

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ ІНСТИТУТ

ФАКУЛЬТЕТ ЕНЕРГЕТИКИ , ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра мікроелектронних інформаційних систем  
(повна назва кафедри )

**Кваліфікаційна робота**

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти )

на тему Дослідження та розробка пристрою для моніторингу  
повітряного середовища

Виконав: студент II курсу, групи МН-18-1мз  
спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна  
техніка

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Мікроелектронні інформаційні  
системи

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації \_\_\_\_\_

(код і назва спеціалізації)

Нікітішина А.О.

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент, доцент, к.т.н, Небеснюк О.Ю.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент директор, ТОВ «Омега-ЛТД» Шевченко Т.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя  
2020

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ ІНСТИТУТ**

Факультет енергетики електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра мікроелектронних інформаційних систем  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Спеціальність 153 «Мікро- та наносистемна техніка»  
(код і назва)  
Освітня програма Мікроелектронні інформаційні системи  
(код і назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**З А В Д А Н Н Я**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

\_\_\_\_\_  
Нікітішиній Анастасії Юріївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Дослідження та розробка пристрою для моніторингу повітряного середовища

керівник роботи Небеснюк Оксана Юріївна, к.т.н., доцент,

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

затверджені наказом ЗНУ від “10” вересня 2019 року № 1537-с

2 Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_ 26 грудня 2019 року

3 Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) \_\_\_\_\_

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

## 6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
I	Небеснюк О.Ю., доцент		
II	Небеснюк О.Ю., доцент		
III	Небеснюк О.Ю., доцент		
IV	Небеснюк О.Ю., доцент		

7 Дата видачі завдання 02.09.2019 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд	08.11.12	
2	Розрахункова частина	02.12.2019	
3	Техніко-економічне обґрунтування розробки	02.12.2019	
4	Розробка заходів із охорони праці та техногенної безпеки	09.12.2019	
5	Розробка графічної частини роботи	23.12.2019	
6	Оформлення пояснювальної записки	23.12.2019	
7	Нормоконтроль	26.12.2019	
8	Попередній захист роботи	26.12.2019	

Студент \_\_\_\_\_ Нікітішина А.Ю.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) \_\_\_\_\_ Небеснюк О.Ю.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

### Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ Верьовкін Л.Л.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
I АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ВУГЛЕЦЮ .....	9
1.1 Дослідження вмісту CO <sub>2</sub> .....	9
1.1.1 Гранично допустима концентрація .....	9
1.1.2 Медичне обґрунтування небезпеки CO <sub>2</sub> .....	10
1.1.3 Накопичення вуглекислого газу, проблема вентиляції .....	12
1.1.4 Дослідження моніторингу якості повітря .....	16
1.2 Здійснення контролю над концентрацією вуглекислого газу .....	17
1.2.1 В Україні .....	17
1.2.2. У країнах Європи і США .....	18
1.3 Загальне оцінювання міжнародними організаціями стану повітря .....	19
1.4 Методи вимірювання вуглекислого газу .....	22
1.4.1 Аналогові методи вимірювання CO <sub>2</sub> .....	22
1.4.2 Цифрові методи вимірювання CO <sub>2</sub> .....	23
1.4.3 Аналіз готових газоаналізаторів .....	25
1.4.4 Лабораторії по проведенню вимірів CO <sub>2</sub> .....	27
II РОЗРОБКА ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРИСТРОЮ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ CO <sub>2</sub> .....	29
2.1 Контролер Arduino .....	29
2.2 Аналіз датчиків CO <sub>2</sub> .....	31
2.2.1 Датчик TGS4161 .....	31
2.2.2 Датчик MG811 .....	34
2.2.3 Датчик MH-Z19 .....	37

	6
2.2.4 Датчик MQ135 .....	39
2.2.5 Датчик DHT 11 .....	42
2.3 Вибір мережного датчика .....	43
2.3.1 Визначення типу мережевого датчика .....	43
2.3.2 Модуль ESP8266 ESP-07 .....	46
2.4 Обґрунтування вибору елемента живлення .....	48
2.5 Електрична схема детектора вуглекислого газу .....	50
2.6 Коригування датчика MQ135 .....	54
2.7 Експериментальне підтвердження .....	60
2.8 Вимоги до установки детекторів вуглекислого газу .....	61
3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ .....	63
3.1 Огляд газоаналізаторів .....	63
3.2 Порівняльний аналіз газоаналізаторів за критеріями .....	67
3.3 Розрахунок витрат на елементи електричної схеми .....	71
IV ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА .....	73
4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів .....	73
4.2 Техніка безпеки при користуванні електроприладами .....	74
4.3 Заходи з поліпшення умов праці та виробнича санітарія .....	74
4.4 Заходи електробезпеки .....	75
4.5 Пожежна безпека .....	78
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ .....	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	85
<b>Додаток А</b> .....	87
<b>Додаток В</b> .....	89

## 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.

Вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ , вуглекислота, діоксид вуглецю, двоокис вуглецю) являє собою безбарвний газ без запаху. Він виділяється людиною при видиху, а також при спалюванні нафти, бензину, природного газу.

Медичні дослідження показують, що підвищений вміст  $\text{CO}_2$  в приміщенні впливає на самопочуття людини та може призвести до погіршення здоров'я (таблиця 1.1). Найбільш чутливою до збільшеної кількості  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  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 [1].

Темп життя сучасної людини, безперечно, став вище і щодня серед величезного потоку інформації вкрай важко приділити час для роздумів на тему стану навколишнього середовища. Всі люди зі шкільного віку знайомі з непохитними основами безпеки життєдіяльності і знають, що може завдати людині шкоди. З плином розвитку різних технологій збільшується кількість небезпек, раніше не відомих простій людині, але так само здатних робити життя гірше.

Про небезпеку, що виникає при тривалому впливі на людину вуглекислого газу, не говорять кожен день в новинах, тому обізнаність людей в даній сфері майже нульова. У світі тільки починають усвідомлювати всі можливі наслідки впливу  $\text{CO}_2$  в той час, як деякими хворобами, викликаними саме

щоденним поглинанням повітря з високим вмістом вуглекислоти, ми страждаємо вже зараз.

У певному сенсі це можна вважати недоглядом екологічних організацій, які повинні займатися дослідженнями в даній галузі, адже будь-яка проблема в першу чергу повинна мати експериментально-підтвержене обґрунтування.

Дуже важливо донести, в першу чергу, до керівників великих організацій важливість проблеми, адже більшу частину часу люди проводять на робочому місці і часто не можуть вплинути на ситуацію в організації. Дитина найчастіше залишається заручником ситуації і може на протязі всього навчання дихати повітрям поганої якості, відчувати різного роду недуги від підвищеної концентрації CO<sub>2</sub> в приміщенні. Тому розробка пристрою для моніторингу повітряного середовища є достатньо актуальною задачею.

## I АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ВУГЛЕЦЮ

Перш ніж приступити до аналізу проблеми, що виникає через низький контроль концентрації вуглекислого газу в громадських місцях і особливо в освітніх установи, необхідно визначити поняття об'єкта дослідження.

Вуглекислий газ являє собою безбарвний газ без запаху. Найчастіше CO<sub>2</sub> зустрічається в газоподібному стані, але в твердому вигляді його так само можна зустріти в якості сухого льоду. Діоксид вуглецю існує в складі гірської води, виділяється при виверженні вулканів та вирубці дерев.

Вуглекислий газ виділяється людиною при видиху, а так само при спалюванні нафти, бензину, природного газу. Діоксид вуглецю ще називають «парниковим газом», так як він, поглинаючи тепло в атмосфері і посилюючи його частину назад на поверхню землі, сприяє глобальному потеплінню. Як одиниці виміру рівня CO<sub>2</sub> використовується величина ppm, 1000 ppm = 0,1%.

Всі джерела викиду вуглекислого газу підвищують загальний рівень CO<sub>2</sub> на планеті, що не тільки сприяє зміні клімату, але і вкрай негативно позначається на самопочутті кожної людини.

Роль вуглекислоти в нашому житті сильно недооцінена. Порівняно недавно люди стали серйозно замислюватися про причини зниження рівня життєвої активності у жителів мегаполісів, підвищеної стомлюваності і зростаючій кількості людей, які страждають головними болями. Як не дивно, вуглекислий газ є найголовнішою причиною багатьох подібних проблем.

### 1.1 Дослідження вмісту CO<sub>2</sub>

#### 1.1.1 Гранично допустима концентрація

Вуглекислий газ міститься в навколишньому чистому атмосферному повітрі в концентрації 0,04%. Подібну цифру практично не можна зустріти в



місцях, де живе людина. Зазвичай в мегаполісах концентрація вуглекислоти в повітрі становить 0,06 - 0,08%, і саме такий повітря потрапляє до нас у будинки і робочі приміщення через вентиляцію. Таким чином, навіть дуже хороша вентиляція не здатна зробити повітря, що ми видихаємо ідеально чистим. Виключення можна зробити тільки для тих, хто живе і працює в екологічно чистому місці, що зустрічається вкрай рідко.

Як вже було сказано раніше, вуглекислий газ справляє людина при видосі. Кожна людина за одну годину в спокійному стані поглинає близько 20 - 30 літрів кисню з виділенням 18-25 літрів вуглекислоти. Це означає, що у повітрі, що видихає людина міститься вуглекислого газу майже в 100 разів більше, ніж у чистому атмосферному повітрі.

Велике дослідження по визначенню гранично допустимої концентрації вуглекислого газу в приміщеннях провела В. О. Єлісеєва [1]. На отриманих нею результати ґрунтується більшість екологів, які намагаються донести до населення небезпеку вуглекислоти. Самим головним висновком є те, що концентрація  $\text{CO}_2$  в житлових і громадських приміщеннях не повинна перевищувати 1000 ppm, а середній вміст не повинен перевищувати 500 ppm.

Після перевищення цього рівня збільшується кількість скарг на погану якість повітря, і поступово починають проявлятися ознаки задухи вуглекислим газом [2].

### 1.1.2 Медичне обґрунтування небезпеки $\text{CO}_2$

Багато чого з того, що відчуває на собі людина, викликане саме постійним вдиханням повітря з перевищеною концентрацією вуглекислого газу. Апатія, неможливість зосередитись до кінця робочого дня, втома вранці, втрата посидючості та уваги, поганий сон – все це симптоми недоліку чистого повітря. У таблиці 1.1 представлено вплив вмісту  $\text{CO}_2$  на здоров'я людини в приміщенні.

З медичної точки зору основний вплив 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 [3].

При попаданні в організм повітря з перевищеною концентрацією  $\text{CO}_2$  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  $\text{H}^+$  і  $\text{HCO}_2^-$ . Відбувається закидання крові, що в медичній термінології називається ацидозом. Чим вище вміст вуглекислого газу в повітрі, який ми вдихаємо, тим швидше відбувається зміна рН в крові.

Ацидоз у свою чергу може привести організм до критичного стану. Деякі можливі наслідки:

- підвищення згортання крові;
- інфаркт міокарда;
- порушення функції мозку;
- кома;
- летальний результат.

В таблиці 1.1 представлені наслідки підвищеного вмісту  $\text{CO}_2$  в приміщенні на людину [4].

Таблиця 1.1 - Вплив підвищеного вмісту вуглекислого газу в приміщенні на організм людини

Рівень $\text{CO}_2$ в приміщенні вище 800 ppm	
Короткочасний вплив	Основні симптоми: • відчуття нестачі повітря
Короткочасний вплив (кілька годин)	• головний біль • втома

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• запаморочення</li> <li>• погана концентрація уваги</li> <li>• апатія</li> <li>• відчуття спеки</li> <li>• роздратування очей, носоглотки</li> <li>• поганий сон</li> </ul>
<p>Тривалий вплив (Регулярно, від декількох годин до декількох років)</p>	<p>Метаболічний ацидоз. Можливі наслідки:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• захворювання крові</li> <li>• діабет</li> <li>• захворювання серцево - судинної системи</li> <li>• набір ваги</li> <li>• крихкість кісток</li> </ul>
	<p>Якість сну:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• безсоння</li> <li>• немає відчуття бадьорості</li> <li>• посилення хропіння</li> </ul>
	<p>Погіршення репродуктивної функції людини.</p>
	<p>Негативні зміни в ДНК.</p>

### 1.1.3 Накопичення вуглекислого газу, проблема вентиляції

Вуглекислота може накопичуватися в приміщеннях. Якщо приміщення не має вентиляційного отвору або вентиляція працює не досить ефективно, то концентрація вуглекислого газу буде постійно збільшуватися. У якийсь

момент в невентильованому приміщенні концентрація вуглекислоти може досягти рівня 5000 ppm і дихати таким повітрям стане небезпечно для життя.

У таблиці 1.2 наведені результати вимірів змісту CO<sub>2</sub> в повітряному середовищі приміщень різних типів будівель [5-8].

Таблиця 1.2 - Зміст CO<sub>2</sub> в повітряному середовищі приміщень різних типів будівель

Об'єкт дослідження	Місце, час і умови вимірів	Концентрація CO <sub>2</sub> (ppm)
Атмосферне повітря	за містом	300-400
	в спальних районах міста	450-500
	поряд з автомагістралями	800-900
	на магістралі	1000-1500
	в салоні автомобіля	до 4500
Житлові квартири	в денний час	600-800
	після сну	1000-1200
	кухня з електроплитою	800-1000
	кухня з газовою плитою (через 1,5 години роботи однієї комфорки)	до 5500
Адміністративні будівлі	на початку робочого дня	400-600
	в кінці робочого дня	1000-1200
Навчальні заклади	до занять	400-500
	після занять	800-1500
Дитячі садочки	до приходу дітей	400-500
	з дітьми	600-700

Як видно з результатів, наведених в таблиці, концентрація CO<sub>2</sub> в атмосферному повітрі залишається нормальною тільки за містом. В інших випадках спостерігається підвищена концентрація вуглекислоти, особливо поблизу і на автомагістралях. Це означає, що навіть при достатньому провітрюванні приміщень, що знаходяться в даному районі, повітря не стане чистішим.

