Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютерних технологій
(повна назва)

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

Перший (бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

Розробка інтелектуального модулю для автоматизованого визначення умов життєдіяльності у житлових та робочих приміщеннях
(тема)

Виконав:
студент 4 курсу, групи АКТСІ-20-2
Халімонов Я.І.
(прізвище, ініціали)

Спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології
(код і повна назва спеціальності)

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

Освітня програма Системна інженерія
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Сотник С.В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри КІТАР _____ Невлюдов І.Ш.
(підпис) (прізвище, ініціали)

2024 р.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет АКТ
Кафедра КІТАР
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології
Тип програми Освітньо-професійна
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри _____
(підпис)
«09» червня 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Халімонову Яну Ігоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка інтелектуального модулю для автоматизованого вимірювання умов життєдіяльності у житлових та робочих приміщеннях
Затверджена наказом по університету від 03.06.2024 №545 Ст.
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 09.06.2024
3. Вхідні дані до роботи
3.1 Мікроконтролер ESP8266 для розробки проекту
3.2 Додаткові компоненти, датчики, корпус модулю
3.3 Блок живлення
3.4 Комп'ютер для розробки мобільного додатку

4. Перелік питань, що потрібно розглянути у роботі
4.1 Вступ
4.2 Огляд теми та її актуальності
4.3 Технології для моніторингу параметрів навколишнього середовища
4.4 Розробка апаратної та програмної частини
4.5 Питання пов'язані з охороною праці
4.6 Висновки та перелік джерел посилань

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій
Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 15 с. формату А4.

6. Консультанти розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Приміт-ка
1	Аналіз модулів для вимірювання параметрів середовища	20.01.2024	Виконано
2	Огляд сфер застосування інтелектуальних модулів	08.02.2024	Виконано
3	Аналіз конкурентів на ринку	10.02.2024	Виконано
4	Вибір потрібних компонентів для розробки модулю	15.02.2024	Виконано
5	Вибір середовища програмування	18.03.2024	Виконано
6	Розробка інтелектуального модулю	25.03.2024	Виконано
7	Розробка мобільного додатку	18.04.2024	Виконано
8	Тестування роботи модуля в реальних умовах	05.05.2024	Виконано
9	Оформлення звіту з виконаної роботи	15.05.2024	Виконано

Дата видачі завдання 20.01.2024

Студент _____ Халімонов Я.І.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____ доц. Сотник С. В.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

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

"03" червня 2024 р Халімонов Я.І.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 74 с., 4 табл., 42 рис., 2 дод., 33 джерел.

МІКРОКЛІМАТ, ВИЗНАЧЕННЯ, МОНІТОРІНГ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, МОДУЛЬ, ТЕМПЕРАТУРА, ВОЛОГІСТЬ, ВУГЛЕКИСЛИЙ ГАЗ, МОБІЛЬНИЙ ДОДАТОК.

Мета роботи – підвищення умов життєдіяльності у житлових та робочих приміщеннях за допомогою автоматизованої системи контролю навколишнього середовища.

Об'єкт розробки – процес автоматизованого вимірювання параметрів мікроклімату, таких як температура, вологість, концентрація вуглекислого газу в житлових та робочих приміщеннях.

Предмет розробки – система автоматизованого контролю мікроклімату для покращення ефективності умов праці та забезпечення зручного проживання.

Проведено проектування системи моніторингу, розроблено схему інтеграції компонентів та створено конструкцію пристрою з пластиковим корпусом та металевими сітками для належного охолодження.

Проведено розробку програмного забезпечення для мікроконтролера у середовищі Arduino IDE. Також розроблено мобільний додаток для віддаленого моніторингу параметрів.

Проведено тестування датчиків у різних умовах експлуатації та перевірено роботу системи протягом місяця для оцінки стабільності та точності вимірювань.

ABSTRACT

Explanatory note contains: 74 p., 4 tab., 42 fig., 2 app., 33 sources.

MICROCLIMATE, DEFINITION, MONITORING, AUTOMATION, MODULE, TEMPERATURE, HUMIDITY, CARBON DIOXIDE, MOBILE APPLICATION.

The aim of the work is improvement of living conditions in living and working premises with the help of an automated environmental control system.

The object of development is the process of automated measurement of microclimate parameters such as temperature, humidity, and carbon dioxide concentration in residential and working premises.

The subject of development is a system of automated microclimate control to improve the efficiency of working conditions and ensure comfortable living.

The design of the monitoring system was carried out, the integration scheme of the components was developed, and the device's structure with a plastic casing and metal meshes for proper cooling was created.

Software for the microcontroller was developed in the Arduino IDE environment. A mobile application for remote monitoring of parameters was also created.

Sensor testing was conducted under various operating conditions, and the system's performance was evaluated over a month to assess stability and measurement accuracy.

ЗМІСТ

Перелік скорочень 8

Вступ 9

1 Огляд теми та її актуальності 11

1.1 Принципи та засоби вимірювання параметрів середовища 11

1.2 Вплив якості повітря та інших факторів на здоров’я та комфорт 15

1.3 Аналіз існуючих систем моніторингу якості повітря в приміщенні 18

2 Технології для моніторингу параметрів навколишнього середовища 24

2.1 Використання сенсорів IoT-технологій 24

2.2 Вибір основних параметрів для вимірювання 27

2.3 Розробка загального алгоритму роботи станції 30

2.4 Вибір сенсорів та обладнання 32

2.5 Дослідження основних законів управління в лінійних САУ 41

3 Розробка апаратної та програмної частини 44

3.1 Вибір середовища для розробки 44

3.2 Розробка схеми підключення компонентів 51

3.3 Розробка інтерфейсу користувача 55

3.4 Проведення експерименту 63

3.5 Охорона праці 67

Висновки 69

Перелік джерел посилань 71

Додаток А Лістинг програми керування 75

Додаток Б Демонстраційний матеріал 79

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АС – автоматизовані системи;

КП – контроль параметрів;

ПП – портативні прилади;

РРЧ – режим реального часу.

ВСТУП

У сучасному світі, що стрімко розвивається, високотехнологічні рішення в галузі автоматизації та контролю за умовами у приміщеннях набувають все більшого значення. Насамперед, це пов'язано з розширенням та комплексністю сучасних систем управління будівлями, які спрямовані на покращення комфорту та безпеки користувачів.

Однією з найбільш важливих задач є забезпечення оптимального мікроклімату в житлових та робочих приміщеннях, а також контроль якості повітря.

Створення інтелектуального технологічного модулю для автоматизованого вимірювання умов в приміщеннях – це, насамперед, забезпечення комфортного та здорового середовища, яке необхідне не лише для підвищення ефективності праці та забезпечення зручного проживання, але й для збереження здоров'я людей.

Технологічний модуль, який спроможній вимірювати та аналізувати температуру, вологість та рівень CO_2, надає цілому ряду переваг, які стають особливо важливими в контексті сучасних викликів:

– здоров'я та комфорт важливе, бо саме забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату позитивно впливає на фізичне та психічне здоров'я людей, сприяючи створенню комфортного та продуктивного середовища;

– енергоефективність надає можливість точного моніторингу умов та дозволяє ефективно використовувати енергію для підтримки оптимальних температур, що призводить до зменшення енерговитрат та навантаження на електромережі;

– екологічна відповідальність є важливою складовою в сучасному світі. Модуль сприяє зменшенню екологічного впливу, допомагаючи у раціональному використанні ресурсів та контролі забруднення повітря.

На сьогоднішній день в Україні використання таких систем ще не є широко поширеним, особливо через високі витрати на необхідне обладнання. Проте, в найближчі роки, із розвитком технологій Інтернету речей, вартість автоматизованих рішень має зменшитися. Це відкриє можливості для впровадження таких систем в офісах та житлових будівлях з метою поліпшення комфорту та забезпечення безпеки.

Мета роботи – підвищення умов життєдіяльності у житлових та робочих приміщеннях за допомогою автоматизованої системи контролю навколишнього середовища.

Об’єкт розробки – процес автоматизованого вимірювання параметрів мікроклімату, таких як температура, вологість, концентрація вуглекислого газу в житлових та робочих приміщеннях.

Предмет розробки – система автоматизованого контролю мікроклімату для покращення ефективності умов праці та забезпечення зручного проживання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– аналіз існуючих аналогів та порівняння їх між собою;

– аналіз компонентів, які будуть використовуватись для розробки модуля для дистанційного моніторингу умов;

– розробка схеми модуля для дистанційного моніторингу умов у житлових та робочих приміщеннях;

– вибір середовища для розробки мобільного додатку;

– розробка мобільного додатку для дистанційного моніторингу умов;

– оформлення кваліфікаційної роботи згідно ДСТУ 3008:2015 [1], а також методичними вказівками з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології [2] та пройшли апробацію [6-8].

1 ОГЛЯД ТЕМИ ТА ЇЇ АКТУАЛЬНОСТІ

1.1 Принципи та засоби вимірювання параметрів середовища

Автоматизація визначається як важливий крок у забезпеченні ефективності, точності та оптимізації в різних сферах, сприяючи підвищенню продуктивності та раціональному використанню ресурсів.

Сучасні технології дозволяють автоматизувати процеси вимірювання та контролю умов у житлових і робочих приміщеннях – це дає значні переваги як для власників та керівників, так і для самих мешканців та працівників в плані ефективності, зручності та економії ресурсів. Однією з ключових переваг сучасних технологій у сфері автоматизації є здатність надавати користувачам точну інформацію в режимі реального часу.

Поряд зі стаціонарними автоматизованими системами моніторингу, ефективним доповненням можуть слугувати портативні прилади, що дозволяють контролювати параметри середовища в різних точках приміщення. Прикладом таких приладів можуть слугувати портативні люксметри, шумоміри, термоанемометри, переносні газоаналізатори.

Незважаючи на зручність та мобільність, портативні прилади контролю параметрів середовища мають певні обмеження у порівнянні з автоматизованими системами моніторингу [3-8].

По-перше, вимірювання окремими приладами носять разовий, епізодичний характер і не дозволяють безперервно стежити за динамікою змін параметрів. Автоматизована система надає дані в режимі реального часу.

По-друге, для ручних вимірювань потрібна безпосередня присутність людини, в той час як автоматичні станції працюють цілодобово без нагляду.

По-третє, окремі датчики не дозволяють оцінити взаємний вплив різних параметрів середовища та їх сукупну дію, на відміну від комплексних систем.

Автоматизовані станції моніторингу мають ширші можливості по зберіганню даних, генеруванню звітності, інтеграції в єдину мережу контролю об'єктів. Автоматизовані системи дозволяють в режимі реального часу відстежувати температуру, вологість, освітленість, рівень шуму, наявність шкідливих речовин та інших важливих параметрів.

За допомогою датчиків та комп'ютерних алгоритмів можна оперативно реагувати на відхилення від норми та попереджувати небезпечні ситуації, а це не лише дозволяє вчасно реагувати на небезпеку, але й створює відчуття спокою та безпеки серед користувачів.

Якщо детальніше, то створення та застосування модулів дозволить не просто збирати дані з датчиків, а й аналізувати їх, прогнозувати розвиток ситуації і навіть, самостійно приймати рішення для оптимізації умов. Наприклад, своєчасно регулювати температуру, вологість, вентиляцію або освітлення. Приклад модуля для моніторингу умов у приміщенні (рис. 1.1).

Рисунок 1.1 – Приклад модуля для моніторингу умов у закритих приміщеннях

Визначимо перспективи автоматизації вимірювання умов у житлових та робочих приміщеннях з використанням комп’ютерно-інтегрованих рішень.

По-перше, зміни клімату та стрімке зростання населення призводять до збільшення потреб у зручних та ефективних системах управління умовами. Автоматизовані модулі для вимірювання температури, вологості, освітлення та інших факторів дозволяють ефективно контролювати мікроклімат, забезпечуючи комфорт і підвищуючи продуктивність приміщень.

Забезпечення оптимальних кліматичних умов досягається завдяки контролю та регулюванню параметрів мікроклімату (рис. 1.2). Автоматизація процесів збору, обробки та аналізу метеоданих дозволяє здійснювати ефективний контроль показників мікроклімату та вчасно реагувати на його зміни.

По-друге, застосування таких систем також сприяє економії енергії, оскільки автоматичне регулювання умов може уникнути зайвого споживання електроенергії та інших ресурсів. Це важливо в контексті сучасних екологічних викликів та прагнення до сталого розвитку.

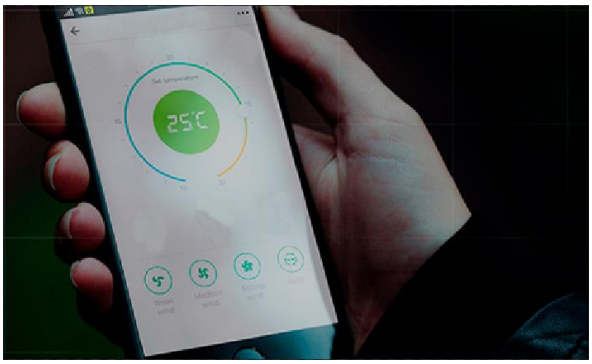

Рисунок 1.2 – Регулювання параметрів мікроклімату

Україна не залишається осторонь від світових тенденцій у сфері автоматизованих систем управління. Споживачі та підприємства шукають способи оптимізації свого енергоспоживання та підвищення комфорту. На ринку присутні різноманітні виробники автоматизованих модулів, які пропонують рішення для різних сегментів: від приватних будинків до корпоративних приміщень. Однак, важливо відзначити, що є певні виклики, з якими стикаються користувачі в Україні. Наприклад, високі вартості встановлення та обслуговування таких систем можуть стати перешкодою для їх широкого впровадження. Також, варто звернути увагу на відсутність стандартів та нормативів, які б однозначно регулювали використання автоматизованих модулів в побуті та бізнесі [3-8].

В Україні такі системи поки що не набули широкого застосування через відносно високу вартість обладнання. Проте у найближчі роки, з розвитком технологій Інтернету речей, вартість автоматизованих рішень знизиться. Це дозволить оснастити ними офісні та житлові будівлі для підвищення комфорту та безпеки. За кордоном такі системи вже активно використовуються. Особливо в країнах ЄС та Північної Америки. Там вони стали стандартом для новобудов.

Інтеграція даних з різних датчиків та систем для комплексного аналізу – один з найголовніших аспектів реалізації, але тут важливо забезпечити належний рівень безпеки цих пристроїв та захист персональних даних користувачів.

По-третє, важливим аспектом є можливості інтеграції автоматизованих систем моніторингу з іншими рішеннями для розумних будівель та розумних міст. Адже дані про умови у приміщеннях можуть використовуватися в комплексі з інформацією про енергоспоживання, безпеку, логістику тощо.

Такі "інтелектуальні" системи стануть невід'ємною частиною концепції розумного дому чи розумного офісу. Вони забезпечать максимально комфортні та безпечні умови для людей з мінімальними витратами ресурсів. Але при цьому потрібно зважено підходити до питань приватності даних і кібербезпеки.

Автоматизовані модулі особливо актуальні в періоди зміни сезонів, коли потреби в опаленні чи охолодженні можуть коливатися. Такі модулі дозволяють системам самостійно адаптуватися до змін зовнішнього середовища, забезпечуючи постійний комфорт.

По-четверте, важливо стежити за мікрокліматом у виробничих приміщеннях, оскільки він має вирішальне значення для роботи та ефективної роботи машин і обладнання. Наприклад, у виробничих приміщеннях, де використовуються теплові джерела, може бути потрібна система кондиціонування повітря та підтримка стабільної температури та вологості для забезпечення оптимальних умов праці. Це допоможе уникнути перегріву приміщення та забезпечити комфортні умови для працівників. Крім того, відповідні кліматичні умови допоможуть зменшити витрати на енергію та підвищити продуктивність роботи.

Таким чином, створення відповідних мікрокліматичних умов у таких приміщеннях є важливим для забезпечення комфорту та безпеки людей, підвищення ефективності виробничого процесу.

Автоматизовані модулі контролю та вимірювання параметрів умов житлових та робочих приміщень використовуються щоб забезпечити комфортні умови у приміщеннях та для забезпечення безпечних та ефективних умов праці.

Отже, автоматизовані системи моніторингу умов у приміщеннях є перспективним напрямком, який значно підвищить комфорт і безпеку в наших домівках та офісах. Головне, щоб ці технології стали доступнішими та надійно захищеними. Потенціал автоматизованих систем моніторингу дуже великий. Головне – забезпечити їх доступність, надійність та відповідність етичним нормам. Тоді вони стануть важливою складовою для створення комфортних і безпечних умов праці та побуту [3-8].

1.2 Вплив якості повітря та інших факторів на здоров’я та комфорт

Якість повітря в житлових та робочих приміщеннях є ключовим аспектом, який має значущий вплив на здоров'я та загальний комфорт людини. Різноманітні фактори такі як температура, вологість та рівень вуглекислого газу, визначають сприятливі або негативні умови для життєдіяльності (рис. 1.3).

Температурні умови в приміщенні мають прямий вплив на фізіологічні та психологічні параметри людини. Оптимальна температура в приміщенні визначається великою мірою індивідуальними відчуттями людей. Висока або низька температура повітря може суттєво впливати на фізичний стан та емоційний комфорт людини.

Висока температура середовища призводить до розширення судин, що спричинить втому та навіть може виникнути тепловий удар, втрата концентрації. Низькі температури, навпаки, можуть викликати холодовий дискомфорт, призводити до переохолодження, що збільшить ризик захворювань дихальних шляхів.

