

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю. М. Потебні

Кафедра електроніки, інформаційних систем
та програмного забезпечення
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота
другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

на тему : Дослідження та розробка приладу для визначення вмісту діоксиду вуглецю в житлових приміщеннях

Виконав: студент II курсу, групи 8.1764
спеціальності 176 Мікро- та наносистемна
техніка
(код і назва спеціальності)
освітньої програми 176 Мікроелектронні
інформаційні системи
(код і назва освітньої програми)
Леміш Данило Юрійович
(ініціали та прізвище)

Керівник доцент кафедри ЕІСПЗ, доцент,
к.т.н., Небеснюк Оксана Юріївна
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент інженер-конструктор «Конструкторське
бюро Колосова» Григор'єва І.К.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя

2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. Потебні**

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення

Рівень вищої освіти другий (магістерський)
(перший (бакалаврський) рівень)

Спеціальність 176 Мікро- та наносистемна техніка
(назва)

Освітня програма Мікроелектронні інформаційні системи
(шифр)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Т. В. Критська

« 01 » грудня 2025 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Лемішу Данилу Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкту) Дослідження та розробка приладу для визначення вмісту діоксиду вуглецю в житлових приміщеннях

керівник роботи Небеснюк О.Ю., к.т.н., доцент

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

затверджені наказом ЗНУ від “ 27 ” лютого 2025 року № 313-с

2. Строк подання студентом роботи 28.11 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: прилад тдля вимірювання рівню вуглецю: мікроконтролер ATmega328P? вимірювання температури та вологості повітря, модуль Wi-Fi.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Аналіз методів вимірювання концентрації вуглекислого газу в повітряному середовищі. 2 Розробка та дослідження приладу для моніторингу рівня CO₂ на базі мікроконтролера ATmega328P 3 Техніко-економічне обґрунтування 4 Охорона праці та техногенна безпека

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

Л1 Глобальні викиди CO₂ у світі Л2 Структура схема приладу для вимірювання CO₂ Л3 Датчик MQ-135 Л4. Результати моделювання LM393 Л5 Датчик вологості та температури DHT1 Л6 Wi-Fi-модуль ESP8266 ESP-07 Л7 Функціональна схема та схема електрична принципова приладу для вимірювання концентрації вуглекислого газу Л8 Результати моделювання приладу на платформі Tinkercad

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
I	Небеснюк О.Ю., доц. каф. ЕІСПЗ	21.10.24	25.12.24
II	Небеснюк О.Ю., доц. каф. ЕІСПЗ	30.12.24	06.10.25
III	Небеснюк О.Ю., доц. каф. ЕІСПЗ	13.10.25	03.11.25
IV	Небеснюк О.Ю., доц. каф. ЕІСПЗ	10.11.25	24.11.25

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра

7. Дата видачі завдання 21.10.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи магістра	Примітка
1	<i>Аналіз матеріалу за темою кваліфікаційної роботи</i>	<i>04.11. -29.11.24</i>	
2	<i>Аналіз та класифікація датчиків вимірювання концентрації вуглекислого газу</i>	<i>01.12.24 - 25.12.24</i>	
3	<i>Розробка функціональної схеми приладу та вибір елементної бази</i>	<i>30.12.24 - 26.02.25</i>	
4	<i>Розробка схеми електричної принципової</i>	<i>03.03-30.04.25</i>	
5	<i>Розробка програмного забезпечення та моделювання роботи приладу</i>	<i>05.05.25- 23.09.25</i>	
5	<i>Оформлення другого розділу</i>	<i>29.09 -06.10.25</i>	
6	<i>Розділ «Техніко-економічне обґрунтування»</i>	<i>13.10-03.11.25</i>	
7	<i>Розділ «Охорона праці та техногенна безпека»</i>	<i>10.11. -24.11.25</i>	
8	<i>Оформлення пояснювальної записки, виконання креслень</i>	<i>24.11. -27.11.25</i>	

Студент _____
(підпис)

Леміш Д.Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проєкту) _____
(підпис)

Небеснюк О.Ю.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____

Верьовкін Л. Л.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота містить 83 сторінки, 32 рисунки, 23 таблиці, 22 джерела літератури.

Об'єкт проектування – прилади та системи моніторингу стану навколишнього середовища

Ціль роботи – розробка та дослідження приладу для моніторингу рівня CO₂ на базі мікроконтролера ATmega328P

Задачі роботи - розробка функціональної схеми та схеми електричної принципової приладу на основі аналізу датчиків для вимірювання концентрації вуглецю; написання програмного забезпечення для мікроконтролера та моделювання роботи приладу на платформі Tinkercad;

Методика досліджень – моделювання в Tinkercad та EveryCircuit

Короткий виклад результатів досліджень – розроблено бюджетний прилад для реєстрації концентрації CO₂, вимірювання температури та вологості повітря у житлових приміщеннях, що відрізняється простотою експлуатацій, невеликою вагою та габаритними розмірами, екологічністю. Застосування модуля бездротового зв'язку ESP07 забезпечує високий рівень автономності та гнучкості системи, зокрема можливість доступу до даних через Інтернет в режимі реального часу.

ВУГЛЕКИСЛИЙ ГАЗ, ДАТЧИК, ТЕМПЕРАТУРА, МІКРОКОНТРОЛЕР, ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА, TINKERCAD

Робота виконана на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення в період з 01 вересня по 28 листопада 2025 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРЦІЇ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ В ПОВІТРЯНОМУ СЕРЕДОВИЩІ	6
1.1 Фізіологічні та гігієнічні аспекти.....	6
1.2 Здійснення контролю над концентрацією вуглекислого газу	10
1.2.1 В Україні.....	10
1.2.2. У країнах Європи і США	11
1.3 Загальне оцінювання міжнародними організаціями стану повітря	12
1.4 Методи вимірювання вмісту CO ₂	15
1.4.1 Хімічні методи	15
1.4.2 Електрохімічні методи	17
1.4.3 Оптичні методи (NDIR)	17
1.4.4 Новітні технології.....	18
1. 5 Точність та похибки вимірювання CO ₂	19
1.6 Практичне застосування моніторингу CO ₂	21
2 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЛАДУ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ РІВНЯ CO ₂ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА ATMEGA328P	23
2.1 Розробка функціональної схеми приладу	23
2.2 Вибір елементної бази.....	24
2.2.1 Датчик вуглекислого газу	24
2.2.2 Датчик температури та вологості.....	35
2.2.3 Wi-Fi-модуль	39
2.2.4 Мікроконтролер	41

2.2.5 Елемент живлення	42
2.3 Розробка структурної схеми приладу та схеми електричної принципової	45
2.4 Розробка програмного забезпечення	47
2.5 Результати моделювання в Tinkercad	53
3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	55
3.1 Розрахунок вартості елементи електричної схеми	55
3.2 Огляд та аналіз приладів для моніторингу повітряного середовища	56
3.3 Порівняльний аналіз газоаналізаторів за критеріями	60
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	66
4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів	66
4.2 Заходи з поліпшення умов праці та виробнича санітарія	67
4.3 Заходи електробезпеки	71
4.4 Техногенна безпека	73
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	79

ВСТУП

Повітря, залежно від хімічного складу, фізичних властивостей, наявності забруднюючих чинників, може бути як сприятливим так і небезпечним. Сприятливим повітряне середовище буває тоді, коли воно має відповідну чистоту, необхідні хімічні показники та мікроклімат.

Проблеми забруднення стали ще актуальнішими на тлі повномасштабної російської агресії. Згідно з даними Київської школи економіки [1], станом на січень 2024 року зруйновано або пошкоджено щонайменше 426 великих і середніх приватних підприємств. Крім того, щоденні обстріли та спричинені ними пожежі забруднюють атмосферу токсичними речовинами. Промислові викиди забруднюють повітря завислими речовинами (пилом), діоксидом сірки, оксидом вуглецю, оксидами та діоксидами азоту, сірководнем, фенолом, сажею, аміаком, формальдегідом тощо. Вуглекислий газ (CO_2) являє собою безбарвний газ без запаху. Він виділяється людиною при видиху, а також при спалюванні нафти, бензину, природного газу. У 2023 році викиди вуглекислого газу, що надходять у повітря від спалювання викопного палива та виробництва цементу, також досягли найвищого рівня – 36,8 мільярда метричних тон. Цей обсяг вдвічі перевищує показники 40-річної давності. Медичні дослідження показують, що підвищений вміст CO_2 в приміщенні впливає на самопочуття людини та може призвести до погіршення здоров'я. Найбільш чутливою до збільшеної кількості CO_2 є центральна нервова система. При концентраціях близьких до 2% погіршується умовно-рефлекторна діяльність, зменшується вентиляторна функція легенів, порушується гомеостаз. При концентрації близько 5% відбувається пригнічення електричної активності мозку. Детектування рівня CO_2 потрібне в усіх сферах життя до складу яких він входить. Діоксид вуглецю знаходиться не лише в приміщеннях і атмосферному повітрі, але і у воді та частково в ґрунті. Тому розробка пристрою для моніторингу повітряного середовища є достатньо актуальною задачею.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРЦІЇ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ В ПОВІТРЯНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Контроль якості повітря у приміщеннях є однією з ключових задач сучасної гігієни праці, будівельної фізики та енергетичного менеджменту. Одним із найважливіших показників якості повітря є концентрація вуглекислого газу (CO_2), яка прямо впливає на самопочуття, працездатність та здоров'я людей. У приміщеннях з недостатньою вентиляцією рівень CO_2 швидко зростає, що свідчить про потребу в оновленні повітряного середовища. Вимірювання концентрації CO_2 є важливим інструментом оцінки ефективності систем вентиляції та кондиціювання повітря, а також одним із основних параметрів системи Indoor Air Quality (IAQ).

1.1 Фізіологічні та гігієнічні аспекти

Концентрація CO_2 у повітрі прямо пов'язана з якістю дихального середовища. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я та ASHRAE, вміст вуглекислого газу понад 1000 ppm (часток на мільйон) у приміщенні вважається показником недостатньої вентиляції. Тривале перебування в умовах підвищеної концентрації CO_2 (понад 1500–2000 ppm) призводить до появи сонливості, зниження когнітивних функцій, головного болю та інших симптомів.

У нормативних документах ЄС (EN 13779:2007) та США (ASHRAE 62.1) встановлено граничні значення концентрації CO_2 у внутрішньому повітрі. Для більшості приміщень громадського призначення рекомендується рівень CO_2 до 1000 ppm, а для навчальних закладів – навіть нижче.

Таблиця 1.1- Класифікація за рівнем концентрації CO₂ у повітрі будівлі/приміщення відповідно ДБН В.2.5-67:2013 “Опалення, вентиляція, кондиціонування” [2]

Умови мікроклімату	Рівень концентрації CO ₂ у приміщенні понад рівень у зовнішньому повітрі, ppm	
	Типовий діапазон	Типове значення
Підвищені	< 400	350
оптимальні		
Оптимальні	400 - 600	500
Допустимі	600- 1000	800
Обмежено допустимі	> 1000	1200

Також існує роз’яснення щодо цих умов:

- оптимальні умови мікроклімату — найкраще самопочуття і найбільш продуктивна робота з максимальною концентрацією уваги;
- підвищено оптимальні умови — для людей з ослабленим здоров’ям з більшою чутливістю до параметрів мікроклімату і чистоти повітря;
- допустимі умови — сукупність параметрів мікроклімату, що вимагають напруження та адаптації організму, з дискомфортними відчуттями та ослабленням працездатності;
- обмежено допустимі — умови мікроклімату в приміщеннях, що експлуатуються обмежений проміжок часу — до 4 місяців на рік.

На рис.1.1 наведено графік зміну концентрації CO_2 у навчальній аудиторії без вентиляції: вже за годину рівень перевищує 3000 ppm, а за дві години наближається до небезпечних 5500 ppm.

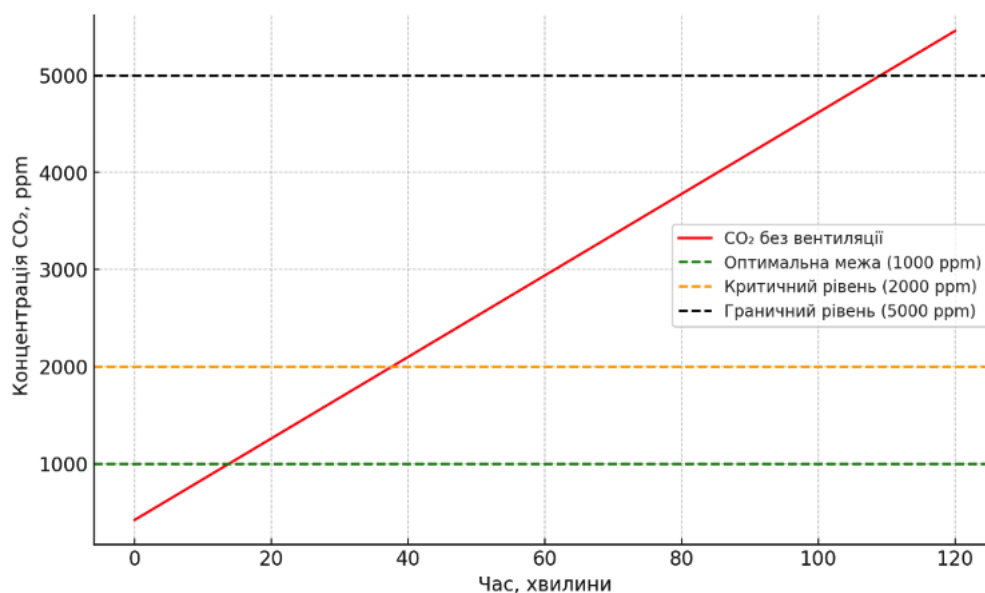


Рисунок 1.1- Зміна концентрації вуглекислого газу в приміщенні у відсутності вентиляції [3]

При надмірній кількості CO_2 в повітрі у людини можуть виникати наступні симптоми:

- відчуття задухи;
- пришвидшення пульсу;
- збільшення стомлюваності;
- проблеми з концентрацією уваги;
- падіння продуктивності праці;
- неприємність;
- нудота;
- головні болі;
- синдром хронічної втоми.

Вищезгадані симптоми з'являються через порушення роботи обмінних процесів в організмі. За нормальних умов кров, яка циркулює у малому і великому колах, приносить молекули кисню до клітин мозку та інших тканин — м'язів і шкіри. На зворотному шляху кров забирає з клітин вуглекислий газ і продукти розпаду.

Таблиці 1.2- Вираженість симптомів залежно від концентрації CO₂ у приміщенні [4]

Рівень CO ₂ (ppm)	Вплив на людину
300-400 ppm	Оптимальне значення
400-600 ppm	Норма для роботи в офісі без зниження продуктивності праці. На організм ніяк не впливає
До 600 ppm	Норма для спальні, дитячого садка і школи
600-1000 ppm	Падає продуктивність праці, складніше концентрувати увагу і сприймати інформацію. З'являється головний біль
1000-1500 ppm	Людина стає млявою, падає концентрація уваги, складніше приймати рішення, збільшується кількість помилок в роботі. Виникає ризик розвитку хронічної втоми
Від 1500	Сильний головний біль. Зникає бажання працювати через втому

Коли рівень CO₂ в повітрі, що вдихається, підвищується, кров насичується ним з легень ще перед потраплянням до тканин, і з точки зору медицини, вона більш окислена. Так починається ацидоз — накопичення двоокису вуглецю внаслідок зниження частоти дихання або дихального обсягу. Обмінні процеси порушуються: клітини гірше засвоюють необхідні речовини та мінерали, мозок і м'язи починають відчувати кисневе голодування. При

регулярному перебуванні в таких приміщеннях можуть початися порушення серцево-судинної, опорно-рухової, ендокринної систем. У хворих на астму посилюються напади, може з'явитися задишка у здорових людей.

1.2 Здійснення контролю над концентрацією вуглекислого газу

1.2.1 В Україні

В Україні контроль за якістю повітря у приміщеннях регламентується рядом нормативних документів. Зокрема, ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до повітря приміщень житлових і громадських будівель» встановлює допустимі рівні концентрацій вуглекислого газу. Згідно з цим документом, гранично допустима концентрація CO₂ у приміщеннях не повинна перевищувати 1000 ppm для забезпечення належних санітарно-гігієнічних умов. ДСТУ EN 13779:2011 також регламентує вимоги до вентиляції у будівлях та пропонує методи оцінювання якості внутрішнього повітря. В останні роки в Україні почали впроваджуватися системи моніторингу якості повітря у школах та офісах, зокрема в Києві, Львові та Харкові. У межах пілотних програм застосовуються датчики CO₂ для оцінки ефективності вентиляції та зменшення енергоспоживання.

Наукові установи, зокрема Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзеєва НАМН України, проводять дослідження впливу рівня CO₂ на здоров'я та працездатність учнів і працівників офісів. Крім того, українські стартапи у сфері IoT (наприклад, Ecoisme, частково Ajax Systems) розробляють рішення для

моніторингу повітряного середовища, у тому числі з використанням сенсорів CO₂.

Ведення бойових дій поглиблює кліматичну кризу, викликаючи значні викиди вуглекислого газу та інших парникових газів в атмосферу.

За останніми підрахунками фахівців Міндовкілля та міжнародних експертів, внаслідок війни зафіксовано щонайменше 33 млн тонн викидів CO₂. Про це повідомляють у пресслужбі Міндовкілля.

Найбільше викидів маємо:

- від бойових дій – близько 8,9 млн тонн CO₂;
- від пересування внутрішньо переміщених осіб – близько 1 млн тонн CO₂;
- від пожеж – понад 23,4 млн тонн CO₂.

Потенційні непрямі викиди парникових газів внаслідок необхідності післявоєнного відновлення та реконструкції оцінюються у близько 48,7 млн тонн CO₂ [3].

1.2.2. У країнах Європи і США

За кордоном діоксид вуглецю, як і чадний газ, діоксид сірки, віднесений до розряду забруднюючих речовин. Зміст CO₂ в зовнішньому повітрі враховується при проектуванні систем вентиляції. В європейському стандарті ЄП 13779 вказані базові норми концентрації вуглекислоти, наприклад, для центру великого міста слід приймати значення 450 ppm. На основі даного стандарту був спроектований наш ДОСТ, відмінність полягає лише в тому, що в Європі і США вміст CO₂ вимірюється постійно, нарівні з відносною вологістю і температурою.