Результати замірів в житлових квартирах показують, що навіть в денний час утримання CO<sub>2</sub> сильно наближене до максимально допустимої концентрації в 1000 ppm, а під час сну і зовсім перевищує її. Концентрація різко зростає при вимірах, зроблених в кімнатах зі склопакетами. В такому випадку кімната повністю позбавляється природних джерел вентиляції та CO<sub>2</sub> поступово накопичується.

Одними з найважливіших результатів таблиці 1.2 є виміри з вмістом CO<sub>2</sub> в навчальних закладах і дитячих садах. У школах місцем перебування дітей є клас, в якому можуть перебувати одночасно від 15 до 30 осіб. У дитячому садку найдовше діти знаходяться в кімнатах для сну, де кількість осіб так само дуже багато. Найчастіше дані приміщення відповідають нормам, зазначеним у СНиП 41-01-2003 [9] і в СТО НП "АВОК" 2.1-2008 [10], але в Україні немає нормативних документів, що зобов'язують освітні установи самостійно проводити заходи концентрації CO<sub>2</sub> і, відповідно, регулювати його зміст за допомогою своєчасного провітрювання.

При активній розумовій діяльності кожна дитина виробляє вуглекислого газу більше, ніж в звичайному стані, і в кінці заняття, як показали результати, рекомендована дослідниками норма сильно перевищена. Це означає, що під кінець уроку діти можуть відчувати різного роду нездужання: головний біль, втому, неможливість зосередитися, задишку, помилково приписуючи ці симптоми до труднощі предмету. Постійне вдихання повітря, пересичені вуглекислотою, послаблює носоглотку дитини, а значить, в подальшому не уникнути зараження різними респіраторними інфекціями.

Останнім часом при капітальних ремонтах шкіл в класах встановлюють склопакети. Даний вид вікон більш довговічний і добре тримає тепло, на

відміну від дерев'яних аналогів, але так само ці вікна виключають можливість природного вентилявання. Відкривати вікна під час уроку не завжди можливо, зважаючи на різні погодні умови, а позбавлятися від накопиченого вуглекислого газу потрібно завжди і головне вчасно, до появи перших симптомів. Установка в класах різного роду кисневих генераторів не врятує від даної проблеми, адже збільшення концентрації кисню в приміщенні не знижує рівень  $\text{CO}_2$ . На щорічному конгресі респіраторного товариства в 2006 році [13] обговорювалося дане питання, були представлені графіки, демонструючи зростання рівня діоксиду вуглецю рисунок 1.1 і падіння рівня кисню рисунок 1.2 в шкільному класі під час уроку.

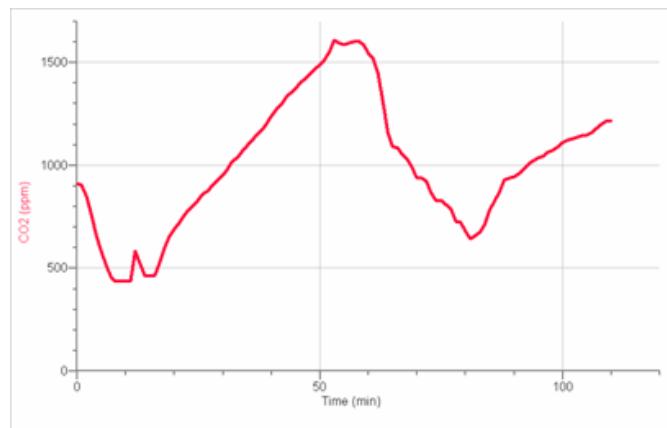


Рисунок 1.1 - Графік зміни рівня вуглекислого газу в класі

За день концентрація вуглекислого газу може змінюватися у декілька разів. Якщо до занять у класі концентрація  $\text{CO}_2$  приблизно 400-500 ppm, то після занять концентрація  $\text{CO}_2$  може становити 1500 ppm. Тому необхідно провітрювати приміщення кожні 2 години.

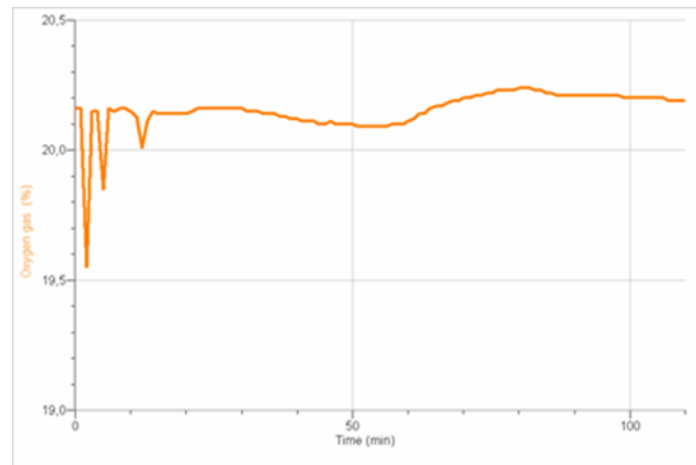


Рисунок 1.2 - Графік зміни рівня кисню в класі

Представлені графіки наочно показують процес накопичення вуглекислого газу з плином уроку. Після провітрювання класу на позначці близько 50 хвилин відбувається різке падіння рівня  $\text{CO}_2$ , в той час як рівень кисню піднявся лише на 0,1%.

Часто трапляється так, що під час шкільних занять приміщення можуть жодного разу не провітрити. Кожен новий клас дітей буде тільки підвищувати концентрацію вуглекислого газу та до кінця дня займатися буде вкрай важко. Така ситуація може траплятися щодня впродовж усього навчального року, діти будуть продовжувати дихати небезпечним повітрям, день від дня отруюючи свій організм.

Важливим підтвердженням існування проблеми є велике дослідження групи американських вчених, яке описано в наступному параграфі.

#### 1.1.4 Дослідження моніторингу якості повітря

У 2003 році в США членами товариства інженерів з опалення, охолодження та кондиціювання повітря (ASHRAE) було проведено велике дослідження якості внутрішнього повітря в школах.

Дослідження проводилося у 2003/2004 навчальному році, як об'єкти для моніторингу якості повітря були обрані 85 приміщень 8 шкіл з штату Мі-

несота, розташованих в різних районах. У вибраних школах були встановлені спеціальні датчики, які реєструють концентрацію CO<sub>2</sub> і деякі інші шкідливі речовини, наприклад СО. Зважаючи на зміну пори року пристрою були обладнані датчиками температури і вологості. Дані пристрої проводили заміри кожен 20 секунд у всіх приміщеннях школи і передавали інформацію на центральний сервер. Результати за годину вимірювань усереднювалися для отримання загальної картини за день. Оброблені дані можна було подивитися на будь-якому комп'ютері, який мав вихід в Інтернет.

Головною особливістю цього дослідження є те, що заміри в приміщеннях проводилися безперервно на протязі всіх занять в школах протягом тривалого періоду часу. Це дозволило відстежити всі зміни, що відбувалися в повітрі, і встановити причини цих змін.

## 1.2 Здійснення контролю над концентрацією вуглекислого газу

### 1.2.1 В Україні

Україна у 2018 році порівняно з 2007 роком скоротила викиди вуглекислого газу в атмосферу на 43,1% - до 124,2 млн. тонн, повідомляє Державна служба статистики.

Також наголошується, що за 10 років обсяг викидів інших забруднюючих речовин скоротився в 2,8 разу - до 2,585 млн. тонн. Таке стрімке зниження рівня викидів, особливо вуглекислого газу, пояснюється падінням рівня промислового виробництва в нашій країні у період 2008-2018 років. Також слід врахувати втрату в статистиці підприємств-забруднювачів, які залишилися на тимчасово окупованій території - в Криму і на Донбасі, які на даний час неможливо контролювати.



### 1.2.2. У країнах Європи і США

За кордоном діоксид вуглецю, як і чадний газ, діоксид сірки, віднесений до розряду забруднюючих речовин. Зміст  $\text{CO}_2$  в зовнішньому повітрі враховується при проектуванні систем вентиляції. В європейському стандарті ЄП 13779 [17] 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  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$ . Розроблена схема передбачала установку газолічильника для димових труб і введення штрафів за перевищення встановлених обсягів.

У стандарті ASHRAE прийнято прийнятне значення змісту  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  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.

### 1.3 Загальне оцінювання міжнародними організаціями стану повітря

#### 1.3.1 Структура викидів парникових газів по секторах економіки

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 CO<sub>2</sub>, 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 CO<sub>2</sub>, 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.



Рисунок 1.3.1 - Можливий вклад технологій у зменшення обсягу викидів парникових газів у світі

Паливно-енергетичний баланс планети складається в основному з «забруднювачів»: нафти (40,3 %), вугілля (31,2 %), газу (23,7 %). У сумі на них припадає більша частина використання енергоресурсів (95,2 %). «Чисті» види – гідроенергія й атомна енергія – становлять у сумі менше 5 %, а на «м'які» види, які не забруднюють атмосферу – вітрову, сонячну, геотермальну, припадають сьогодні незначна частка. Глобальне завдання полягає в збільшенні частки «чистих» і особливо «м'яких» видів енергії.

За оцінкою Європейської комісії на підставі аналізу «Бази даних викидів для глобальних дослідження атмосфери» і статистичних оглядів щодо ефективності використання енергії із урахуванням супутніх заходів (спалювання супутнього газу, виробництво цементу тощо) у 2011 р. світові обсяги викидів продуктів горіння зросли на 3% і досягли рекордного значення в 34

млрд. т, незважаючи на скорочення обсягу їх викиду в країнах ОЕСР. Несприятливі економічні умови, м'яка зима й високі ціни на нафту (2011 р.) сприяли зниженню обсягів викидів ПГ в ЄС на 3%, а в США і Японії — на 2%. У Китаї та Індії обсяги викидів зросли на 9% і 6% відповідно.

Таблиця 1.3 - Динаміка обсягу викидів CO<sub>2</sub>, кт

Країни	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Зміна 2012-2018
США	4 990 000	5 870 000	5 940 000	5 740 000	5 330 000	5 530 000	5 420 000	9%
Канада	450 000	550 000	570 000	570 000	530 000	540 000	560 000	24%
Індія	660 000	1 060 000	1 290 000	1 560 000	1 750 000	1 860 000	1 970 000	198%
Китай	2 510 000	3 560 000	5 850 000	7 790 000	8 270 000	8 900 000	9 700 000	286%
Японія	1 160 000	1 280 000	1 320 000	1 250 000	1 180 000	1 260 000	1 240 000	7%
Франція	390 000	410 000	410 000	400 000	380 000	380 000	360 000	-8%
Німеччина	1 020 000	870 000	850 000	860 000	800 000	840 000	810 000	-21%
Великобританія	590 000	550 000	550 000	530 000	490 000	500 000	470 000	-20%
ЄС-27	4 320 000	4 060 000	4 190 000	4 090 000	3 790 000	3 910 000	3 790 000	-12%
Росія	2 440 000	1 660 000	1 720 000	1 800 000	1 740 000	1 780 000	1 830 000	-25%
<b>Україна</b>	<b>770 000</b>	<b>350 000</b>	<b>340 000</b>	<b>340 000</b>	<b>280 000</b>	<b>300 000</b>	<b>320 000</b>	<b>-58%</b>
<b>Усього у світі</b>	<b>22060863,43</b>	<b>24586832,08</b>	<b>28438698,60</b>	<b>30979540,37</b>	<b>30728861,21</b>	<b>32377875,45</b>	<b>33376327,37</b>	<b>51%</b>

Загальносвітове зростання викидів на 3% у 2011 р. перевищило рівень середнього щорічного їх приросту минулого десятиліття, який становив 2,7%. Основними «виробниками» викидів залишаються Китай (29%), США (16%), ЄС (11%), Індія (6%), Росія (5%) і Японія (4%). Разом з тим зростання обсягу викидів ПГ уповільнюється за рахунок розширення використання повновлованих джерел енергії, особливо сонячної та вітрової, а також біопалива. Світова частка цього сектора (без гідроенергетики) з 1992 р. по 2011 р. зросла в чотири рази. У результаті лише за 2011 р. обсяги викидів вуглекислого газу знижено на 0,8 млрд т, що майже рівноцінно обсягу викидів Німеччини за той же період. Слід зазначити що найбільш високий рівень викидів ПГ на людину відмічені у США, Канаді та Росії, що наведено в таблиці.

