

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний факультет
Кафедра приладів і систем неруйнівного контролю**

До захисту допущено:

завідувач кафедри ПСНК

_____ Анатолій ПРОТАСОВ

«__» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи
та технології неруйнівного контролю і діагностики»**

**спеціальності 151«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»**

**на тему: «Прилад для визначення концентрації діоксиду вуглецю у
повітрі»**

Виконав:

студент ІV курсу, групи ПК-61

Рац Олександр Сергійович _____

Керівник:

старший викладач, к.т.н. Лисенко Юлія Юріївна _____

Консультант з графіки:

старший викладач, к.т.н. Богдан Г.А.

Консультант з розробки електричної схеми:

доцент, к.т.н., доцент Баженов В.Г. _____

Рецензент:

старший викладач кафедри ІВТ, к.т.н. Морозова М.М. _____

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

| № з/п | Формат | Позначення | Найменування | Кількість листів | Примітка |
|-------|--------|----------------------|-----------------------------------|------------------|----------|
| 1 | A4 | | Завдання на дипломний проєкт | 2 | |
| 2 | A4 | ДП ПК6117. 00.000 ПЗ | Пояснювальна записка | 38 | |
| 3 | A2 | ДП ПК6117. 01.000 ТК | Структурна схема | 1 | |
| 4 | A2 | ДП ПК6117. 02.000 ТК | Функціональна схема | 1 | |
| 5 | A2 | ДП ПК6117. 03.000 ТК | Принципальна схема | 1 | |
| 6 | A2 | ДП ПК6117. 04.000 ТК | Корпус датчика | 1 | |
| 7 | A2 | ДП ПК6117. 05.000 ТК | Друкована плата | 1 | |
| 8 | A2 | ДП ПК6117. 06.000 ТК | Друкована плата(зворотна сторона) | 1 | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

| | | | | | | |
|-----------|---------------|-------|------|---|--|--------|
| | | | | ДП ПК6117 00.000.00 ПЗ | | |
| | ПБ | Підп. | Дата | | | |
| Розробн. | Рац О.С. | | | Відомість дипломного проєкту | Лист | Листів |
| Керівн. | Лисенко Ю.Ю. | | | | 1 | 1 |
| Консульт. | | | | | КПІ ім. Ігоря Сікорського каф. ПСНК гр. ПК-61 | |
| Н/контр. | Лашко Е.В. | | | | | |
| Зав.каф. | Протасов А.Г. | | | | | |

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Прилад для визначення концентрації діоксиду
вуглецю у повітрі»**

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Кафедра приладів і систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології неруйнівного контролю і діагностики»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Анатолій ПРОТАСОВ

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Рацу Олександрю Сергійовичу

1. Тема проекту «Прилад для визначення концентрації діоксиду вуглецю у повітрі», керівник проекту Лисенко Юлія Юріївна, к.т.н., затверджені наказом по університету від «25» травня 2020 р. №1180-с
2. Термін подання студентом проекту 13 червня 2020 р.
3. Вихідні дані до проекту: прилад повинен ґрунтуватися на сучасній елементній базі: мати АЦП для перетворення сигналу в цифровий, містити мікроконтролер, дисплей та пристрій керування. Перебдачити струм споживання приладу не більше 150 мА, а напруга 3.3-5V.
4. Зміст пояснювальної записки: вступна частина, аналітичний огляд, вибір та обґрунтування перетворювача, розробка структурної та функціональної схеми, вирір та обрахунок компонентів електричної принципової схеми, оцінювання похибки вимірювання, висновок, перелік використаної літератури.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) 6 креслеників (всього 3 листа формату А1):

- 1- Структурна схема
- 2- Функціональна схема
- 3- Принципова схема
- 4- Корпус датчика
- 5- Друкована плата
- 6- Друкована плата(зворотна сторона)

6. Консультанти розділів проекту

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|-------------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Графічний | Богдан Г.А. старший викладач | | |
| Електричний | Баженов В.Г. к.т.н., доцент | | |

7. Дата видачі завдання 15 лютого 2020 року

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання дипломного проекту | Термін виконання етапів проекту | Примітка |
|-------|---|---------------------------------|----------|
| 1 | Формулювання завдання проекту | 15.03.2020 | |
| 2 | Проведення аналітичного огляду | 20.04.2020 | |
| 3 | Вибір компонентів | 1.05.2020 | |
| 4 | Оформлення пояснювальної записки | 15.05.2020 | |
| 5 | Розробка креслеників | 10.06.2020 | |

Студент

Олександр РАЦ

Керівник

Юлія ЛИСЕНКО

Анотація

Метою даного дипломного проекту є розробка приладу для визначення концентрації діоксиду вуглецю у повітрі. Тема проекту є досить актуальною, адже проблема впливу низької якості повітря на організм людини входить до п'ятірки найважливіших проблем охорони здоров'я за даними різних асоціацій у світі.

Перший розділ присвячено огляду проблематики забрудненості атмосфери та її зміни за останні роки. Було розглянуто нормативи безпечної концентрації у приміщення та європейський стандарт. Проаналізовано вплив різних концентрацій двоокису вуглецю на стан людини. У другому розділі роботи було розглянуто методи вимірювання концентрації діоксиду вуглецю та сучасне обладнання. Після аналізу позитивних і негативних сторін кожного методу було обгрунтовано обраний оптичний метод. Інші розділи дипломного проекту містять інформацію про розроблену структурну, функціональну та принципову схеми. Після розробки схем було проведено вибір компонентів електричної схеми запропонованого приладу та описано принцип роботи пристрою та датчику.

З метою коректного визначення концентрації вуглекислого газу та роботи приладу в цілому було створено спеціальний алгоритм опрацювання сигналу датчика, що покладено в основу програми для мікроконтролера.

Дипломний проект складається із пояснювальної записки обсягом 41 сторінок, включає 12 ілюстрацій, 6 таблиць, 6 креслеників, 9 посилань, 1 додаток та 11 формул.

Annotation

The purpose of this thesis is to develop a device for determining the concentration of carbon dioxide in the air

The first section describes the problem of air pollution and its change over time. Indoor concentration standards and the European standard were considered. The influence of different concentrations of carbon dioxide on the human condition is analyzed.

In the course of the work the methods of measuring the concentration of carbon dioxide were considered. After analyzing the pros and cons of each method, the optical method was chosen.

Structural, functional and basic schemes were developed. After the schemes were developed, the components were carefully selected and the principle of operation of the device and the sensor was described.

A program for a microcontroller was created to operate the device, which allows you to correctly determine the concentration of carbon dioxide and adjust the device.

The diploma project consists of an explanatory note of 41 pages, includes 12 illustrations, 6 tables, 6 drawings, 9 references, 1 appendix and 11 formulas.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП | 10 |
| 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД | 13 |
| 1.1 Забрудненість атмосферного повітря та вплив на концентрацію людини | 13 |
| 1.2 Концентрація та її нормативи | 14 |
| 1.3 Нормативи якості повітря в приміщенні | 16 |
| 1.3.1 Європейський Стандарт EN 13779..... | 17 |
| 1.4 Вплив діоксиду вуглецю на самопочуття людини..... | 17 |
| 1.4.1 Вплив високих концентрацій за короткий проміжок часу | 18 |
| 1.5 Методи вимірювання вуглекислого газу | 19 |
| 1.5.1 Оптичний метод | 19 |
| 1.5.1.1 Характеристики ІЧ випромінювання | 21 |
| 2. ПОХИБКА ВИМІРЮВАННЯ..... | 32 |
| 2.1 Метрологічна оцінка вимірювання параметрів концентрації діоксиду вуглецю..... | 33 |
| 2.2 Математична модель розрахунку персональної експозиції | 33 |
| 3. СХЕМА ПРИЛАДУ..... | 36 |
| 3.1 Структурна схема | 36 |
| 3.2 Функціональна схема | 36 |
| 3.3 Принципова схема | 37 |

| | | | | | | | | | |
|-----------|------|--------------|--------|------|--|--|------|------|---------|
| | | | | | <i>ПК 61.170000.000073</i> | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |
| Розроб. | | Рац О.С. | | | <i>Прилад для визначення концентрації CO₂ у повітрі</i> | | Лім. | Арк. | Акрушів |
| Перевір. | | Лисенко Ю.Ю. | | | | | 8 | | |
| Н. Контр. | | | | | <i>ПБФ, ПК-61</i> | | | | |
| Затверд. | | Лисенко Ю.Ю. | | | | | | | |

| | |
|--|----|
| 4. ВИБІР КОМПОНЕНТІВ | 38 |
| 4.1 Інфрачервоний газовий модуль | 38 |
| 4.2 Мікроконтролер | 41 |
| 4.3 Дисплей | 43 |
| 4.4 Драйвер для дисплею | 44 |
| ВИСНОВОК | 46 |
| ЛІТЕРАТУРА | 47 |

| | | | | | | | | |
|-----------|------|--------------|--------|------|---|-------------------|------|---------|
| | | | | | <i>ПК 61.170000.0000ПЗ</i> | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | |
| Розроб. | | Рац О.С. | | | Прилад для визначення концентрації діоксиду вуглецю у повітрі | Лім. | Арк. | Акрушів |
| Перевір. | | Лисенко Ю.Ю. | | | | | 9 | |
| Н. Контр. | | | | | | <i>ПБФ, ПК-61</i> | | |
| Затверд. | | Лисенко Ю.Ю. | | | | | | |

ВСТУП

Діоксид вуглецю має велику роль у підтримці балансу та життя на планеті. За допомогою фотосинтезу, рослини перетворюють діоксид вуглецю на кисень, яким дихають люди. Вуглекислий газ, незважаючи на свій шкідливий вплив у великих кількостях, має бути в атмосфері для підтримання життя на планеті. Незважаючи на природні джерела діоксиду вуглецю такі як: пожежі, виверження вулканів та ін., людство залишається головним джерелом CO₂.