Для забезпечення оптимальних умов, важливо встановлювати та підтримувати температурні параметри в межах 20-24 °C.

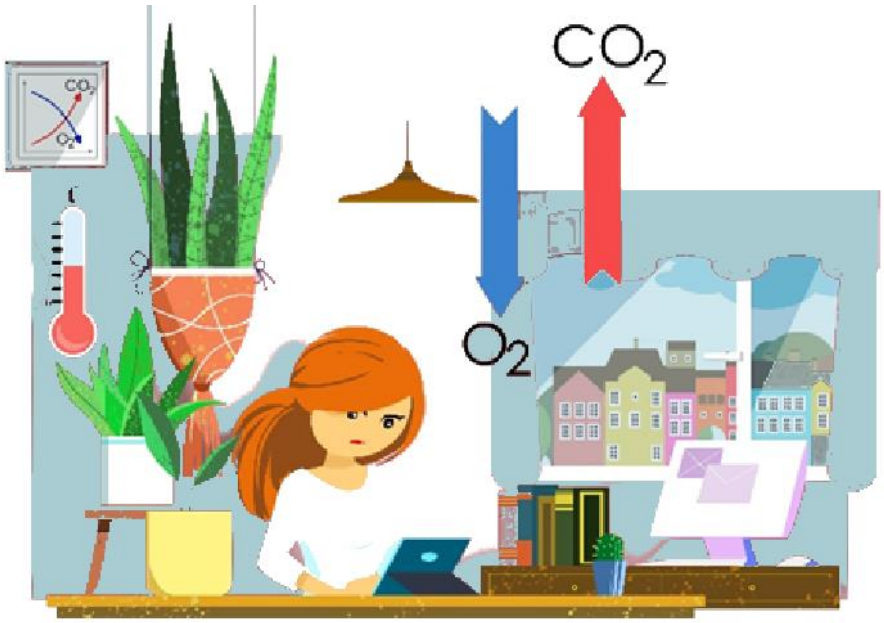

Рисунок 1.3 – Забруднення повітря в приміщенні

Рівень вологості грає ключову роль у створенні оптимального мікроклімату. Надмірна сухість повітря може викликати дискомфорт та проблеми зі здоров’ям, що може призвести до подразнення слизових оболонок, шкіри та викликати дихальні проблеми. З іншого боку, висока вологість створює ідеальні умови для розвитку грибків та бактерій, що також негативно впливає на здоров'я.

Забезпечення відповідної вологості повітря у межах 40-60 % є ключовим для підтримання комфорту та забезпечення здорового середовища [6-8].

Нагромадження вуглекислого газу в приміщенні може впливати на рівень концентрації та викликати головний біль, втомленість та подразнення. Забезпечення оптимального рівня CO_2 є важливим елементом для підтримки ефективної роботи, загального самопочуття та збереження енергії. В табл. 1.1 розглянуто детально кожен рівень концентрації CO_2 та його вплив на організм.

Таблиця 1.1 – Рівень CO_2 та його вплив на людину

Рівень CO_2, мільйонна частка	Вплив на організм
400-500	Свіже повітря
500-700	Нормальний рівень
700-1000	Прийнятий рівень
1000-2500	Сонливість
2500-5000	Негативний вплив на здоров’я

Серцево-судинна, центральна нервова і дихальна системи перші страждають від низької якості повітря. Перебування в умовах низької якості повітря, в залежності від ступеня цього дискомфорту, віку людини та ряду інших факторів, може призвести до виникнення гострої або хронічної форми теплової патології.

Взаємодія з навколишнім середовищем, зокрема температурою, впливає на наш фізичний та психічний стан. Оптимальна температура не лише забезпечує комфорт, але й покращує робочу продуктивність. Важливо враховувати індивідуальні відчуття, а також забезпечувати сталість температурного режиму, щоб уникнути стресу для організму.

Вологість повітря визначається рівновагою між кількістю водяної пари та газоподібним станом води в повітрі. Оптимальний рівень вологості підтримує не лише комфорт, але й сприяє збереженню стану шкіри та дихальних шляхів. Збалансована вологість є запорукою здоров'я та забезпечує відчуття свіжості приміщення.

Рівень вуглекислого газу є ще одним ключовим фактором. Ефективна вентиляція та провітрювання допомагають уникнути накопичення CO_2, що може

впливати на рівень концентрації та загальний стан. Регулярне вивітрювання приміщення є важливим для забезпечення свіжого повітря та ефективної роботи.

Окрім того, важливо звертати увагу на вибір матеріалів для обробки приміщення. Деякі матеріали можуть зберігати більше тепла, тоді як інші допомагають розподіляти його рівномірно. Вивчення та впровадження енергоефективних технологій у будівництві може позитивно вплинути на збереження тепла та оптимізацію температурного режиму.

Щодо вологості, регулярна провітрюваність та використання засобів контролю вологості, таких як осушувачі чи зволожувачі повітря, можуть бути корисними для забезпечення стабільних умов у будь-який час року.

Якість повітря безпосередньо впливає на наше емоційне становище та здатність до концентрації (рис. 1.4). Створення затишного та здорового середовища вдома чи на роботі сприяє загальному відчуттю комфорту та знижує ризик стресових ситуацій [6-8].

Рисунок 1.4 – Емоційне становище при поганій якості повітря

1.3 Аналіз існуючих систем моніторингу якості повітря в приміщенні

Один із ключових аспектів забезпечення здоров'я та комфорту людини в приміщенні – це стан якості повітря. Розуміння та контроль параметрів повітря стає надзвичайно важливим для забезпечення оптимальних умов. У цьому розділі проведено аналіз існуючих систем моніторингу якості повітря, розглянуто їх характеристики та прилади, що використовуються для вимірювання та контролю параметрів.

Одним із ключових параметрів, що визначає комфорт у приміщенні, є температура. Сучасні термометри та термографічні камери дозволяють точно визначати та візуалізувати температурні показники в приміщенні. Наприклад, термометр та очисник повітря Dyson Pure Hot+Cool Autoreact HP7A (рис. 1.5) вимірює температуру та вологість повітря, а також фільтрує його, забезпечуючи здоровий мікроклімат [14].

Рисунок 1.5 – Термометр та очисник повітря Dyson Pure Hot+Cool Autoreact HP7A

Dyson Pure Hot+Cool – це інтегрована система, яка включає в себе обігрівач, охолоджувач та повітроочисник. За допомогою цього пристрою можна контролювати температуру в приміщенні з точністю, регулюючи вибірково тепловипромінювання або подавання прохолодного повітря. Додатковий бонус – вбудований фільтр, який видаляє алергени та забруднюючі речовини з повітря, покращуючи якість внутрішнього середовища.

Вартість продукції від компанії Dyson зазвичай є високою порівняно з аналогічними пристроями інших виробників. Деякі користувачі зазначають помітний шум у режимі вентилятора або обігрівача, особливо на вищих швидкостях. Також є можливість, що ефективність фільтрації повітря може не відповідати очікуванням в разі високої концентрації шкідливих часток.

Заміна фільтрів може стати джерелом додаткових витрат у майбутньому, і цей аспект варто враховувати при довгостроковому використанні пристрою. Великі розміри та вага пристрою можуть створювати незручності при пересуванні або зберіганні. Для деяких користувачів також може бути не зручним регулярний догляд за фільтрами та іншими частинами пристрою.

Ці недоліки варто розглядати при виборі, оскільки вони можуть вплинути на загальне враження від користування Dyson Pure Hot+Cool.

Вологість повітря грає важливу роль у забезпеченні комфорту та здоров'я. Зараз існують гігрометри, такі як Tuya Smart PT-TY800S, які не лише точно вимірюють вологість, але й надсилають дані на смартфон, дозволяючи вчасно реагувати на будь-які зміни (рис. 1.6) [15].

Рисунок 1.6 – Прилад Tuya Smart PT-TY800S

Tuya Smart PT-TY800S – це компактний датчик, який вимірює та відображає температуру та вологість в реальному часі. Одним із його переваг є можливість надсилання даних на смартфон, що дозволяє вам віддалено контролювати умови в приміщенні. Простий у використанні та доступний варіант для власників смарт-домів.

Серед недоліків датчика температури і вологості Tuya Smart PT-TY800S можна виділити кілька моментів. Перший недолік – це радіус дії Wi-Fi зв'язку. Він є досить обмеженим – пристрій стабільно працює лише в межах 10-15 метрів

від роутера. Це означає, що його потрібно розміщувати виключно у зоні стійкого сигналу, інакше можливі проблеми зі з'єднанням і передачею статистики.

Ще одна слабка сторона – не дуже висока точність вимірювання температури. За технічними характеристиками, похибка може сягати 1-2 градусів, що є цілком прийнятним показником для побутового гаджета, проте все ж поступається професійному обладнанню.

Для роботи пристрою потрібно створити обліковий запис в хмарному сервісі компанії-виробника Tuya та надати певні персональні дані, що може викликати побоювання щодо конфіденційності. Ну і наостанок варто згадати слабку локалізацію інтерфейсу мобільного додатку – переклад є далеко не на всі мови.

Підсумовуючи, датчик Tuya Smart PT-TY800S має певні недоліки, які варто врахувати при виборі та використанні. Зокрема, це обмежене покриття Wi-Fi, невисока точність вимірювань, мінімальний функціонал та проблеми з конфіденційністю даних.

Контроль за рівнем вуглекислого газу – ще один аспект, що впливає на якість повітря. Сучасні датчики, наприклад, Awair Element, надійно визначають концентрацію CO_2 та інших забруднюючих речовин, надаючи корисні рекомендації для збереження оптимальних умов (рис. 1.7) [16].

Рисунок 1.7 – Пристрій Awair Element

Awair Element – це сучасний датчик якості повітря, який пропонує детальний аналіз рівня вуглекислого газу, температури та вологості. Він також враховує рівні важких металів та інших забруднюючих речовин, надаючи

комплексну інформацію. Awair Element може рекомендувати конкретні дії для забезпечення здорового та комфортного середовища.

Вартість пристрою Awair Element може бути високою, що створює фінансові обмеження для користувачів. Також варто враховувати, що пристрій може мати обмежену функціональність. Крім того, важливо враховувати можливу необхідність регулярно обслуговувати батареї пристрою та замінювати їх, що може становити додаткові витрати для користувача.

Кожен з цих приладів відзначається своїми унікальними характеристиками, відповідаючи різним потребам та умовам використання. Dyson Pure Hot+Cool ідеально підходить для тих, хто шукає багатофункціональний підхід до управління якістю повітря, але і готовий заплатити великі гроші за такий прилад, тоді як Tuya Smart PT-TY800S може бути оптимальним рішенням для тих, хто шукає простий та доступний датчик за невеликі кошти, але розуміючи, що на довгострокову експлуатацію очікувати не треба, адже датчик зібраний з найдешевших матеріалів. Awair Element вирізняється своєю комплексністю та здатністю аналізувати більше параметрів, що може бути корисним для більш деталізованого моніторингу та управління якістю повітря в приміщенні, але слід урахувати велику ціну за такий пристрій, який не кожен зможе придбати.

Нижче наведена таблиця порівняння ключових характеристик деяких популярних приладів, яка може допомогти визначити оптимальний варіант для конкретних умов використання (табл. 1.2) [14-16].

Таблиця 1.2 – Порівняння приладів

Прилад	Вимірювання температури	Вимірювання вологості(%)	Вимірювання рівня CO_2	Додаткові функції
Dyson Pure Hot+Cool	Так	Так	Ні	Фільтрація, обігрів, охолодження

Продовження таблиці 1.2

Прилад	Вимірювання температури (°C)	Вимірювання вологості(%)	Вимірювання рівня CO_2(мільйонна частка)	Додаткові функції
Tuya Smart	Так	Так	Ні	Надсилання даних на смартфон
Awair Element	Так	Так	Так	Визначення важких металів, рекомендації для поліпщення

У підсумку, аналіз існуючих систем моніторингу якості повітря в приміщенні підтверджує розмаїття доступних технологій. Важливо враховувати конкретні потреби та особливості приміщення при виборі відповідної системи.

2 ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

2.1 Використання сенсорів та IoT-технологій

Сучасні технології дозволяють створювати інтелектуальні системи моніторингу параметрів навколишнього середовища на основі використання різноманітних сенсорів та концепції Інтернету речей (IoT).

Для вимірювання таких параметрів як температура, вологість, рівень CO_2 тощо використовуються відповідні цифрові сенсори, які перетворюють фізичні величини в електричні сигнали. Наприклад, температурні сенсори дозволяють відстежувати зміни температури, сенсори вологості відстежують зміни показника рівня вологості. Датчики газу та якості повітря надають можливість моніторити рівень шкідливих речовин у повітрі. Ця збірка сенсорів забезпечує повний спектр даних про навколишнє середовище, що стає фундаментом для подальшого аналізу та прийняття рішень. Дані з сенсорів передаються до мікроконтролера, який обробляє їх і може пересилати по мережі на хмарний сервіс за допомогою IoT-технологій.

IoT-технології використовуються для підключення сенсорів до мережі, що надає можливість збирати дані в реальному часі. Це розширює можливості системи, дозволяючи віддалено моніторити умови середовища через інтернет. Автоматизована передача даних сприяє оперативності реагування на зміни параметрів у приміщеннях. Інтеграція з IoT також дозволяє використовувати аналіз даних для прогнозування та покращення ефективності системи в режимі реального часу (рис. 2.1).

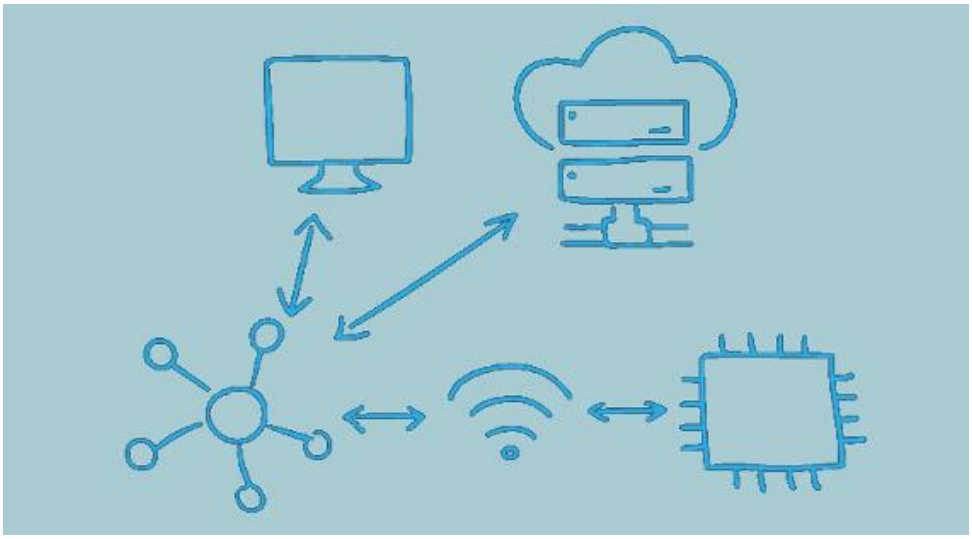

Рисунок 2.1 – Схематична візуалізація IoT-технологій

Прикладами IoT-технологій є протоколи зв'язку Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, LoRaWAN, NB-IoT та інші. Вони дозволяють підключати пристрої до Інтернету і передавати дані на сервер. На сервері дані зберігаються, опрацьовуються і можуть відображатися користувачеві у зручному вигляді [9-10].

Такі системи дають можливість в реальному часі контролювати та аналізувати параметри навколишнього середовища, отримувати сповіщення про критичні зміни, а також прогнозувати і попереджати небезпечні ситуації. Це дозволяє підвищити ефективність управлінських рішень щодо забезпечення комфортних і безпечних умов проживання та роботи людей.

Окрім базових сенсорів для вимірювання температури, вологості тощо, можуть застосовуватися й складніші сенсори – газові сенсори для виявлення витоків чадного та природного газу, сенсори якості повітря для оцінки вмісту летких органічних сполук, сенсори рівня шуму, а також сенсори руху, диму, вібрації. Їх інтеграція дозволяє комплексно контролювати параметри навколишнього середовища.

Для передачі даних до хмари можуть використовуватися як дротові технології (Ethernet), так і бездротові. Бездротові технології мають перевагу в гнучкості розгортання систем без прокладання кабелів. До них належать стільникові технології (2G, 3G, 4G, NB-IoT), а також Wi-Fi, Bluetooth, LoRaWAN,

Zigbee та інші. Вибір технології залежить від потреб за дальністю зв’язку, обсягу передачі даних та інших вимог.

Для обробки даних з сенсорів можна обирати між використанням хмарних сервісів або розгортанням власного серверу на базі технологій туманних обчислень. Хмарні рішення виграють з точки зору масштабованості, але мають певні ризики з кібербезпеки, тоді як локальні сервери повністю під вашим контролем.

Отже, сенсори та IoT-технології надають широкі можливості для побудови систем моніторингу та контролю параметрів навколишнього середовища з передачею даних до хмари для подальшої аналітики. Правильне проектування таких систем дозволяє отримати надійне та масштабоване рішення.

При проектуванні систем моніторингу на основі IoT потрібно враховувати архітектурні рішення та протоколи, що забезпечать надійну роботу системи. Одним з ключових елементів є шлюз IoT.

