

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет комп'ютерних наук і технологій

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

бакалавра

(ступінь вищої освіти)

на тему Розробка системи моніторингу токсичних газів

Виконав: студент(ка) 4 курсу, групи КНТ-510

Спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
«Комп'ютерна інженерія»

БУДКО М.Є.
(прізвище та ініціали)

Керівник ГРУШКО С.С.
(прізвище та ініціали)

Рецензент ЄФИМЕНКО М.В.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет інформатики та радіоелектроніки, комп'ютерних наук і технологій
Кафедра «Комп'ютерні системи та мережі»
Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) бакалаврський
Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) Комп'ютерна інженерія
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Кудерметов Р.К.
« » 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА

БУДКО Михайлу Євгенійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема проекту (роботи) Розробка системи моніторингу токсичних газів
керівник проекту (роботи) ГРУШКО Світлана Сергіївна, к. т. н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом вищого навчального закладу від «01» квітня 2024 року № 105
- Строк подання студентом проекту (роботи) 20 травня 2024 року
- Вихідні дані до проекту (роботи) можливість дистанційно отримувати інформацію про наявність шкідливих газів і рівень освітленості
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Огляд літератури
2) Вибір апаратного і програмного забезпечення
3) Розробка системи
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Пл1 – Порівняльний аналіз систем моніторингу токсичних газів;
Пл2 – Порівняльний аналіз мікроконтролерів;
Пл3 – Порівняльний аналіз датчиків;
Пл4 – Візуалізація системи і її роботи

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

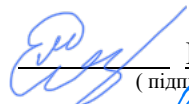
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-3	ГРУШКО С.С., к. т. н., доцент		
Нормоконтроль	ЩЕРБАК Н.В., ст.викл.		

7. Дата видачі завдання 01.03.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз технічного завдання. Огляд сучасних рішень	01.03.2024 р.	
2	Розробка структури системи	15.03.2024 р.	
3	Розробка алгоритму роботи системи	20.03.2024 р.	
4	Реалізація проекту	01.04.2024 р.	
5	Дослідження роботи системи	10.04.2024 р.	
6	Оформлення отриманих результатів у ПЗ	15.04.2024 р.	
7	Оформлення графічного матеріалу	01.05.2024 р.	
8	Оформлення допоміжного матеріалу	20.05.2024 р.	

Студент

Михайло БУДКО

(підпис)

(ініціали та прізвище)

Керівник проекту (роботи)

Світлана ГРУШКО

(підпис)

(ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 63 сторінки, 24 рисунка, 4 таблиці, 45 джерел

ТОКСИЧНІ ГАЗИ, ДАТЧИК, ІОТ, МІКРОКОНТРОЛЕР

Об'єкт розробки – процес моніторингу токсичних газів.

Предмет розробки - розробка системи моніторингу токсичних газів на основі інтернету речей.

Метою роботи є розробка системи моніторингу токсичних газів на основі технологій Інтернету речей з метою виявлення та вимірювання рівня токсичних газів у навколишньому середовищі.

Робота присвячена розробці системи моніторингу токсичних газів на основі IoT технологій. Представлено огляд літератури щодо токсичних газів, їхнього впливу на навколишнє середовище та здоров'я людини, а також існуючих методів і засобів моніторингу. Розглянуто технології та пристрої для виявлення й вимірювання токсичних газів, зокрема датчики газів. Проаналізовано існуючі IoT системи моніторингу токсичних газів, їхні переваги та недоліки. Обґрунтовано вибір мікроконтролера для розроблюваної системи. Розглянуто варіанти датчиків освітленості та газу. Докладно описано процес розробки апаратної та програмної частин системи моніторингу. Наведено схему підключення компонентів. Розглянуто процеси налаштування програмного забезпечення, розробки програми для зчитування даних сенсорів та відправки їх на хмарний сервіс. Описано інтеграцію з хмарними сервісами для налаштування сповіщень.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Огляд літератури	8
1.1 Поняття токсичних газів та їх вплив на навколишнє середовище та здоров'я людини.....	8
1.2 Існуючі методи та засоби моніторингу токсичних газів.....	9
1.3 Технології та пристрої для виявлення та вимірювання токсичних газів	11
1.4 Існуючі IoT системи моніторингу токсичних газів	14
1.4.1 Переваги і недоліки IoT систем моніторингу токсичних газів	14
1.4.2 Industrial Scientific iNet Control	15
1.4.3 RAE Systems Area RAE Plus.....	16
1.4.4 Dräger X-am 8000.....	17
1.4.5 Honeywell BW Ultra.....	19
2 Вибір апаратного і програмного забезпечення	21
2.1 Вибір мікроконтролера	21
2.1.1 ESP8266 ESP-01S.....	21
2.1.2 Espressif ESP32	23
2.1.3 Arduino Nano 33 IoT	24
2.1.4 NodeMCU	26
2.1.5 ESP8266 ESP-12E	27
2.2 Вибір датчика освітленості	28
2.2.1 Adafruit TSL2561 Digital Luminosity/Lux/Light Sensor	28
2.2.2 DFRobot Gravity: Analog Ambient Light Sensor	30
2.2.3 SparkFun Ambient Light Sensor Breakout.....	31

	6
2.2.4 Maxim Integrated MAX44009 Ambient Light Sensor	32
2.2.5 Sseeed Studio Grove - Luminance Sensor.....	33
2.3 Вибір датчика газу.....	34
2.3.1 MQ-135	34
2.3.2 SGP30.....	35
2.3.3 MQ-7	37
2.3.4 MiCS-5524	38
2.3.5 Grove - Multichannel Gas Sensor	39
3 Розробка системи	40
Висновки	46
Перелік джерел посилання	47
Додаток А Лістинг проєкту.....	52

ВСТУП

Актуальність теми полягає в тому, що в сучасному світі проблема забруднення повітря токсичними газами стає все більш загостреною та актуальною. Недоліки в системах контролю та виявлення цих газів можуть призвести до серйозних наслідків для здоров'я людей та навколишнього середовища. У зв'язку з цим, розробка та вдосконалення систем моніторингу токсичних газів є важливим завданням, спрямованим на підвищення якості повітря та запобігання негативним наслідкам забруднення для суспільства. Враховуючи швидкий розвиток технологій IoT та сенсорних систем, важливо розробляти ефективні та надійні системи моніторингу, що дозволить оперативно виявляти та контролювати рівень токсичних газів у повітрі для забезпечення безпеки та здоров'я громадян. Такий підхід не лише відповідає вимогам сучасності, але й відкриває перспективи для подальшого розвитку та впровадження інноваційних технологій у сфері екології та безпеки.

Метою даного дослідження є розробка системи моніторингу токсичних газів, спрямованої на забезпечення надійного та ефективного контролю за якістю повітря. Зокрема, основною метою є розробка інтегрованої системи збору даних з сенсорів, їхньої передачі та обробки для реального виявлення та моніторингу рівнів токсичних газів у навколишньому середовищі. Для досягнення цієї мети визначені наступні завдання дослідження: аналіз існуючих технологій та методів моніторингу токсичних газів, вибір та інтеграція сенсорів, розробка програмного забезпечення для зчитування та аналізу отриманих даних, реалізація системи збереження та візуалізації результатів, а також тестування та валідація розробленої системи для перевірки її ефективності та надійності. Результатом цього дослідження буде створення функціональної системи моніторингу токсичних газів, що може бути використана для виявлення та контролю рівнів забруднення повітря, забезпечуючи тим самим безпеку та здоров'я громадян.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Поняття токсичних газів та їх вплив на навколишнє середовище та здоров'я людини

Поняття токсичних газів та їх вплив на навколишнє середовище та здоров'я людини є важливим аспектом сучасної екології та громадського здоров'я [1]. Токсичні гази - це речовини, які, будучи розпилені в атмосфері або іншому середовищі, можуть викликати шкоду живим організмам [2]. Вони можуть мати як природне походження, так і бути продуктом промислової або технологічної діяльності людини [3]. Вплив токсичних газів на навколишнє середовище та здоров'я людини може бути серйозним [4].

Одним із ключових аспектів поняття токсичних газів є їхній невидимий та безбарвний характер, що робить їх важкими для виявлення без відповідного обладнання та моніторингу [5]. У цьому контексті розробка та впровадження ефективних систем моніторингу, які здатні вчасно виявляти токсичні гази та забезпечувати інформацію про рівні забруднення, є критично важливим для збереження здоров'я людей та збалансованості екологічного стану навколишнього середовища [6].

Типи забруднюючих речовин:

- тверді частинки - викликають захворювання легенів та можуть збільшити ризик серцевих захворювань;
- озон - пошкоджує рослини та може впливати на різні екосистеми;
- оксиди азоту та сірки - токсичні для людини та можуть викликати захворювання легенів;
- окис вуглецю - токсичний для рослин та тварин, а також небезпечний для людей [7].

Зазначимо, що в останні десятиліття спостерігається зростання свідомості щодо проблеми забруднення повітря та його впливу на здоров'я людей [8]. У зв'язку

з цим, уряди багатьох країн вживають заходів для мінімізації викидів токсичних газів у атмосферу шляхом впровадження строгих екологічних стандартів для промислових підприємств та транспортних засобів [9]. Однак, незважаючи на ці заходи, проблема забруднення повітря залишається актуальною, особливо в мегаполісах та індустріальних районах [10].

Окрім того, токсичні гази можуть мати далекосяжні наслідки не лише для людей, але й для екосистем в цілому [11]. Забруднення повітря може призвести до загибелі різноманітних видів тварин та рослин, зниження плодючості ґрунту та зменшення родючості рослин, що має вплив на продуктивність сільськогосподарських культур та економіку [12].

Отже, розуміння поняття токсичних газів та їх впливу на навколишнє середовище та здоров'я людини має велике значення для розробки та впровадження ефективних стратегій зменшення викидів та моніторингу забруднення повітря [13]. Це важливий крок у напрямку створення здорового та екологічно безпечного середовища для сучасного суспільства та майбутніх поколінь.

1.2 Існуючі методи та засоби моніторингу токсичних газів

Існує ряд різноманітних методів та засобів для моніторингу токсичних газів у навколишньому середовищі, які використовуються як у наукових дослідженнях, так і в практичних застосуваннях. Одним з найбільш поширених методів є використання сенсорних систем. Ці системи використовують спеціалізовані сенсори, які можуть реагувати на певні гази та виявляти їх присутність в атмосфері. Зібрані дані можуть передаватися до центральної системи для подальшої обробки та аналізу. Деякі сучасні сенсорні системи використовують технології штучного інтелекту для аналізу отриманих даних та виявлення закономірностей у рівнях забруднення повітря [14].

Крім того, існують методи аналізу проб повітря в лабораторії, за допомогою хроматографічних методів та мас-спектрометрії. Ці методи дозволяють здійснювати детальний аналіз складу повітря та виявляти конкретні хімічні речовини, що присутні у ньому. Це може бути корисно для визначення конкретних джерел забруднення та виявлення нових хімічних забруднювачів [15].

Деякі нові підходи до моніторингу токсичних газів включають використання дронів для моніторингу великих територій або важкодоступних місць. Дрони можуть бути обладнані спеціалізованими сенсорами для виявлення токсичних газів та збирання даних у реальному часі [16].

Варто зазначити, що кожен з цих методів та засобів має свої переваги та обмеження, і їх вибір залежить від конкретних умов та завдань моніторингу. Розуміння існуючих методів дозволяє науковцям та практикам вдосконалювати системи моніторингу токсичних газів та забезпечувати ефективний контроль над рівнями забруднення повітря.

Сенсорні системи є ефективним засобом моніторингу токсичних газів завдяки їхній високій чутливості до навколишнього середовища. Вони можуть виявляти навіть дуже низькі концентрації токсичних речовин у повітрі, що дозволяє вчасно реагувати на потенційні небезпечні ситуації. Крім того, сенсорні системи зазвичай мають мобільну природу, що дозволяє їх використання в різних місцях та на великих територіях. Нарешті, вони можуть бути більш доступними з точки зору вартості порівняно з іншими методами моніторингу [14].

Одним із недоліків сенсорних систем є їхня відносна вразливість до зовнішніх факторів, таких як забруднення, волога, температура та інші. Це може призвести до погіршення точності вимірювань або навіть втрати функціональності сенсорів. Крім того, сенсорні системи можуть виявляти певні токсичні гази, але не всі, тому їхня ефективність може бути обмеженою в залежності від конкретних потреб моніторингу [14].

Аналіз проб повітря в лабораторії дозволяє здійснювати детальний та точний аналіз складу повітря та визначати концентрації різних токсичних газів з високою точністю. Він також може виявити наявність інших хімічних речовин, які не можуть бути виявлені сенсорами [15].

Однак недоліком аналізу проб повітря в лабораторії є те, що він зазвичай є часоємним та вимагає забір проби та її транспортування до лабораторії для подальшого аналізу. Це може затримати процес моніторингу та ускладнити вчасну реакцію на небезпечні ситуації. Крім того, вартість аналізу проб в лабораторії може бути високою, а отже, цей метод може бути витратним заходом для широкомасштабного моніторингу [15].

Використання дронів для моніторингу токсичних газів може бути швидким та ефективним способом виявлення забруднення повітря на великих територіях. Дрони можуть швидко переміщатися та охоплювати великі площі, що дозволяє здійснювати моніторинг навіть у важкодоступних районах. Крім того, вони можуть бути обладнані різноманітними сенсорами для виявлення різних типів токсичних газів [16].

Недоліком використання дронів є їх обмежена часова автономія та дальність польоту, особливо для електричних моделей. Це може обмежити їхню ефективність в довгострокових або далеких моніторингових завданнях. Крім того, погодні умови, такі як сильний вітер або дощ, можуть ускладнити політ та знизити точність збирання даних [16].

1.3 Технології та пристрої для виявлення та вимірювання токсичних газів

Технології та пристрої для виявлення та вимірювання токсичних газів є ключовими компонентами в системах моніторингу якості повітря. У сучасному світі

існують різноманітні підходи до цього завдання, що базуються на різних принципах дії та технологіях. Одним з найпоширеніших методів є використання сенсорів, які реагують на певні хімічні речовини та гази. Ці сенсори можуть бути основаними на різних принципах, таких як каталітичні, електрохімічні, полімерні чи напівпровідникові [12].