Таблиця 1.4 - Динаміка обсягу викидів CO<sub>2</sub> на душу населення, кг/люд

Країна	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Зміна 2012- 2018
США	19,70	20,80	20,00	18,80	17,30	17,80	17,30	-12%
Канада	16,20	17,90	17,80	17,00	15,70	16,00	16,20	0%
Індія	0,80	1,00	1,10	1,30	1,40	1,50	1,60	100%
Китай	2,20	2,80	4,50	5,90	6,20	6,60	7,20	227%
Японія	9,50	10,10	10,40	9,90	9,30	10,00	9,80	3%
Франція	6,90	6,90	6,70	6,40	6,10	6,10	5,70	-17%
Німеччина	12,90	10,50	10,20	10,40	9,70	10,20	9,90	-23%
Великобританія	10,30	9,30	9,20	8,70	7,90	8,10	7,50	-27%
ЄС-27	8,78	8,19	8,34	8,09	8,09	8,57	8,57	-2%
Росія	16,50	11,30	12,00	12,60	12,10	12,40	12,80	-22%
Україна	14,90	7,20	7,10	7,40	6,10	6,70	7,10	-52%
Всього в світі	4,30	4,10	4,50	4,70	4,60	4,80	4,90	14%

## 1.4 Методи вимірювання вуглекислого газу

### 1.4.1 Аналогові методи вимірювання CO<sub>2</sub>

Детектування рівня CO<sub>2</sub> необхідно у всіх областях, де він існує в складі повітря, ґрунті, тощо. Вуглекислий газ знаходиться не тільки в приміщеннях і атмосферному повітрі, а й у воді і частково в ґрунті. Залежно від цього методу визначення вмісту діоксиду вуглецю розрізняються за типом, з огляду на їх різноманіття і об'ємності для розгляду будуть запропоновані тільки способи, що стосуються визначення CO<sub>2</sub> в повітрі приміщень.

У методичних розробках для фахівців в області гігієни запропонований метод визначення вуглекислого газу за допомогою відбору проб повітря

для аналізів. Проби повітря в приміщенні збирають в газові піпетки, гумові камери, відкалібровані бутлі або пластмасові мішки. Одержані проби піддаються хімічному аналізу і в залежності від обраного методу в якості поглинаючих середовищ для парів і газів використовуються тверді сорбенти (активоване вугілля, графіт). Проби для аналізу можуть відбиратись одноразово для виявлення максимальної концентрації, а так само безупинно протягом доби. Тривалість відбору становить не більше 20 хвилин, в залежності від методу аналізу і від вмісту домішок шкідливих речовин в повітрі. Відбір

проб необхідно проводити на відстані 1,5 метрів, в зоні дихання дорослої людини. З причини того, що відбір може здійснюватися в різних температурних умовах, необхідно приводити контроль повітря до нормальних умов, а саме  $0^{\circ}\text{C}$  і тиску 760 мм рт.ст.

Подальший аналіз зібраних проб повітря з приміщення може бути здійснений по ряду методів. Найбільш точним є метод Суботіна- Нагорського, заснований на поглинанні  $\text{CO}_2$  їдким барієм відомого титру, де за різницею в титрі, до і після поглинання, визначають кількість діоксиду вуглецю.

Так як даний спосіб досить громіздкий в практиці найчастіше користуються експрес - методом Лунге-Цеккендорфа. Цей метод заснований на пропущенні повітря, зібраного в проби, через розчин вуглекислого натрію (аміаку) в присутності фенолфталеїну.

Аби не заглиблюватися далі в суть методів хімічного аналізу проб з повітрям можна зробити висновок, що подібний варіант вкрай незручний і підходить тільки для разового визначення концентрації  $\text{CO}_2$ . Здійснювати моніторинг приміщень необхідно приблизно кожні 10 хвилин і результат вимірювань повинен бути доступний кожному співробітнику навчального закладу в будь-який час.

#### 1.4.2 Цифрові методи вимірювання $\text{CO}_2$

Проблема складності виконуваних заходів щодо визначення концентрації  $\text{CO}_2$  стала відома досить давно і на зміну аналоговим методам прийшли цифрові портативні пристрої, що називаються газоаналізаторами.

Газоаналізатор — це пристрій для вимірювання якісного і кількісного складу суміші газів. Існує два типи газоаналізаторів: автоматичні і ручні.

Ручні газоаналізатори найчастіше використовуються для лабораторних і контрольних аналізів. Робота з подібними пристроями вимагає певних навичок, а процес взяття проби займає досить тривалий час (5-10 хвилин).

Автоматичні газоаналізатори безперервно вимірюють фізико-хімічний або фізичний склад суміші газів. Існує 3 типи даних приладів:

1. Хімічні (об'ємно-манометричні) - засновані на фізичних методах аналізу з допоміжною хімічною реакцією, за допомогою якої і визначається обсяг газової суміші.

2. Фізико-хімічні - засновані на фізичних методах аналізу з допоміжними фізико-хімічними процесами, а саме:

2.1. Термохімічні процеси - проводиться вимірювання теплового ефекту реакції каталітичного горіння / окислення газу.

2.2. Електрохімічні процеси - можна визначити концентрацію газу в суміші за значенням електричної провідності розчину, який поглинув цей газ.

2.3. Фотоіонізаційні процеси - вимірюється сила струму, який викликаний іонізацією молекул газу фотонами, випромінюваними УФ-лампами.

2.4. Фотоколориметричні процеси - концентрація вимірюється за допомогою зміни кольору визначених речовин, при їх реакції з необхідним компонентом газової суміші.

3. Фізичні - засновані тільки на фізичних методах аналізу.

3.1. Термокондуктометричні газоаналізатори - засновані на вимірюванні теплопровідності газів.

3.2. Денсиметричні - засновані на вимірі щільності газів.

3.3. Магнітні - визначають в основному тільки концентрацію кисню, що володіє більшою магнітною сприйнятливістю.

3.4. Оптичні - засновані на вимірі оптичної щільності газової суміші.

Існують газоаналізатори, здатні в режимі реального часу проводити вимірювання концентрації відразу декількох компонентів газової суміші, їх називають багатоконпонентними.

У порівнянні з описаними раніше методами застосування портативних газоаналізаторів значно спрощує і здешевлює процес визначення концентрації цікавлять компонентів в повітрі. Однозначно вибір зроблений на користь цифрового приладу, далі необхідно оцінити готові пристрої.

### 1.4.3 Аналіз готових газоаналізаторів

При виборі портативних газоаналізаторів для оснащення приміщень освітніх установ, головним критерієм була вартість і простота в управлінні. Не можна не брати до уваги точність і чутливість приладів, але, як показала практика, найбільш точні пристрої більше підходять для виробничих приміщень, з огляду на свою громіздкість, і мають вкрай високу вартість.

У приклад можна привести газоаналізатор вуглекислого газу ПКУ-4 В-М-Т (рисунок 1.4). У таблиці 1.5 наведені технічні характеристики приладу.



Рисунок 1.4 - Газоаналізатор ПКУ-4 В-М-Т

Таблиця 1.5 – Технічні характеристики ПКУ-4 В-М-Т

Технічні характеристики	Значення
Основна абсолютна похибка газоаналізатора, об'ємна частка діоксиду вуглецю,%, в діапазоні вимірювань від 0 до 1%	$\pm(0,02+0,05 \cdot C_{вх})$
Постійна часу встановлення показань вуглекислого газу, сек, не більше	60
Живлення приладу, В	3,6
Споживана приладом потужність, Вт, не більше	1
Кількість точок накопичення статистики, не менше	885
Зв'язок з комп'ютером	USB



Габаритні розміри, не більше, мм	185×85×35
- температура повітря, °С	від -20 до +4
- відносна вологість, % (без конденсації вологи)	від 10 до 95
- атмосферний тиск, кПа	від 84 до 106
Вартість	12745 грн

За всіма технічними параметрами даний прилад значно краще за інші аналоги, але установка газоаналізаторів такого порядку невиправдана, в силу своєї високої вартості. Так як в будівлях шкіл може знаходитися близько 100 приміщень, які необхідно обладнати для моніторингу, а так само можливо буде потрібно не один датчик на весь клас, то в сумі це зажадає колосальних витрат.

Інший приклад газоаналізатора - Майстер Кит МТ8057.



Рисунок 1.5 - Детектор вуглекислого газу Майстер Кит МТ8057

Таблиця 1.6 - Технічні характеристики Майстер Кит МТ8057

Технічні характеристики	Значення
Точність	±1,5 °С
Живлення	USB-портали VDC від зовнішнього AC/DC адаптеру

Розмір	15 x 10 x 3 см
Програмне забезпечення	Монітор CO <sub>2</sub> для ПК
Вартість	1875 грн.

Цей пристрій має менший набір технічних характеристик, але, безсумнівно, він більше підходить для побутового використання. Завдяки простоті у використанні, хорошого дизайну і малому розміру дані газосенсори цілком підійшли б для обладнання приміщень, якби не вартість даного приладу. Не дивлячись на те, що ціна майже в 7 разів нижче, щодо першого детектора, собівартість датчиків повинна бути набагато менше.

Були так само проаналізовані та інші пристрої з детектування вуглекислого газу. Вартість пропонованих пристроїв варіювалася від 1000 грн. і вище, це є найбільшим мінусом більшості з них. Для організації цілісної стійкої системи з моніторингу змісту CO<sub>2</sub> в повітрі необхідні прилади, не тільки адекватно реєструють концентрацію, але привабливі за ціною, щоб установкою подібного інформаційного комплексу зацікавилися якомога більше освітніх установ.

#### 1.4.4 Лабораторії по проведенню вимірів CO<sub>2</sub>

У 2013 році вперше рівень вуглекислоти в атмосфері перевищив 400 ppm. Цим фактом перейнялися екологи усього світу, адже з 1958 року рівень зріс на 85 ppm, і якщо так триватиме і далі, то навіть атмосферне повітря буде згубним для людей. Коли ситуація, що склалася проникла в маси зріс попит на домашні детектори вуглекислого газу, описані вище. Всім відомо, що попит народжує пропозицію, так відбувається і в даний момент. Стали з'являтися цілі лабораторії, що займаються проведенням виїзних аналізів повітря.

На даний момент існує цілий ряд фірм, що надають послуги по дослідженню повітря газоаналізаторами. За допомогою спеціалізованих лабораторій можна так само провести оцінку параметрів мікроклімату або замовити

фотометричні дослідження повітря. Такий варіант підійде для разового вимірювання, але якщо говорити про щоденний моніторинг, за допомогою якого потрібно виявляти проблеми в системі вентиляції і приводити в дію певних заходів щодо негайного усунення високої концентрації вуглекислоти, то такий метод не актуальний. Для твору вимірювань необхідно викликати велику команду фахівців, які, можливо, потраплять в той час доби, коли не буде помічено перевищення норми. До того ж вартість вимірювань в середньому становить 1125 грн за одне приміщення, не важко підрахувати, що комплексний замір в навчальному закладі вийде ще дорожчим, ніж закупівля портативних газоаналізаторів.

У цьому розділі був проведений аналіз проблеми контролю концентрації  $\text{CO}_2$ . Були виявлені існуючі проблеми в системі вентиляції приміщень, гранично допустимі концентрації вуглекислоти і приведено медичне обґрунтування небезпеки перевищення цих норм. Так само в цьому розділі містяться різні методи вимірювання  $\text{CO}_2$  і способи контролю даної проблеми в різних країнах. Крім того представлена постановка задачі.

Таким чином, головною метою даної випускної кваліфікаційної роботи є розробка моделі системи виявлення небезпечних концентрацій  $\text{CO}_2$ .

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати ряд завдань:

- проаналізувати проблему контролю концентрації  $\text{CO}_2$ ;
- розробити фізичну модель пристрою детектування концентрації  $\text{CO}_2$ ;
- провести експерименти на отриманому пристрої;
- описати модель мережевої взаємодії системи реєстрації  $\text{CO}_2$ .

Виконання поставлених завдань дозволить створити цілісну систему моніторингу за концентрацією вуглекислого газу, з допомогою якої освітніх установ з'явиться можливість виявити проблеми в системі вентиляції приміщень, а отже підвищити рівень успішності учнів, за рахунок запобігання ситуацій пов'язаних з перевищенням норми концентрації  $\text{CO}_2$ .

## II РОЗРОБКА ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРИСТРОЮ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ CO<sub>2</sub>

Для розробки пристрою моніторингу CO<sub>2</sub> необхідно провести розрахунок та обґрунтування елементної бази.

### 2.1 Контролер Arduino

Arduino - торгова марка, що займається виробництвом програмно апаратних засобів для розробки простих цифрових пристроїв і автоматики. За допомогою комплексу продукції компанії будь-який користувач, професійно не займається програмуванням, може створювати пристрої різної складності.

Апаратна частина являє собою плату, контролер, який має безліч цифрових і аналогових входів / виходів. Програмна оболонка Arduino IDE безкоштовна і доступна для загального користування, призначена для програмування апаратури. Arduino IDE використовує спрощену версію мови C ++, що дозволяє легше навчитися програмуванню. З огляду на відкритості програмного забезпечення існує безліч бібліотек і готових програм, кількість яких постійно поповнюється. На відміну від більшості програмованих плат попередників Arduino не потрібен окремий програматор для завантаження нового коду, для цього призначений простий USB кабель [18].

Компанія виробляє цілий ряд контролерів відмінних за характеристиками і призначених для різних цілей і користувачів. Найпопулярнішим контролером є Arduino Uno. Дана плата найкраще підходить для початківців. Arduino Uno заснований на мікроконтролері ATmega328P, має 14 цифрових входів / виходів, підключення USB, роз'єм живлення і багато іншого. Arduino Uno може житись від USB-з'єднання або від зовнішнього джерела живлення.

Вартість даного контролера на ринку коливається від 7 до 35 \$, в залежності від місця покупки.