Шлюз IoT збирає дані з сенсорів та передає їх на хмарний сервіс. Для створення шлюзу можна використовувати мікроконтролери Arduino, Raspberry Pi тощо. Важливу роль відіграє вибір протоколів зв'язку між сенсорами та шлюзом. Головне правильно підібрати протокол, який краще за все буде підходити до обраної роботи, адже кожен протокол відрізняється за дальністю зв’язку, швидкістю, можливостями роумінгу.

Окрім передачі даних від сенсорів, шлюз також може передавати керуючі команди до виконавчих механізмів на основі отриманих даних або команд з хмари через зворотній канал зв'язку.

Для зберігання даних та управління системою на хмарному рівні можна використовувати такі платформи, як AWS IoT Core, Microsoft Azure, Google Cloud, Firebase. Вони мають широкий набір сервісів для розгортання кінцевих систем IoT-моніторингу.

Отже, є широкі можливості для створення гнучких та надійних систем моніторингу на основі IoT. Правильний підбір компонентів, протоколів та хмарних сервісів дозволяє реалізувати ефективні рішення [9-10].

2.2 Вибір основних параметрів для вимірювання

Для комплексного моніторингу умов у житлових та робочих приміщеннях важливо правильно обрати основні параметри, які дозволять адекватно оцінити комфортність та безпечність перебування людей. Базуючись на аналізі літературних джерел, для даної системи було обрано ключові параметри, які є найважливішими та найвпливовішими для здоров'я та життєдіяльності людини.

Розглянемо параметр температура повітря, який впливає на тепловідчуття людини. Для комфортних умов рекомендований діапазон в офісних та житлових приміщеннях становить 20-24 °C.

Другим параметром буде відносна вологість повітря. Вона визначає випаровування вологи зі шкіри та слизових оболонок людини. Оптимальні значення 40-60 %.

В якості третього параметру буде концентрація CO_2. Підвищені рівні вуглекислого газу негативно впливають на продуктивність та самопочуття. Норма до 1000 частин на млн.

Вимірювання температури, вологості повітря та концентрацію вуглекислого газу дозволить контролювати базові умови, необхідні для гарного мікроклімату приміщень, а також забезпечити раннє виявлення проблем, що вимагають регулювання. Доповнення системи іншими сенсорами можливе в майбутньому. Кожен з обраних параметрів потребує використання відповідних сенсорів для реєстрації та перетворення фізичної величини в цифровий сигнал.

Для вимірювання температури повітря найчастіше застосовуються цифрові датчики температури на основі терморезисторів або термісторів. Вони мають високу точність, швидкодію та цінову доступність. Щоб виміряти рівень вологості, використовуються цифрові датчики вологості на основі ємнісних або резистивних елементів. Вони також демонструють достатню точність і швидкість відгуку при помірній вартості.

Датчики вмісту CO_2 часто реалізуються за технологією напівпровідникових сенсорів газу або оптичних інфрачервоних сенсорів. Вони складніші за конструкцією, але забезпечують необхідну чутливість.

Вимірювання температури, відносної вологості та вмісту CO_2 – це найголовніші параметри, які найбільше впливають на тепловідчуття, комфорт і продуктивність людини. Крім того, їх контроль дозволяє опосередковано оцінити придатність повітря для дихання.

Доцільно більш детально розглянути переваги обраних параметрів для цілей моніторингу, порівняно з іншими можливими опціями, такими як вміст кисню, запиленість, шум, вібрація тощо. Зокрема, порівняно з контролем вмісту кисню, вимірювання CO_2 є більш чутливим індикатором якості повітря в приміщенні, що дозволяє раніше виявляти проблеми вентиляції. На відміну від аналізу запиленості, контроль температури та вологості є менш локальними характеристиками і краще відображають загальний стан мікроклімату.

Вищенаведені міркування щодо вибору температури, вологості та вмісту CO_2 як основних параметрів моніторингу базувалися на їх впливі на самопочуття людини та можливості оцінювання придатності повітря. Проте є ще декілька вагомих аргументів на користь саме цих показників:

По-перше, вимірювання температури, вологості та вмісту CO_2 дозволяє комплексно оцінити якість повітря в приміщенні. Адже ці показники в сукупності характеризують ступінь забруднення повітря продуктами життєдіяльності людини, ефективність вентиляції, ризики розвитку плісняви чи грибка тощо.

По-друге, моніторинг саме цих параметрів дає змогу відстежувати не лише поточний стан, а й прогнозувати подальшу динаміку змін мікроклімату в приміщенні. Комплексний аналіз отриманих даних та тенденцій їх зміни сприятиме своєчасному запобіганню виходу параметрів за граничнодопустимі норми [10-12].

Отже, вибір саме цих параметрів забезпечує оптимальне поєднання інформативності, вартості та складності вимірювальної системи для цілей загальної оцінки та регулювання умов у житлових і виробничих приміщеннях.

Ефективність системи моніторингу параметрів навколишнього середовища багато в чому залежить від оптимального добору фізичних величин, що підлягають контролю. Адже саме від правильності вибору контрольованих факторів буде залежати інформативність, здатність своєчасно виявляти небажані відхилення умов, а також складність та вартість побудови системи моніторингу.

Відтак, перед тим як зупинитися на остаточному наборі з трьох основних параметрів – температури, відносної вологості та вмісту вуглекислого газу, було досліджено й альтернативні варіанти поєднання показників разом з їх перевагами і недоліками. Аналізуючи можливі варіанти наборів параметрів для комплексного моніторингу умов у приміщеннях, було розглянуто багато альтернативних варіантів розробки (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Альтернативні варіанти наборів параметрів моніторингу

Варіант №	Параметри	Переваги	Недоліки
1	Температура, вологість, рівень шуму	Нижча вартість реалізації	Неможливість оцінки якості повітря
2	Температура, запиленість, освітленість	Порівняно проста реалізація	Локальність інформативності, потреба в більшій кількості точок контролю
3	Вміст кисню, CO_2, летких органічних сполук	Висока інформативність щодо якості повітря	Велика складність та вартість реалізації

Зважаючи на переваги та недоліки розглянутих варіантів, оптимальним було обрано саме поєднання контролю температури, відносної вологості та вмісту вуглекислого газу як таке, що забезпечує найбільш сприятливе співвідношення інформативності та техніко-економічних характеристик системи моніторингу.

Для реєстрації даних параметрів будуть застосовані сучасні цифрові сенсори на основі різних фізичних принципів вимірювання. Вибір конкретних моделей сенсорів та особливості їх розміщення буде розглянуто в наступних розділах.

2.3 Розробка загального алгоритму роботи станції

Вимірювання обраних параметрів – температури, вологості та вмісту CO_2, дасть змогу комплексно оцінювати комфортність та якість повітряного середовища в приміщеннях. Їх контроль допоможе своєчасно виявляти несприятливі зміни мікроклімату та вживати відповідні заходи.

Робота розробленої в рамках проекту станції для моніторингу параметрів навколишнього середовища передбачатиме циклічне вимірювання температури, вологості й вмісту вуглекислого газу із застосуванням відповідних сенсорів та перетворення отриманих аналогових даних в цифровий формат. Схему алгоритму представлено на рисунку 2.2.

Дані проходитимуть етап попередньої обробки безпосередньо на станції – фільтрацію шумів, калібрування, приведення до необхідного цифрового формату. Для передачі даних цих вимірювань до хмарного сервісу планується використовувати бездротові технології передачі даних на основі Wi-Fi (рис. 2.3). Обробка і аналіз даних у хмарі дозволить також будувати прогнози та моделі для випереджувального реагування – наприклад, виявлення ризиків перевищення граничних значень задовго до їх настання. Така система сприятиме створенню оптимальних та стабільних умов у житлових і виробничих приміщеннях.

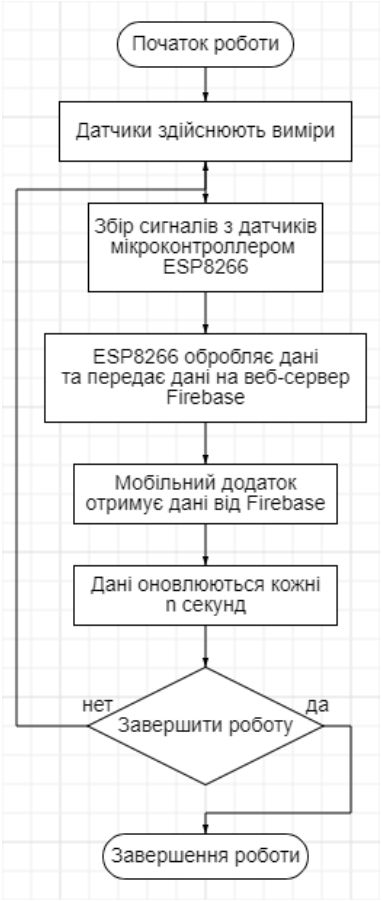

Рисунок 2.2 – Алгоритм роботи модуля визначення параметрів мікроклімату

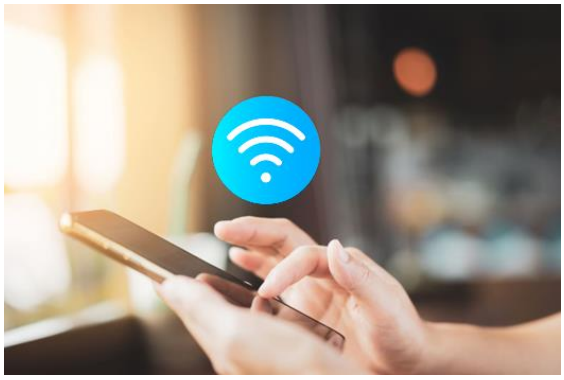

Рисунок 2.3 – Передача даних через Wi-Fi

Розроблений пристрій для моніторингу умов навколишнього середовища складається з мікроконтролера, до якого підключено два цифрові датчики – температури і вологості та вмісту вуглекислого газу. Ці датчики генерують аналогові сигнали, які потім перетворюються на цифрові значення безпосередньо всередині мікроконтролера за допомогою аналогового цифрового перетворювача.

Далі мікроконтролер через Wi-Fi модуль підключається до хмарного сервісу Firebase та періодично передає туди виміряні параметри – значення температури, вологості і вмісту CO_2.

Ці дані зберігаються у хмарному сховищі Firebase в режимі реального часу. Звідти вони можуть зчитуватися мобільним додатком, який відображає поточні та архівні значення параметрів у зручному для користувача вигляді – у формі графіків, таблиць тощо [12-13].

2.4 Вибір сенсорів та обладнання

Ефективне функціонування системи моніторингу параметрів навколишнього середовища значною мірою визначається обраними компонентами – вимірювальними сенсорами, мікроконтролером, модулями зв’язку тощо. Саме технічні характеристики цих елементів, а також особливості їх інтеграції між собою визначатимуть можливості системи з точки зору точності вимірювань, швидкодії, енергоспоживання, надійності та інших параметрів.

Відтак, при розробці даного проекту велика увага приділялась саме підбору оптимальних компонентів та обладнання, що задовольнятимуть поставлені вимоги. Відтак, при розробці даного проекту велика увага приділялась саме підбору оптимальних компонентів та обладнання, що задовольнятимуть поставлені вимоги. В результаті проведеного аналізу було обрано такі основні елементи: мікроконтролер ESP8266, цифрові сенсори DHT22 и MH-Z19B та захисний корпус.

Як базовий компонент системи моніторингу обрано модуль ESP8266. Це Wi-Fi мікросхема з інтегрованим процесорним ядром, що використовується для зв’язку між датчиками та хмарним сервісом. Вона має невеликі габарити і може функціонувати як самостійна точка доступу або приєднуватися до існуючої бездротової мережі (рис. 2.4) [11, 17].

ESP8266 – це Wi-Fi мікроконтролер компанії Espressif Systems, який містить 32-бітний процесор Tensilica L106 та оперативну пам’ять для зберігання

додатків і даних. Він використовує інтегрований TCP/IP-стек та підтримує стандарти 802,11 b/g/n на частоті 2,4 ГГц.

Даний мікроконтролер вирізняється високою продуктивністю – до 160 МГц, помірним енергоспоживанням – близько 70 мА в режимі передачі даних, а також має 3 гнізда для керування зовнішніми пристроями (GPIO).

Ключовими перевагами модуля є наявність великої кількості готових бібліотек для інтеграції Wi-Fi та TCP/IP на популярних платформах Arduino, ESP-IDF та MicroPython. Також вагомим фактором є його невисока ціна – 2-5 доларів. Завдяки цим можливостям обрано саме ESP8266 в якості базового компонента для розробки системи збору і передачі даних по бездротовому каналу.

Рисунок 2.4 – Мікроконтролер ESP8266

На ринку представлено кілька модулів та плат, які можна розглядати як альтернативи для ESP8266 в розробці пристроїв Інтернету речей та автоматизованих систем керування. Хоча ESP8266 має ряд переваг, таких як

низька вартість, компактні розміри, вбудований Wi-Fi модуль та підтримка різноманітних протоколів, корисно проаналізувати інші доступні варіанти, щоб обґрунтувати раціональність вибору саме цього модуля. Розглянемо кілька популярних альтернатив ESP8266 та порівняємо їх ключові характеристики.

Модуль Raspberry Pi Pico – це мікроконтролер з ядром ARM Cortex-M0+, який забезпечує більшу продуктивність і підтримку різних периферійних пристроїв. Проте він значно дорожчий і споживає більше енергії, ніж ESP8266 (рис. 2.5) [18].

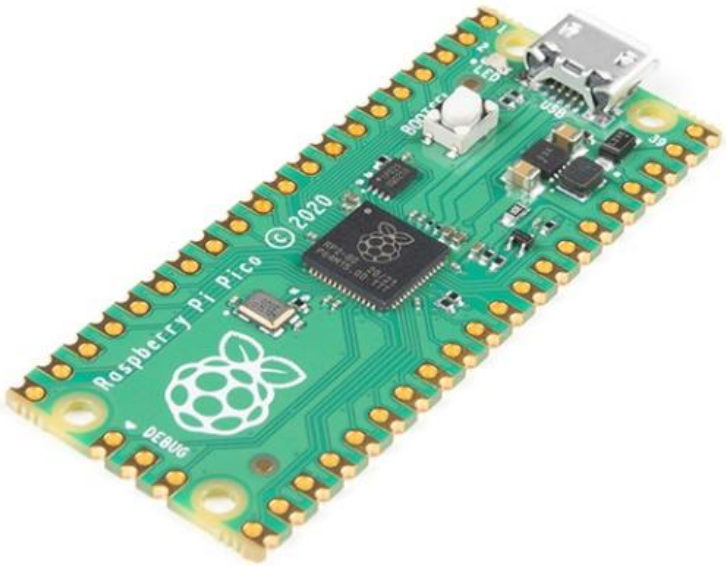

Рисунок 2.5 – Модуль Raspberry Pi Pico

Модуль Arduino Uno – класичний вибір для багатьох проектів, але він має обмежені можливості підключення до Інтернету та бездротових мереж порівняно з ESP8266, який має вбудований Wi-Fi модуль (рис. 2.6) [19].

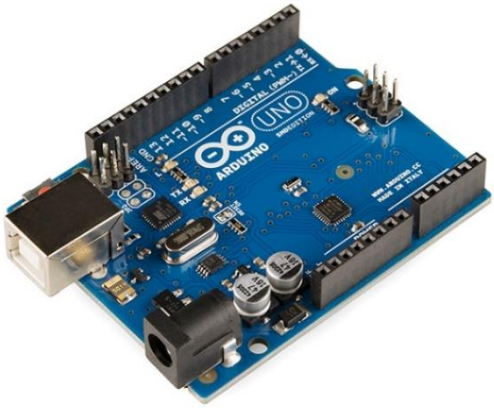

Рисунок 2.6 – Модуль Arduino Uno

Після аналізу конкурентних рішень стає очевидним, що ESP8266 є оптимальним вибором для даного проекту завдяки збалансованому поєднанню необхідного функціоналу, компактності, енергоефективності та доступної ціни. Детальніший опис функцій та технічних характеристик ESP8266 представлено в наступній таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Функції та характеристики плати ESP8266

Функція/Характеристика	Опис
Мікроконтролер	Tensilica L106 32-біт
Тактова частота	80-160 МГц
Оперативна пам'ять	32-64 КБ
Флеш-пам'ять	512 КБ - 4 МБ
Wi-Fi	802.11 b/g/n
Діапазон частот	2.4 ГГц
Живлення	3.3 В
Споживання струму	10-170 мА
Підтримка протоколів	TCP/IP, HTTP, MQTT
Вбудовані інтерфейси	UART, SPI, I2C, I2S, ІЧ
Ціна	$2-5 (залежно від моделі)

Для вимірювання температури і вологості повітря застосовуватиметься цифровий датчик DHT22. Він реалізований на основі ємнісного сенсора з полімерним діелектриком, чутливим до вмісту водяної пари. Даний сенсор має широкий діапазон вимірювань, низьке енергоспоживання і задовольняє вимоги точності проекту (рис. 2.7) [20].

Рисунок 2.7 – Датчик температури та вологості DHT22

DHT22 – популярний цифровий сенсор для вимірювання температури та відносної вологості повітря. В основі його роботи – ємнісний датчик вологості з полімерним напівпровідниковим матеріалом в якості діелектрика.

Даний сенсор відрізняється широким діапазоном вимірювань температури – від -40 °C до +80 °C та вологості від 0 % до 100 % RH. Похибка для обох параметрів не перевищує 2 %.