Збільшення концентрації вуглекислого газу в навколишньому середовищі пояснюється збільшенням кількості транспортних засобів та збільшенням виробничих потужностей підприємств. Вирубка лісів також збільшить рівень вуглекислого газу. Більшість виробництв залучені до викидів вуглекислого газу. Це було особливо помітно після промислової революції XIX-XX ст. За 200 років рівень вуглекислого газу подвоївся.

Концентрація CO₂ є неоднорідною, може змінитися в залежності від характеру місцевості, а також від наявності джерел забруднення, таких як: металургійні, хімічні, нафтохімічні заводи та інші види промисловості.

Персональна експозиція - це середнє значення концентрації за визначений проміжок часу, що вплинула на людину. Експозиція в умовах забрудненого середовища може призводити до самих різних впливів на здоров'я людини, в залежності від певного типу речовин, що забруднюють; від кількості, тривалості та циклічності експозиції. Залежно від діяльності людини, на його здоров'я мають вплив забруднювачі повітряного середовища як на відкритому повітрі, так і всередині приміщень.

Вуглекислота стимулює захисні системи нашого організму, допомагає впоратися з фізичними та інтелектуальними навантаженнями

При нормальному рівні вуглекислого газу люди відчують себе бадьоро. Надлишок вуглекислого газу в повітрі призводить до погіршення самопочуття і синдрому хронічної втоми.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК 61.170000.000ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 10 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

При активній діяльності людей в приміщеннях склад повітря змінюється. Він забруднюється, оскільки в навколишнє середовище при диханні і, випаровуючись через шкіру людей, виділяються шкідливі газоподібні забруднювачі: сірководень, аміак, ацетон, вуглекислий газ і інші домішки. Вуглекислий газ або діоксид вуглецю – CO₂, відносять до особливо шкідливим газам, які при достатній концентрації негативно впливають на організм людини.

Людина вдихає повітряну суміш, що містить до 20,9% кисню і до 0,03 - 0,04% вуглекислого газу, а видихає повітря, в якому до 16,3% кисню і до 4% вуглекислого газу. Вміст вуглекислого газу що вдихається і видихається збільшується в гіршу сторону майже в 100 разів.

Тому в будь-якому приміщенні концентрація діоксиду вуглецю, поряд з іншими шкідливими випаровуванням, поступово збільшується і може стати небезпечною, якщо люди знаходяться там тривалий час. CO₂ важче інших компонентів повітря, він накопичується в нижній частині приміщення, що необхідно врахувати при організації циркуляції повітряних мас. Концентрація цього газу визнана індикатором загального забруднення повітря в приміщенні. До того ж, крім вуглекислого газу, в приміщенні накопичується велика кількість пилу, мікробів і бактерій.

Тому, на етапі проектування жилих будівель, однією з найголовніших деталей – є розробка вентиляційної системи. Вони мають вагомий роль в дотриманні санітарних норм та якості повітря.

Контроль вуглекислого газу дуже важливий для нормального життя людини. Цей контроль особливо важливий для людей, які входять до групи ризику (дітей, людей похилого віку та хворих). Значною мірою це може серйозно вплинути на здоров'я і навіть вбити людину. Також CO₂ значною мірою впливає на розумову діяльність та зосередженість, що найважливіше в кабінетах та навчальних закладах. В таких місцях якість повітря повинна бути дуже високою.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК 61.170000.000ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 11 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

В результаті проведення загальнонаціонального дослідження бюджету часу населення США з'ясувалося, що вдома люди проводять в середньому 87,2% свого часу, в дорозі – 7,2% і на відкритому повітрі – 5,6%.[1]

Таким чином, питання контролю якості повітря в приміщенні з часом не втрачає своєї актуальності, оскільки мікроклімат відіграє ключову роль у впливі на людину, оскільки люди проводять більшу частину часу в школах, на роботі та вдома.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
| | | | | | <i>ПК 61.170000.000ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 12 |

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

В законі України «Про охорону праці» сказано, що санітарно - побутові умови повинні відповідати вимогам нормативних актів про охорону праці. Проте, в списках ГДК діоксид вуглецю, як забруднююча речовина-ігнорується

1.1 Забрудненість атмосферного повітря та вплив на концентрацію людини

Діоксид вуглецю – це тривка хімічна сполука. Входить до складу технічних, вулканічних, горючих та природних газів. За даними на 2020 рік концентрація CO₂, в атмосфері Землі зросла до рівня 412 ppm.

Природними джерелами двоокису вуглецю є: дихання рослин і тварин, розкладання органічних речовин, вулканічна активність.

Вуглекислий газ є основним продуктом виділення бактерій. "Аеробні" бактерії, що виробляють кисень, виділяють вуглекислий газ як основний продукт метаболізму. Перевищення рівня почалося в середині X століття з початком Промисловою революцією і триває донині.

На графіку Кілінга (рис. 1.1) відображена зміна концентрації CO₂ у атмосфері Землі.

Як видно, концентрація CO₂ в атмосфері швидко зростає. На діаграмі також показано періодичне споживання вуглекислого газу рослинами, амплітуда якого становить 5ppm. Показано щорічну зміну концентрації CO₂.

Основними антропогенними джерелами є паливна промисловість, а також автомобільний транспорт.

Рідкий і твердий вуглекислий газ (сухий лід) широко застосовується як охолоджувач, особливо в харчовій промисловості. Вуглекислий газ використовується також у багатьох інших галузях. CO₂ особливо пов'язаний з

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК 61.170000.000ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 13 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

виробництвом пива і вина, які перетворюють цукор в алкоголь під впливом кисню. Вуглекислий газ широко застосовується у видобутку нафти, де його закачують у нафтові свердловини для зменшення в'язкості та допомагають витягувати нафту.

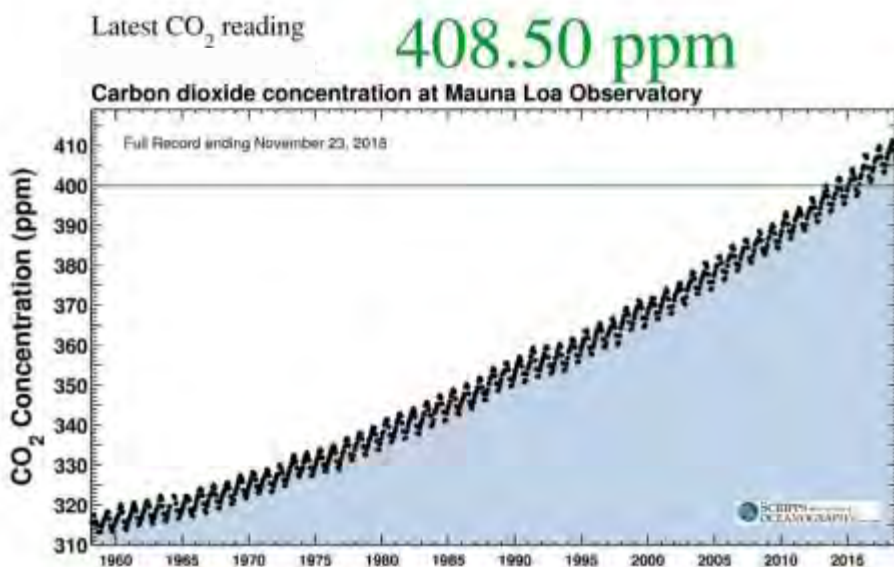


Рис.1.1 – Графік Киллінга

Діоксид вуглецю важчий за повітря, а щільність його у 1,5 рази більша від свіжого повітря. Коли вуглекислий газ виділяється в обмеженому або закритому просторі, він осідає. Завдяки цій тенденції досягається максимальна концентрація в найнижчих частинах простору. Так само ця тенденція призводить до підвищення концентрації в локалізованих районах. Це призводить до високих концентрацій вуглекислого газу в печерах і западинах.

В даний час 57% техногенного вуглекислого газу викидається завдяки рослинам та океанам. А інша частина зосереджена в атмосфері.

1.2 Концентрація та її нормативи

Кількість що міститься в повітрі CO₂ - концентрацію в одиниці об'єму, вимірюють в ppm.

Число «ppm» (англ. - parts per million) дорівнює кількісній долі будь-якого газу в мільйоні частинок повітряної суміші. Значення в 1000 ppm позначає, що

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК 61.170000.000ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 14 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

0,1% обсягу становить частка, яку займає певним газом в загальному обсязі повітря.

