ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Система моніторингу якості повітря у приміщенні з інтеграцією в Blynk »

на здобуття освітнього ступеня бакалавра
зі спеціальності 123 Комп'ютерної інженерії
(код, найменування спеціальності)
освітньо-професійної програми Комп'ютерна інженерія
(назва)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ *Валерій ДУБІНІН*
(підпис) *Ім'я, ПРІЗВИЩЕ здобувача*

Виконав: здобувач вищої освіти гр. КІД-41
Валерій ДУБІНІН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
Керівник: Артем АНТОНЕНКО
науковий ступінь, вчене звання Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
Рецензент: _____
науковий ступінь, вчене звання Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Київ 2025

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій

Кафедра 123 Комп'ютерної інженерії

Ступінь вищої освіти бакалавр

Спеціальність 123 Комп'ютерної інженерії

Освітньо-професійна програма Комп'ютерна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Комп'ютерної інженерії
_____ Наталія ЛАЩЕВСЬКА
_____
«_____» _____ 2025р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дубінін Валерій Миколайович
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Система моніторингу якості повітря у приміщенні з інтеграцією в Blynk
керівник кваліфікаційної роботи Артем АНТОНЕНКО к.т.н.,
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від «24» лютого 2025р. № 56
2. Строк подання кваліфікаційної роботи «5» червня 2025р .
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: науково-технічна література; методи та засоби вимірювання параметрів якості повітря; система моніторингу якості повітря; платформа Blynk; мікроконтролер ESP8266; датчик BME680; бібліотека BSEC; хмарні сервіси для IoT;
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
4.1 Проаналізувати теоретичні основи якості повітря в приміщеннях, основні забруднювачі та методи їх вимірювання
4.2 Дослідити функціональні можливості та архітектуру платформи для IoT-проектів
4.3 Розробити апаратну частину системи моніторингу з використанням відповідних датчиків та мікроконтролера
4.4 Реалізувати програмне забезпечення для збору, передачі та візуалізації даних з датчиків на платформі Blynk
4.5 Провести тестування розробленої системи в реальних умовах та проаналізувати отримані результати
5. Перелік ілюстративного матеріалу: *презентація*
6. Дата видачі завдання «24» лютого 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір даних	25.02-24.03.2025	Виконано
2	Обробка матеріалу	23.03-05.04.2025	Виконано
3	Розробка теоретичної частини	06.04-10.04.2025	Виконано
4	Реалізація макету діючого пристрою	11.04-20.04.2025	Виконано
5	Висновки за результатами моніторингу	21.04-06.05.2025	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	07.05-08.05.2025	Виконано
7	Розробка презентації	09.05-11.05.2025	Виконано
8	Передзахист	27.05-29.05.2025	Виконано
9	Здача в деканат	02.06-05.06.2025	Виконано

Здобувач вищої освіти _____ Валерій ДУБІНІН
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Артем АНТОНЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня бакалавра: 58 стор., 55 рис., 1 табл., 38 джерел.

Мета роботи – Розробка системи моніторингу якості повітря у приміщенні з інтеграцією в платформу Blynk для забезпечення контролю та візуалізації даних.

Об'єкт дослідження – Система автоматизованого моніторингу параметрів якості повітря у приміщеннях.

Предмет дослідження – Методи та засоби розробки системи моніторингу якості повітря з інтеграцією в платформу Blynk.

Короткий зміст роботи: Якість повітря в приміщеннях є важливим фактором, що впливає на здоров'я людей. Для контролю якості повітря необхідні надійні системи моніторингу. У даній роботі розглянуто розробку системи моніторингу якості повітря в приміщенні з використанням платформи Blynk, мікроконтролера ESP8266 та датчика BME680. Система дозволяє вимірювати та відображати параметри якості повітря через мобільний додаток.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЯКІСТЬ ПОВІТРЯ В ПРИМІЩЕННЯХ, СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ, BLYNK, IOT, ESP8266, BME680, BSEC, МОБІЛЬНИЙ ДОДАТОК.

ЗМІСТ

ВСТУП 8
1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ 9
1.1 Значення якості повітря для здоров’я та комфорту людини 9
1.2 Основні забруднювачі повітря в приміщеннях та їх джерела 12
1.3 Методи вимірювання параметрів повітря 16
1.4 Прилади для вимірювання параметрів повітря 17
2 ПЛАТФОРМА BLYNK ДЛЯ IOT-ПРОЕКТІВ 21
2.1 Загальна характеристика платформи 21
2.2 Архітектура та основні компоненти 22
2.3 Порівняння з іншими платформами 23
3 РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ 28
3.1 Вибір апаратної платформи 28
3.2 Вибір сенсору для моніторингу якості повітря 32
3.3 Пристрої периферійні 38
3.4 Схемотехнічне проектування системи 40
3.5 Монтаж та налагодження апаратних компонентів 41
4 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ, ТЕСТУВАННЯ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ 42
4.1 Реалізація програмного забезпечення для мікроконтролера 42
4.2 Налаштування серверу Blynk 48
4.3 Встановлення та налаштування додатку 56
4.4 Результати моніторингу якості повітря в реальних умовах 58
4.5 Оцінка точності та надійності системи 62
ВИСНОВКИ 64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 66
Додаток А. Код пристрою 70
Додаток Б. ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (ПРЕЗЕНТАЦІЯ) 76

ВСТУП

Параметри внутрішнього мікроклімату істотно впливають на загальне благополуччя людей, оскільки переважна більшість населення перебуває в закритих просторах близько 90% свого життя, головним чином у домашньому оточенні чи на робочих ділянках . За статистикою Всесвітньої організації охорони здоров'я, контамінація повітря в приміщеннях КПП щороку призводить до летальних наслідків для 3,8 мільйонів осіб . КПП формується в житлових або офісних спорудах внаслідок активності їхніх мешканців: кулінарних процесів, тютюнопаління, експлуатації електронних пристроїв, застосування побутових продуктів чи емісії будівельних компонентів. Небезпечні полютанти в інтер'єрному просторі охоплюють монооксид вуглецю CO, леткі органічні компоненти ЛОК, суспендовані мікрочастинки PM, аерозольні субстанції, біологічні забруднювачі та інші речовини.

Відповідно, в останнє десятиліття фокус досліджень щодо регулювання атмосферної якості зміщується від екстер'єрного до інтер'єрного середовища, що віддзеркалює трансформацію способу життя, пов'язану з прогресуючою урбанізацією. Було встановлено, що деградація якості повітря в приміщеннях (ЯПП) може спричинити негативні наслідки для фізіологічного стану людини, викликаючи патології, асоційовані з перебуванням у будівлях . Як короткочасна, так і пролонгована експозиція до КПП може провокувати різноманітні захворювання . Отже, створення систем моніторингу має критичне значення для управління рівнем ЯПП.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи моніторингу якості повітря у приміщенні з інтеграцією в платформу Blynk для забезпечення контролю та візуалізації даних.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Значення якості повітря для здоров’я та комфорту людини

Якість атмосферного середовища приміщень є фундаментальним детермінантом фізіологічного та психоемоційного стану людини, що безпосередньо корелює з рівнем її працездатності. Переважна більшість населення планети проводить суттєву частину свого часу в закритих архітектурних спорудах різноманітного функціонального призначення: житлових приміщеннях, адміністративно-офісних комплексах, навчальних установах та об'єктах громадського користування. Науковий інтерес до проблематики контамінації повітряного середовища у внутрішніх просторах будівель та потенційних негативних наслідків для здоров'я людини почав формуватися ще у 70-х роках минулого століття.

Фундаментальний внесок у розвиток даного напрямку здійснив доктор Джон Спенглер, який у 1973 році представив науковій спільноті прогресивну на той час публікацію під назвою «Забруднення повітря в інтер'єрах: виклик для охорони здоров'я», опубліковану в авторитетному науковому виданні «Science»[1]. Зазначена наукова праця стала каталізатором інтенсифікації дослідницьких зусиль, спрямованих на всебічний аналіз якісних характеристик газового середовища у закритих приміщеннях та його багатофакторного впливу на стан здоров'я людини.

Забруднення повітряних мас всередині будівель може бути спричинене різноманітними джерелами, включаючи будівельні матеріали, меблі, побутову хімію, системи опалення та вентиляції, а також життєдіяльність людей і тварин. Основними забруднювачами атмосфери у закритих локаціях є леткі органічні сполуки VOC, тверді частинки пил, дим, оксиди азоту, чадний газ, радон та біологічні агенти цвіль, бактерії, алергени.

У 1980-х роках Всесвітня організація охорони здоров'я визнала проблему «Синдром хворого будинку» рис. 1.1 «Sick Building Syndrome», який

характеризується різноманітними симптомами, такими як головний біль, втома, подразнення очей та дихальних шляхів, що виникають у людей, які перебувають у певних закритих просторах. Дослідження показали, що причиною цих симптомів часто є поганий стан повітряного потоку в будівлях, спричинений недостатньою вентиляцією, наявністю хімічних забруднювачів та біологічних агентів[2].



Рисунок 1.1 – Синдром хворого будинку

У дев'яностих роках XX століття науковим колективом під керівництвом професора Джона Спенглера в межах дослідницької діяльності Гарвардської школи було реалізовано широкомасштабний дослідницький проект, спрямований на комплексну оцінку аерогігієнічних характеристик повітряного середовища в житловому фонді Сполучених Штатів Америки. Результати показали, що рівні деяких забруднювачів, таких як летючі органічні сполуки та формальдегід, часто перевищують рекомендовані норми і можуть негативно впливати на здоров'я мешканців[3]. Ці дані підкреслили необхідність розробки стандартів та рекомендацій щодо параметрів газового середовища у домашніх умовах.

Особливо вразливими до негативного впливу забрудненої атмосфери є діти, люди похилого віку, вагітні жінки та особи з хронічними захворюваннями. Діти, у яких дихальна система ще розвивається, вдихають більше повітря на одиницю маси тіла порівняно з дорослими, що робить їх більш сприйнятливими до забруднювачів.

У людей старшого віку та осіб, які мають хронічні захворювання, спостерігається ослаблена імунна система та знижена функціональність організму, що значно посилює шкідливий вплив забрудненого повітря на їхнє здоров'я. Ці категорії населення мають підвищену чутливість та більш уразливі до негативних наслідків впливу різноманітних забруднювачів.

Крім прямого впливу на здоров'я, характеристики атмосфери у замкнутих просторах також впливають на комфорт та продуктивність людей. Незадовільний стан повітряних мас може викликати відчуття духоти, сонливість, зниження концентрації уваги та когнітивних функцій. Це може призводити до зниження працездатності, підвищення кількості помилок та зниження якості життя в цілому[4].

Для забезпечення комфортних умов та збереження здоров'я людей всередині закритих об'єктів необхідно підтримувати певні параметри атмосферного середовища. Згідно з рекомендаціями ВООЗ, температура повітря у внутрішніх зонах повинна бути в межах 18-24°C, а відносна вологість - 40-60%. Концентрація вуглекислого газу не повинна перевищувати 1000 ppm частин на мільйон, оскільки високі рівні CO2 можуть викликати відчуття задухи та зниження когнітивних функцій. Рівні ЛОС та формальдегіду повинні бути якомога нижчими, бажано не перевищувати 500 мкг/м3 та 100 мкг/м3 відповідно[5].

Для досягнення та підтримання комфортних умов у закритих середовищах необхідно вживати комплексних заходів. Перш за все, слід забезпечити адекватну вентиляцію, яка дозволяє регулярно оновлювати повітряний простір та видаляти забруднювачі. Згідно з рекомендаціями Американського товариства інженерів, мінімальна норма вентиляції для житлових будівель становить 7,5 л/с на людину або 0,35 зміни газового складу на годину[6]. Для офісних та громадських структур ці норми можуть бути вищими залежно від кількості людей та виду діяльності.

Не менш суттєвим фактором оптимізації якісних характеристик повітряного середовища є раціональна селекція будівельних та декоративно-оздоблювальних матеріалів, елементів меблевого обладнання та засобів побутової хімії з мінімальними показниками емісії шкідливих субстанцій та інших атмосферних

полютантів, що відповідають сучасним екологічним стандартам безпеки для здоров'я людини. Слід віддавати перевагу продуктам, що мають екологічні сертифікати, такі як «Green Seal», «Greenguard» або «EcoLogo»[7]. Регулярне прибирання внутрішніх просторів з використанням безпечних засобів також допомагає зменшити накопичення пилу та інших алергенів, покращуючи чистоту повітряного оточення.

1.2 Основні забруднювачі повітря в приміщеннях та їх джерела

Якість повітря в приміщеннях (IAQ) – комплексний показник, що характеризує стан повітряного середовища в закритих просторах будівель різного призначення. Цей параметр рисунок 1.2 безпосередньо впливає на фізіологічний і психологічний стан людей, які перебувають у цих приміщеннях тривалий час. Серед численних чинників, що погіршують IAQ, особливу небезпеку становлять як видимі полютанти (пил, плісень, тютюновий дим), так і невидимі забруднювачі – леткі органічні сполуки, формальдегіди, радон та інші токсини, що виділяються з будівельних матеріалів, меблів та побутової хімії[8].

IAQ Index	Air Quality
0 – 50	good
51 – 100	average
101 – 150	little bad
151 – 200	bad
201 – 300	worse
301 – 500	very bad

Рисунок 1.2 – Індекс якості повітря

Леткі органічні сполуки (ЛОС), що в міжнародній науковій термінології позначаються абревіатурою VOC (volatile organic compounds), репрезентують гетерогенну групу хімічних субстанцій, які характеризуються підвищеною здатністю до спонтанної волатилізації рис 1.3 при стандартних температурних показниках житлового середовища. Джерела емісії даних хімічних агентів

демонструють значну варіабельність та включають широкий спектр будівельно-конструкційних та інтер'єрних матеріалів, предметів меблевого обладнання, засобів побутової хімії та продуктів особистої гігієни.

Index Category	Index Value	TVOC (ppb)
Good	0 - 50	0 - 220
Moderate	51 - 100	221 - 660
High	101 - 150	661 - 1430
Very High	151 - 200	1431 - 2200
Very High	201 - 300	2201 - 3300
Very High	301 - 500	3301 - 5500

Рисунок 1.3 – Норми летких органічних сполук

Вчені виділяють два типи тривалості впливу цих сполук на організм людини: короткотривалий (від кількох годин до днів) та довготривалий (роки або все життя).

Основні симптоми захворювань від їх впливу.

При короткотривалій взаємодії:

– подразнення очей, носа і горла;
– головний біль;
– нудота;
– запаморочення;
– погіршення симптомів астми.

При тривалому впливі:

– розвиток ракових пухлин;
– ураження печінки;
– ураження нирок і центральної нервової системи.

Найкращий метод захисту здоров’я – зменшення в помешканні кількості предметів і матеріалів, що містять ці сполуки[9].

Тверді частинки «ТЧ» вони ж PM (Particulate matter) – це мікроскопічні частинки твердої речовини або краплі рідини, які можуть знаходитися в повітрі. Класифікуються їх за розміром: PM10 (частинки діаметром менше 10 мкм), PM2.5 (частинки діаметром менше 2,5 мкм) та PM1 (частинки діаметром менше 1 мкм).

Дрібні частинки становлять більшу загрозу для здоров'я, оскільки вони можуть проникати глибоко в легені та навіть потрапляти в кровотік[10].

Оксид вуглецю «CO» – це безбарвний, без запаху та смаку газ, який утворюється при неповному згорянні органічних речовин. CO може накопичуватися в приміщеннях внаслідок роботи несправних або погано вентильованих опалювальних приладів, газових плит, каміни та сигаретного диму[11].

Діоксид вуглецю (CO2) – це безбарвний газ, який є продуктом дихання людей та згоряння органічних речовин. Незважаючи на те, що концентрація вуглекислого газу на вулиці зазвичай не перевищує 400-450 ppm (мільйонних часток), тобто лише 0,04% рисунок 1.4 об'ємної концентрації, це не означає, що ситуація скрізь однакова. У промислових районах, де розташовано багато підприємств, рівень CO2 та інших забруднювачів повітря буде значно вищим. Тому для таких зон характерні підвищені норми, а от для екологічно чистих місцевостей, навпаки, - занижені.

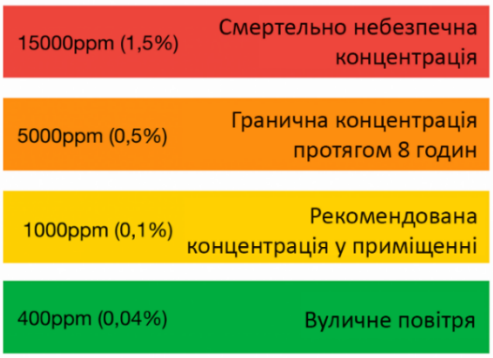


Рисунок 1.4 – Норми вуглекислого газу

Примітно, що нормативні показники концентрації вуглекислого газу (CO2) в приміщеннях перевищують аналогічні параметри атмосферного повітря приблизно в 1,5 рази та становлять орієнтовно 600 частин на мільйон (ppm). При підвищенні концентрації до рівня 800 ppm показники повітряного середовища класифікуються як потенційно небезпечні, а при досягненні порогового значення 1000 ppm (що еквівалентно 0,1% об'ємної концентрації) спостерігаються початкові симптоми карбондіоксидної інтоксикації, які проявляються у вигляді немотивованої

астенізації та респіраторного дискомфорту. Необхідно зазначити, що вищевказані значення концентрації все ще знаходяться в межах допустимого діапазону, оскільки згідно з чинними санітарно-гігієнічними нормативами критичним рівнем вважається концентрація, що перевищує 1400 ppm. За таких умов спостерігається значне зниження когнітивних функцій, зокрема здатності до концентрації уваги в процесі професійної діяльності, та порушення фізіологічних механізмів ініціації сну. Критичною ж величиною є більше 3000 ppm (0,3%), коли швидко розвивається кисневе голодування, нудота та почащення пульсу[11].

Радон – це радіоактивний газ, який утворюється при розпаді урану в ґрунті та гірських породах. Радон може проникати в будівлі через тріщини в фундаменті та накопичуватися в повітрі приміщень. Довготривале перебування людини в приміщеннях з високим вмістом радону суттєво збільшує ймовірність розвитку раку легенів.

Біологічні забруднювачі – це мікроорганізми рис. 1.5 (бактерії, віруси, грибки) та продукти їх життєдіяльності (спори, алергени), які можуть знаходитися в повітрі приміщень.



Рисунок 1.5 – Біологічні забруднювачі

Джерелами біологічних забруднювачів можуть бути люди, тварини, рослини, системи вентиляції та кондиціонування, вологі поверхні та ін[11].

1.3 Методи вимірювання параметрів повітря

Для ефективного контролю якості повітря необхідно мати надійні та точні методи вимірювання різноманітних параметрів. Ці методи дозволяють визначати концентрації забруднювачів, оцінювати ефективність вентиляції та виявляти потенційні проблеми з якістю аеросередовища.