Перевагами DHT22 є його мініатюрність (15.5 мм х 12 мм х 5.5 мм), низьке енергоспоживання – не більше 2.5 мА під час роботи, можливість цифрового зв’язку (однопровідний інтерфейс) та вбудований аналоговий цифровий перетворювач для оцифровки даних. Ціна даного датчика не перевищує 5 доларів, що є вагомим фактором для вибору.

На ринку представлена низка датчиків для вимірювання температури та вологості, які можна розглядати як альтернативи для використаного в цьому проекті DHT22. Хоча DHT22 є оптимальним рішенням з точки зору балансу ціни

та якості, корисно розглянути інші доступні варіанти та порівняти їх ключові характеристики.

BME280 від Bosch – це комбінований цифровий датчик атмосферного тиску, вологості та температури (рис. 2.8). Він забезпечує високу точність вимірювань: ±1 гПа для тиску, ±3 % для вологості та ±1 °C для температури. BME280 відрізняється низьким енергоспоживанням та компактними розмірами корпусу, що робить його привабливим для застосування в портативних пристроях. Однак він дещо дорожчий за DHT22 і може бути надлишковим для задач, які не вимагають вимірювання атмосферного тиску [21].

Рисунок 2.8 – Датчик BME280

SHT30 від Sensirion – це високоточний цифровий датчик температури та вологості. Він забезпечує виняткову точність ±0,3 °C для температури та ±3 % для вологості при низькому енергоспоживанні (рис. 2.9). Крім того, SHT30 має пилонепроникний корпус, що підвищує його надійність у різних умовах експлуатації. Однак ціна цього датчика вища порівняно з DHT22, що може бути обмежуючим фактором для бюджетних проектів [22].

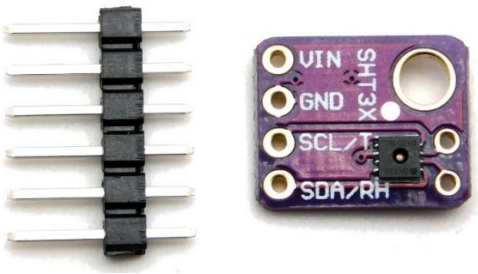

Рисунок 2.9 – Датчик SHT30

Завдяки оптимальному поєднанню технічних характеристик та доступної ціни, саме датчик DHT22 було обрано для вимірювання температури і вологості в даному проекті. Аналізуючи альтернативи, слід зазначити, що BME280 та SHT30 пропонують кращі показники точності, ніж DHT22, але за вищу ціну. Вибір DHT22 як датчика для цього проекту був обумовлений його достатньою точністю вимірювань температури (±0,5 °C) та вологості (±2 %) в поєднанні з доступною вартістю, що дозволило оптимізувати бюджет без значного впливу на якість отриманих даних.

Для визначення концентрації вуглекислого газу передбачено застосування оптичного сенсора MH-Z19B, що базується на інфрачервоній технології NDIR та містить підігрівач і вбудований фільтр для калібрування. Це забезпечить високу стабільність і достовірність вимірювань за цим параметром (рис. 2.10) [23]. Однак на ринку присутні й інші варіанти датчиків CO_2, які варто розглянути.

Рисунок 2.10 – Датчик концентрації вуглекислого газу MH-Z19B

MH-Z19B – це цифровий сенсор CO_2, побудований на основі недисперсійної інфрачервоної технології (NDIR). Він містить два інфрачервоні датчики, оптичну камеру, газовий фільтр та мікровентилятор.

Даний сенсор вимірює концентрацію вуглекислого газу в діапазоні 0-5000 частин на мільйон з точністю до +/– 50 частин на мільйон. Для підвищення стабільності показань передбачено автоматичну функцію базової лінії.

Сенсор відрізняється низьким енергоспоживанням – 120 мА в режимі нагріву і 30 мА в нормальному режимі. Він має вбудований нагрівач для підтримання оптимальної температури газової камери. Зв'язок з MH-Z19B відбувається за допомогою цифрового UART інтерфейсу на швидкості 9600 бод.

За співвідношенням якості та ціни, даний сенсор є оптимальним для використання у системі моніторингу рівня CO_2.

MG-811 – це недорогий електрохімічний датчик для вимірювання концентрації CO_2 в діапазоні 0-10000 частин на мільйон. (рис. 2.11) [24]. Він відрізняється компактними розмірами і простотою інтеграції, але має обмежений термін служби (близько 3 років) і нижчу точність вимірювань у порівнянні з MH-Z19B. Типова точність MG-811 становить ±250 частин на мільйон.

Рисунок 2.11 – Датчик MG-811

SCD30 від Sensirion – це високоточний датчик CO_2 з технологією непрямого вимірювання NDIR (рис. 2.12) [24]. Він забезпечує виняткову точність ±30 частин на млн. і низьке енергоспоживання. SCD30 також може вимірювати температуру і вологість. Однак істотним недоліком є його відносно висока вартість порівняно з іншими варіантами.

Рисунок 2.12 – Датчик SCD30

MG-811, хоча й є бюджетним рішенням, поступається MH-Z19B за точністю та терміном експлуатації. З іншого боку, SCD30 пропонує найвищу точність, але його висока вартість може бути виправданою лише для спеціалізованих систем моніторингу CO_2 з підвищеними вимогами до якості даних.

Отже, вибір MH-Z19B як датчика CO_2 для цього проекту є оптимальним рішенням, що поєднує достатню точність, компактні розміри та прийнятну ціну. Хоча альтернативні датчики можуть бути кращими за окремими параметрами, MH-Z19B забезпечує найкращий баланс характеристик для реалізації поставленого завдання моніторингу рівня вуглекислого газу в приміщеннях.

Для передачі даних до хмарного сховища, використовується платформа Firebase (рис. 2.13) [26]. Firebase – це хмарна платформа, розроблена компанією Google, яка надає різноманітні інструменти та сервіси для розробки мобільних та веб-додатків.

Однією з ключових можливостей Firebase є забезпечення ефективної та масштабованої передачі даних, що робить його відмінним вибором для проектів, де важливо миттєво обмінюватися інформацією [13, 26]. Використання Firebase для передачі даних через Wi-Fi є важливим елементом для проектів Інтернету Речей (IoT) або будь-яких додатків, які вимагають реального часу.

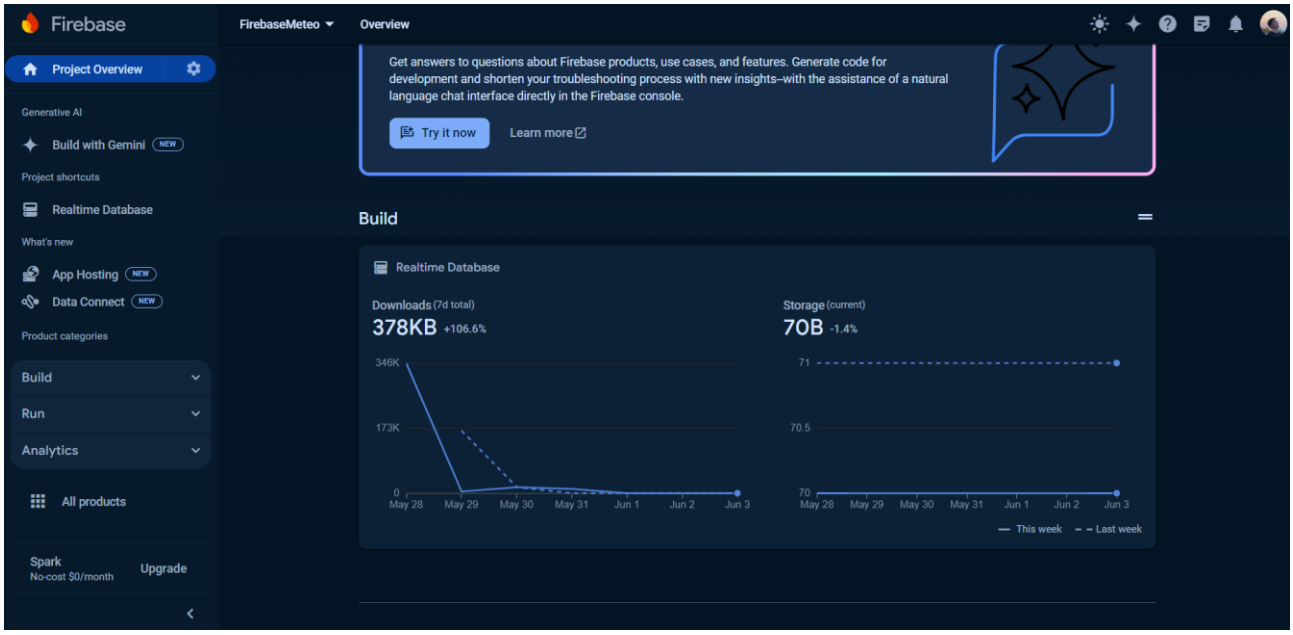

Рисунок 2.13 – Хмарна платформа Firebase

Використання Firebase для передачі даних через Wi-Fi дозволяє покращити ефективність та надійність обміну інформацією в реальному часі, роблячи проект більш гнучким та відзначаючись високою продуктивністю.

В результаті, обрані сенсори та компоненти відображають ретельне планування та стратегічний підхід до розробки системи. Їхнє інтегрування впливає на якість та ефективність проекту, роблячи його готовим до високотехнологічного майбутнього. З цими обраними елементами проект забезпечений надійними, точними та продуктивними засобами вимірювання, необхідними для досягнення його поставлених цілей.

2.5 Дослідження основних законів управління в лінійних САУ

Законом управління називається функціональна залежність вихідної величини пристрою управління від його вхідної величини, складена без урахування динамічних запізнень елементів пристрою управління. На рис. 2.14 наведено класичну схему управління з одиничним негативним зворотним зв'язком.

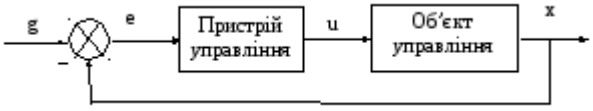

Рисунок 2.14 – Класична схема САУ

Вид передавальної функції пристрою управління визначає закон управління. На сьогодні у промисловості розрізняють чотири основні закони керування: пропорційний, інтегральний, пропорційно-інтегральний, пропорційно-інтегро-диференціальний.

При пропорційному законі управління передавальна функція пристрою управління або П-регулятора визначається за формулою:

$$W_{\text{ПУ}}(s) = k. \tag{1}$$

При інтегральному законі управління передавальна функція пристрою управління або І-регулятора визначається за формулою:

$$W_{\text{ПУ}}(s) = \frac{k}{s}. \tag{2}$$

При інтегральному законі управління пристрій управління виробляє сигнал, пропорційний інтегралу від похибки.

Порівняно із П-законом І-закон управління забезпечує астатизм системи, проте динамічні властивості системи з І-законом управління зазвичай гірші, ніж у системи з П-законом. Введення інтеграла у закон управління, як правило, підвищує коливальність системи і у деяких випадках може зробити систему нестійкою, якщо не вживати спеціальних заходів.

При пропорційно-інтегральному законі управління пристрій управління формує суму двох сигналів: пропорційного похибці та пропорційного інтегралу від похибки. Передавальна функція пристрою управління або ПІ-регулятора визначається за формулою:

$$W_{\text{ПУ}}(s) = k_1 + \frac{k_2}{s}. \quad (3)$$

За своїми властивостями пропорційно-інтегральна система у перехідному режимі наближається до системи із пропорційним управлінням, а у сталому режимі подібна до системи з інтегральним управлінням.

При пропорційно-інтегро-диференціальному управлінні пристрій управління формує сигнал, що дорівнює сумі трьох складових: пропорційної похибки, інтегралу від похибки та похідної похибки. Передавальна функція пристрою управління або ПІД-регулятора визначається за формулою:

$$W_{\text{ПУ}}(s) = k_1 + \frac{k_2}{s} + k_3 s. \quad (4)$$

Введення у закон управління похідної від похибки збільшує швидкість реакції системи на зміну вхідного впливу, підвищує її швидкодію, при цьому зменшується похибка системи у динамічному режимі, покращуються її динамічні властивості.

3 РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ТА ПРОГРАМНОЇ ЧАСТИНИ

3.1 Вибір середовища для розробки

Після вибору модуля ESP8266 як апаратної основи, наступним важливим кроком є вибір відповідного середовища розробки програмного забезпечення. Середовище розробки відіграє ключову роль у процесі програмування та налагодження коду, надаючи необхідні інструменти, бібліотеки та допоміжні функції.

Існує кілька популярних варіантів середовищ розробки, сумісних з ESP8266. Кожне з них має свої сильні сторони, можливості та особливості застосування. Для прийняття обґрунтованого рішення важливо розглянути та проаналізувати альтернативи, враховуючи специфіку поставленого завдання та вимоги до проекту. Розглянемо детальніше три провідні середовища розробки для ESP8266, порівняємо їх ключові характеристики, переваги та недоліки. Це допоможе зробити виважений вибір оптимального рішення, що найкраще підходить для реалізації даного проекту створення інтелектуального модуля вимірювання.

Arduino IDE Середовище Arduino IDE є одним з найпопулярніших і простих у використанні. Воно забезпечує інтуїтивний інтерфейс, обширну документацію та велику спільноту користувачів. Хоча спочатку вона створювалася для плат Arduino, Arduino IDE підтримує ESP8266 через додаткові бібліотеки. Однак, вона може мати обмеження за розміром коду та продуктивністю для більш складних проектів.

Arduino IDE є cross-platform середовищем, тобто працює на Windows, MacOS та Linux. Це дозволяє використовувати його на різних комп'ютерах та операційних системах без прив'язки до однієї платформи. Також воно має простий та зрозумілий інтерфейс. Навіть початківці можуть швидко розпочати розробку проектів на його основі (рис. 3.1) [31].

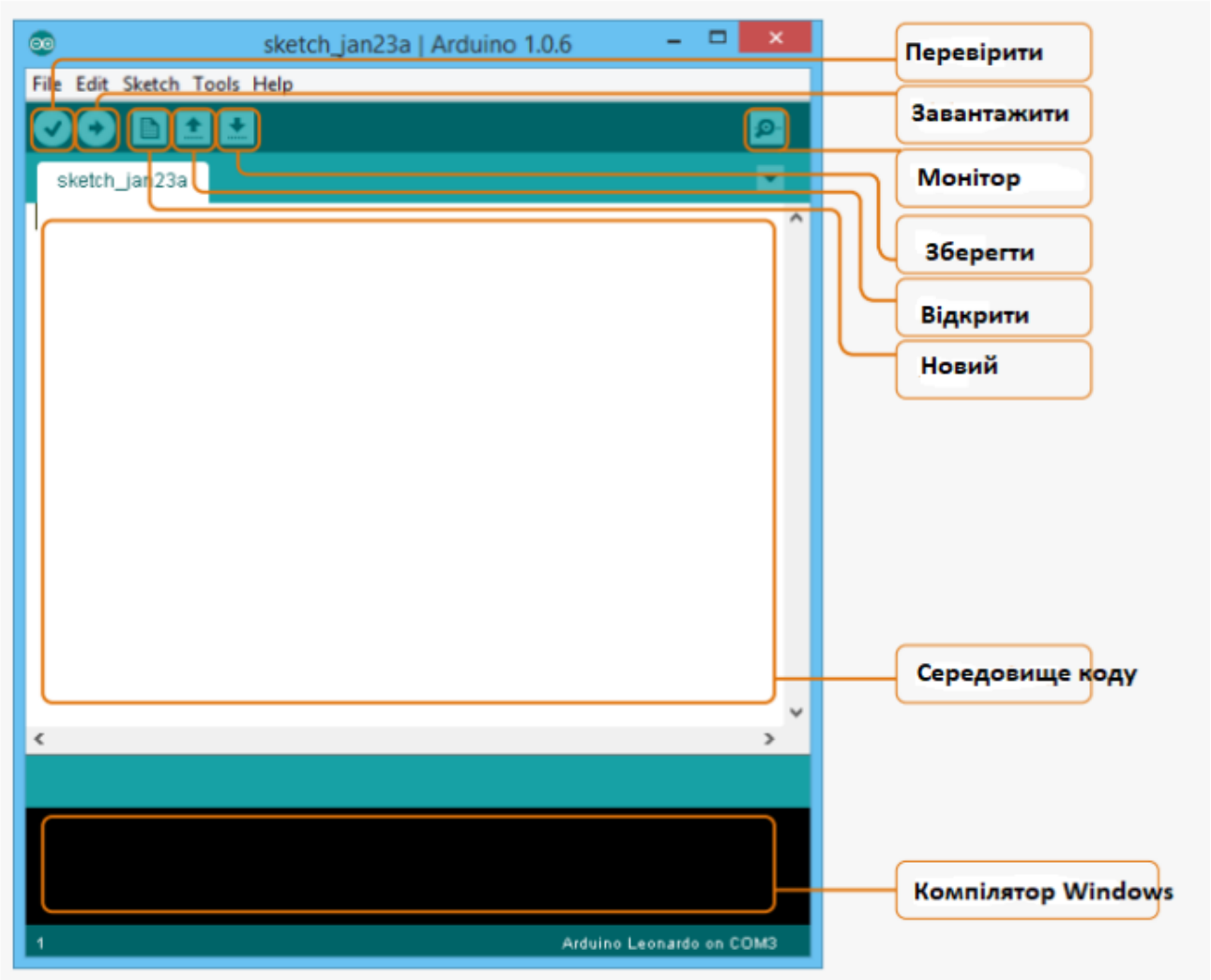

Рисунок 3.1 – Інтерфейс програми Arduino IDE

Вибір Arduino IDE як середовища розробки для програмної частини системи обумовлений наступними перевагами:

Перша перевага – це простота та зручність використання. Arduino IDE має зрозумілий інтерфейс, інтуїтивно зрозумілі функції та бібліотеки, що полегшує процес розробки програмного забезпечення.