Про те, що даною проблемою щільно займаються в США можна судити по тому, що в ще в 1997 році в Каліфорнії була розроблена програма по зниженню

викидів CO₂. Розроблена схема передбачала установку газолічильника для димових труб і введення штрафів за перевищення встановлених обсягів.

У стандарті ASHRAE прийнято прийнятне значення змісту CO₂ в приміщенні, де перебувають люди, дорівнює 1000 ppm. Таке значення отримано шляхом проведення великої кількості досліджень, які доводять згубний вплив більшої концентрації.

Для освітніх установ встановлені суворі норми за вмістом діоксиду вуглецю: в США - 600-1000 ppm, в Великобританії - до 1500 ppm, в Голландії - 1000 ppm для дитячих садків і 1200 для шкіл, в Естонії - 1000 ppm.

Крім визначення допустимих значень вуглекислоти за кордоном в дійсності стежать за вмістом CO₂ в приміщеннях. Наприклад, в школах Фінляндії регулярно проводиться моніторинг якості повітря і ті школи, де рівень вуглекислого газу перевищує норму, змушені своїми силами вирішувати це питання під загрозою закриття закладу [5].

1.3 Загальне оцінювання міжнародними організаціями стану повітря

Основні підходи щодо скорочення обсягу викидів парникових газів. За експертною оцінкою, стратегія боротьби з посиленням парникового ефекту повинна полягати у виконанні ряду заходів, а саме: скорочення використання викопних джерел енергії: вугілля, нафти й газу; ефективніше використання енергії; широке впровадження енергозберігаючих технологій та розвиток альтернативної енергетики (використання поновлюваних джерел енергії); впровадження нових екологічно чистих і низьковуглецевих технологій, зокрема, застосування холодоагентів і спінювачів з низьким (нульовим) потенціалом глобального потепління; боротьба з лісовими пожежами, відновлення лісів – природних поглиначів вуглекислого газу з атмосфери.

Однак, навіть, повномасштабна реалізація всіх цих та інших заходів щодо запобігання посиленню парникового ефекту не зможе повністю компенсувати шкоду, яка наноситься природі в результаті антропогенного впливу, забезпечивши лише мінімізацію наслідків. Провідна роль у зниженні рівня антропогенних викидів промислових газів (ПГ) у національних планах і програмах надається енергетиці, енергозбереженню й підвищенню енергоефективності, розвитку поновлюваних джерел енергії, а в перспективі – повній утилізації й захороненню CO₂, що утворюється під час спалювання палива на енергетичних установках.

Провідна роль у зниженні рівня антропогенних викидів ПГ у національних планах і програмах надається енергетиці, енергозбереженню й підвищенню енергоефективності, розвитку поновлюваних джерел енергії, а в перспективі – повній утилізації й захороненню CO₂, що утворюється під час спалювання палива на енергетичних установках.

Структура викидів всіх видів ПГ по галузях економіки систематизована Міжнародним енергетичним агентством (МЕА) оцінено вклад різних технологій у зменшення обсягів викидів ПГ у світовій практиці.

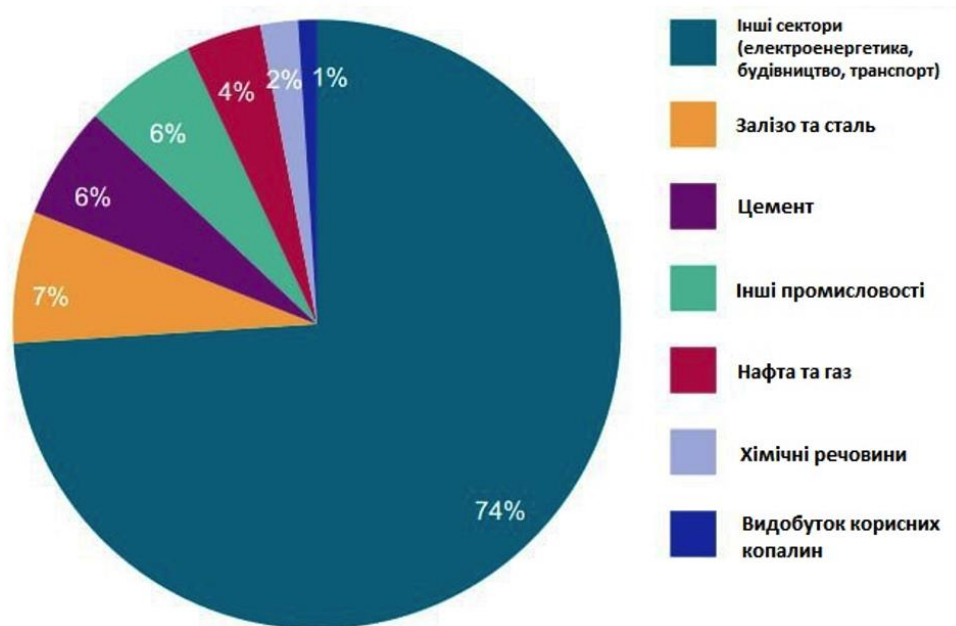
У 2024 році світові викиди вуглекислого газу, зокрема від спалювання викопного палива, досягла рекордного рівня, а саме 41,6 мільярда тонн порівняно з 40,6 мільярда тонн минулого року. Основну частину цих викидів, а саме 37,4 мільярда тонн, становить спалювання вугілля, нафти та газу. Це на 0,8% більше, ніж у 2023 році.

У рамках Паризької угоди 2015 року країни зобов'язалися стримувати глобальне потепління в межах 1,5°C, щоб уникнути найбільш катастрофічних наслідків зміни клімату. Для цього необхідно щороку скорочувати викиди до 2030 року [6].

Однак викиди від спалювання викопного палива зростали протягом останніх десяти років. Хоча викиди від зміни землекористування знижувалися, цього року вони зросли через масштабну посуху в Амазонії, яка спричинила

лісові пожежі, підвищивши рівень викидів у цій категорії на 13,5% – до 4,2 мільярда тонн.

На думку деяких науковців, через повільний прогрес у скороченні викидів досягнення цілі у 1,5°C може стати недосяжним. Проте цьогорічні дані показують, що деякі країни активно розвивають відновлювані джерела енергії та електромобілі. Але цей прогрес є нерівномірним: викиди розвинених країн поступово знижуються, тоді як у країнах, що розвиваються, вони продовжують зростати.



Джерело: IHS Markit, International Energy Agency (IEA), MsKinsey

Рисунок 1.2 – Глобальні викиди CO₂ у світі (2023 р.) [7]

Цьогоріч у США – найбільшому споживачі нафти і газу – викиди очікувано зменшаться на 0,6%, а у Європейському Союзі – на 3,8%. Водночас викиди Індії зростуть на 4,6% через зростаючий попит на електроенергію, зумовлений економічним розвитком. У Китаї, який є найбільшим у світі забруднювачем,

викиди зростуть на 0,2%. У звіті зазначено, що викиди Китаю від споживання нафти, ймовірно, досягли межі завдяки популяризації електромобілів. Очікується, що викиди від міжнародної авіації та судноплавства також зростуть на 7,8% цього року, оскільки авіаперевезення продовжують відновлюватися після зниження попиту під час пандемії COVID-19.

1.4 Методи вимірювання вмісту CO₂

Існує широкий спектр методів визначення концентрації вуглекислого газу у приміщеннях, які можна умовно розділити на хімічні, фізико-хімічні, електрохімічні та оптичні. Кожен із методів має свої переваги й обмеження, що впливають на їхнє застосування у практичних системах моніторингу.

1.4.1 Хімічні методи

Хімічні методи визначення CO₂ включають якісні реакції, такі як реакція з «вапняною водою» (розчином гідроксиду кальцію), яка утворює білий осад карбонату кальцію (CaCO₃), або титрування CO₂ слабким лугом з індикатором, наприклад, фенолфталеїном. Також використовуються інструментальні методи, як газоаналізатори, але для експрес-визначення в повітрі можна застосувати метод вимірювання об'єму повітря, що пройшло через розчин карбонату натрію, доки його забарвлення не зникне.

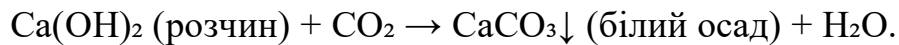
1. Реакція з «вапняною водою».

Цей метод підходить для якісного виявлення CO₂ у газових сумішах, наприклад, у повітрі, що видихається.

- Суть методу:

При пропусканні газу, що містить CO_2 , через насичений розчин гідроксиду кальцію ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) утворюється білий осад карбонату кальцію (CaCO_3).

- Хімічна реакція:



- Застосування:

Дозволяє якісно підтвердити наявність вуглекислого газу.

2. Метод титрування

Цей метод дозволяє визначити точну концентрацію CO_2 шляхом титрування його лужним розчином.

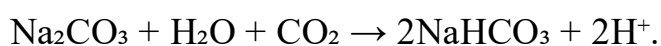
- Суть методу:

Газ, що містить CO_2 , пропускається через певний об'єм розчину карбонату натрію (Na_2CO_3) з фенолфталеїном.

- Процес:

CO_2 реагує з Na_2CO_3 , утворюючи бікарбонат натрію (NaHCO_3), що призводить до зникнення рожевого забарвлення фенолфталеїну (оскільки розчин стає нейтральним).

- Хімічна реакція:



- Застосування:

Дозволяє визначити об'єм газу, що прореагував, і розрахувати концентрацію CO_2 в повітрі за допомогою спеціальної таблиці.

3. Використання газоаналізаторів

Це сучасніші прилади для точного вимірювання концентрації CO_2 в повітрі. Газоаналізатори виявляють та реєструють поточну концентрацію вуглекислого газу, а деякі моделі можуть автоматично вмикати звуковий сигнал при перевищенні встановленого порогу рівня CO_2 [8].

1.4.2 Електрохімічні методи

Електрохімічні сенсори працюють на основі окисно-відновних реакцій у спеціальних електролітах. Вони характеризуються відносно низькою вартістю та компактними розмірами. Проте їхнім недоліком є обмежений термін служби (1–2 роки), чутливість до вологості й температури, а також потреба у регулярному калібруванні. Електрохімічні сенсори використовуються для вимірювання концентрації газу шляхом електрохімічних реакцій, але вони не є типовими сенсорами для визначення CO₂; натомість для CO₂ частіше застосовують дисперсійні інфрачервоні сенсори. Електрохімічні датчики призначені для виявлення токсичних та вибухонебезпечних газів, таких як CO, H₂S, NH₃, O₂, але не CO₂.

Принцип роботи електрохімічних датчиків

- Електрохімічні датчики генерують електричний струм, який пропорційний концентрації газу, що аналізується.
- Газ вступає в електрохімічну реакцію на поверхні електрода.
- Ці датчики мають обмежений ресурс, вичерпний термін служби становить кілька років, та потребують врахування впливу інших газів, які можуть заважати роботі.

Датчики використовують для контролю концентрації токсичних газів (CO, NH₃), кисню (O₂) та вибухонебезпечних газів (H₂S) в робочих, житлових та виробничих приміщеннях [9].

1.4.3 Оптичні методи (NDIR)

Найпоширенішим методом сучасного моніторингу CO₂ є використання недисперсійної інфрачервоної спектроскопії (NDIR). Принцип дії ґрунтується на

поглинанні інфрачервоного випромінювання молекулами CO_2 на певних довжинах хвиль (4,26 мкм). NDIR-датчики відзначаються високою точністю ($\pm 30\text{--}50$ ppm), довготривалою стабільністю та широким діапазоном вимірювань. Основним недоліком є їхня відносна висока вартість у порівнянні з електрохімічними. Використовують такі датчики для вимірювання рівня вуглекислого газу (CO_2) у житлових, офісних та промислових приміщеннях для моніторингу якості повітря [10].

1.4.4 Новітні технології

Сучасні дослідження спрямовані на розвиток лазерної спектроскопії з використанням квантово-каскадних лазерів (QCL), а також створення мікроелектромеханічних сенсорів (MEMS) для масового застосування. Такі технології дозволяють підвищити чутливість, зменшити габарити та енергоспоживання пристроїв.

Таблиця 1.3 - Порівняння методів вимірювання CO_2

Метод	Переваги	Недоліки	Сфера застосування
Хімічні	Простота, лабораторна точність	Не придатні для безперервного моніторингу	Лабораторні дослідження
Електрохімічні	Невисока ціна, компактність	Обмежений термін служби, вплив вологості	Побутові та портативні прилади

NDIR	Висока точність, стабільність	Вища вартість	Системи моніторингу у будівлях
Лазерна спектроскопія, MEMS	Надвисока чутливість, мініатюризація	Висока вартість, стадія досліджень	Наукові дослідження, перспективні технології

1. 5 Точність та похибки вимірювання CO₂

Якість вимірювання концентрації CO₂ у приміщеннях значною мірою визначається точністю сенсорів та стабільністю їхніх характеристик. На практиці похибки можуть виникати як через обмеження самого сенсора, так і через вплив зовнішніх факторів.

Основні джерела похибок у вимірюванні CO₂ включають калібрування та стан датчиків, вплив температури, вологості та тиску, фоновий рівень CO₂, перешкоди від інших газів та неправильний вибір місця відбору проби. Також може спостерігатися вплив людської діяльності та природних джерел на локальні показники.

- Калібрування датчиків:

Неправильно відкалібровані прилади для вимірювання CO₂ показуватимуть невірні значення.

- Стан датчиків:

З часом датчики можуть старіти, деградувати або виходити з ладу, що призводить до неточних вимірювань.

- Вплив умов довкілля:

Температура, вологість та атмосферний тиск впливають на роботу датчиків та можуть спотворювати показники CO₂.

- Перешкоди від інших газів:

Наявність інших газів у повітрі може впливати на роботу деяких типів датчиків, що призводить до похибок.

- Фоновий рівень CO₂:

На фонову концентрацію CO₂ в атмосфері впливають природні процеси, такі як дихання рослин та тварин, вулканічна активність, що може спотворювати вимірювання локальних змін.

- Людська діяльність:

Викиди CO₂ від промисловості, транспорту та інших видів діяльності можуть значно впливати на концентрацію газу в певних місцях, що потрібно враховувати при інтерпретації даних.

- Місце відбору проби:

Вибір місця для вимірювання є критично важливим. Неправильне розташування датчика може призвести до вимірювання завищеної або заниженої концентрації CO₂ через локальні джерела або особливості вентиляції.

Наприклад, електрохімічні сенсори особливо чутливі до вологості, тоді як NDIR-сенсори можуть давати похибку при наявності пилу або конденсату.

Таблиця 1.4- Порівняння точності різних технологій [11]

Тип сенсора	Типова точність	Довготривала стабільність	Коментар
Електрохімічний	±100–200 ppm	Низька (1–2 роки)	Чутливий до вологості

NDIR	$\pm 30\text{--}50$ ppm	Висока (5–10 років)	Найпоширеніший метод у системах IAQ
Лазерна спектроскопія (QCL)	$\pm 5\text{--}10$ ppm	Дуже висока	Переважно використовується у наукових дослідженнях

Таким чином, вибір сенсора залежить від вимог до точності, вартості та умов експлуатації.

1.6 Практичне застосування моніторингу CO₂

Вимірювання концентрації вуглекислого газу набуває дедалі більшого значення у сфері управління якістю повітря. Сенсори CO₂ активно використовуються як у закладах освіти та охорони здоров'я, так і в офісних та житлових будівлях.

Дослідження показують, що у переповнених класах рівень CO₂ може перевищувати 2000–3000 ppm вже через 1–2 години після початку занять. Це призводить до сонливості учнів, зниження концентрації уваги та загальної працездатності. В Україні протягом останніх років реалізуються пілотні програми з моніторингу якості повітря у школах Києва, Львова та Харкова, де встановлюються NDIR-сенсори для оцінки ефективності вентиляції. Дані таких досліджень допомагають оптимізувати роботу систем природної та механічної вентиляції.

У сучасних офісних центрах контроль CO₂ є ключовим показником ефективності системи вентиляції та кондиціонування повітря. Висока концентрація вуглекислого газу негативно впливає на продуктивність

працівників, що підтверджено численними дослідженнями в ЄС та США. В Україні такі системи активно впроваджуються у бізнес-центрах Києва та Дніпра, де CO₂-датчики інтегруються до систем BMS (Building Management System) для автоматичного регулювання повітрообміну [12].

У лікарнях та поліклініках контроль якості повітря має критичне значення для профілактики поширення інфекційних захворювань. Регулярний моніторинг CO₂ дозволяє своєчасно виявляти проблеми з вентиляцією у палатах та операційних. В Україні такі системи ще не є масовими, проте зростає інтерес до інтеграції CO₂-датчиків у лікарняні системи контролю мікроклімату.

Сенсори CO₂ дедалі частіше входять до складу систем «розумного дому», де вони працюють у зв'язці з вентиляторами, рекуператорами та системами кондиціонування. У разі підвищення концентрації CO₂ автоматично вмикається вентиляція. В Україні ринок таких рішень тільки формується, але вже існують приклади впровадження в енергоефективних житлових комплексах.

Мета кваліфікаційної роботи – розробка та дослідження приладу для моніторингу рівня CO₂ на базі мікроконтролера ATmega328P

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати ряд завдань:

- розробка функціональної схеми приладу на основі аналізу датчиків для вимірювання концентрації вуглецю
- розробка схеми електричної принципової;
- розробка програмного забезпечення;
- моделювання роботи приладу.

2 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЛАДУ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ РІВНЯ CO₂ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА ATMEGA328P

2.1 Розробка функціональної схеми приладу

Запропонований прилад для вимірювання вмісту вуглецю буде реалізовано на базі мікроконтролера. В якості чутливого елемента застосовується датчик вуглецю. Покази газових сенсорів суттєво залежать від температури та вологості повітряного середовища, тож введення датчику температури та вологості дозволить скорегувати вказані недоліки.