Вуглекислий газ - одна з найбільш занедбаних областей токсичних газів.

Навіть інформація про те, що Вуглекислота токсичний, для багатьох несподівана. Це також один з найпоширеніших забруднювачів повітря в приміщенні. Концентрація CO₂ в будівлі збільшується відносно зовнішнього рівня, оскільки рівень у повітрі, яке ми дихаємо, високий (близько 4%), а вентиляція приміщення недостатньо ефективна, щоб запобігти підвищенню рівня CO₂.

У більшості закритих приміщень (житлових та нежитлових) існує прямий зв'язок між високими концентраціями CO₂ та низькими концентраціями кисню. При обмеженні простору концентрація O₂, що утворюється внаслідок аеробної активності бактерій або людей, становить 19,5% (межа ризику дефіциту кисню в більшості країн) через еквівалентну концентрацію CO₂ в атмосфері. Не менше 1,4%

Під час обмінних процесів в організмі людини концентрація кисню у повітрі, що видихається, зменшується з 20,9% до 16,3%, тоді як вуглекислий газ, навпаки, збільшується з 0,03 до 4%. Слід зазначити, що концентрація вуглекислого газу збільшується більше ніж у 100 разів. Фахівці відзначають, що рівень концентрації газоподібних забруднювачів, що викидаються людиною, тісно пов'язаний зі зміною концентрації вуглекислого газу, що виділяється під час дихання людини. У зв'язку з цим концентрацію вуглекислого газу прийняли за показник якості повітря.

Інші шкідливі гази в житлових і громадських будівлях (фенолформальдегід, ацетон, аміак та інші компоненти меблів, декоративні матеріали) призводять до еквіваленту вуглекислого газу. Забруднювачі від меблів та декоративних матеріалів (в основному формальдегід та анілін), що відносяться до забруднюючих речовин людини, в основному поглинаються в природі.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК 61.170000.000ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 15 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1.3 Нормативи якості повітря в приміщенні

В Європейському Союзі, США та Канаді основним показником якості повітря в житлових та громадських приміщеннях є рівень концентрації вуглекислого газу.

Вуглекислий газ діє як індикаторний газ, який можна використовувати для оцінки наявності в повітрі інших токсичних речовин та ефективності вентиляції приміщення. Чим більше вуглекислого газу там, тим бідніша система вентиляції і тим більше токсинів та різних бактерій та грибів у повітрі.

Коли рівень CO₂ в даному повітрі знижується, концентрація інших речовин одночасно знижується. Вуглекислий газ вибирають, оскільки його концентрацію легко виміряти з високою точністю, а його маса значно перевищує інші забруднювачі. Внутрішні та зовнішні норми не мають норми щодо максимально допустимої концентрації вуглекислого газу у повітрі.

Склад атмосферного повітря в сільській місцевості відрізняється від складу повітря у малих та великих містах. Концентрація залежить від випуску транспортних засобів, спалювання палива на теплових електростанціях та промислових підприємствах.

Закордоном, вуглекислий газ входить до переліку забруднюючих речовин, таких як: оксид азоту, оксид вуглецю, діоксид сірки і летючі органічні сполуки. Всі ці речовини підлягають обліку при оцінці зовнішнього повітря для проектування вентиляційних систем, та систем кондиціонування.

В Україні немає (не затверджено на рівні держави) граничних допустимих норм CO₂ у повітрі приміщень. У цьому дипломному проекті будуть проаналізовані і використані норми інших країн. Таких як країни СНД, а також країни члени ЄС.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК 61.170000.000ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 16 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1.3.1 Європейський Стандарт EN 13779

Цей стандарт містить вимоги до систем вентиляції і кондиціонування повітря. За цим стандартом, повітря в приміщеннях поділяється на чотири класи якості, які приведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Класифікація повітря в приміщеннях

| Клас | Характеристика |
|------|--|
| IDA1 | Високий рівень якості повітря в приміщеннях |
| IDA2 | Середній рівень якості повітря в приміщеннях |
| IDA3 | Прийнятний рівень якості повітря в приміщеннях |
| IDA4 | Низький рівень якості повітря в приміщеннях |

У таблиці 1.2 наведена класифікація повітря за вмістом CO₂.

Таблиця 1.2 Вміст вуглекислого газу в приміщенні

| Клас | Концентрація CO ₂ в приміщенні, ppm | |
|------|--|-----------------|
| | Типові границі | Типові значення |
| IDA1 | < 400 | 350 |
| IDA2 | 400-600 | 500 |
| IDA3 | 600-1000 | 800 |
| IDA4 | >1000 | 1200 |

Знаючи місцезнаходження і рівень концентрація CO₂ в зовнішньому повітрі, легко визначити його розрахункову концентрацію в повітрі приміщення[2].

1.4 Вплив діоксиду вуглецю на самопочуття людини

При збільшенні вмісту діоксиду вуглецю в повітрі людина відчуває духоту, у нього прискорюється пульс, зростає стомлюваність, зменшується концентрація уваги і продуктивність роботи. Недолік свіжого повітря може

привести до непритомних станів, появи нудоти, головного болю, зростаючої інтоксикації і розвитку синдрому хронічної втоми.

Розберемося, як відчуває себе людина при різних рівнях концентрації двоокису вуглецю в повітрі, яким вона дихає.

50 - 400 ppm (або 350 см³ діоксиду вуглецю в 1 м³ повітря): умови зовнішнього повітря, умови для перебування людини поза домом на свіжому повітрі. (400 ppm - норма концентрації CO₂ для міста);

500 - 600 ppm: оптимальні та найякісніші умови для перебування і роботи в приміщенні, найбільш продуктивні і здорові умови;

600 - 1000 ppm: знижується продуктивність, концентрація уваги, падає майже на 30%, потрібні зусилля для сприйняття інформації, з'являються головні болі;

1000 - 1500 ppm: з'являється апатія і втома, сильно знижується уважність, важко приймати рішення, розвивається хронічна втома;

від 1500 ppm: з'являється головний біль і інші недуги, немає бажання працювати або мислити, можливі хронічні захворювання носоглотки.

1.4.1 Вплив високих концентрацій за короткий проміжок часу

Виявлено, що при короткочасному впливі концентрації вуглекислого газу в діапазоні 1-5% у людей і тварин можуть привести до змін в організмі, наприклад: задишка, ацидоз, тремор, підвищений кров'яний тиск прискорене дихання, головний біль, порушення зору, пошкодження легень, міжреберна біль, деградація кісток, зміни хімічного складу крові, а також неуважність . Високий рівень CO₂ також викликає панічні атаки, зупиняє процеси метаболічних ферментів і змінює процес кліткового ділення . Ризики для здоров'я підвищуються постійно, причому по-трохи. Більш високі концентрації вуглекислого газу викликають більш серйозні, і більш шкідливі реакції організму.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК 61.170000.000ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 18 |

Концентрація в 800ppm вже вважається небезпечною, а при 1000ppm, тобто 0,1% об'ємної концентрації, виникають перші ознаки «отруєння» (безпричинна млявість, утруднене дихання). Однак і ці значення все ще входять в норму: перевищенням по санітарним нормативам вважається рівень вище 1400ppm.

При таких показниках вже важко концентруватися на виконанні завдань, якщо людина на роботі, і важко нормально засипати, якщо мова йде про відпочинок вдома. Критичні величини - більш 3000ppm (0,3%). В цьому випадку швидко розвиваються ознаки кисневого голодування, нудить, частішає пульс. Концентрації в 5000ppm викликає інтоксикацію, а 15000ppm – це смертельна доза для людини. При концентрації 15000ppm людина може провести не більше 5хв без тяжких наслідків.

1.5 Методи вимірювання вуглекислого газу

Найбільш поширеними методами для вимірювання двоокису вуглецю є: напівпровідниковий метод, термокундуктометричний метод, оптичний метод, електрохімічний метод.

1.5.1 Оптичний метод

Інфрачервона спектроскопія— різновид молекулярної оптичної спектроскопії, оснований на взаємодії речовини з електромагнітним випромінюванням в ІЧ діапазоні: між червоним краєм видимого спектра (хвильове число 14000 см^{-1}) і початком короткохвильового радіодіапазону (20 см^{-1}).

ІЧ спектри виникають при поглинанні ІЧ випромінювання на частотах, що збігаються з деякими власними коливальними і обертальними частотами молекул або з частотами коливань кристалічної ґратки. ІЧ спектри отримують за допомогою спектрометрів різних типів, робочий діапазон яких знаходиться в межах так званої фундаментальної ІЧ області (400 см^{-1} — 4000 см^{-1}).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК 61.170000.000ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 19 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

На основі ІЧ спектрів можна проводити якісний та кількісний аналіз речовини.

Інфрачервона спектроскопія дозволяє отримувати спектри речовини у всіх її агрегатних станах [3].