Деякі сучасні сенсорні пристрої використовують наноматеріали або наноструктури для поліпшення їхньої чутливості та селективності. Це дозволяє виявляти навіть дуже низькі концентрації токсичних газів у повітрі. Крім того, такі пристрої можуть бути здатні до роботи в широкому діапазоні умов навколишнього середовища та мати високу стійкість до впливу зовнішніх факторів.

Ще одним підходом є використання аналітичних методів, таких як газова хроматографія або мас-спектрометрія. Ці методи дозволяють проводити детальний аналіз складу повітря та точно визначати концентрації різних токсичних газів. Вони можуть бути особливо корисними для виявлення низьких концентрацій та ідентифікації конкретних хімічних сполук [14].

Крім того, нові технології, такі як штучний інтелект та Інтернет речей (IoT), використовуються для створення інтелектуальних систем моніторингу, які можуть автоматично аналізувати та інтерпретувати дані з різних джерел. Це дозволяє швидко виявляти та реагувати на потенційно небезпечні ситуації, що стосуються якості повітря.

Один із прикладів сенсорів, які реагують на певні хімічні речовини та гази, - електрохімічні газові сенсори. Ці сенсори базуються на принципі зміни електричного опору або потенціалу у відповідь на взаємодію між аналізованим газом та електродом сенсора. Наприклад, сенсори на основі оксиду металу можуть використовуватися для виявлення газів, таких як оксиди азоту, сірковий діоксид, аміак тощо. У присутності цих газів на поверхні оксиду металу відбуваються хімічні реакції, що призводять до зміни провідності матеріалу. Це призводить до зміни електричного опору сенсора, що може бути виміряно і використано для виявлення та кількісної оцінки концентрації газу [14].

Прикладами таких сенсорів є:

- Alphasense CO-B4 Carbon Monoxide Sensor - це електрохімічний сенсор, призначений для виявлення монооксиду вуглецю (CO) у повітрі. Він має високу чутливість та широкий діапазон вимірювання, що робить його ідеальним для застосування в системах безпеки та моніторингу якості повітря;

- Aeroqual Sulfur Dioxide (SO₂) Sensor - це ще один приклад електрохімічного сенсора, призначеного для виявлення концентрації діоксиду сірки (SO₂) у повітрі. Він використовує спеціально розроблені електроди та катоди для вимірювання SO₂ з високою точністю та надійністю;

- City Technology Oxygen (O₂) Sensors - ці сенсори використовуються для вимірювання концентрації кисню (O₂) у повітрі. Вони базуються на електрохімічних реакціях, що відбуваються на поверхні спеціальних електродів, що дозволяє точно вимірювати рівень кисню з високою чутливістю.

Ще одним прикладом є каталітичні сенсори, які використовують каталітичні властивості для виявлення певних газів. Наприклад, сенсори на основі платини або паладію можуть виявляти присутність газів, таких як монооксид вуглецю або вуглеводні. Коли аналізований газ контактує з каталізатором на поверхні сенсора, відбуваються хімічні реакції, що призводять до зміни опору або електричного потенціалу сенсора. Це змінюється в залежності від концентрації газу у навколишньому середовищі, що дозволяє виявляти його присутність та вимірювати його концентрацію [1].

Прикладам моделі сенсорів, які використовують каталітичні властивості для виявлення певних газів, є Honeywell Analytics S3KUL2-XNXXSS1SS - це сенсор для виявлення газів, таких як сероводень (H₂S), аміак (NH₃), оксид сірки (SO₂), азоту діоксид (NO₂) та інших. Він базується на каталітичних сенсорах, які реагують зі специфічними газами та змінюють свою провідність або електричний опір. Цей сенсор широко використовується в промислових об'єктах, де важливо виявлення та контроль рівня небезпечних газів у навколишньому середовищі.

Іншим прикладом є Dräger Polytron 8700 - це мультигазовий сенсор, який може виявляти різні гази, такі як метан, бутан, пропан, вуглекислий газ (CO₂) та

інші. Він також використовує каталітичні сенсори, які взаємодіють зі специфічними газами та змінюють свої електричні властивості. Цей сенсор застосовується в галузях промисловості, будівництва та гірництва для моніторингу рівня газів у робочому середовищі.

Ці сенсори використовують каталітичні властивості для ефективного виявлення та вимірювання різних газів у повітрі. Вони є надійними та широко використовуються в промислових та комерційних застосуваннях для забезпечення безпеки та контролю над рівнем токсичних речовин у навколишньому середовищі.

Обидва типи сенсорів знаходять широке застосування в системах моніторингу якості повітря, медичних пристроях для вимірювання газів у дихальному потоці, а також у промисловості для контролю за викидами токсичних газів у повітря. Вони володіють високою чутливістю та можуть бути використані для виявлення різних типів газів у реальному часі, що робить їх ефективними засобами моніторингу та безпеки [7].

1.4 Існуючі IoT системи моніторингу токсичних газів

1.4.1 Переваги і недоліки IoT систем моніторингу токсичних газів

Існують різноманітні IoT системи моніторингу токсичних газів, які поєднують в собі сучасні технології зі засобами збору та аналізу даних. Ці системи розроблені з метою забезпечення надійного та ефективного контролю за рівнем токсичних газів у навколишньому середовищі для забезпечення безпеки людей та оточуючого середовища.

Переваги використання IoT систем у моніторингу токсичних газів полягають у їхній здатності автоматично збирати дані з різних джерел за допомогою датчиків, які можуть бути розміщені в різних місцях. Це дозволяє здійснювати моніторинг у реальному часі та швидко реагувати на виникнення потенційно небезпечних ситуацій. Крім того, засоби збору та передачі даних IoT систем дозволяють

віддалено керувати та налаштовувати пристрої, що полегшує їхнє управління та обслуговування.

Однак, існують деякі виклики та обмеження щодо використання IoT систем у моніторингу токсичних газів. Наприклад, точність та надійність даних може бути обмеженою через вплив зовнішніх факторів, таких як температура, вологість чи інші параметри навколишнього середовища. Крім того, важливо враховувати відповідність датчиків та пристроїв міжнародним стандартам та регуляторним вимогам для забезпечення достовірності та відповідності отриманих даних.

1.4.2 Industrial Scientific iNet Control

Industrial Scientific iNet Control (рис. 1.1) є інтегрованою IoT системою моніторингу газів, розробленою для забезпечення надійного та ефективного контролю за рівнем токсичних газів у реальному часі. Ця система використовує передові технології збору, передачі та аналізу даних для забезпечення безпеки працівників та захисту навколишнього середовища у промислових умовах [17].



Рисунок 1.1 - Industrial Scientific iNet Control

Однією з ключових особливостей Industrial Scientific iNet Control є можливість віддаленого керування та моніторингу датчиків газів через Інтернет. Це дозволяє операторам контролювати та аналізувати дані з будь-якого місця за допомогою веб-інтерфейсу або мобільного додатку. Крім того, система надає сповіщення

в реальному часі про виявлення небезпечних рівнів газів, що дозволяє оперативно реагувати на потенційні загрози та приймати відповідні заходи безпеки.

Технологія інтегрованого збору та аналізу даних дозволяє збирати інформацію з різних джерел та датчиків газів, об'єднуючи її в єдину централізовану систему. Це спрощує процес моніторингу та аналізу даних, забезпечуючи зручність управління та ефективність реагування на потенційні небезпеки.

Додатково, система надає можливість аналізувати зібрані дані за допомогою різних аналітичних інструментів та звітності. Це дозволяє операторам здійснювати глибокий аналіз рівня токсичних газів в різних областях та встановлювати тенденції для подальшого вдосконалення систем безпеки та здоров'я працівників.

Таким чином, Industrial Scientific iNet Control є важливим інструментом для підвищення безпеки працівників у промислових умовах, де може бути висока концентрація токсичних газів. Використання передових технологій IoT дозволяє ефективно моніторити та контролювати рівень газів у реальному часі, що сприяє забезпеченню безпечних та здорових умов праці для всіх працівників.

1.4.3 RAE Systems Area RAE Plus

RAE Systems AreaRAE Plus є комплексною системою моніторингу газів, розробленою для забезпечення безпеки працівників у промислових та інших умовах, де можуть бути присутні токсичні гази. Ця система використовує передові технології збору та аналізу даних, щоб надати операторам найбільш точну інформацію про рівні токсичних газів у навколишньому середовищі (рис. 1.2).

Однією з ключових особливостей системи є можливість вимірювати концентрації різних газів одночасно за допомогою бездротових датчиків, які підключені до центрального хабу. Це дозволяє операторам отримувати повний образ ситуації щодо рівнів токсичних газів та дозволяє оперативно реагувати на будь-які потенційні загрози [18].



Рисунок 1.2 - RAE Systems AreaRAE Plus

Технологія бездротового зв'язку дозволяє встановлювати датчики в різних місцях робочого середовища без необхідності проведення дротових з'єднань, що робить систему AreaRAE Plus гнучкою та ефективною. Оператори можуть віддалено керувати та моніторити датчики через спеціалізовані мобільні додатки або веб-інтерфейс, що спрощує процес управління системою.

Крім того, система надає можливість відстежувати і аналізувати дані про гази через хмарні сервіси або спеціальні програмні засоби. Це дозволяє операторам виявляти та аналізувати тенденції у рівнях токсичних газів для подальшого удосконалення систем безпеки та здоров'я працівників.

Загалом, RAE Systems AreaRAE Plus є важливим інструментом для забезпечення безпеки працівників у промислових умовах, де можуть бути присутні токсичні гази. Використання передових технологій IoT дозволяє ефективно моніторити та контролювати рівень газів у реальному часі, що сприяє забезпеченню безпечних та здорових умов праці для всіх працівників.

1.4.4 Dräger X-am 8000

Dräger X-am 8000 (рис. 1.3) - це портативна мультигазова система моніторингу, розроблена компанією Dräger для забезпечення безпеки працівників у промислових умовах, де можуть бути присутні токсичні гази. Ця система використовує

передові технології збору та аналізу даних для надання операторам точної інформації про рівні токсичних газів у реальному часі [19].



Рисунок 1.3 - Dräger X-am 8000

Однією з ключових особливостей Dräger X-am 8000 є його здатність вимірювати концентрації різних газів одночасно за допомогою різноманітних сенсорів, вбудованих у пристрій. Це дозволяє операторам отримувати повну картину ситуації щодо рівнів токсичних газів і дозволяє оперативно реагувати на будь-які потенційні загрози.

Додатково, ця система має інтегрований дисплей, який надає операторам інформацію про рівні газів та стан пристрою в реальному часі. Це дозволяє працівникам моніторити рівні газів під час роботи та приймати відповідні заходи безпеки.

Технологія бездротового зв'язку дозволяє встановлювати Dräger X-am 8000 в різних місцях робочого середовища без необхідності проведення дротових з'єднань, що робить його гнучким та ефективним. Оператори можуть віддалено керувати та моніторити пристрій через спеціалізовані мобільні додатки або веб-інтерфейс, що спрощує процес управління системою.

Крім того, ця система надає можливість аналізувати зібрані дані про гази через хмарні сервіси або спеціальні програмні засоби. Це дозволяє операторам виявляти та аналізувати тенденції у рівнях токсичних газів для подальшого удосконалення систем безпеки та здоров'я працівників.

1.4.5 Honeywell BW Ultra

Honeywell BW Ultra [20] є портативною мультигазовою системою моніторингу, розробленою компанією Honeywell з метою забезпечення безпеки працівників у різних промислових умовах, де можуть бути присутні токсичні гази. Цей пристрій використовує передові технології збору та аналізу даних для забезпечення точного та надійного вимірювання рівнів газів у реальному часі (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 - Honeywell BW Ultra

Однією з особливостей є його здатність виявляти та вимірювати різні типи газів одночасно за допомогою різноманітних сенсорів, що вбудовані у пристрій. Це дозволяє операторам швидко та ефективно оцінювати потенційні небезпеки та приймати відповідні заходи безпеки.

Додатково, Honeywell BW Ultra оснащений інтегрованим дисплеєм, який надає операторам інформацію про рівні газів та стан пристрою в реальному часі. Це дозволяє працівникам моніторити рівні газів під час роботи та вчасно реагувати на будь-які потенційні небезпеки.

Технологія бездротового зв'язку дозволяє встановлювати цю систему в різних місцях робочого середовища без необхідності проведення дротових з'єднань, що робить його зручним та ефективним. Оператори можуть віддалено керувати та

моніторити пристрій через спеціалізовані мобільні додатки або веб-інтерфейс, що спрощує процес управління системою.

Крім того, Honeywell BW Ultra надає можливість аналізувати зібрані дані про гази через хмарні сервіси або спеціальні програмні засоби. Це дозволяє операторам виявляти та аналізувати тенденції у рівнях токсичних газів для подальшого удосконалення систем безпеки та здоров'я працівників.

У загальному розумінні, Honeywell BW Ultra виступає важливим інструментом для забезпечення безпеки працівників у промислових умовах, де можуть бути присутні токсичні гази. Використання передових технологій IoT дозволяє ефективно моніторити та контролювати рівень газів у реальному часі, що сприяє забезпеченню безпечних та здорових умов праці для всіх працівників.