Хімічні методи аналізу, які ґрунтуються на специфічних хімічних взаємодіях між забруднюючими компонентами повітря та відповідними реактивами. Ілюстративним прикладом є метод визначення концентрації формальдегіду з використанням хромотропової кислоти, при якому спостерігається кольорова реакція, інтенсивність забарвлення якої корелює з концентрацією досліджуваної речовини [12];

Спектроскопічні методи, що базуються на вимірюванні специфічних оптичних характеристик молекул забруднювачів. Зокрема, інфрачервона спектроскопія дозволяє здійснювати кількісне визначення концентрацій CO2, CO та інших газоподібних речовин шляхом вимірювання ступеня поглинання інфрачервоного випромінювання на характеристичних частотах [13];

Хроматографічні методи, особливістю яких є розділення складних сумішей забруднюючих речовин на окремі компоненти за допомогою спеціальних сорбуючих матеріалів. У практиці контролю якості повітря найчастіше застосовується газова хроматографія для визначення вмісту летких органічних сполук (ЛОС) та інших органічних забруднювачів [14];

Мас-спектрометричні методи, які забезпечують ідентифікацію забруднюючих речовин за характеристиками їх маси та заряду. Мас-спектрометричний аналіз часто проводиться у комбінації з хроматографічними методами, що дозволяє досягти високої точності ідентифікації та кількісного визначення забруднювачів;

Електрохімічні методи, принцип дії яких полягає у вимірюванні електричних сигналів, що виникають при взаємодії забруднюючих речовин з електродними системами сенсорів. Електрохімічні сенсорні пристрої знаходять широке

застосування при вимірюванні концентрацій CO, NO2 та інших токсичних газових компонентів [15];

Гравіметричні методи, сутність яких полягає у визначенні маси твердих частинок, що осідають на фільтруючих елементах при прокачуванні визначеного об'єму повітряного середовища. Гравіметричні методики є основними при визначенні концентрацій твердих частинок різних фракцій (PM10, PM2.5) та інших аерозольних забруднювачів [16];

Біологічні методи, що ґрунтуються на застосуванні біологічних об'єктів (бактеріальних культур, грибів, водоростей) для детектування та кількісної оцінки забруднювачів повітряного середовища. Зокрема, біосенсорні системи на основі генетично модифікованих бактеріальних культур забезпечують можливість визначення наявності токсичних компонентів у повітрі [17].

1.4 Прилади для вимірювання параметрів повітря

Наступні прилади використовуються для вимірювати показників атмосферного простору за допомогою перерахованих методів.

Газоаналізатори, призначені для вимірювання концентрацій різноманітних газів (CO, CO2, NO2, SO2, O3 та ін.) у повітрі. Вони рисунок 1.6 можуть бути стаціонарними або портативними, використовувати різні методи детекції (електрохімічні, інфрачервоні, хемілюмінесцентні) та мати різну точність і селективність[18].



Рисунок 1.6 – Приклад Газоаналізатора

Сучасні газоаналізатори дозволяють проводити безперервний моніторинг якості газового середовища та передавати дані на комп'ютер або смартфон.

Аналізатори ЛОС рис. 1.7 використовуються для вимірювання сумарної концентрації летких органічних сполук у респірабельному середовищі. Вони можуть використовувати методи фотоіонізаційної детекції (PID), полум'яно-іонізаційної детекції (FID) або інфрачервоної спектроскопії[19].



Рисунок 1.7 – Пристрій для вимірювання VOC

Аналізатори ЛОС дозволяють швидко оцінювати рівень хімічного забруднення внутрішнього середовища та виявляти джерела емісії ЛОС.

Оптичні лічильники частинок дозволяють вимірювати кількість та розмір твердих частинок рис. 1.8 у повітряних масах. Вони використовують принцип розсіювання лазерного випромінювання на частинках і можуть визначати концентрації у різних діапазонах розмірів (наприклад, PM10, PM2.5, PM1)[20].



Рисунок 1.8 – Аналізатор частинок

Оптичні лічильники застосовуються для оцінки запиленості респірабельного середовища та ефективності роботи систем фільтрації.

Термогігрометри рис. 1.9 призначені для вимірювання температури та відносної вологості вентильованого середовища.



Рисунок 1.9 – Термогігрометри

Вони можуть використовувати різні типи сенсорів (термістори, ємнісні сенсори, оптичні сенсори) та мати різну точність і діапазон вимірювань. Термогігрометри дозволяють контролювати мікроклімат у приміщеннях та оцінювати ризики розвитку біологічних забруднювачів (грибків, бактерій)[21].

Радонові монітори рис. 1.10 є корисними для вимірювання концентрації радону в аеродисперсному середовищі. Вони можуть використовувати методи іонізаційних камер, твердотільних детекторів або активованого вугілля.



Рисунок 1.10 – Прилад для вимірювання концентрації радону

Прилади для вимірювання рівня радону дозволяють визначити потенційну небезпеку радіаційного впливу на людей та своєчасно вжити необхідних заходів для зменшення концентрації цього газу в житлових та робочих приміщеннях[22].

Мультисенсорні системи – це системи являють собою інтегровані пристрої, що об'єднують кілька різних датчиків для одночасного контролю різних показників якості повітря (таких як температура, вологість, вміст вуглекислого газу, летких органічних сполук і твердих часток). Ці сучасні пристрої зазвичай оснащені функціями бездротової передачі інформації, можливістю керування через мобільний телефон та здатністю інтегруватися з автоматизованими системами житлового управління. Вони дозволяють отримувати цілісну картину стану повітряних маса в приміщеннях та автоматично регулювати роботу систем вентиляції[23].

Біосенсорні системи – це новітні прилади, які використовують живі організми (бактерії, дріжджі, водорості) в якості чутливих елементів для детекції забруднювачів внутрішнього середовища. Біосенсори можуть реагувати на присутність токсичних речовин зміною кольору, флуоресценції або електричних сигналів. Вони відрізняються високою чутливістю, селективністю та швидкодією, але поки що мають обмежене практичне застосування через складність виготовлення та короткий термін зберігання[24].

2 ПЛАТФОРМА BLYNK ДЛЯ IOT-ПРОЕКТІВ

2.1 Загальна характеристика платформи

Blynk – це інноваційна платформа рис. 2.1 для розробки Інтернету речей (IoT), яка дозволяє швидко створювати прототипи, розробляти та керувати розумними системами.

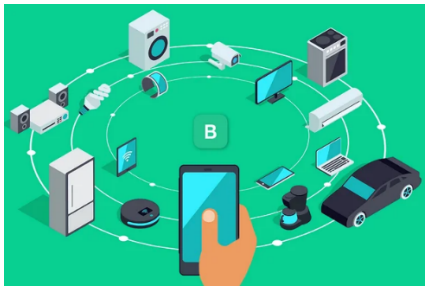


Рисунок 2.1 – Екосистема смарт-пристроїв Blynk

Ця прикладна систем була запущена в 2015 році з метою спрощення процесу розробки різноманітних проектів та забезпечення безперебійної взаємодії між пристроями та користувачами.

Основною особливістю платформи є можливість створення мобільних додатків для управління розумними пристроями рис. 2.2 без необхідності глибоких знань програмування або досвіду розробки мобільних застосунків.

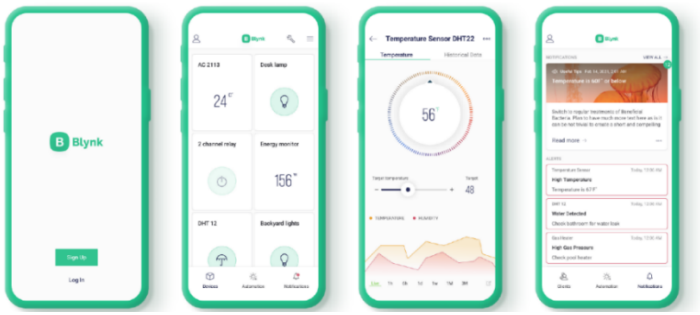


Рисунок 2.2 – Графічний інтерфейс у застосунку

Система надає інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для створення користувацьких інтерфейсів, які дозволяють керувати та моніторити підключені пристрої з будь-якої точки світу через смартфон або планшет[25].

2.2 Архітектура та основні компоненти

Архітектура платформи складається з трьох основних компонентів: додатку, сервера та бібліотеки Blynk[25].

Додаток – це мобільна програма, доступна для операційних систем iOS та Android. Вона служить інтерфейсом між користувачем та цифровими пристроями. Додаток дозволяє створювати дашборди за допомогою різноманітних віджетів рис. 2.3, таких як кнопки, слайдери, дисплеї та графіки.



Рисунок 2.3 – Функціональні можливості в додатку Blynk

Користувачі можуть налаштовувати віджети відповідно до своїх потреб та керувати підключеними приладами з мобільного застосунку.

Серверна частина є серцем даного технологічно рішення рис 2.4. Вона відповідає за обробку всіх комунікацій між програмою на телефоні та інтелектуальної системою інтернет речей. Сервер забезпечує безпечне з'єднання, аутентифікацію пристроїв, обробку команд та передачу даних.

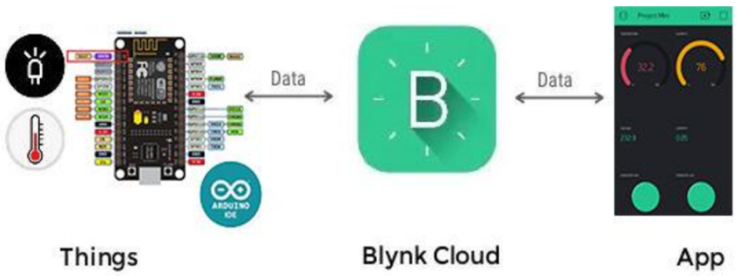


Рисунок 2.4 – Взаємодія серверу між додатком і мікроконтролером

Цифрове рішення Blynk пропонує як власний хмарний сервер, так і можливість розгортання локального сервера на особистому обладнанні.

Бібліотека Blynk – це програмна бібліотека, яка використовується для інтеграції у кінцеві пристрої з платформою Blynk. Бібліотека доступна для різних апаратних систем, таких як Arduino, Raspberry Pi, ESP8266, ESP32 та інших. Вона надає прості у використанні API та функції для підключення пристроїв до сервера, обміну даними та обробки команд.

2.3 Порівняння з іншими платформами

У порівнянні з іншими аналогічними системами, представленими в таблиці 2.1, програмна платформа Blynk демонструє значні переваги завдяки інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу користувача, розширеному функціоналу та високому рівню універсальності щодо підтримки різноманітних мікроконтролерних пристроїв, сенсорних елементів та комунікаційних протоколів. Цей сервіс надає інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для створення користувацьких мобільних додатків без необхідності глибоких знань програмування.

Основні функції обраної системи включають:

– віддалене керування пристроями в реальному часі;
– моніторинг показників з сенсорів;
– створення автоматичних сценаріїв та тригерів;
– інтеграцію з хмарними сервісами;

– підтримку RESTful API та MQTT.

Окремо варто відзначити Blynk Console – веб інтерфейс для налаштування проєктів, управління користувачами та пристроями. Завдяки цьому інструменту розробники можуть створювати не лише прототипи, але й повноцінні рішення з багатокористувацьким доступом і системою ролей.

ThingSpeak – це аналітичний інструмент з фокусом на збір, зберігання та обробку даних з датчиків. Її головна особливість – тісна інтеграція з MATLAB, яка дозволяє реалізовувати складні аналітичні сценарії, включно з обробкою сигналів, прогнозуванням, фільтрацією тощо[26].

Хоча ThingSpeak підтримує популярні платформи, такі як Arduino та Raspberry Pi, вона не орієнтована на мобільний інтерфейс або керування пристроями в реальному часі. Основний функціонал полягає у:

– надсиланні даних на канали через API;
– візуалізації у вигляді графіків та таблиць;
– використанні MATLAB scripts для обчислень;
– вебхуках та простих тригерах.

ThingSpeak ідеально підходить для освітніх або дослідницьких проєктів, де важлива математична аналітика рис. 2.5, але не потрібне оперативне керування.



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд інтерфейсу ThingSpeak

Cayenne від компанії myDevices позиціонується як інструмент для простого та швидкого створення IoT-рішень без необхідності програмування. Основна

перевага – візуальне середовище рис.2.6 налаштування, яке дозволяє створювати панелі керування пристроями у форматі «перетягни й встав»[27].

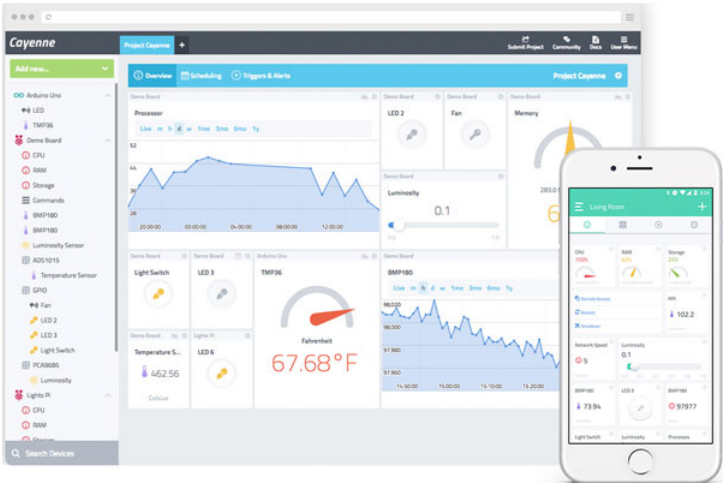


Рисунок 2.6 – Дашборди сервісу Cayenne

Ключові функції:

– просте підключення через MQTT або агент myDevices;
– графічне програмування логіки (на кшталт IF-THEN);
– можливість створення дашбордів для контролю;
– віддалене оновлення даних;
– підтримка широкого спектру пристроїв.

Середовище розробки більше підходить для швидкого прототипування або невеликих систем, однак менш ефективна для гнучких масштабованих рішень, які підтримує, наприклад, Blynk

Adafruit IO – це система, створена компанією Adafruit спеціально для роботи з їхніми пристроями рис. 2.7 та сенсорами. Вона проста, стабільна та має гарну інтеграцію з фірмовими продуктами[28].

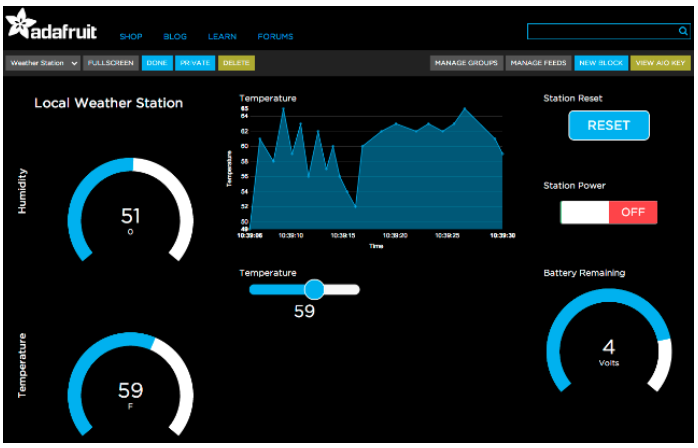


Рисунок 2.7 – Віджити у веб застосунку Adafruit IO

Користувачі отримують:

– веб інтерфейс для перегляду даних;
– просту побудову графіків;
– MQTT та REST API;
– ліміти на кількість фідів у безкоштовній версії.

Втім, платформа обмежена в автоматизації та керуванні пристроями, не надає розширених засобів керування доступом, як це реалізовано у Blynk.

Thinger.io – це програмно-апаратний комплекс рис. 2.8 з відкритим API, який дозволяє створювати потужні IoT-системи з акцентом на продуктивність[29]. Він надає інструменти для:

– підключення пристроїв через MQTT або REST;
– побудови візуальних інтерфейсів;
– інтеграції з зовнішніми сервісами;
– масштабування через хмару або локальні розгортання.

Це рішення більше орієнтоване на технічну аудиторію: інженерів, інтеграторів, стартапи з великим акцентом на безпеку, продуктивність та контроль.

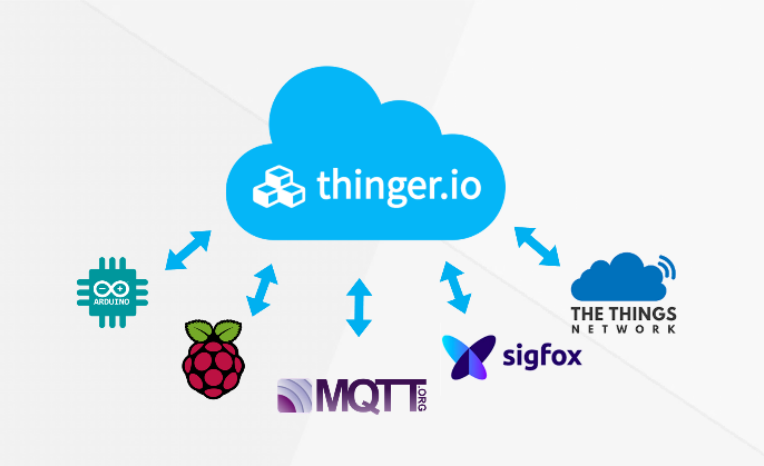


Рисунок 2.8 – Хмара Thinger.io

О тож інші технологічні фреймворки, такі як ThingSpeak та Adafruit IO, більше орієнтовані на збір, зберігання та візуалізацію даних з датчиків, тоді як розглянутий сервіс надає більш широкі можливості управління пристроями та автоматизації.

Таблиця 2.1 – Коротка характеристика IoT-систем

Платформа	Простота	Функції	Сумісність	Ціна
Blynk	Висока	Управління, моніторинг, хмара	Arduino, ESP, інші	Безкоштовно / Платно
ThingSpeak	Середня	Збір і аналіз даних	Arduino, Raspberry Pi	Безкоштовно / Платно
Cayenne	Висока	Візуальне програмування	Багато платформ	Безкоштовно / Платно
Adafruit IO	Середня	Збір і візуалізація	Пристрої Adafruit	Безкоштовно / Платно
Thinger.io	Середня	Управління, візуалізація	Arduino, ESP, Raspberry Pi	Безкоштовно / Платно

3 РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ

3.1 Вибір апаратної платформи

Вибір та опис мікроконтролера

Мікроконтролери – це компактні та багатофункціональні пристрої, які стають все більш популярними і доступними на ринку електроніки. Вони являють собою невеликі інтегральні схеми, здатні виконувати складні програми та керувати різноманітними процесами.

Сучасні мікропроцесорні пристрої поєднують в собі функції центрального процесора та периферійних модулів, таких як пам'ять, таймери, АЦП/ЦАП, інтерфейси вводу-виводу тощо. Завдяки такій високій інтеграції, вони можуть самостійно виконувати широкий спектр завдань без необхідності в додаткових компонентах.

Однією з найбільш перспективних моделей мікроконтролерів є ESP8266 від компанії Espressif Systems. Цей чіп відрізняється не лише своєю функціональністю та продуктивністю, але й наявністю вбудованого Wi-Fi модуля. Завдяки цьому він ідеально підходить для проектів інтернету речей (IoT), розумного дому, безпровідних сенсорних мереж тощо.