Коли інфрачервоні промені проходять через речовину, коливальні рухи збуджують молекули або їх частин. При цьому спостерігається зниження інтенсивності світла, яке пройшло крізь зразок. Однак поглинання світла відбувається не у всьому спектрі випромінювання, а лише на довжинах хвиль, що відповідають енергії збудження коливань у досліджуваних молекулах.

Отже довжини хвиль (або частоти), що спостерігаються максимальне поглинання інфрачервоного випромінювання, можуть свідчити про наявність у молекулах зразків певних функціональних груп та інших фрагментів, які широко використовуються в різних галузях хімії для встановлення структури з'єднання сполук.

Експериментальними результатами в ІЧ-спектроскопії є інфрачервоний спектр - функція інтенсивності пропущеного інфрачервоного випромінювання від його частоти. Частіш за все інфрачервоний спектр містить ряд із смуг поглинання, за матеріальним становищем і відносною інтенсивності яких можна зробити висновок про будову досліджуваного зразка. Такий метод став можливий завдяки великій кількості інформації, що була накопичена в ході багатьох експериментів: існують спеціальні таблиці, що зв'язують частоти поглинання з наявністю в зразку певних молекулярних фрагментів. Створено також бази ІЧ-спектрів деяких класів з'єднань, які дозволяють автоматично порівнювати спектр невідомого аналізованої речовини з уже відомими і таким чином ідентифікувати цю речовину.

Інфрачервона спектроскопія являється цінним аналітичним методом і слугує для дослідження будови органічних молекул, неорганічних і координаційних, а також високомолекулярних сполук. Основним засобом, що

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
| | | | | | <i>ПК 61.170000.000ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 20 |

використовувався для подібних аналізів являється інфрачервоний спектрометр (з перетворенням Фур'є або дисперсійний).

Аналіз складних зразків став можливим завдяки розробці нових методів інфрачервоної спектроскопії: ІЧ-променевої спектроскопії, ІЧ-емісійної спектроскопії та ІЧ-мікроскопії. Крім того, інфрачервона спектроскопія поєднується з іншими аналітичними методами: газовою хроматографією та термогравіметриєю.

1.5.1.1 Характеристики ІЧ випромінювання

ІЧ-спектроскопія заснована на явищі хімічного поглинання інфрачервоного випромінювання, яке одночасно стимулює коливання молекули. Інфрачервоне світло - це електромагнітна хвиля, яка характеризується довжиною хвилі λ , частотою ν і хвильовим числом $\tilde{\nu}$, які пов'язані наступною залежністю(1.1):

$$\tilde{\nu} = \frac{\nu}{(c/n)} = \frac{1}{\lambda} \quad (1.1)$$

де c - швидкість світла,

n - показник заломлення середовища.

У спектроскопії поглинання, ІЧ-спектроскопія виступає як окремий випадок. Відбувається поглинання фотонів певної енергії молекулами, яка пов'язана з частотою електромагнітної хвилі через постійну Планка(1.2):

$$E_p = h\nu \quad (1.2)$$

де, E_p - різниця енергій,

h - постійна Планка,

ν - частота.

Коли фотон поглинається, виникає збудження - енергія молекули збільшується: вона змінюється від коливального стану E_1 (основного) до стану

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК 61.170000.000ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 21 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

E_2 (збудженого коливання), так що різниця енергії на цих рівнях дорівнює енергії фотона.(1.3)

$$E_2 - E_1 = \Delta E = h\nu = hc\tilde{\nu} \quad (1.3)$$

Поглинена енергія ІЧ-випромінювання йде на збудження коливальних переходів для речовин в конденсованому стані. Для газів поглинання кванта ІК-випромінювання призводить до коливальних і обертальних переходах.

1.5.1.2 Поглинання випромінювання

Зазвичай при експерименті прилад випускає інфрачервоне випромінювання одночасно всіх довжин хвиль, включаючи ближню інфрачервону область (14 000 - 4000 см⁻¹), середню інфрачервону область (4000 - 400 см⁻¹) і далеку інфрачервону область (400 - 10 см⁻¹).

Поглинання випромінювання речовиною кількісно описується законом Бугера - Ламберта - Бера, а спектр виходить при побудові залежності пропускання або оптичної щільності від довжини хвилі (частоти, хвильового числа).

Для поглинання випромінювання, необхідно виконання двох умов. Спочатку поглинаються лише хвилі частоти, яких збігуються з частотою коливання молекули. Потім, коливання викликає зміну дипольного моменту молекули. Тому молекули, які не мають дипольний момент (наприклад, N₂, O₂, солі без ковалентних зв'язків і метали), не поглинають інфрачервоне випромінювання. Інтенсивність смуг в ІЧ-спектрі пропорційна квадрату зміни дипольного моменту

1.5.1.3 Інфрачервоний спектрометр

Інфрачервоний спектрометр - прилад для реєстрації інфрачервоних спектрів поглинання, пропускання або відбиття речовин[4].

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК 61.170000.000ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 22 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1.5.1.3.1 Дисперсійні ІЧ-спектрометри

Типовий дисперсійний ІЧ-спектрометр функціонує наступним чином.

Оптична схема типового ІЧ-спектрометра зображена на рисунку 1.2.

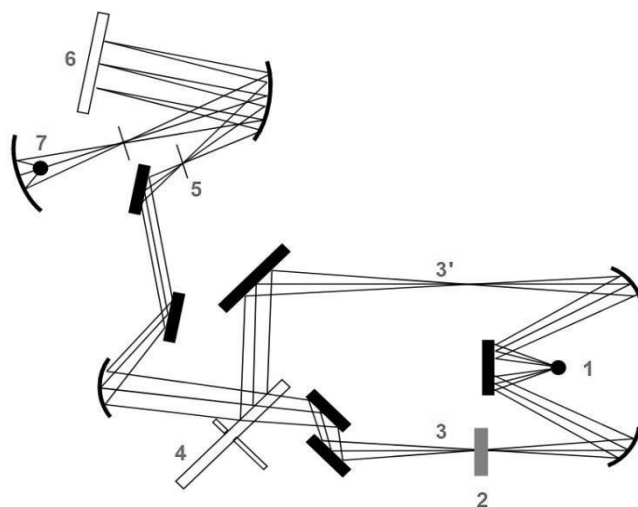


Рис. 1.2. Оптична схема двопроменевого дисперсійного ІЧ-спектрометра: 1 - джерело, 2 - зразок, 3 - промінь, що проходить через зразок, 3'- промінь порівняння, 4 - дзеркало з секторами, 5 - щілини, 6 - решітка, 7 – детектор

Типовий дисперсійний інфрачервоний спектрометр працює наступним чином. Світло від поліхроматичного джерела проходить через клітинку із зразком і потім надходить у монохроматор, який виступає в ролі призми чи дифракції. Крім того, інфрачервоні промені, що випромінюються в спектр, проходять через вузький спектр, вибирають потрібний спектральний діапазон, направляють його в детектор і визначають його інтенсивність. Проходження по всьому спектральному діапазону здійснюється обертанням призми або дифракційної решітки: у цьому випадку випромінювання різної довжини хвилі, у свою чергу, потрапляє на полюс і дозволяє записувати спектр.

Зазвичай дисперсійний пристрій має двопроменевий оптичний ланцюг. Він відображає інтенсивність світла, що проходить через зразок, а також еталонне світло, що проходить через порожню ковдру або кювету, наповнену чистим розчинником. Потім вони по черзі торкаються монохроматора та детектора, де порівнюються їх інтенсивності. Структурно цього можна досягти за допомогою круглого дзеркала, в якому частина секторів

відображена, а частина порожня. Така структура дзеркала дозволяє передавати світло від зразка до детектора або відбивати світло відносно детектора, а завдяки дзеркалу ці фази швидко змінюються. Отримання для поділу інтенсивності вибраного світла на інтенсивність інтенсивного світла від зразка дає бажаний провідник $T[4]$.

1.5.1.3.2 Фур'є – інфрачервона – спектрометрія

Основним елементом інфрачервоного спектрометра з перетворенням Фур'є є інтерферометр Майкельсона, який працює в такий спосіб. Промінь когерентного світла падає на світло дільник, в результаті чого виходять два промені приблизно однакової інтенсивності. Далі кожен з цих променів відбивається від свого дзеркала і повертається на світло дільник, де промені об'єднуються, створюють інтерференцію і потрапляють на детектор. Одне з дзеркал в інтерферометрі є рухомим: його положення постійно змінюється, за рахунок чого виникає змінюється різниця ходу. Залежно від величини різниці ходу промені з'єднуються в фазі або протифазі, що призводить до позитивної або негативної інтерференції.

При проходженні через інтерферометр монохроматичного випромінювання сигнал має вигляд синусоїди, частота якої пропорційна хвильовому числу.