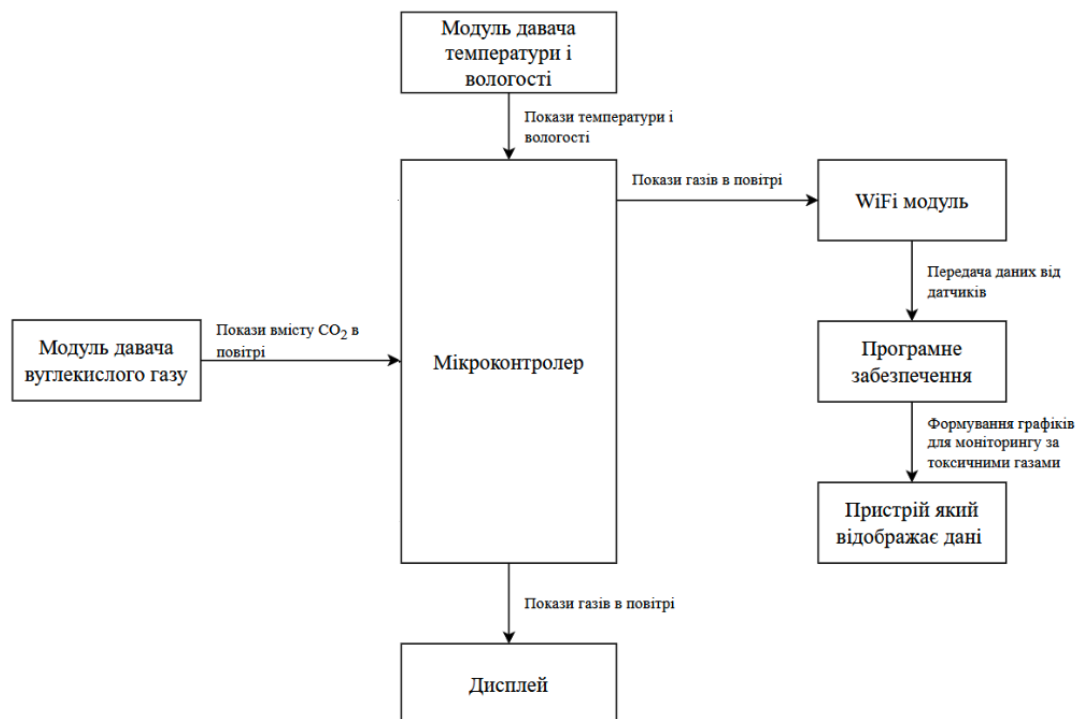


Рисунок 2.1-Функціональна схема пристрою для вимірювання вмісту вуглецю в повітрі

Для організації мережі між пристроєм реєстрації вуглекислого газу і сервером застосуємо WI-FI модуль, який буде забезпечувати цю взаємодію. Інформація буде відображається на РК-екрані, щоб надати користувачам необхідні дані.

2.2 Вибір елементної бази

2.2.1 Датчик вуглекислого газу

MQ-7 (рис. 2.2) - датчик чутливий до оксиду вуглецю (CO) і може виявляти його концентрацію в повітрі від 20 до 2000 ppm; MQ-7 використовує аналіз зміни опору для точного вимірювання рівня забруднення. Швидкий час відгуку датчика робить його ідеальним для систем, що потребують моніторингу в режимі реального часу.



Рисунок 2.2 – Датчик MQ-7 [13]

TGS4161 (рис.2.3) -твердотільний електролітичний датчик, здатний розпізнавати двоокис вуглецю в діапазоні 350 ~ 10 000 ppm, застосовується в системах контролю якості повітря.

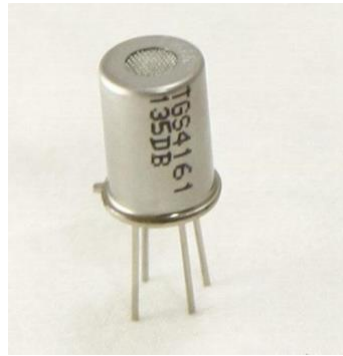


Рисунок 2.3 - Датчик TGS4161 [14]

Чутливий елемент складається з твердого електроліту, утвореного між двома електродами, разом з підкладкою друкованого нагрівача. Контролюючи зміну в електрорушійній силі, що генерується між двома електродами, можна виміряти концентрацію CO_2 в газі. Датчик TGS4161 потребує вхідної напруги нагрівача, щоб підтримувати чутливий елемент при певній температурі, оптимальній для вимірювання. Електрорушійну силу датчика вимірюють за допомогою операційного підсилювача з високим імпедансом ($>100 \text{ ГОм}$) та струмом зміщення $< 1 \text{ пА}$. Схема датчика представлена на рис. 2.4.

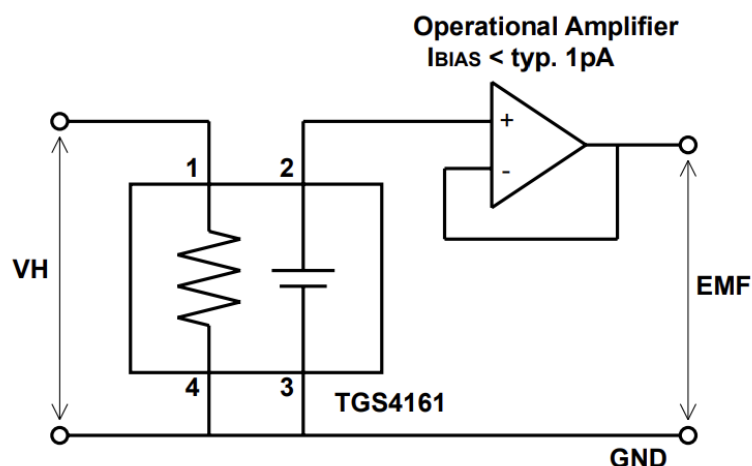


Рисунок 2.4 -Схема електрична принципова датчика TGS4161

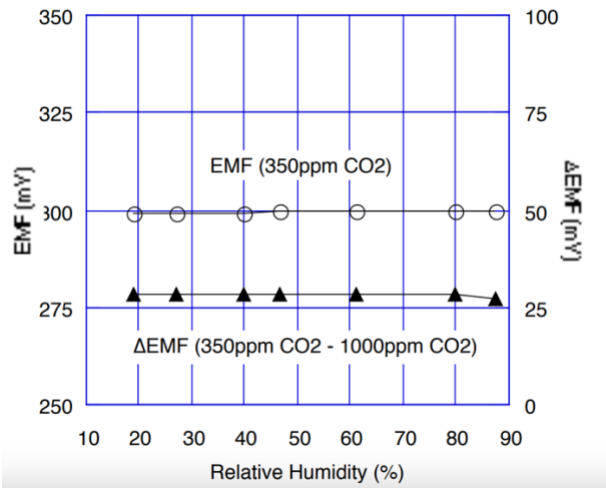


Рисунок 2.5 - Залежність ЕРС датчика від вологості повітря

На рисунках 2.5 і 2.6 представлені графіки залежності ЕРС датчика від вологості повітря та його чутливості. Технічні характеристики TGS4161 У наведені в таблиці 2.1 [19].

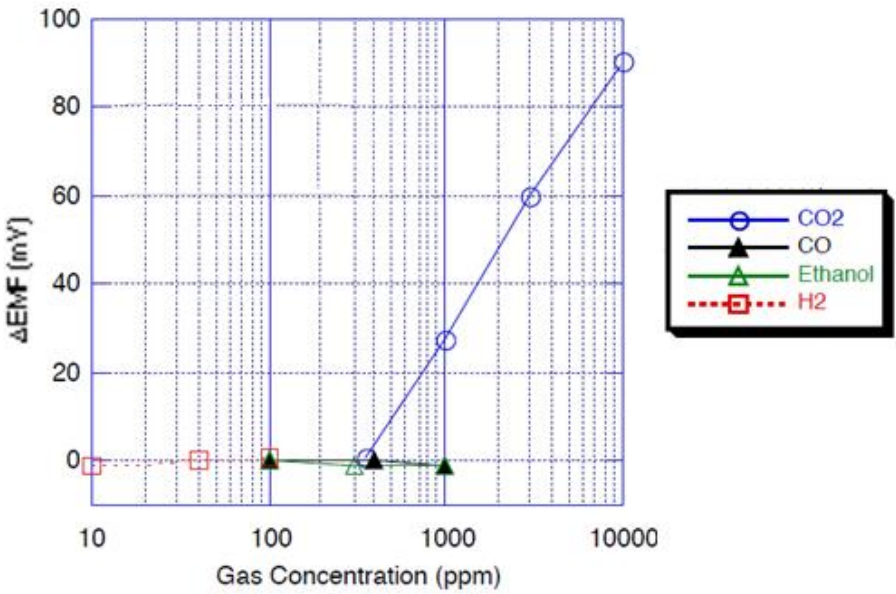


Рисунок 2.6 - Графік залежності ЕРС від концентрації домішок в газовому середовищі

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики TGS4161

Датчик TGS4161			
Тип чутливого елемента		Твердий електроліт	
Детектуємі газу		Двоокис вуглецю	
Типовий діапазон виявлення		350 ~ 10,000 ppm	
Електричні характеристики	Опір	R_H	$70 \pm 7 \text{ Ом}$
	Струм нагрівача	I_H	Приблизно 50 мА
	Потужність нагрівача	P_H	Приблизно 250 мВт
	Електрорушійна сила	E_{MF}	220~490 мВ в 350ppm CO ₂
	Чутливість	ΔE_{MF}	44~72 мВ $E_{MF}(350\text{ppm CO}_2)$
	Напруга нагрівача	U_H	$5.0 \pm 0.2 \text{ В (DC)}$
Умови експлуатації			-10~50°C, 5~95%
Умови зберігання			-20~60°C, 5~90%
Точність виміру			Приблизно $\pm 20\%$ від 1000ppm CO ₂
Стандартні умови іспитів	Стан випробувального газу	CO ₂ в повітрі при 20 $\pm$ 2°C, 5 $\pm$ 5%	
	Стан ланцюга	$U_H = 5.0 \pm 0.05 \text{ В DC}$	
	Період кондиціювання перед тестом	12 годин або більше	



MG811 - датчик визначення концентрації вуглекислого газу в навколишньому повітрі, помірно чутливий до алкоголю і CO (рис. 2.7).

Рисунок 2.7 – Датчик MG-811

MG-811 містить вбудовану схему формування сигналу для посилення вихідного сигналу та схему нагрівання для стабілізації датчика. Вихідна напруга модуля зменшується зі збільшенням концентрації CO₂, що полегшує інтеграцію в системи керування та моніторингу. Основні характеристики датчика представлені на рисунках 2.8 -2.10.

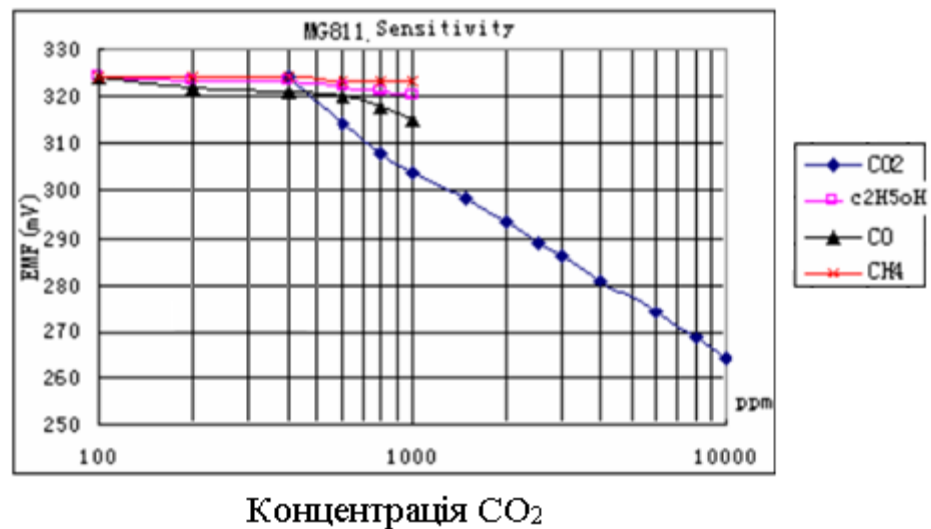


Рисунок 2.8 - Крива чутливості датчика MG-811

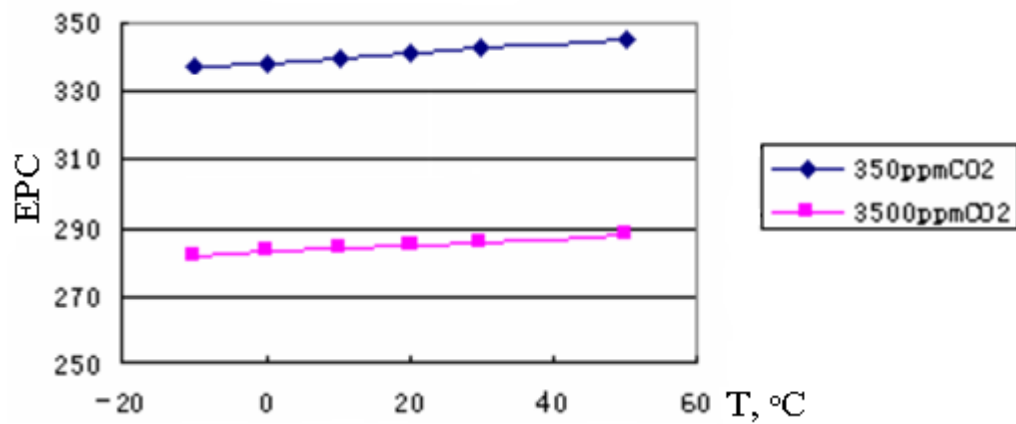


Рисунок 2.9 - Залежності ЕРС від температури оточуючого середовища

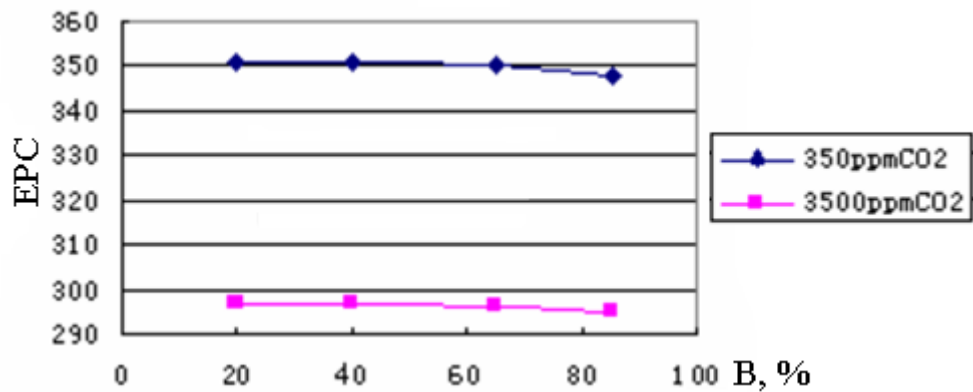


Рисунок 2.10 - Залежності ЕРС від вологості повітря

Датчик здатен виявляти концентрацію CO_2 від 350 ppm до 10 000 ppm, забезпечує швидкі та точні показники. Легко інтегрується з мікроконтролерами та платами розробки, такими як Arduino.

Датчик вуглекислого газу МН-Z14 [15].

Таблиця 2.2- Характеристики датчика вуглекислого газу MH-Z14

Напруга живлення	4 – 6 В, 300 мА
Діапазон вимірювання	0...5000 мг/кг
Похибка вимірювання	± 50 мг/кг
Габарити	13.9 × 18.5 мм
Споживаючий струм	60 мА – 150 мА

Модуль працює в діапазоні від 0 до 5000 мг / кг, з'єднавшись з платою Arduino чи іншими платами використовуючи serial-інтерфейс (Tx, Rx). Напруга живлення в межах 4-6 В, струм 100 мА.

Датчик фіксує рівень CO₂ використовуючи метод недисперсного інфрачервоного випромінювання. Для виходу на робочий режим сенсора необхідно близько трьох хвилин на розігрів, даний параметр відображений в технічній документації. Зміни в концентрації CO₂ фіксуються з затримкою близько хвилини. При концентрації газу близькою до верхньої межі (5000 ppm) втрачається точність, аж до отримання хибно занижених даних. Так само, для коректної роботи сенсора, виробник попереджає не використовувати датчик в умовах високої запиленості. Це обмеження здатне закрити доступ для використання датчика в деяких сферах [16].

MQ-135 - універсальний датчик, здатний виявляти різноманітні гази, включаючи аміак (NH₃), вуглекислий газ (CO₂) і різні леткі органічні сполуки (ЛОС) (рис.2.11). MQ-135 має широкий діапазон вимірювань і забезпечує комплексну оцінку якості повітря MQ-135 використовується в міських і промислових районах.

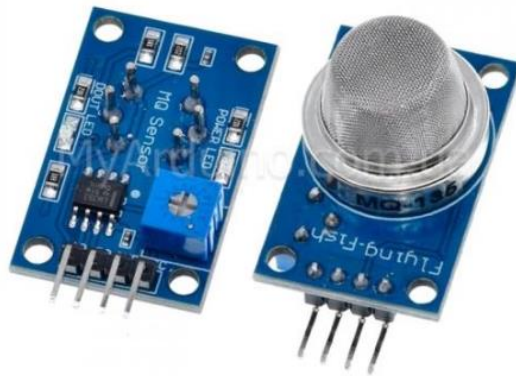


Рисунок 2.11 –Датчик MQ-135 [15]

Основним елементом газових сенсорів серії MQ є невеликий нагрівальний елемент. За рахунок електрохімічного датчика, що знаходиться всередині головного елемента, відбувається хімічна реакція, за результатами якої виходять дані про концентрацію того чи іншого газу. Робоча напруга цього датчика газу становить 5 В. Варто відзначити, що датчик споживає досить великий струм через нагрівальний елемент, тому блок живлення повинен забезпечувати 200 мА. Рекомендується використовувати зовнішнє живлення. Датчик має як аналоговий, так цифровий виходи.

Величина опору MQ135 регулюється в залежності від різних видів і концентрацій газів. Основні характеристики датчика наведено на рис. 2.12-2.13, а схема електрична принципова на рис. 2.14.