На рисунку 2.1 зображений даний контролер, в таблиці 2.1 наведені технічні характеристики

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики Arduino Uno

Arduino Uno	
Модель	ATmega328P
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	ATmega8U2, ATmega16U2
Розмір, мм	68,6 × 53,3

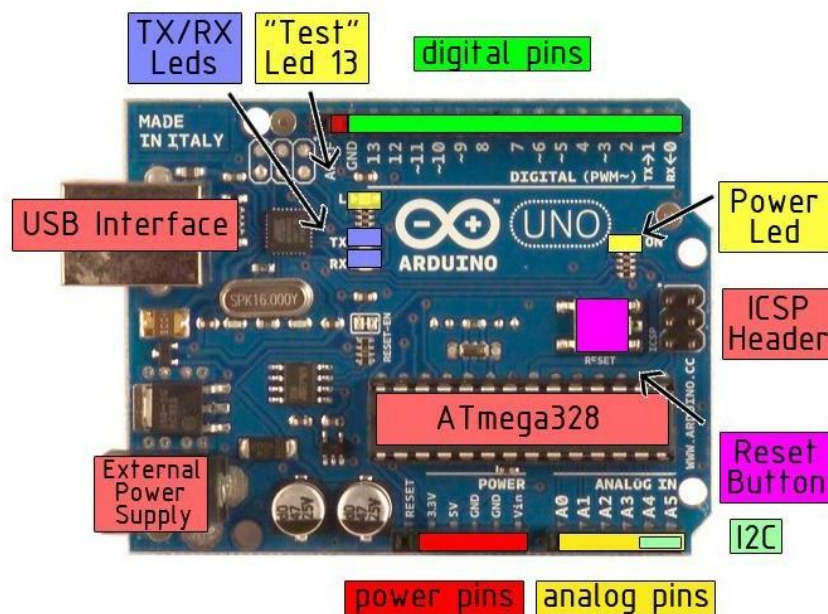


Рисунок 2.1 – ArduinoUno

## 2.2 Аналіз датчиків CO<sub>2</sub>

### 2.2.1 Датчик TGS4161

TGS4161 - датчик визначення концентрації CO<sub>2</sub> від виробника FIGARO (рисунок 2.2). Застосовується в системах контролю якості повітря.



Рисунок 2.2 - Датчик TGS4161

Твердотільний електролітичний датчик TGS4161 здатний розпізнавати двоокис вуглецю в діапазоні 350 ~ 10 000 ppm.

Чутливий до CO<sub>2</sub> елемент складається з твердого електроліту, утвореного між двома електродами, разом з підкладкою друкованого нагрівача (RuO<sub>2</sub>). Контролюючи зміну в електрорушійній силі (ЕРС), що генерується між двома електродами, можна виміряти концентрацію CO<sub>2</sub> в газі. Верх кришки датчика містить адсорбент (цеоліт) з метою зменшення впливу інтерференційних газів.

TGS4161 має лінійну залежність між  $\Delta EPC$  і концентрацією CO<sub>2</sub> в логарифмічною шкалою.

На рисунках 2.3 і 2.4 містять графік залежності від вологості і графік чутливості. У таблиці 2.2 представлені технічні характеристики [19].

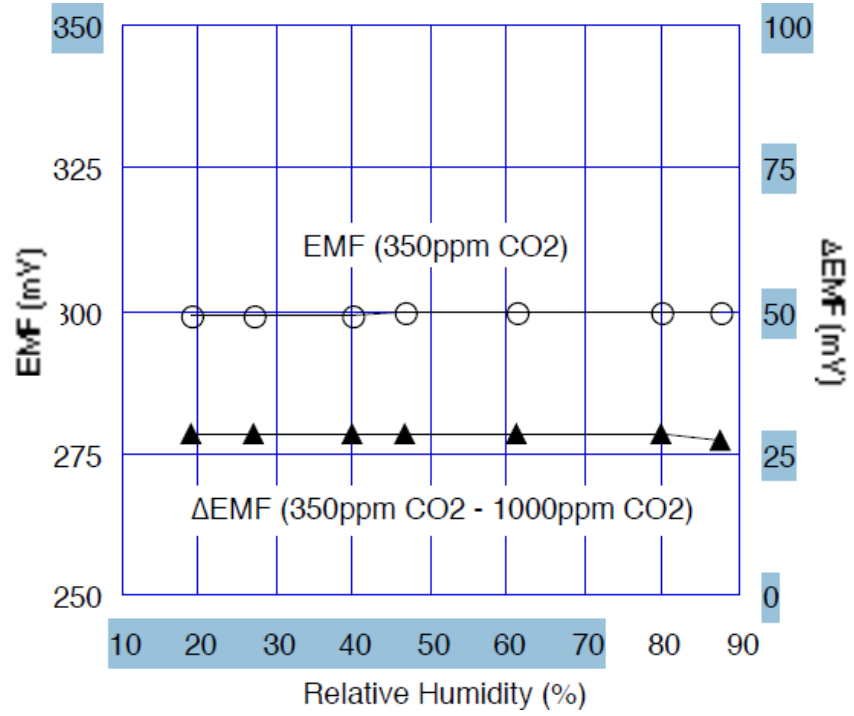


Рисунок 2.3 - Залежність ЕРС від вологості повітря

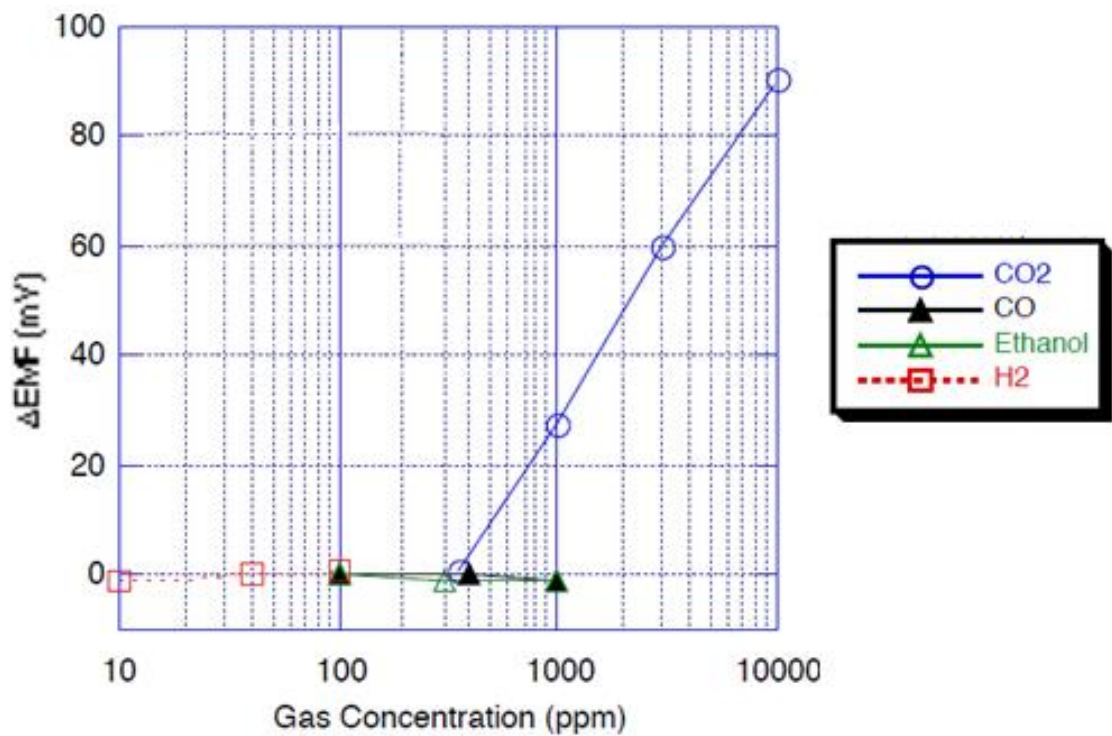


Рисунок 2.4 - Графік залежності ЕРС від концентрації домішок

Таблиця 2.2 - Технічні характеристики TGS4161

Датчик TGS4161			
Тип чутливого елемента		Твердий електроліт	
Детектуємі газ		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 <sub>2</sub>
	Чутливість	$\Delta E_{MF}$	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 <sub>2</sub>	
Стандартні умови іспитів	Стан випробувального газу	CO <sub>2</sub> в повітрі при 20±2°C, 5±5%	
	Стан ланцюга	U <sub>H</sub> = 5.0±0.05V DC	
	Період кондиціонування перед тестом	12 годин або більше	

Вартість сенсора TGS4161 становить 30 \$ (720 грн.).

Переваги:

1. Низький рівень споживання енергії.
2. Висока селективність по CO<sub>2</sub>.



### 3. Довгий термін служби.

Недоліки:

1. Висока вартість.
2. Залежність від вологості.

#### 2.2.2 Датчик MG811

MG811 - датчик визначення концентрації вуглекислого газу в навколишньому повітрі виробника Hanwei. Має високу чутливість до  $\text{CO}_2$  і помірно чутливий до алкоголю і  $\text{CO}$  (рисунок 2.5).

Датчик MG-811 може бути використаний для визначення концентрації вуглекислого газу, процесу ферментації, моніторингу якості повітря в приміщеннях.

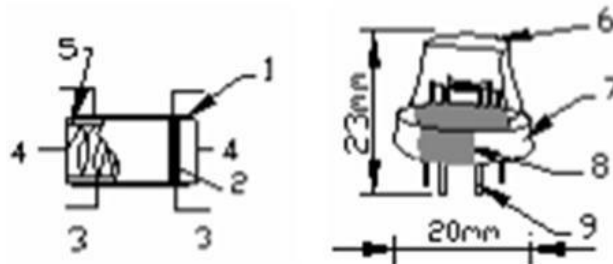


Рисунок 2.5 – Датчик MG-811

Принцип роботи полягає в тому, що цей датчик повертає аналогову напругу, яка падає при збільшенні концентрації  $\text{CO}_2$ . Щоб отримати стабільні і точні результати датчик повинен бути нагрітий. Для цього в складі газового сенсора є нагрівальний елемент, який вимагає окремого живлення 5В. Рекомендується прогрівати датчик кілька годин перед початком використання. У зв'язку з роботою нагрівача датчик споживає значну кількість струму і тому вимагає підключення зовнішнього живлення. Датчик також містить потенці-

ометр, який може бути відрегульований до певного порогового значення. Після того, як цей поріг буде досягнутий, на датчику загориться світлодіод. MG811 має три виходи: аналоговий вихід, цифровий вихід TTL і вихід температурної компенсації.

Структура датчика зображена на рисунку 2.6:



1 - твердий шар електроліту, 2 - золоті електроди, 3 - платиновий свинець, 4 - нагрівач, 5 - порцелянова трубка, 6 – 100м двошарова мережа, 7 - кільце, покрите нікелем і міддю, 8 - бакеліт, 9 - нікельований штифт.

Рисунок 2.6 - Структура датчика MG-811

На рисунку 2.7 зображена крива чутливості датчика.

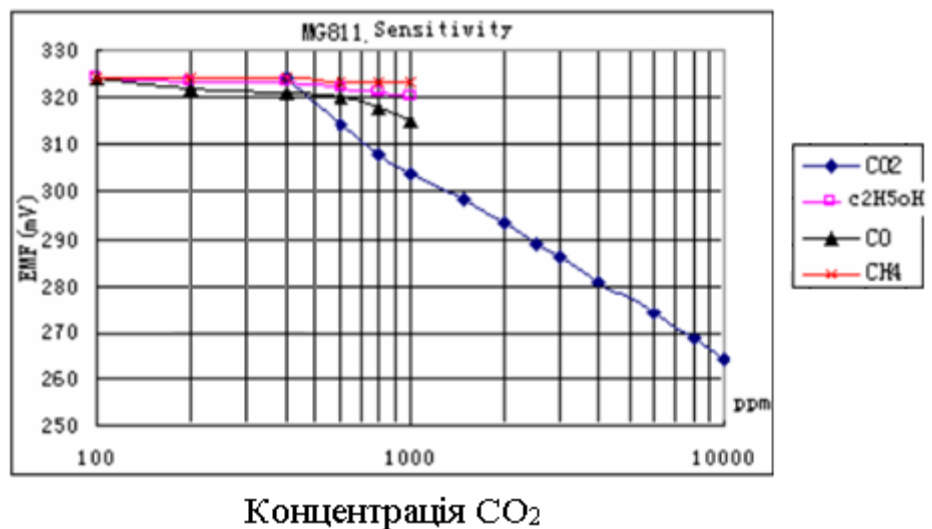


Рисунок 2.7 - Крива чутливості датчика MG-811

На рисунку 2.8 та рисунку 2.9 зображені залежності ЕРС MG811 від температури та вологості навколишнього повітря [20].