Крім апаратних переваг, ця платформа приваблює розробників своєю доступністю. Ціни на цей мікроконтролер стартують від 2-3$ на таких популярних майданчиках як AliExpress чи Amazon. А завдяки відкритому SDK та активній спільноті, навколо нього сформувалась велика екосистема з безкоштовних бібліотек, фреймворків та прикладів коду.

Сфери застосування мікроконтролерів, зокрема ESP8266, надзвичайно широкі:

– промислова автоматизація та керування;
– вимірювальні прилади та системи збору даних;
– розумні гаджети та носима електроніка;

– системи безпеки та відеоспостереження;
– медичне обладнання та фітнес-трекери;
– розважальні пристрої та ігрові контролери;
– дистанційне керування побутовою технікою;
– роботизовані та мехатронні системи.

Звичайно, порівняно з потужними комп'ютерами та процесорами, мікросхеми управління мають доволі скромні обчислювальні ресурси. Проте для більшості вбудованих систем та автономних пристроїв їх цілком достатньо. Низька ціна, енергоефективність та багатий функціонал роблять це рішення оптимальним вибором для незліченної кількості проектів.

Опис плати Wemos D1 Mini

Мозком системи моніторингу було вибрано Wemos D1 Mini – це компактний модуль розробки рис. 3.1, створений для максимального спрощення процесу проектування пристроїв з підтримкою WiFi. Ця плата базується на потужному чіпі ESP8266EX, який забезпечує високу функціональність при мінімальних розмірах.



Рисунок 3.1 – Компактний IoT-пристрій Wemos D1 Mini

Плата має стандартний крок між контактами 2.54 мм (0.1"), що робить її зручною для використання з безпайковими макетними платами на етапі попереднього прототипування проектів. Незважаючи на компактні розміри (34.2 х 25.6 мм), вона надає доступ до всіх основних виводів мікросхеми ESP8266EX.

Ця міні-плата для IoT обладнана достатньо потужним процесором та вбудованою флеш-пам'яттю об'ємом 4 МБ, що забезпечує її практично автономну працездатність. У багатьох випадках це робить плату незалежною від зовнішніх

мікроконтролерів і забезпечує високу продуктивність при виконанні різноманітних завдань.

Наявність вбудованого USB-TTL перетворювача дозволяє легко програмувати пристрій та взаємодіяти з ним через звичайний USB-порт комп'ютера. Контролер підтримує різні середовища розробки, включаючи Arduino IDE, MicroPython та NodeMCU (Lua), що дає великий вибір для різного рівня підготовки[30].

Завдяки своїй функціональності та доступній ціні, обраний пристрій є ідеальним вибором для створення проектів Інтернету речей (IoT), систем "розумного дому" та інших пристроїв, що потребують бездротового зв'язку.

Характеристики технічні:

- базова платформа це компактний аналог NodeMCU DevKit;
- контролер ESP8266EX Serial WiFi, однокристальна система на основі Tensilica L106 з ультра-низьким енергоспоживанням, 32-біт;
- тактова частота 80 МГц (можливість розгону до 160 МГц);
- робоча напруга 3.3 В;
- напруга живлення 5 В (через USB або зовнішнє джерело);
- споживаний струм до 200 мА;
- флеш-пам'ять 32 Мбіт / 4 Мбайт;
- діапазон частот WiFi 2.4 ГГц - 2.5 ГГц (2412 МГц - 2484 МГц);
- протоколи WiFi 802.11 b/g/n;
- виводи загального призначення (GPIO) 11 цифрових портів;
- аналогові входи: 1 (ADC), розрядність 10-біт;
- максимальний струм на GPIO 12 мА, рекомендований 6 мА;
- USB-контролер CH340G USB-TTL UART;
- вихідна потужність у режимі 802.11b +20 dBm;
- підтримувані інтерфейси GPIO, UART, I2C, SPI, PWM;
- швидкість передачі даних 300-921600 бод, за замовчуванням 115200 бод;
- антена WiFi PCB, інтегрована на платі;
- програмна сумісність з Arduino IDE, NodeMCU, MicroPython;

- підтримка файлової системи: SPIFFS;
- світлодіодна індикація це вбудований світлодіод на D4 (GPIO2);
- крок між контактами 2.54 мм (стандартний);
- робоча температура від -20°C до +85°C;
- розміри 34.2 x 25.6 x 7 мм;
- вага 3 грами.

Опис та призначення виводів:

- GND «земля»;
- 5V (VIN) слугує виводом для 5V;
- 3.3V потрібен для заживлення датчиків та іншої периферії;
- RST вивід для скидання (перезавантаження) мікроконтролера ESP8266;
- A0 (ADC0) аналоговий вхід 10-бітного АЦП. Підтримує напругу 0-3.3V, перетворені значення в діапазоні 0-1023;
- D0 (GPIO16);
- D1 (GPIO5) за замовчуванням може використовуватись як SCL лінія для I2C інтерфейсу;
- D2 (GPIO4) за замовчуванням може використовуватись як SDA лінія для I2C інтерфейсу;
- D3 (GPIO0) також підключений до кнопки FLASH. Використовується для входу в режим програмування;
- D4 (GPIO2) підключений до вбудованого світлодіода (світиться при LOW);
- D5 (GPIO14) може використовуватись як SCK для SPI інтерфейсу;
- D6 (GPIO12) може використовуватись як MISO для SPI інтерфейсу;
- D7 (GPIO13) може використовуватись як MOSI для SPI інтерфейсу;
- D8 (GPIO15) може використовуватись як CS для SPI інтерфейсу;
- TX (GPIO1) UART0 передавач;
- RX (GPIO3) UART0 приймач.

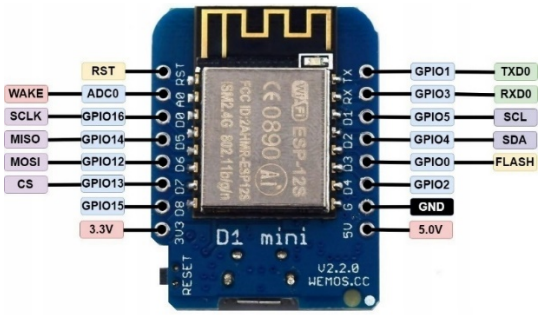


Рисунок 3.2 – Графічне зображення виводів плати Wemos D1 Mini

Більшість цифрових виводів (GPIO) можуть бути програмно налаштовані як:

– входи або виходи загального призначення;
– канали ШІМ (PWM) для керування потужністю методом пульсуючого вмикання та вимикання;
– інтерфейси SPI, I2C, UART залежно від потреб проекту.

3.2 Вибір сенсору для моніторингу якості повітря

Характеристика датчика BME680 CJMCU-680

BME680 CJMCU-680 – це багатофункціональний екологічний сенсор, розроблений компанією Bosch Sensortec рис. 3.3, який об'єднує в одному корпусі чотири датчики: температури, вологості, тиску та газу (VOC).

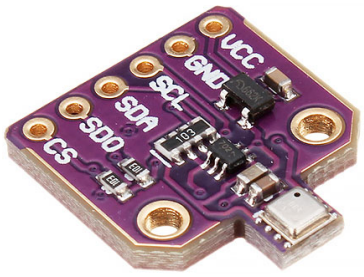


Рисунок 3.3 – Багатофункціональний сенсор BME680

Основні характеристики:

– вимірювання газу (VOC). Вимірює якість повітря, виявляючи широкий спектр летких органічних сполук;
– діапазон вимірювання температури від -40°C до +85°C з точністю ±1°C;
– діапазон вимірювання вологості від 0-100% з точністю ±3%;
– діапазон вимірювання тиску 300-1100 гПа з точністю ±0.6 гПа;
– інтерфейси зв'язку: I²C та SPI;
– напруга живлення 1.71V-3.6V;
– розміри: компактні (приблизно 3.0 x 3.0 x 0.95 мм);
– споживання енергії є надзвичайно низьке (3.7 мкА при 1 Гц) порівняння з іншими датчиками[31].

Цей датчик був вибраний оскільки він є відмінним для проектів, де потрібен комплексний моніторинг параметрів навколишнього середовища при обмеженому просторі та енергозбереженні.

Порівняння з датчиком BME280

BME680 та BME280 є продуктами однієї лінійки від Bosch Sensortec, але мають ключові відмінності в функціональності. BME280 рис 3.4 розроблявся як комплексний датчик параметрів навколишнього середовища, вимірюючи температуру, вологість і атмосферний тиск. BME680 можна розглядати як еволюцію цього датчика з додаванням газового сенсора[32].



Рисунок 3.4 – Модуль вимірювання BME280

Додавання газового сенсора в його старшу версію робить його значно більш універсальним для оцінки якості повітря. Цей сенсор реагує на широкий спектр летких органічних сполук (VOCs), що дозволяє виявляти забруднювачі в повітрі,

які можуть бути шкідливими для здоров'я. Також це дає можливість розраховувати показник якості повітря (IAQ), що особливо важливо для нашого проекту.

Однак розширена функціональність його брата має свою ціну. По-перше, він споживає більше енергії через необхідність нагрівання газового сенсора для правильної роботи. Хоча обидва датчики мають режими зниженого енергоспоживання, молодша модель залишається більш економічною, що може бути критичним для пристроїв з батарейним живленням. По-друге, вартість старшої моделі вища, що робить її сестру більш привабливим для проектів, де моніторинг газів не є необхідним.

Варто відзначити, що точність вимірювання температури, вологості та тиску в обох датчиках приблизно однакова, тому вибір між ними грунтується саме на необхідності функції моніторингу газів та обмеженнях енергоспоживання.

Порівняння з датчиком SHT31

SHT31 від Sensirion демонструє інший підхід до створення сенсорів навколишнього середовища. Він рис. 3.5 спеціалізується виключно на високоточному вимірюванні температури та вологості, тоді як BME680 пропонує більш широкий, але менш спеціалізований функціонал.



Рисунок 3.5 – Пристрій збору даних SHT31

Вимірювальний елемент досягає трохи кращої точності вимірювання вологості (±2% порівняно з ±3% у BME680) завдяки вузькій спеціалізації. Він також має швидший час відгуку на зміну умов навколишнього середовища. Це робить цей датчик ідеальним для застосувань, де критично важливі саме ці параметри, наприклад, у медичному обладнанні або прецизійних метеостанціях[33].

З іншого боку, обраний варіант пропонує значно ширший набір вимірювань за рахунок незначного зниження точності. Крім температури та вологості, він вимірює атмосферний тиск та наявність різних газів. Це робить його більш вигідним варіантом для комплексного екологічного моніторингу.

У питаннях інтеграції, обидва датчики використовують інтерфейс I²C, але BME680 додатково підтримує SPI, що може бути важливим для деяких проектів. З точки зору енергоспоживання, SHT31 має перевагу через відсутність необхідності живлення додаткових сенсорів.

Таким чином, пристрій збору даних SHT31 не підходить через конкретне застосування, що ґрунтується на вищій точність вимірювання температури і вологості, але не є багатофункціональним варіантом.

Порівняння з датчиком CCS811

Порівняємо BME680 та зчитувач від AMS. По-перше, CCS811 рис 3.6 є вузькоспеціалізованим газовим сенсором, який фокусується на вимірюванні еквівалентних рівнів CO2 та загальних летких органічних сполук (ЛОС).



Рисунок 3.6 – Датчик CCS811

По-друге, він використовує металооксидний напівпровідниковий сенсор, оптимізований саме для виявлення вуглекислого газу та органічних сполук, що дозволяє йому проводити більш точні та специфічні вимірювання цих параметрів порівняно з BME680. Це робить його кращим вибором для застосувань, де критично важливий саме моніторинг CO_2, наприклад, для контролю вентиляції в приміщеннях або для систем, що відстежують якість повітря в замкнутих просторах[34].

Однак цей має суттєві обмеження: він не вимірює температуру, вологість та атмосферний тиск, що означає необхідність додаткових сенсорів для комплексного моніторингу навколишнього середовища. Більше того, точність вимірювань детектор залежить від температури та вологості навколишнього середовища, тому для точних результатів необхідно підключати додаткові датчики і компенсувати ці параметри програмно.

Натомість, багатофункціональний сенсор від Bosch пропонує більш збалансований підхід з інтегрованими датчиками температури, вологості та тиску, які не тільки надають додаткову інформацію, але й дозволяють компенсувати їх вплив на вимірювання газів. Хоча комплексний датчик мікроклімату може не бути настільки точним у вимірюванні конкретних газів, як CCS811, але він забезпечує більш цілісну картину якості повітря та умов навколишнього середовища.

Ще одним важливим аспектом є стабільність роботи: CCS811 вимагає тривалого періоду прогрівання та регулярного калібрування для підтримки точності, тоді як обраний варіант більш стабільний у роботі протягом тривалого часу.

Порівняння з датчиком SGP30

Ще одним порівняння є зчитувач SGP30 від Sensirion, який показує різні підходи до моніторингу якості повітря з акцентом на виявлення газів. SGP30 – це спеціалізований сенсор газу, який використовує технологію металооксидних напівпровідників (MOx) для виявлення та вимірювання різноманітних летких органічних речовин і водню, присутніх у повітрі приміщень.

Детектор рис. 3.7 має більш досконалу технологію сенсора газу, яка забезпечує краще виявлення конкретних газів та вищу чутливість. Він також пропонує вбудований алгоритм обробки сигналу, який дозволяє отримувати значення eCO2 (еквівалент вуглекислого газу) та TVOC (total volatile organic compounds) без додаткових обчислень. Ще однією перевагою цього пристрою є його здатність до автокалібрування протягом тривалого часу, що забезпечує більш стабільні вимірювання при довгостроковому використанні[35].



Рисунок 3.7 – Датчик SGP30

Однак, як і CCS811, SGP30 фокусується виключно на вимірюванні газів і не має вбудованих датчиків температури, вологості та тиску. Для нас це значить, що для компенсації впливу цих факторів на точність вимірювання газів потрібні додаткові сенсори, що ускладнює дизайн системи та збільшує загальну вартість.

Комбінований сенсор BME680, навпаки, пропонує інтегроване рішення з датчиками температури, вологості, тиску та газу в одному компактному корпусі. Це спрощує дизайн системи, зменшує кількість компонентів та спрощує інтеграцію. Хоча газовий сенсор може не бути настільки спеціалізованим, як у SGP30, він достатньо чутливий для виявлення широкого спектру VOC та надає корисний показник якості повітря.

Енергоспоживання обох датчиків є порівнянним, хоча SGP30 може вимагати більше енергії під час періодів посиленого вимірювання. З точки зору комунікаційних інтерфейсів, обидва датчики підтримують I^2C, але рішення від Bosch додатково пропонує SPI, що додає гнучкості при інтеграції.

Вибір між BME680 і SGP30 полягає у конкретному застосуванні: для проекту не є пріоритетом точне вимірювання конкретних газів та летких органічних сполук, у яких SGP30 може бути кращим вибором. Оскільки у даній роботі ж важливіша комплексність моніторингу та простота інтеграції, то BME680 буде більш підходящим рішенням.

3.3 Пристрої периферійні

Блок живлення є вторинним джерелом електроенергії, спеціально призначеним для забезпечення стабільного енергопостачання електронних пристроїв з необхідними параметрами напруги та струму. Він виконує критичну функцію перетворення електричної енергії від первинних джерел у форму, придатну для безпечної роботи цільових електронних компонентів.

Wemos D1 Mini пропонує гнучку систему живлення з трьома взаємовиключними варіантами:

1. *Живлення через порт USB-C*. Стандартний і найзручніший спосіб, що забезпечує стабільні п’ять вольт від комп'ютера або зовнішнього адаптера;
2. *Живлення через контакти 5V і GND*. Дозволяє підключення зовнішніх джерел живлення, включаючи батареї та акумулятори;
3. *Живлення через контакти 3V3 і GND*. Прямий доступ до ланцюга живлення мікроконтролера та буде використовуватись для живлення датчика.

У нашому проекті застосовується комбінована стратегія живлення, використовуючи два з цих варіантів:

– основний режим. Підключення через порт USB-C, що забезпечує стабільну напругу під час розробки та налагодження;
– автономний режим. Живлення від зовнішнього джерела через контакти 5V та GND для мобільного застосування.

Для забезпечення мобільності нашого пристрою можна використати:

1. *Портативний PowerBank*. Забезпечує тривалу автономну роботу (показаний на рис. 3.8) та стабільне живлення 5В з можливістю багаторазової зарядки;



Рисунок 3.8 – Перший спосіб живлення пристрою

2. *Батарейний відсік з трьома AAA елементами*. Компактне рішення (показаний на рис. 3.9), яке забезпечує приблизно 4.5В (3 × 1.5В), що після регулювання може використовуватись для живлення пристрою.

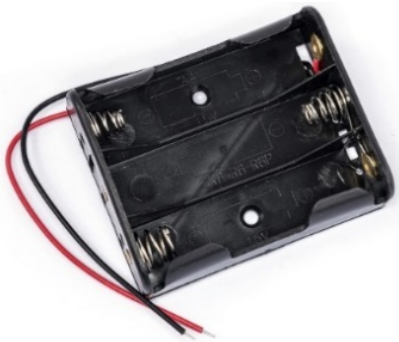


Рисунок 3.9 – Другий спосіб живлення пристрою

Для можливості переключатись з одного способу живлення на інший, використаємо звичайну кнопку, яка буде виконувати функцію селектора живлення. Це дозволить оперативно перемикатися між USB-живленням та автономним режимом роботи від батарей без необхідності фізичного від'єднання кабелів або вимикання пристрою.

Для реалізації цієї функціональності встановимо двопозиційний перемикач приведений на рисунку 3.10.



Рисунок 3.10 – Перемикач

3.4 Схемотехнічне проектування системи

Монтажну схему рис. 3.11 побудовано у такій програмі як Fritzing. Це програма з відкритим вихідним кодом, спеціально розроблена для електронних проектів та прототипування. Fritzing надає зручний інтерфейс, що дозволяє проектувальникам, початківцям та професіоналам створювати високоякісні схеми для документування та підготовки до виробництва[36].