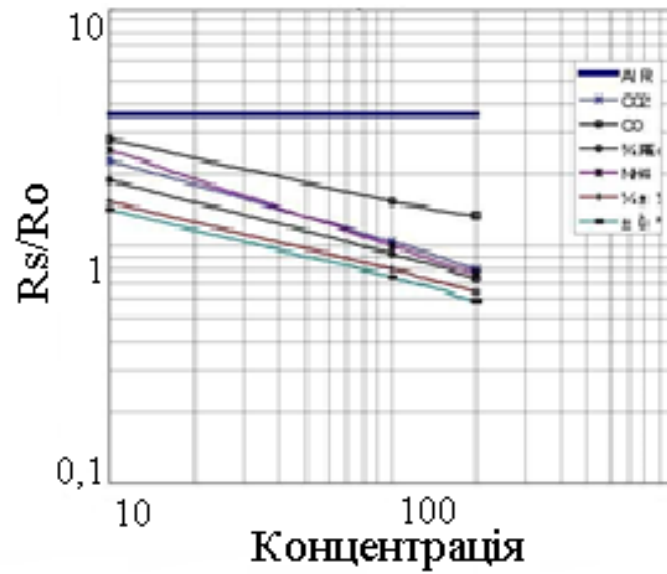


Рисунок 2.12 - Характеристики чутливості для різних газів

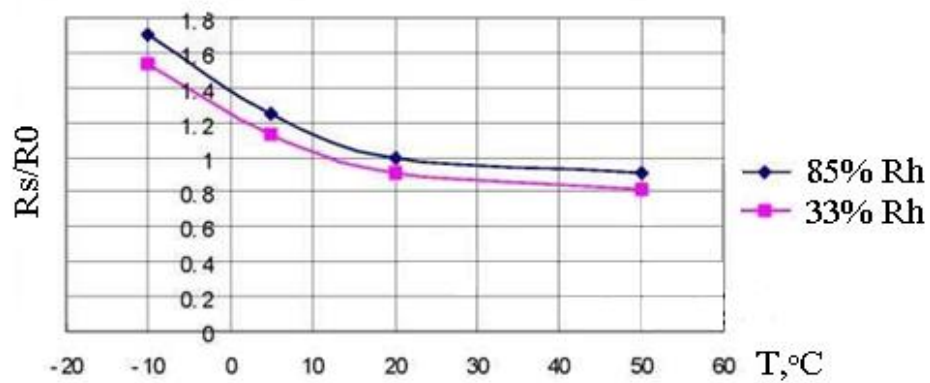


Рисунок 2.13 - Залежність опору від температури та вологості

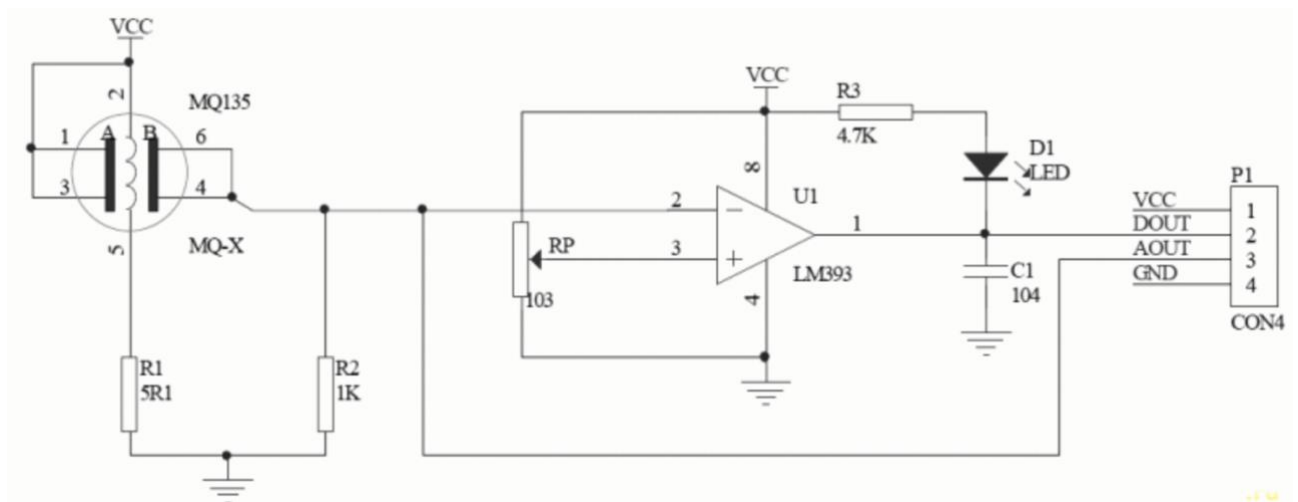


Рисунок 2.14- Схема електрична принципова датчика MQ-135

Нагрівач відкрито через резистор, операційний підсилювач використовується як компаратор. Поріг спрацьовування компаратора змінюється за допомогою підстроювального резистора, а спрацьовування при перевищенні порога (допустимої концентрації газів, що реєструються) відображається світінням зеленого світлодіода. В якості компаратора застосовується мікросхема LM393, що має в своєму корпусі два незалежних компаратора напруги. Компаратор LM393 може працювати, як від однополярного джерела живлення в широкому діапазоні напруг, так і від двополярного джерела. При використанні двополярного - різниця між потенціалами повинна становити від 2 В до 36 В. Струм споживання компаратора не залежить від напруги живлення. Даний компаратор має вихід з відкритим колектором.

Основні електричні характеристики і абсолютні максимальні значення експлуатації мікросхеми LM393 наведено в табл.2.3, 2.4, а електрична схема на рис. 2.15.

Таблиця 2.3 – Електричні характеристики LM393 [17]

Параметр	Мін.	Тип.	Макс.
Напруга зміщення		± 1 мВ	± 5 мВ
Синфазний вхідний струм		25 нА	250 нА
Диф. вхідний струм		± 5 нА	± 50 нА
Вихідний струм, що впадає	6 мА	16 мА	
Коеф. підсилення по напрузі	50 В/мВ	200 В/мВ	
Напруга насичення		250 мВ	400 мВ
Струм споживання		0,1 мА	1 мА
Час відгуку		1.3 мкс	

Таблиця 2.4 – Абсолютні максимальні експлуатаційні показники

Параметр	Значення
Напруга живлення	+36 В або ± 18 В
Диференційна вхідна напруга	36 В
Вхідна напруга	0,3...+36 В
Вихідний струм	20 мА
Діапазон робочої температури	0...+70°C
Потужність, що розсіюється:	
DIP8	1250 мВт
SO8	710 мВт
TSSOP8	625 мВт
Mini SO8	580 мВт

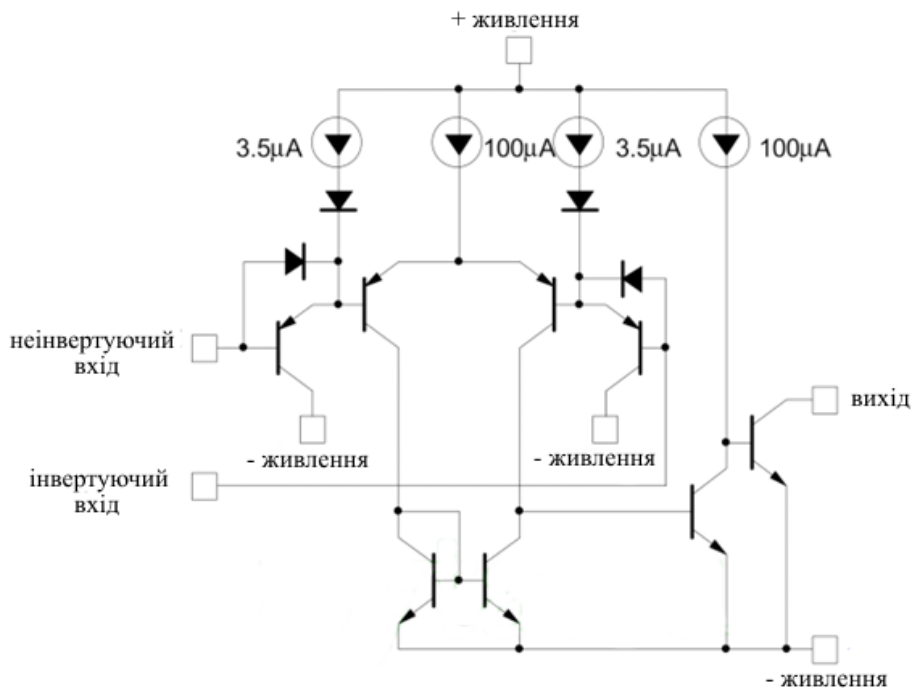


Рисунок 2.15 – Принципова електрична схема LM393

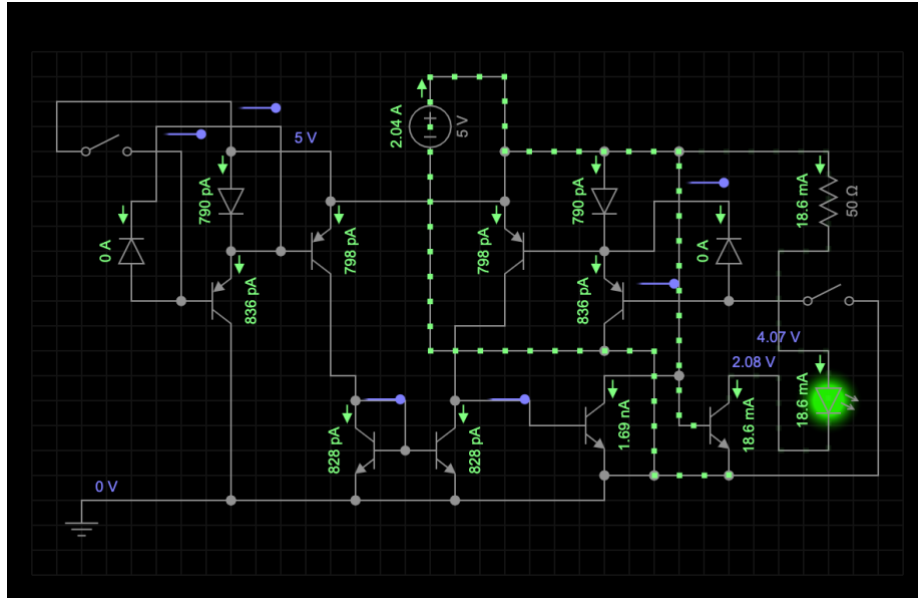


Рисунок 2.16- Результати моделювання роботи компаратора в програмному середовищі EveryCircuit

2.2.2 Датчик температури та вологості

Модуль датчика вологості та температури SHT31-ARP-B. (рис.2.17) [18].
Характеристики датчика наведенні в табл. 2.5

SHT31-ARP-B - це датчик вологості та температури, побудований на новому сенсорному чіпі CMOSens, який лежить в основі нової платформи вологості та температури Sensirions. Він має підвищений інтелект, надійність та покращені технічні характеристики. Його функціональність включає в себе посилену обробку сигналу, температуру і вологість можна зчитувати на різних штифтах. Це дозволяє інтегрувати датчик у різноманітні програми.

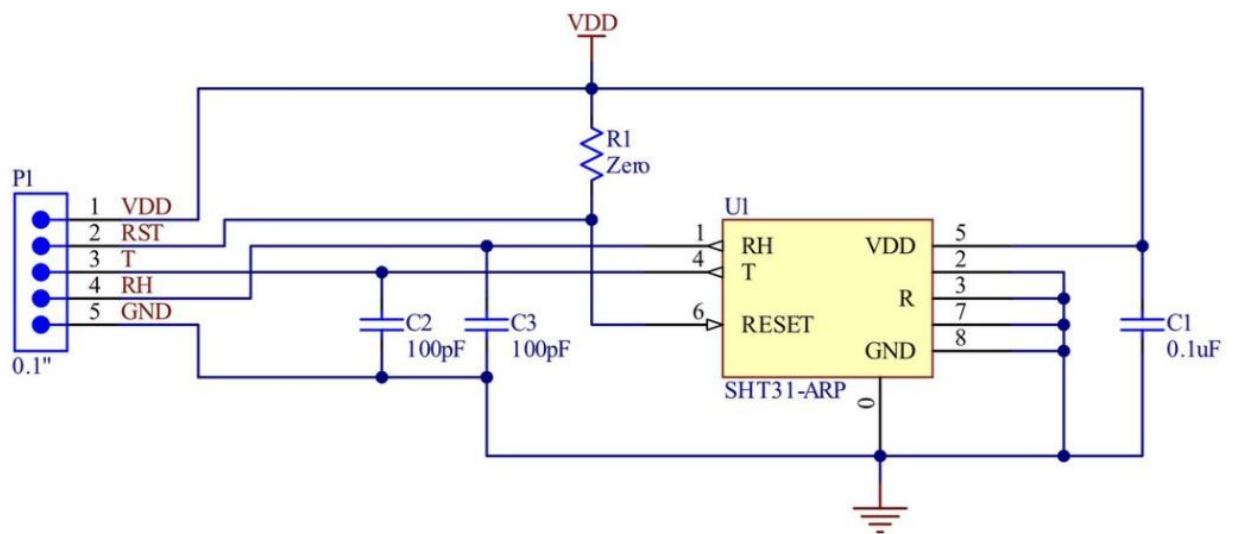
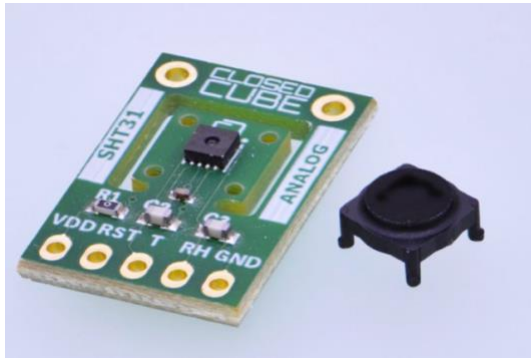


Рисунок 2.17- Зовнішній вигляд та електрична схема датчика вологості та температури SHT31-ARP-B

Таблиця 2.5 -Характеристики датчика

Точність вимірювання вологості	$\pm 3\%$
Точність вимірювання температури	$\pm 0,2^{\circ}\text{C}$
Діапазон вимірювання вологості	від 0 до 100%
Діапазон вимірювання температури	від -40 до $+120^{\circ}\text{C}$
Габарити	$2,5 \times 2,5 \times 0,9$ мм
Напруга живлення	2,4В – 5,5В

Модуль температури та вологості DHT22 (рис. 2.18) [18].

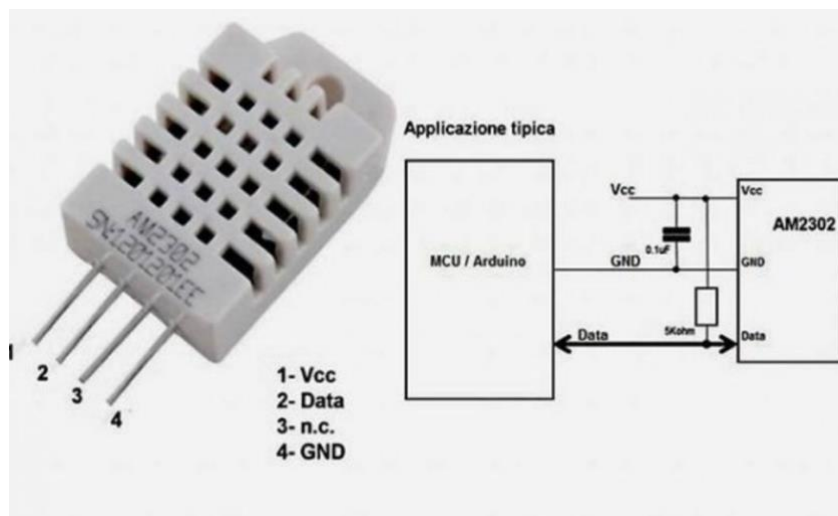


Рисунок 2.18- Зовнішній вигляд та електрична схема датчика вологості та температури DHT22

Високоточний цифровий датчик для вимірювання відносної вологості та температури навколишнього повітря. Він простий у використанні, забезпечує надійні показники в діапазоні від -40°C до $+80^{\circ}\text{C}$ (температура) та 0-100% (вологість), має низьке енергоспоживання та працює через однопровідний цифровий інтерфейс, що робить його популярним для проектів на базі мікроконтролерів, таких як Arduino, і в системах розумного дому.

Характеристики датчика:

Точність вимірювання вологості $\pm 2\%$

Точність вимірювання температури $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$

Діапазон вимірювання вологості від 0 до 100%

Діапазон вимірювання температури від -40 до $+80^{\circ}\text{C}$

Габарити $40 \times 20 \times 11$ мм

Напруга живлення 3,3В – 5В

Модуль DHT11 (рис. 2.19) – це цифровий датчик, що вимірює температуру та вологість повітря, використовуючи термістор та ємнісний датчик вологості з

вбудованим 8-бітним мікроконтролером для перетворення сигналів. Він передає дані через однопровідний інтерфейс, що дозволяє легко підключати його до плат мікроконтролерів на кшталт Arduino (рис. 2.20) і є популярним вибором завдяки низькій вартості та простоті використання, хоча і має нижчу точність і швидкість порівняно з іншими моделями.