Однак в ІЧ-спектрометрах використовується поліхроматичне інфрачервоне випромінювання, тому синусоїди різних частот накладаються, утворюючи складну картину, яка називається інтерферограма. Інтерферограму можна перетворити в інфрачервоний спектр за допомогою перетворення Фур'є. Оптична схема Фур'є-ІЧ спектрометра зображена на рисунку 1.3.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК 61.170000.000ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 24 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

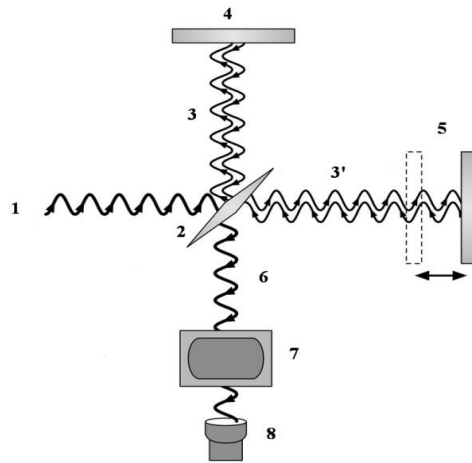


Рис. 1.3 – Оптична схема Фур'є-ІЧ-спектрометра : 1 – когерентне джерело світла, 2 – світло дільник, 3 – розщеплений промінь, 3 - відстаючий промінь, 4 – нерухоме дзеркало, 5 – рухоме дзеркало, 6 – об'єднаний промінь, 7 – зразок, 8 – детектор

Зразок в цих приладах розташовується між інтерферометром і детектором, на відміну від дисперсійних спектрометрів, де зразок поміщають між джерелом і монохроматором. Крім того, Фур'є-ІЧ-спектрометри зазвичай працюють в однопроменевому режимі: по черзі записуються два спектра (зі зразком і без нього), а їх різниця і дає спектр поглинання зразка . [4]

1.5.2 Термокондуктометричний метод

Їх робота заснована на залежності теплопровідності газової суміші від її складу. Обов'язковою умовою для вимірювання є відповідність між складом незмірених компонентів всієї шкали або середнім значенням вмісту стабільних незмірених компонентів. Теплопровідність вимірюється зміною електричного опору чутливого елемента, що міститься в аналізованій газовій суміші.

Термокондуктометричні газові аналізатори не мають високої швидкості і застосовуються, коли керований компонент теплопровідності значно відрізняється від інших, наприклад, для визначення концентрацій N_2, He, Ar, CO_2 у N_2, O_2 та інших газових сумішах. Діапазон вимірювання - від десятків відсотків залежно від розміру одиниці.

Зміна складу газової суміші призводить до зміни її теплопровідності, внаслідок чого температура та електричний опір нагріваються потоком металу або електропровідним термістором, розташованим у камері, через яку суміш передається. При цьому:

$$\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} = \frac{\alpha}{a} I^2 \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) \quad (1.4)$$

де a – конструктивний параметр камери,

R_1, R_2 - опір терморезистора в разі пропускання через нього струму I за теплопровідності газового середовища λ_1 і λ_2 ,

α - температурний коефіцієнт електроопору терморезистора.

У термокондуктометричних газоаналізаторах використовують два напрями: пряма або диференціальна вимірювальна газова схема. В якості чутливого елемента використовуються платинові опори, які включені в плечі вимірювального моста.

1.5.2.1 Пряма вимірювальна газова схема

За схемою прямого виміру (рисунок 1.4) аналізується газова суміш, що проходить через дві камери з чутливими елементами; в двох порівняльних камерах чутливі елементи герметично закриті та заповнені газом постійного складу.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК 61.170000.000ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 26 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

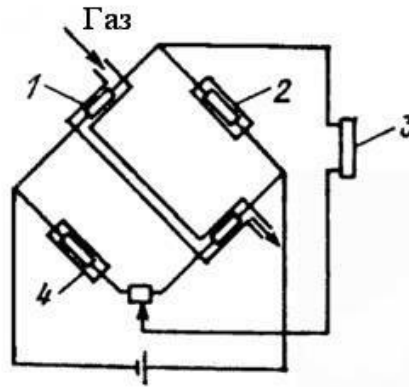


Рис. 1.4 – Пряма вимірювальна газова схема : 1 – робоча камера, 2 – порівнювальна камера, 3 – вторинний прилад, 4 – чутливий елемент, 5 – поглинач

1.5.2.2 Диференціальна вимірювальна газова схема

При диференціальній схемі вимірюється (рисунок 1.5) газова суміш, що аналізується, потоком проходить через робочі камери, а потім, після попереднього видалення з неї контрольованого компонента в печі допалювання або поглинання за межами газоаналізатора, надходить в порівняльну камеру і виконує функції порівняльного газу.

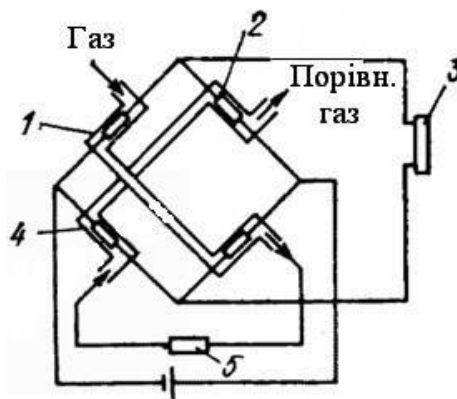


Рис. 1.5 - Диференціальна вимірювальна газова схема: 1 – робоча камера, 2 – порівнювальна камера, 3 – вторинний прилад, 4 – чутливий елемент, 5 – поглинач

1.5.3 Електрохімічний метод

Їх дія заснована на залежності між параметром електрохімічної системи і складом аналізованої суміші, що надходить в цю систему.

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

ПК 61.170000.000ПЗ

Арк.

27

1.5.3.1 Потенціометричні газоаналізатори

Дія потенціометричних газоаналізаторів будується на залежності потенціалу E індикаторного електрода від активності а електрохімічних активних іонів, що утворилися за розчиненні визначається компонента (формула 1.5):

$$E = E^{\circ} + \frac{RT}{nF} \ln a$$

де E° -Стандартний електродний потенціал,

R - універсальна газова постійна, T - абсолютна температура, F - число Фарадея, n -число електронів, що беруть участь в електрохімічній реакції.

Вимірюване значення E являється пропорційним концентрації контрольованого компонента, розчиненого в електроліті. Ці газоаналізатори застосовують для визначення $CO_2, H_2S, HF, NH_3, SO_2$ та ін.

Широко застосовуються потенціометричні газові аналізатори твердого електроліту для вимірювання вмісту O_2 . Керамічні пластини на основі CaO та ZrO_2 починають проводити іони кисню при високих температурах, тобто. діють як електроліт. На поверхню такої пластини з обох сторін наноситься тонкий шар порожнистої платини (платинові електроди). З одного боку, пластини подають газову суміш з аналізу, а з іншого - відносний газ. Різниця потенціалів між електродами - це вимірювання вмісту O_2 .

Термостат підтримує температуру електрохімічної комірки на необхідному рівні. За допомогою таких газоаналізаторів O_2 фіксується в різних концентраціях (10⁻⁴ -100 об.%). Наявність вуглеводнів у аналізованій суміші спотворює результати її окислення при високих температурах.

1.5.3.2 Кондуктометричні газоаналізатори

У кондуктометричному газоаналізаторі електропровідність розчину вимірюється шляхом селективного всмоктування. Як правило, система

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК 61.170000.000ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 28 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

пристрою складається з електричного моста постійного або змінного струму з двома осередками проводить обсягу, через які протікає електроліт. Електроліт надходить в одну з комірок після контакту з аналізованих газовим потоком. Вихідний сигнал пропорційний різниці електропровідності розчину до і після контакту з контрольною сумішшю. Ця різниця залежить від концентрації розчиненого речовини в електроліті. Змінюючи швидкість потоку електроліту і аналізованої суміші, діапазон конкретної концентрації може змінюватися в широкому діапазоні. Недоліками цих газоаналізаторів є низька селективність і довговічність при вимірюванні низьких концентрацій. Семетричні газоаналізatori широко використовуються для визначення O₂, CO, SO₂, H₂S, NH₃ та інших.

1.5.4 Напівпровідниковий метод

Дія приладу заснована на фіксації опору напівпровідника на нижній частині робочого колеса (злитки або монокристали) шляхом вставки суми аналізованого компонента. Грунтуючись на роботах аналізаторів окисленого газу, поверхня тонкого шару свинцю (оксидів металів) хемосорбується на поверхні молекули хімічно активного газу (рис. 1.6). Такі газоаналізatori стійкі до виявлення гарячого газу (Zochrema, H₂, CH₄, пропан) та інших O₂, CO₂. Вибірковість аналізу може бути поширена на змінне сховище і його температуру (для подальшого нагріву) в чутливому діапазоні. Діапазон концентрації концентрованого гарячого газу становить 0,01-1% за обсягом.

У напівпровідникових газоаналізаторах з кристалічно чутливими елементами складна напівпровідникова структура з провідністю монокристалів або рп-вузлів змінюється зі зміною стану заряду Землі. вимірюється нагромадженням або розподілом зарядів на ньому. Для визначення H₂ за допомогою споживчих елементів одержують шар металізолятор-напівпровідник у вигляді системи (канальні транзистори), а верхній металевий шар - з Pd або його сплавів. Зміна стану поверхневого заряду

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК 61.170000.000ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 29 |

відбувається шляхом зміни різниці потенціалів зв'язку між напівпровідником і Pd, коли кінцевий H₂ розчиняється в аналізованій суміші. Діапазон концентрації інертного газу H₂10⁻⁵-10⁻³%.