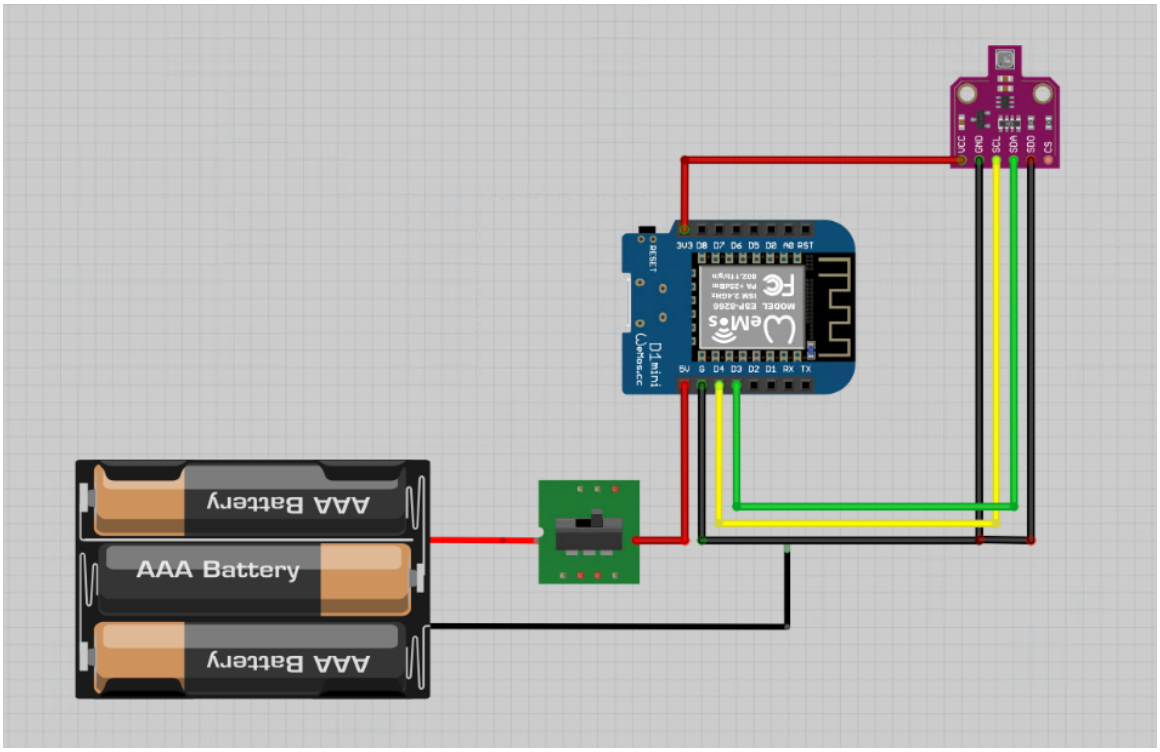


Рисунок 3.11 – Схема електрична монтажна IAQ-моніторингу

3.5 Монтаж та налагодження апаратних компонентів

Отже, після завершення етапу проектування монтажної схеми настав час реалізації діючого макету рис. 3.12 пристрою. В процесі збірки макету було використано макетну плату як основу конструкції, що забезпечує зручне розміщення та комутацію всіх функціональних елементів системи. Додатково у конструкції застосовано з'єднувальні елементи типу PBS-розетка, які надають суттєві переваги при збиранні та тестуванні пристрою, забезпечуючи можливість оперативної заміни окремих компонентів та модулів проекту без необхідності паяння. Така модульна конструкція дозволяє не лише прискорити процес збірки пристрою, але й значно спрощує подальшу модифікацію та обслуговування розробленої системи в процесі експлуатації.

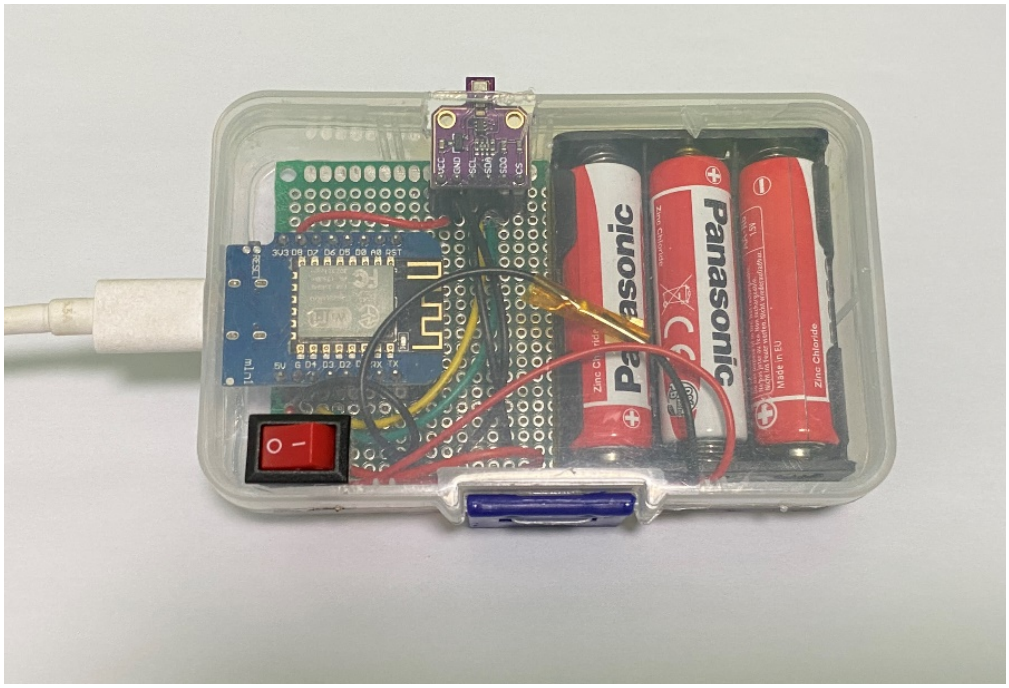


Рисунок 3.12 – Зібраний пристрій, моніторингу якості повітря

4 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ, ТЕСТУВАННЯ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

4.1 Реалізація програмного забезпечення для мікроконтролера

Середовище програмування Arduino IDE

Arduino IDE (Integrated Development Environment) – це зручне та інтуїтивно зрозуміле середовище розробки рис.4.1, яке дозволяє легко створювати, редагувати та завантажувати програмний код на різноманітні плати. Це програмне забезпечення з відкритим кодом, розроблене спеціально для роботи в написанні IoT рішень, яка завоювала величезну популярність серед ентузіастів електроніки, робототехніки та DIY-проектів.

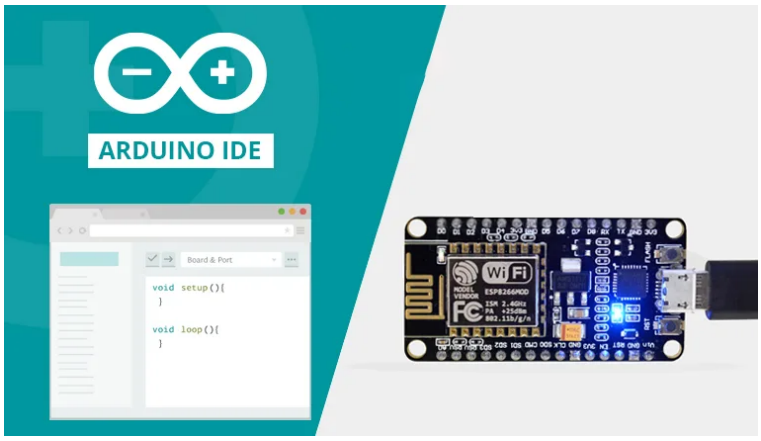


Рисунок 4.1 – Функціональне середовище розробки Arduino IDE

Однією з ключових переваг Arduino IDE є її простота та доступність навіть для початківців. Середовище має мінімалістичний інтерфейс з усіма необхідними функціями для написання та налагодження коду. Користувачі можуть створювати свої програми (скетчі) використовуючи зрозумілу мову програмування, яка базується на C++.

Мова цієї платформи включає в себе багато високорівневих функцій та бібліотек, які абстрагують складні низькорівневі операції та спрощують взаємодію

з апаратними компонентами плати. Завдяки цьому, навіть люди без глибоких знань програмування можуть швидко освоїти створення проектів.

Водночас, Arduino IDE надає достатньо гнучкості для досвідчених розробників. Під капотом використовується потужний компілятор AVR-GCC, який перетворює код у машинні інструкції для мікроконтролера. Це дає змогу оптимізувати програми, використовувати весь потенціал апаратної частини та реалізовувати складні алгоритми.

Серед інших переваг Arduino IDE варто відзначити:

1. *Крос-платформеність*. Середовище доступне для Windows, Mac OS X та Linux, що дозволяє розробляти проекти на різних операційних системах;
2. *Вбудований монітор порту*. Дозволяє відслідковувати та відправляти дані через послідовний порт, що зручно для налагодження та взаємодії з платою під час виконання програми;
3. *Менеджер бібліотек та плат*. Користувачі можуть легко встановлювати додаткові бібліотеки та визначення плат з великого онлайн-репозиторію, розширюючи функціональність середовища;
4. *Активна спільнота*. Навколо Arduino IDE сформувалася величезна спільнота розробників, яка ділиться своїми проектами, бібліотеками та надає підтримку новачкам;
5. *Розширюваність*. Середовище підтримує встановлення плагінів та розширень, які додають нові можливості та інструменти для розробки.

Для початку роботи з платформою завантажимо її з офіційно сайту. Після цього підключаємо плату до комп’ютера за допомогою кабелю USB:після чого скачується необхідний нам драйвер CP2102 або CH340G в залежності від контролеру;

– заходимо в розділ «Файл» > «Налаштування» і знайдемо рядок «додаткові посилання для менеджера плат» і вставляємо туди наступне посилання http://arduino.esp8266.com/versions/2.3.0/ _esp8266com_index.json (рисунок 4.2);

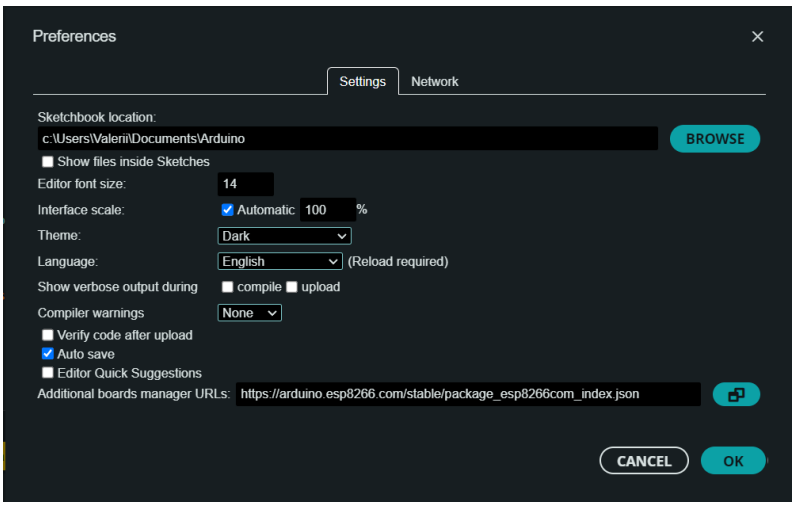


Рисунок 4.2 – Налаштування в середовищі

– заходимо в розділ «інструменти» > «плата» > (рисунок 4.3) «менеджер плат», де вибираємо «esp8266» і завантажуємо останню версію;

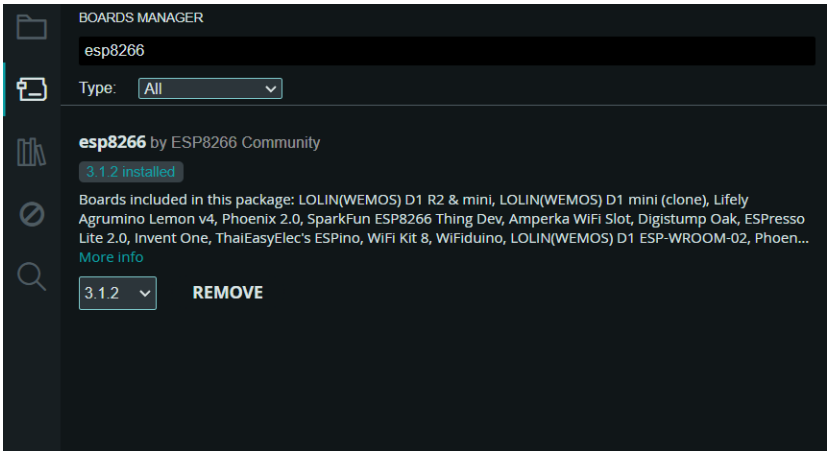


Рисунок 4.3 – Менеджер плат

– заходимо в розділ «інструменти» > (рисунок 4.4) «плата» та знаходимо Wemos D1 Mini;

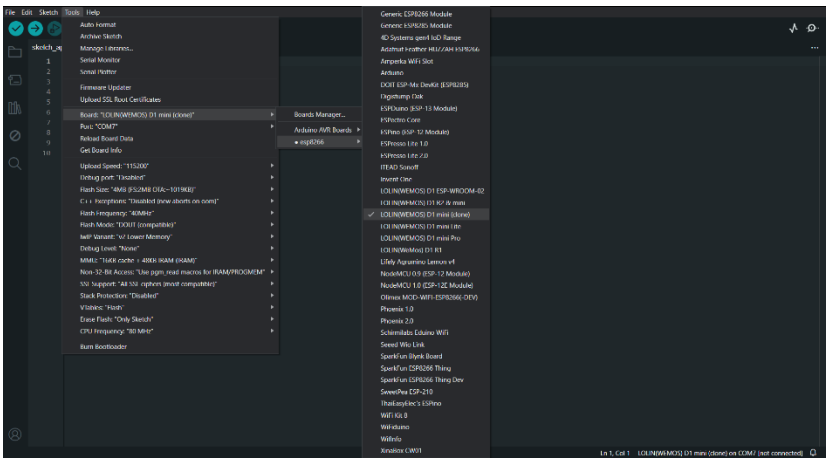


Рисунок 4.4 – Менеджер плат

– необхідно в тому ж розділі зайти в розділ «порт» (рисунок 4.5) і вибрати той, до якого підключено плату;

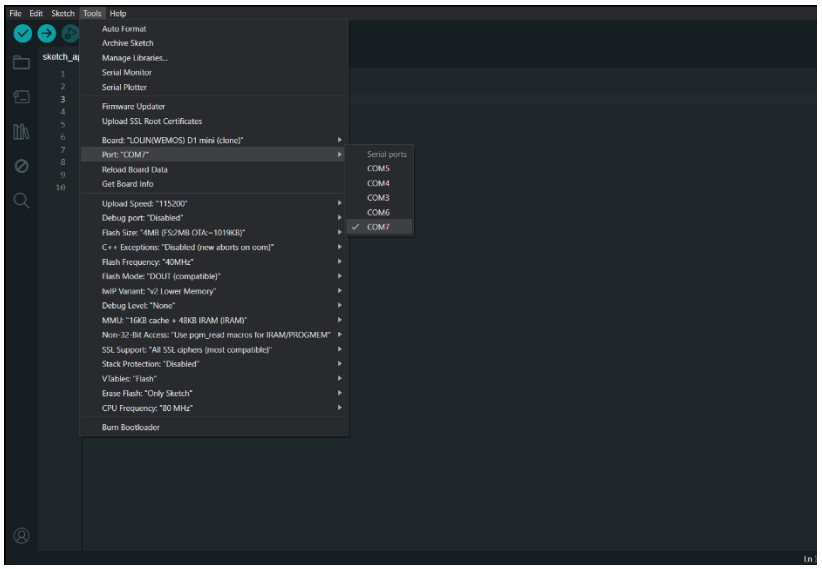


Рисунок 4.5 – Вибір порту

Після цих дій можна приступити до написання коду, який приведений у додатку А.

Опис бібліотеки BSEC Library

Для роботи з дачиком була вибрана бібліотека BSEC від Bosch Sensortec оскільки вона є оптимальним вибором для роботи з сенсорами навколишнього середовища з наступних причин:

1. *Інтегрована система аналізу інформації*. Бібліотека не просто зчитує «сирі» дані з сенсора, а використовує складні алгоритми для обробки та покращення точності вимірювань, особливо для показників якості повітря;
2. *Інтелектуальні віртуальні сенсори*. Надає доступ до розрахункових параметрів, таких як еквівалент CO2 та концентрація VOC, які неможливо отримати лише з апаратних вимірювань;
3. *Автоматична компенсація.* Враховує вплив температури, вологості та тиску для більш точних вимірювань якості повітря;
4. *Самонавчання.* Алгоритм бібліотеки постійно калібрується з часом, що забезпечує підвищення точності показників при тривалому використанні;
5. *Енергоефективність*. Оптимізує режими роботи сенсора для забезпечення балансу між частотою вимірювань та енергоспоживанням;
6. *Можливість збереження стану*. Дозволяє зберігати параметри калібрування, що особливо важливо для проектів з обмеженим енергоспоживанням;
7. *Офіційна підтримка*. Розроблена самим виробником сенсорів, що гарантує найкращу сумісність та підтримку;
8. *Достовірність інформаційного виводу*. Надійність алгоритмів Bosch забезпечує надійні показники, що особливо важливо для моніторингу параметрів навколишнього середовища.

Вибір цієї бібліотеки дозволяє розробникам зосередитись на створенні додатків для моніторингу якості повітря та умов навколишнього середовища без необхідності розробки власних складних алгоритмів обробки сенсорних даних[37].

Основні її функції:

– bsec.begin() ініціалізує сенсор та бібліотеку BSEC. Потрібно вказати адресу I2C та режим роботи сенсора;
– bsec.setConfig() дозволяє встановити конфігурацію BSEC із попередньо налаштованих профілів або власної конфігурації;
– bsec.updateSubscription() налаштовує, які віртуальні сенсори будуть активовані та з якою періодичністю вони оновлюватимуться.

Для отримання даних із сенсорів використовуються наступні функції:

– bsec.run() основна функція, яка запускає алгоритм BSEC та оновлює дані вимірювань. Повертає час наступного необхідного виклику;
– bsec.getTemperature() повертає температуру в градусах Цельсія;
– bsec.getHumidity() повертає відносну вологість у відсотках;
– bsec.getPressure() повертає атмосферний тиск у паскалях;
– bsec.getIAQ() повертає індекс якості повітря (IAQ - Indoor Air Quality), числове значення від 0 до 500, де нижчі значення означають кращу якість повітря;
– bsec.getIAQAccuracy() повертає рівень точності індексу якості повітря від 0 до 3, де 3 означає найвищу точність після калібрування.

Функції для налаштування додаткових параметрів:

– bsec.setTemperatureOffset() дозволяє встановити зміщення температури для компенсації нагрівання самого пристрою;
– bsec.setSampleRate() встановлює частоту вибірки для різних віртуальних сенсорів;

Функції для роботи зі станом BSEC:

– bsec.getState() повертає поточний стан BSEC, який можна зберегти;
– bsec.setState() встановлює попередньо збережений стан BSEC, що дозволяє продовжити роботу з точки переривання;
– bsec.saveState() зберігає поточний стан BSEC у незалежній пам'яті для відновлення після вимкнення живлення.

Бібліотека також надає доступ до розширених віртуальних сенсорів:

– bsec.getCO2Equivalent() повертає оцінку еквівалента CO2 у частинах на мільйон (ppm);
– bsec.getBreathVOC() повертає оцінку концентрації летких органічних сполук (VOC) у повітрі;
– bsec.getGasResistance() повертає безпосереднє значення опору газового сенсора в Омах.

4.2 Налаштування серверу Blynk

Для початку роботи з платформою необхідно перейти на офіційний сайт компанії та зареєструватись [38], вказавши електронну пошту та створивши надійний пароль. Після цих дій потрапляємо на адміністративну панель сервісу, де можна налаштовувати, моніторити й керувати проектами. Щоб розробити новий шаблон рис. 4.6, потрібно перейти у вкладку «Для розробників» та обрати відповідну опцію. У шаблоні обов'язково вказати ім'я, назву мікроконтролера та тип з'єднання. Інтерфейс платформи досить інтуїтивний та дозволяє швидко освоїтись навіть початківцю.