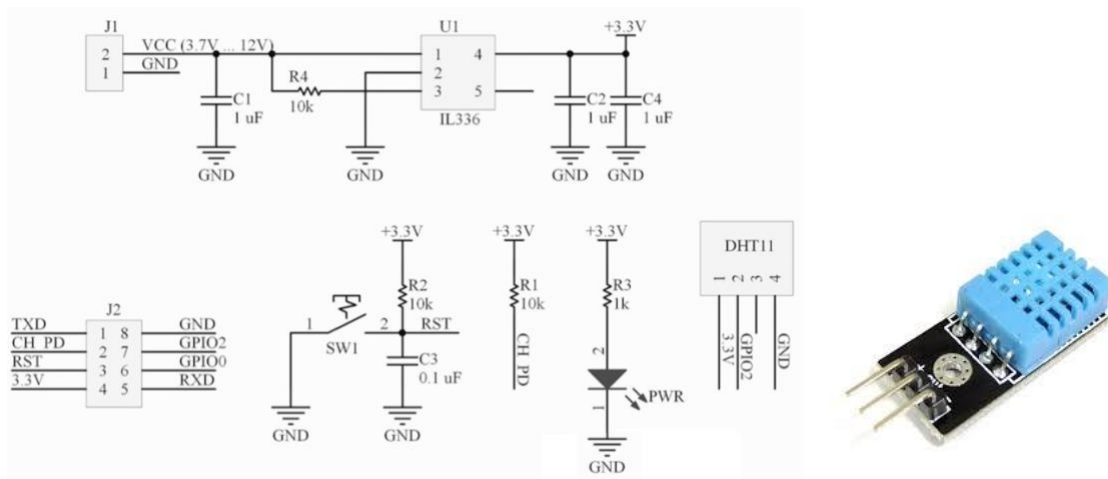


Рисунок 2.19 - Зовнішній вигляд та електрична схема датчика вологості та температури DHT11

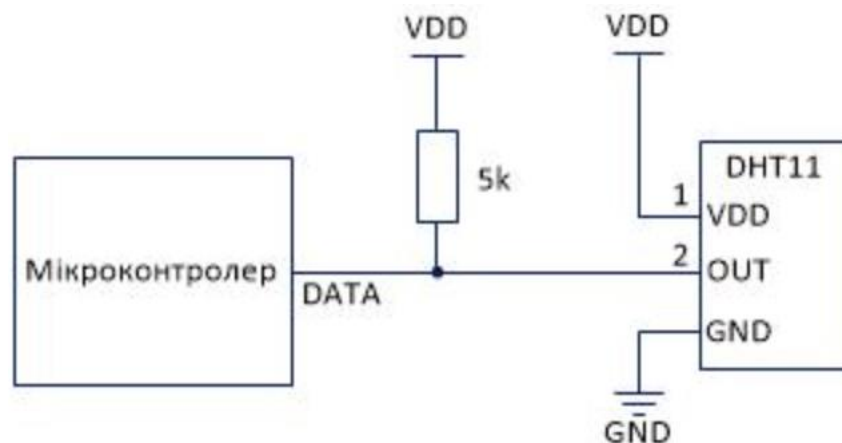


Рисунок 2.20- Схема підключення датчика до мікроконтролера

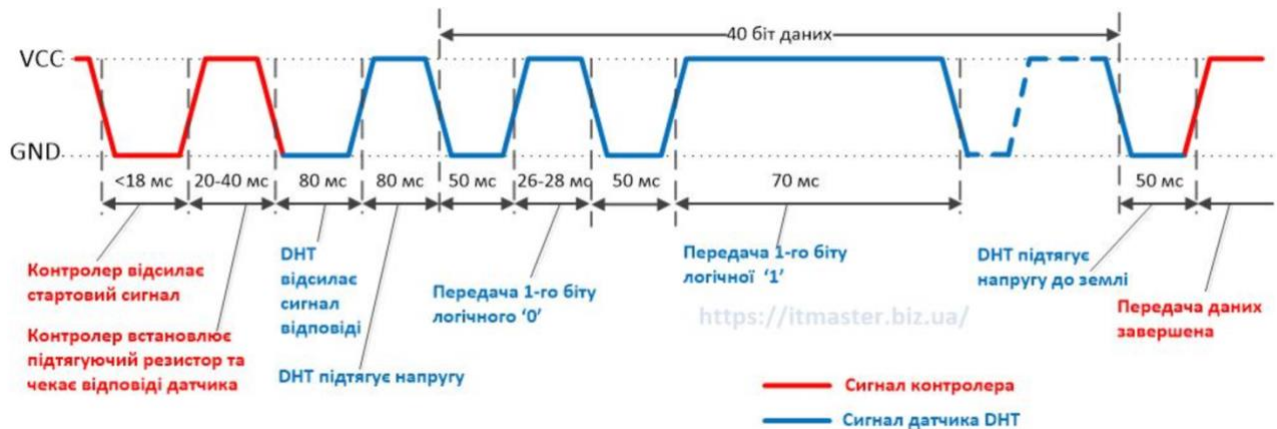


Рисунок 2.21- Часова діаграма передачі даних DHT11

Коли контролер надсилає сигнал старту, датчик DHT11 переходить із режиму низького енергоспоживання на режим роботи (рис.2.21), очікуючи, поки контролер завершить сигнал старту. Далі DHT11 надсилає сигнал відповіді з 40-бітними даними, які включають інформацію про відносну вологість і температуру. Після збору даних DHT11 перейде в режим низького енергоспоживання, доки знову не отримає сигнал старту від контролера.

2.2.3 Wi-Fi-модуль

ESP8266 ESP-07 – це недорогий модуль для підключення різних пристроїв до мережі через Wi-Fi. Плата побудована на базі чіпа ESP8266 компанії Espressif, що відрізняється енергоефективністю та високим ступенем інтеграції, що дозволяє використовувати мінімум елементів обв'язування чіпа.

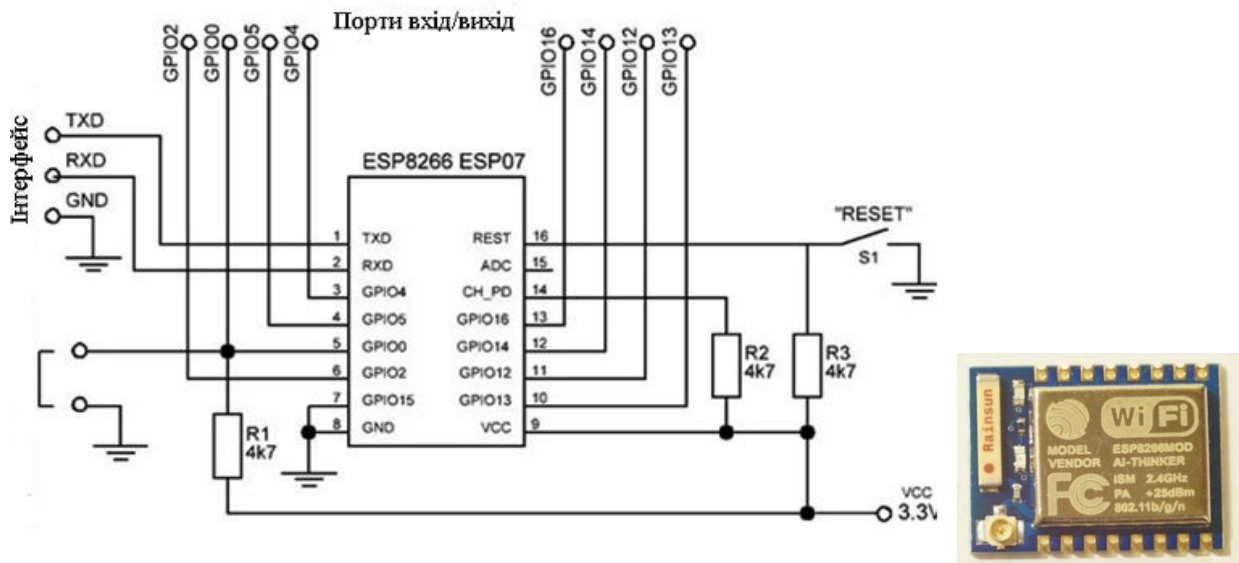


Рисунок 2.22 - Зовнішній вигляд та електрична схема ESP8266 ESP-07

ESP8266 ESP 07 - WiFi послідовний модуль приймача, має вбудований протокол TCP / IP, що є дуже корисним в сфері інтернету речей. Діапазон роботи цього модуля становить до кількох кілометрів, що робить його відмінним рішенням для робототехнічних додатків, яким потрібна дистанційне керування.

Модуль має вбудовану керамічну антену, 9 виводів GPIO, контакти UART (Rx, Tx) для зв'язку з іншими пристроями і можливість підключення зовнішньої антени.

Таблиця 2.6 - Технічні характеристики ESP8266 ESP-07 [19]

Категорія	Параметр	Значення
Параметри WiFi	Протоколи WiFi	802.11 b/g/n
	Діапазон частот	2.4GHz-2.5GHz (2400M-2483.5M)
Параметри обладнання	Периферійна шина	UART/HSPI/I2C/I2S/Ir Remote Contorl. GPIO/PWM
	Робоча напруга	3~3,6 В

Параметри обладнання	Робочий струм	Середнє значення: 80мА
	Робочий діапазон температур	-40~125 °C
	Розмір	16мм*21.2 мм* 3мм
Параметри програмного забезпечення	Режим Wi-Fi	station/softAP/SoftAP+station
	Безпечність	WPA/WPA2
	Шифрування	WEP/TKIP/AES
	Оновлення прошивки	UART Download / OTA (via network) / download and write firmware via host
Параметри програмного забезпечення	Розробка програмного забезпечення	Supports Cloud Server Development / SDK for custom firmware development
	Мережеві протоколи	IPv4, TCP/UDP/HTTP/FTP
	Конфігурація користувача	AT Instruction Set, Cloud Server, Android/iOS App

2.2.4 Мікроконтролер

Arduino Uno – це популярна плата мікроконтролера на базі мікроконтролера ATmega328P, яка є еталонною моделлю платформи Arduino. Вона оснащена 14 цифровими входами/виходами, 6 аналоговими входами та має можливості живлення через USB або зовнішнє джерело.



Рисунок 2.23- Призначення виводів

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики Arduino Uno

Модель	АТmega328P
Напруга живлення	5 В
Флеш-пам'ять, кБ	32
EEPROM, кБ	1
SRAM, кБ	2
Двійкові входи/виходи	14
ШІМ	6
Аналогові входи	6
USB-інтерфейс	АТmega8U2, АТmega16U2
Розмір, мм	68,6 × 53.3

2.2.5 Елемент живлення

Для вибору елеента живлення необхідно провести розрахунок зробити сумарної потужності всіх компонентів.

Розрахунок споживаної потужності компонентів споживання:

$$P = U * I, \quad (2.1)$$

де P - потужність; I- сила струму; U- напруга.

Таблиця 2.8 - Компоненти пристрою та їх експлуатаційні показники

Компонент пристрою	Струм навантаження (I)	Напруга споживання (U)
MQ-135	150 мА	5 В
DHT 11	2.5 мА	5 В
ESP-07	80 мА	3.6 В
Arduino UNO	18 мА	5 В

Таблиця 2.9- Результати розрахунку

Компонент пристрою	
MQ-135	0,75 Вт
DHT 11	0,0125 Вт
ESP-07	0,288 Вт
Arduino UNO	0,09
Сумарна споживана потужність (P _y)	1,1405 Вт

Ємність батарейки «Крона»:

$$C_K = 0,5A * \text{годину} \quad (2.2)$$

Напруга крони:

$$U_K = 9 \text{ В} \quad (2.3)$$

Струм споживання:

$$I_y = \frac{P_y}{U_k} = 0,1268 \text{ А} \quad (2.4)$$

Час, через яке розрядиться крона:

$$T = \frac{C_k}{I_y} = 3,94 \text{ годин} \quad (2.5)$$

Для того щоб повністю розрядити батарею «крона» детектору вуглекислого газу буде потрібно близько чотирьох годин безперервної роботи. Оскільки вимірювання на пристрої повинні проводитися тільки раз в 10 хвилин, то, датчики MQ-135 і DHT 11 включатимуться з таким же періодом. Таким чином, за рахунок короткочасної роботи двох датчиків, сумарна споживана потужність пристрою знизиться. Але Arduino UNO і модуль ESP-07 будуть завжди залишатися в робочому стані і батарейка «крона» буде розряджена протягом доби.

Тож пропонується підключення пристрою до постійної мережі живлення за допомогою мережевого USB адаптера 5В.

Для того щоб уникнути скидання налаштувань детекторів під час зникнення електроспоживання передбачено резервне джерело живлення-батарейка «Крона».

2.2.6 Дисплей

1602 I2C LCD (рис. 2.24): РК-дисплей, який використовує інтерфейс I2C для спрощення підключення до мікроконтролера Arduino. Здатний відображати виміряні параметри, такі як температура, вологість і концентрація газу, в режимі

реального часу і полегшує використання систем моніторингу, LCD 1602 I2C спрощує процес взаємодії між користувачем і системою, дозволяючи швидко оцінити поточні умови навколишнього середовища.



Рисунок 2.24 – РК-дисплей 1602 I2C LCD [18]

2.3 Розробка структурної схеми приладу та схеми електричної принципової

Після обрання елементної бази побудуємо функціональну (рис.2.25) та електричну принципову (рис.2.26) схеми приладу для вимірювання CO₂.

Прилад працює шляхом вимірювання концентрації вуглекислого газу, вологості та температури повітря за допомогою датчиків MQ-135 та DHT11. Для розширення функціональних можливостей в подальшому можна додати також інші газові сенсори, наприклад метану, монооксиду вуглецю, аміаку, тощо. Індикатори, отримані з датчика, зчитуються та обробляються, а результати відображаються на РК-екрані. Крім того, мікроконтролер Arduino відправляє дані в модуль ESP07Wi-Fi, а він відправляє їх на платформу. Це дає можливість дистанційно контролювати концентрацію шкідливих газів в повітрі.

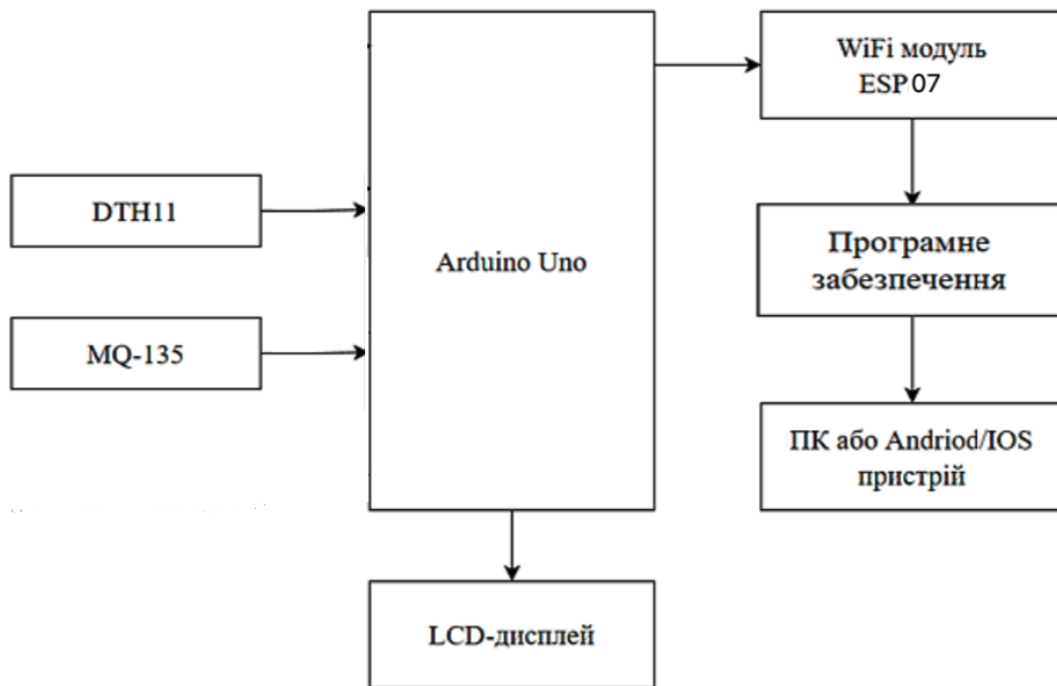


Рисунок 2.25 – Функціональна схема приладу для вимірювання концентрації вуглекислого газу

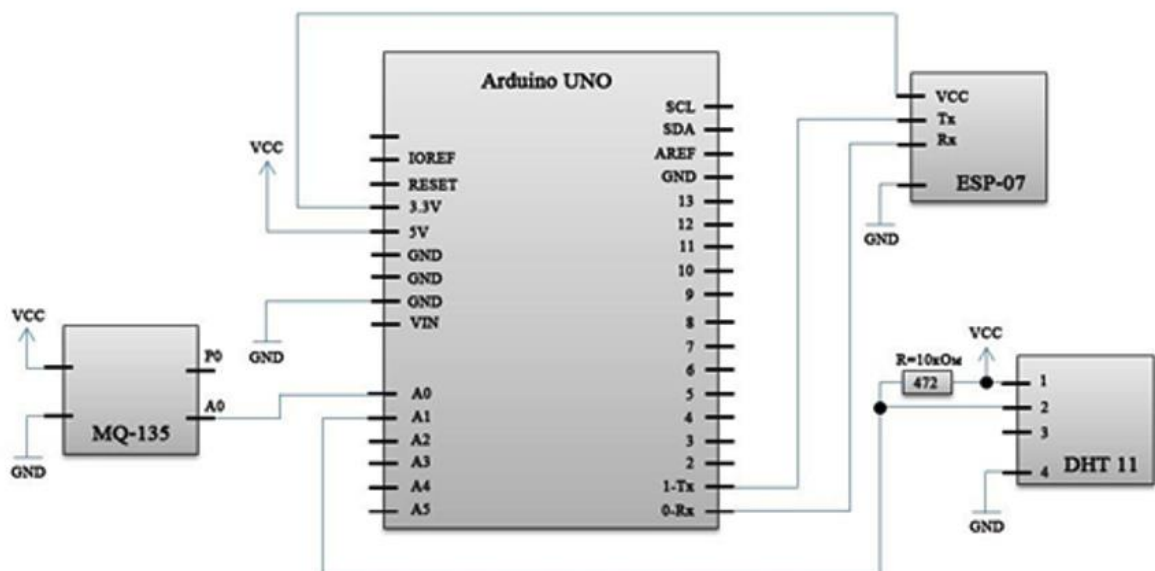
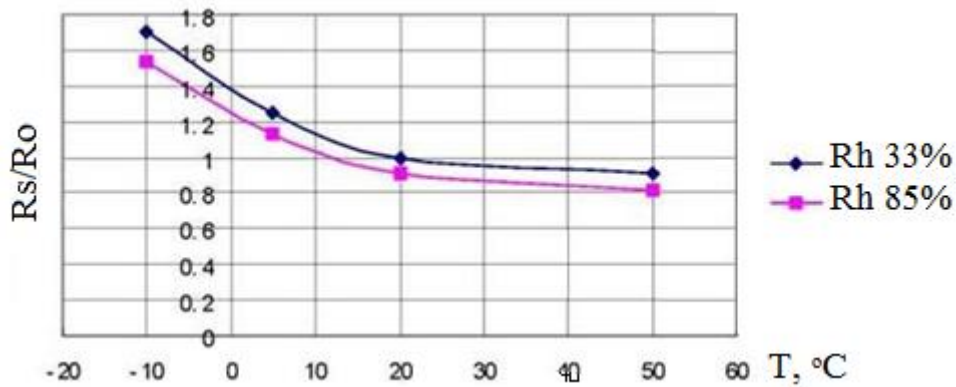


Рисунок 2.26 –Схема електрична принципова приладу для вимірювання концентрації вуглекислого газу

2.4 Розробка програмного забезпечення

Результати вимірювання датчика MQ135 залежать від температури та вологості навколишнього середовища (рис. 2.27).

Для коректного представлення результатів вимірювання датчика необхідно внести поправки в програмний код з урахуванням впливу температури та вологості.



R_s - значення опору, що вимірюється датчиком;

R_0 - каліброване значення

Рисунок 2.27 - Залежність результатів вимірювання MQ135 від температури і вологості

Розрахунок вологості:

$$\left(\frac{R_s}{R_0}\right)' = \frac{R_s}{R_0} - \frac{0,06}{52}(h - 33), \quad (2.6)$$

де h - вологість у відсотках; R_s - вимірюється на MQ135 опір; R_0 - задане каліброване значення.