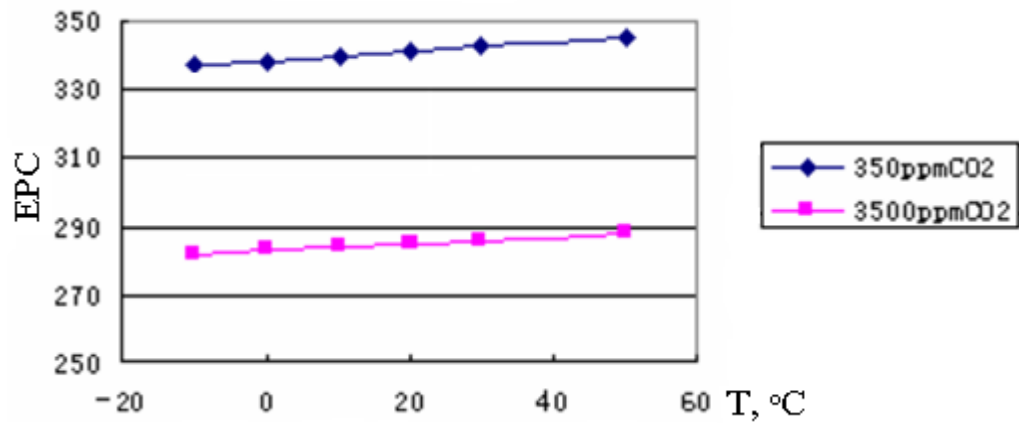


Рисунок 2.8 - Залежності EPC MG811 від температури

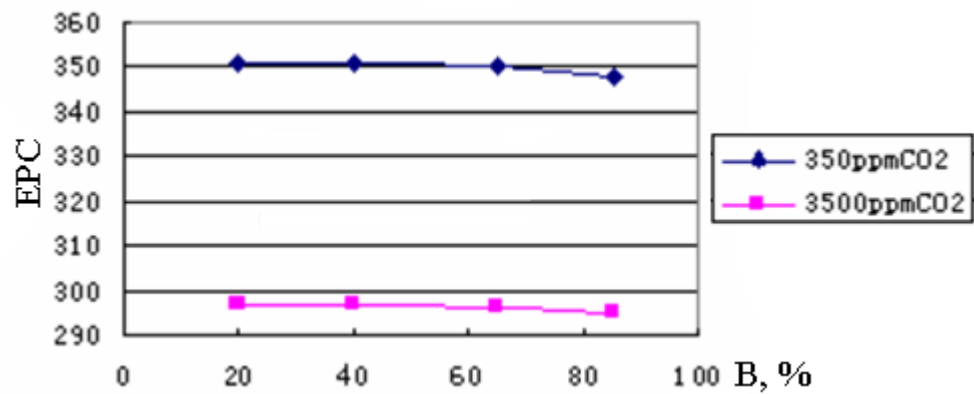


Рисунок 2.9 - Залежності MG811 EPC від вологості повітря

Вартість датчика на ринку становить 20-25 \$ (480-500 грн.).

Переваги:

1. Хороша чутливість і селективність по відношенню до CO<sub>2</sub>.
2. Низька вологостійкість і температурна залежність.

Недоліки:

1. Тривалий розігрів перед використанням.
2. Виявлення тільки CO<sub>2</sub>.
3. Висока вартість.

### 2.2.3 Датчик МН-Z19

МН-Z19 - інфрачервоний датчик визначення концентрації  $\text{CO}_2$  виробника Winsen ElectronicsTechnology (рисунок 2.10). Для визначення концентрації газу використовує не дисперсійний інфрачервоний метод (NDIR).

Галузь застосування МН-Z19:

- у системах контролю якості повітря в приміщеннях;
- у холодильних системах HVAC;
- моніторинг  $\text{CO}_2$  в теплицях і шахтах;
- аналіз викидів в навколишнє середовище.



Рисунок 2.10 - Датчик МН-Z19

Принцип роботи датчика заснований на поглинанні газом інфрачервоного випромінювання. За допомогою інфрачервоного детектора з центральною виборчою чутливістю вимірюється інтенсивність інфрачервоного випромінювання до і після поглинання. Процес поглинання інфрачервоного випромінювання не залежить від кисню і не використовує хімічних речовин, а так само добре стійкий до різних перешкод.

До складу сенсора МН-Z19 входить датчик температури, який дозволяє компенсувати температурну залежність.

У таблиці 2.3 представлені технічні характеристики датчика.

Таблиця 2.3 - Технічні характеристики МН-Z19

Характеристики	Значення
Робоча напруга	4.5 V ~ 5.5V DC
Середній струм	<85 мА
Рівень інтерфейсу	3,3 В
Діапазон вимірів	0 ~ 5% VOL за опціями
Вхідний сигнал	UART
	PWM
	0.4-2V DC
Час розігріву	3 хв
Час відгуку	T90 <90 с
Робоча температура	0 ~ 50 °C
Робоча вологість	0 ~ 95% відносної вологості
Вага	15 г
Строк служби	> 5 років
Габарити	57,5 × 34,7 × 16 мм (Д × Ш × В)

Для виходу на робочий режим сенсора необхідно близько трьох хвилин на розігрів, даний параметр відображений в технічній документації. Зміни в концентрації CO<sub>2</sub> 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 [21].

Вартість датчика на ринку варіюється від 30 до 40 \$ (від 720 до 960 грн).

Переваги:

1. Підходить для безперервної роботи з комп'ютером.

2. Висока точність і чутливість.
3. Хороша вибірковість.
4. Надійність.
5. Температурна компенсація.

Недоліки:

1. Висока вартість.
2. Відсутність калібрування.

#### 2.2.4 Датчик MQ135

MQ135 - датчик для контролю якості повітря виробника Waveshare Electronics (рисунок 2.11). Дозволяє виявляти різні гази, такі як аміак, вуглекислий газ, азот, кисень, спирт, а також пил і дим.

Використовується в контрольно-вимірювальних приладах якості повітря для будівель і офісів.

Застосування газового датчика MQ135:

- виявлення шкідливих газів;
- моніторинг якості повітря;
- виявлення забруднення повітря всередині приміщень;
- виявлення промислових забруднень;
- портативний виявлення забруднення повітря.

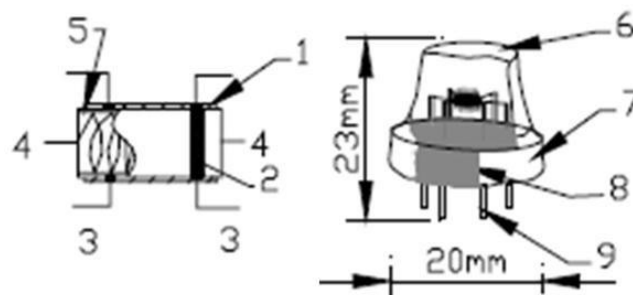


Рисунок 2.11 - Датчик MQ135

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.

Для досягнення найбільш точних і стабільних результатів рекомендується прогріти датчик, залишивши його включеним на добу. Так само, грунтуючись на технічних характеристиках датчика, для зняття показників необхідний прогрів близько однієї хвилини.

Структура газового датчика MQ135 показана на рисунку 2.12.



1 - газосчитувальний шар, 2 - електрод, 3 - лінія електрода, 4 - нагрівальна котушка, 5 - трубчата кераміка, 6 - мережа антивзриву, 7 – затискне кільце, 8 - базова смола, 9 - контактна трубка

Рисунок 2.12 - Структура MQ135

При використанні даного датчика дуже необхідно проводити регулювання чутливості. Величина опір MQ135 вимірюється в залежності від різних видів і концентрацій газів.

На рисунку 2.13 показані характеристики чутливості MQ135 для декількох газів.

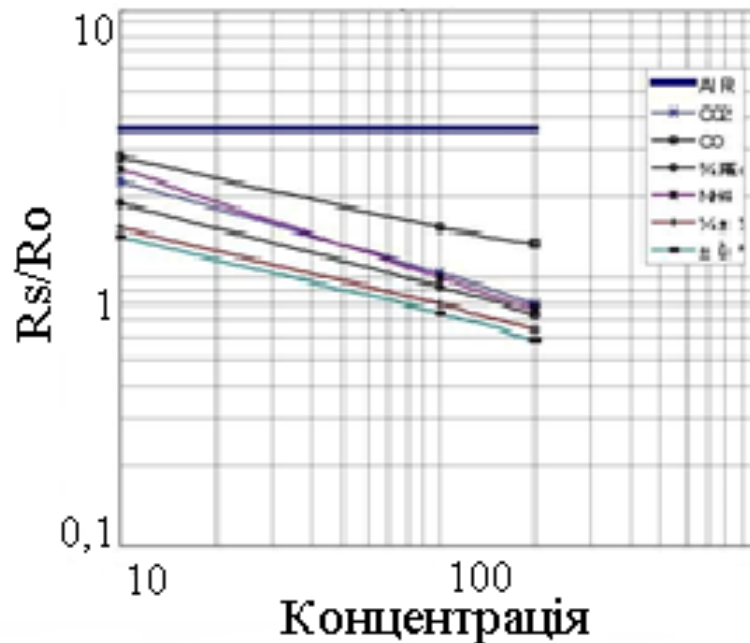


Рисунок 2.13 - Характеристики чутливості MQ135 для декількох газів

Необхідно пам'ятати, що свідчення датчика залежать від вологості і температури повітря [22].

На рисунку 2.14 продемонстрована залежність MQ135 від температури і вологості.

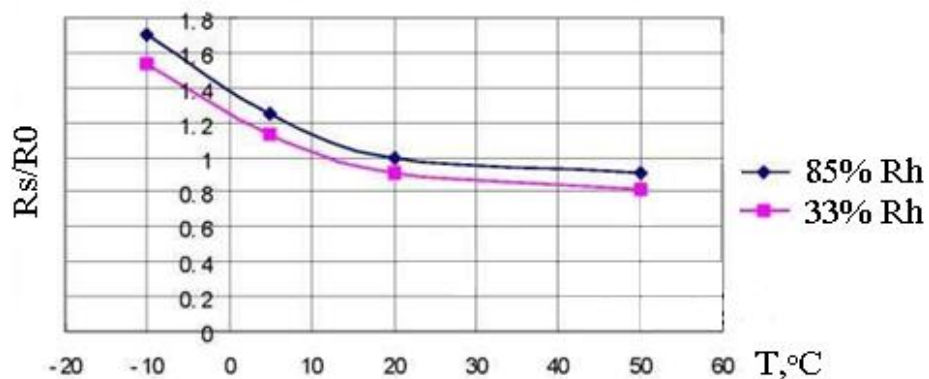


Рисунок 2.14 - Залежність MQ135 від температури та вологості



Газосенсорний датчик MQ135 є одним і найдешевших на ринку подібних датчиків. Його вартість становить приблизно 5 \$ (100 грн).

Технічні характеристики:

- Напруга живлення: 5 В
- Струм: 150 мА
- Габарити: 32 (L) \* 20 (W) \* 22 (H)

Переваги:

1. Широкий спектр виявлення газів.
2. Швидка відповідь.
3. Наявність аналогового і цифрового висновків.
4. Низька ціна.

Недоліки:

1. Тривалий нагрів перед використанням.
2. Прогрівання перед зняттям показників.

### 2.2.5 Датчик DHT 11

DHT 11 - датчик для вимірювання температури і вологості (рисунок 2.15).

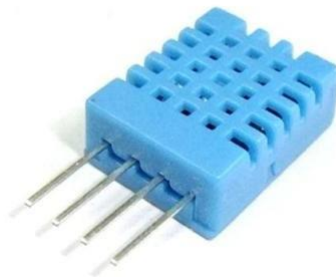


Рисунок 2.15 - Датчик температури і вологості DHT 11

Характеристики датчика DHT 11:

- Напруга живлення: 5 В
- Максимально споживаний струм 2.5мА при перетворенні (при запиті даних)

- Діапазон температур: 0-50 ° C
- Похибка температури:  $\pm 2$  ° C
- Діапазон вологості: 20-90%
- Похибка вологості:  $\pm 5\%$
- Частота вимірів не більше 1 Гц (один вимір в секунду).
- Розмір: 15.5 мм x 12 мм x 5.5 мм

Проаналізувавши всі представлені датчики, що визначають концентрацію вуглекислого газу, вибір був зроблений на користь датчика MQ-135. Головним критерієм, за яким даний датчик підходить найбільше є його вартість. Запропонований пристрій повинен володіти якомога нижчою собівартістю для того, цілісна система моніторингу була приваблива для ОУ не тільки своєю суттю, а й ціною.

До недоліків слід віднести залежності від температури і вологості практично у всіх представлених сенсорів. В даному випадку цей мінус можна буде скорегувати за допомогою установки додаткового датчика температури і вологості DHT 11.

## 2.3 Вибір мережного датчика

### 2.3.1 Визначення типу мережевого датчика

Для організації мережі між пристроями реєстрації вуглекислого газу і сервером необхідно вибрати мережевий датчик, який буде забезпечувати цю взаємодію.

Для передачі даних з контролера Arduino в мережу використовуються додаткові плати розширення (Shield). На ринку існує безліч різних плат, тому на першому етапі необхідно визначитися, якого типу передача даних потрібно в майбутній системі моніторингу CO<sub>2</sub>.

Система моніторингу вуглекислого газу являє собою мережу взаємодії пов'язаних датчиків. Кожен пристрій, крім того, що має передавати інформацію на сервер, повинен мати можливість зв'язатися з сусідніми детекторами.

Така необхідність може з'явитися в ситуації, коли в приміщенні один з датчиків зафіксував перевищення норми газу, а інші ні.

Пристрій має «розбудити» інші детектори, дати їм команду не заплановано зробити вимір показників. За допомогою подібної організації мережі можна буде виключати поодинокі збої в вимірах і, навпаки, швидко виявляти критичну ситуацію.

Центральний сервер, крім локальної взаємодії з датчиками, повинен мати доступ до глобальної мережі Інтернет. Ця умова є обов'язковою, з огляду на те, що доступ до програмного забезпечення, що проводить аналіз даних, повинен здійснюватися тільки при підключенні до хмарного сервісу. Установка програмного забезпечення в кожній організації є досить витратною справою, так як будь-які позаштатні ситуації вимагатимуть наявності в установі фахівця в даній сфері.

Для підтримки логіки такої мережевої взаємодії можна скористатися мережевими технологіями: Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth, GSM / GPRS. Так як за допомогою кожної з технологій існує можливість організувати необхідну мережу, то потрібно вибрати спосіб, найбільш зручний для впровадження в організацію.