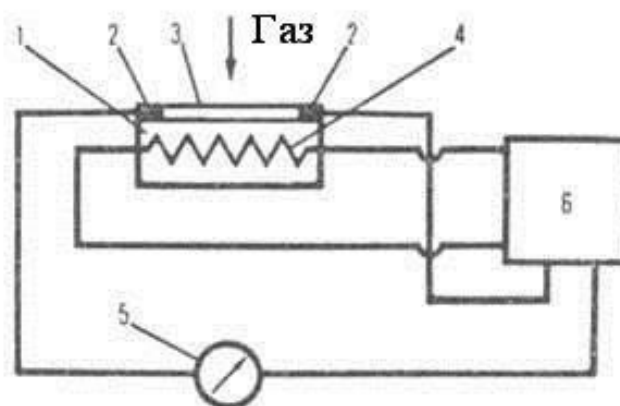


Рис. 1.6 - Напівпровідниковий окисний газоаналізатор: 1-підкладка, 2-контакти, 3-чутливий шар, 4-нагрівальний елемент, 5-вторинний прилад, 6-джерело напруги

Для масового виробництва напівпровідникових газоаналізаторів використовується сучасна мікроелектронна технологія, яка дозволяє створити вимірювальний датчик, що включає чутливий елемент, систему контролю температури та електричний підсилювач сигналу у вигляді мікромодуля. відокремлений.

1.5.5 Порівняння методів газового аналізу

Результати порівняння методів аналізу газів зведено до таблиці 1.3 з вказанням їх переваг та недоліків. На основі цих даних, можна визначити, що найкращим методом газового аналізу – є оптичний, а саме інфрачервона спектроскопія.

Таблиця 1.3. Порівняння методів аналізу газів

| Назва методу | Переваги методу | Недоліки методу |
|----------------|---|-------------------|
| Оптичний метод | 1)Висока чутливість; 2)відсутність шкідливих реагентів, необхідних для аналізу суміші газів; | 1)Велика вартість |

| | | |
|------------------------------|---|---|
| | 3) високу швидкодію селективність і чутливість; дозволяє визначати більшість забруднюючих газів та речовин. | |
| Електрохімічний метод | 1) Дуже висока точність; 2) Низьке енергоспоживання; 3) Прийнятна ціна | 1) низька швидкодія; 2) низька селективність; 3) великі габарити; 4) необхідно додатково з собою носити величезну кількість реагентів і різноманітних блоків |
| Термокондуктометричний метод | 1) Низька вартість | 1) Низька вибірковість; 2) маленький діапазон вимірюваної концентрації; |
| Напівпровідникові метод | 1) Дуже висока точність; 2) висока чутливість; | 1) Велика вартість; 2) малий термін служби сенсора; складність 3) дороге обслуговування; |

2. ПОХИБКА ВИМІРЮВАННЯ

Для дипломного проекту було обрано оптичний датчик діоксиду вуглецю, а саме інфрачервоний. Сьогоднішні технології виробництва забезпечують широкий спектр інфрачервоних датчиків. Оптичні датчики газу є найважливішою лінією газових датчиків і використовують одну з найкращих технологій, засновану на принципі інфрачервоного поглинання газу.

Різні гази мають різні максимуми інфрачервоного поглинання, тому тип та концентрацію газу можна визначити, вимірявши та проаналізувавши криву поглинання газу за допомогою інфрачервоного випромінювання. Незважаючи на складність датчиків цього типу та відомі переваги принципу виявлення через фазовий зсув, що вводиться пристроями, інфрачервоні датчики газу не змогли стати справжніми лідерами на ринку. У світі науково-технічного прогресу постійно з'являються фотоелектричні пристрої малого та низького тиску інфрачервоні, що робить мінімізацію одним із головних напрямків розвитку газових датчиків. Недисперсний інфрачервоний метод (NDIR) - основна технологія, що використовується в інфрачервоних датчиках газу.

Принцип роботи датчика, що визначає тип і концентрацію газу, ґрунтується на зміні інтенсивності інфрачервоного випромінювання до і після надходження в інфраструктурний детектор з центральною селективною чутливістю. Датчики можуть широко застосовуватися в районах, які потребують підвищеної чутливості, таких як виявлення небезпечних газів, аналіз викидів (вихлопні

гази), виявлення газів у вугільних шахтах, моніторинг навколишнього середовища в будинках та медичних установах, моніторинг теплового вуглекислого газу. і в місцях, де певні гази важко виявити за допомогою інших датчиків.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК 61.170000.000ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 32 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

повітря містить приблизно 4% вуглекислого газу. Кількість вдихів змінюється для кожної людини від 10 до 18 в хвилину, середнє значення- це 14 вдихів в хвилину.

Отже середній об'єм CO₂ в суміші газів, що видихають становить приблизно 20 мл.

Також на підвищення двоокису вуглецю впливають параметри приміщення, а саме: повітрообмін та об'єм.

Об'єм кімнати $V_{\text{пр}}$ визначається за формулою:

$$V_{\text{пр}} = l \times w \times h, (\text{м})^3 \quad (2.1)$$

де l – довжина приміщення, м; w – ширина приміщення, м; h – висота приміщення, м.

Для того щоб розрахувати підвищення концентрації $C_{\text{л}}$, яке спричиняє людина використовується формула:

$$C_{\text{л}} = 840 * \frac{20}{V_{\text{пр}}}, \left(\frac{\text{ppm}}{\text{год}} \right) \quad (2.2)$$

Концентрація C_{out} що виходить через вентиляцію, залежить від її параметрів, а саме V_{in} кількості повітря, що потрапляє в приміщення за одну годину.

$$C_{\text{out}} = C_{\text{h}} - \left(C_{\text{h}} * \frac{V_{\text{пр}} - V_{\text{in}}}{V_{\text{пр}}} \right), \left(\frac{\text{ppm}}{\text{год}} \right) \quad (2.3)$$

Для визначення персональної експозиції $E_{\text{р}}$ використовуємо розроблену формулу:

$$E_{\text{р}} = (C + n * (C_{\text{h}} - C_{\text{out}}) * t), \quad (\text{ppm}), \quad (2.4)$$

де n – кількість людей в приміщенні; t – час знаходження в приміщенні.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------|------|
| | | | | | <i>ПК 61.170000.000ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 34 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Кількість необхідних вимірювань, що потрібно провести для отримання результату. Мінімальне число вимірювань визначається за формулою:

$$n_{\min} = \frac{1}{1-p} \quad (2.5)$$

де p – значення довірчої ймовірності (для даного експерименту $p = 0,8$)

Для проведення експериментальних вимірів було розроблено прилад на основі апаратної платформи Arduino “Pro mini” і недисперсійного інфрачервоного сенсору МН – Z19В. В основу роботи, цього приладу покладено принцип перетворення концентрації вуглекислого газу в напругу на основі поглинання газом інфрачервоного випромінювання. Цей ефект спостерігається при пропусканні інфрачервоного випромінювання через CO₂. Частина світла поглинається молекулами. Різниця напруг, прямо пропорційна інфрачервоному випромінюванню, що поглине при проході крізь діоксид вуглецю.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК 61.170000.000ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 35 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

3. СХЕМА ПРИЛАДУ

Схема приладу включає в себе структурну та функціональну схему.

3.1 Структурна схема

Структурна схема відображає принцип роботи приладу (Додаток 4)

Діоксид вуглецю, під дією дифузії попадає до сенсора МН – Z19В.

Мікроконтролер ATmega 328p(Arduino Pro Mini), за допомогою шини UART, надсилає команду для початку виміру концентрації CO₂ кожні 10секунд. Після виміру, внутрішній мікроконтролер, що вбудований в сенсор, кодує отримане значення і по шині відправляє отримані данні на обробку. Алгоритм декодує значення і відправляє його на дисплей.

3.2 Функціональна схема

Функціональна схема розкриває функції компонентів структурної схеми.

Кресленик демонструє, що спочатку світло потрапляє на приймач через світофільтр, який пропускає хвилі, діапазон яких відповідає довжині хвилі вуглекислого газу, а саме від 2,7мкм до 2,9мкм. Після чого сигнал проходить через АЦП та стає цифровим. Далі він підсилюється завдяки підсилювача та проходить через фільтрацію. Щоб отримати значення, потрібно з мікроконтролера відправити сигнал на мікроконтролер датчика. Після отримання результатів мікроконтролер по заданій програмі рахує концентрацію вуглекислого газу. Якщо значення перевищує максимальне, то вмикається реле, яке під'єднано до лампи(-сигналізатор).Поки рівень концентрації CO₂ не впаде, лампа буде світити

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК 61.170000.000ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 36 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

3.3 Принципова схема

Принципова схема показує взаємозв'язок між електронними елементами приладу

Схема живиться від AC/DC перетворювача на +5V.

Датчик вимірю тривалість логічної одиниці та логічного нуля

Таким чином отримане значення обробляються на мікроконтролері та виводиться на дисплей

Також в пристрої є кнопки керування, що дозволяють змінювати мінімальне та максимальне значення ppm.