Друга перевага – підтримка широкого спектру апаратних платформ. Arduino IDE підтримує багато різних мікроконтролерів, включаючи ESP8266, що використовується в даному проекті.

Третя перевага – наявність великої кількості готових бібліотек та прикладів коду, у розпорядженні розробників є величезна кількість

безкоштовних бібліотек для роботи з різноманітними компонентами, що значно прискорює процес розробки.

Четверта перевага – відкритість та масштабованість. Arduino IDE є відкритим програмним забезпеченням, що постійно вдосконалюється спільнотою розробників. Це дає можливість розширювати та адаптувати функціональність під конкретні потреби проекту.

Ще однією перевагою є величезна користувацька спільнота Arduino IDE. Тому завжди можна знайти відповіді на питання та приклади використання в мережі Інтернет. Крім того, є багато додаткових бібліотек та прикладів, орієнтованих саме на роботу з ESP8266. Це спрощує розробку проектів на даному мікроконтролері.

Також варто відзначити зручний менеджер плат в Arduino IDE для автоматичного виявлення та налаштування мікроконтролерів. А також наявність вбудованого завантажувача коду на плату для швидкої реалізації проекту.

Espressif IoT Development Framework – офіційне середовище розробки від Espressif Systems для ESP32 та ESP8266. Воно забезпечує низькорівневий доступ до апаратних ресурсів та бібліотек для максимальної продуктивності та гнучкості (рис. 3.2) [27].

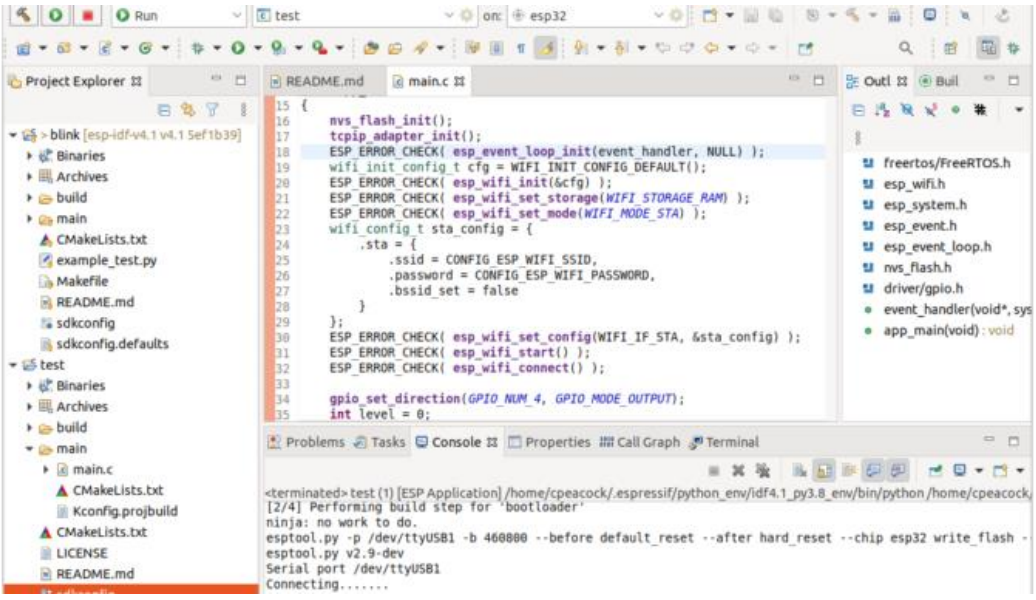

Рисунок 3.2 – Середовище розробки Espressif IoT Development Framework

Інструменти ESP-IDF дозволяють виконувати налагодження програм, відстежувати використання пам'яті та аналізувати продуктивність системи. Також, ESP-IDF поставляється з великою кількістю вбудованих бібліотек та компонентів, які охоплюють різноманітні функції, такі як робота з мережею, файловими системами, протоколами зв'язку та багато іншого. ESP-IDF є ідеальним вибором для досвідчених розробників та проектів, які вимагають максимальної продуктивності, гнучкості та повного контролю над апаратними ресурсами.

PlatformIO – це крос-платформне середовище розробки, що підтримує безліч мікроконтролерів, включаючи ESP8266. Воно пропонує розширені можливості, такі як інтеграція систем контролю версій, бібліотеки та інструменти для спільної роботи (рис. 3.3) [28].

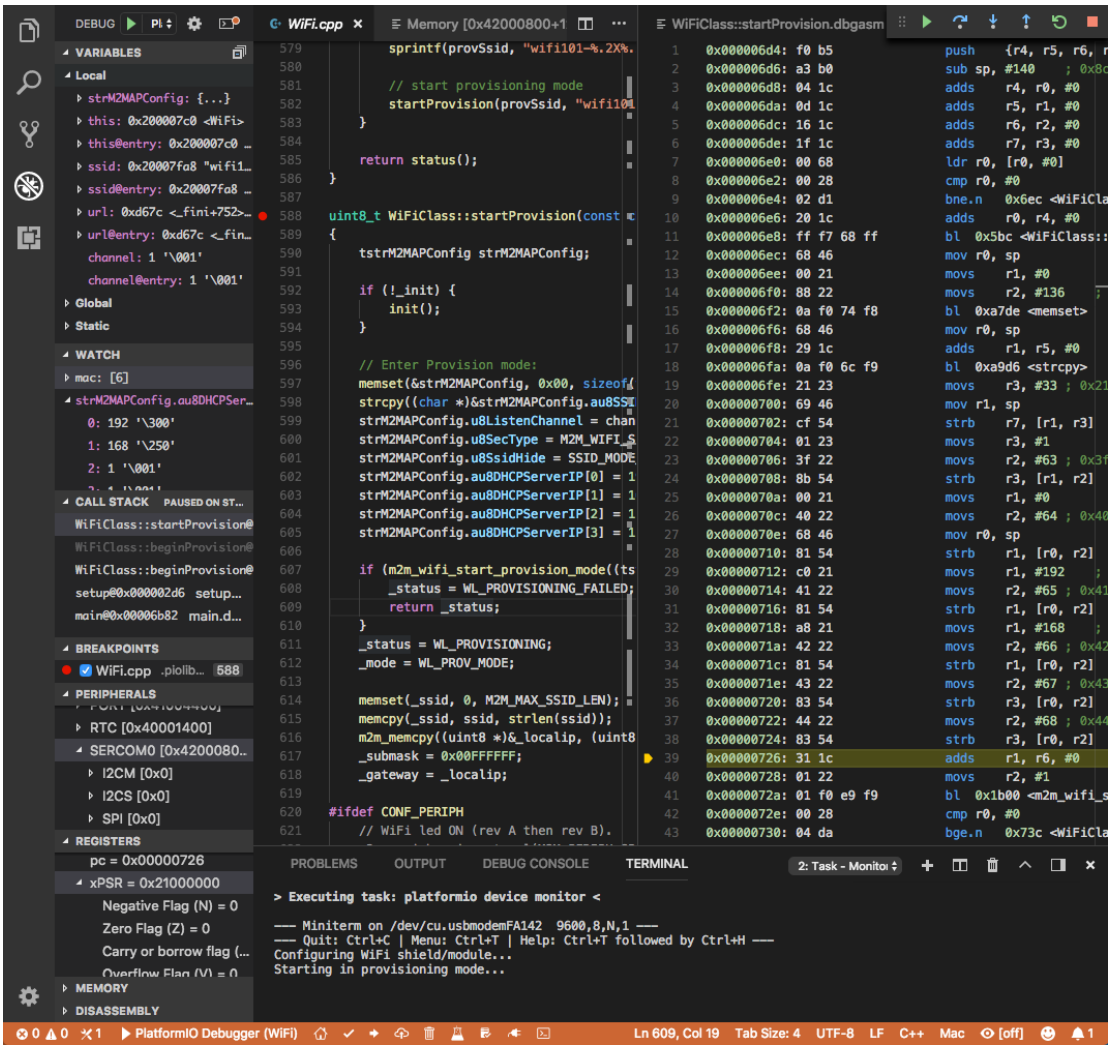

Рисунок 3.3 – Середовище розробки PlatformIO

PlatformIO має вбудований менеджер бібліотек, який полегшує пошук, встановлення та оновлення необхідних бібліотек та фреймворків для розробки проектів, забезпечує інструменти для ефективної спільної роботи в команді, такі як вбудовані можливості для внесення змін, перегляду історії та злиття коду, інтегрується з популярними хмарними сервісами, такими як AWS IoT, Microsoft Azure IoT Hub та інші, спрощуючи розробку проектів Інтернету речей (IoT).

Хоча PlatformIO пропонує багато потужних можливостей, деякі його функції, такі як хмарне середовище розробки та додаткові інструменти, можуть вимагати передплати. Крім того, налаштування та конфігурація PlatformIO може бути дещо складнішою порівняно з більш простими середовищами, такими як Arduino IDE.

Враховуючи специфіку даного проекту, а саме розробку вбудованого програмного забезпечення для автоматизованого модуля вимірювання параметрів навколишнього середовища, найбільш підходящим вибором є Arduino IDE.

Хоча ESP-IDF та PlatformIO можуть запропонувати більш просунуті можливості, вони вимагають додаткових зусиль для освоєння і можуть бути надмірно складними для даного завдання. Arduino IDE забезпечує оптимальний баланс між простотою використання, доступними ресурсами та достатньою функціональністю для успішної реалізації проекту.

Важливим компонентом розробленої системи є мобільний додаток, який забезпечує зручний інтерфейс для відображення даних та керування налаштуваннями пристрою. Для створення такого додатку необхідно обрати відповідне середовище розробки, яке б поєднувало потужний функціонал з простотою використання.

У світі розробки мобільних додатків існує чимало інструментів, таких як Android Studio, Xcode, Flutter, React Native та інші. Проте для вирішення поставленого завдання найкращим вибором є середовище MIT App Inventor. Це потужна платформа з візуальним програмуванням, розроблена Массачусетським технологічним інститутом спеціально для створення додатків на Android.

Для створення дизайну та програмування мобільного додатку, було використано MIT App Inventor, середовище візуального програмування (рис. 3.4) [30]. Воно призначене для створення додатків для операційної системи Android без необхідності написання складного програмного коду.

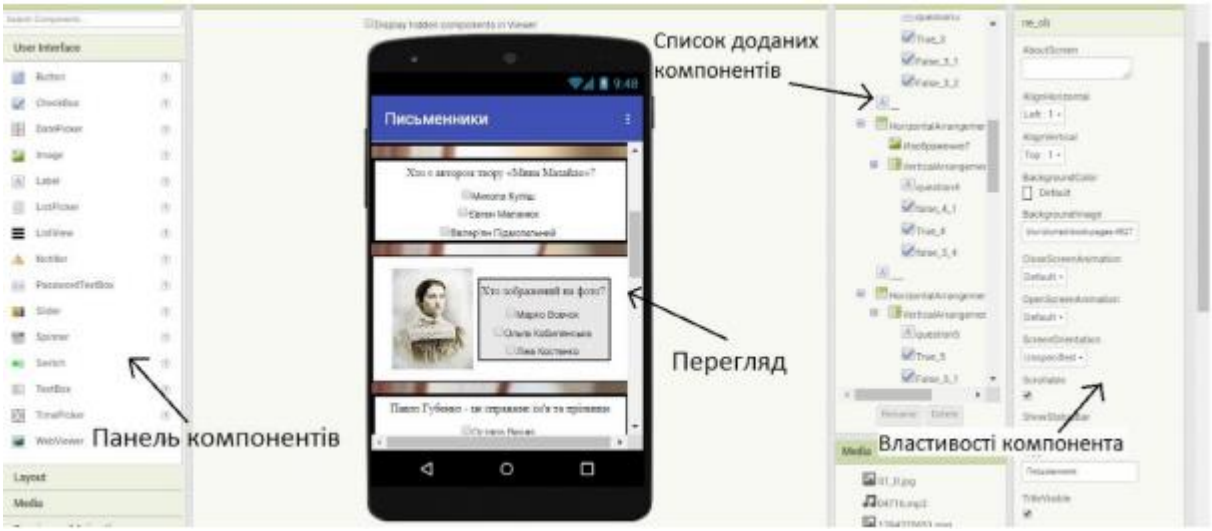

Рисунок 3.4 – Інтерфейс середовища MIT App Inventor

Вибір MIT App Inventor як середовища розробки для програмної частини системи обумовлений наступними перевагами:

Простота та наочність – MIT App Inventor є платформою візуального програмування, що дозволяє створювати додатки без написання складного коду. Це робить розробку мобільних додатків доступною для широкого кола користувачів.

Багата бібліотека компонентів – MIT App Inventor надає великий вибір готових компонентів, таких як кнопки, текстові поля, екрани, датчики тощо. Це значно спрощує реалізацію необхідного функціоналу.

Інтеграція з хмарними сервісами – MIT App Inventor дозволяє легко інтегрувати розроблювані додатки з різними хмарними платформами, зокрема з Firebase, що використовується в даному проекті для забезпечення зберігання та синхронізації даних.

Незважаючи на очевидні переваги MIT App Inventor, ця платформа має ряд недоліків, які варто враховувати. Оскільки App Inventor базується на візуальному підході, розробники мають обмежений доступ до модифікації коду на низькому рівні, що може стати на заваді реалізації специфічного функціоналу. Незважаючи на велику бібліотеку MIT App Inventor, вона все одно має певні межі, і не завжди можна знайти потрібний компонент для реалізації певної функції.

Android Studio – це офіційне інтегроване середовище розробки для створення додатків для Android від компанії Google (рис. 3.5) [29].

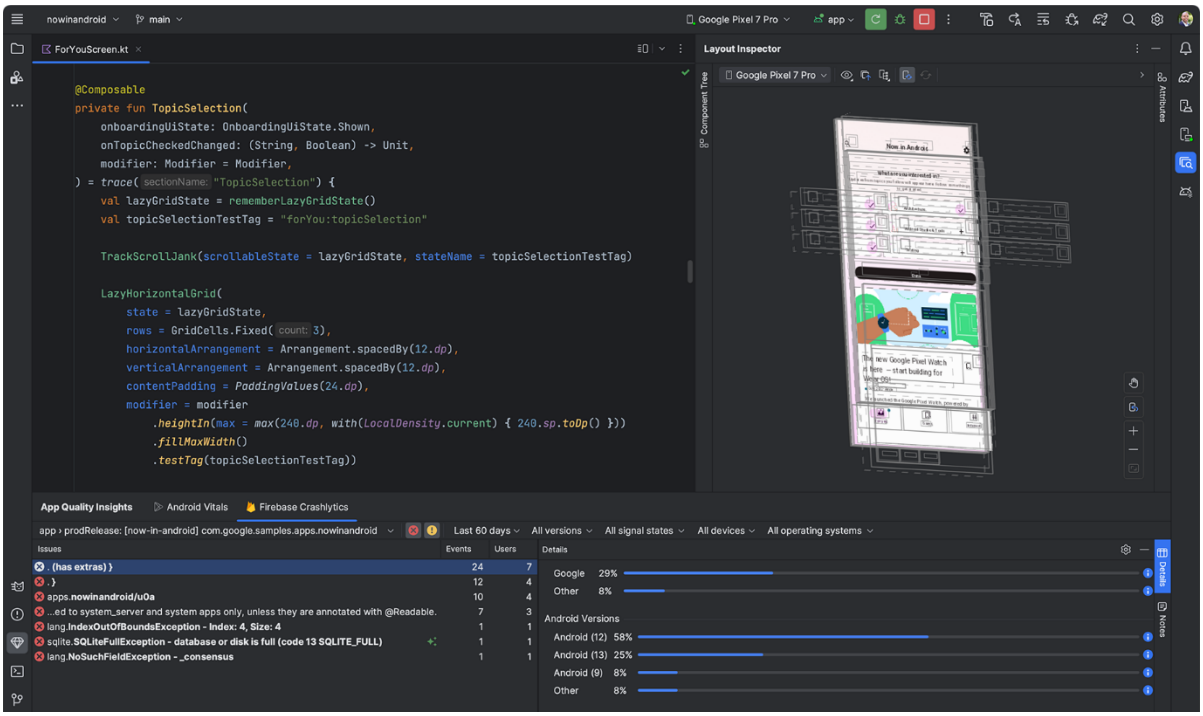

Рисунок 3.5 – Середовище розробки мобільних додатків Android Studio

Android Studio надає повний контроль над кодом, включаючи налаштування на низькому рівні та оптимізацію. Також, середовище інтегрує бібліотеки та інструменти для розробки інтерфейсів згідно з керівними принципами Material Design від Google.

Android Studio є громіздким рішенням з великою кількістю плагінів та залежностей, що вимагає багато місця на диску та часу для встановлення та оновлення. Середовище Android Studio досить вимогливе до обчислювальних

ресурсів комп'ютера, особливо при роботі з великими проектами. Це може призводити до уповільнення роботи на менш потужному обладнанні.