Параметри, за якими необхідно оцінити можливості мережі:

1. Зв'язок детекторів з центральним сервером по локальному з'єднанню.
2. Взаємодія між датчиками по локальній мережі.
3. Доступ до глобальної мережі у центрального сервера.
4. Бездротовий зв'язок.
5. Робота комп'ютерів по організованій локальній мережі.
6. Доступ комп'ютерів до інтернету по організованій локальній мережі.
7. Простий доступ ресурсів хмарного сервісу конкретним датчикам за допомогою засобів мережевої технології.

Зведемо отриману оцінку в таблицю 2.4

GSM технологію можна було б застосувати в разі організації передачі вимірювань з датчиків безпосередньо в хмару. При даній реалізації не дове-

лося б зачіпати локальні ресурси організації, але обійтися без впровадження серверної частини, значить відмовитися від надійності.

Таблиця 2.4 - Оцінка мережевих технологій

Технологія	Критерій						
	1	2	3	4	5	6	7
Ethernet	+	+	+	-	+	+	+
Wi-Fi	+	+	+	+	+	+	+
Bluetooth	+	+	-	+	+	-	-
GSM/GPRS	-	-	+	+	-	-	-

За запропонованим методом оцінювання явним лідером є технологія Wi-Fi і альтернативним варіантом може стати технологія Ethernet. Бездротове підключення всіх пристроїв є найбільш зручним варіантом, з огляду на те, що у великих установах буде досить важко змонтувати дротове підключення, а так само це призведе до втручання в звичний порядок роботи організації.

Технологія Bluetooth має недолік в тому, що для підключення сервера до Інтернету буде потрібно залучення іншою технологією. Організувати мережевий доступ між комп'ютерами організації технологія Bluetooth дозволяє, але доступ до глобальної мережі знову доведеться організувати по іншому.

За проведеним аналізом видно, що найбільш підходящим варіантом організації мережевої взаємодії є застосування бездротової технології Wi-Fi. Мережева структура дозволить забезпечити надійну взаємодію датчиків між собою і з центральним сервером, а також дозволить створити зручну локальну мережу, в яку можна буде включити комп'ютери, або потрапити в існуючу мережу організації.

На наступному етапі необхідно вибрати мережевий модуль Wi-Fi для детектора.

### 2.3.2 Модуль ESP8266 ESP-07

Під ESP8266 розуміється ціла лінійка модулів бездротового зв'язку, які розрізняються своїми характеристиками. Найпопулярнішим Wi-Fi модулем на даний момент є ESP8266 ESP-01. У 2014 році, коли був випущений ESP-01, він викликав справжній прорив у сфері створення інтернет речей, так як відрізнявся своєю компактністю і вкрай низькою ціною. Але з появою на ринку інших модифікацій з даної лінійки стало зрозуміло, що перший ESP-01 їм поступається. Так само, професіонали в сфері автоматизації відзначають ряд конструктивних недоліків ESP-01:

- Модуль ESP-01 не підтримує режим «deepsleep».
- У модулі ESP-01 більшість виводів SoC нікуди не підключені. Це призводить до непередбачуваних станів, до підвищеного споживання і перегріву чіпа.
- Модуль ESP-01 не має жодної ніжки, на якій немає сигналів при старті модуля.

Ґрунтуючись на даній інформації, було прийнято рішення не використовувати дану модифікацію для детекторів.

У лінійці ESP8266 є такі модулі: ESP-01, ESP-02, ESP-03, ESP-04, ESP-05, ESP-06, ESP-07, ESP-08, ESP-09, ESP-10, ESP-11, ESP-12, ESP-13, WROOM, WROOM-02.

З усіх запропонованих модулів ESP-07 (рисунок 2.16) є якісною заміною ESP-01, так як має схожі характеристики, але до того ж оснащений керамічною антеною, роз'ємом для зовнішньої антени і металевим екраном.



Рисунок 2.16 - ESP8266 ESP-07

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

ESP-07 має вбудовану керамічну антену, 9 виводів GPIO, контакти UART (Rx, Tx) для зв'язку з іншими пристроями і можливість підключення зовнішньої антени.

Середня вартість даного модуля на ринку становить не більше 4 \$ (100грн). У таблиці 2.5 представлені технічні характеристики.

Таблиця 2.5 - Технічні характеристики ESP8266 ESP-07

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 Control. GPIO/PWM
Параметри обладнання	Робоча напруга	3~3,6 В
	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

#### 2.4 Обґрунтування вибору елемента живлення

Для того щоб вибрати відповідне джерело живлення для детектора вуглекислого газу, необхідно зробити розрахунок сумарної потужності всіх компонентів.

У таблиці 2.6 представлені компоненти детектора з заявленими в документації споживаним струмом і напругою.

Таблиця 2.6 - Компоненти пристрою, струм споживання і напруга споживання

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

Розрахунок споживаної потужності компонентів споживання:

$$2 L 7 \hat{U}_{\text{га}} \quad (2.1)$$

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

Таблиця 2.7 - Компоненти пристрою і споживана потужність

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»:

$$C_A = \frac{Q}{U} \quad (2.2)$$

Напруга крони:

$$U_A = 7,5 \text{ В} \quad (2.3)$$

Споживаний пристроєм струм:

$$I_A = \frac{P_A}{U_A} = 1268 \text{ А} \quad (2.4)$$

Час, через яке розрядиться крона:

$$t_A = \frac{C_A}{I_A} = 6 \text{ год} \quad (2.5)$$

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, значить, 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 так як контролер Arduino UNO і модуль ESP-07 будуть завжди залишатися в робочому стані, то, в кінцевому рахунку, батарейка «крона» буде розряджена протягом доби.

З даного обґрунтування слід, що вибрати батарейку «крона» в якості основного елемента живлення неможливо. Зупинити свій вибір слід на підключенні пристрою до постійної мережі живлення за допомогою мережевого USB адаптера 5В.

У будь-якій установі існує можливість короткочасного відключення електрики. Для того щоб уникнути скидання налаштувань детекторів, а так само щоб виключити можливість виходу з ладу компонентів пристрою, необхідно передбачити резервне джерело живлення, в якості якого можна встановити батарейку «крона».

## 2.5 Електрична схема детектора вуглекислого газу

На рисунках 2.17 і 2.18 представлені електричні схеми датчика MQ-135 і модуля ESP-07.

Загальна електрична схема пристрою представлена на рисунку 2.19

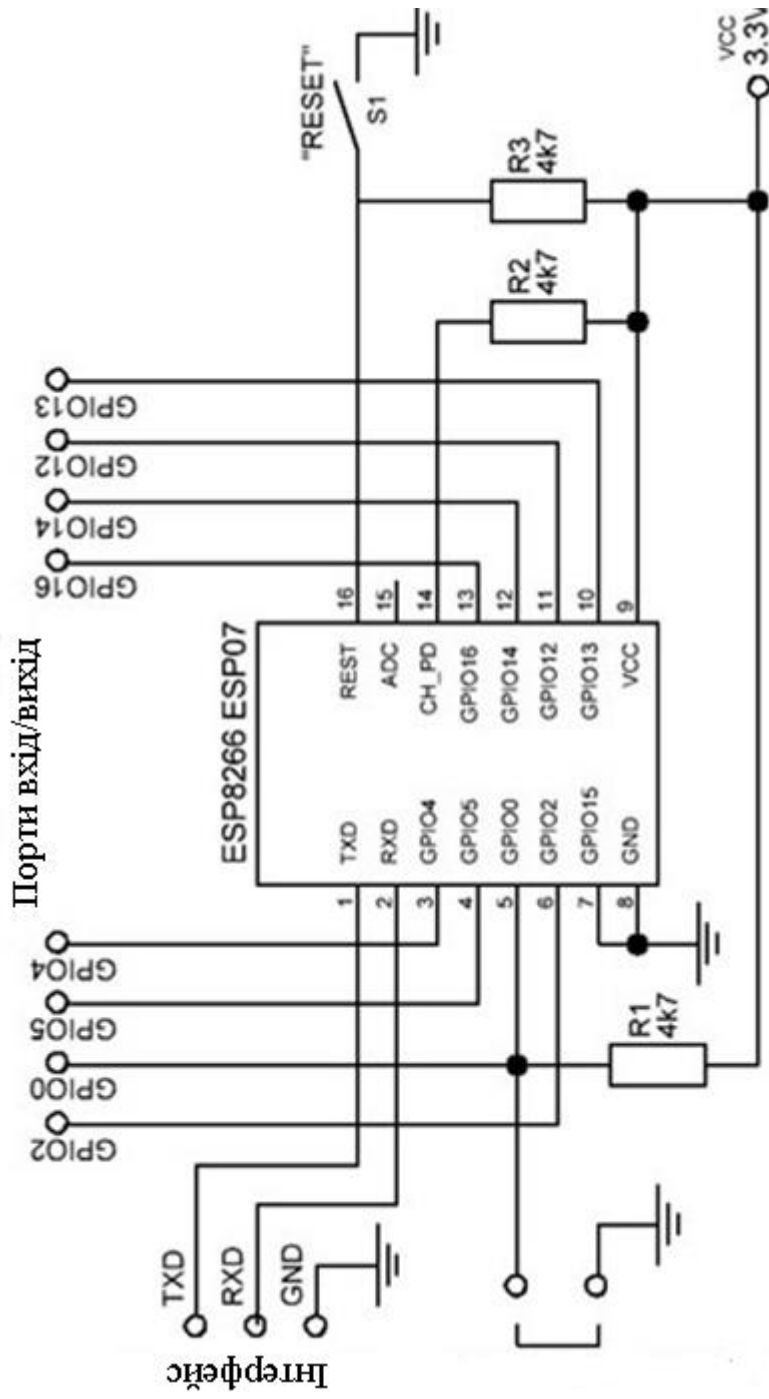


Рисунок 2.17 - Схема ESP07

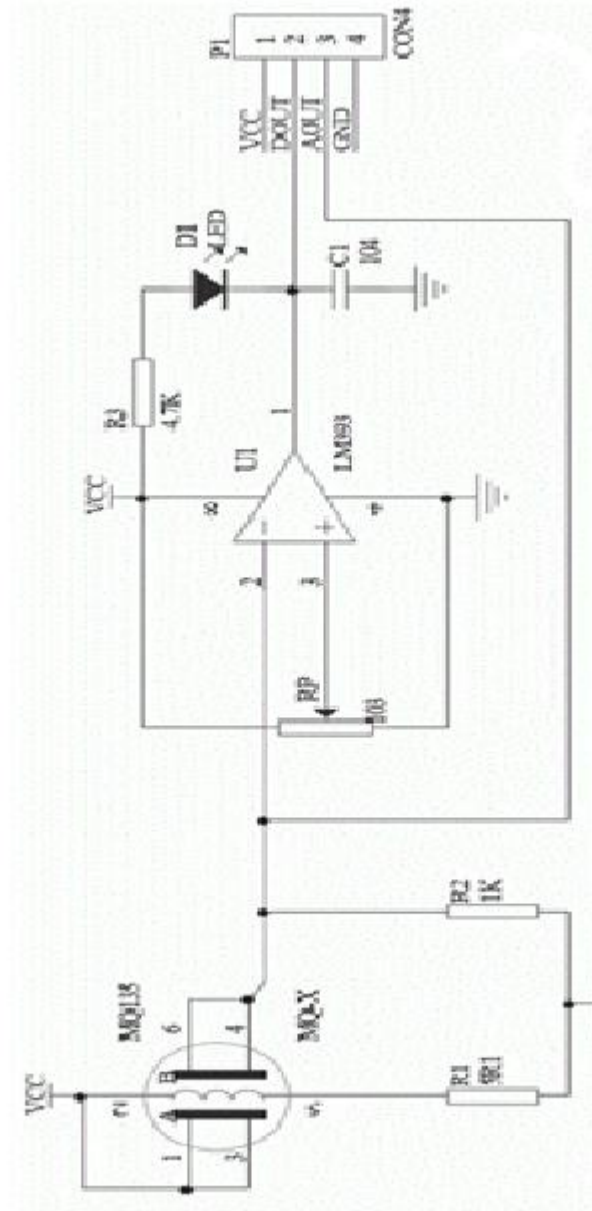


Рисунок 2.18 - Схема MQ135

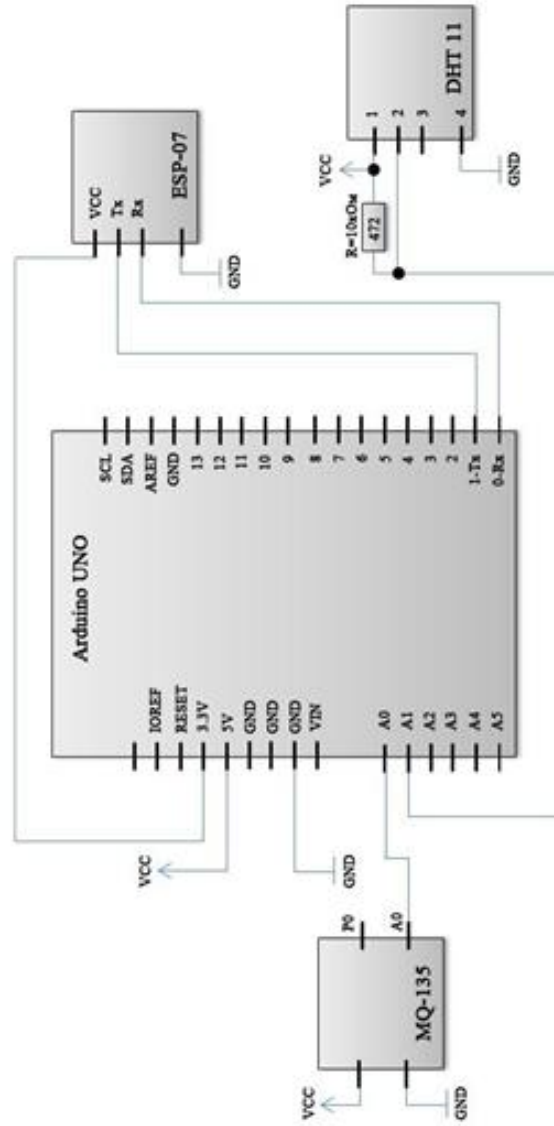


Рисунок 2.19 - Схема детектора углекислого газа

## 2.6 Коригування датчика MQ135

Оскільки в документації, що додається до датчика MQ135, представлена залежність зміни величини від температури і вологості навколишнього повітря, то необхідно провести облік впливу даних параметрів на вимірювану величину.