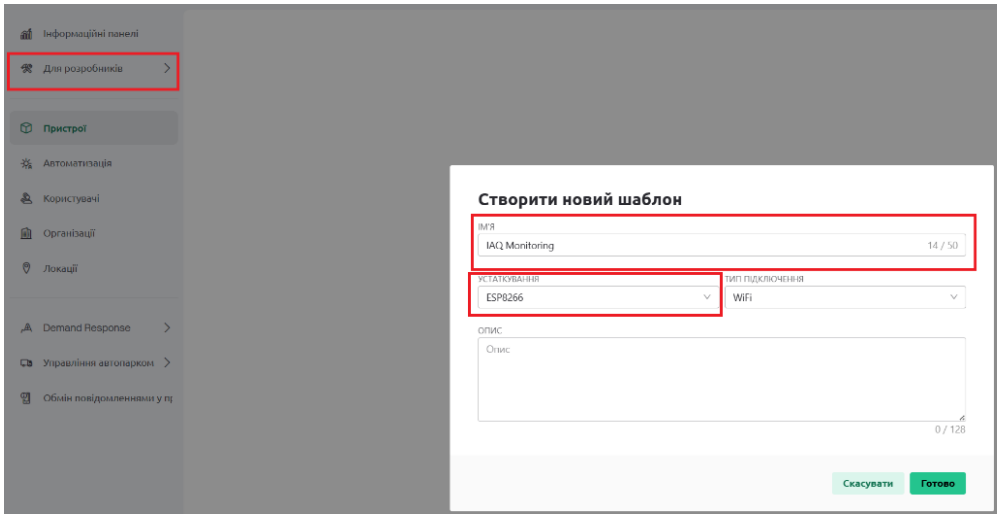


Рисунок 4.6 – Створення шаблону в Blynk.Console

У вкладці «Потоки даних» потрібно натиснути «Новий потік даних». Цей розділ дозволяє конфігурувати метрики, які передає мікроконтролер з віртуальних пінів. Тут рис. 4.7 задається найменування метрики, пін, тип оброблюваних даних, одиниці виміру, мінімальні та максимальні значення. Правильне налаштування потоків даних є ключовим для подальшої роботи системи.

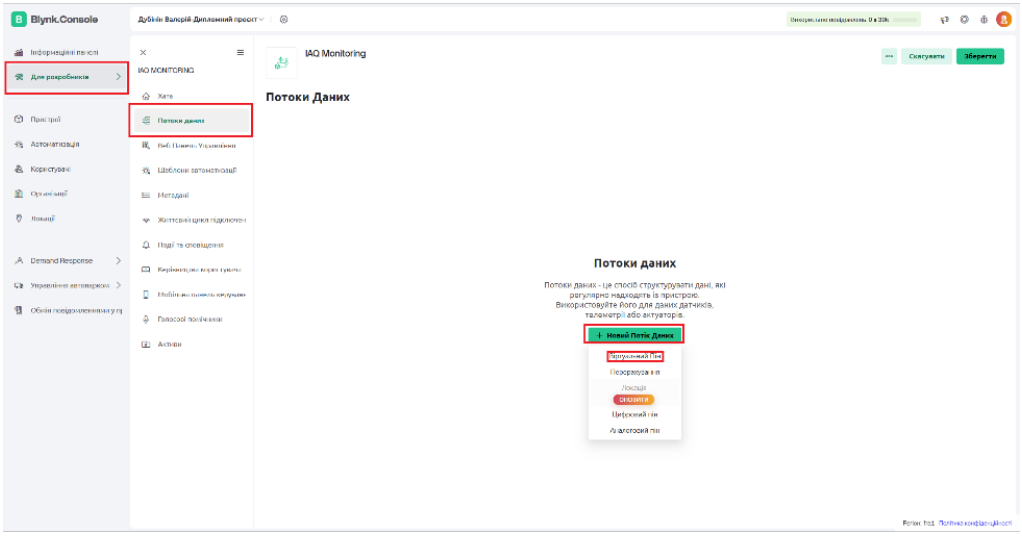


Рисунок 4.7 – Додавання метрик даних в Blynk.Console

Потрібно створити 6 потоків даних для контролю їх показників та відображення інформації з них у віджетах. Сформований перший з них рисунок 4.8. Пін, який відстежує IAQ, зчитується з першого піну, має цілочисельний тип даних та вимірюється в частинках на мільйон (скорочено ppm). Діапазон вимірювання встановлюємо від 0 до 1000, хоча це й є доволі великим інтервалом, враховуючи, що 500 ppm — критично допустима норма. Проте важливо залишити певний цифровий запас для фіксації перевищення цього значення та точного моніторингу.

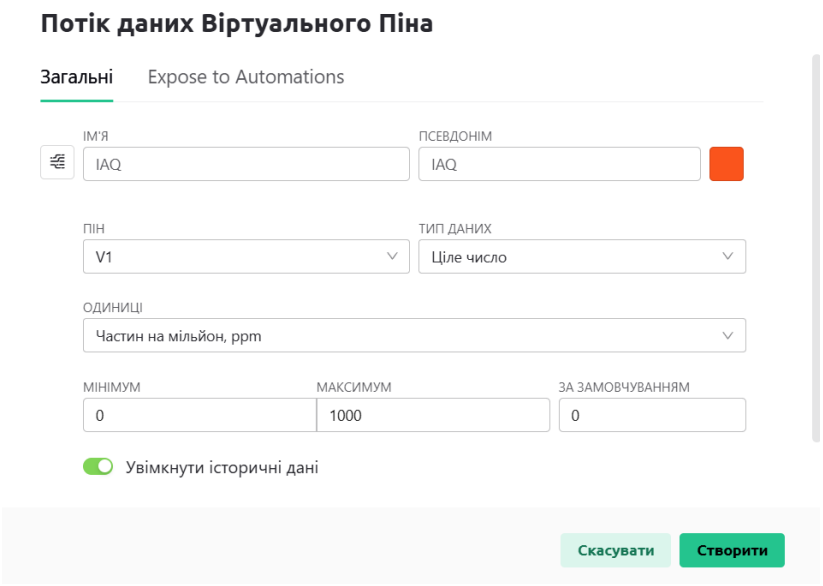


Рисунок 4.8 – Налаштування віртуального піну 1 у вкладці «Потік даних»

Усі інші параметри конфігуруються аналогічним способом. Для піну 2, що визначає концентрацію вуглекислого газу рисунок 4.9, обраний тип даних є цілочисельним, одиниці виміру – ppm, інтервал вимірюваних значень від 0 до 10000. Ці налаштування дозволяють точно відстежувати рівень CO2 у приміщенні.

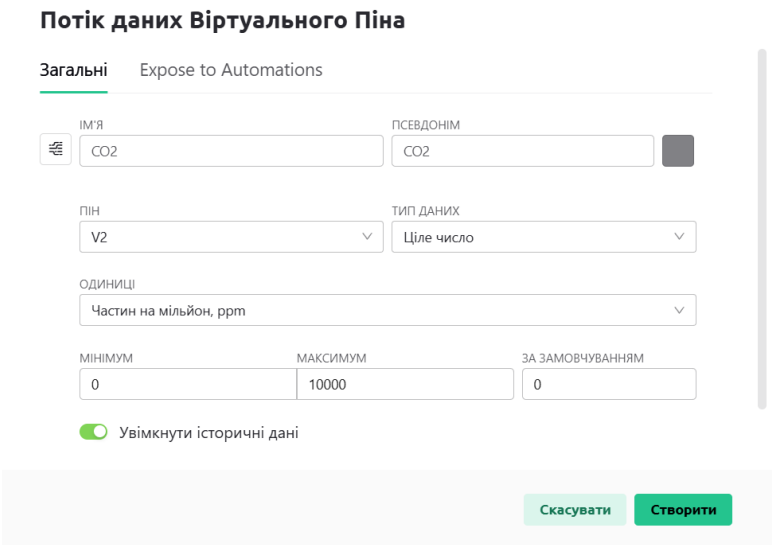


Рисунок 4.9 – Налаштування збору метрик для CO2 в Blynk

На рисунку 4.10 зображені всі налаштовані потоки даних, які використовуються та зчитуються датчиком, а саме: IAQ, CO2, VOC, температура у приміщенні, вологість повітря, атмосферний тиск. Зокрема, для відображення летких органічних сполук було обрано тип даних з плаваючою точкою, оскільки в стані норми їх показники відображались би як нуль, що могло вводити користувачів в оману.

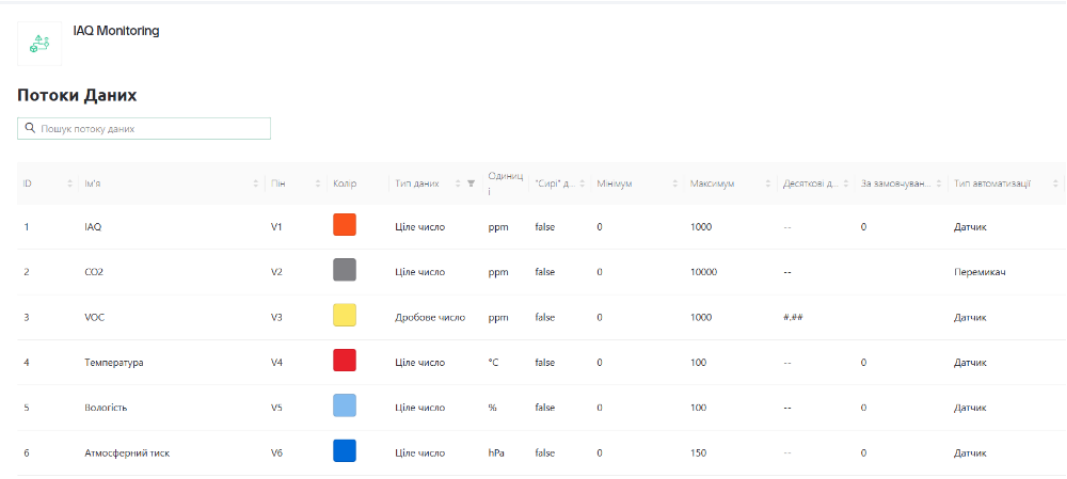


Рисунок 4.10 – Налаштований потік даних у системі моніторингу

Наступним етапом є додавання та прив'язка віджетів до потоку даних, які були сконфігуровані. Для комплексного моніторингу будуть застосовані такі віджети, як графік, датчик, мітка, що використовуються для візуалізації параметрів у реальному часі. Віджети рисунок 4.11 значно покращують сприйняття інформації та роблять інтерфейс більш дружнім до користувача.

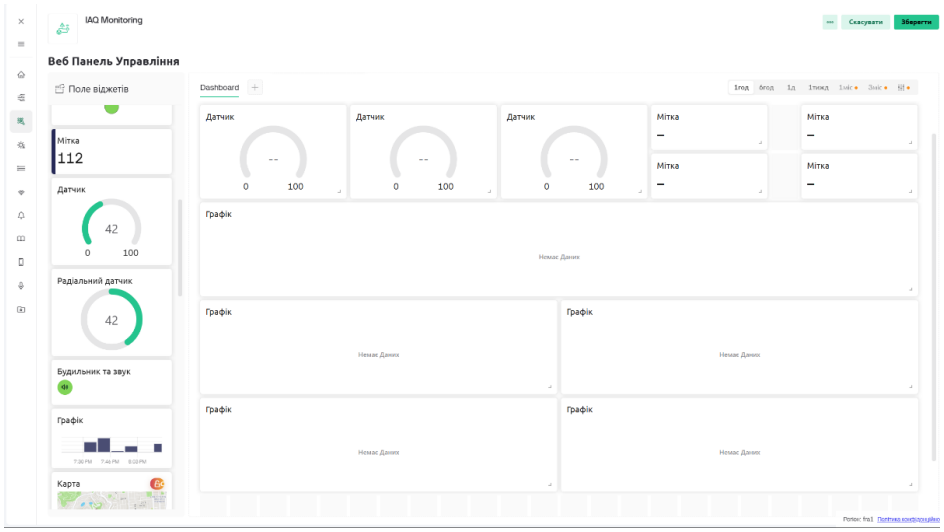


Рисунок 4.11 – Загальна структура дашборду у вкладці «Віджети»

Для спостереження в реальному часі за параметрами використовується віджет «Датчик». Завдяки налаштованому діапазону допустимих норм показників і вибраному градієнту кольорової індикації можна відслідковувати стан і погіршення

у вигляді зміни кольору, де зелений свідчить про норму, а червоний – про небезпечний рівень забруднення повітря. Щоб сконфігурувати віджет рисунок 4.12, необхідно обрати віртуальний пін, інтервал вимірювальних значень та колір графічного відображення. Індикатори вуглекислого газу та летких органічних сполук налаштовуються подібним чином. Такий підхід забезпечує можливість оперативного реагування на динаміку змін показників якості повітря.

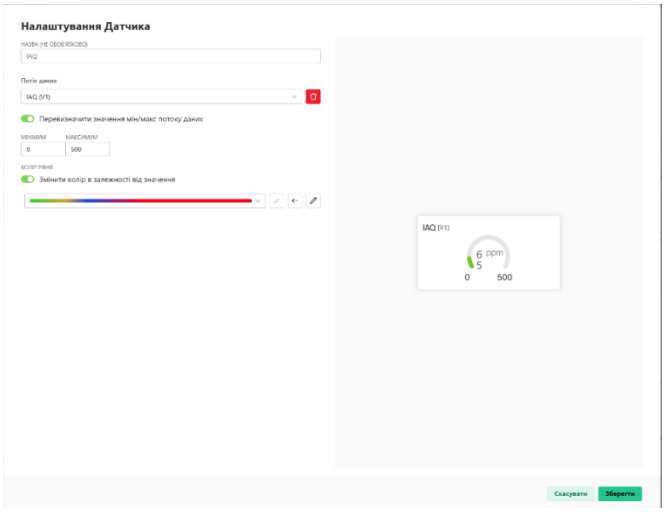


Рисунок 4.12 – Віджет «Датчик» для моніторингу IAQ

Щоб відображати температуру, вологість та атмосферний тиск, був використаний віджет «Мітка». Він рисунок 4.13 призначений для мінімалістичного виведення інформації. Для його конфігурації необхідно вказати віртуальний пін, обрати колір відображення та зазначити назву мітки. Такий підхід забезпечує легке сприйняття додаткових параметрів середовища.

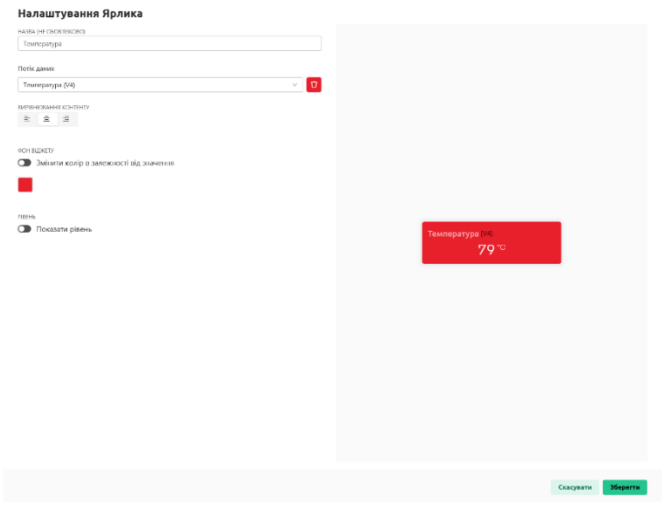


Рисунок 4.13 – Налаштування показників температури у віджеті «Мітка»

Віджет «Графік» рис. 4.14 надає можливість проаналізувати загальну статистику за певний часовий проміжок. Щоб його сконфігурувати роботи системи моніторингу якості, потрібно вказати пін, тип графіку та колір. Графіки особливо корисні для виявлення тенденцій та закономірностей у зміні параметрів повітря протягом дня чи тижня.

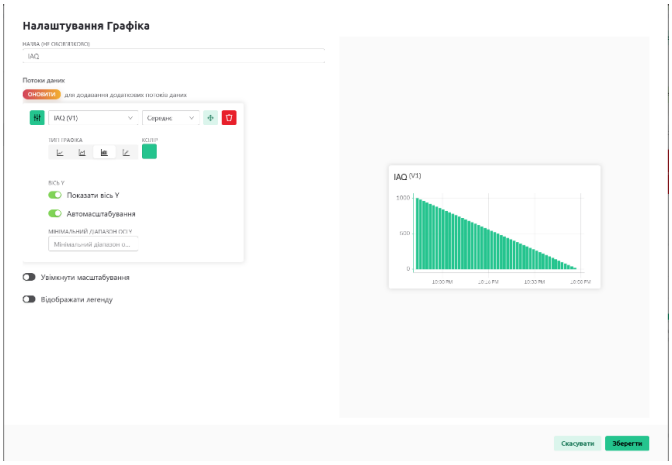


Рисунок 4.14 – Віджет «Графік» у системі моніторингу

Дана платформа IoT дозволяє реалізувати тригери, які забезпечують надсилання push-повідомлень на пристрої або на електронну пошту. Для налаштування цих оповіщень рис. 4.15 потрібно перейти у вкладку «Події та

сповіщення» та створити нову подію. Система сповіщень є надзвичайно важливою для оперативного реагування на критичні зміни в параметрах.

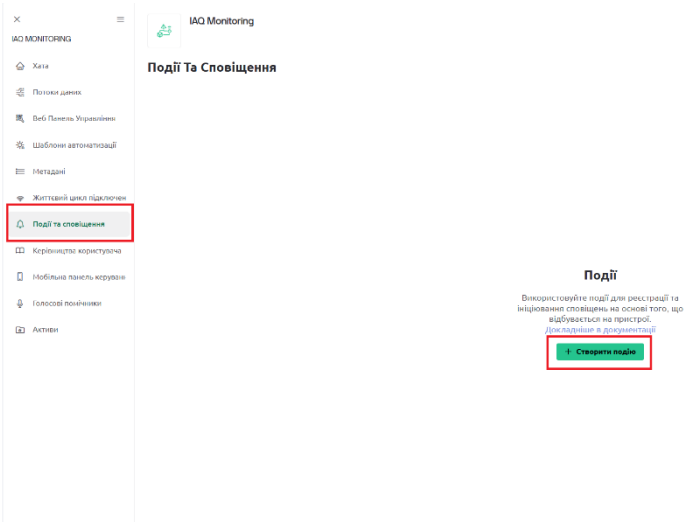


Рисунок 4.15 – Створення тригеру в Blynk

Загальна структура тригера рис. 4.16 складається з ідентифікатора, який прописується у коді, ролі сповіщення (критична, попередження, інше) та опису самого сповіщення. Чітка класифікація повідомлень допомагає швидко визначити пріоритетність реакції.