Таким чином, вибір MIT App Inventor як середовища розробки мобільного додатку для супроводу розробленого модулю вимірювання є виправданим рішенням. Його простота, навчальні ресурси, можливості підключення та крос-платформеність роблять платформу ідеальним інструментом для досягнення поставлених цілей у рамках цього проекту.

3.2 Розробка схеми підключення

Схема підключення даних компонентів до плати ESP8266 була розроблена з використанням програмного забезпечення Fritzing. Середовище Fritzing – це відкрите джерельне рішення, яке дозволяє розробникам створювати схеми принципових електричних з'єднань, креслення друкованих плат та макети пристроїв у вигляді реалістичних 3D моделей. Програма постачається з бібліотекою популярних електронних компонентів, включаючи мікроконтролери, датчики, роз'єми тощо. Крім схем, Fritzing дозволяє переходити до створення макетів друкованих плат для виробництва пристроїв.

Всі сенсори під'єднуються безпосередньо до портів мікроконтролера згідно з їх технічними специфікаціями. Датчик DHT22 під'єднано до цифрового порту D1, датчик MH-Z19B під'єднано до послідовного порту (D3, D4). Різнокольорові проводи та з'єднання між цими компонентами чітко позначені. Вони показують, як підключено живлення (VIN, GND), лінії UART-зв'язку (Rx, Tx) та дані.

Використання цифрового та послідовного портів ESP8266 для підключення датчиків DHT22 та MH-Z19B відповідно дозволяє забезпечити ефективний збір даних та їх передачу без зайвих перетворень і конвертацій. Цифровий порт ідеально підходить для отримання показників температури та вологості від DHT22, в той час як UART інтерфейс забезпечує стабільний зв'язок з MH-Z19B для вимірювання рівня CO_2.

Компактність та оптимізація підключення всіх елементів не лише гарантує надійну роботу системи, але й сприяє зменшенню енергоспоживання та витрат матеріалів при виготовленні пристрою. Така конструкція підвищує ефективність використання обмежених ресурсів мікроконтролера та сприяє створенню портативного та енергоефективного рішення.

Ця схема дає чітке уявлення про апаратну конфігурацію системи моніторингу, побудованої на основі мікроконтролера ESP8266 та датчиків навколишнього середовища (рис. 3.6).

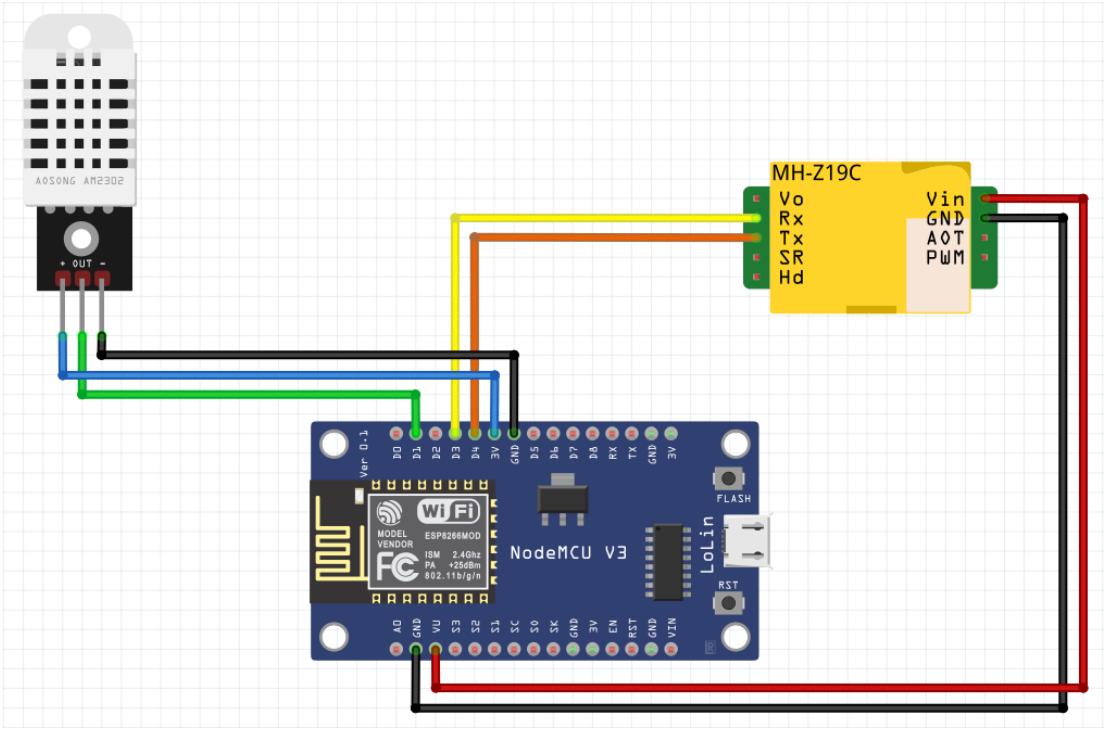

Рисунок 3.6 – Схема підключення мікроконтролера ESP8266, датчика температури DHT22 та датчика концентрації вуглекислого газу MH-Z19B

Розроблена схема дозволяє ефективно інтегрувати всі необхідні компоненти в єдину систему моніторингу параметрів навколишнього середовища. Така схемна реалізація дозволяє створити універсальний пристрій для моніторингу мікроклімату всередині приміщень. Датчики DHT22 та MH-Z19C забезпечують точні виміри температури, вологості та концентрації CO_2

відповідно. Компактне та оптимізоване підключення всіх елементів гарантує надійну роботу системи.

Важливо також зазначити, що обрана конфігурація підключення компонентів дозволяє легко розширювати можливості цієї системи моніторингу у майбутньому. За потреби можна додати нові датчики або інші модулі для збору додаткової інформації про стан навколишнього середовища, підключивши їх до вільних портів ESP8266.

Розроблену схему було розміщено в пластиковий корпус з металевими сітками (рис. 3.7), щоб забезпечувати повітряне охолодження пристрою та коректне вимірювання показників з датчиків. Використання пластикового корпусу з металевими сітками забезпечує не лише естетичний вигляд пристрою, але й сприяє оптимальному теплообміну. Це дозволяє уникнути перегріву електронних компонентів та забезпечити стабільну роботу системи навіть при тривалій експлуатації. Також, завдяки сіткам, датчики отримують максимальний доступ до навколишнього повітря, дозволяючи проводити вимірювання на деякій відстані від основного корпусу модуля, де можуть бути інші фактори.

Рисунок 3.7 – Розроблений пристрій MeteoAssistant

Розроблений в рамках даного проекту інтелектуальний модуль для має компактні габаритні розміри 90 мм х 65 мм х 35 мм Така мала конструкція забезпечує зручність розміщення пристрою у різноманітних житлових та робочих приміщеннях (рис. 3.8). Невеликі розміри корпусу дозволяють розташовувати модуль на стінах, стелях, робочих поверхнях тощо, уникаючи перешкод та не займаючи багато місця.

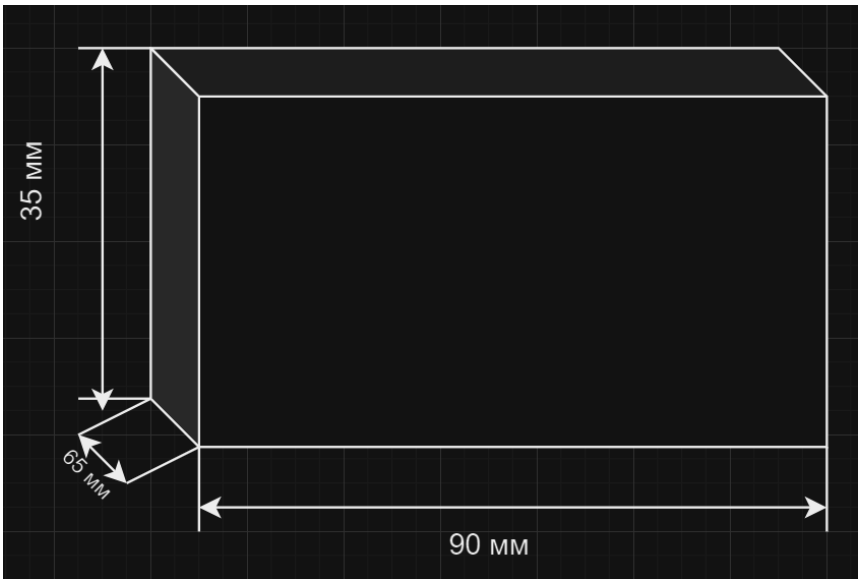

Рисунок 3.8 – Розміри розробленого модуля

Компактність модуля стала можливою завдяки ретельному підбору електронних компонентів та грамотному конструктивному виконанню. Незважаючи на малогабаритні розміри, інтелектуальний модуль зберігає всі необхідні функціональні можливості для моніторингу ключових показників мікроклімату – температури, вологості повітря та рівня концентрації вуглекислого газу. Оптимізація розмірів не йде на шкоду якості вимірювань та точності отриманих результатів.

Таким чином, розроблена схема підключення компонентів забезпечує ефективну інтеграцію всіх необхідних елементів в єдину систему моніторингу, оптимізує використання ресурсів, сприяє надійній та енергоефективній роботі, а також відкриває можливості для подальшого розширення функціоналу пристрою.

3.3 Розробка інтерфейсу користувача

Для реалізації мобільного додатку системи моніторингу параметрів навколишнього середовища було використано середовище візуального програмування MIT App Inventor. Цей підхід дозволив створити інтуїтивний та функціональний інтерфейс користувача шляхом компонування готових візуальних елементів.

Візуальне програмування стало ключовою перевагою MIT App Inventor. Програмна логіка додатку реалізована за допомогою візуального компонування блоків без необхідності писати складний код, що забезпечило простоту та швидкість розробки.

Бібліотека MIT App Inventor містить широкий вибір готових компонентів інтерфейсу – екрани, кнопки, поля введення, діаграми тощо. Їх використання дозволило побудувати зручний та зрозумілий інтерфейс для відображення виміряних параметрів.

Блоки App Inventor забезпечують можливість здійснювати обробку та маніпуляції з даними, отриманими від апаратних датчиків системи моніторингу. Це дало змогу виконувати необхідні перетворення, розрахунки та візуалізацію виміряних значень.

Інтеграція з хмарним сервісом Google Firebase дозволила реалізувати зберігання виміряних даних у хмарній базі даних та їх синхронізацію між мобільним додатком і системою моніторингу.

Створений додаток є крос-платформним і може бути встановлений на різні мобільні пристрої на базі операційної системи Android.

Загальна концепція інтерфейсу мобільного додатку базується на принципах зручності використання, інформативності та інтуїтивної зрозумілості. Метою є створення простого та функціонального додатку, який надаватиме користувачеві всю необхідну інформацію в наочному вигляді.

При запуску додатку відображається ознайомчий екран (рис. 3.9), де вже можна побачити дизайн додатку та допомогою кнопки «Continue» здійснити перехід до головного екрану відображення даних.

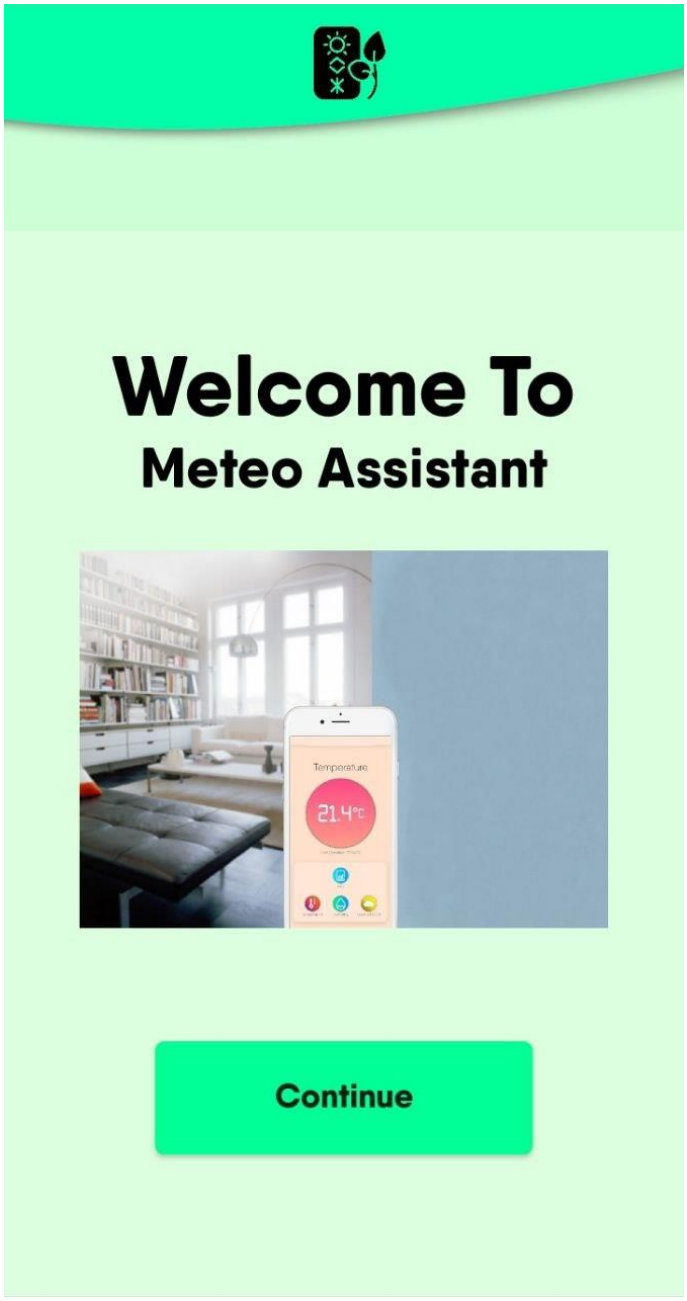

Рисунок 3.9 – Ознайомчий екран додатку

Головний екран додатку відображає поточні виміряні значення з датчику та час, коли саме відбувся замір даних. Такий дизайн допоможе користувачу орієнтуватися в актуальності даних в режимі реального часу (рис. 3.10).

Рисунок 3.10 – Головний екран додатку

Центральним елементом інтерфейсу є велике коло, в якому відображається обране значення, виміряне інтелектуальним модулем. Великий контрастний цифровий шрифт забезпечує чітке відображення значень, що дозволяє легко відстежувати обраний ключовий параметр.

Під колом температури розміщений рядок «Last Updated», який інформує користувача про час останнього оновлення показників системою моніторингу. Це дозволяє впевнитись у актуальності відображених даних.

Внизу екрану є навігаційна панель кнопок, по якій користувач зможе відкривати сторінки для моніторингу інших типів даних. Синя іконка з графіком відкриває розділ, де користувач може ознайомитись з гранично-допустимі показниками, які забезпечують комфортне середовище для людини (рис. 3.11). Рожево-фіолетова іконка термометра надає деталізовану інформацію про поточну температуру. Синьо-зелена іконка з краплею води призначена для відображення рівня вологості повітря у приміщенні. Жовто-оранжева хмарка CO_2 надає доступ до відстеження концентрації вуглекислого газу.

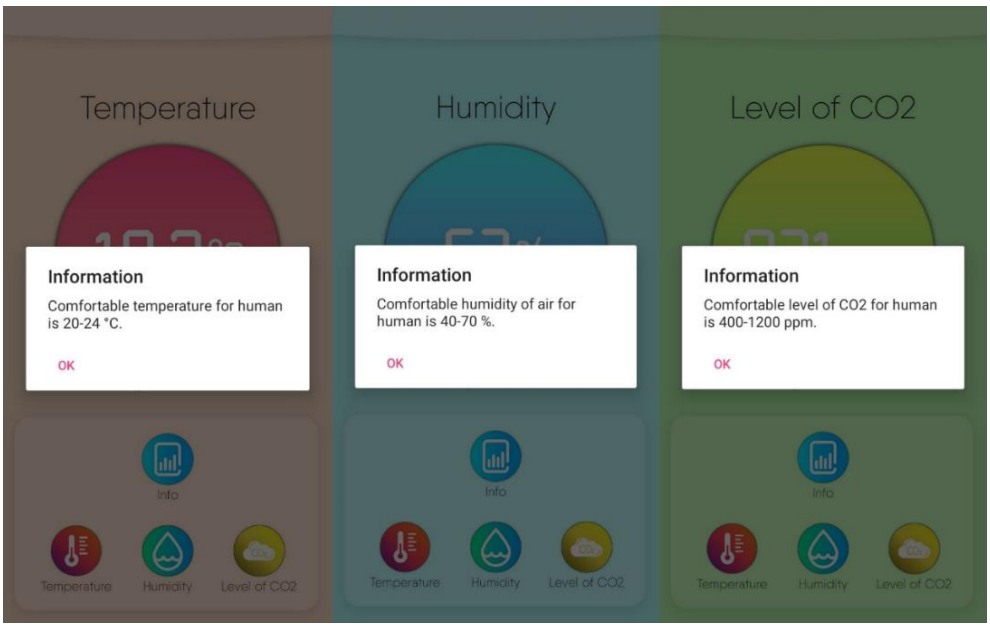

Рисунок 3.11 – Інформація при натисканні кнопки «Info»

Одною з ключових переваг розробленого мобільного додатку є інтуїтивна система відображення граничних норм температури за допомогою кольорової індикації. Ця функція допомагає користувачам швидко оцінити, чи знаходиться температура у комфортних межах, чи вона виходить за рамки рекомендованих норм. Приклад блочного коду реалізації функції представлено на рисунку 3.12, де реалізовано процес індикації значень для температури.

