКУСТИЧЕСКИЙ АНЕМОМЕТР В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ // НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА Учредители: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный горный университет" eISSN: 2218-1458

13. Гороховатенко Е.С. РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ МЕТЕОСТАНЦИИ НА БАЗЕ ARDUINO С ИЗМЕРЕНИЕМ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ // Электронный научный журнал «Вестник молодёжной науки» Выпуск №1, 2021

14. What are weather stations and why do you need it for weather forecasting [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://windy.app/blog/what-are-the-weather-stations.html>

15. Мельникова О.А. Радиоэлектронное устройство «Умный дом» : дипломный проект (4.02.2018) Мельникова Оксана Андреевна // ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ Пенза, 2018 – С. 86

16. ROAD WEATHER STATIONS [Электронный ресурс] / ZATA Weather Station Dept — Режим доступа: <https://www.weatherstation1.com/what-is-road-weather-station/#measure>

17. Roadside Weather Station [Электронный ресурс] / Intelligent Road Sensors to measure environmental Parameters — Режим доступа: <https://www.lufft.com/climate-measurement/roadside-weather-stations/>
18. Solar radiation sensor [Электронный ресурс] / Featured Sensor Products — Режим доступа: <https://www.renkeer.com/index.php?a=shows&catid=4&id=336>
19. Forestry Weather Station [Электронный ресурс] / Dyacon's Forestry Weather Station — Режим доступа: <https://dyacon.com/forestry-weather-station/>
20. Антипин С.О. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К СОЗДАНИЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ DIY СИСТЕМ Антипин С.О., Березкин А.С., Косенко Е.Ю. VII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ "ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ТРИС-2016" Геленджик, 04–10 сентября 2016 года – С. 124-126
21. Антипин С.О., Березкин А.С., Косенко О.В., Косенко Е.Ю. Принципы построения сетевой архитектуры управления системами здания при помощи модулей nRF24L01+ // Материалы I Всероссийской научно-практической конференции // Издательство: Донской государственный технический университет (Ростов-на-Дону), 2016. С. 65-67.
22. Антипин С.О., Березкин А.С., Косенко Е.Ю. Анализ взаимодействия платформ Arduino по радиоканалу // Современная наука: Теоретический и практический взгляд: сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа: РИО МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2015. С. 35-37.
23. Спецификация протокола Firmata [Электронный ресурс] / Firmata protocol – Режим доступа: http://firmata.org/wiki/Main_Page
24. Д. С. Дордаль, И. С. Налетко // ПОРТАТИВНАЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МЕТЕОСТАНЦИЯ Секция IX. Информационные технологии и моделирование – С. 481-483

25. Лоско Е.В. АВТОНОМНАЯ МОБИЛЬНАЯ МЕТЕОСТАНЦИЯ С ПИТАНИЕМ ОТ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ. // Белорусский национальный технический университете Минск, Беларусь
26. VinayakAappasaheb Pujari, Mrs. M. M. Raste, Ms. A. A. Pujari. COST EFFECTIVE AUTOMATIC WEATHER STATION-A REVIEW
27. Mary Nsabagwa, Maximus Byamukama, Emmanuel Kondela, Julianne Sansa Otim. Towards a robust and affordable Automatic Weather Station
28. Даташити датчиків вологості і температури AM2320, DHT21/AM2301A та DHT22. [Електронні ресурси] / AM2320, DHT21/AM2301A та DHT22 Режим доступа: — <https://arduino.ua/docs/DHT22.pdf>, <https://arduino.ua/docs/ADC198/AM2301.pdf>, <http://www.datasheet.es/PDF/952504/AM2320-pdf.html>.
29. Digital-output relative humidity & temperature sensor/module – DHT11 [Електронний ресурс] / Resisitive-type humidity and temperature module/sensor — Режим доступа: <https://arduino.ua/docs/DHT11.pdf>
30. Даташити датчиків тиску MS5611 та LPS25H [Електронні ресурси] / MS5611 та LPS25H — Режим доступа: https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Data+Sheet%7FMS5611-01BA03%7FB3%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_DS_MS5611-01BA03_B3.pdf%7FCAT-BLPS0036, <https://arduino.ua/files/lps25h.pdf>
31. Data sheet BMP280 Digital Pressure Sensor [Електронний ресурс] / BMP280: Data sheet Режим доступа: — <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BMP280-DS001-11.pdf>
32. Обзор модуля атмосферного давления BMP280 [Електронні ресурси] / Датчик атмосферного давления BMP28 — Режим доступа: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-datchiki/sensor-bmp280/>

33. Даташити модуля датчика якості повітря BME680 та датчика CO2 MH-Z19B [Електронні ресурси] / BME680 та CO2 MH-Z19B датчики — Режим доступу: <https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/3660/BME680.pdf>, https://arduino.ua/docs/MH-Z19_CO2_Manual_V2.pdf.
34. CCS811 Ultra-Low Power Digital Gas Sensor for Monitoring Indoor Air Quality [Електронний ресурс] / Ultra-Low Power Digital Gas Sensor for Monitoring Indoor Air Quality — Режим доступу: https://arduino.ua/files/CCS811_Datasheet-DS000459.pdf
35. HDC1080 Low Power, High Accuracy Digital Humidity Sensor with Temperature Sensor [Електронний ресурс] / HDC1080 Low Power — Режим доступу: <https://arduino.ua/files/hdc1080.pdf>
36. Даташити модулів Wi-Fi модуль ESP-WROOM-02 та Wifi міні-модуль ESP-M1 на ESP8285 [Електронні ресурси] / Модуль ESP-WROOM-02 та Wifi міні-модуль ESP-M1 на ESP8285 — Режим доступу: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0c-esp-wroom-02_datasheet_en.pdf
37. Datasheet ESP8266 [Електронний ресурс] / Technical Overview — Режим доступу: <https://nurdspace.nl/ESP8266>
38. Даташити Bluetooth модуля HC-05 та Модуль Bluetooth 4.0 BLE на CC2541 [Електронні ресурси] / Bluetooth модуль HC-05 та модуль Bluetooth 4.0 BLE на CC2541 — Режим доступу: https://arduino.ua/docs/ti-cc2541_datasheet.pdf, https://arduino.ua/docs/BT0417C_datasheet.pdf
39. HC-06 Pinout, specifications, datasheet and Arduino connection [Електронний ресурс] / HC-06 Pinout — Режим доступу: <https://www.etechnophiles.com/hc06-pinout-specifications-datasheet/>
40. Arduino Uno [Електронний ресурс] / Arduino Uno — Режим доступу: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardUno>

41. Усмонов. Ш.З // О необходимости определения оптимальных параметров температуры помещений в СНиП РТ 23-02-2009 «Тепловая защита зданий» по индексам теплового комфорта PMV и PPD. Факультет ПГС – Строителям 2015.

42. Определение необходимости воздухообмена помещений. Рекомендации к проектированию [Электронный ресурс]. — <https://vents.ua/opredelenie-neobhodimosti-vozduhoobmena-pomesenij-rekomendacii-k-proektirovaniu>