Таблиця 1.1 - Порівняльна характеристика систем детектування газів

Параметр	RAE Systems Area RAE Plus	Dräger X-am 8000	Honeywell BW Ultra
Виробник	RAE Systems	Dräger	Honeywell
Призначення	Стаціонарна система безперервного моніторингу токсичних газів	Портативний багатогазовий детектор	Персональний газоаналізатор
Детектовані гази	Широкий спектр токсичних газів та пари	Вуглеводневі гази, CO, H ₂ S, O ₂ та інші	Широкий спектр газів, до 5 одночасно
Методи детектування	Електрохімічні, НПВП, каталітичне паливне вічко	Електрохімічні, ІЧ, каталітичне паливне вічко	Різні датчики залежно від газів
Бездротовий зв'язок	Wi-Fi, стільниковий	Не вказано	Bluetooth, ІЧ
Особливості	Модульна конструкція, до 8 датчиків, IoT-інтегрований	Міцний корпус, вбудовані насоси, довготривала робота	Компактний, проста калібрувальна станція
Живлення	Змінний струм через блок живлення	Літій-іонна акумуляторна батарея	Літій-іонна акумуляторна батарея або адаптер змінного струму
Переваги	Гнучкість конфігурації, підтримка IoT	Надійність, довга робота від батареї	Портативність, простота обслуговування
Недоліки	Потребує встановлення, висока вартість	Обмежене IoT-з'єднання	Менша кількість вимірюваних газів

2 ВИБІР АПАРАТНОГО І ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

2.1 Вибір мікроконтролера

2.1.1 ESP8266 ESP-01S

ESP8266 ESP-01S - це інноваційний мікроконтролер, який представляє собою компактний модуль, розроблений компанією Espressif Systems для вбудованих систем та застосувань у сфері Інтернету речей (IoT). Модуль ESP-01S базується на чіпі ESP8266, який працює на частоті 2.4 ГГц і підтримує стандарт Wi-Fi 802.11 b/g/n. Цей мікроконтролер володіє вражаючими характеристиками, які роблять його ідеальним вибором для широкого спектру IoT-проектів [21].

ESP8266 ESP-01S відомий своєю компактністю і високою функціональністю. Він має розмір 25.4 мм × 14.2 мм, що дозволяє легко вбудовувати його в різноманітні пристрої з обмеженим простором.

Цей датчик оснащений вбудованим антенним роз'ємом, що забезпечує надійне підключення до мережі Wi-Fi. Це робить його ідеальним рішенням для бездротових застосувань, де необхідна стабільна комунікація з мережею.



Рисунок 2.1 - Мікроконтролер ESP8266 ESP-01S

ESP8266 ESP-01S має вбудований UART-інтерфейс, що дозволяє легко взаємодіяти з іншими пристроями через простий інтерфейс послідовного зв'язку. Це робить його дуже зручним для розробки та тестування різних IoT-проектів.

Модуль підтримує різні режими роботи, такі як точка доступу (AP), клієнт (STA) і режим точка-точка (P2P). Це розширює можливості використання модуля в різних сценаріях застосування.

ESP-01S має високу швидкість обробки даних і великий обсяг внутрішньої пам'яті, що дозволяє ефективно виконувати складні операції і зберігати велику кількість даних без додаткових зусиль.

Модуль підтримує різноманітні мережеві протоколи, включаючи TCP/IP, HTTP, MQTT та інші, що робить його сумісним з багатьма IoT-платформами та сервісами хмарних обчислень.

ESP8266 ESP-01S має високу ефективність енергоспоживання, що дозволяє тривалий час автономної роботи в батарейних пристроях та інших мобільних застосуваннях. Модуль має широкий набір портів та виводів, які дозволяють підключати до нього різноманітні сенсори, актуатори та периферійні пристрої без необхідності використання додаткових модулів.

ESP-01S підтримує вбудовану систему веб-сервера, що дозволяє створювати власні веб-інтерфейси для керування пристроями через мережу Wi-Fi.

На жаль, існують деякі недоліки, що варто врахувати при використанні ESP8266 ESP-01S:

- модуль ESP8266 ESP-01S має обмежений набір GPIO-портів, що може стати перешкодою для деяких проєктів, які вимагають більшої кількості введення-виведення для підключення до зовнішніх пристроїв;
- один з головних недоліків ESP8266 ESP-01S - обмежений обсяг внутрішньої пам'яті, що може бути недостатнім для складних програм або проєктів, які потребують великих обсягів даних;
- модуль підтримує тільки частотний діапазон 2.4 ГГц Wi-Fi, тому він не може працювати в мережах, які використовують частоту 5 ГГц. Це може бути обмеженням для деяких застосувань, де важлива висока швидкість передачі даних;
- обмежений функціонал в порівнянні з іншими ESP8266-модулями: ESP8266 ESP-01S має меншу кількість функцій порівняно з іншими моделями

ESP8266, такими як ESP-12E або ESP-32. Це може обмежувати можливості при реалізації деяких проектів;

- для новачків у сфері вбудованих систем ESP8266 ESP-01S може бути складним у використанні через відсутність додаткових функцій та обмежений функціонал, що може вимагати додаткових знань і досвіду для ефективного використання.

2.1.2 Espressif ESP32

Espressif ESP32 - це мікроконтролер, що володіє широким спектром функцій і використовується в багатьох IoT-проектах та промислових застосуваннях. Він базується на архітектурі Xtensa LX6, яка має два ядра CPU з тактовою частотою до 240 МГц кожне. Це дозволяє мікроконтролеру ефективно виконувати різноманітні завдання з високою швидкістю. Однією з ключових особливостей ESP32 є підтримка бездротових технологій, таких як Wi-Fi і Bluetooth. Завдяки цьому, ESP32 може легко з'єднуватися з іншими пристроями та взаємодіяти з ними через бездротову мережу, що робить його ідеальним вибором для створення IoT-рішень [22].

Мікроконтролер ESP32 також відрізняється великим обсягом вбудованої пам'яті, що дозволяє зберігати великі обсяги даних та програмного забезпечення без необхідності використання зовнішніх носіїв. Це спрощує розробку складних проектів та забезпечує високу продуктивність пристроїв на базі ESP32.



Рисунок 2.2 - Мікроконтролер Espressif ESP32

Мікросхема має вбудовані модулі Wi-Fi та Bluetooth, що дозволяє йому легко підключатися до Інтернету та інших пристроїв. Багатофункціональність цих модулів дозволяє реалізовувати різноманітні проекти з підтримкою бездротового зв'язку.

Однією з переваг ESP32 є його низька вартість порівняно з іншими мікроконтролерами зі схожими характеристиками. Це робить його доступним для широкого кола розробників та підприємств, які хочуть використовувати його в своїх проєктах. Мікроконтролер ESP32 також підтримує різні інтерфейси, такі як SPI, I2C, UART та інші, що дозволяє легко підключати до нього різні датчики та актуатори для створення різноманітних пристроїв і систем.

Одним з недоліків ESP32 є висока споживана потужність, особливо при використанні бездротових зв'язків, що може призводити до скорочення тривалості роботи пристроїв на його основі. Це може бути проблемою для деяких додатків, особливо для пристроїв, що працюють на батареї. Ще одним недоліком ESP32 є обмежені можливості вбудованого програмного забезпечення, зокрема відсутність підтримки високорівневих мов програмування, таких як Python або Java. Це може ускладнювати розробку деяких додатків і зменшувати їхню гнучкість.

Модуль також може мати обмежену підтримку деяких периферійних пристроїв та датчиків через обмежену кількість доступних GPIO-пінів. Це може призводити до обмежень у можливостях розширення та підключення додаткового обладнання до мікроконтролера.

Хоча ESP32 має великий потенціал для використання в різноманітних проєктах, він може потребувати додаткових витрат часу та зусиль для розробки та налагодження програмного забезпечення через відсутність деяких високорівневих функцій та обмеження у вбудованому обладнанні.

2.1.3 Arduino Nano 33 IoT

Arduino Nano 33 IoT - це мікроконтролер, який поєднує в собі можливості класичного Arduino Nano з бездротовими функціями Wi-Fi та Bluetooth. Він створений спеціально для розробки IoT-проєктів та має широкий спектр функцій для зручної роботи з мережевими з'єднаннями [23].

Основою Arduino Nano 33 IoT є мікроконтролер Nordic nRF52840, який має високу продуктивність та енергоефективність. Він забезпечує швидку роботу пристрою та дозволяє ефективно використовувати енергію батареї, що є важливим для пристроїв IoT.

Однією з ключових особливостей Arduino Nano 33 IoT є його вбудовані модулі Wi-Fi та Bluetooth, що дозволяють пристрою легко підключатися до Інтернету та інших пристроїв через бездротові зв'язки. Це робить його ідеальним вибором для розробки IoT-проектів, які потребують зв'язку через мережу.

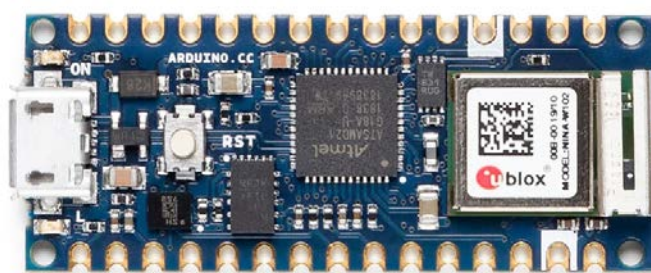


Рисунок 2.3 - Arduino Nano 33 IoT

Arduino Nano 33 IoT має розширені можливості в порівнянні з класичним Arduino Nano, зокрема підтримку бездротових технологій, більшу кількість цифрових та аналогових входів та виходів, а також розширену пам'ять для зберігання даних та програмного забезпечення. Іншою важливою особливістю Arduino Nano 33 IoT є його малі розміри, що робить його компактним та зручним для використання в обмежених просторах. Це робить його ідеальним вибором для вбудованих систем та пристроїв IoT, де обмежений простір є важливим фактором.

Однією з переваг Arduino Nano 33 IoT є підтримка широкого спектру датчиків та актуаторів, що дозволяє легко підключати до нього різні пристрої та розширювати його функціональність. Це робить його універсальним інструментом для розробки різноманітних IoT-проектів.

Однак Arduino Nano 33 IoT має деякі обмеження, зокрема обмежену кількість вбудованих входів-виходів порівняно з іншими більш потужними мікроконтролерами. Це може ускладнювати розробку деяких складних проектів та вимагати використання додаткових пристроїв розширення. Ще одним недоліком Arduino Nano 33 IoT є висока вартість порівняно з деякими іншими мікроконтролерами на ринку. Це може зробити його менш доступним для студентів та людей з обмеженим бюджетом для проектів DIY та навчання.

2.1.4 NodeMCU

NodeMCU - це відкрите обладнання на базі мікроконтролера ESP8266, яке використовується для створення проектів Інтернету речей (IoT). Це мікроконтролер, що має вбудований модуль Wi-Fi та дозволяє здійснювати бездротове з'єднання з мережею. NodeMCU забезпечує зручну платформу для розробки та реалізації різноманітних проектів IoT. За допомогою NodeMCU можна створювати проекти, що включають в себе збір та аналіз даних з датчиків, керування актуаторами, взаємодію з Інтернет-сервісами та багато іншого. Вбудований модуль Wi-Fi дозволяє пристрою підключатися до Інтернету та обмінюватися даними з іншими пристроями через мережу [24].

Однією з особливостей модуля є його висока продуктивність та енергоефективність, що робить його ідеальним для використання в проектах, де потрібно ефективно використовувати енергію. Крім того, NodeMCU має розширені можливості для підключення до різних периферійних пристроїв та датчиків.

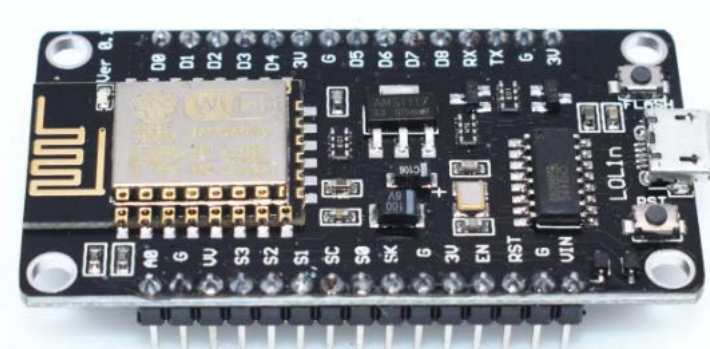


Рисунок 2.4 – NodeMCU

Недоліками цього пристрою є обмежена кількість вбудованих вхідно-вихідних портів порівняно з іншими мікроконтролерами, що може обмежити можливості розширення функціональності пристрою. Також NodeMCU має обмежений спектр підтримуваних периферійних пристроїв порівняно з іншими мікроконтролерами, що може ускладнити реалізацію деяких проектів.

2.1.5 ESP8266 ESP-12E

Espressif ESP8266 ESP-12E - це мікроконтролер, розроблений компанією Espressif Systems, який використовується для розробки проектів Інтернету речей (IoT). Цей мікроконтролер має вбудований модуль Wi-Fi, що дозволяє забезпечити бездротове з'єднання з мережею Інтернет [25].

ESP8266 ESP-12E базується на чіпі ESP8266 від Espressif Systems і володіє високою продуктивністю та енергоефективністю. Він має вбудований 32-бітний мікроконтролер з ядром Tensilica LX106, що працює на частоті до 160 МГц, і може бути програмований з використанням мови програмування C/C++ за допомогою Arduino IDE або інших середовищ розробки.

Цей мікроконтролер має вбудовану пам'ять Flash об'ємом 4 Мб, що дозволяє зберігати програми та дані безпосередньо на пристрої. ESP8266 ESP-12E також має розширений набір вхідно-вихідних портів (GPIO), які можуть використовуватися для підключення до різних периферійних пристроїв та датчиків.



Рисунок 2.5 - Espressif ESP8266 ESP-12E

Однією з особливостей модуля є його невеликий розмір та низька вартість, що робить його ідеальним вибором для вбудованих проектів з обмеженими ресурсами. Він також підтримує різні протоколи бездротового зв'язку, такі як Wi-Fi, TCP/IP, UDP та MQTT, що робить його універсальним рішенням для реалізації різноманітних IoT-проектів.

Недоліками мікросхеми можуть бути обмежена кількість вбудованих GPIO портів, що може стати перешкодою у виконанні деяких завдань. Крім того, він може виявитися менш потужним у порівнянні з деякими іншими мікроконтролерами на ринку, що може ускладнити реалізацію деяких вимогливих проектів.