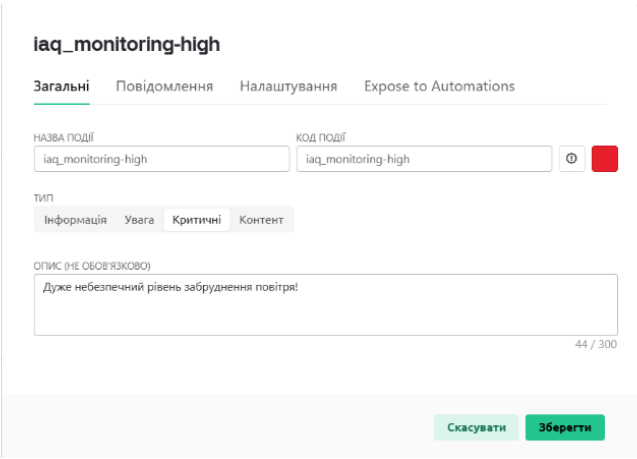


Рисунок 4.16 – Сповіщення про критичний рівень забруднення повітря

У пункті «Повідомлення» рис. 4.17 вибирається тип сповіщення та отримувача.

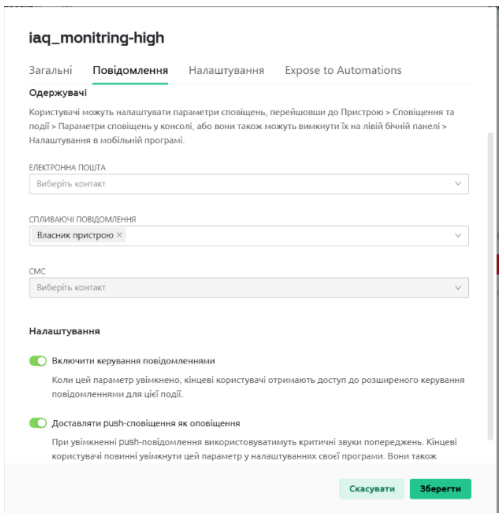


Рисунок 4.17 – Налаштування Push-сповіщення у вкладці «Події»

Пункт налаштування рис. 4.18 надає можливість регулювати частоту спрацьовування події та вибирати пристрої, на яких вони будуть відображатися. Це дозволяє персоналізувати систему оповіщень відповідно до потреб користувача та уникнути надмірної кількості непотрібних сповіщень.

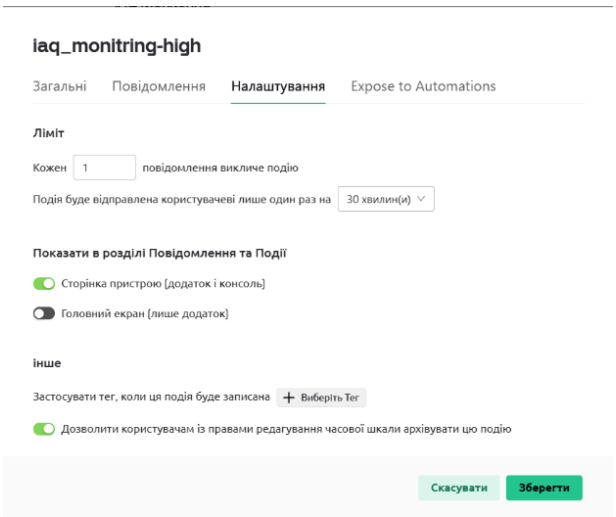


Рисунок 4.18 – Налаштування регулярності спрацьовування сповіщення

Усі налаштовані сповіщення приведені на рисунку 4.19

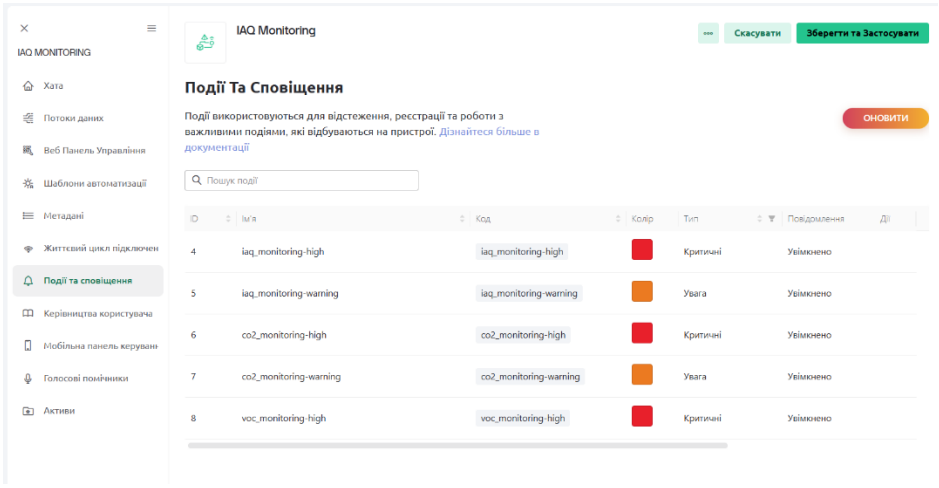


Рисунок 4.19 – Сповіщення системи моніторингу в Blynk

4.3 Встановлення та налаштування додатку

Мобільний додаток необхідний для можливості дистанційного контролю показників і отримання сповіщень на смартфон. У застосунку налаштовуються віджети, які відображатимуть відповідну інформацію для зручного моніторингу якості повітря.

Щоб інсталювати програму, потрібно перейти у крамниці App Store або Play Market, залежно від операційної системи вашого смартфону, ввести назву додатку та завантажити його. Після успішного встановлення потрапляємо до екрану авторизації, де вводимо пароль та електронну пошту, до якої прикріплений обліковий запис. Увійшовши до особистого кабінету, необхідно перейти до розділу пристроїв і сконфігурувати відповідні віджети, які знадобляться для ефективного моніторингу. Інтерфейс додатку рисунок 4.20 досить інтуїтивний та дружній до користувача.

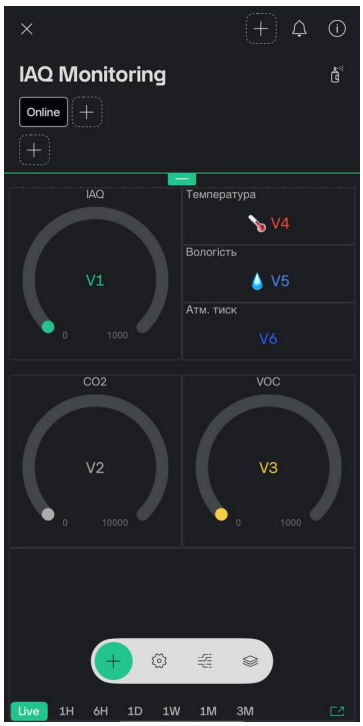


Рисунок 4.20 – Налаштування віджетів у застосунку Blynk

Як демонструється на рис. 4.20, загальна архітектура відповідає веб-версії, що забезпечує уніфікований досвід користування на різних платформах та дозволяє легко переключатися між ними без необхідності повторного навчання.

4.4 Результати моніторингу якості повітря в реальних умовах

Після завершення процесу збірки та програмування пристрою необхідно здійснити аналіз отриманих результатів. На даний момент система функціонує в онлайн режимі та відображає наступні параметри рис. 4.21 повітряного середовища: індекс якості повітря (IAQ) становить 137 ppm, що свідчить про наявність певного рівня забруднення повітря у приміщенні; концентрація вуглекислого газу (CO2) фіксується на рівні 1109 ppm, що є в межах норми; вміст летких органічних сполук (VOC) складає 1,83 ppm, що є допустимим значенням для даного показника. Отримані результати дозволяють зробити висновок про задовільний стан повітряного середовища за параметрами CO2 та VOC, проте підвищений рівень IAQ вказує на необхідність покращення вентиляції приміщення для зниження загального рівня забруднення повітря.

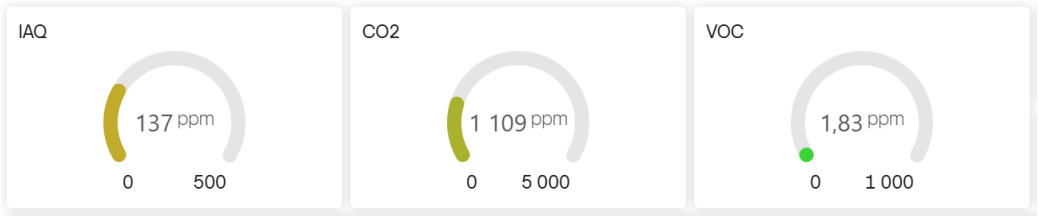


Рисунок 4.21 – Показники якості повітря у системі моніторингу

Наступним елементом інтерфейсу системи моніторингу є інформаційний віджет, який візуалізує результати вимірювань вологості, температури та атмосферного тиску. Аналіз отриманих даних рис. 4.22 дозволяє констатувати, що рівень відносної вологості повітря у приміщенні складає лише 14%, що є критично низьким показником. Такі показники вологості можуть негативно впливати на стан здоров'я людей, викликаючи подразнення в дихальних шляхах, надмірну сухість шкірних покривів та загальний дискомфорт. Крім того, низька вологість створює сприятливі умови для накопичення статичної електрики та може негативно

позначатися на стані дерев'яних меблів та інших матеріалів, чутливих до рівня вологості.

Щодо атмосферного тиску, то зафіксоване значення становить 99 гПа (гектопаскалів), що відповідає нормальному атмосферному тиску та не становить потенційної загрози для здоров'я людей. Стабільний атмосферний тиск у межах нормальних значень свідчить про відсутність різких метеорологічних змін, які могли б негативно вплинути на самопочуття метеочутливих осіб або порушити функціонування інженерних систем будівлі.

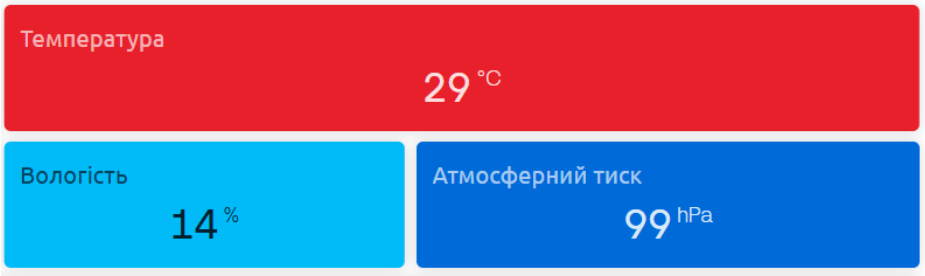


Рисунок 4.22 – Загальні показники мікро клімату на дашборді

Аналіз графічних даних рис. 4.23 системи моніторингу демонструє, що показники якості повітря у досліджуваному приміщенні характеризуються відносною стабільністю протягом усього періоду спостереження, зберігаючись на приблизно однаковому рівні. Відсутність суттєвих флуктуацій параметрів якості повітря у часовому вимірі є індикатором наявності регулярних, системних проблем з аеродинамічним режимом приміщення. Така стабільність негативних показників свідчить про недостатню ефективність існуючої системи вентиляції, що призводить до постійного накопичення забруднюючих речовин у повітрі приміщення. Виявлена закономірність вказує на потребу у розробці та впроваджені все загальних заходів з оптимізації вентиляційної системи або встановлення додаткового обладнання для очищення повітря заради забезпечення встановлено допустимих показників якості повітряного середовища.

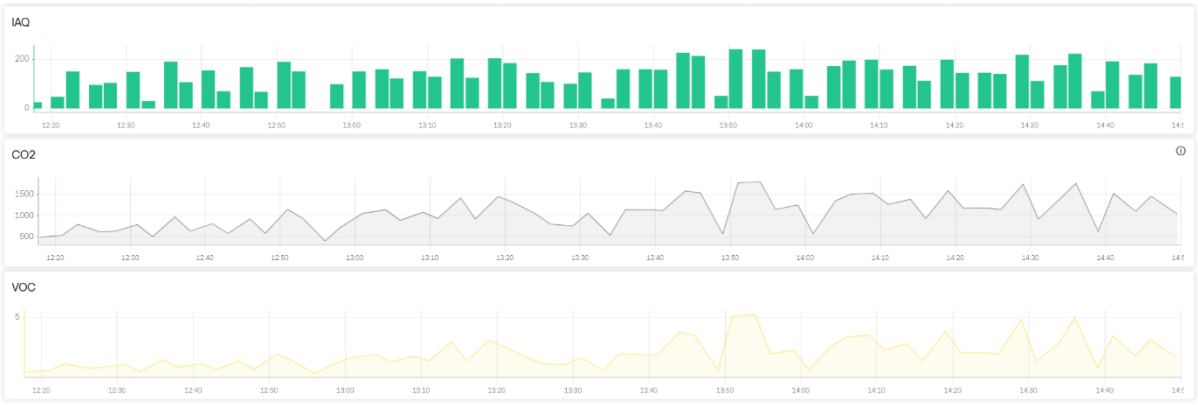


Рисунок 4.23 – Графік показників IAQ,CO2,VOC за годину

За допомогою мобільного застосунку користувачі отримують можливість здійснювати безперервний моніторинг параметрів якості повітря рис. 4.24 в режимі реального часу.

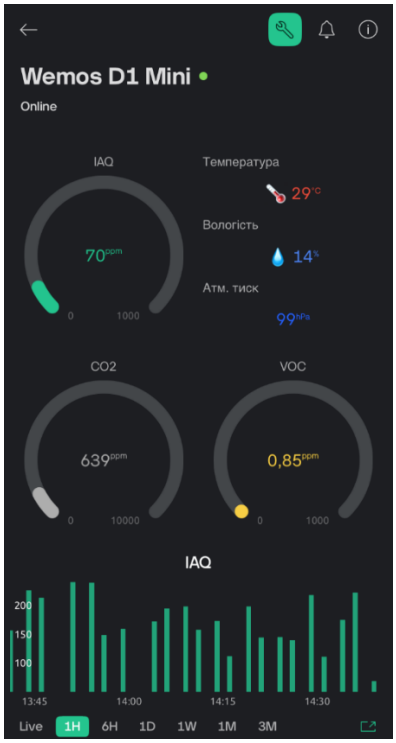


Рисунок 4.24 – Метрики у мобільному застосунку Blynk

Важливою функціональною складовою розробленої системи моніторингу якості повітря є модуль сповіщень, який забезпечує оперативне інформування користувачів про виявлені відхилення контрольованих параметрів від нормативних

значень. Аналіз хронологічної послідовності зафіксованих системою рис. 4.25 сповіщень дозволяє відзначити, що о 14:34 було зареєстровано попередження щодо підвищеного рівня концентрації вуглекислого газу (CO2), а також сповіщення про загальне забруднення повітряного середовища. Систематичний характер даних сповіщень є індикатором наявності регулярних проблем з якістю повітря у приміщенні, що потребують невідкладного вирішення.

На основі отриманих результатів моніторингу та аналізу характеру сповіщень можна рекомендувати впровадження комплексу заходів з оптимізації мікроклімату приміщення, зокрема, підвищення ефективності існуючої системи вентиляції шляхом збільшення кратності повітрообміну або застосування системи рекуперації тепла. Альтернативним або додатковим рішенням може бути встановлення спеціалізованих пристроїв для очищення повітря, оснащених комбінованими системами фільтрації, що забезпечують видалення широкого спектру забруднювачів та нормалізацію параметрів повітряного середовища.

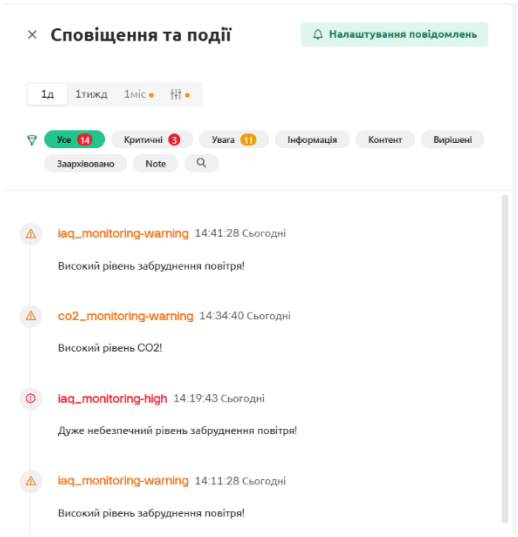


Рисунок 4.25 – Вигляд сповіщень у WEB-застосунку

4.5 Оцінка точності та надійності системи

Система моніторингу якості повітря в приміщенні, що використовує датчик BME680 та мікроконтролер ESP8266, являє собою перспективне технічне рішення для контролю параметрів повітряного середовища. Водночас, для забезпечення належного функціонування даної системи необхідно провести детальну оцінку її точнісних характеристик та надійності.

Точність розробленої системи неабиякою мірою встановлюється датчиком BME680. Цей вимірювальний датчик представляє собою багатофункціональний пристрій, який одночасно здійснює контроль декількох параметрів середовища: температурних показників, рівня вологості, барометричного тиску та загальної якості повітря (за допомогою спеціального газового сенсора). Згідно з технічною документацією, наданою виробником, датчик характеризується наступними показниками точності: · Температура: ±0.5°C (у діапазоні 0-65°C) · Вологість: ±3% (у діапазоні 20-80%) · Тиск: ±0.6 гПа (у діапазоні 300-1100 гПа) · Газовий сенсор: показники залежать від методик калібрування та алгоритмів обробки отриманих даних

За для збільшення точності вимірювань газового сенсора у розробленій системі імплементовано програмне забезпечення BSEC (Bosch Software Environmental Cluster). BSEC представляє собою фірмову бібліотеку, розроблену компанією Bosch Sensortec, що реалізує комплексні алгоритми калібрування та обробки даних для мінімізації дрейфу сенсора та компенсації впливу зовнішніх факторів. Використання програмного забезпечення BSEC дозволяє отримувати значно точніші та більш надійні результати вимірювань показників якості повітря порівняно з первинними даними, які надходять безпосередньо від сенсорного пристрою.

Необхідно зауважити, що абсолютна точність вимірювань якості повітря з використанням BME680 може бути нижчою у порівнянні зі спеціалізованими газоаналізаторами. Він є доступним за вартістю датчиком широкого застосування і може характеризуватися обмеженнями щодо селективності та чутливості до

окремих типів газових сполук . Для отримання більш прецизійних даних стосовно концентрацій специфічних забруднювачів атмосфери може виникнути необхідність у інтеграції додаткових спеціалізованих сенсорних елементів.

Надійність розробленої системи обумовлюється стабільністю функціонування як апаратних компонентів, так і програмного забезпечення. ESP8266 є широко розповсюдженим мікроконтролером з вбудованим Wi-Fi модулем, що активно застосовується в проєктах Інтернету речей. Зазначений мікроконтролер забезпечує достатню обчислювальну потужність для обробки інформаційних потоків з датчика BME680 та організації з'єднання з хмарною платформою Blynk. Проте, ESP8266 демонструє чутливість до флуктуацій напруги живлення та електромагнітних інтерференцій .

Програмне забезпечення системи, що включає прошивку для ESP8266, бібліотеку BSEC та програмні компоненти для інтеграції з Blynk, також відіграє суттєву роль у забезпеченні надійності. Регулярне оновлення програмного забезпечення та використовуваних бібліотек забезпечує усунення виявлених помилок та вразливостей. Окрім того, у системі реалізовано механізми обробки виключних ситуацій та відновлення працездатності у випадку виникнення збоїв чи втрати комунікаційного з'єднання.