Отримання результату йде кожну секунду. В період коли значення CO₂ менше за максимальне, що задано кнопкою, нічого не змінюється.

Якщо рівень піднімається вище за максимальне значення, то від мікроконтролера йде сигнал на реле, яке може бути підключено до світлодіоду, динаміку, сигналізації, вентиляції, тощо.

Реле буде у ввімкненому положенні до тих пір, поки рівень CO₂ не буде нижчий за мінімальний.

Коли рівень вуглекислого газу нормалізується, реле перейду у вимкнене положення и продовжить свою роботу.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК 61.170000.000ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 37 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

4. ВИБІР КОМПОНЕНТІВ

Згідно до структурної схеми нам потрібно: датчик, мікроконтролер, дисплей, реле та механізм керування.

4.1 Інфрачервоний газовий модуль

MH-Z19B(рис 4.1)- це типовий датчик невеликого розміру, який використовує принцип недисперсійного інфрачервоного випромінювання (NDIR) для виявлення наявності CO₂ в повітрі, з хорошою селективністю, що не залежить від кисню і має низьке енергоспоживання. Датчик має вбудовану температурною компенсацією[4,5].

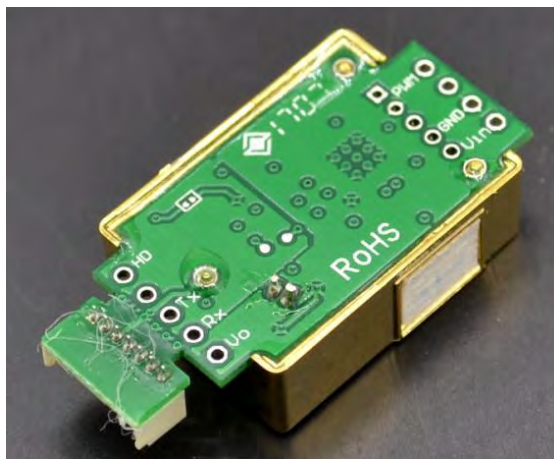


Рис 4.1 – датчик MH-Z19B

Технічні параметри датчика MH-Z19B представлено в табл. 1.4.

Таблиця 4.1. Технічні параметри датчика MH-Z19B

| | |
|-----------------|--------------------------------|
| Product Model | MH-Z19B |
| Target Gas | CO ₂ |
| Working voltage | 4.5 ~ 5.5 V DC |
| Average current | < 60mA (@5V) |
| Peak current | 150mA (@5V) |
| Interface level | 3.3 V(Compatible with 5V) |
| Measuring range | refer to Table 2 |
| Output signal | UART(TTL interface level 3.3V) |
| | PWM |
| | DAC(default 0.4-2V) |

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

ПК 61.170000.000ПЗ

Арк.

38

| | |
|---------------------|------------------------------|
| Preheat time | 3 min |
| Response Time | T90 < 120 s |
| Working temperature | 0 ~ 50 °C |
| Working humidity | 0 ~ 90% RH (No condensation) |
| Dimension | 33 mm×20 mm×9 mm (L×W×H) |
| Weight | 5 g |
| Lifespan | > 5 years |

Датчик може визначати концентрацію діоксиду вуглецю може працювати в трьох режимах[6]:

Через вихід PWM

Наприклад, вимірюються концентрація CO₂ в діапазоні 0~2000

Один цикл займає 1004мс±5%

Визначається час при якому буде максимальна та мінімальна амплітуда.

Рівень CO₂ визначається за наступною формулою

$$C_{ppm} = 2000 \times (T_H - 2ms) / (T_H + T_L - 4ms) \quad (4.1)$$

де T_H - час логічної одиниці(рис. 4.2)

T_L - час з логічного нуля

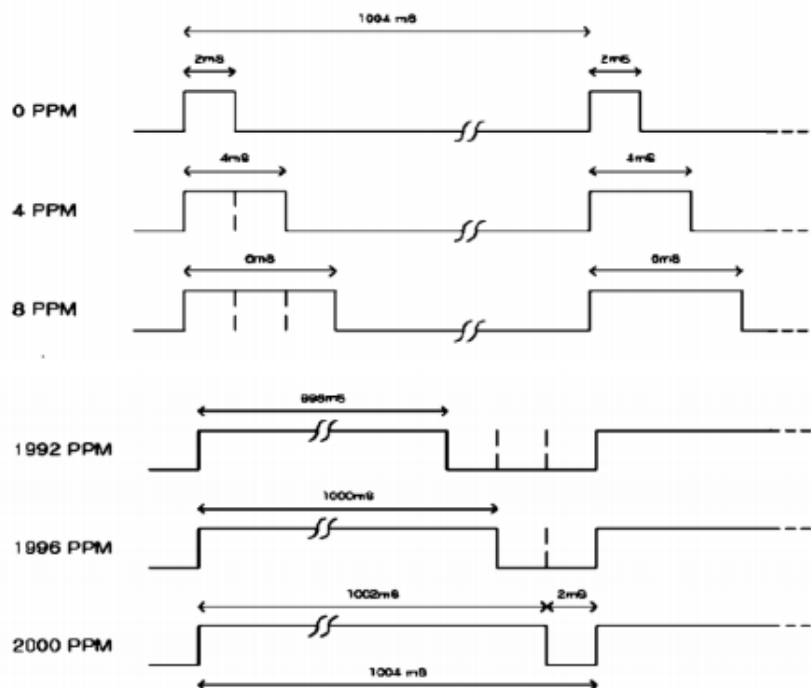


Рис. 4.2-Приклад виміру логічної одиниці

За допомогою UART(виходи Rx, Tx)

Спочатку потрібно з мікроконтролера відправити на датчик команду для того, щоб він почав працювати. Перелік використовуваних команд приведено у таблиці 4.2.[8]

Таблиця 4.2. Перелік команд мікроконтролера

| Команди | |
|---------|-----------------------------------|
| 0x86 | Почати вимір CO2 |
| 0x87 | Калібровка нульового значення |
| 0x88 | Калібровка середнього значення |
| 0x79 | Вимкнути або ввімкнути калібровку |

| 0x86- Read CO2 concentration | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------|---------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|----------|
| Request | | | | | | | | |
| Byte0 | Byte1 | Byte2 | Byte3 | Byte4 | Byte5 | Byte6 | Byte7 | Byte8 |
| Start Byte | Sensor # | Command | - | - | - | - | - | Checksum |
| 0xFF | 0x01 | 0x86 | 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0x00 | 0x79 |
| Response | | | | | | | | |
| Byte0 | Byte1 | Byte2 | Byte3 | Byte4 | Byte5 | Byte6 | Byte7 | Byte8 |
| Start Byte | Sensor # | Concentration (High Byte) | Concentration (Low Byte) | - | - | - | - | Checksum |
| 0xFF | 0x86 | HIGH | LOW | - | - | - | - | Checksum |
| CO2 concentration = HIGH * 256 + LOW | | | | | | | | |

Аналоговий вихід(Vo)

Передає значення на мікроконтролер.

Переваги

Сучасні технологічні пристрої відрізняються точність. Стабільністю і надійністю. Вони працюють за принципом недисперсійної інфрачервоної спектрометрії і відрізняються точність проведених вимірювань. Крім того, в числі достоїнств цих приладів варто відзначити малогабаритність, компактність, зручний інтерфейс і привабливий сучасний дизайн. Подібні пристрої стабільні, працюють з високою чутливістю, не потребують складних

налаштуваннях і можуть вбудовуватися в автоматизовані системи контролю мікроклімату.

Недоліки

Серед недоліків можна відзначити тільки досить високу вартість, а також підвищену чутливість до газу і пилу.

Серед інших датчиків CO2 це кращий по співвідношенню ціни і точності.

4.2 Мікроконтролер

Arduino Pro Mini (рис 4.3) одина із самих мініатюрних плат сімейства Arduino і може використовуватися в готових проектах. Побудована на мікроконтролері ATmega328p. Платформа містить 14 цифрових входів і виходів (6 з яких можуть використовуватися як виходи шим), 6 аналогових входів, резонатор, кнопку перезавантаження і отвори для монтажу виводів.



Рис. 4.3- Arduino Pro mini

Блок з шести виводів, може підключатися до кабелю FTDI або плати-конвертера Sparkfun для забезпечення живлення та зв'язку через USB [9].

Переваги

- Можна використовувати для конструювання схем на Breadboard
- Наймініатюрніша плата в сімействі Arduino
- Поставляється без впаяних штирьових контактів, що дозволяє використовувати навісний монтаж

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | 41 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | ПК 61.170000.000ПЗ | | | | |

- Дешева

Недоліки

- Немає контролера USB, в зв'язку з чим потрібен зовнішній програматор

- Найменша тактова частота мікроконтролера, всього 8МГц

- Напруга живлення 3,3 В

Метрологічні параметри АЦП Arduino

Роздільна здатність АЦП.

У Ардуіно використовується 10 розрядний АЦП, що відповідає 1024 градаціях вихідного коду. Роздільна здатність або точність АЦП з ідеальною передаточною характеристикою дорівнює $100\% / 1024 = 0,098\%$.