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика мікроконтролерів

Параметр	ESP8266 ESP-01S	Espressif ESP32	Arduino Nano 33 IoT	NodeMCU	ESP8266 ESP-12E
Процесор	32-бітний RISC	32-біт Xtensa LX6	32-біт ARM Cortex-M0+	32-біт RISC	32-бітний RISC
Частота процесора	80-160 МГц	160-240 МГц	48 МГц	80-160 МГц	80-160 МГц
ОЗП	64 КБ	520 КБ	32 КБ	64 КБ	64 КБ
Флеш-пам'ять	-	16 МБ	256 КБ	-	-
Wi-Fi	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n/a/ac	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n
Bluetooth	-	Bluetooth 4.2	Bluetooth LE	-	-
GPIO	8	36	22	16	16
Споживання струму	60-170 мА	80 мА	-	60-170 мА	60-170 мА
Діапазон напруги	3.0-3.6 В	2.2-3.6 В	3.0-5.5 В	3.0-3.6 В	3.0-3.6 В

2.2 Вибір датчика освітленості

2.2.1 Adafruit TSL2561 Digital Luminosity/Lux/Light Sensor

Adafruit TSL2561 Digital Luminosity/Lux/Light Sensor - це високочутливий датчик освітленості, який здатний вимірювати рівень світла в оточенні. Він забез-

печує точне вимірювання освітленості як у видимому, так і в інфрачервоному спектрах, що робить його корисним для широкого спектра застосувань, включаючи автоматизацію будівель, освітлення, регулювання клімату, та інші [26].



Рисунок 2.6 - Adafruit TSL2561 Digital Luminosity/Lux/Light Sensor

Основні характеристики цього датчика включають:

- висока чутливість і широкий діапазон вимірювань;
- вбудований аналоговий та цифровий інтерфейси зв'язку для простоти інтеграції з різними мікроконтролерами та іншими пристроями;
- можливість вимірювання як інтенсивності світла в інфрачервоному спектрі, так і в видимому;
- можливість встановлення різних режимів роботи, включаючи автоматичний режим збору даних і режим енергозбереження;
- зручність використання та програмування завдяки наявності документації та прикладів коду від виробника.

Завдяки своїм характеристикам та можливостям, Adafruit TSL2561 Digital Luminosity/Lux/Light Sensor є популярним вибором серед розробників, які працюють у сферах інтернету речей (IoT), автоматизації, освітлення та інших галузях, де потрібно вимірювати рівень освітленості в оточенні.

2.2.2 DFRobot Gravity: Analog Ambient Light Sensor

DFRobot Gravity: Analog Ambient Light Sensor - це датчик амбієнтного світла, призначений для вимірювання рівня освітленості в навколишньому середовищі. Цей датчик може бути використаний для автоматизації систем освітлення, регулювання яскравості екранів, контролю якості світла в приміщеннях та інших застосувань.



Рисунок 2.7 - DFRobot Gravity: Analog Ambient Light Sensor

Основні характеристики цього датчика включають:

- аналоговий вихід для зручного зчитування даних;
- широкий діапазон вимірювань, що дозволяє використовувати датчик як у темних, так і в яскравих умовах;
- простота використання та підключення завдяки сумісності з DFRobot Gravity інтерфейсом, який дозволяє підключати датчики та інші пристрої безпосередньо до мікроконтролерів і плат Arduino;
- можливість використання у різних сценаріях застосування завдяки компактному розміру та низькому споживанню енергії.

DFRobot Gravity: Analog Ambient Light Sensor є частиною серії датчиків від DFRobot, яка спрощує розробку пристроїв зі збором та аналізом даних. Використовуючи цей датчик, розробники можуть легко відстежувати та контролювати рівень

освітленості в різних умовах, що дозволяє покращити якість життя та ефективність систем автоматизації [26].

2.2.3 SparkFun Ambient Light Sensor Breakout

SparkFun Ambient Light Sensor Breakout - ТЕМТ6000 - це компактний модуль, призначений для вимірювання рівня освітленості в навколишньому середовищі. Цей датчик може бути використаний для автоматизації систем освітлення, регулювання яскравості екранів, контролю якості світла в приміщеннях та інших застосувань.

Основні характеристики цього датчика включають:

- висока чутливість до освітленості, що дозволяє вимірювати як темні, так і дуже яскраві умови;
- аналоговий вихід для зручного зчитування даних;
- простота використання та підключення завдяки стандартному інтерфейсу, який дозволяє підключати датчики та інші пристрої безпосередньо до мікроконтролерів і плат Arduino;
- можливість використання у різних сценаріях застосування завдяки компактному розміру та низькому споживанню енергії [28].



Рисунок 2.8 - SparkFun Ambient Light Sensor Breakout - ТЕМТ6000

SparkFun Ambient Light Sensor Breakout - ТЕМТ6000 є ідеальним рішенням для проектів, де потрібно вимірювати рівень освітленості і використовувати ці дані для управління освітленням або іншими пристроями. Використовуючи цей датчик,

можна легко контролювати освітленість в приміщеннях, оптимізувати використання енергії та покращувати зручність користувачів.

2.2.4 Maxim Integrated MAX44009 Ambient Light Sensor

Maxim Integrated MAX44009 Ambient Light Sensor - це високочутливий цифровий датчик амбієнтного світла, призначений для точного вимірювання рівня освітленості в навколишньому середовищі. Цей датчик має високу точність та широкий діапазон вимірювань, що дозволяє використовувати його в різних застосунках [29].

Основні характеристики Maxim Integrated MAX44009 Ambient Light Sensor включають:

- висока чутливість - датчик здатний вимірювати навіть низькі рівні освітленості, що робить його ідеальним для використання в умовах з різними рівнями освітлення;
- MAX44009 має цифровий вихідний сигнал, що дозволяє легко інтегрувати його з мікроконтролерами та іншими цифровими пристроями;
- широкий діапазон вимірювань - датчик може вимірювати рівень освітлення від дуже низьких до дуже високих значень, що робить його універсальним і ефективним для різноманітних застосувань;
- MAX44009 працює при низькому споживанні енергії, що робить його ідеальним для використання в пристроях з обмеженим живленням або в батарейних пристроях;
- датчик забезпечує стабільні та надійні вимірювання навіть у змінних умовах середовища.



Рисунок 2.9 - Maxim Integrated MAX44009 Ambient Light Sensor

Maxim Integrated MAX44009 Ambient Light Sensor є частиною широкого асортименту продуктів від компанії Maxim Integrated, яка відома своїми високоякісними аналоговими та цифровими інтегральними мікросхемами. Завдяки своїм високим технічним характеристикам і надійності, цей датчик є популярним вибором для розробників, що працюють у галузі IoT, автоматизації, освітлення та інших сферах, де необхідно точне вимірювання рівня освітлення.

2.2.5 Seeed Studio Grove - Luminance Sensor

Seeed Studio Grove - Luminance Sensor - це датчик освітленості, розроблений компанією Seeed Studio для вимірювання рівня освітленості в оточуючому середовищі. Цей датчик використовує технологію фотопору, що змінює свій опір в залежності від інтенсивності світла, яка на нього падає.

Grove - Luminance Sensor включає в себе фотопір, який реагує на зміни в рівні освітленості. Коли рівень освітленості збільшується, опір фотопору зменшується, що призводить до збільшення вихідного сигналу датчика. На відміну від інших типів датчиків, які можуть вимірювати лише присутність або відсутність світла, Grove - Luminance Sensor дозволяє отримувати числові значення, що відповідають реальним рівням освітленості [30].

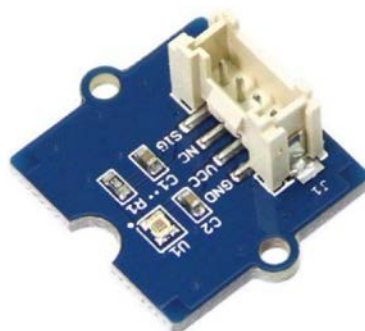


Рисунок 2.10 - Seeed Studio Grove - Luminance Sensor

Цей датчик може бути легко підключений до мікроконтролерів або платформ розробки, таких як Arduino або Raspberry Pi, за допомогою роз'єму Grove, що

дозволяє швидко підключати різні датчики та пристрої без паяння або складного кабельного з'єднання.

Grove - Luminance Sensor забезпечує зручний та простий спосіб вимірювання рівня освітленості в різних сценаріях, таких як освітлення в приміщенні, зовнішнє освітлення або контроль освітлення в саду чи офісі. Цей датчик може бути використаний у різноманітних застосунках, від автоматизації будинку до контролю якості світла у промислових середовищах.

Таблиця 2.1 - Порівняльна характеристика датчиків освітлення

Параметр	Adafruit TSL2561	DFRobot Gravity	SparkFun Ambient Light	Maxim MAX44009
Виробник	Adafruit	DFRobot	SparkFun	Maxim Integrated
Тип датчика	Цифровий	Аналоговий	Аналоговий	Цифровий
Інтерфейс	I2C	Аналоговий вихід	Аналоговий вихід	I2C
Діапазон вимірювання (лк)	0.1 - 40000	1 - 65000	0.1 - 188000	0.045 - 188000
Роздільна здатність (розрядність)	16 біт	10 біт	10 біт	22 біт
Напруга живлення	3.3 - 5 В	3.3 - 5 В	3 - 6 В	1.7 - 3.6 В
Розміри	21x28x8 мм	28x18 мм	20x16 мм	2x2.08x0.55 мм
Особливості	Інтегрована оптика, регулювання підсилення	Компактний, низьке споживання	Широкий діапазон вимірювання	Високоточний, низьке споживання

2.3 Вибір датчика газу

2.3.1 MQ-135

MQ-135 є одним із широко використовуваних газових датчиків, призначених для вимірювання різних типів газів у повітрі. Виготовлений компанією Winsen, цей датчик здатний виявляти різні гази, включаючи аміак, сірководень, оксид вуглецю та димові частинки [31].

Застосування MQ-135 включає вимірювання якості повітря в різних середовищах, таких як житлові приміщення, промислові зони та транспортні засоби. Його здатність виявляти різні гази робить його корисним для виявлення потенційно шкідливих речовин у повітрі, які можуть впливати на здоров'я людей [32].



Рисунок 2.11 - MQ-135

Один з головних переваг MQ-135 полягає в його доступності та невисокій вартості порівняно з іншими газовими датчиками на ринку. Це робить його привабливим для застосування в багатьох проектах, які потребують вимірювання якості повітря [33].

Принцип роботи MQ-135 базується на зміні опору напівпровідникового елемента в залежності від концентрації газів. Інтегрований газовий датчик MQ-135 має керуваність чутливості, яка може бути налаштована для виявлення різних типів газів [34].

Хоча MQ-135 є потужним і доступним газовим датчиком, його використання вимагає обережного налаштування і калібрування для досягнення найкращих результатів вимірювання. Також важливо враховувати, що його точність може залежати від умов експлуатації та якості повітря [35].

2.3.2 SGP30

SGP30 є інтегрованим газовим датчиком, призначеним для вимірювання якості повітря, зокрема концентрації оксиду вуглецю (CO_2) та летких органічних сполук (VOC) в навколишньому середовищі. Розроблений компанією Sensirion, SGP30 відрізняється своєю високою точністю та надійністю вимірювань [36].

Застосування включає вимірювання якості повітря в будинках, офісах, промислових об'єктах та інших місцях, де контроль рівня CO₂ та VOC є важливим для забезпечення здоров'я та комфорту людей. Його можна використовувати як самостійний датчик або як частину інтегрованих систем моніторингу якості повітря [37].

Цей датчик відрізняється високою енергоефективністю та компактним розміром, що робить його ідеальним вибором для застосувань, де обмежені ресурси енергії та простору. Його інтегрована архітектура спрощує використання та інтеграцію в різноманітні пристрої та системи [38].

Принцип роботи SGP30 полягає у використанні технології датчиків на основі полімерних плівок, що реагують на взаємодію з молекулами CO₂ та VOC. Ця технологія забезпечує високу чутливість та швидкість вимірювання, що робить SGP30 відмінним інструментом для моніторингу якості повітря [39].



Рисунок 2.12 - SGP30

Хоча цей датчик є потужним інтегрованим датчиком, важливо враховувати, що його ефективність може залежати від умов експлуатації та розміщення. Калібрування та налаштування можуть бути необхідними для досягнення оптимальних результатів вимірювання [40].

2.3.3 MQ-7

MQ-7 - це газовий датчик, який використовується для виявлення концентрації оксиду вуглецю (CO) у повітрі. Цей датчик має широкий спектр застосувань і здатний працювати в різних умовах навколишнього середовища [31].

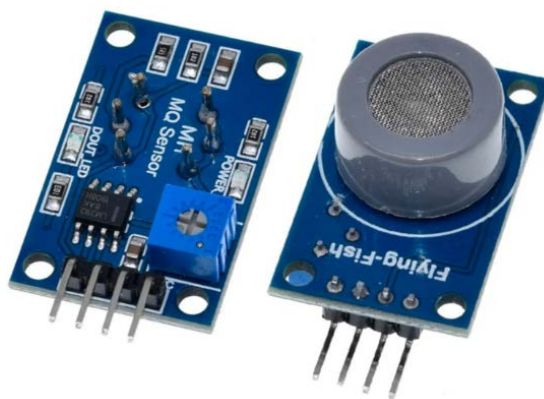


Рисунок 2.13 - MQ-7

Цей датчик може бути використаний для моніторингу якості повітря в приміщеннях, промислових об'єктах, транспортних засобах та інших місцях, де може бути ризик виникнення небезпечних рівнів CO. Його висока чутливість дозволяє швидко виявляти навіть невеликі коливання концентрації газу [41].

Один з головних переваг MQ-7 полягає в його компактному розмірі та простоті використання. Він може бути легко інтегрований в різні пристрої та системи моніторингу, що робить його привабливим вибором для широкого кола застосувань [42]. Принцип роботи MQ-7 ґрунтується на електрохімічних властивостях, які реагують на наявність CO в повітрі. При зміні концентрації газу опір датчика змінюється, що дозволяє вимірювати рівень CO з високою точністю [43].

Хоча MQ-7 є ефективним і надійним газовим датчиком, важливо враховувати, що його ефективність може залежати від умов експлуатації та калібрування. Регулярна перевірка та обслуговування можуть забезпечити найкращі результати вимірювання [44].