У документації представлені такі графіки (рисунок 2.20)

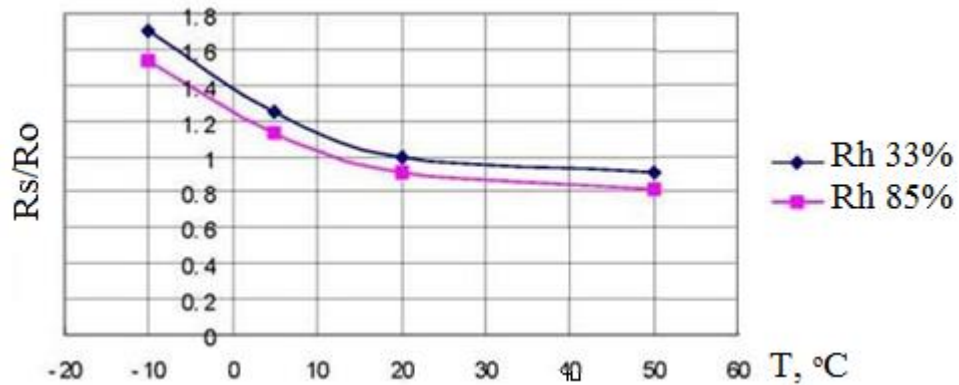


Рисунок 2.20 - Залежність MQ135 від температури і вологості

По осі абсцис розташовані значення температури, по осі ординат розташоване відношення  $R_s$  (вимірюється на MQ135 опір) до  $R_0$  (заданий каліброване значення). За нормальних умов прийняті температура 20 градусів Цельсія і 33% вологості повітря, тому що в даній точці  $R_s / R_0$  дорівнює одиниці. При зміні температури і вологості відношення  $R_s$  до  $R_0$  змінюється. На рисунку видно, що при підвищенні вологості на 52% (з 33% до 85%) другий графік зрушився вниз на 0,06. Це означає, що на кожен відсоток зміни вологості повинна вноситися коригування рівна  $(-0.06 / 52)$ .

Спираючись на дані графіки, для поправки вимірювань, були виведені наступні формули:

Облік вологості:

$$\frac{R_s}{R_0} = L \cdot \frac{R_p}{R_0} \cdot F \cdot \frac{4\%}{96} : DF \text{ uu}; \acute{a} \quad (2.6)$$

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

Облік температури:

$$\frac{E_p}{E_s} \cdot L = \frac{E_p}{E_s} \cdot \hat{U} : r \text{ árrv } \hat{U} P^b F r \text{ áty } \hat{U} P E s \text{ áuz} \{v ; \acute{a} \quad (2.7)$$

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

$\frac{E_p}{E_s}$  - задане каліброване значення.