Розроблена система контролю якості повітря у внутрішніх приміщеннях, що базується на використанні датчика BME680, у поєднанні з алгоритмічним забезпеченням BSEC та електронним керуючим модулем ESP8266, демонструє значний потенціал для забезпечення високого рівня точності та стабільності отримуваних вимірювальних даних. Використання датчика BME680 у поєднанні з програмними алгоритмами BSEC забезпечує отримання достовірних даних про основні параметри повітряного середовища, хоча для більш специфічних вимірювань доцільним є застосування додаткових сенсорних елементів. Надійність розробленої системи визначається стабільністю роботи апаратних компонентів, якістю програмного забезпечення та врахуванням впливу зовнішніх факторів.

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було проведено комплексну оцінку проблематики моніторингу якості повітря в приміщеннях та розроблено ефективну систему контролю параметрів повітряного середовища.

На початковому етапі дослідження здійснено детальний аналіз негативного впливу забруднення повітря у приміщеннях на здоров'я людини, систематизовано нормативні вимоги та загальні характеристики ключових параметрів якості повітря. Проведено аналітичний огляд методів вимірювання показників якості повітряного середовища та технічних засобів, які забезпечують можливість моніторингу таких параметрів як концентрація вуглекислого газу, VOC та інших забруднювачів. Результати даного аналізу дозволили сформувати цілісне розуміння проблематики та обґрунтувати концептуальні підходи до створення системи моніторингу.

У другому розділі роботи досліджено сучасні платформи для проєктування IoT-рішень, проаналізовано їхні функціональні можливості, структурні компоненти та принципи взаємодії. Отримані результати забезпечили можливість більш чітко сформулювати технічні вимоги до розроблюваної системи та оптимізувати процес її проєктування з урахуванням сучасних технологічних тенденцій.

У третьому розділі здійснено обґрунтований вибір апаратної складової системи моніторингу. У роботі було проведено детальне порівняння технічних параметрів датчика BME680 з іншими доступними сенсорними пристроями, що дозволило обґрунтувати його вибір як найбільш підходящого для даного дослідження з урахуванням балансу між функціональними можливостями, точністю вимірювань та економічною ефективністю.

У програмній частині роботи досліджено функціональні можливості платформи Blynk та проаналізовано її потенціал для створення ефективних систем моніторингу. Реалізовано програмні компоненти для збору, обробки та візуалізації даних про якість повітряних мас, а також налаштовано систему сповіщень для оперативної індикації критичних відхилень контрольованих параметрів від нормативних значень.

У заключному розділі проведено експериментальне дослідження розробленої системи, здійснено аналіз результатів її функціонування та оцінку надійності. Отримані результати підтверджують ефективність розробленої системи моніторингу для контролю якості повітря в приміщеннях та можливість її практичного застосування для забезпечення сприятливих умов.

Таким чином, результати виконаної кваліфікаційної роботи мають практичну цінність та можуть бути використані для подальшого вдосконалення систем моніторингу якості повітря в приміщеннях різного призначення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Spengler J. D. Indoor air pollution: A challenge to environmental health. Science. URL: https://www.science.org/doi/10.1126/science.6857273#bibliography (дата звернення: 15.02.2024).

2. World Health Organization. Indoor air pollutants: exposure and health effects. WHO regional publications, European series, 78.

3. Spengler J. D., Samet J. M., McCarthy J. F. Indoor air quality handbook. McGraw-Hill Education, 2001.

4. Kumar P. et al. Critical review on emerging health effects associated with the indoor air quality and its sustainable management. Science of The Total Environment. 2023. Vol. 872. URL: https://www.sciencedirect.com (дата звернення: 20.02.2024).

5. U.S. Environmental Protection Agency. Volatile Organic Compounds' Impact on Indoor Air Quality. 2021. URL: https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality (дата звернення: 18.03.2024).

6. ASHRAE. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality (ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2019). 2019.

7. U.S. Environmental Protection Agency. Identifying Greener Cleaning Products. 2021. URL: https://www.epa.gov/greenerproducts/identifying-greener-cleaning-products (дата звернення: 26.02.2024).

8. Pourkiaei M., Romain A.-C. Scoping review of indoor air quality indexes: Characterization and applications. Journal of Building Engineering. 2023. Vol. 75. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710223008823 (дата звернення: 29.03.2024).

9. Feidal. Що таке ЛОС? URL: https://feidal.com.ua/shcho-take-los/ (дата звернення: 10.03.2024).

10. Harrison R. M. Airborne particulate matter. Philosophical Transactions of the Royal Society A. 2020. Vol. 378. No. 2183. URL: https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rsta.2019.0319 (дата звернення: 10.03.2024).

11. Tran V. V., Park D., Lee Y.-C. Indoor air pollution, related human diseases, and recent trends in the control and improvement of indoor air quality. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. Vol. 17. No. 8. URL: https://www.mdpi.com/1660-4601/17/8/2927 (дата звернення: 14.03.2024).

12. Salthammer T. Formaldehyde in the ambient atmosphere: From an indoor pollutant to an outdoor pollutant? Angewandte Chemie International Edition. 2013. Vol. 52. No. 12. P. 3320-3327.

13. Hodgkinson J., Tatam R. P. Optical gas sensing: a review. Measurement Science and Technology. 2013. Vol. 24. No. 1. P. 012004.

14. Woolfenden E. Sorbent-based sampling methods for volatile and semi-volatile organic compounds in air. Journal of Chromatography A. 2010. Vol. 1217. No. 16. P. 2674-2684.

15. Ras M. R., Borrull F., Marcé R. M. Sampling and preconcentration techniques for determination of volatile organic compounds in air samples. TrAC Trends in Analytical Chemistry. 2009. Vol. 28. No. 3. P. 347-361.

16. Mead M. I. et al. The use of electrochemical sensors for monitoring urban air quality in low-cost, high-density networks. Atmospheric Environment. 2013. Vol. 70. P. 186-203.

17. Amaral S. S. et al. An overview of particulate matter measurement instruments. Atmosphere. 2015. Vol. 6. No. 9. P. 1327-1345.

18. Kumar P. et al. The rise of low-cost sensing for managing air pollution in cities. Environment International. 2015. Vol. 75. P. 199-205.

19. Spinelle L. et al. Field calibration of a cluster of low-cost commercially available sensors for air quality monitoring. Part B: NO, CO and CO2. Sensors and Actuators B: Chemical. 2017. Vol. 238. P. 706-715.

20. Szulczyński B., Gębicki J. Currently commercially available chemical sensors employed for detection of volatile organic compounds in outdoor and indoor air. Environments. 2017. Vol. 4. No. 1. P. 21.

21. Wang Y. et al. Laboratory evaluation and calibration of three low-cost particle sensors for particulate matter measurement. Aerosol Science and Technology. 2015. Vol. 49. No. 11. P. 1063-1077.

22. Farahani H., Wagiran R., Hamidon M. N. Humidity sensors principle, mechanism, and fabrication technologies: a comprehensive review. Sensors. 2014. Vol. 14. No. 5. P. 7881-7939.

23. Nikolić M., Stevović S. Family history of hypertension and exposure to radionuclides in uranium miners. Journal of Occupational Medicine and Toxicology. 2015. Vol. 10. No. 1. P. 1-6.

24. Gutiérrez M. et al. Biosensors for the detection of indoor and outdoor pollution. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. Vol. 17. No. 16. P. 5747.

25. Blynk IoT Platform. User Documentation. URL: https://docs.blynk.io/en (дата звернення: 05.04.2024).

26. ThingSpeak. Documentation. URL: https://ch.mathworks.com/help/thingspeak/index.html (дата звернення: 08.04.2024).

27. The Things Network. Cayenne Integration Documentation. URL: https://www.thethingsnetwork.org/docs/applications/cayenne/ (дата звернення: 11.03.2024).

28. Adafruit IO. HTTP API Documentation. URL: https://io.adafruit.com/api/docs/#adafruit-io-http-api (дата звернення: 13.04.2024).

29. Thinger.io. IoT Platform Documentation. URL: https://docs.thinger.io/ (дата звернення: 16.03.2024).

30. WEMOS. D1 Mini Documentation. URL: https://www.wemos.cc/en/latest/d1/d1_mini.html#documentation (дата звернення: 19.03.2024).

31. Bosch Sensortec. BME680 Datasheet. URL: https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1132061/BOSCH/BME680.html (дата звернення: 11.04.2024).

32. Bosch Sensortec. BME280 Datasheet. URL: https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1132060/BOSCH/BME280.html (дата звернення: 12.04.2024).

33. Sensirion. SHT31 Datasheet. URL: https://www.alldatasheet.com/datasheetpdf/view/897975/ETC2/SHT31.html (дата звернення: 09.04.2024).

34. AMS. CCS811 Ultra-Low Power Digital Gas Sensor for Monitoring Indoor Air Quality. Datasheet-DS000459.

35. Sensirion. SGP30 Multi- Pixel Gas Sensor. URL: https://www.alldatasheet.com/htmlpdf/1643855/SENSIRION/SGP30/564/1/SGP30.html (дата звернення: 25.03.2024).

36. Knörig A., Wettach R., Cohen J. Fritzing: Electronics Made Easy. Berlin: Fritzing Foundation, 2020. 396 p.

37. Bosch Sensortec BSEC Arduino Library. URL: https://github.com/BoschSensortec/BSEC-Arduino-library (дата звернення: 30.03.2024).

38. Blynk IoT. Dashboard Login. URL: https://blynk.cloud/dashboard/login (дата звернення: 02.04.2024).

Додаток А

Код пристрою

```
#include "bsec.h"
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL4rWacSKUr"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "IAQ Monitoring"
#include <Blynk.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>
char auth[] = "g8fi4yACl9kzDYT90VWdfYPUoI-MVb4";
char ssid[] = "MikroTik-home";
char pass[] = "18Uo#Plc0ns";
// Додаємо інтервал відправки даних (1 хвилина = 60000 мс)
unsigned long lastSendTime = 0;
const unsigned long SEND_INTERVAL = 150000;
// Helper functions declarations
void checkIaqSensorStatus(void);
void errLeds(void);
Bsec iaqSensor;
String output;
void setup(void)
{
  Serial.begin(115200);
  Wire.begin(0, 2);
  Blynk.begin(auth, ssid, pass);
  iaqSensor.begin(BME680_I2C_ADDR_PRIMARY, Wire);
  output = "\nBSEC library version " + String(iaqSensor.version.major) + "." +
String(iaqSensor.version.minor) + "." + String(iaqSensor.version.major_bugfix) + "." +
String(iaqSensor.version.minor_bugfix);
```

```
  Serial.println(output);
  checkIaqSensorStatus();
  bsec_virtual_sensor_t sensorList[10] =
  {
    BSEC_OUTPUT_RAW_TEMPERATURE,
    BSEC_OUTPUT_RAW_PRESSURE,
    BSEC_OUTPUT_RAW_HUMIDITY,
    BSEC_OUTPUT_RAW_GAS,
    BSEC_OUTPUT_IAQ,
    BSEC_OUTPUT_STATIC_IAQ,
    BSEC_OUTPUT_CO2_EQUIVALENT,
    BSEC_OUTPUT_BREATH_VOC_EQUIVALENT,
    BSEC_OUTPUT_SENSOR_HEAT_COMPENSATED_TEMPERATURE,
    BSEC_OUTPUT_SENSOR_HEAT_COMPENSATED_HUMIDITY,
  };
  iaqSensor.updateSubscription(sensorList, 10, BSEC_SAMPLE_RATE_LP);
  checkIaqSensorStatus();
  output = "Timestamp [ms], raw temperature [°C], pressure [hPa], raw relative
humidity [%], gas [Ohm], IAQ, IAQ accuracy, temperature [°C], relative humidity [%],
Static IAQ, CO2 equivalent, breath VOC equivalent";
  Serial.println(output);

  // Ініціалізуємо час першої відправки
  lastSendTime = millis();
}
void loop(void)
{
  unsigned long time_trigger = millis();
  Blynk.run(); // Забезпечує роботу Blynk
```

```
if (iaqSensor.run())
{
  output = String(time_trigger);
  output += ", " + String(iaqSensor.rawTemperature);
  output += ", " + String(iaqSensor.pressure);
  output += ", " + String(iaqSensor.rawHumidity);
  output += ", " + String(iaqSensor.gasResistance);
  output += ", " + String(iaqSensor.iaq);
  output += ", " + String(iaqSensor.iaqAccuracy);
  output += ", " + String(iaqSensor.temperature);
  output += ", " + String(iaqSensor.humidity);
  output += ", " + String(iaqSensor.staticIaq);
  output += ", " + String(iaqSensor.CO2Equivalent);
  output += ", " + String(iaqSensor.breathVocEquivalent);
  Serial.println(output);
  Serial.print("Pressure: ");
  Serial.print((iaqSensor.pressure)/1000);
  Serial.println(" hPa");
  Serial.print("Temperature: ");
  Serial.print(iaqSensor.temperature);
  Serial.println(" *C");
  Serial.print("Humidity: ");
  Serial.print(iaqSensor.humidity);
  Serial.println(" %");
  Serial.print("IAQ: ");
  Serial.print(iaqSensor.iaq);
  Serial.println(" PPM");
```

```
Serial.print("CO2 Equivalent: ");
Serial.print(iaqSensor.CO2Equivalent);
Serial.println(" PPM");
Serial.print("Breath VOC Equivalent: ");
Serial.print(iaqSensor.breathVocEquivalent);
Serial.println(" PPM");
Serial.println();
// Перевіряємо, чи прошла хвилина з моменту останньої відправки
if (time_trigger - lastSendTime >= SEND_INTERVAL) {
  // Відправляємо дані на Blynk
  Blynk.virtualWrite(V6, (iaqSensor.pressure)/1000);        // For Pressure
  Blynk.virtualWrite(V4, iaqSensor.temperature);            // For Temperature
  Blynk.virtualWrite(V5, iaqSensor.humidity);               // For Humidity
  Blynk.virtualWrite(V1, iaqSensor.iaq);                    // For Index of Air Quality
  Blynk.virtualWrite(V2, iaqSensor.CO2Equivalent);          // For CO2
  Blynk.virtualWrite(V3, iaqSensor.breathVocEquivalent);    // For Breath VoC
  // Оновлюємо час останньої відправки
  lastSendTime = time_trigger;
  Serial.println("Data sent to Blynk");
}
// ПРАВИЛА ДЛЯ IAQ (Індекс якості повітря)
  if (iaqSensor.iaq > 250) {
    Blynk.logEvent("iaq_monitoring-high");
  }
       else if (iaqSensor.iaq > 150) {
    Blynk.logEvent("iaq_monitoring-warning");
  }

  // ПРАВИЛА ДЛЯ CO2
```

```
    if (iaqSensor.CO2Equivalent > 2500) {
      Blynk.logEvent("CO2_monitoring-high");
    }
    else if (iaqSensor.CO2Equivalent > 1500) {
      Blynk.logEvent("CO2_monitoring-warning");
    }
    // ПРАВИЛА ДЛЯ VOC (Леткі органічні сполуки)
    if (iaqSensor.breathVocEquivalent > 350) {
      Blynk.logEvent("voc_monitoring-high");
    }
  }
  else
  {
    checkIaqSensorStatus();
  }
}
void checkIaqSensorStatus(void)
{
  if (iaqSensor.status != BSEC_OK)
  {
    if (iaqSensor.status < BSEC_OK)
    {
      output = "BSEC error code : " + String(iaqSensor.status);
      Serial.println(output);
      for (;;)
        errLeds();
    }
    else
    {
```

```
      output = "BSEC warning code : " + String(iaqSensor.status);
      Serial.println(output);
    }
  }
  if (iaqSensor.bme680Status != BME680_OK)
  {
    if (iaqSensor.bme680Status < BME680_OK)
    {
      output = "BME680 error code : " + String(iaqSensor.bme680Status);
      Serial.println(output);
      for (;;)
        errLeds();
    }
    else
    {
      output = "BME680 warning code : " + String(iaqSensor.bme680Status);
      Serial.println(output);
    }
  }
}
void errLeds(void)
{
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
  delay(100);
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
  delay(100);
```

Додаток Б

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ
(ПРЕЗЕНТАЦІЯ)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій
Кафедра Комп'ютерної інженерії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА

на тему: «Система моніторингу якості повітря у приміщенні з інтеграцією в Blynk»

Виконав студент групи КІД-41
Дубінін Валерій Миколайович

Керівник кваліфікаційної роботи:
Антоненко Артем Васильович

Київ – 2025

Мета роботи – Розробка системи моніторингу якості повітря у приміщенні з інтеграцією в платформу Blynk.

Об'єкт дослідження – Система автоматизованого моніторингу параметрів якості повітря у приміщеннях.

Предмет дослідження – Методи та засоби розробки системи моніторингу якості повітря з інтеграцією в платформу Blynk.

Актуальність обраної теми

Погана якість повітря у приміщеннях призводить до головного болю, втоми, зниження продуктивності та розвитку респіраторних захворювань. Високий рівень CO_2, недостатня вологість та наявність шкідливих частинок негативно впливають на здоров'я людини.

Отже, створення систем моніторингу має критичне значення для швидкого реагування на зміни параметрів якості повітря у приміщені. IoT-система моніторингу вирішує цю проблему, забезпечуючи:

- Постійний контроль якості повітря;
- Віддалений доступ до даних;
- Автоматичне сповіщення про критичні показники.

Завдання кваліфікаційної роботи

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1.Проаналізувати теоретичні основи якості повітря в приміщеннях, основні забруднювачі;
3.Розробити апаратну частину системи моніторингу з використанням відповідних датчиків та мікроконтролера;
2.Дослідити функціональні можливості та архітектуру платформи для IoT-проектів;
4.Реалізувати програмне забезпечення для збору, передачі та візуалізації даних з датчиків на платформі Blynk;
5.Провести тестування розробленої системи в реальних умовах та проаналізувати отримані результати.

Основні забруднювачі повітря у приміщенні

Якість повітря в приміщеннях (IAQ) – комплексний показник, що характеризує стан повітряного середовища в закритих просторах.

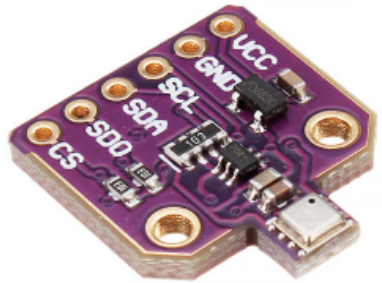
Він вираховується з наступних показників:

- CO_2;
- Температура;
- Вологість;
- VOC;
- CO;
- Радон.

Обґрунтування вибору датчика BME680

Датчик BME680 обрано як оптимальне рішення завдяки поєднанню чотирьох параметрів в одному корпусі: якість повітря, VOC, CO_2, температура, вологість та атмосферний тиск.

Це забезпечує комплексний моніторинг якості повітря при мінімальних габаритах та споживанні енергії.