Розрахунок температури:

$$\left(\frac{R_s}{R_0}\right)'' = \left(\frac{R_s}{R_0}\right)' * (0,0004 * t^2 - 0,027 * t + 1,3894), \quad (2.7)$$

де t - температура в градусах Цельсія; - R_s вимірюється на MQ135 опір;

$\frac{R_s}{R_0}$ - задане каліброване значення.

Поправки можна занести в програмний код:

```
#include <dht.h>

#include <SoftwareSerial.h>

#define DEBUG true

SoftwareSerial esp8266(9,10); // This makes pin 9 of Arduino as RX pin and pin
10 of Arduino as the TX pin

const int sensorPin= 0;

float air_quality;

#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

DHT sensor = DHT();

int adcPin = A0;

int adcValue = 0;

float v;

float rs, ppm;

double PPM_RZERO = 256.57;

int counter=0;

void setup() {
  pinMode(8, OUTPUT);
  lcd.begin(16,2);
  lcd.setCursor (0,0);
  lcd.print ("circuitdigest ");
  lcd.setCursor (0,1);
  lcd.print ("Sensor Warming ");
```

```

delay(1000);
Serial.begin(9600);
esp8266.begin(9600); // your esp's baud rate might be different
sendData("AT+RST\r\n",2000,DEBUG); // reset module
sendData("AT+CWMODE=2\r\n",1000,DEBUG); // configure as access point
sendData("AT+CIFSR\r\n",1000,DEBUG); // get ip address
sendData("AT+CIPMUX=1\r\n",1000,DEBUG); // configure for multiple
connections
    sendData("AT+CIPSERVER=1,80\r\n",1000,DEBUG); // turn on server on port
80
    sensor.attach(A1);
    //pinMode(sensorPin, INPUT);    //Gas sensor will be an input to the arduino
    delay(1000);
    lcd.clear();
}
void loop() {
    if (counter == 50)
    {
        lcd.clear();
        counter=0;
    }
    counter+=1;
    Serial.println(counter);
    sensor.update();
    int t = sensor.getTemperatureInt();
    int h = sensor.getHumidityInt();
    adcValue = analogRead (adcPin);
    v = adcValue * (5.00/1024);
    rs = (100 - (20.00 * v)) / v;

```

```

air_quality = (116.6020682 * pow((PPM_RZERO/rs),2.769034857))/10;
if(esp8266.available()) // check if the esp is sending a message
{
    if(esp8266.find("+IPD,"))
    {
        delay(1000);

        int connectionId = esp8266.read()-48; /* We are subtracting 48 from the
output because the read() function returns the ASCII decimal value and the first
decimal number which is 0 starts at 48*/

        String webpage = "<h1>Air Pollution Monitoring System</h1>";
        webpage += "<p><h2>";
        webpage+="Temperature=";
        webpage+= t;
        webpage+="C, Humidity=";
        webpage+= h;
        webpage+="%";
        webpage += "<p>";
        webpage+= " Air Quality is ";
        webpage+= air_quality;
        webpage+=" PPM";
        webpage += "<p>";
        if (air_quality<=1000)
        {
            webpage+= "Fresh Air";
        }
        else if(air_quality<=2000 && air_quality>=1000)
        {
            webpage+= "Poor Air";
        }
    }
}

```

```

else if (air_quality >= 2000 )
{
webpage += "Danger! Move to Fresh Air";
}

webpage += "<h1 align='right'>produced by Nikitishina Anastasia</h1>";
webpage += "</h2></p></body>";

String cipSend = "AT+CIPSEND=";
cipSend += connectionId;
cipSend += ",";
cipSend += webpage.length();
cipSend += "\r\n";
sendData(cipSend, 1000, DEBUG);
sendData(webpage, 1000, DEBUG);
cipSend = "AT+CIPSEND=";
cipSend += connectionId;
cipSend += ",";
cipSend += webpage.length();
cipSend += "\r\n";

String closeCommand = "AT+CIPCLOSE=";
closeCommand += connectionId; // append connection id
closeCommand += "\r\n";
sendData(closeCommand, 3000, DEBUG);
}
}

lcd.setCursor (0, 0);
lcd.print ("CO2=");
lcd.print (air_quality);
lcd.print (" PPM ");

```

```

lcd.setCursor (0,1);
lcd.print ("t=");
lcd.print (t);
lcd.print ("C, h=");
lcd.print (h);
lcd.print ("%");
beep(50);
delay(4000);
}

String sendData(String command, const int timeout, boolean debug)
{
    String response = "";
    esp8266.print(command); // send the read character to the esp8266
    long int time = millis();
    while( (time+timeout) > millis())
    {
        while(esp8266.available())
        {
            // The esp has data so display its output to the serial window
            char c = esp8266.read(); // read the next character.
            response+=c;
        }
    }
    if(debug)
    {
        Serial.print(response);
    }
    return response;
}

```

```
void beep(unsigned char delaysms){
    analogWrite(8, 20);
    delay(delaysms);
    analogWrite(8, 0);
    delay(delaysms);
}
```

2.5 Результати моделювання в Tinkercad

Tinkercad — це безкоштовний онлайн-сервіс від Autodesk для 3D-моделювання, проєктування електронних схем та візуального програмування, доступний через веббраузер. Програмне середовище надає можливість симулювати роботу різних апаратних елементів, таких як Arduino Uno, датчики температури, вологості, газу, і модулі зв'язку, що дозволяє ефективно моделювати системи моніторингу навколишнього середовища. Симуляція дозволяє відтворювати реальні сценарії роботи, змінюючи умови навколишнього середовища, як-от рівень газів або температуру, що забезпечує можливість тестування системи у різних умовах. Наприклад, датчик MQ-135 буде контролювати рівень CO₂, а DHT11 відстежує зміни температури та вологості, що також впливає на якість повітря. Центральним елементом є мікроконтролер Arduino UNO, який обробляє дані від сенсорів та забезпечує керування відображенням інформації на LCD-дисплеї (рис. 2.28, 2.29).

Таким чином результати моделювання приладу на платформі Tinkercad підтвердили функціональність і точність роботи системи в режимі реального часу. Запропонована розробка може бути використана для оперативного виявлення екологічних загроз та підвищенню рівня екологічної безпеки житлових приміщень.

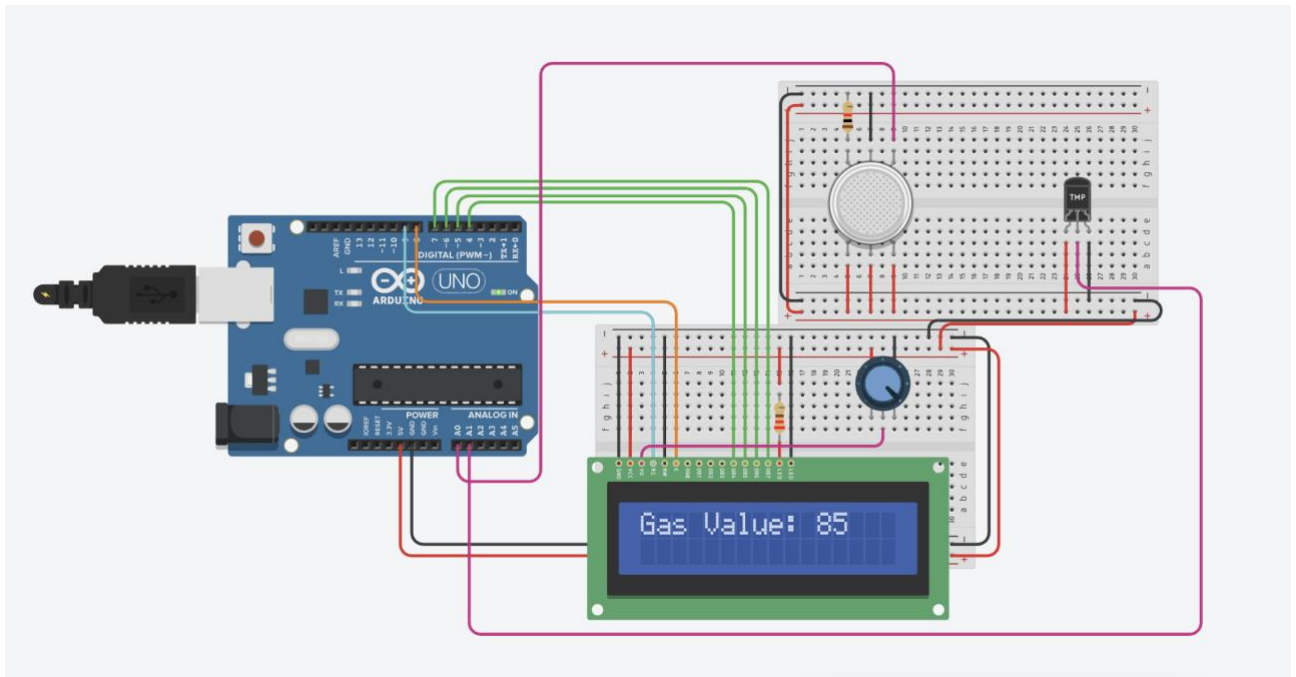


Рисунок 2.28- Результати моделювання за відсутності забрудника

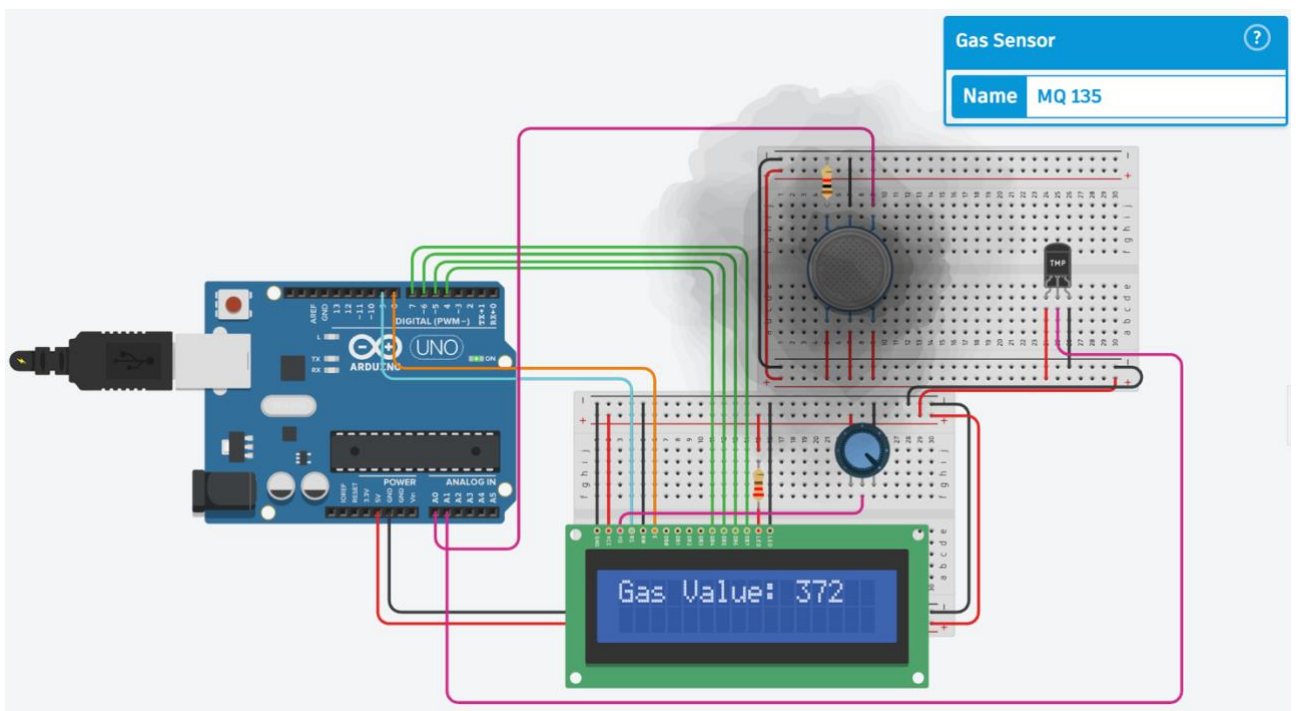


Рисунок 2.29- Результати моделювання при забрудненні повітря

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

3.1 Розрахунок вартості елементи електричної схеми

Таблиця 3.11 – Розрахунок вартості елементів схеми

Найменування елемента	Тип	Кількість, шт.	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Датчик CO ₂	MQ135	1	73	73
Датчик температури та вологості	DHT11	1	40	40
Мікроконтролер	Arduino Uno	1	250	250
Дисплей	LCD 16/2	1	80	80
Блок живлення	9В, 1А	1	150	150
Роз'єм живлення	CN	1	10	10
Акумулятор	Videx 14500	4	150	150
Разом				753

3.2 Огляд та аналіз приладів для моніторингу повітряного середовища

Прилад «Extech CO100» (рис.3.1) [20].



Рисунок 3.1 – Вимірювач якості повітря «Extech CO100»

Таблиця 3.2 – Характеристики «Extech CO100»

Параметр	Роздільна здатність		Точність
CO ₂	0 to 9999ppm	1ppm	±75 ppm вбл ±5%
Температура	23 to 122°F (-5°C to 50°C)	0.1°	±1.5°C/2.7°F
Вологість	0.1 to 90.0%	0.1%	±5%
Дисплей	LCD з підсвічуванням		
Інтервал вибірки:	2 секунди		
Індикація перевантаження:	“-OL-”		
Тип датчика	CO ₂ : NDIR (недисперсний інфрачервоний) технологія		
Умови роботи	-5°C to 50 °C (23 oF to 122 oF) at < 90 % RH		
Умови зберігання	-5°C to 50 °C (23 oF to 122 oF) at < 90 % RH		
Блок живлення	110V~220V AC, output 6.0V DC ≥ 500mA (supplied)		

Розміри / вага	117x102x102mm (4.6x4x4"); 204g (7.2 oz.)
Вартість	6095 грн

Переваги приладу – це висока точність вимірювання вуглекислого газу та температури, функція виклика з пам'яті мін./макс. значення CO₂. Прилад має вбудований цифровий годинник та календар, а звуковий індикатор оповіщає про підвищену концентрацію вуглекислого газу.

Недоліки- відсутність можливості вимірювання формальдегіду та кількості пилу у повітрі, які негативно впливають на здоров'я людини, висока вартість.

Портативний термогігрометр – даталоггер «AZ – 87798»



Рисунок 3.2 - «AZ – 87798»

Таблиця 3.3 – Характеристики «AZ – 87798»

Діапазон вимірювання	температура: 0 ~ 50 °C (відображається -10,0 ~ 70,0 °C)
	вологість: 20 ~ 90 % (відображається 0 % ~ 99,9 %)
Точність	температура: $\pm 1^{\circ}\text{C}$

	вологість: $\pm 5\%$ RH (при 25°C та $10\sim 90\%$ RH, в іншому діапазоні: $\pm 7\%$ RH
Роздільна здатність	температура: $0,1^{\circ}\text{C} / ^{\circ}\text{F}$
	вологість: $0,1\%$ відносної вологості
Точка роси	$-20 \sim 70^{\circ}\text{C}$
SD-карта	макс 2 GBSD-карта, або 4 GBSDHC-карта
Частота дискретизації	від 1 до 720 хвилин, оптимально через кожні 10 хвилини
Сигналізація	порядку 65 дБ
Автокалібровка RH	Так, за допомогою соляної камери
Споживання енергії	$< 0,4$ мА
Розміри монітора	63 x 70
Умови експлуатації	$0 \sim 50^{\circ}\text{C}$, $< 90\%$ відносної вологості
Живлення	3 батарейки АА, або 5В блок живлення
Габарити	110 x 91 x 30 мм
Вага	Приблизно 200 г
Вартість	6040 грн

Переваги - живлення здійснюється від 3 батарейок типу АА, або блоку живлення на 5В. Можливість відображати на екрані рік, місяць, дату та час.

Недоліки- відсутність вимірювання формальдегіду та пилу у повітрі, висока вартість.

Детектор якості повітря «SNDWAY SW-625A»



Рисунок 3.3 – Детектор якості повітря «SNDWAY SW-625A»

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики «SNDWAY SW-625A»

Діапазон вимірів CO ₂	0~9999 ppm
Шкала вимірів	1 ppm
Точність	±70 ppm
Температура	0~50°C
Вологість	20~90%
Автоматичне відключення	30 хв
Матеріал корпусу	пластик
Розмір	74×71×27 мм
Вага	60 г
Вартість	2950 грн

Запропонований прилад для моніторингу рівня CO₂ в житлових приміщеннях.

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики розробленого приладу

Технічні характеристики	
Напруга живлення	9 В
Діапазон вимірів CO ₂	0~9999 ppm
Шкала вимірів	1 ppm
Точність	±70 ppm
Температура	0~50°C
Вологість	20~90%
Частота вимірів	не більше 1 Гц
Час розігріву	3 хвилини
Вага	15 г
Матеріал корпусу	пластик
Габарити	57,5 × 34,7 × 16 мм
Вартість	753 грн

3.3 Порівняльний аналіз газоаналізаторів за критеріями

Проведемо порівняльний аналіз приладом методом ієрархії, враховуючи шкалу відносної важливості (табл.3.6).

Таблиця 3.6 – Види газоаналізаторів

Технологія	Короткий опис (Газоаналізатори)
A	«Extech CO100»
B	«AZ – 87798»
C	«SNDWAY SW-625A»
D	Свій варіант

Таблиця 3.7 – Шкала відносної важливості

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
1	рівна важливість
3	помірна перевага
5	сильна перевага
7	значна перевага
9	дуже сильна перевага
2,4,6,8	проміжні судження

Вибір робимо за критеріями, наведеними в таблиці 3.8, встановлюємо відносну вагу кожного критерію на основі матриці попарних порівнянь для обраних критеріїв.