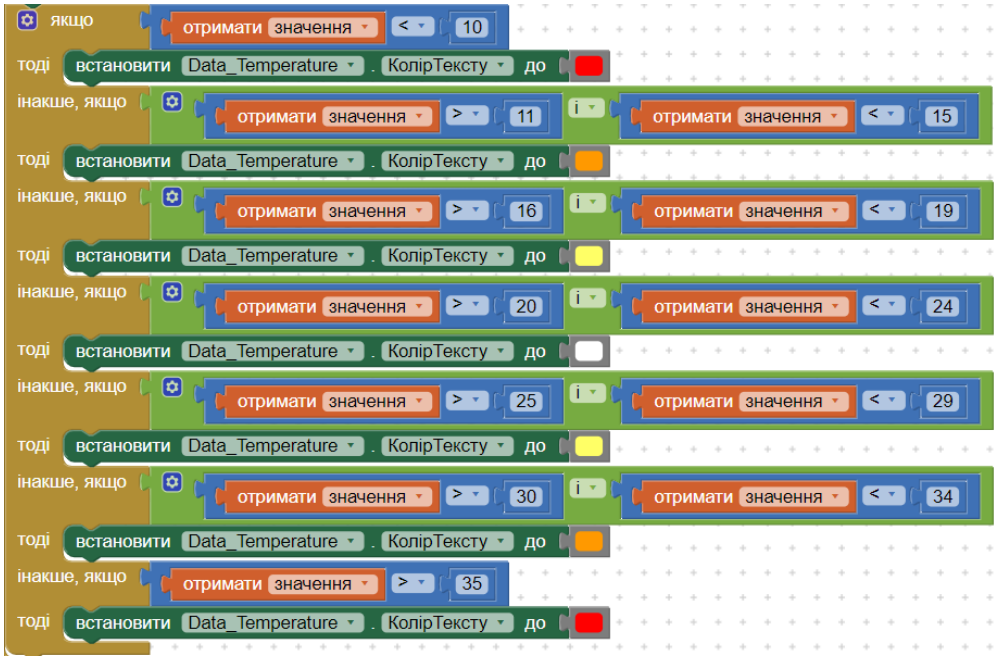

Рисунок 3.12 – Реалізація функції індикації для температури

Додаток використовує шкалу кольорів від червоного до білого для візуалізації температурного діапазону. Якщо температура в приміщенні опускається нижче 10 °C, значення на екрані відображається червоним кольором, сигналізуючи про низьку, некомфортну температуру. При температурі від 11 °C до 15 °C застосовується помаранчевий колір, інформуючи про прохолодні умови.

У разі потрапляння температури у межі від 16 °C до 19 °C на екрані з'являється жовте відображення, сповіщаючи про нижню границю комфортного діапазону. Ідеальний комфортний температурний режим від 20 °C до 24 °C відображається білим кольором.

Якщо температура починає перевищувати верхню межу комфорту від 25 °C до 29 °C, значення знову стає жовтим, попереджаючи про спекотні умови (рис. 3.13). При більш високій температурі від 30 °C до 34 °C застосовується помаранчевий колір. Якщо температура сягає критичної позначки вище 35 °C, її значення відображається яскраво-червоним для акцентування уваги на занадто високій температурі.

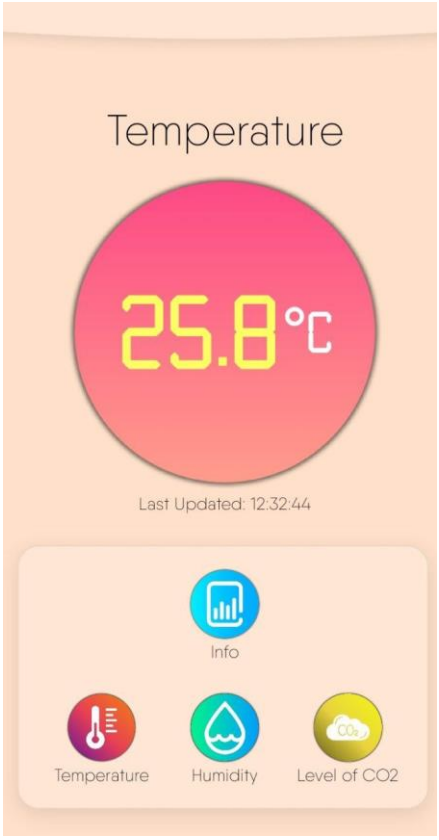

Рисунок 3.13 – Приклад роботи індикації температури

Аналогічно до температурного режиму, мобільний додаток також використовує систему кольорової індикації для наочної демонстрації рівня вологості повітря та його відповідності рекомендованим нормам. Приклад блочного коду реалізації системи індикації вологості повітря представлено на рисунку 3.14.

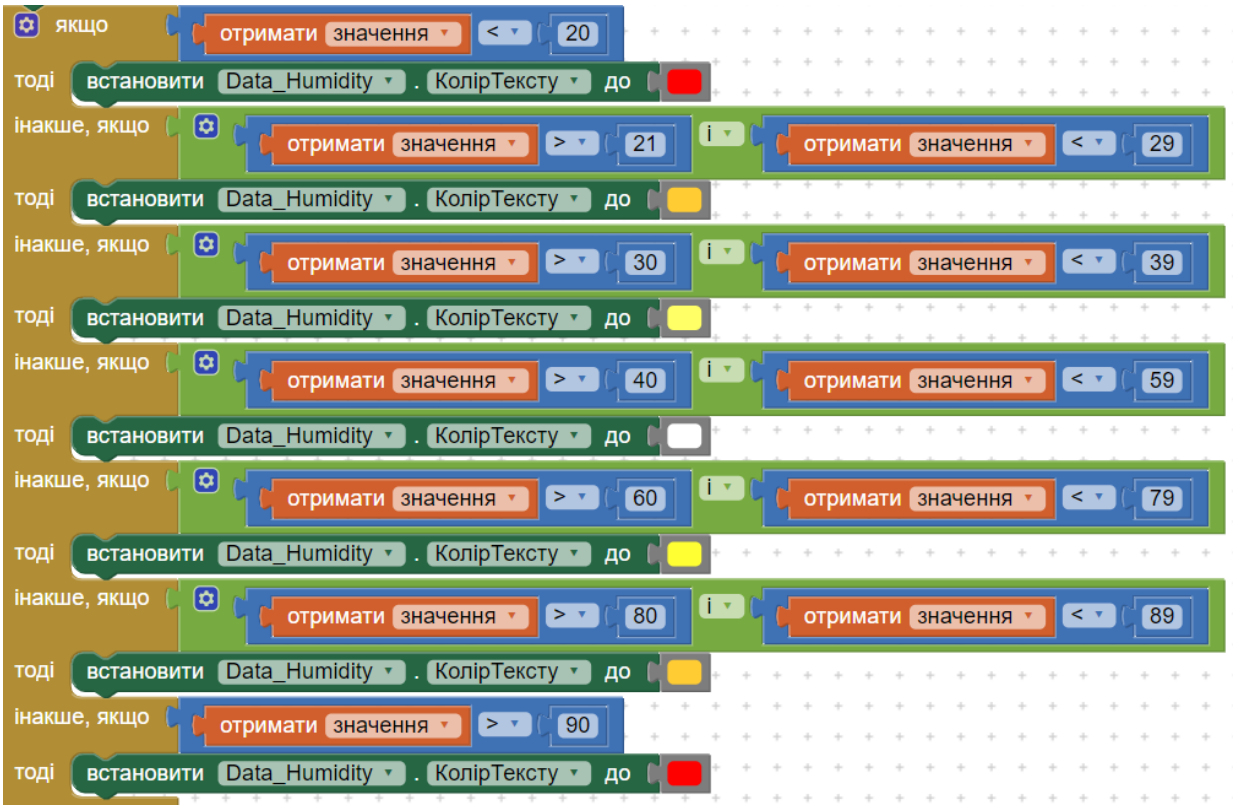

Рисунок 3.14 – Реалізація функції індикації для вологості повітря

Якщо рівень вологості в приміщенні є дуже низьким, менше 20 %, значення на екрані відображається червоним кольором, сигналізуючи про сухе, некомфортне середовище. При вологості від 21 % до 29 % застосовується помаранчевий колір як попередження про низьку вологість.

Потрапляння рівня вологості в діапазон від 30 % до 39 % призводить до жовтого відображення значення, вказуючи на сухуватий мікроклімат, але вже ближчий до норми. Ідеальний комфортний діапазон вологості від 40 % до 59 % супроводжується білим кольором на екрані (рис. 3.15).

Рисунок 3.15 – Приклад роботи індикації вологості повітря

Коли вологість збільшується до 60-79 %, її значення стає жовтим, попереджаючи про підвищену вологість. При вологості від 80 % до 89 % застосовується помаранчевий колір як індикатор високого рівня вологості. Якщо вологість сягає критичної позначки вище 90 %, її значення відображається яскраво-червоним для акцентування уваги на надмірно вологих умовах.

Для відстеження рівня концентрації вуглекислого газу та його відповідності рекомендованим нормам, мобільний додаток також використовує наочну систему кольорової індикації. Приклад блочного коду реалізації системи індикації рівня вуглекислого газу представлено на рисунку 3.16.

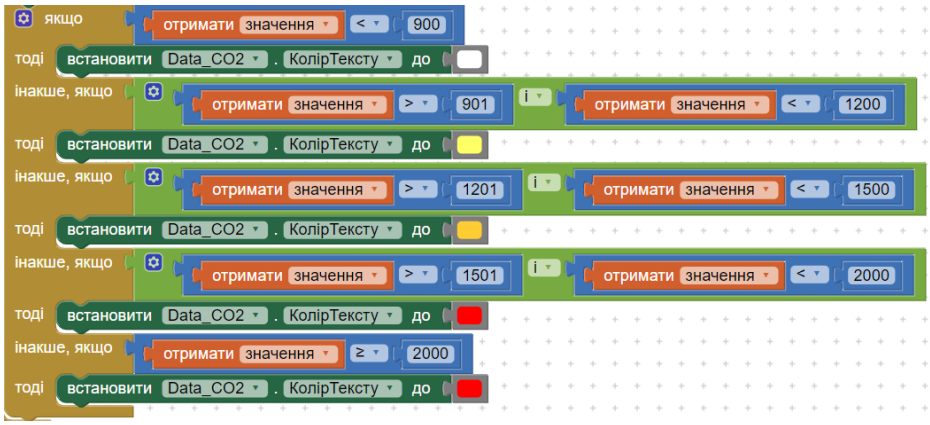

Рисунок 3.16 – Реалізація функції індикації для рівня вуглекислого газу

Якщо концентрація CO_2 у приміщенні знаходиться в діапазоні до 900 частин на мільйон, що вважається безпечним рівнем, її значення відображається білим кольором на екрані.

Проте, якщо рівень CO_2 підвищується і потрапляє в діапазон від 901 до 1200 частин на мільйон, колір індикації стає жовтим, попереджаючи про незначне перевищення норми та необхідність провітрювання.

При концентрації вуглекислого газу від 1201 до 1500 частин на мільйон застосовується помаранчевий колір індикатора, сигналізуючи про високий рівень CO_2, який може негативно впливати на самопочуття людей у приміщенні.

Якщо концентрація CO_2 сягає критичної позначки вище 1501 частин на мільйон, її значення відображається яскраво-червоним кольором (рис. 3.17). Це є тривожним сигналом про надмірно високий рівень вуглекислого газу та необхідність термінового провітрювання або вжиття відповідних заходів.

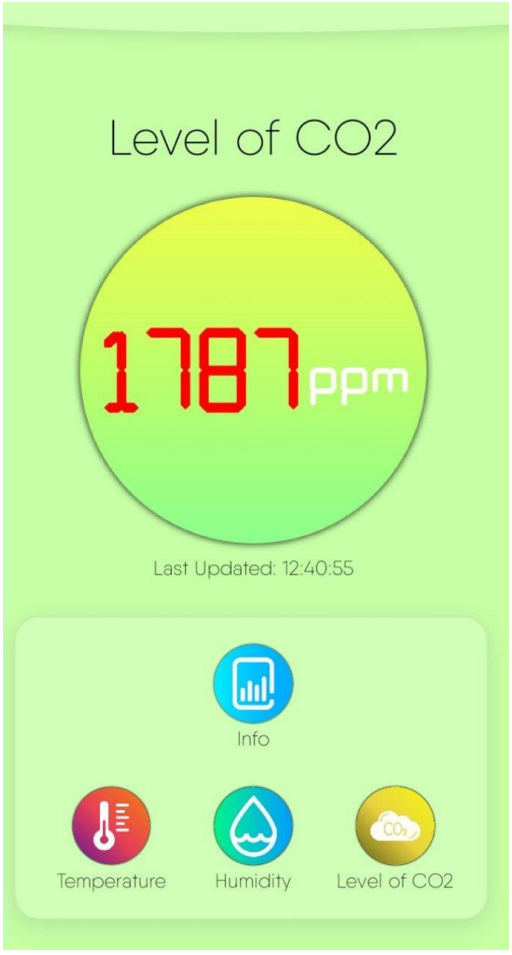

Рисунок 3.17 – Приклад індикації рівня вуглекислого газу

Така система кольорової індикації дозволяє користувачам інтуїтивно та миттєво оцінювати температурний режим, рівень вологості повітря та концентрацію вуглекислого газу у приміщенні та приймати необхідні заходи за потреби. Це робить додаток більш зручним у використанні та підвищує обізнаність щодо дотримання рекомендованих норм мікроклімату.

Загалом, додаток має величезне інформаційне коло з відображенням поточними даними обраного параметру, зручну інформаційну панель для переходу між екранами додатку та інформуванням користувача про оптимальні показники температури, вологості та рівня CO_2, що робить інтерфейс додатку легким для сприйняття.

3.4 Проведення експерименту

Для всебічної оцінки працездатності розробленої системи моніторингу параметрів навколишнього середовища в реальних умовах експлуатації та перевірки точності отриманих вимірювань було проведено експериментальне дослідження.

Експеримент проводився у житловому приміщенні – кімнаті площею 15 $м^2$, що використовується як робочий кабінет. Вентиляція забезпечувалась відкриттям вікна в режим провітрювання. Вимірювання проводились в двох режимах – з увімкненим опаленням приміщення та без нього, для оцінки впливу температурних умов. Тривалість експерименту в кожному з режимів становила 6 годин. Система моніторингу була розміщена на оптимальній висоті 160 см. від підлоги у віддаленні від вікна та опалювальних приладів для забезпечення максимально репрезентативних результатів. Вимірювання параметрів проводилось через розроблений мобільний додаток (рис. 3.18).

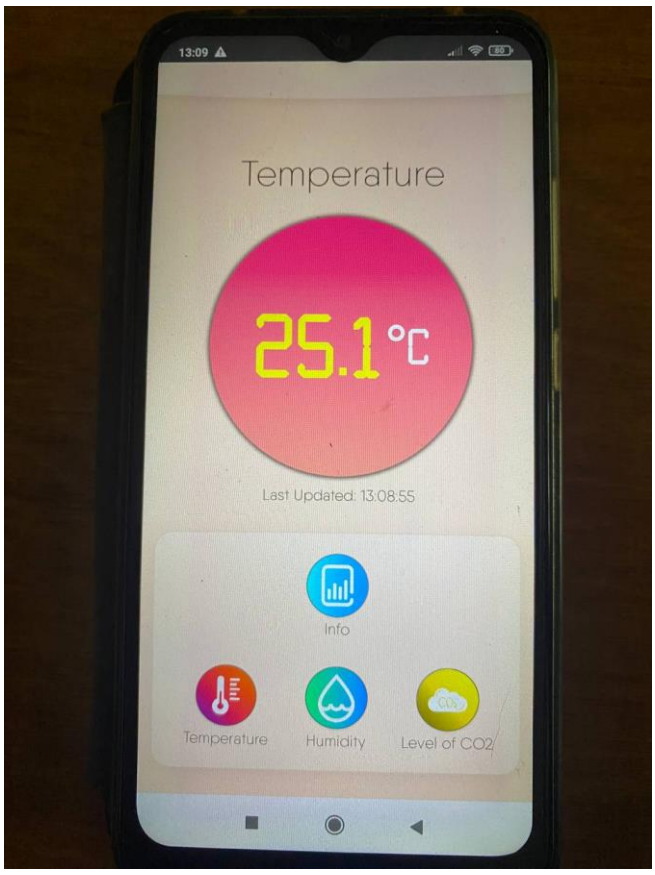

Рисунок 3.18 – Вимірювання параметрів через мобільний додаток

Для верифікації показників температури від датчика DHT22 використовувався побутовий пружинний термометр з ціною поділки 1 °C. Значення вологості та концентрації CO_2 оцінювались шляхом порівняння з рекомендованими нормативами комфортного мікроклімату згідно інформації з відкритих інтернет-джерел.