Похибки перетворення АЦП.

Виробники мікроконтролерів ATmega88 / 168/328 нормують повну помилку перетворення АЦП, в яку включені:

-інтегральна нелінійність;

-диференціальна нелінійність;

-помилка квантування;

-помилка коефіцієнта перетворення;

-помилка зміщення нуля.

Повна похибка не перевищує 2 одиниць молодшого розряду, що відповідає похибки $100\% / 1024 * 2 = 0,2\%$.

В документації на мікроконтролери наводяться значення окремих точностних параметрів:

Інтегральна нелінійність - не більше 0,5 одиниці молодшого розряду, тобто 0,05%.

Інтегральна нелінійність характеризує відхилення реальної характеристики АЦП від ідеальної в середині кроку квантування.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК 61.170000.000ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 42 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Диференціальна нелінійність - не більше 0,25 одиниці молодшого розряду, тобто 0,025%.

Цей параметр характеризує відхилення між центрами сусідніх кроків квантування на реальній законодавчій і ідеальній характеристиках. Тобто показує наскільки однакові сходинки характеристики.

Помилка коефіцієнта перетворення - не більше 2 одиниць молодшого розряду, тобто 0,2%. Показує наскільки нахил прямої між першою і останньою крапкою реальної характеристики перетворення відповідає ідеальному значенню. Помилка може бути скоригована множенням на поправочний коефіцієнт.

Помилка зміщення нуля - не більше 2 одиниць молодшого розряду, тобто 0,2%.

Показує значення сигналу на вході АЦП при вихідному коді рівному 0. Може бути скоригована додаванням до вихідного коду поправочного коефіцієнта.

З динамічних характеристик досить знати, що час перетворення АЦП в системі Ардуіно приблизно 110 мкс.

З вищесказаного можна зробити висновок, що похибка вимірювання АЦП Ардуіно не перевищує 0,2%.

Але є ще елементи системи, які впливають на точність вимірювання АЦП.

4.3 Дисплей

Дисплей, що запропоновано до використання у даному проєкті, LCD1602A приведено на рис. 4.4.

ЖК дисплей (Liquid Crystal Display) скорочено LCD побудований на технології рідких кристалів. При проектуванні електронної пристрої, нам потрібно недорогий пристрій для відображення інформації і другий не менш важливий фактор наявності готових бібліотек для Arduino. З усіх доступних LCD дисплеїв на ринку, найчастіше використовується LCD 1602A, який може

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК 61.170000.000ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 43 |

відображати ASCII символ в 2 рядки (16 знаків в 1 рядку) кожен символ в вигляді матриці 5x7 пікселів.



Рис 4.4 - LCD1602A

Переваги

- Доступний
- Дешевий
- Простий у використанні

4.4 Драйвер для дисплею

Модуль і2с для LCD 1602 Arduino приведено на рис. 4.5



Рис 4.5 - Модуль і2с для LCD 1602 Arduino

Найшвидший і зручний спосіб використання і2с дисплея в Ардуіно - це покупка готового екрану з вбудованою підтримкою протоколу. Але таких екранів не дуже багато і коштують вони не дешево. А ось різноманітних стандартних екранів випущено вже величезна кількість. Тому найдоступнішим і популярним сьогодні варіантом є покупка і використання окремого I2C модуля - перехідника, який виглядає ось так:

З одного боку модуля ми бачимо виводи і2с - земля, живлення і 2 для передачі даних. З іншого перехідника бачимо роз'єми зовнішнього живлення. І, звичайно, на платі є безліч ніжок, за допомогою яких модуль припаюється до стандартних виводів екрану.

Для підключення до плати Ардуіно використовуються і2с виходи. Якщо потрібно, підключаємо до зовнішнього джерела живлення для підсвічування. За допомогою вбудованого резистора ми можемо налаштувати установлювані значення контрастності J.

Схема підключення до LCD1602A виглядає наступним чином(рис. 4.6)

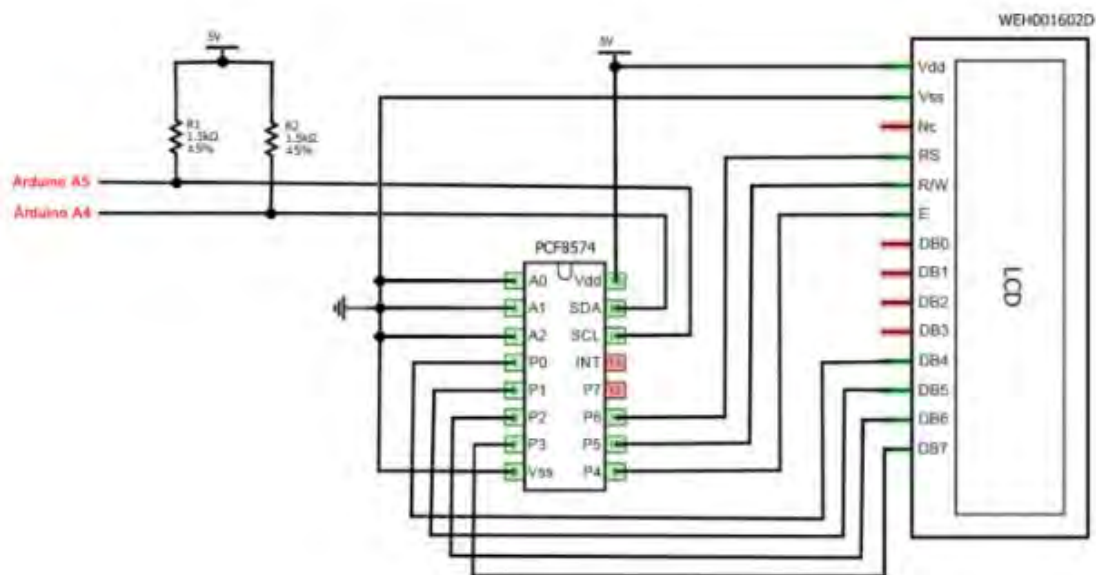


Рис. 4.6 – Схема підключення модуля і2с до LCD1602A

ВИСНОВОК

Концентрацію CO₂ в сучасних містах і на виробництві слід постійно контролювати і вживати заходи для усунення проблем якості повітря.

Для контролю концентрації вуглекислого газу використовується багато методів, тому було проаналізовано найбільш популярні методи та визначені їх плюси та мінуси. Серед методів, що було розглянуто, оптичний- найбільш точний та зручний.

Можна вимірювати рівень діоксиду вуглецю за допомогою кімнатних або переносних датчиків, датчики можуть входити в комплекти припливно-втяжної вентиляції окремих об'єктів або в системи централізованого автоматичного управління вентиляцією будівель.

В ході роботи було розроблено прилад для визначення концентрації CO₂ у повітрі. Розглянуто принцип роботи приладу для вимірювання концентрації вуглекислого газу. Також було розроблено алгоритм програми для роботи приладу. Було спроектовано друковану плату для зручної компоновки пристрою з урахуванням всіх елементів, які були вибрані в ході роботи.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК 61.170000.000ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 46 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ЛІТЕРАТУРА

1. ROBINSON, J. & NELSON, W.C. National human activity pattern survey data base. Research Triangle Park, NC, US Environmental Protection Agency, 1995.
2. EUROPEAN EN, DIN, ISO, IEC AND VDA STANDARDS. Popular standards: веб-сайт. URL: https://www.en-standard.eu/store/?gclid=CjwKCAjw5vz2BRAtEiwAbcVIL6FccwjRJju4tM2500WCdLWSQTaFQhJkmSXFIVoMtF09fhdmYOfghoCO3UQAvD_BwE
3. Інфрачервона спектроскопія: веб-сайт. URL: https://www.wikizero.com/uk/%D0%86%D0%BD%D1%84%D1%80%D0%B0%D1%87%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%BE%D0%BD%D0%B0_%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D1%96%D1%8F
4. Інфрачервоний спектрометр. Види інфрачервоних спектрометрів: веб сайт. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%84%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80
5. Datasheet MH-Z19B. Technical Parameters and Structure: веб-сайт. URL: https://www.winsen-sensor.com/d/files/infrared-gas-sensor/mh-z19b-co2-ver1_0.pdf
6. Приклад роботи приладу: веб-сайт. URL: <https://ovcharov.me/2018/10/21/co2-sensor-mh-z19b/>
7. Проблеми з якими можна стовкнутися в ході роботи: веб-сайт. URL: <https://habr.com/ru/post/483826/>
8. Аналіз роботи сенсора: веб-сайт. URL: <https://habr.com/ru/post/401363/>
9. Arduiono Pro mini. Опис мікроконтролера: веб-сайт. URL: <https://micro-pi.ru/arduino-pro-mini-%D0%BE%D0%B1%D0%B7%D0%BE%D1%80->

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК 61.170000.000ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 47 |

%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D0%BA%D0%BB%D1%8E%D1%87%D0%B5
%D0%BD%D0%B8%D0%B5/

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------|------|
| | | | | | ПК 61.170000.000ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 48 |