2.3.4 MiCS-5524

MiCS-5524 - це газовий датчик, призначений для вимірювання концентрації різних газів у повітрі, таких як оксид вуглецю (CO), аміак (NH₃) та діоксид сірки (SO₂). Розроблений компанією SGX Sensortech, цей датчик має високу чутливість та надійність вимірювань [46].

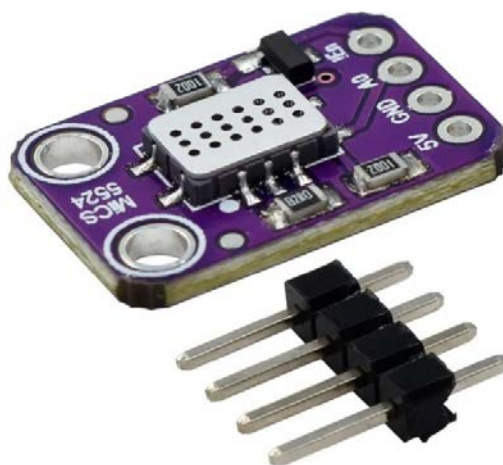


Рисунок 2.14 - MiCS-5524

Такий датчик може бути використаний у різноманітних застосуваннях, включаючи системи контролю якості повітря, безпеки житла та промислових процесів. Його здатність виявляти різні гази робить його корисним інструментом для виявлення потенційно шкідливих речовин у повітрі.

Один з ключових переваг MiCS-5524 полягає в його компактному розмірі та енергоефективності. Це робить його ідеальним вибором для вбудованих систем моніторингу, де обмежені ресурси енергії та простору.

Принцип роботи MiCS-5524 базується на зміні опору напівпровідникового елемента в залежності від концентрації газів. Інтегрований газовий датчик MiCS-5524 використовує технологію мікроелектромеханічних систем (MEMS) для досягнення високої чутливості та точності вимірювань.

Хоча MiCS-5524 є потужним інтегрованим датчиком, важливо враховувати, що його ефективність може залежати від умов експлуатації та калібрування. Регулярна перевірка та налаштування можуть бути необхідними для забезпечення найкращих результатів вимірювання.

2.3.5 Grove - Multichannel Gas Sensor

Grove - Multichannel Gas Sensor є комплексною системою, розробленою для вимірювання концентрації різних газів у повітрі. Цей сенсорний модуль розроблений компанією Seeed Studio для використання з їхньою платформою розвитку Grove [47].

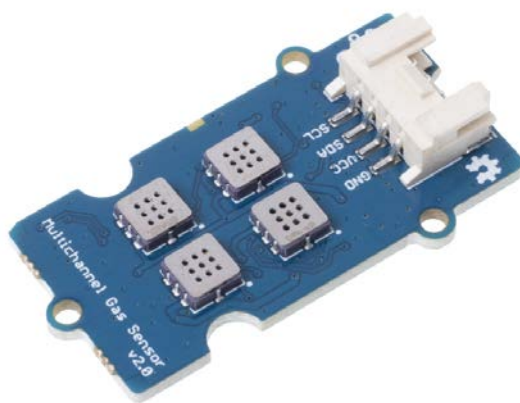


Рисунок 2.15 - Grove - Multichannel Gas Sensor

Завдяки своїй мультиканальній природі, цей датчик може одночасно вимірювати кілька типів газів, таких як оксид вуглецю (CO), метан (CH₄), пропан (C₃H₈), амоніак (NH₃) та інші. Це робить його корисним для використання в різних застосуваннях, включаючи моніторинг якості повітря в промислових об'єктах, будинках та автомобілях.

Основною перевагою Multichannel Gas Sensor є його легка інтеграція з існуючими мікроконтролерами та платформами розвитку, такими як Arduino, Raspberry Pi та інші. Це дозволяє швидко та ефективно використовувати його в різних проєктах і прототипах.

Принцип роботи пристрою базується на використанні різних типів датчиків газу, кожен з яких спеціалізується на вимірюванні конкретного типу газу. Дані з

кожного датчика обробляються і аналізуються, щоб надати користувачеві інформацію про склад атмосферного повітря.

Таблиця 2.2 – Порівняльна характеристика датчиків газу

Параметр	MQ-135	SGP30	MQ-7	MiCS-5524	Grove Multichannel
Виробник	-	Sensirion	-	e2v	Seeed Studio
Детектовані гази	NH ₃ , NO _x , alcohol, бензин, CO ₂	VOC, CO ₂	CO, H ₂	VOC, NH ₃ , H ₂	NH ₃ , NO _x , алкоголь, бензин, CO ₂ , CO
Тип сенсора	Електрохімічний	Металоксидний	Електрохімічний	Металоксидний	Електрохімічний та металоксидний
Інтерфейс	Аналоговий	I2C	Аналоговий	I2C	Аналоговий
Робоча напруга	5 В	1.62-1.98 В	5 В	2.7-3.3 В	5 В
Діапазон вимірювання	10-1000 ppm	0-60000 ppm (CO ₂), 0-60000 ppb (VOC)	20-2000 ppm	50-10000 ppm (VOC), 25-1000 ppm (NH ₃)	Різні діапазони для різних газів
Час прогрівання	-	15 с	-	250 мс	-
Особливості	Низька вартість	Високоточний, корекція впливу вологості	Висока чутливість до CO	Металоксидний та електрохімічний сенсори	Багатоканальний, корпус із захистом

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ

Екологічні параметри вдома відіграють важливу роль у збереженні здоров'я мешканців. Метою даного дослідження є моніторинг токсичних газів та рівня освітленості в реальному часі з використанням веб-додатку для віддаленого доступу користувача. Для досягнення цієї мети використано прості та доступні апаратні компоненти з метою полегшити відтворення проекту.

Токсичні гази мають серйозний вплив на навколишнє середовище та здоров'я людини, і річні статистичні дані свідчать про безліч смертей від їх впливу. У даній роботі обрано три типи газів для моніторингу: монооксид вуглецю (хімічна формула CO), діоксид азоту (хімічна формула NO₂) та пропан (хімічна формула C₃H₈). Зазначено, що ці гази є смертельними у великих концентраціях. Для здійснення моніторингу використано сенсор газу Grove - Multichannel, який здатен вимірювати ці три гази та передавати значення на платформу OM2M.

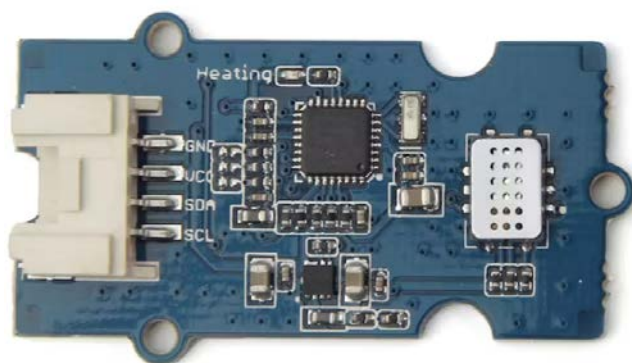


Рисунок 3.1 - Grove – Мультиканальний сенсор

Для моніторингу рівня освітленості був використаний датчик світла Grove.



Рисунок 3.2 – Grove – Датчик освітленості

Модуль датчика світла Grove включає в себе резистор, залежний від освітленості (LDR). Опір LDR або фоторезистора зменшується, коли збільшується інтенсивність оточуючого світла. Це означає, що вихідний сигнал з цього модуля буде

високим у яскравому світлі та низьким у темряві. Сенсор підключений до ESP8266 за допомогою шини послідовної комунікації I2C. У цьому проекті вважається, що яскравість є занадто великою, коли вона перевищує 600 люксів, і занадто низькою, коли вона менше 100 люксів.

Усі датчики живляться через GPIO ESP8266, а сам ESP може житися від батареї.

Для розробки проекту головним чином використовувалася Arduino IDE для прошивки ESP8266. Розпочинаючи з отримання даних з різних датчиків, дані надсилаються з коротким описом та початковим значенням.

ESP8266 підключений до Wi-Fi, користувач повинен ввести ідентифікатор та пароль своєї Wi-Fi мережі. Для кожного користувача асоційовано ресурс ApplicationEntity (AE) на віддаленому CSE (це виконується за допомогою відправлення POST-запиту). Користувач повинен мати активний CSE на своєму шлюзі або на своїй локальній машині (для тестування). IP-адреса хост-машини CSE повинна бути додана до коду Arduino.

На віддаленому CSE створено контейнер для кожного ресурсу ContentInstance (CI). CI містить всі дані, виявлені датчиками. Створено 4 екземпляри контенту: LuminositySensor, NO2Value, COValue та C3H8Value.

Дані (у форматі XML) потім отримується та оброблюється за допомогою панелі інструментів Node-RED і відправляється до веб-застосунку.

Також був використаний застосунок на JavaScript для моніторингу в реальному часі всіх даних, відправлених ресурсу CSE. Цей монітор можна знайти у вкладенні нижче.

Проводимо підготовку системи. Спочатку потрібно завантажити необхідні програмні ресурси.

У користувача має бути завантажено Arduino IDE, а також наступні бібліотеки: ESP8266 та MiCS6814-I2C.

OM2M CSE Resource Tree
<http://192.168.166.216:8080/~in-cse/CAE876367058>



```

-in-name
- acp_admin
- acpae-876367058
- acpae-319856001
- acpae-868147862
- acpae-64000544
- acpae-394263575
- LuminositySensor
  - DESCRIPTOR
  - DATA
- LedActuator
  - DESCRIPTOR
  - DATA
  - COMMAND
- NO2Value
  - DESCRIPTOR
  - DATA
- COValue
  - DESCRIPTOR
  - DATA
    - cin_435702000
    - cin_589508292
- C3H8Value
  - DESCRIPTOR
  - DATA
- mn-cse

```

Attribute	Value
ty	2
ri	/in-cse/CAE876367058
pi	/in-cse
ct	2021112T16:54:09
lt	2021112T16:54:09
acpi	AccessControlPolicyId /in-cse/acp-596232542
et	2021112T16:54:09
api	Norg_demo.LuminositySensor
aei	CAE876367058
poi	Point Of Access http://192.168.166.246:80/LuminositySensor
rr	true

Рисунок 3.2 – IN-CSE після запуску

Також, OM2M потрібно завантажити з останньої бібліотеки на веб-сайті Eclipse Foundate: <https://wiki.eclipse.org/OM2M/Download>. Для коректної роботи програми необхідно передвстановити "JAVA 1.8" та "Apache Maven 3". Для більш детальних інструкцій можна скористатися керівництвом: https://wiki.eclipse.org/OM2M/one#Getting_started.

Проводимо підключення апаратних компонентів.

Датчик світла Grove повинен бути підключений до порту A0. Цей порт живиться від піна 3.3 В ESP8266. Щоб отримати доступ до A0 з ESP8266 12-E NodeMCU kit та інших розробних плат ESP8266, потрібно просто підключити перемичку до відповідного піна.

Багатоканальний датчик Grove можна підключити до однієї з двох шин послідовної комунікації I2C. Перед використанням рекомендується провести калібрування датчика. Для цього потрібно відкрити приклад "calibrate" у бібліотеці Arduino MiCS6814-I2C та завантажити його на ESP8266.

Крім того, користувач може додати датчик температури Grove. Код для його використання вже написаний у нашому програмному забезпеченні Arduino.

Коли збирання схеми закінчено, користувач може завантажити код на ESP8266 у Arduino IDE. Перш ніж це зробити, важливо запустити свій ресурс CSE. Якщо пристрій підключений до Wifi, користувач повинен бачити екологічні параметри у своєму будинку на веб-сайті (рис.3.4).

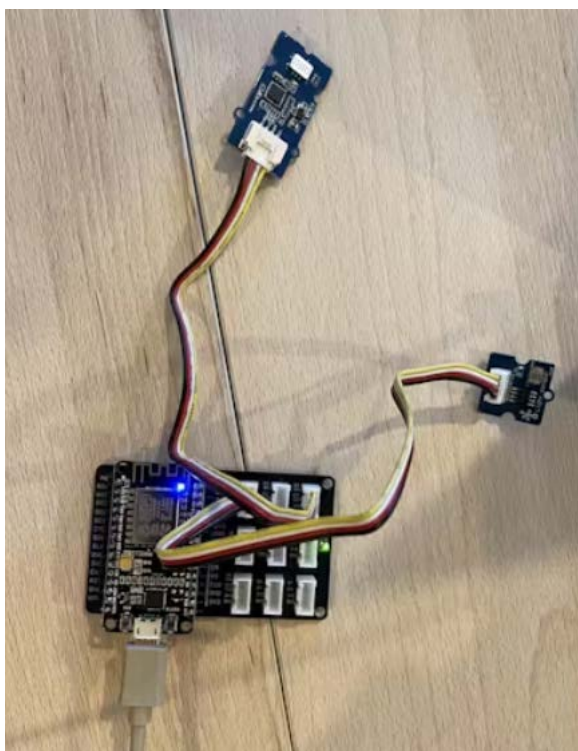


Рисунок 3.3 – Проект у сборі

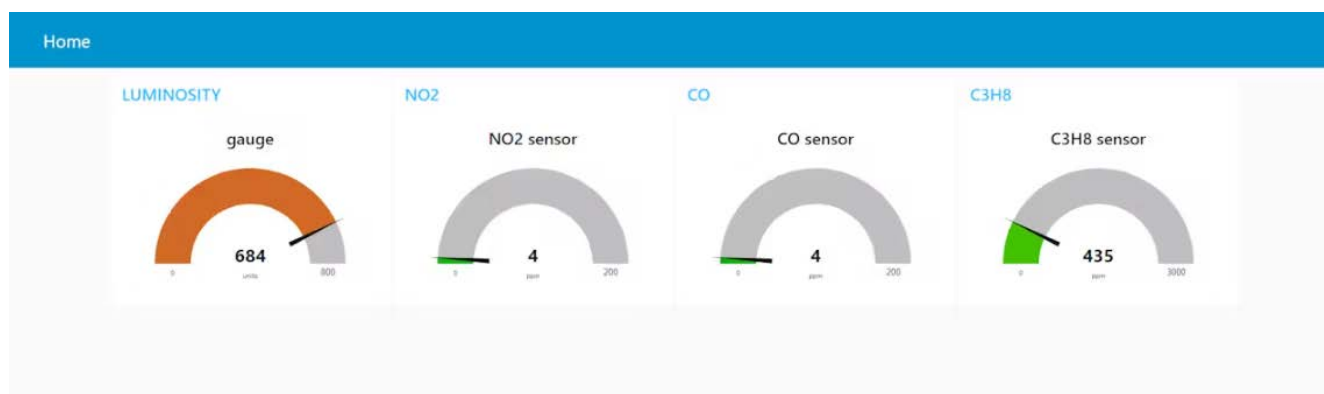


Рисунок 3.4 – Робота системи

Система моніторингу була спроектована з метою надання користувачам можливості відстежувати рівень токсичних газів та освітленості в реальному часі за допомогою веб-додатку для віддаленого доступу. Отже, система моніторингу токсичних газів та рівня освітленості може бути ефективним інструментом для забезпечення екологічних параметрів вдома та збереження здоров'я мешканців.