Оскільки в запропонованому детекторі вуглекислого газу встановлений датчик температури і вологості, то отримані 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);  
}
```

## 2.7 Експериментальне підтвердження

Після проведеного калібрування датчика залежність від температури і вологості мінімальна. Для того щоб показання детектора вважалися найбільш коректними необхідно провести експериментальні виміри вмісту вуглекислоти.

В якості експерименту проведемо вимірювання вуглекислого газу в машині. Вимірювання буду проводитися за допомогою дорогого пристрою визначення концентрації вуглекислого газу Майстер Кіт МТ8057 і розробленого детектора.

Умови проведення експерименту:

- Машина седан KiaRio;
- Присутність в салоні 3-х чоловік;
- Поїздка з закритими вікнами протягом 30 хвилин;
- Включений обдув лобового скла з активним з'єднанням внутрішньої циркуляції повітря без забору повітря з вулиці.

Результати експерименту занесемо в таблицю 2.8:

Таблиця 2.8 - Результати експерименту

Пристрій	Концентрація CO <sub>2</sub>
Майстер Кит МТ8057	1400 ppm
Розроблений детектор CO <sub>2</sub>	1466 ppm

За даними, наведеними в таблиці 2.8, можна бачити, що результати вимірювання рівня CO<sub>2</sub> за допомогою розробленого детектора майже не відрізняються від результатів вимірювань на дорогому пристрої. Таким чином, дані результати можна вважати коректними в межах допустимої похибки.

## 2.8 Вимоги до установки детекторів вуглекислого газу

Як було відзначено в першому розділі, вуглекислий газ відноситься до 4 класу небезпеки, через що в Україні немає нормативів по його гранично допустимій концентрації, так само і немає нормативів по установці газоаналізаторів CO<sub>2</sub>.

Щільність навколишнього нас повітря 1,2041 кг / м<sup>3</sup>, щільність повітря, що видихається людиною вуглекислого газу 1,9769 кг / м<sup>3</sup>, отже, CO<sub>2</sub> важче і в кінцевому підсумку в приміщенні опускається на нижній рівень. Виходячи з цього, можна зробити висновок, що для встановлення вірного значення концентрації вуглекислоти необхідно встановлювати детектори на відстані 0,5-1 метри від підлоги.

Оскільки CO<sub>2</sub> - це газ, значить до нього може бути застосовано поняття дифузії. Це означає, що через якийсь час газ рівномірно пошириться по всьому приміщенню в будь-якій точці концентрація буде однаковою. Ґрунтуючись на даному положенні можна зробити висновок, що детектор, встановлений в кінці класної кімнати на відстані 0,5-1м від стелі, буде фіксувати реальну концентрацію CO<sub>2</sub> в усьому приміщенні.

Так як при моделюванні системи моніторингу варто враховувати і різні збої при роботі пристрою, необхідно проводити встановлення другого додатково датчика вуглекислого газу.

За допомогою другого детектора можна буде отримати найбільш точну картину. Так як виміри кожним датчиком передбачається проводити не частіше ніж один раз на 10 хвилин, то при системі з двох пристроїв, запрограмованих на різний час початку роботи, вимірювання будучи проводитися частіше.

Так само при паралельній роботі датчиків у системи моніторингу буде існувати можливість незапланованої перевірки в разі фіксації одним пристроєм високої концентрації, за допомогою запуску дублюючого пристрою.

Розроблена фізична модель пристрою детектування вуглекислого газу. За допомогою порівняльного аналізу були обрані контролер, датчик вуглекислого газу і мережевий модуль. Так само було обґрунтовано вибір певного елемента живлення і побудована електрична схема пристрою. На попередньо відкаліброваному розробленому детекторі були проведені експериментальні виміри, які доводять правильність вимірювань. Були висунуті вимоги до установки пристроїв детектування вуглекислого газу в приміщеннях.

### 3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Дипломна робота «Дослідження та розробка мікроелектронного пристрою для контролю параметрів повітряного середовища» присвячена дослідженню якості повітря у приміщеннях та розробці приладу для вимірювання рівню вуглецю, що простий в експлуатації, дешевший аналогів та може бути виготовлений навіть у домашніх умовах.

#### 3.1 Огляд газоаналізаторів

##### Газоаналізатор ПКУ-4 В-М-Т



Рисунок 3.1 - Газоаналізатор ПКУ-4 В-М-Т

Таблиця 3.1 – Характеристики газоаналізатору ПКУ-4 В-М-Т

Технічні характеристики	Значення
Основна абсолютна похибка газоаналізатора, об'ємна частка діоксиду вуглецю,%, в діапазоні вимірювань від 0 до 1%	$\pm(0,02+0,05 \cdot C_{ВХ})$
Постійна часу встановлення показань вуглекислого газу	60 с

Живлення приладу	від 2,2 до 2,8 В
Споживана приладом потужність	1 Вт
Кількість точок накопичення статистики	885
Зв'язок з комп'ютером	USB
Габаритні розміри	185×85×35 мм
Температура повітря	-20...+4 °С
Відносна вологість	10...95%
Атмосферний тиск	84..106 кПа
Вартість	12745 грн

### Газоаналізатор Майстер Кит МТ805



Рисунок 3.2 - Майстер Кит МТ805

Таблиця 3.2 – Характеристики газоаналізатора Майстер Кит МТ805

Технічні характеристики	Значення
Точність	±1,5 °С
Діапазон вимірів	0~3000 ppm
Точність вимірів	0~3 000 ppm: ±10%

Живлення	USB-портали VDC від зовнішнього AC/DC адаптеру
Розмір	15 x 10 x 3 см
Программне забезпечення	Монітор CO <sub>2</sub> для ПК
Вартість	1875 грн

### Газоаналізатор HT-401



Рисунок 3.3 – Газоаналізатор HT-401

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики газоаналізатору HT-401

Діапазон вимірів CO <sub>2</sub>	0~9999 ppm
Шкала вимірів	1 ppm



Точність	$\pm 70$ 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

Розроблений прилад



Рисунок 3.4 - Розроблений прилад

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики розробленого приладу

Технічні характеристики	
Напруга живлення	9 В
Діапазон вимірів CO <sub>2</sub>	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	549 грн

### 3.2 Порівняльний аналіз газоаналізаторів за критеріями

Прилади для вимірювання CO<sub>2</sub>, різних виробників мають свої позитивні та негативні якості.

Тому для вибору кращого датчику (табл.3.1) проаналізуємо ієрархії чотирьох варіантів враховуючи шкалу відносної важливості (табл.3.2).

Таблиця 3.5 – Варіанти видів датчиків

Технологія	Короткий опис (Газоаналізатори)
А	ПКУ-4 В-М-Т
В	Майстер Кит МТ805



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  $i = 1, 2, 3, 4$ ;

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

Таблиця 3.8 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «точність»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\sum_{j=1}^4 Z_{ij}}$	$X_i$
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
∑					5,95	1

Таблиця 3.9 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «час вимірювання»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\sum_{j=1}^4 Z_{ij}}$	$X_i$
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
∑					5,71	1

Таблиця 3.10 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «діапазон вимірів»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{z_{i1}}$	$X_i$
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
↓					6,23	1

Таблиця 3.11 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «час відгуку»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{z_{i1}}$	$X_i$
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
↓					5,55	1

Таблиця 3.12 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «вартість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{z_{i1}}$	$X_i$
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
↓					5,1	1

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

Таблиця 3.13 – Глобальний пріоритет для кожної альтернативи

Пріоритети	№1	№2	№3	№4	№5	Глобальний
Вага	0,08	0,31	0,38	0,09	0,14	
ПКУ-4 В-М-Т	0,5	0,17	0,17	0,27	0,2	0,2096
Майстер Кит MT805	0,11	0,34	0,21	0,31	0,34	0,2695
НТ-401	0,11	0,2	0,31	0,1	0,22	0,2284
Розроблений прилад	0,28	0,29	0,31	0,31	0,24	0,2916

З порівняння глобальних пріоритетів різних видів газоаналізаторів (табл.3.13) видно, що найбільшим є пріоритет у розробленого газоаналізатору.

### 3.3 Розрахунок витрат на елементи електричної схеми

Таблиця 3.14 – Розрахунок вартості покупних виробів

Найменування елемента	Тип	Кількість, шт.	Ціна за одини- цю, грн	Сума, грн
Датчик CO <sub>2</sub>	MQ135	1	73	73
Датчик темпера- тури та вологос- ті	DHT11	1	29	29
Мікроконтролер	Arduino	1	125	125

	Uno			
Дисплей	LCD 16/2	1	58	58
Блок живлення	9В, 1А	1	197	147
Роз'єм живлення	CN	1	10	10
Акумулятор	Videx 14500	4	45	180
Разом				549

Таким чином за допомогою методу аналізу ієрархій проведено 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. Тому перевага віддається розробленому приладу, саме він пропонується для проведення вимірювань.

## IV ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 4.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Згідно до розділу [2], при розробці пристроїв для моніторингу повітря 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;
- підвищена концентрація CO<sub>2</sub> в приміщенні;

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 [20].



#### 4.2 Техніка безпеки при користуванні електроприладами

Перед включенням електроприладу необхідно візуально перевірити електрошнур на наявність механічних порушень. Електроприлади повинні бути надійно заземлені згідно з правилами улаштування приладу. Забороняється працювати з електроприладами вологими руками. Не залишати електроприлад без нагляду на довгий час, після закінчення роботи перевірити, чи всі прилади вимкнені. При виявленні або виникненні несправності в електроприладі негайно викликати електрика, що обслуговує прилад. Категорично заборонено виконувати будь-які ремонтні роботи самостійно.

Рятування життя людини, ураженої струмом, у багатьох випадках залежить від швидкості і правильності дій осіб, що здійснюють допомогу. Передусім потрібно якнайшвидше звільнити потерпілого від дії електричного струму. Якщо неможливо відключити електричне обладнання від мережі, потрібно відразу приступити до звільнення потерпілого від струмопровідних частин, не доторкаючись при цьому до потерпілого.

Заходи долікарської допомоги після звільнення потерпілого залежать від його стану, її потрібно надавати негайно, по можливості на місці події, одночасно викликавши медичну допомогу. Якщо потерпілий не знепритомнів, потрібно забезпечити йому на деякий час спокій, не дозволяючи рухатись до прибуття лікаря. Якщо потерпілий дихає рідко і судорожно, але прослуховується пульс, потрібно негайно зробити йому штучне дихання. При відсутності дихання, розширення зіниць і посиніння шкіри потрібно робити штучне дихання і непрямий масаж серця [21].

#### 4.3 Заходи з поліпшення умов праці та виробнича санітарія

По характеру виконувана на ділянці робота ставиться до легкої фізичної категорії 1б (проводиться сидячи, коштуючи 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:

- температура повітря в холодний період року 23-25° С;
- відносна вологість 40-60%;
- температура повітря в теплий період року 22-24° С;
- 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 освітлення, яке концентрує світловий потік безпосередньо на робочих місцях [22].

#### 4.4 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 нейтралю 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[23].

Розрахуємо опір захисного заземлення.

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 природного заземлювача монтується штучний з вертикальних сталевих стрижнів довжиною  $L=2.5$  м, діаметром 15 мм, верхні кінці яких з'єднуються сталеву смугою перетином  $20 \times 4$  мм<sup>2</sup>, покладеної в ґрунт (суглинок) з питомим опором  $\rho=120$  Ом\*м і на глибині  $t=0,5$  м.

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

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

$$n = L_r/a = 70/5 = 14 \text{ штук} \quad (4.1)$$

Необхідний опір штучного заземлюючого обладнання:

$$R_{и.гр} = R_e R_3 / (R_e - R_3) = 25 * 4 / (25 - 4) = 4,76 \text{ Ом} \quad (4.2)$$

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

$$R_B = (\rho / 2\pi L) * (\ln(2L/d) + 1/2 \ln((4t+L)/(4t-1))) = \quad (4.3)$$

$$= 120 / 2 / 2.5 / 3.1415 * (\ln(2 * 2.5 / 0,015) + 0.5 * \ln((4 * 1.75 + 2.5) / (4 * 1.75 - 2.5))) = 42 \text{ Ом};$$

$$R_r = \rho / (2\pi L_r) \ln 2L_r^2 / b t_0 = 120 / (2 * 3,1415 * 70) \ln 2 * 70 * 70 / (0,004 * 0,5) = 4.2 \text{ Ом}, \quad (4.4)$$

де  $\rho$  – розрахунковий питомий опір ґрунту, Ом\*м:

$L_r$  – 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  $\eta_3 = 0.66$  і  $\eta_c = 0.36$

Опір розтіканню групового штучного заземлювача визначається по формулі :

$$R_H = R_r R_B / (R_r \eta_c + R_B \eta_3 n) = 42 * 4.2 / (0.36 * 42 + 4.2 * 0.66 * 14) = 3.27 \text{ Ом}. \quad (4.5)$$

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

Загальний опір заземлюючого обладнання:

$$R_{з.д.} = R_e R_{и} / (R_e + R_{и}) = 25 * 3.27 / (25 + 3.27) = 2.9 \text{ Ом}, \quad (4.6)$$

що менше необхідного за ДСТ 121.030-81[23].

#### 4.5 Пожежна 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-Ia. 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 вогнегасного речовини використовується комбінований вуглекислотно-хладоновий склад [23].

Розрахуємо необхідну масу вогнегасного речовини. Виробнича ділянка – приміщення розміром 5x10 метрів, висота стель – 3 м.

1. Необхідна маса комбінованого вуглекислотно-хладонового складу  $m_d$ , кг, для об'ємного пожежогасіння визначається по формулі:

$$m_d = k_6 q_n V, \quad (4.7)$$

де  $k_6$  – коефіцієнт компенсації невраховуваних втрат вуглекислотно-хладонового складу, ухвалюється рівним 1.2;

$q_n$  – нормативна масова вогнегасна концентрація вуглекислотно-хладонового складу, ухвалюється  $0.27 \text{ кг/м}^3$  при часі заповнення приміщення, рівним 30 сек;

$V$  – обсяг приміщення, що захищається,  $\text{м}^3$ .

$$m_d = 1.2 * 0.27 * 10 * 5 * 3 = 48.6 \text{ кг} \quad (4.8)$$

2. Кількість  $\xi_1$  балонів визначається з розрахунку місткості в 40-літровий балон 25 кг вуглекислотно-хладонового складу:

$$\xi_1 = m_d / 25 = 48.6 / 25 = 2 \text{ повних балона} \quad (4.9)$$

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

$$d_i = d_1 \sqrt{\xi_2} \quad (4.10)$$

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

$\xi_2$  – число одночасне балонів, що розряджаються.

$$d_i = 30 * \sqrt{2} = 42.4 = 43 \text{ мм} \quad (4.11)$$

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

$$l_2 = k_7 \cdot l \quad (4.12)$$

де  $k_7$  – коефіцієнт збільшення довжини трубопроводу для компенсації невраховуваних місцевих втрат;

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

$$l_2 = 1.1 \cdot 30 = 33 \text{ м} \quad (4.13)$$

5. Площа перетину вихідного отвору зрошувача  $A_3$ , мм<sup>2</sup>, визначається по формулі:

$$A_3 = S / \xi_1 \quad (4.14)$$

де  $S$  – площа перетину магістрального трубопроводу, мм<sup>2</sup>;

$\xi_1$  – число зрошувачів (8).

$$A_3 = 3.1415 \cdot 2^2 \cdot 33 / 8 = 26 \text{ мм}^2 \quad (4.15)$$

6. Витрата вуглекислотно-хладонового складу  $Q$ , кг/з, залежно від еквівалентної довжини й діаметра трубопроводу визначається:

$$Q = 5,6 \text{ кг/з} \quad (4.16)$$

7. Розрахунковий час подачі вуглекислотно-хладонового складу  $t$ , хв, визначається по формулі:

$$t = md / 60Q, \quad (4.17)$$

де  $m_d$  – розрахункова маса вуглекислотно-хладонового складу, кг;  
 $Q$  – витрата вуглекислотно-хладонового складу, кг/с.

$$t=48,6/5,6=8,7 \text{ хв} \quad (4.18)$$

8. Маса основного запасу вуглекислотно-хладонового складу,  $m$ , кг, визначається по формулі:

$$m = 1,1m_d(1+k_8/k_6), \quad (4.19)$$

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

$$m = 1,1*48,6*(1+0.2/1.2)=62,4 \text{ кг} \quad (4.20)$$

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.

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 кислотноупорній 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 кислотноупорною 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 повинен і 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 0,8м;
- висота переходу на шляхах евакуації не менш 2 м;
- схема евакуації людей ретельно розробляється й вивішується на видних місцях;
- увесь трудовий колектив проходить навчання заходам протипожежної безпеки [24].

Таблиця 4.1 – Експлуатаційні параметри пристрою для моніторингу повітря

Технічні характеристики	
Напруга живлення	9 В
Діапазон вимірів CO <sub>2</sub>	0~9999 ppm
Шкала вимірів	1 ppm
Точність	±70 ppm
Температура	0~50°C
Вологість	0~100%
Частота вимірів	не більше 1 Гц
Час розігріву	3 хвилини
Вага	15 г
Матеріал корпусу	пластик
Габарити	57,5 × 34,7 × 16 мм

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

х Аналіз приладів для створення оптимальних кліматичних умов показав, що найбільш простим, економним, безпечним та малошумним є газоаналізатор.

х Розроблена фізична модель пристрою детектування вуглекислого газу. За допомогою порівняльного аналізу були обрані контролер, датчик вуглекислого газу і мережевий модуль. Обґрунтовано вибір елемента живлення і побудована електрична схема пристрою. На попередньо відкаліброваному розробленому детекторі були проведені експериментальні виміри, які доводять правильність вимірювань. Розроблені вимоги до установки пристроїв детектування вуглекислого газу в приміщеннях.

х Запропонований пристрій для дослідження концентрації CO<sub>2</sub> має невеликі габаритні розміри, низьку вартість, простий в експлуатації та може використовуватися у дитячих садочках та навчальних закладах.

Результати роботи обговорювались на двох науково-технічних конференціях [Додаток В]:

1. Нікітішина А. О. Дослідження та розробка пристрою для моніторингу повітряного середовища. "Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних і комп'ютерних систем» Дніпро: Дніпровський національний університет, 2019. С. 14-15.
2. Нікітішина А. О. Дослідження та розробка пристрою для моніторингу повітряного середовища. XXIV науково-технічна конференція студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів інженерного інституту ЗНУ Запоріжжя: ЗНУ, 2019. С. 14-15.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Архів статей [Електронний ресурс]: Газоаналізатор. Види та призначення. Режим доступу: <http://arhiv-statey.pp.ua/> - - Дата доступу: січень 2018. – Назва з екрана.
2. Журнал «Світ клімату», №15. – М.:ЕвроКлімат, 2010.
3. Vkazivka.com [Електронний ресурс]: Способи очищення повітря: стан повітря в квартирі, типи пристроїв. Режим доступу: <http://vkazivka.com/remont/sposobi-ochishhennya-povitrya-stan-povitrya-v-kvartiri-tipi-pristroiv.html> - Дата доступу: лютий 2018. – Назва з екрана.
4. ДСТУ Б EN 15251:2011. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики: (ІЕН 15251:2007, ІДТ). Київ: Мінрегіон України, 2011. 65 с.
5. Шилькрот Е. О., Губернский Ю. Д. Сколько воздуха нужно человеку для комфорта АВОК. 2008. № 4. С. 4–17.
6. Жуков В.В. Відгуки лікарів про аеройнотерапію.[Текст] М: Медична література , 2006. 135 с.
7. Гуржий А.М., Поворознюк Н.І., Електричні радіотехнічні вимірювання[Текст] – К: Навчальна книга, 2002. 156 с.
8. Володин А.С. Зарубежные технические средства определения радиоактивного и химического загрязнения окружающей среды [Текст] / Воен. мед. ж., А.С. Володин, В.М. Гаврютин 1998. 319, №2, с.74-76.
9. Михаил Гук. Аппаратные средства IBM PC. Энциклопедия. [Текст] Санкт-Петербург, 1999.
10. Шило В.Л. Популярные цифровые микросхемы. [Текст] Справочник –М: Радио и связь, 1989, 287с.
11. Дубровский А.С. Резисторы. –М: Радио и связь[Текст], 1987, 352с.
12. Партала О.Н. Радиоконпоненты и материалы. [Текст] Справочник. –К: Радиоаматор, 1998.

13. Фергусон Дж., Макари Л., Уилльямз П. Обслуживание микропроцессорных систем. [Текст] Пер. с англ. –М: Мир, 1989, 336с.
14. Мячев А.А. Интерфейсы систем обработки данных. Справочник. [Текст] –М: Радио и связь, 1989, 416с.
15. Тули М. Справочное пособие по цифровой электронике[Текст] : пер. с англ. –М: Энергоатомиздат, 1990, 176с.
16. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник , Якубовский С.В., Ниссельсон В.И.,Кулешова и др.; [Текст] Под ред. Якубовского С.В.-М: Радио и связь, 1990, 496с.
17. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. [Текст] - М.: Изд-во Иностранной литературы, 1957. — 726 с.
18. Северденко В. П. и др. Ультразвук и прочность. [Текст] Минск, Наука и техника, 1979.
19. Физические основы ультразвуковой технологии. [Текст] Под ред. Л. Д. Розенберга. М., Наука, 1970
- 20.Охорона праці на підприємствах зв'язку й охорона навколишнього середовища[Текст]: Н.І.Баклашов, Н.Ж.Китаева, Б.Д.Терехов.. - М.:Радіо й зв'язок, 1989.
- 21.Долин П.А. Основи техніки безпеки в електроустановках[Текст]: П.А.Долин - М.: Енергоатоміздат, 1984. -204 с.
- 22.Методичні вказівки по конструюванню місцевих повітряприймачів, вбудованих в устаткування для пайки й лудіння. – Л.:ВНИИОТ. 1980.
23. Белова С.В. Охорона навколишнього середовища[Текст]. С.В. Белова– М.: Вища школа, 1983.
- 24.Охорона праці в електроустановках. [Текст] Під ред.. Князевського. – М.: Енергія, 1977. -300 с.

## Додаток А

Перелік примем.	Зона	Поз. позначення	Найменування	Кількість	Примітки		
		Videx145	Акумулятор	4			
		9В, 1А	Блок живлення	1			
		MQ135	Датчик CO <sub>2</sub>	1			
		DHT11	Датчик вологості повітря	1			
		LCD 16/2	Дисплей	1			
		IC1	Мікросхема ATmega328	1			
		CN	Роз'єм живлення	1			
Позн. и дата	Иив. № дубл	Взам. иив №	Позн. и дата				
Иив. № позн	Эм. Лист	№ Документу	Підпис	Дата	<b>ФЕЕІТ 153 ДР</b>		
					<b>Прилад для вимірювання CO<sub>2</sub></b> <b>ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ</b>		
Розроб.	Насітшена						
Керівник	Небеснюк					1	2
Консулт.	Небеснюк				<b>ЗНУ</b> <b>МН-18-1мз</b>		
Н.контр.	Верьовкіт						
Затвердив	Світалько						



१/८!