Методика проведення експерименту передбачала наступний порядок дій:

– встановлення системи моніторингу у визначене місце в приміщенні;

– відкриття вікна в режим «провітрювання» та залишення приміщення із зачиненими дверима для недопущення зовнішнього впливу;

– через кожні 60 хвилин відбувалась фіксація показників температури, вологості, рівня вуглекислого газу з системи моніторингу та показники температури з пружного термометру і зачинялось або відкривалось вікно;

– після закінчення терміну 6 годин, відбулось завершення першої частини експерименту;

– через 14 днів почалась друга частина експерименту, яка відбувалась без увімкненого опалення та несла за собою аналогічні дії, які були представленні в першій частині експерименту.

Після проведення експериментальних вимірювань було здійснено аналіз отриманих результатів температури, вологості та рівня CO_2 шляхом порівняння з рекомендованими нормативними діапазонами значень параметрів мікроклімату.

Аналіз зібраних експериментальних даних показав, що середня розбіжність між температурними показниками датчика DHT22 та пружинного термометра становила 0,7 °С, що є цілком задовільним результатом для побутового застосування системи моніторингу. Температура в приміщенні під час експерименту коливалась в діапазоні від 20 °С до 22 °С. Комфортний рівень температури для приміщень з легкою фізичною активністю має знаходитись в межах 20-24 °С. Таким чином, виміряні системою моніторингу значення цілком відповідають нормативним. Результат експерименту відображено графіком на рисунку 3.19, де по осі Y відображається значення температури, а по осі X – година експерименту.

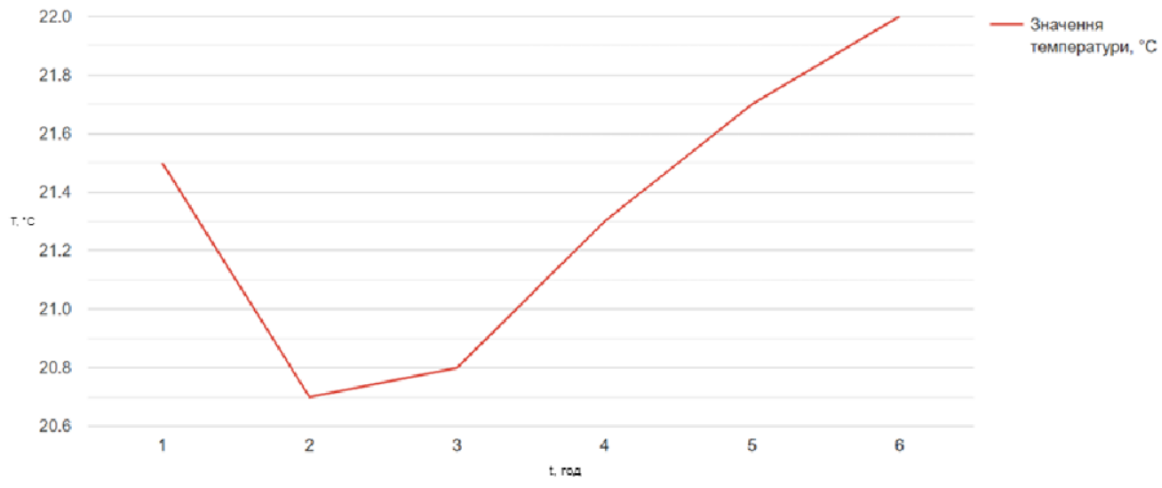

Рисунок 3.19 – Графік зміни температури під час проведення експерименту

Результати вимірювання вологості повітря показали, що рівень відносної вологості в приміщенні становив 39-43 %. Рекомендований діапазон для

забезпечення комфортних умов повинен становити 40-70 %. Отже, зафіксовані системою показники вологості також є цілком прийнятними. Результат експерименту відображено графіком на рисунку 3.20, де по осі Y відображається значення вологості повітря, а по осі X – година експерименту.

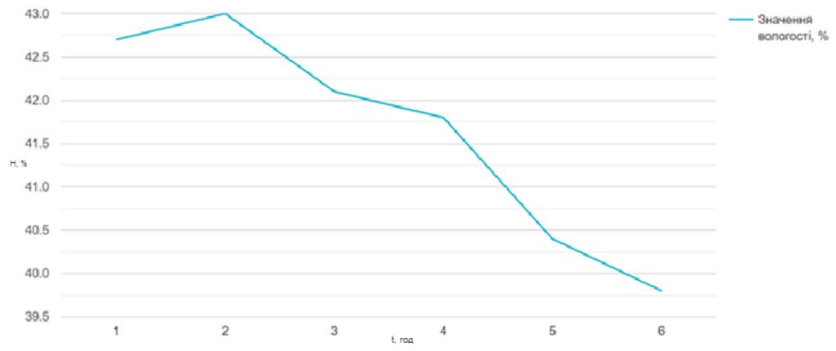

Рисунок 3.20 – Графік зміни температури під час проведення експерименту

Під час експерименту концентрація вуглекислого газу в повітрі приміщення змінювалась від 500 до 1300 частин на мільйон. Згідно норм, гранично допустима концентрація CO_2 в житлових приміщеннях – 1200 частин на мільйон. Виміряні значення лише епізодично незначно перевищували цю норму, що може свідчити про необхідність періодичного провітрювання. Результат експерименту відображено графіком на рисунку 3.21, де по осі Y відображається значення рівня вуглекислого газу, а по осі X – година експерименту.

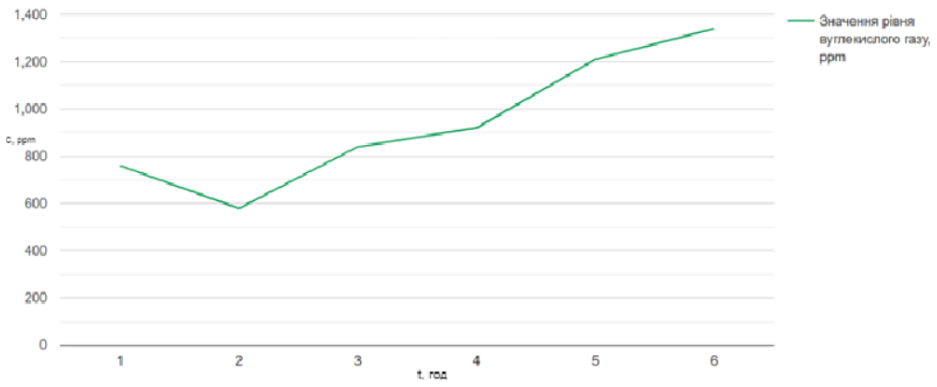

Рисунок 3.21 – Графік зміни рівня вуглекислого газу час проведення експерименту

На основі проведених експериментальних досліджень можна зробити висновок, що розроблена система є працездатною та здатна забезпечувати моніторинг основних параметрів повітряного середовища в житлових та робочих приміщеннях з задовільною точністю. Результати вимірювань температури, вологості повітря та концентрації CO_2, отримані за допомогою системи, задовільно корелюють з контрольними вимірюваннями, проведеними зі стандартизованим обладнанням. Розбіжності знаходяться в межах заявлених виробниками датчиків похибок.

Система здатна моніторити вимірювані параметри з датчиків та інформувати користувача за допомогою мобільного додатку. Це дозволяє вживати необхідних заходів для нормалізації умов (провітрювання, регулювання систем опалення/кондиціонування тощо). Апаратна частина системи базі ESP8266 продемонструвала стабільну роботу та низьке енергоспоживання. Безпровідна передача даних через Wi-Fi та хмарне сховище Firebase забезпечує зручний доступ до інформації.

3.5 Охорона праці

Під час виконання робіт з розробки, монтажу та тестування інтелектуального модуля моніторингу необхідно було дотримуватися вимог охорони праці та безпеки для уникнення травмувань та нещасних випадків.

На етапі складання модуля та монтажу електронних компонентів, таких як плата ESP8266, датчики DHT22 та MH-Z19B, слід було використовувати діелектричний інструмент, захисні окуляри та діелектричні рукавички для запобігання ураженню електричним струмом. На етапі розробки мобільного додатку в MIT App Inventor слід було дотримуватися вимог до тривалості роботи з комп'ютерною технікою, робити періодичні перерви та вправи для очей і тіла для мінімізації негативного впливу.

Під час налагодження та тестування модуля велику увагу необхідно було приділяти правилам електробезпеки – використанню справного обладнання,

недопущенню наявності оголених струмопровідних частин тощо. Важливим аспектом охорони праці була організація належного робочого місця – забезпечення достатнього освітлення, вентиляції приміщення, раціональної ергономіки для запобігання перевтомі під час тривалих монтажних робіт.

Під час експлуатації розробленого модуля важливо забезпечити вимоги електробезпеки при його підключенні, уникати перегрівів та потрапляння вологи всередину пристрою. Крім того, важливо дотримуватись таких вимог:

– забезпечити належний доступ повітря до вбудованих датчиків температури вологості та CO_2, не розміщуючи модуль в безпосередній близькості до поверхонь, що перешкоджають циркуляції повітря;

– уникати впливу сильних електромагнітних полів на модуль, які можуть спричинити збої у його роботі чи спотворення показників;

– регулярно очищати модуль від пилу та забруднень для забезпечення коректності вимірювань датчиків.

У разі виявлення будь-яких несправностей або відхилень у роботі модуля необхідно негайно відключити його від мережі живлення та звернутися до відповідних фахівців для діагностики та ремонту.

Дотримання всіх наведених вимог охорони праці під час розробки, монтажу, налагодження та експлуатації модуля дозволить забезпечити безпечні умови праці та уникнути можливих ризиків.

ВИСНОВКИ

У першому розділі роботи було проведено ретельний аналіз існуючих рішень та технологій, що використовуються для моніторингу параметрів навколишнього середовища. Були розглянуті різні типи датчиків, такі як датчики температури, вологості та концентрації CO_2, а також можливості їх інтеграції в єдину систему. Було визначено, що найбільш оптимальним рішенням для даного проекту є використання датчиків DHT22 та MH-Z19B, які забезпечують високу точність вимірювань і мають широкий діапазон робочих параметрів. Також розглянуто різні протоколи передачі даних і обрано ESP8266 як основний модуль для збору та передачі даних завдяки його доступності та функціональності.

У другому розділі було розроблено схему інтеграції всіх компонентів системи моніторингу в єдине ціле. Було розглянуто кілька альтернативних варіантів наборів параметрів для моніторингу та їх переваги й недоліки. В результаті аналізу було обрано три основні параметри: температура, відносна вологість та вміст CO_2, які забезпечують оптимальне співвідношення інформативності та техніко-економічних характеристик системи. Розроблену схему було розміщено в пластиковий корпус з металевими сітками, що забезпечує належне повітряне охолодження пристрою та коректне вимірювання показників з датчиків. Таке конструктивне рішення дозволяє уникнути перегріву електронних компонентів та забезпечити стабільну роботу системи навіть при тривалій експлуатації.

Третій розділ присвячено розробці апаратної та програмної частини системи. Після вибору модуля ESP8266 як апаратної основи, було проведено аналіз різних середовищ розробки програмного забезпечення та обрано Arduino IDE завдяки його інтуїтивності, обширній документації та великій спільноті користувачів. Було створено мобільний додаток, який надає користувачеві всю необхідну інформацію про поточні виміряні значення з датчиків. Інтерфейс додатку базується на принципах зручності використання, інформативності та

інтуїтивної зрозумілості, що дозволяє користувачам легко орієнтуватися в актуальності даних у режимі реального часу.

Робота є унікальною завдяки інтеграції сучасних датчиків з модулем ESP8266 та створенню зручного мобільного додатку для відображення даних. На відміну від існуючих рішень, розроблена система має можливість легко розширюватися за рахунок додавання нових датчиків або модулів, що робить її універсальною та перспективною для подальшого розвитку.

В процесі виконання роботи я набув цінних знань і навичок у галузі проектування систем моніторингу, програмування мікроконтролерів, а також розробки мобільних додатків. Отримані знання дозволили мені не лише зрозуміти основи роботи з датчиками та модулями, але й реалізувати повноцінну систему, яка може бути використана для моніторингу умов у приміщеннях.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017.

2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарєва, С.П. Новоселов, О.В Сичова. Харків: ХНУРЕ, 2022. – 55 с.

3. Невлюдов І. Ш. Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва технічних засобів автоматизації. – 2021. – 604 с.

4. Невлюдов І.Ш. Механізми технічних засобів автоматизації (довідкові матеріали з курсового і дипломного проектування): навчальний посібник. / І.Ш. Невлюдов, В.І. Роменський, І.О. Яшков. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 292 с.

5. Невлюдов І. Ш. Технічні засоби автоматизації: Підручник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.І. Филипенко, Н.П. Демська, С.П. Новоселов. – Кривий Ріг : Криворізький коледж НАУ, 2019. – 366 с.

6. Сотник С. В., Халімонов Я. І. Аналіз систем автоматизації визначення умов у житлових та робочих приміщеннях з використанням комп'ютерно-інтегрованих рішень / С. В. Сотник, Я. І. Халімонов // Автоматизація, електроніка та робототехніка (AERT-2023). – 2023. – С. 32-35.

7. Халімонов Я. І. Перспективи: Автоматизації вимірювання умов у житлових та робочих приміщеннях з використанням комп'ютерно-інтегрованих рішень / Я. І. Халімонов // Automation and development of electronic devices ADED-2023. – 2023. – Part 2. – С. 9-11.

8. Халімонов Я.І. Використання сенсорів та IoT-технологій для моніторингу параметрів робочого середовища / Я.І. Халімонов // Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices»

ADED-2024) [Електронний ресурс]: збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків: ХНУРЕ, 2024. – Вип. 1. – С. 106-110.

9. Holovatyy A. Development of IOT weather monitoring system based on Arduino and ESP8266 Wi-Fi Module / A. Holovatyy // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2021. – Т. 1016. – №. 1. – С. 012014.

10. Coulby G. Low-cost, multimodal environmental monitoring based on the Internet of Things / G. Coulby et al. // Building and Environment. – 2021. – Т. 203. – С. 108-104.

11. Zinkevich A. V. ESP8266 microcontroller application in wireless synchronization tasks / A. V. Zinkevich // 2021 international conference on industrial engineering, applications and manufacturing (ICIEAM). – IEEE, 2021. – С. 670-674.

12. Sobirov A. Methods of preventing the increase of CO2 carbonic anhydride in nature using mq 135 and mh-z19b gas detectors / A. Sobirov, M. Anniyozov, A. Ismoilova // International scientific research conference. – 2023. – Т. 2. – №. 18. – С. 1-3.

13. Shukla S. Android-Based Chat Application Using Firebase / S. Shukla, S. Gupta C., P. Mishra // 2021 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI). – IEEE, 2021. – С. 1-4.

14. Очищувач повітря Dyson HP7A [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://shop-dyson.com.ua/ochistiteteli-vozduxa/ochishhuvach-povtrya-dyson-hp7a.

15. Датчик температури та вологості PT-TY800S Tuya Smart [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://smartunit.com.ua/ua/p1699727932-datchik-temperatury-vlazhnosti.html.

16. Пристрій Awair Element Indoor Air Quality Monitor [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.amazon.com/Awair-Element-Indoor-Quality-Monitor/dp/B082ZF4H37.

17. NodeMCU [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://joy-it.net/en/products/SBC-NodeMCU.

18. Raspberry Pi Pico [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://arduino.ua/ru/prod4358-raspberry-pi-pico.

19. Arduino Uno [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Arduino_Uno.

20. Датчик температури та вологості DHT22 [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://3v3.com.ua/product_7850.html.

21. BME280 5V I2C датчик температури, вологості, тиску [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://arduino.ua/prod1930-bme280-5v-i2c-datchik-temperatyri-vlajnosti-davleniya.

22. Sensirion SHT30 Humidity and Temperature Sensor [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://nettigo.eu/products/sensirion-sht30-humidity-and-temperature-sensor-with-i2c-interface.

23. Датчик CO2 [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.mini-tech.com.ua/datchik-co2.

24. Датчик MG-811 Carbon Dioxide Sensor Module [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.indiamart.com/proddetail/mg-811-carbon-dioxide-sensor-module-10268729697.html.

25. Датчик вуглекислого газу, вологості та температури SCD30 [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://arduino.ua/ua/prod5101-creative-commons-images-are-cc-by-2-0-shareshare-on-twittershare-on-facebookpin-it-previous-versions-co-humidity-and-temperature-sensor-scd30.

26. A Quick Dive into Firebase [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://dev.to/thisdotmedia/a-quick-dive-into-firebae-firebase-3mi1.

27. Getting Started with the Espressif ESP-IDF & Eclipse IDE [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.beyondlogic.org/getting-started-with-the-espressif-esp-idf-eclipse-ide/.

28. PlatformIO [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://platformio.org/.

29. Android Studio [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://developer.android.com/studio.

30. Власій О.О., Винничук М.Д. Розробка мобільних додатків засобами блочного програмування: Навчально-методичний посібник. Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2021р. 14 с.

31. Методичні вказівки для самостійної роботи з курсу «Програмування додатків Інтернет речей» / уклад. В.В. Карпенко, Ю.В. Іванчихін. – Харків : НТУ «ХПІ», 2022. – 12 с.

32. Основи охорони праці: Підручник./ К.Н.Ткачук, М.О.Халімовський, В.В. Зацарний, Д.В.Зеркалов, Р.В.Сабарно, О.І.Полукаров, В.С.Коз‘яков, Л.О.Митюк; За ред. К.Н.Ткачука і М.О. Халімовського. – К.: Основа, 2003 – 180-285 с.

33. Токарєва О.В Теорія автоматичного управління : Харків : ФОП Панов А.М., 2020. – 346 с.