ВИСНОВКИ

В ході дослідження було проведено огляд літератури, що стосується моніторингу токсичних газів та рівня освітленості. З'ясовано поняття токсичних газів та їх вплив на навколишнє середовище та здоров'я людини, а також розглянуто існуючі методи та засоби моніторингу цих газів. Було досліджено технології та пристрої для виявлення та вимірювання токсичних газів, а також проаналізовано існуючі IoT системи моніторингу.

Для реалізації моніторингу та вимірювання рівня токсичних газів та освітленості були обрані відповідні апаратні та програмні компоненти. Для моніторингу газів був використаний багатоканальний датчик Grove, здатний вимірювати CO, NO₂ та C₃H₈ та передавати значення на платформу OM2M. Для моніторингу рівня освітленості був використаний датчик світла Grove.

Проект було спроектовано таким чином, щоб забезпечити моніторинг у реальному часі та віддалений доступ до даних за допомогою веб-додатку. Для цього було використано мікроконтролер ESP8266 та програмне забезпечення Arduino IDE для прошивки ESP8266. Дані, отримані з різних датчиків, надсилалися на платформу OM2M, де створювалися контейнери зі значеннями параметрів.

Таким чином, система моніторингу токсичних газів та освітленості була успішно розроблена та імплементована за допомогою простих та доступних апаратних та програмних компонентів. Цей проект може бути використаний для покращення екологічної безпеки в приміщеннях та в місцях з підвищеним ризиком токсичних викидів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Михалевич І. С. Оцінка та моніторинг токсичних газів у навколишньому середовищі. Екологічна безпека та збалансоване природокористування. 2017. Т. 4, № 20. С. 57–64.
2. Підприємство "Екотехніка". Токсичні гази: поняття, класифікація, методи моніторингу [Електронний ресурс]. <https://ekotehnika.ua/toxins.html> (дата звернення: 29.04.2024).
3. Стратегія зменшення викидів токсичних газів у промисловості. Міністерство екології та природних ресурсів України. 2021. [Електронний ресурс]. <https://mep.gov.ua/news/strategiya-zmenschennya-vikidiv-toksichnih-gaziv-u-promislovosti> (дата звернення: 29.04.2024).
4. World Health Organization. Air quality guidelines: global update 2005. Geneva: WHO Press, 2016.
5. Zhang Y., & Yang X. Detection of toxic gases by using metal-organic frameworks-based gas sensors: A review. TrAC Trends in Analytical Chemistry. 2018. Т. 105. С. 312–326. doi:10.1016/j.trac.2018.05.014.
6. Козлов В. В. Роль систем моніторингу токсичних газів у збереженні здоров'я людей та екологічного стану довкілля. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2020. № 301(2). С. 146–154.
7. Павлов О. В. Вплив токсичних газів на здоров'я людини та природу: аналіз сучасного стану. Екологія і здоров'я. 2019. Т. 4, № 32. С. 21–30.
8. Smith J. D., & Jones K. L. Air pollution and health: a multistate life table analysis of US counties. Air Quality, Atmosphere & Health. 2017. Т. 10, № 6. С. 647–654.
9. European Environment Agency. Air quality in Europe—2020 report. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020.

10. Liu S., & Liu Q. Review of atmospheric pollution and health risk assessment of toxic gases. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019. Т. 16, № 13. С. 2392. doi:10.3390/ijerph16132392.
11. Seinfeld J. H., & Pandis S. N. *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*. John Wiley & Sons, 2016.
12. Gauderman W. J., & Gilliland F. The effect of air pollution on lung development from 10 to 18 years of age. *New England Journal of Medicine*. 2018. Т. 378, № 14. С. 1304–1306.
13. Wang J., & Zhao W. Monitoring and control of air pollution: a comprehensive review. *Journal of Environmental Management*. 2020. Т. 268. С. 110407. doi:10.1016/j.jenvman.2020.110407.
14. Іванов О. П., & Петров В. С. Методи та засоби моніторингу токсичних газів у навколишньому середовищі. *Екологія і здоров'я*. 2022. Т. 10, № 2. С. 45–58.
15. Сидоренко Н. О., & Ковальчук В. П. Аналіз проб повітря на токсичні речовини за допомогою хроматографічних методів та мас-спектрометрії. *Хімічні дослідження*. 2023. Т. 15, № 4. С. 112–125.
16. Смирнов Д. М., & Григоренко О. В. Використання дронів для моніторингу токсичних газів у навколишньому середовищі. *Інженерія та технології*. 2024. Т. 25, № 1. С. 78–91.
17. Industrial Scientific Corporation. iNet Control. [Електронний ресурс]. <https://www.indsci.com/en/inet-control> (дата звернення: 29.04.2024).
18. RAE Systems. ToxiRAE Pro. [Електронний ресурс]. <https://www.rae-gasmonitors.com/rae-w01b11010205607901.html> (дата звернення: 29.04.2024).
19. Dräger. Dräger X-am 8000 | Мультигазовий детектор. [Електронний ресурс]. <https://www.promsystem.com.ua/product/drager-x-am8000-bagatokanalnyj-gazoanalizator/> (дата звернення: 29.04.2024).
20. Microtronics. myDatasensH2S1000 Effective monitoring of hydrogen sulphide (H₂S). [Електронний ресурс]. <https://microtronics.com/en/produkt/mydatasensh2s1000/#ex-certification> (дата звернення: 29.04.2024).

21. Arduino. ESP-01S Wi-Fi модуль ESP8266. [Електронний ресурс]. <https://arduino.ua/prod2892-esp-01s-wi-fi-modul-esp8266> (дата звернення: 29.04.2024).
22. Espressif. ESP32. [Електронний ресурс]. <http://www.espressif.com> (дата звернення: 29.04.2024).
23. Arduino. Arduino Nano 33 IoT. [Електронний ресурс]. <https://store.arduino.cc/arduino-nano-33-iot> (дата звернення: 29.04.2024).
24. Mini-Tech. NodeMCU v3 на базі ESP-12E. [Електронний ресурс]. <https://www.mini-tech.com.ua/ua> (дата звернення: 29.04.2024).
25. Arduino. Wi-Fi модуль ESP8266MOD версія ESP-12E. [Електронний ресурс]. <https://arduino.ua/prod1379-wi-fi-modul-esp8266-versiya-esp-12e> (дата звернення: 29.04.2024).
26. Adafruit. Adafruit TSL2561 Digital Luminosity/Lux/Light Sensor Breakout. [Електронний ресурс]. <https://www.adafruit.com/product/439> (дата звернення: 29.04.2024).
27. DFRobot. DFRobot Gravity: Analog CO2 Gas Sensor For Arduino. [Електронний ресурс]. <https://www.dfrobot.com/product-1004.html> (дата звернення: 29.04.2024).
28. SparkFun. SparkFun Ambient Light Sensor Breakout - TCM6000. [Електронний ресурс]. <https://www.sparkfun.com/products/8688> (дата звернення: 29.04.2024).
29. Analog Devices. Maxim Integrated MAX44009 Ambient Light Sensor. [Електронний ресурс]. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/max44009.pdf> (дата звернення: 29.04.2024).
30. Seeed Studio. Grove - Luminance Sensor. [Електронний ресурс]. https://wiki.seeedstudio.com/Grove-Luminance_Sensor/ (дата звернення: 29.04.2024).
31. Winsen. Winsen Gas Sensor Catalog. [Електронний ресурс]. <http://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/gas-sensor-catalog.pdf> (дата звернення: 29.04.2024).

32. Agarwal K. K. Gas Sensors: Principles, Operation and Developments. Y: Smart Sensors and MEMS. Springer, 2005. C. 75–116.
33. Liu J., & Wang L. Design and implementation of air quality monitoring system based on Internet of things. Y: 2015 2nd International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE). IEEE, 2015. C. 944–947.
34. Al-zubaidi A. Y. A Review of Semiconductor Gas Sensors with an Emphasis on Environmentally-Friendly Semiconductor Materials. Y: Progress in Sustainable Energy Technologies: Generating Renewable Energy. Springer, 2021. C. 227–242.
35. Lopez-Manchado M. A. Monitoring of Pollutant Gas Emissions by Chemoresistive Gas Sensors. Y: Sensors. IntechOpen, 2018.
36. Sensirion. SGP30 Gas Sensor for Air Quality. [Электронный ресурс]. <https://www.sensirion.com/en/environmental-sensors/gas-sensors/multi-pixel-gas-sensors/sgp30/> (дата звернення: 29.04.2024).
37. Jones J. B. et al. Development of an air quality sensor network and its application to assess indoor environmental quality in homes and workplaces. Indoor Air. 2019. T. 29, № 6. C. 1005–1017.
38. Lee C. T., & Lin S. S. Energy-efficient monitoring of indoor air quality using wireless sensor networks. Y: 2012 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering. IEEE, 2012. C. 727–732.
39. Carvajal P. M., & Castrillón D. G. Electronic nose using a metal oxide sensor array for air quality monitoring. Sensors. 2018. T. 18, № 1. C. 117.
40. Smith S. T., & Williams J. K. Calibration of air quality sensors: A review. Atmospheric Environment. 2020. T. 221. C. 117112.
41. Zhang Y. et al. A study on indoor air quality monitoring system based on internet of things. Y: 2016 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA). IEEE, 2016. C. 776–780.
42. Rossi N. F. et al. Wireless sensor networks for environmental monitoring: The TIMBRE project. IEEE Instrumentation & Measurement Magazine. 2017. T. 20, № 2. C. 26–36.

43. Salgado-Melchor A., & Huerta-Mascotte, E. Design of a CO Monitoring System Based on Inexpensive Gas Sensors. Y: Proceedings of the 2020 20th International Conference on Electronics, Communications and Computers (CONIELECOMP). IEEE, 2020. С. 1–5.
44. Davies H. T. Calibration Techniques for Passive Sampling with Diffusive Samplers. Y: Practical Environmental Analysis. Royal Society of Chemistry, 2019. С. 155–166.
45. Arduino. Модуль датчика якості повітря MICS-5524 TVOC. [Електронний ресурс]. <https://arduino.ua/prod6380-modyl-datchika-yakosti-povitrya-mics-5524-tvoc> (дата звернення: 29.04.2024).
46. Seeed Studio. Grove - Multichannel Gas Sensor. [Електронний ресурс]. https://wiki.seeedstudio.com/Grove-Multichannel_Gas_Sensor/ (дата звернення: 29.04.2024).

ДОДАТОК А

Лістинг проєкту

Лістинг А.1 – Програмний код проєкту

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <MiCS6814-I2C.h>
#include <math.h>

MiCS6814 sensor;
bool sensorConnected;

////////////////////////Параметри та константи////////////////////////
// Параметри WIFI
char* WIFI_SSID = "ВВЕДІТЬ-НАЗВУ-ВАШОЇ-WIFI-МЕРЕЖІ"; // На-
лаштуйте тут SSID вашої WiFi мережі
char* WIFI_PSWD = "ВВЕДІТЬ-ПАРОЛЬ-ВАШОЇ-WIFI-МЕРЕЖІ"; // Налаш-
туйте тут пароль вашої WiFi мережі
int WIFI_DELAY = 100; //мс

// oneM2M : Параметри CSE
String CSE_IP = "ВВЕДІТЬ-IP-АДРЕСУ"; // Налаштуйте тут IP-
адресу вашого CSE oneM2M
int CSE_HTTP_PORT = 8080;
String CSE_NAME = "назва";
String CSE_RELEASE = "3"; // Налаштуйте тут версію вашого CSE
oneM2M
bool ACP_REQUIRED = false; // Налаштуйте тут, чи необхідний ACP
для контролю доступу
String ACPID = "";

// oneM2M : Параметри ресурсів
String DESC_CNT_NAME = "ОПИС";
String DATA_CNT_NAME = "ДАНІ";
String CMND_CNT_NAME = "КОМАНДА";
String ACP_NAME = "МІЙАСР";
int TY_ACP = 1;
int TY_AE = 2;
int TY_CNT = 3;
int TY_CI = 4;
int TY_SUB = 23;
String originator = "admin:admin";

// Константи HTTP
int LOCAL_PORT = 80;
char* HTTP_CREATED = "HTTP/1.1 201 CREATED";
char* HTTP_OK = "HTTP/1.1 200 OK\r\n";
```

```

int REQUEST_TIME_OUT = 5000; //мс
int REQUEST_NR = 0;

// Пізніше
int LUMINOSITY_PIN = A0; // Адаптуйте його відповідно до вашого
з'єднання
int LED_PIN = BUILTIN_LED; // Адаптуйте його відповідно до
вашого з'єднання. Використовуйте BUILTIN_LED для вбудованого світло-
діода
#define OFF_STATE LOW // *** Зовнішній світлодіод активний при
високому стані, тоді як вбудований світлодіод активний при низькому.
#define ON_STATE HIGH // *** Адаптуйте його відповідно до вашої
конфігурації
int SERIAL_SPEED = 115200;

#define DEBUG

////////////////////////////////////

// Глобальні змінні
const long interval = 10000;
long currentMillis;