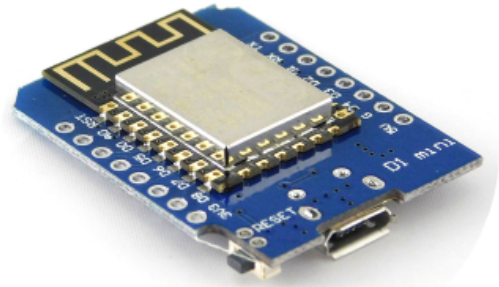


Технічні характеристики вимірювальних параметрів датчика:

- CO_2 еквівалент: 400-60000 ppm;
- Якість повітря (VOC): індекс IAQ 0-500;
- Температура: -40°C до +85°C, точність ±1°C;
- Вологість: 0-100% RH, точність ±3% RH;
- Атмосферний тиск: 300-1100 гПа, точність ±1 гПа.

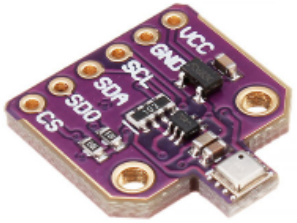
Обґрунтування вибору плати WeMos D1 mini

WeMos D1 mini обрано як оптимальну платформу завдяки вбудованому Wi-Fi модулю, що забезпечує безпровідне підключення до інтернету без додаткових компонентів. Плата має компактні розміри та низьке споживання енергії, що важливо для постійно працюючої системи моніторингу.



Архітектура системи моніторингу

[Датчики BME680] → [Плата WeMos D1 mini] → [Wi-Fi модуль] → [Blynk Cloud] → [Мобільний додаток]









Основні компоненти:

1. **Датчик BME680** – збір даних про якість повітря та передавання їх на мікроконтролер;
2. **Плата WeMos D1 mini** – обробка та аналіз даних. Використовує бібліотеки, як інструкції для роботи;
3. **Blynk Cloud** – зберігає інформацію та дає можливість отримати її з будь-якого смартфона;
4. **Мобільний додаток** – дає можливість візуалізувати дані отримані з Blynk Cloud.

Використані технології та компоненти

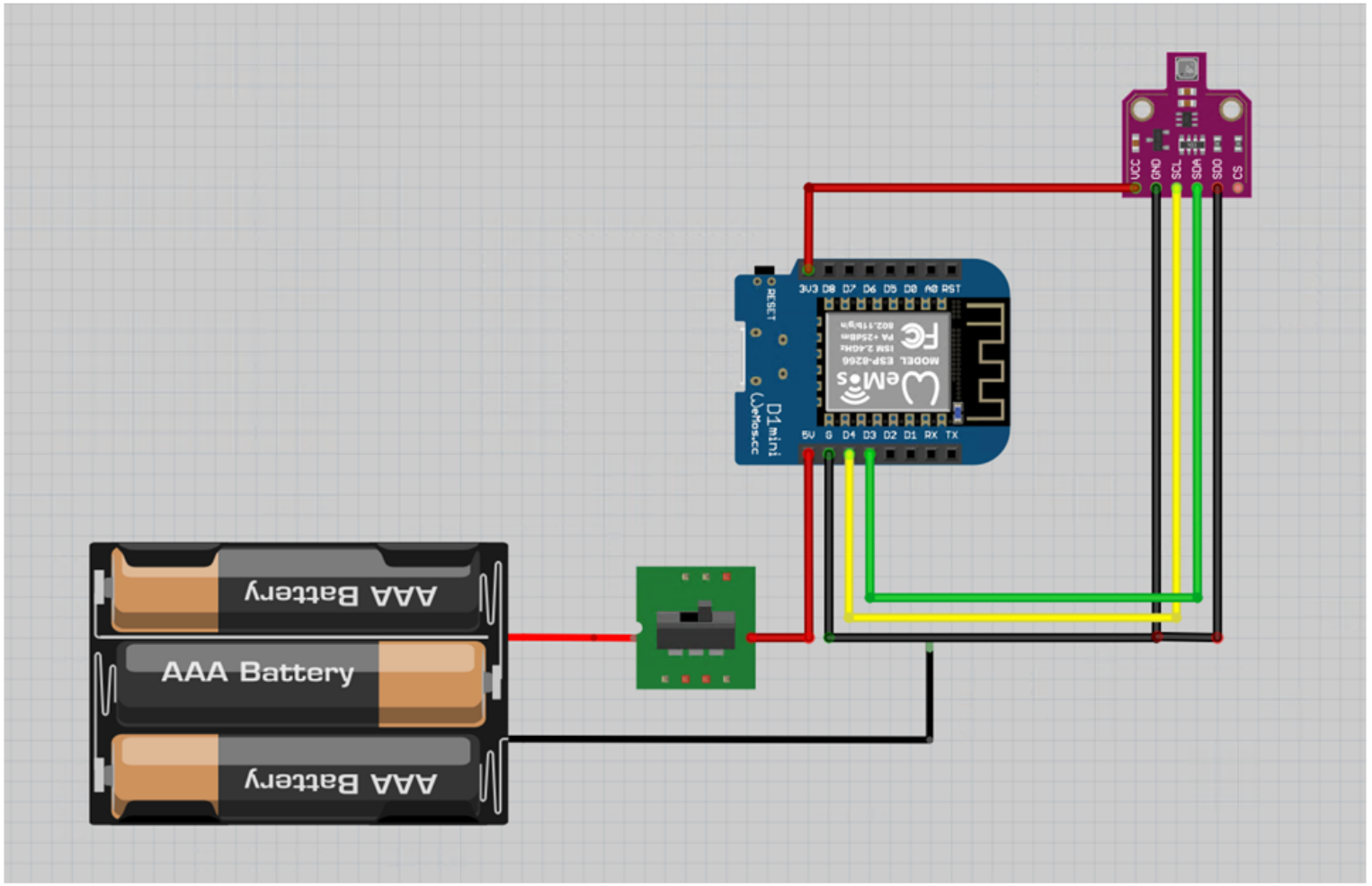
Апаратне забезпечення:

- плата WeMos D1 mini;
- датчик BME680;
- блок живлення;
- кнопка для перемикання режимів живлення.

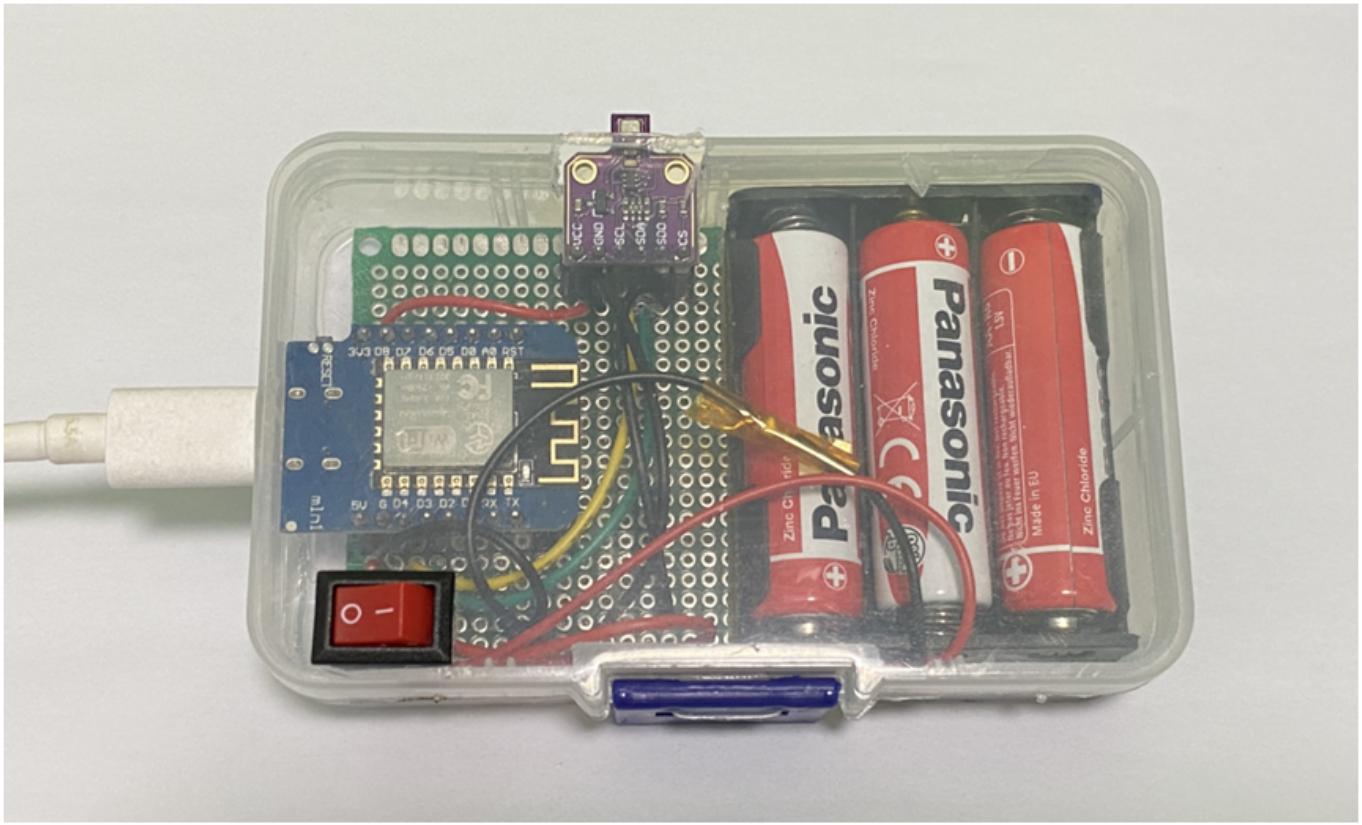
Програмне забезпечення:

- Arduino IDE – середовище розробки;
- Blynk Platform – хмарна IoT платформа;
- Blynk Mobile App – мобільний додаток;
- BSEC Software Library – бібліотека для взаємодією з датчиком BME680;
- Blynk.h – бібліотека для взаємодії з сервером Blynk;
- ESP8266WiFi.h – бібліотека для взаємодії з мікроконтролером ESP8266.

Схема електрична монтажна кваліфікаційної роботи



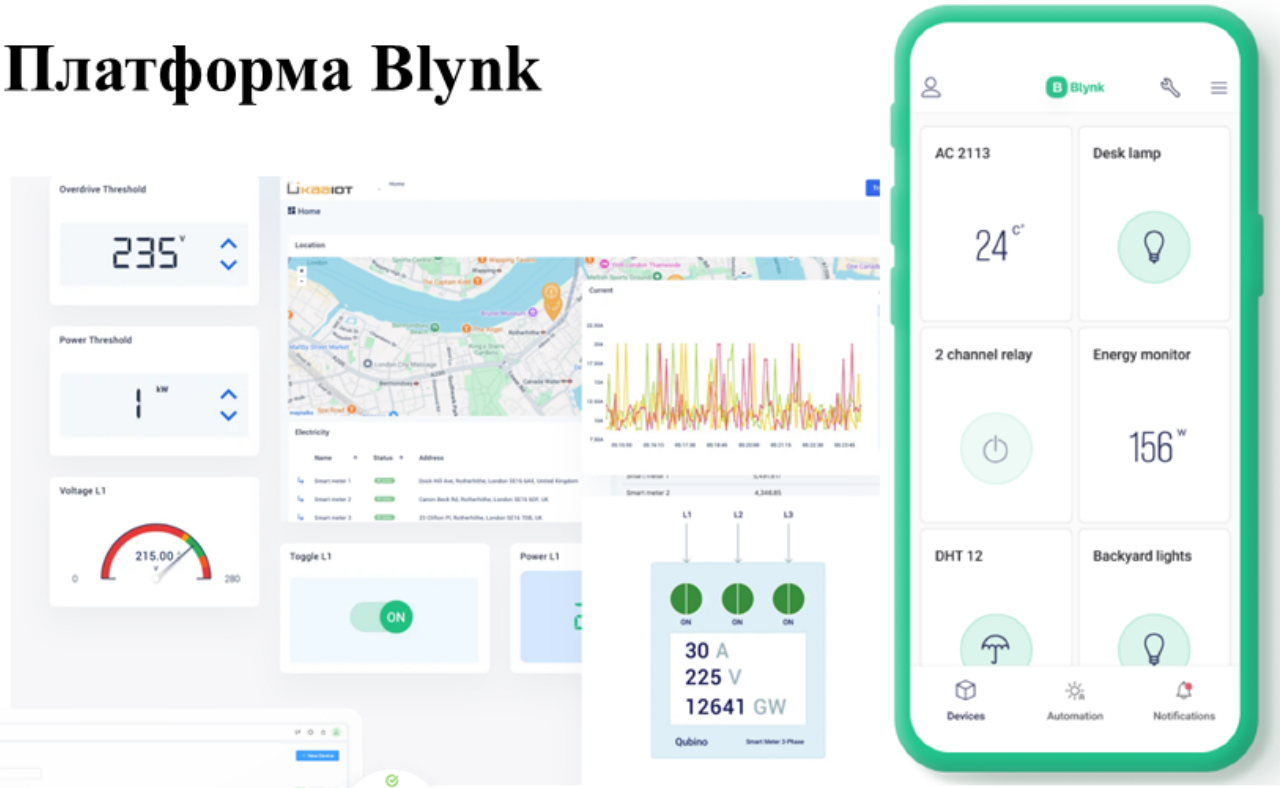
Вигляд зібраної системи, моніторингу якості повітря



Платформа Blynk

Платформа Blynk була вибрана оскільки має:

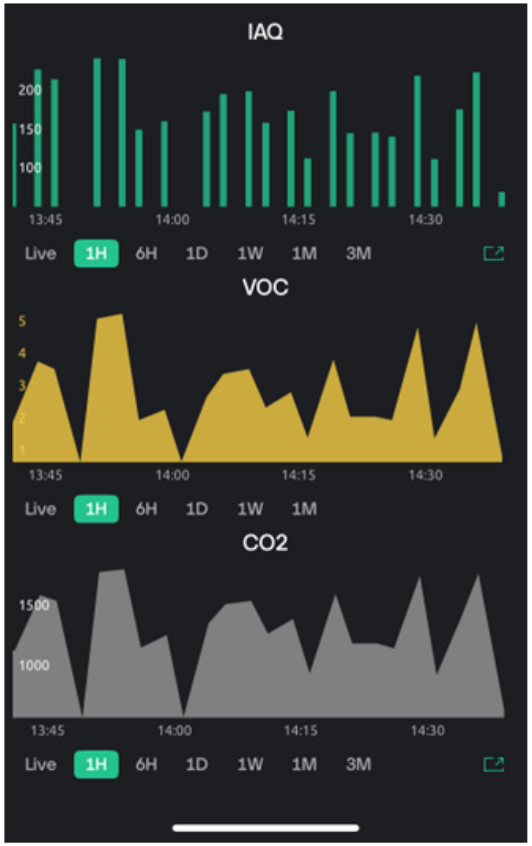
- простий спосіб інтеграції;
- готові віджети;
- кросплатформність;
- хмарну інфраструктуру;
- систему сповіщень;
- актуальну документацію.

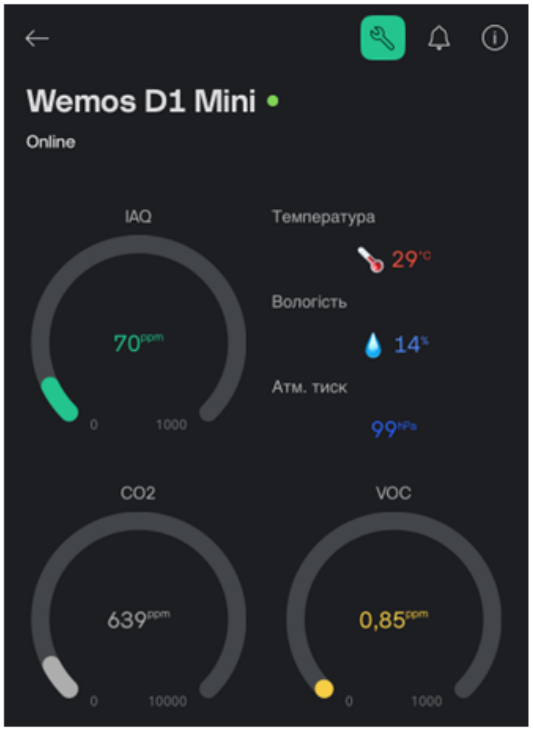




Приклади різноманітних IoT проектів на платформі Blynk

Загальний вигляд системи моніторингу з інтеграцією в Blynk





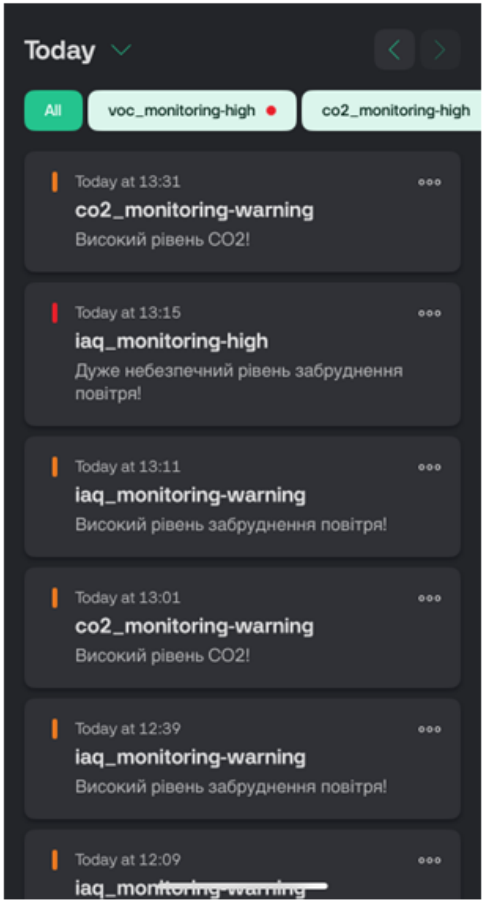
У кваліфікаційній роботі було використано декілька видів віджетів, а саме: графіки, які дозволяють відслідковувати зміни параметрів протягом певного часу, віджет "Датчик", який в реальному часі виводить показники та віджет "Мітка" для перегляду інших показників мікроклімату.

Сповіщення в системі моніторингу якості повітря

Платформа Blynk дає можливість реалізувати сповіщення з допомогою використання її бібліотеки та створення окремих правил у Blynk.Console. Система підтримує декілька типів сповіщень:

Push-повідомлення – надсилаються безпосередньо на мобільний пристрій через Blynk.logEvent() при перевищенні встановлених порогових значень датчиків.

Також платформа підтримує Email-сповіщення та SMS-повідомлення.



Висновки

У ході виконання кваліфікаційної роботи розроблено ефективну систему моніторингу якості повітря у приміщеннях з інтеграцією в платформу Blynk. Проведено аналіз впливу забруднення повітря на здоров'я людини, досліджено сучасну IoT-платформи та обґрунтовано вибір компонентів системи.
Розроблено програмні компоненти для збору, обробки та візуалізації даних з датчика BME680, реалізовано систему сповіщень для оперативного реагування на критичні показники.

Система має практичну цінність та може бути впроваджена в приміщеннях різного призначення для забезпечення сприятливих умов перебування людей.