Таблиця 3.8 – Попарне порівняння критеріїв

Критерій	1	2	3	4	5	$\sqrt[5]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}$	X _i
1. Точність	1	1/7	1/7	1	1	0,77	0,08
2. Час вимірювання	7	1	1	5	5	2,8	0,31
3. Діапазон вимірів	7	3	1	5	5	3,49	0,38
4. Час відгуку	1	1	1	1	1/3	0,8	0,09
5. Вартість	1	1	1	3	1	1,24	0,14
Σ						9,1	1

Далі аналогічно складаємо 6 матриць попарних порівнянь альтернатив стосовно кожного критерію (таблиці 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9). Оскільки тепер порівнюються 4 технології по одному критерію, то $i = 1, 2, 3, 4$;

$$X_i = \frac{\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}}{\sum_{i=1}^4 \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}}; \Sigma - \text{сума по стовпці } \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}. \quad (3.1)$$

Таблиця 3.9 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «точність»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X _i
A	1	5	5	3	2,94	0,5
B	1/5	1	1	1	0,66	0,11
C	1/5	1	1	1	0,66	0,11
D	1/3	5	5	1	1,69	0,28
Σ					5,95	1

Таблиця 3.10 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «час вимірювання»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X _i
A	1	1	1	1	1	0,17
B	5	1	3	1	1,96	0,34
C	5	1/3	1	1	1,13	0,2
D	7	1	1	1	1,62	0,29
Σ					5,71	1

Таблиця 3.11 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «діапазон вимірів»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X _i
A	1	1	1	1	1	0,17
B	3	1	1	1	1,31	0,21
C	5	3	1	1	1,96	0,31
D	5	3	1	1	1,96	0,31
Σ					6,23	1

Таблиця 3.12 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «час відгуку»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X _i
A	1	1	5	1	1,49	0,27
B	3	1	3	1	1,73	0,31
C	1/5	1/3	1	1/3	0,6	0,1
D	3	1	3	1	1,73	0,31
Σ					5,55	1

Таблиця 3.13 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «вартість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X _i
A	1	1	1	1	1	0,2
B	3	1	3	1	1,73	0,34
C	5	1/3	1	1	1,13	0,22
D	7	1	1/3	1	1,24	0,24
Σ					5,1	1

Глобальний пріоритет для кожної альтернативи обчислюється як сума добутків кожного локального пріоритету на його ваговий коефіцієнт.

Таблиця 3.14 – Глобальний пріоритет для кожної альтернативи

Пріоритети	№1	№2	№3	№4	№5	Глобальний
Вага	0,08	0,31	0,38	0,09	0,14	
«Extech CO100»	0,5	0,17	0,17	0,27	0,2	0,2096
«AZ – 87798»	0,11	0,34	0,21	0,31	0,34	0,2695
«SNDWAY SW-625A»	0,11	0,2	0,31	0,1	0,22	0,2284
Свій варіант	0,28	0,29	0,31	0,31	0,24	0,2916

З порівняння глобальних пріоритетів різних видів газоаналізаторів (табл.3.14) - найбільшим є пріоритет у запропонованого в роботі пристрою.

Методом аналізу ієрархій проведене порівняння чотирьох газоаналізаторів різних виробників за наступними критеріями: 1) точність; 2) час вимірювання; 3) діапазон вимірів; 4) час відгуку; 5) вартість;

Найбільший локальний пріоритет за багатьма критеріями є найвищим для розробленого газоаналізатору.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

При розробці газоаналізатора можуть виникнути наступні потенційно небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- підвищений рівень шуму, що викликаний роботою приладів;
- зміна температури повітря в приміщенні;
- зміна вологості повітря в приміщенні;
- понижена швидкість повітря в приміщенні;
- освітленість робочого місця;
- вплив хімічних речовин ті інфрачервоного випромінювання під час паяння.

Робота в умовах підвищеного шуму викликає швидку стомлюваність, загострює слух на високих частотах. Потім починається погіршення слуху, яке поступово розвивається в глухуватість і глухоту. Шум згубно діє не тільки на слуховий апарат, але і на центральну нервову систему людини, роботу серця, служить причиною багатьох інших захворювань.

Освітлення – недостатнє освітлення викликає зменшення продуктивності праці, підсилює стомлюваність, збільшує кількість помилкових дій, що можуть привести до браку або нещасному випадку, також може розвинути короткозорість [20].

Мікроклімат – відхилення окремих параметрів мікроклімату від рекомендованих значень знижують працездатність, погіршують самопочуття, і можуть привести до професійних захворювань. Так, при низькій температурі

повітря відбувається охолодження організму, що сприяє виникненню простудних захворювань. При високій температурі виникає перегрів організму, що веде до підвищеного потовиділення й зниженню працездатності. Працівник втрачає увагу, що може стати причиною нещасного випадку. Підвищена вологість повітря утрудняє випар вологи з поверхні шкіри й легенів, що веде до порушення терморегуляції організму, і до погіршення стану людини й зниженню працездатності. При зниженій відносній вологості в людини з'являється відчуття сухості слизоватих оболонок верхніх дихальних шляхів. Швидкість руху повітря також має немаловажне значення, при температурі до 35-36° С виявляє на людину освіжаюча дія, а при температурі більш 40° С – несприятливе.

4.2 Заходи з поліпшення умов праці та виробнича санітарія

Для захисту від шуму застосовуються наступні основні методи:

- технічні заходи, які спрямовані на зменшення шуму від джерела їх утворення;
- раціональне планування приміщення для зменшення шумів, виникаючих в приміщенні від внутрішніх джерел;
- використання систем звуко- та шумоізоляції;
- використання засобів та пристроїв індивідуального захисту.

По характеру виконувана на ділянці робота ставиться до легкої фізичної категорії 1б (проводиться сидячи, коштує або пов'язана з ходьбою й супроводжується деякою фізичною напругою). У приміщенні, де проводяться роботи такої категорії для забезпечення сприятливого впливу мікроклімату можна використовувати системи центрального кондиціонування (багатосекційні та багатофункціональні системи, які розміщуються у відведеному для неї приміщенні або за межами будівлі), які дозволяють контролювати оптимальні значення температури, вологості та швидкості повітря в приміщенні.

У приміщенні де проводяться роботи категорії 1б установлені наступні нормовані значення мікрокліматичних умов:[18]

- температура повітря в холодний період року 23-25°C;
- відносна вологість 40-60%;
- температура повітря в теплий період року 22-24°C;
- швидкість руху повітря не більш 0,2 м/с.

Освітленість повинна забезпечуватись комбінованим штучним освітленням, тому що необхідна висока точність при виконанні роботи. Комбіноване штучне освітлення полягає в розподілі світильників рівномірно по всій площі приміщення та додатковому освітленню, яке концентрує світловий потік безпосередньо на робочих місцях.

Вплив хімічних речовин та інфрачервоного випромінювання можна зменшити за допомогою засобів індивідуального захисту – маски, теплозахисний одяг.

Для зменшення дії психофізіологічних факторів необхідно розробити сприятливий графік роботи з необхідною для відпочинку перервою.

Виділення шкідливих речовин – при роботі на ділянці травлення друкованих плат виділяється велика кількість шкідливих речовин. Травлення відбувається в розчині соляної кислоти, температура розчину становить 60-70°C. При цьому виділяються хлорид міді CuCl_2 , водень H_2 , можливе виділення хлору Cl_2 . Водень при змішуванні з атмосферним киснем утворює вибухонебезпечну суміш. Хлор ставиться до другого класу небезпеки (високонебезпечні речовини), його нормована гранично припустима концентрація в повітрі робочої зони становить 1 мг/м³ [16]. Він може викликати важкі отруєння зі смертельним результатом. Для захисту від впливу на людину шкідливих речовин необхідне застосування не тільки загальної, але й місцевої вентиляції.

Для ефективного відводу забрудненого повітря від ділянки по травленню друкованих плат застосуємо двохбортіві насоси, розташовані близько кожної із чотирьох ванн для травлення друкованих плат. Ванни мають однакові розміри

500X200 мм. Схема двохбортового насоса наведено на рисунку 4.1. Кількість повітря L ($\text{м}^3/\text{година}$), що віддається одним насосом, визначається по формулі:[16]

$$L=1400(0,53Bl_2/(B+l_2)+H)^{1/3}Bl_2k_1k_2k\Delta t,$$

де B – розрахункова ширина ванни, м;

l_2 – довжина ванни, м;

H – відстань від дзеркала електроліту до осі щілини, м (з конструктивних міркувань ухвалюємо 100 мм);

k_1 - коефіцієнт обліку конструкції насоса, прийнятий рівним 1 для цього типу;

k_2 – коефіцієнт обліку токсичності, що виділяються шкідливих речовин, ухвалюється рівним 1,25;

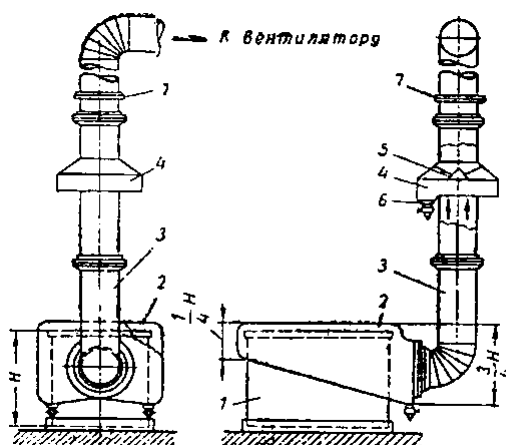
$k\Delta t$ - коефіцієнт обліку температури електроліту, при різниці температур електроліту й навколишнього повітря ухвалюється рівним 1.79.

$$L_{\text{заг}}=175 \cdot 8=1400 \text{ м}^3/\text{год}$$

У якості вентилятора, що видаляє такий обсяг повітря, можна застосувати вентилятор марки ДО315L фірми “VENTRADE”, що має наступні технічні характеристики:

Таблиця 4.1 - Технічні характеристики обраного вентилятора марки ДО315L фірми “VENTRADE”

Споживана потужність, Вт	319
Потік, $\text{м}^3/\text{год}$	1660
Частота обертання, про/хв	2645
Звуковий тиск, db(A)	46
Вага, кг	5



1 – корпус ванни; 2 – кожух бортового насоса; 3 – витяжний воздуховід; 4 – збірник для вловлювання розчину; 5 – конус у збірнику; 6 – видалення конденсату; 7 – заслінка.

Рисунок 4.1 - Схема двостороннього бортового насосу

Заходу безпеки при роботі з ваннами для травлення друкованих плат і травильними розчинами:

- вентиляція в цеху включається до початку робіт, а вимикається тільки після їхнього закінчення;
- категорично забороняється робота з несправною вентиляцією, тому що в цьому випадку виділюваний хлор може викликати отруєння людей, а водень створює з атмосферним киснем вибухонебезпечну суміш;
- усі роботи проводяться в гумових рукавичках і скляних окулярах щоб уникнути влучення травильного розчину на шкіру й в очі;
- у випадку влучення розчину в очі або на шкіру, ушкоджені ділянки тіла необхідно промити водою протягом 15-20 хвилин і звернутися до лікаря;
- ємності із травильним розчином зберігаються в щільно закупорених ємностях у місцях, що виключають їхнє можливе ушкодження;
- усі працівники зобов'язано знати техніку безпеки й заходу надання першої допомоги потерпілим при отруєннях хлором і іншими хімічними речовинами, а також при поразці електричним струмом.[13]

4.3 Заходи електробезпеки

Приміщення виробничої ділянки по травленню друкованих плат хімічним методом – ставиться до особливо небезпечного приміщення, тому що в ньому:

1. Є присутнім активне хімічне середовище (хлорне залізо, соляна кислота), яке здатне викликати руйнування ізоляції й зменшення її опору.
2. Можливий дотик людини до металоконструкцій, що мають з'єднання із землею, будинку (батареям центрального опалення й ін.), технологічним апаратам, механізмам з одного боку, і до металевих корпусів електроустаткування, що перебуває під напругою;
3. Є бетонна підлога, яка за певних умов може стати електропровідною (підвищена вологість і ін.);

По характеру навколишнього середовища приміщення ставиться до класу приміщень із активним хімічним середовищем.

По ступеню доступності ділянка ставиться до виробничих приміщень (устаткування доступне для обслуговуючого персоналу неелектротехнічних спеціальностей, що не мають достатньої вистави про безпеку при роботі з електроустаткуванням).

У приміщенні даного класу використовується чотирипровідна електромережа із глухо-заземленої нейтраллю й з нульовим захисним провідником, тому що неможливо забезпечити гарну ізоляцію проводів внаслідок наявності агресивного хімічного середовища. Мережа електроживлення – трифазна, 380/220 В.

Поразка електричним струмом може відбутися при короткому замиканні проводки на металевий корпус апаратури, при недотепному обігу з електрообладнанням, при випадковому торканні струмоведучих частин. Для захисту персоналу від поразки електричним струмом застосовуються занулення, що забезпечує швидке відключення апарата при замиканні струмоведучих

частин на металевий корпус, обладнання захисного відключення, що автоматично відключають електроустановку при потенційній можливості зіткнення людини зі струмоведучими частинами, а також захисне заземлення [18].

Розрахуємо опір захисного заземлення.

Розрахунки ведеться по формулах, наведених в [19]. Заземлююче обладнання використовує природні заземлювачі (частини металевих конструкцій, що перебувають у землі), обмірюваний опір розтіканню яких $R_e=25$ Ом.

Необхідний опір захисного заземлюючого обладнання для цього випадку (відповідно ДО ДЕРЖСТАНДАРТУ 121.038-81) повинне бути не більш 4 Ом. Отже, додатково до природнього заземлювача монтується штучний з вертикальних сталевих стрижнів довжиною $L=2.5$ м, діаметром 15 мм, верхні кінці яких з'єднуються сталеву смугою перетином 20×4 мм², покладеної в ґрунт (суглинок) з питомим опором $\rho=120$ Ом·м і на глибині $t=0,5$ м.

Контурний заземлювач розташовується по периметру будинку, довжина якого $L_r=70$ м.

При відстані між заземлювачами $a=5$ м необхідна кількість вертикальних електродів складе:

$$n = L_r/a = 70/5 = 14 \text{ штук}$$

Необхідний опір штучного заземлюючого обладнання:

$$R_{ш.} = R_e R_3 / (R_e - R_3) = 25 \cdot 4 / (25 - 4) = 4,76 \text{ Ом}$$

Опір розтіканню вертикальних (R_v) і горизонтальних (R_r) електродів визначається по формулах:

$$\begin{aligned} R_v &= (\rho / 2\pi L) \cdot (\ln(2L/d) + 1/2 \ln((4t+L)/(4t-1))) = \\ &= 120 / (2 \cdot 2.5 / 3.1415) \cdot (\ln(2 \cdot 2.5 / 0.015) + 0.5 \cdot \ln((4 \cdot 1.75 + 2.5) / (4 \cdot 1.75 - 2.5))) = 42 \text{ Ом}; \\ R_r &= \rho / (2\pi L_r) \ln 2L_r^2 / bt_0 = 120 / (2 \cdot 3.1415 \cdot 70) \ln 2 \cdot 70 \cdot 70 / (0.004 \cdot 0.5) = 4.2 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

де ρ – розрахунковий питомий опір ґрунту, Ом·м:

L_{Γ} – довжина горизонтального заземлювача;

b – ширина смуги, м;

t_0 – глибина закладення смуги горизонтального заземлювача, м;

t – глибина закладення вертикального заземлювача;

d – діаметр вертикального заземлювача, м.

Коефіцієнти використання електродів $\eta_z = 0.66$ і $\eta_c = 0.36$

Опір розтіканню групового штучного заземлювача визначається за формулою:

$$R_{\text{ш}} = R_{\Gamma} R_{\text{в}} / (R_{\Gamma} \eta_c + R_{\text{в}} \eta_z n) = 42 \cdot 4.2 / (0.36 \cdot 42 + 4.2 \cdot 0.66 \cdot 14) = 3.27 \text{ Ом.}$$

Цей опір менше заданого (4.76 Ом), що значно підвищує безпека.

Загальний опір заземлюючого обладнання:

$$R_{\text{з,д}} = R_{\text{с}} R_{\text{и}} / (R_{\text{с}} + R_{\text{и}}) = 25 \cdot 3.27 / (25 + 3.27) = 2.9 \text{ Ом,}$$

що менше необхідного за ДСТ 121.030-81.

4.4 Техногенна безпека

Приміщення, де проводиться травлення друкованих плат, ставиться до вибухонебезпечного, тому що виділюваний при травленні водень із атмосферним киснем утворює вибухонебезпечну суміш. Однак це може відбутися лише при відключенні вентиляції, тобто при аваріях. Отже, приміщення ставиться до класу В-Іа. По ступеню пожежної небезпеки дане виробництво згідно СНиП 2.01.02-85 може бути віднесене до категорії Д, тому

що характеризується наявністю тільки неспалених речовин і матеріалів у холодному стані.

Причинами пожежі в цеху можуть стати коротке замикання в ланцюгах харчування електроустаткування; значні перевантаження проводки; погані контакти в місцях з'єднання провідників, що приводять до збільшення перехідного опору, на якому виділяється велика кількість тепла; недбале поводження з вогнем; удари блискавки й ін.

Тому що на виробничій ділянці є велика кількість електроустаткування, а також кислота, використання води для гасіння пожежі небезпечно. Тому передбачається використовувати установку газового об'ємного пожежогасіння, У якості вогнегасної речовини використовується комбінована вуглекислотна-хладонова суміш (85% двоокиси вуглецю, 15% хладону 111В2).

Розрахуємо необхідну масу вогнегасної речовини. Виробнича ділянка – приміщення розміром 5х10 метрів, висота стель – 3 м.