WiFiServer server(LOCAL_PORT); // HTTP-сервер (по WiFi). При-
кріплений до прослуховування на константному LOCAL_PORT
WiFiClient client0;
WiFiClient client1;
String context = ""; // Цільовий виконавчий механізм
String command = ""; // Отримана команда

// Метод для створення HTTP POST з попередньо налаштованими за-
головками oneM2M
// param : url --> шлях url цільового ресурсу oneM2M на відда-
леному CSE
// param : ty --> тип вмісту, який надсилається за цим запитом
POST (2 для ae, 3 для cnt і т. д.)
// param : rep --> представлення ресурсу у форматі JSON
String doPOST(String url, String originator1, int ty, String
rep) {

    String relHeader = "";
    if (CSE_RELEASE != "1") {
        relHeader = "X-M2M-RVI: " + CSE_RELEASE + "\r\n";
    }
    String postRequest = String() + "POST " + url + " HTTP/1.1\r\n"
+
        "Host: " + CSE_IP + ":" + CSE_HTTP_PORT
+ "\r\n" +
        "X-M2M-Origin: " + originator + "\r\n" +
        "Content-Type: application/vnd.onem2m-
res+json;ty=" + ty + "\r\n" +
        "Content-Length: " + rep.length() +
        "\r\n" +

```

```

        relHeader +
        "X-M2M-RI: req"+REQUEST_NR+"\r\n" +
        "Connection: close\r\n\r\n" +
        rep;
    // Підключення до адреси CSE
    Serial.println("підключення до " + CSE_IP + ":" +
CSE_HTTP_PORT + " ...");

    // Отримання клієнта
    if (!client1.connect(CSE_IP, CSE_HTTP_PORT)) {
        Serial.println("Підключення не вдалося !");
        return "помилка";
    }

    // Якщо з'єднання вдале, виводимо запит, який буде надісланий
#ifdef DEBUG
    Serial.println(postRequest);
#endif

    // Надсилаємо HTTP POST-запит
    client1.print(postRequest);

    // Оновлюємо номер запиту після кожного надсилання
    REQUEST_NR += 1;

    // Управляємо таймаутом
    unsigned long startTime = millis();
    while (client1.available() == 0) {
        if (millis() - startTime > REQUEST_TIME_OUT) {
            Serial.println("Таймаут клієнта");
            client1.stop();
            return "помилка";
        }
    }

    // Якщо успішно, читаємо HTTP-відповідь
    String result = "";
    client1.setTimeout(500);
    if (client1.available()) {
        result = client1.readStringUntil('\r');
        Serial.println(result);
    }
    while (client1.available()) {
        String line = client1.readStringUntil('\r');
        Serial.print(line);
    }
    Serial.println();
    Serial.println("Закриваємо з'єднання...");
    return result;
}

// Метод створення ресурсу ApplicationEntity(AE) на віддаленому
CSE (це робиться шляхом надсилання POST-запиту)

```

```

// param : ae --> ім'я AE (повинно бути унікальним під віддаленим
CSE)
String createAE(String ae) {
    String srv = "";
    if(CSE_RELEASE != "1"){
        srv = ", \"srv\": [\"" + CSE_RELEASE + "\"]";
    }
    String aeRepresentation =
        "{ \"m2m:ae\": { \"
        \"rn\": \"\" + ae + \"\", \"
        \"api\": \"Norg.demo.\" + ae + \"\", \"
        \"rr\": true, \"
        \"poa\": [\"http://\" + WiFi.localIP().toString() + \":\" +
LOCAL_PORT + \"/\" + ae + "\"]\" +
        srv +
        \"}\"";
    #ifdef DEBUG
    Serial.println(aeRepresentation);
    #endif
    return doPOST("/") + CSE_NAME, originator, TY_AE,
aeRepresentation);
}

```

// Метод створення ресурсу Access Control Policy(ACP) на віддаленому CSE під конкретним AE (це робиться шляхом надсилання POST-запиту)

```

// param : ae --> ім'я цільового AE (повинно бути унікальним під
віддаленим CSE)
// param : acp --> ім'я ACP, яке буде створено під цим AE
(повинно бути унікальним під цим AE)
String createACP(String ae, String acp) {
    String acpRepresentation =
        "{ \"m2m:acp\": { \"
        \"rn\": \"\" + acp + \"\", \"
        \"pv\": { \"acr\": [ { \"acor\": [\"all\"], \"acop\": 63 } ] }, \"
        \"pvs\": { \"acr\": [ { \"acor\": [\"all\"], \"acop\": 63 } ] } \"
        \"}\"";
    return doPOST("/") + CSE_NAME + "/" + ae, originator, TY_ACP,
acpRepresentation);
}

```

// Метод створення ресурсу Container(CNT) на віддаленому CSE під конкретним AE (це робиться шляхом надсилання POST-запиту)

```

// param : ae --> ім'я цільового AE (повинно бути унікальним під
віддаленим CSE)
// param : cnt --> ім'я CNT, яке буде створено під цим AE
(повинно бути унікальним під цим AE)
String createCNT(String ae, String cnt) {
    String cntRepresentation =
        "{ \"m2m:cnt\": { \"
        \"mni\": 10, // максимальна кількість екземплярів
        \"rn\": \"\" + cnt + \"\" +

```

```

        ACPID + // Якщо створено ACP, він пов'язується з контейнером
        так, що будь-хто має доступ
        "}}";
        return doPOST("/" + CSE_NAME + "/" + ae, originator, TY_CNT,
        cntRepresentation);
    }

    // Метод створення ресурсу ContentInstance(CI) на віддаленому
    CSE під конкретним CNT (це робиться шляхом надсилання POST-запиту)
    // param : ae --> цільове ім'я AE (повинно бути унікальним під
    віддаленим CSE)
    // param : cnt --> цільове ім'я CNT (повинно бути унікальним
    під цим AE)
    // param : ciContent --> зміст CI (не ім'я, ми не даємо ім'я для
    ContentInstances)
    String createCI(String ae, String cnt, String ciContent) {
        String ciRepresentation =
            "{\\"m2m:cin\\": {"
            "\\con\\":\\" + ciContent + "\\\"
            "}}";
        return doPOST("/" + CSE_NAME + "/" + ae + "/" + cnt,
        originator, TY_CI, ciRepresentation);
    }

    // Метод створення ресурсу підписки (SUB) на віддаленому CSE (це
    робиться шляхом надсилання POST-запиту)
    // param : ae --> Ім'я AE, під яким буде створено SUB (повинно
    бути унікальним під віддаленим CSE)
    //
    Ресурс SUB буде створено під контейнером COMMAND
    більш конкретно.
    String createSUB(String ae) {
        String subRepresentation =
            "{\\"m2m:sub\\": {"
            "\\rn\\":\\"SUB_" + ae + "\\","
            "\\nu\\":\\" + CSE_NAME + "/" + ae + "\\", "
            "\\nct\\":1,"
            "\\enc\\":{"net\\":[3]}}"
            "}}";
        return doPOST("/" + CSE_NAME + "/" + ae + "/" + CMND_CNT_NAME,
        originator, TY_SUB, subRepresentation);
    }

    // Метод для реєстрації модуля (наприклад, датчика або виконав-
    чого механізму) на віддаленому CSE oneM2M
    void registerModule(String module, bool isActuator, String
    intialDescription, String initialData) {
        if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
            String result;

            // Створення ApplicationEntity (AE) для цього датчика
            result = createAE(module);
            if (result.equalsIgnoreCase(HTTP_CREATED)) {
                #ifdef DEBUG

```

```

        Serial.println("AE " + module + " створено !");
    #endif
    // 1.1 Створення AccessControlPolicy (ACP) для цього дат-
чика, щоб монітор міг підписатися на нього
    if(ACP_REQUIRED) {
        result = createACP(module, ACP_NAME);
        if (result.equalsIgnoreCase(HTTP_CREATED)) {
            ACPID = ",\\\"acpi\\\":[\\\" " + CSE_NAME + "/" + module +
"/" + ACP_NAME + "\\\"]";
            #ifdef DEBUG
                Serial.println("ACP " + module + " створено !");
            #endif
        }
    }
    // Створення першого контейнера (CNT) для зберігання опи-
сів датчика
    result = createCNT(module, DESC_CNT_NAME);
    if (result.equalsIgnoreCase(HTTP_CREATED)) {
        #ifdef DEBUG
            Serial.println("CNT " + module + "/" + DESC_CNT_NAME +
" створено !");
        #endif

        // Створення першого опису в цьому контейнері у формі
ContentInstance (CI)
        result = createCI(module, DESC_CNT_NAME,
initialDescription);
        if (result.equalsIgnoreCase(HTTP_CREATED)) {
            #ifdef DEBUG
                Serial.println("CI " + module + "/" + DESC_CNT_NAME +
"/{початковий_опис} створено !");
            #endif
        }
    }

    // Створення другого контейнера (CNT) для зберігання даних
датчика
    result = createCNT(module, DATA_CNT_NAME);
    if (result.equalsIgnoreCase(HTTP_CREATED)) {
        #ifdef DEBUG
            Serial.println("CNT " + module + "/" + DATA_CNT_NAME +
" створено !");
        #endif

        // Створення першого значення даних в цьому контейнері
у формі ContentInstance (CI)
        result = createCI(module, DATA_CNT_NAME, initialData);
        if (result.equalsIgnoreCase(HTTP_CREATED)) {
            #ifdef DEBUG
                Serial.println("CI " + module + "/" + DATA_CNT_NAME +
"/{початкові_дані} створено !");
            #endif
        }
    }

```

```

    }

    // Якщо модуль є виконавчим механізмом, створення третього
    контейнера (CNT) для зберігання отриманих команд
    if (isActuator) {
        result = createCNT(module, CMND_CNT_NAME);
        if (result.equalsIgnoreCase(HTTP_CREATED)) {
            #ifdef DEBUG
                Serial.println("CNT " + module + "/" + CMND_CNT_NAME
+ " створено !");
            #endif
            result = createSUB(module);
            if (result.equalsIgnoreCase(HTTP_CREATED)) {
                #ifdef DEBUG
                    Serial.println("SUB " + module + "/" + CMND_CNT_NAME
+ "/SUB_" + module + " створено !");
                #endif
            }
        }
    }
}

// Ініціалізація введення/виведення
void init_IO() {
    // Налаштування піна 0 для керування світлодіодом
    pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
    pinMode(LUMINOSITY_PIN, INPUT);
    digitalWrite(LED_PIN, OFF_STATE);
}

void task_IO() {
}

// Ініціалізація WiFi
void init_WiFi() {
    Serial.println("Підключення до " + String(WIFI_SSID) + "
...");
    WiFi.persistent(false);
    WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PSWD);

    // Чекаємо, доки пристрій підключиться до мережі WiFi
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(WIFI_DELAY);
        Serial.print(".");
    }

    // Підключено, відображаємо отриману IP-адресу
    Serial.println("WiFi підключено ==> IP-адреса = " +
WiFi.localIP().toString());
}

void task_WiFi() {
}

```

```

// Ініціалізація локального HTTP-сервера
void init_HTTPServer() {
    server.begin();
    Serial.println("Локальний HTTP-сервер запущено!");
}
void task_HTTPServer() {
    // Перевіряємо, чи підключено клієнта
    client0 = server.available();
    if (client0){
        // Чекаємо, доки клієнт надішле дані
        Serial.println("Новий клієнт підключено. Отримання запиту
<=== ");

        while (!client0.available()) {
            #ifdef DEBUG
                Serial.print(".");
            #endif
            delay(5);
        }

        // Читаємо запит
        client0.setTimeout(500);
        String request = client0.readString();
        Serial.println(request);

        int start, end;
        // ідентифікуємо правильний модуль (датчик або виконавчий
механізм), який отримав сповіщення
        // використана URL-адреса: ip:port/ae
        start = request.indexOf("/");
        end = request.indexOf("HTTP") - 1;
        context = request.substring(start+1, end);
        #ifdef DEBUG
            Serial.println(String() + "контекст = [" + start + "," + end
+ "]" -> " + context);
        #endif

        // ігноруємо повідомлення перевірки
        if (request.indexOf("vrq") > 0) {
            client0.flush();
            client0.print(HTTP_OK);
            delay(5);
            client0.stop();
            Serial.println("Клієнт відключився");
            return;
        }

        // Розбираємо запит і ідентифікуємо запитану команду від
пристрою
        // Запит повинен бути у вигляді "[ім'я_операції]"
        start = request.indexOf("[");
        end = request.indexOf("]"); // перше входження fo

```

```

        command = request.substring(start+1, end);
        #ifdef DEBUG
        Serial.println(String() + + "команда = [" + start + "," +
end + "]" -> " + command);
        #endif

        client0.flush();
        client0.print(HTTP_OK);
        delay(5);
        client0.stop();
        Serial.println("Клієнт відключився");

    }
}

// Ініціалізація датчика температури
void init_TempSensor(){

    String initialDescription = "Ім'я = Датчик температури Місце
розташування = Вітальня";
    String initialData= "0";
    originator = "admin:admin";
    registerModule("TempValue",      false,      initialDescription,
initialData);
}

void task_TempSensor() {

    const int B=3975; // B-значення термістора
    const int pinTempSensor = A0;

    float resistance;
    float temperature;

    int a = analogRead(pinTempSensor);
    resistance=(float) (1023-a)*10000/a; //отримання опору датчика;

    //перетворення в температуру за допомогою документації ;
    temperature=1/(log(resistance/10000)/B+1/298.15)-273.15;//пе-
ретворення в температуру за допомогою документації&nbsp;;
    Serial.print("температура = ");
    Serial.println(temperature);
    delay(1000);

    String ciContent = String(temperature);
    originator = "admin:admin";
    createCI("TempValue", DATA_CNT_NAME, ciContent);
}

// Ініціалізація датчика газу
void init_GasSensor(){

```

```

        String initialDescription = "Ім'я = Датчик газу Місце розта-
шування = Вітальня";
        String initialData= "0";
        originator = "admin:admin";
        registerModule("NO2Value",      false,      initialDescription,
initialData);
        registerModule("COValue",      false,      initialDescription,
initialData);
        registerModule("C3H8Value",    false,      initialDescription,
initialData);
    }

    void task_GasSensing() {

        int NO2Value;
        int COValue;
        int C3H8Value;

        sensorConnected = sensor.begin();