1. Необхідна маса комбінованої вуглекислотно- хладонової суміш m_d , кг, для об'ємного пожежогасіння визначається по формулі [19]

$$m_d = k_6 q_n V,$$

де k_6 – коефіцієнт компенсації невраховуваних втрат суміші, ухвалюється рівним 1.2;

q_n – нормативна масова концентрація суміші, ухвалюється 0.27 кг/м³ при часі заповнення приміщення, рівним 30 сек;

V – обсяг приміщення, що захищається, м³.

$$m_d = 1.2 \cdot 0.27 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 3 = 48.6 \text{ кг}$$

1. Кількість ξ_1 балонів визначається з розрахунку місткості в 40-літровий балон 25 кг суміші:

$$\xi_1 = m_d / 25 = 48.6 / 25 = 2 \text{ повних балона}$$

3. Внутрішній діаметр магістрального трубопроводу d_i , мм, визначається по формулі

$$d_i = d_1 \sqrt{\xi_2}$$

де d_1 – діаметр сифонної трубки балона, мм (30 мм)

ξ_2 – число одночасне балонів, що розряджаються.

$$d_i = 30 \cdot \sqrt{2} = 42.4 = 43 \text{ мм}$$

4. Еквівалентна довжина магістрального трубопроводу l_2 , м, визначається по формулі:

$$l_2 = k_7 l$$

де k_7 – коефіцієнт збільшення довжини трубопроводу для компенсації невраховуваних місцевих втрат (ухвалюється рівним 1.1):

l – довжина трубопроводу по проекту, м (ухвалюється рівної 30 м).

$$l_2 = 1.1 \cdot 30 = 33 \text{ м}$$

5. Площа перетину вихідного отвору зрошувача A_3 , мм², визначається по формулі

$$A_3 = S / \xi_1$$

де S – площа перетину магістрального трубопроводу, мм²;

ξ_1 – число зрошувачів (8).

$$A_3 = 3.1415 \cdot 2 \cdot 33 / 8 = 26 \text{ мм}^2$$

6. Витрата вуглекислотно-холоднової суміші Q , кг/з, залежно від еквівалентної довжини й діаметра трубопроводу визначається як: [15]

$$Q = 5,6 \text{ кг/з}$$

7. Розрахунковий час подачі вуглекислотно-холоднової суміші t , хв, визначається по формулі:

$$t = m_d / 60Q$$

де m_d – розрахункова маса вуглекислотно-холоднової суміші, кг;

Q – витрата вуглекислотно-хладонової суміші, кг/с.

$$t=48,6/5,6=8,7 \text{ хв}$$

8. Маса основного запасу вуглекислотно-хладонової суміші, m , кг, визначається по формулі:

$$m = 1,1m_d(1+k_8/k_6)$$

де k_8 – коефіцієнт, що враховує залишок вуглекислотно-хладонової суміші складу в балонах і трубопроводах, рівний 0.2;

$$m = 1,1 \cdot 48,6 \cdot (1+0.2/1.2)=62,4 \text{ кг}$$

Насадки розташовані на стелі у два ряди по чотири штуки в ряді на відстані 1.5 м від стін і 2 м друг від друга. Вони з'єднані послідовно магістральною трубою діаметром 33 мм, балони з газом розташовані в сусідньому приміщенні.[21]

Визначимо технічні й організаційні заходи на ділянці по травленню друкованих плат. До технічних заходів ставляться протипожежні заходи, застосовувані при будівництві цехи. Зокрема, при будівництві цеху необхідно дотримати наступного:

- територію цеху необхідно постійно містити в чистоті, горюче сміття повинен систематично віддалятися на спеціально відведені ділянки й у міру нагромадження вивозитися;
- усі струмоведучі частини, розподільні обладнання, рубильники й інші пускові апарати монтуються на негорючих підставах (мармур, текстоліт, гетинакс, азбест, і т.п.);
- вимір опору ізоляції електромережі проводиться не рідше двох раз у рік. Несправні ділянки знеструмлюються й замінюються новими;
- уся електрична апаратура, установлена в цеху, виконується вибухозахищеної;
- для освітлювальної проводки в цеху застосовуються тільки проведення в кислотозахисній оболонці;

- для усунення можливості проникнення пар і газів із цеху в сусідні приміщення висновки проводів крізь стіни робляться із застосуванням порцелянових трубок, отвору яких закриваються кислотно захисною замазкою;
- опалення акумуляторного приміщення робиться централізованим (водяним або паровим) у вигляді цілих зварених труб без фланців і вентилів;
- на дверях цеху виконується великий напис “Вогнебезпечно, з вогнем не входити!”;
- паління в приміщенні строго забороняється;
- на випадок виникнення пожежі необхідно передбачити можливість евакуації людей. Евакуаційні шляхи повинні забезпечувати евакуацію всіх людей, що перебувають у приміщенні цеху протягом необхідного часу. Число евакуаційних шляхів не менш двох;
- двері на шляхах евакуації навішуються так, щоб відкривалися по напрямкові виходу з будинку;
- обладнання розсувних і під’їзних дверей на шляхах евакуації не допускається;
- мінімальна ширина дверей на шляхах евакуації не менш 0,8 м;
- висота переходу на шляхах евакуації не менш 2 м;
- обладнання кручених сходів і щаблів на шляхах евакуації не допускається;
- схема евакуації людей ретельно розробляється й вивішується на видних місцях;
- увесь трудовий колектив проходить навчання заходам протипожежної безпеки [22].

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

- Аналіз існуючих приладів для реєстрації шкідливих газів показав, що поєднанням сучасних датчиків і мікроконтролерів дозволяє створити надійні прилади для постійного контролю екологічних показників, що можуть бути інтегровані в системи «Розумного будинку».
- Розроблено бюджетний прилад для реєстрації концентрації CO₂, вимірювання температури та вологості повітря у житлових приміщеннях, що відрізняється простотою експлуатації, невеликою вагою, габаритними розмірами та екологічністю. Застосування модуля бездротового зв'язку ESP07 забезпечує високий рівень автономності та гнучкості системи, зокрема можливість доступу до даних через Інтернет в режимі реального часу.
- Результати моделювання на платформі Tinkercad показали, що такий підхід дозволяє проводити повноцінне тестування усіх компонентів схеми, що скорочує час і витрати на розробку, мінімізуючи ризики технічних помилок перед створенням фізичної моделі.

Результати роботи обговорювались на XVIII університетській науково-практичній конференції студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «МОЛОДА НАУКА-2025»

Запропоноване технічне рішення може бути використано для екомоніторингу навчальних, житлових та промислових приміщень, реалізації системи «Розумний будинок».

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 1. Вуглекислий газ: як утворюється, для чого використовується? Наука і техніка. URL: <https://surl.li/cwbktw> (дата звернення 20.03.2025).
2. За два роки повномасштабної війни в Україні росія завдала збитків клімату на \$32 млрд. Екодія. URL: <https://surl.li/wmzebe> (дата звернення 20.03.2025).
3. Чому важливо знати значення CO₂? Автоскопірад. URL: <https://surl.li/ykpalx> (дата звернення 20.03.2025).
4. Santonico M., Zompanti A., Sabatini A., Vollero L., Grasso S., Pennazza G. CO₂ and O₂ Detection by Electric Field Sensors . *Sensors*. 2020. Vol. 20, № 3. P. 668.
5. Brown S. L., Goulsbra C. S., Evans M. G., Heath T., Shuttleworth E. Low cost CO₂ sensing: A simple microcontroller approach with calibration and field use. *HardwareX*. 2020. Vol. 8. Article e00136. DOI: 10.1016/j.ohx.2020.e00136.
6. Sugriwan I., Ramdhani A. S., Fahrudin A. E., Suryajaya. Data acquisition system in measuring carbon dioxide, humidity and temperature: design and fabrication. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2021. Vol. 758, № 1. Article 012015. DOI: 10.1088/1755-1315/758/1/012015.
7. Shrestha I. R., Maharjan M., Sharma M. Air Pollution Monitoring System Using Micro Controller Atmega 32A and MQ135 Gas Sensor at Chandragiri Municipality of Kathmandu City. *Semiconductor Science and Information Devices*. 2022. Vol. 4, № 2. DOI: 10.30564/ssid.v4i2.4884.
8. Xu M., Tian W., Lin Y., Xu Y., Tao J. Development of a Compact NDIR CO₂ Gas Sensor for a Portable Gas Analyzer. *Micromachines*. 2024. Vol. 15, № 10. P. 1203.
9. Designing CO₂ Monitoring System for Agricultural Land Utilizing Non-Dispersive Infrared (NDIR) Sensors for Citizen Scientists. *AgriEngineering*. 2025. Vol. 7, № 3. Article 85. DOI: 10.3390/agriengineering7030085.
10. Müller M., Graf P., Meyer J., Pentina A., Brunner D., Perez-Cruz F., Hüglin C., Emmenegger L. Integration and calibration of non-dispersive infrared (NDIR) CO₂

low-cost sensors and their operation in a sensor network covering Switzerland. *Atmos. Meas. Tech.* 2020. Vol. 13, № 8. P. 3815-3834.

11. Dari G. U., Hamdani D., Setiawan I. Design and Build a Hazardous Gas Monitoring Device (CO, CO₂, CH₄) upon Cigarette Smoke in an Enclosed Space Based on Arduino Uno and GSM SIM 900A. *Journal of Research and Technology*. 2022. Vol. 8, № 2. P. 289-302.

12. Low-Cost CO₂ NDIR Sensors: Performance Evaluation and Machine Learning Calibration. *Sensors*. 2024. Vol. 24, № 17. Article 5675. DOI: 10.3390/s24017675.

13. López-Vargas A., Ayesheshim M. An Internet of Things-Based Air Quality Monitoring System Using CO₂ Sensors and ATmega Microcontrollers. *Int. Conf. on IoT Systems*. 2021. P. 112-118.

14. Kim D., Park J., Choi S. Portable CO₂ Detector Based on NDIR Sensor and Atmega328 Controller. *Proc. IEEE Sensors Conf.* 2022. P. 1450-1453.

15. Rana M., Verma A. Smart Indoor Air Quality Monitoring with Atmega and NDIR CO₂ Sensor . *Int. J. of Engineering Research*. 2023. Vol. 12, № 6. P. 505-511.

16. Silva R., Costa P., Almeida F. Design of an Energy-Efficient CO₂ Logger Based on ATmega Controller and NDIR Sensor . *Renewable Energy and Environment Conf.* 2022. P. 332-338.

17. Patel H., Joshi R. Arduino-Based CO₂ and VOC Monitoring for Indoor Environments .*Int. Conf. on Smart Systems*. 2020. P. 210-216.

18. Газоаналізатор. Види та призначення. Архів статей. URL: <http://arhiv-statey.pp.ua/> (дата звернення січень 2025 р.)

19. Ткачук К.Н. Охорона праці та промислова безпека: навч. посіб. / К.Н. Ткачук та ін. Київ: Основа, 2014. 823с.

20. Зеркалов Д. В. Охорона праці в галузі. Київ: Основа. 2011. 551с.

21. Кепич Т.Ю. Охорона праці в галузі / Т.Ю. Кепич та ін. Київ: КНУ, 2013. 255с.

22. ДСТУ 7238:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби колективного захисту працюючих. Чинний від 14.03.2011. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2011. 78 с.



Науково-дослідна частина

Наукове товариство студентів, аспірантів і докторантів

Рада молодих вчених



ЗБІРНИК

наукових праць студентів,

здобувачів PhD, докторантів і молодих вчених

«МОЛОДА НАУКА-2025»

Том V

«Секції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні
Запорізького національного університету»

Запоріжжя
2025

2025=УДК: 001 (06)
М 754

2

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Бондар О.Г. – голова оргкомітету, в.о. ректора;
Васильчук Г.М. – заступник голови оргкомітету, проректор з наукової роботи;
Амінов Р.Ф. – завідувач навчально-науково-дослідної лабораторії клітинної та організмної біотехнології науково-дослідної частини, голова Ради молодих вчених ЗНУ;
Арабаджієв Д.Ю. – начальник науково-дослідної частини;
Бєлоконь К.В. – заступник директора з наукової роботи Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні ЗНУ;
Будько Д.З. – голова НТСАД ЗНУ;
Вєрбицька Т.А. – голова НТСАД біологічного факультету;
Гора С.М. – голова НТСАД факультету іноземної філології;
Сєтушенко Д.С. – старший викладач кафедри конституційного та адміністративного права;
Єгорова В.С. – голова НТСАД математичного факультету;
Залужна М.В. – доцент кафедри англійської філології та лінгводидактики;
Зубцова Ю.Є. – доцент кафедри дошкільної та початкової освіти;
Казакова О.М. – доцент кафедри всевітньої історії та міжнародних відносин;
Кайшева Д.О. – голова НТСАД факультету менеджменту;
Кашун К.Р. – голова НТСАД факультету історії та міжнародних відносин;
Караулова С.І. – професор кафедри фізичної кулі ури і спорту;
Ковпак В.А. – професор кафедри соціальних комз ікацій та інформаційної діяльності;
Козуб Д.К. – голова НТСАД факультету соціальної педагогіки та психології;
Копійка В.В. – доцент кафедри фізіології, імунології і біохімії з курсом цивільного захисту та медицини;
Леонгєєва В.В. – доцент кафедри фундаментальної та прикладної математики;
Лєсьєка Н.В. – доцент кафедри політології;
Лєненко А.В. – доцент кафедри управління персоналом і маркетингом;
Лєхов Г.І. – голова НТСАД юридичного факультету;
Мєркулова О.В. – старший викладач кафедри української мови;
Олійник О.М. – доцент кафедри бізнес-адміністрування і менеджменту зовнішньо-економічної діяльності;
Проскура О.Д. – голова НТСАД економічного факультету;
Рибка Д.О. – голова НТСАД факультету журналістики;
Сєражєєва Є.В. – голова НТСАД факультету фізичного виховання, здоров'я та туризму;
Тєрабан Є.В. – голова НТСАД Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні ЗНУ;
Трипольська О.О. – провідний фахівець Центру наукової роботи студентів НДЧ;

Леміш Данило
магістрант 2 курсу ІННІ ім. Ю. М. Потебні ЗНУ
Наук. кер.: к.т.н., доц. Небеснюк О.Ю.

ПРИЛАД ДЛЯ МОНІТОРИНГУ РІВНЯ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ В ПРИМІЩЕННІ

До того як на Землі зародилося життя, основу її атмосфери становив вуглекислий газ. Коли з'явилися рослини, вони стали у величезних кількостях використовувати CO_2 під час фотосинтезу, і його кількість знизилася до часток відсотка. Для обігріву атмосфери цього було достатньо, тому що CO_2 пропускає ультрафіолетові сонячні промені.

Якщо концентрація вуглекислого газу зростала, з'являлися хмари вуглекислоти, які призводили до похолодання. Загалом завдяки цьому газу температура на Землі залишалася стабільною мільйони років.

З початком індустріальної епохи рівень CO_2 в атмосфері зріс на 40%. Це сталося через масштабне спалювання викопного палива, лісові пожежі, виверження вулканів. Тепер, як зазначає сайт NASA в частині, яка присвячена глобальному клімату, вуглекислий газ став учасником парникового ефекту на планеті. Парникові гази затримують інфрачервоне випромінювання Землі, перегрівують при цьому атмосферу і беруть участь у процесі глобального потепління [1].

Якість повітря оцінюють за вмістом у ньому вуглекислого газу — CO_2 через те, що його можна виміряти з високою точністю та через його сильний вплив на стан організму людини. За його концентрацією судять також про вміст у повітрі інших шкідливих речовин. CO_2 – вуглекислий газ або діоксид вуглецю – безбарвний газ, який не має запаху при малих концентраціях. Вуглекислий газ виділяється людьми, тваринами та рослинами, наприклад, організм людини здатний виділити близько 1 кг вуглекислого газу на добу. Концентрацію вуглекислого газу оцінюють у ppm (частин на мільйон) – кількість кубічних сантиметрів CO_2 на 1 кубометр повітря. Тобто, коли кажуть рівень CO_2 у приміщенні становить 800 ppm — це означає, що в 1 м³ повітря міститься 800 см³ CO_2 .

Війна в Україні поглибила кліматичну кризу, викликавши значні викиди вуглекислого газу та інших парникових газів в атмосферу. За останніми підрахунками фахівців Міндовкілля та міжнародних експертів, внаслідок війни зафіксовано щонайменше 33 млн тонн викидів CO_2 (від бойових дій – близько 8,9 млн тонн; від пересування внутрішньо переміщених осіб – близько 1 млн тонн; від пожеж – понад 23,4 млн тонн). Потенційні непрямі викиди парникових газів внаслідок необхідності післявоєнного відновлення та реконструкції оцінюються у близько 48,7 млн тонн CO_2 [2].

З медичної точки зору, в першу чергу діоксид вуглецю впливає на центральну нервову систему. При концентраціях близьких до 2% погіршується умовно-рефлекторна діяльність, зменшується вентиляторна функція легких, порушується гомеостаз. При концентрації близько 5% відбувається пригнічення

електричної активності мозку. При попаданні в організм повітря з перевищеною концентрацією CO_2 збільшується парціальний тиск двоокису вуглецю в легких і його розчинність в крові, з-за чого утворюється слабка вугільна кислота ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3$), що розпадається в кінцевому підсумку на H^+ і HCO_3^- . Відбувається закипання крові, що в медичній термінології називається ацидозом. Чим вище вміст вуглекислого газу в повітрі, який ми вдихаємо, тим швидше відбувається зміна pH в крові.

Існує прямий зв'язок між концентрацією CO_2 та відчуттям задихи. Це відчуття виникає у здорової людини на рівні 0,08% (тобто 800 ppm). У високих концентраціях вуглекислий газ токсичний, його відносять до задихлих газів та IV класу небезпеки. При підвищенні концентрації CO_2 у повітрі (0,15%-0,2% або 1500-2000 ppm), виникає загальна млявість, знижується працездатність та концентрація уваги, з'являється сонливість та слабкість. Вміст CO_2 понад 0,7% або 7000 ppm вважається небезпечним для здоров'я людини [3].

Для того, щоб досягти високої якості повітря у житловому приміщенні, рівень CO_2 не повинен перевищувати 800 ppm. Для замських будинків вимоги вищі — повітря вважатиметься якісним, якщо вміст CO_2 нижчий за 750 ppm.

Таким чином, для контролю оптимального рівня вуглекислого газу в приміщенні є достатньо актуальним питанням.

Авторами запропоновано прилад для вимірювання рівня вуглецю в приміщенні, що живиться від батарейки, вимірювання проводяться кожні 10 хвилин і виводяться на цифровий індикатор. Так як на покази чутливого елемента (газового сенсора) впливає температура і вологість, то в конструкції передбачено застосування відповідного датчика. Передбачена можливість дистанційної передачі даних приладу через модуль Wi-Fi.

Література

1. Вуглекислий газ: як утворюється, для чого використовується? Наука і техніка. URL: <https://surl.li/cwbktw> (дата звернення 20.03.2025).
2. За два роки повномасштабної війни в Україні росія завдала збитків клімату на \$32 млрд. Екодія. URL: <https://surl.li/wmzebe> (дата звернення 20.03.2025).
3. Чому важливо знати значення CO_2 ? Автоскоприлад. URL: <https://surl.li/ukpalx> (дата звернення 20.03.2025).

Лучков Олександр
здобувач 4 курсу ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ
Наук. кер.: канд. техн. наук, доц. Верьовкін Л.Л.

ПРИСТРІЙ АВТОМАТИЧНОГО ЗБЕРЕЖЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ МЕРЕЖЕВОЇ АПАРАТУРИ

Найбільш небезпечним для електроприладів і радіоапаратури є аварійне підвищення мережевої напруги. Це може статися при обриві із-за сильного