        NO2Value = sensor.measureNO2();
        COValue = sensor.measureCO();
        C3H8Value = sensor.measureC3H8();

        // Зачекати невелику кількість часу
        delay(1000);
        String ciContent = String(NO2Value);
        String ciContent2 = String(COValue);
        String ciContent3 = String(C3H8Value);

        originator = "admin:admin";
        createCI("NO2Value", DATA_CNT_NAME, ciContent);
        createCI("COValue", DATA_CNT_NAME, ciContent2);
        createCI("C3H8Value", DATA_CNT_NAME, ciContent3);
    }

    void init_luminosity() {
        String initialDescription = "Ім'я = Датчик освітлення Місце
розташування = Вітальня";
        String initialData = "0";
        originator = "admin:admin";
        registerModule("LuminositySensor", false, initialDescription,
initialData);
    }
    void task_luminosity() {
        int sensorValue;
        int LumValue;

        LumValue = analogRead(LUMINOSITY_PIN);

        Serial.print("освітленість =");

```

```

Serial.print(LumValue);

sensorValue = analogRead(LUMINOSITY_PIN);
#ifdef DEBUG
Serial.println("значення освітленості = " + sensorValue);
#endif
String ciContent = String(sensorValue);
originator = "admin:admin";
createCI("LuminositySensor", DATA_CNT_NAME, ciContent);
}
void command_luminosity(String cmd) {
}

void init_led() {
    String initialDescription = "Ім'я = Виконавчий механізм світ-
лодіоду Місце розташування = Дім";
    String initialData = "switchOff";
    originator = "Cae-LedActuator";
    registerModule("LedActuator", true, initialDescription,
initialData);
}
void task_led(String cmd) {
    originator = "Cae-LedActuator";
    if (cmd == "switchOn") {
        createCI("LedActuator", DATA_CNT_NAME, "1");
    } else if (cmd == "switchOff") {
        createCI("LedActuator", DATA_CNT_NAME, "0");
    }
}
void command_led(String cmd) {
    if (cmd == "switchOn") {
#ifdef DEBUG
        Serial.println("Увімкнення світлодіоду ...");
#endif
        digitalWrite(LED_PIN, ON_STATE);
    }
    else if (cmd == "switchOff") {
#ifdef DEBUG
        Serial.println("Вимкнення світлодіоду ...");
#endif
        digitalWrite(LED_PIN, OFF_STATE);
    }
}

void setup() {
    // ініціалізація послідовного зв'язку
    Serial.begin(SERIAL_SPEED);

    // конфігурація апаратних засобів датчиків та виконавчих ме-
ханізмів
    init_IO();
}

```

```

// Підключення до мережі WiFi
init_WiFi();

// Запуск HTTP-сервера
init_HTTPServer();

// реєстрація датчиків та виконавчих механізмів
init_luminosity();
init_led();

init_GasSensor();
//init_TempSensor();

}

// Головний цикл мікроконтролера
void loop() {

    while(millis()-currentMillis < interval) {

        // Перевірка, чи підключений клієнт
        task_HTTPServer();
        // аналіз отриманої команди (якщо є)
        if (context != "") {
            if (context == "LedActuator") {
                command_led(command);
                task_led(command);
            }
            else
                Serial.println("Цільового АЕ не існує!");
        }
        // скидання змінних "command" та "context" для майбутніх
отриманих запитів
        context = "";
        command = "";
        return;
    }
    currentMillis = millis();
    task_luminosity();
    delay(1000);
    task_GasSensing();

    //task_TempSensor();

}

```

Порівняльна характеристика систем детектування газів

Параметр	RAE Systems Area RAE Plus	Dräger X-am 8000	Honeywell BW Ultra
Виробник	RAE Systems	Dräger	Honeywell
Призначення	Стаціонарна система безперервного моніторингу токсичних газів	Портативний багатогазовий детектор	Персональний газоаналізатор
Детектовані гази	Широкий спектр токсичних газів та пари	Вуглеводневі гази, CO, H2S, O2 та інші	Широкий спектр газів, до 5 одночасно
Методи детектування	Електрохімічні, НПВП, каталітичне паливне вічко	Електрохімічні, ІЧ, каталітичне паливне вічко	Різні датчики залежно від газів
Бездротовий зв'язок	Wi-Fi, стільниковий	Не вказано	Bluetooth, ІЧ
Особливості	Модульна конструкція, до 8 датчиків, IoT-інтегрований	Міцний корпус, вбудовані насоси, довготривала робота	Компактний, проста калібрувальна станція
Живлення	Змінний струм через блок живлення	Літій-іонна акумуляторна батарея	Літій-іонна акумуляторна батарея або адаптер змінного струму
Переваги	Гнучкість конфігурації, підтримка IoT	Надійність, довга робота від батареї	Портативність, простота обслуговування
Недоліки	Потребує встановлення, висока вартість	Обмежене IoT-з'єднання	Менша кількість вимірюваних газів

					13.02070849.51002 ПЛ1			
					Розробка системи моніторингу токсичних газів Порівняльний аналіз систем моніторингу токсичних газів	Лист.	Маса	Масшт.
Зам.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.		Будко М.Є.						
Перев.		Грушко С.С.						
Т.контр.								
						Лист 1	Листів 1	
Н.контр.		Щербак Н.В.				НУ «Запорізька політехніка»		
Затв.		Кудерметов Р.К.				КНТ-510		

Порівняльна характеристика мікроконтролерів

Параметр	ESP8266 ESP-01S	Espressif ESP32	Arduino Nano 33 IoT	NodeMCU	ESP8266 ESP-12E
Процесор	32-бітний RISC	32-біт Xtensa LX6	32-біт ARM Cortex-M0+	32-біт RISC	32-бітний RISC
Частота процесора	80-160 МГц	160-240 МГц	48 МГц	80-160 МГц	80-160 МГц
ОЗП	64 КБ	520 КБ	32 КБ	64 КБ	64 КБ
Флеш-пам'ять	-	16 МБ	256 КБ	-	-
Wi-Fi	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n/a/ac	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n
Bluetooth	-	Bluetooth 4.2	Bluetooth LE	-	-
GPIO	8	36	22	16	16
Споживання струму	60-170 мА	80 мА	-	60-170 мА	60-170 мА
Діапазон напруги	3.0-3.6 В	2.2-3.6 В	3.0-5.5 В	3.0-3.6 В	3.0-3.6 В

					13.02070849.51002 ПЛ2			
					Розробка системи моніторингу токсичних газів Порівняльний аналіз мікроконтролерів	Лист.	Маса	Масшт.
Зам.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.		Будко М.Є.						
Перев.		Грушко С.С.						
Т.контр.						Лист 1	Листів 1	
Н.контр.		Щербак Н.В.				НУ «Запорізька політехніка»		
Затв.		Кудерметов Р.К.				КНТ-510		

Порівняльна характеристика датчиків

Порівняльна характеристика датчиків освітлення

Параметр	Adafruit TSL2561	DFRobot Gravity	SparkFun Ambient Light	Maxim MAX44009
Виробник	Adafruit	DFRobot	SparkFun	Maxim Integrated
Тип датчика	Цифровий	Аналоговий	Аналоговий	Цифровий
Інтерфейс	I2C	Аналоговий вихід	Аналоговий вихід	I2C
Діапазон вимірювання (лк)	0.1 - 40000	1 - 65000	0.1 - 188000	0.045 - 188000
Роздільна здатність (розрядність)	16 біт	10 біт	10 біт	22 біт
Напруга живлення	3.3 - 5 В	3.3 - 5 В	3 - 6 В	1.7 - 3.6 В
Розміри	21x28x8 мм	28x18 мм	20x16 мм	2x2.08x0.55 мм
Особливості	Інтегрована оптика, регулювання підсилення	Компактний, низьке споживання	Широкий діапазон вимірювання	Високоточний, низьке споживання

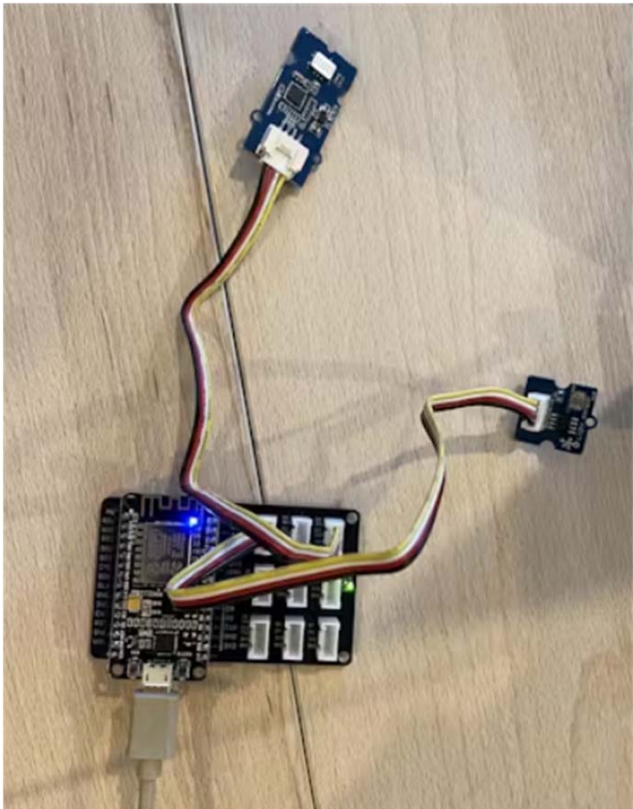
Порівняльна характеристика датчиків газу

Параметр	MQ-135	SGP30	MQ-7	MiCS-5524	Grove Multichannel
Виробник	-	Sensirion	-	e2v	Seeed Studio
Детектовані гази	NH3, NOx, alcohol, бензин, CO2	VOC, CO2	CO, H2	VOC, NH3, H2	NH3, NOx, алкоголь, бензин, CO2, CO
Тип сенсора	Електрохімічний	Металоксидний	Електрохімічний	Металоксидний	Електрохімічний та металоксидний
Інтерфейс	Аналоговий	I2C	Аналоговий	I2C	Аналоговий
Робоча напруга	5 В	1.62-1.98 В	5 В	2.7-3.3 В	5 В
Діапазон вимірювання	10-1000 ppm	0-60000 ppm (CO2), 0-60000 ppb (VOC)	20-2000 ppm	50-10000 ppm (VOC), 25-1000 ppm (NH3)	Різні діапазони для різних газів
Час прогрівання	-	15 с	-	250 мс	-
Особливості	Низька вартість	Високоточний, корекція впливу вологості	Висока чутливість до CO	Металоксидний та електрохімічний сенсори	Багатоканальний, корпус із захистом

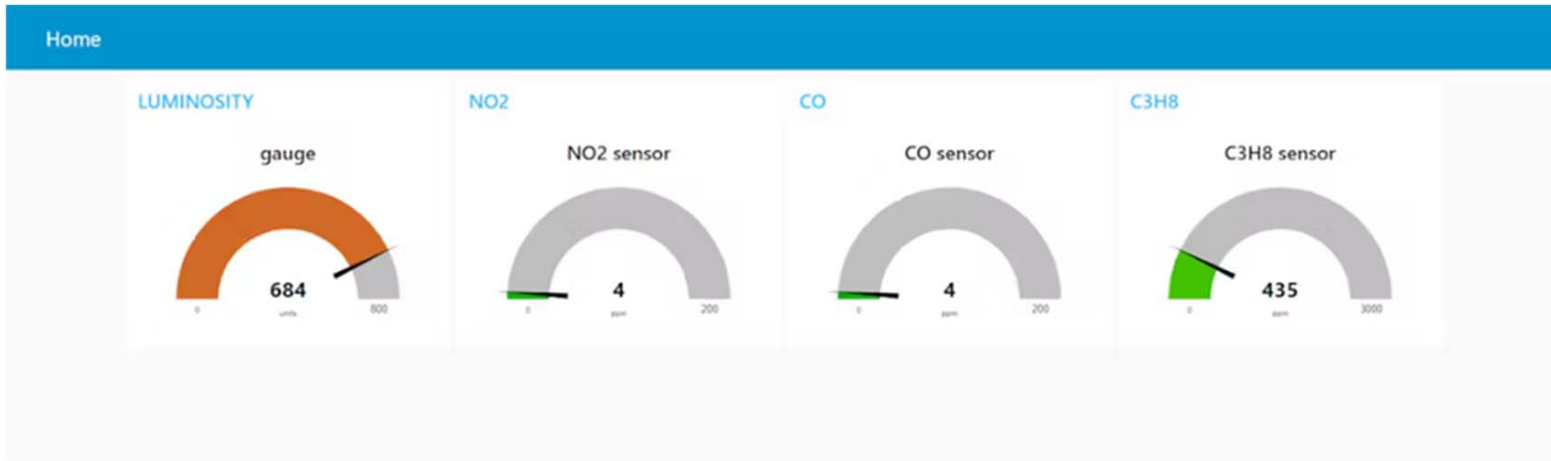
					13.02070849.51002 ПЛЗ				
					Розробка системи моніторингу токсичних газів Порівняльний аналіз датчиків	Лист.	Маса	Масшт.	
Зам.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата					
Розроб.		Будко М.Є							
Перев.		Грушко С.С.							
Т.контр.									
						Лист 1		Листів 1	
Н.контр.		Щербак Н.В.				НУ «Запорізька політехніка»			
Затв.		Кудерметов Р.К.				КНТ-510			

Візуалізація системи і її роботи

Проект у сборі



Робота системи



					13.02070849.51002 ПЛ4									
					Розробка системи моніторингу токсичних газів Візуалізація системи і її роботи	Лист.			Маса			Масшт.		
Зам.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата										
Розроб.		Будко М.Є.												
Перев.		Грушко С.С.												
Т.контр.														
Н.контр.		Щербак Н.В.				Лист 1			Листів 1					
Затв.		Кудерметов Р.К.				НУ «Запорізька політехніка» КНТ-510								