

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Приладобудівний факультет**

**Кафедра наукових, аналітичних та екологічних приладів і систем**

«На правах рукопису»  
УДК 543.271.3

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Защепкіна Н.М.

«   » \_\_\_\_\_ 20   р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»**

**на тему: «Оцінка концентрацій діоксину вуглецю в середині приміщень»**

Виконав:

студент VI курсу, групи ПН-71мп  
Люлевич Артемій Андрійович \_\_\_\_\_

Науковий керівник:

К. т. н., асистент,  
Івасенко В.М. \_\_\_\_\_

Консультант з стартап-проекту:

Кандидат економічних наук, доцент,  
Бояринова К.О. \_\_\_\_\_

Рецензент \_\_\_\_\_

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

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних посилань.  
Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Приладобудівний факультет  
Кафедра наукових, аналітичних та екологічних приладів і систем**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)  
Спеціальність – 152 «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
В.о. завідувача кафедри  
\_\_\_\_\_ Защепкіна Н.М.  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
на магістерську дисертацію  
Люлевичу Артемію Андрійовичу**

1. Тема дисертації «Оцінка концентрацій діоксину вуглецю в середині приміщень», науковий керівник дисертації Івасенко Віталій Михайлович, к.т.н, асистент, затверджені наказом по університету від « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_
2. Термін подання студентом дисертації \_\_ грудня 2018 р.
3. Об'єкт дослідження – процес формування та розповсюдження в приміщенні концентрацій діоксину вуглецю в залежності від якості зовнішнього повітря.
4. Предмет дослідження – методи та засоби визначення концентрацій діоксину вуглецю в приміщеннях в залежності від висоти будівлі.
5. Перелік завдань, які потрібні розробити:
  - 5.1 Теоретичні дослідження:
    - 5.1.1 Провести огляд та аналіз наукових праць з питання концентрації діоксиду вуглецю в приміщеннях та негативного впливу діоксиду вуглецю на стан здоров'я людини.
    - 5.1.2 Проаналізувати види сенсорів, які можливо використовувати для вимірювання концентрації діоксиду вуглецю.
    - 5.1.3 Обґрунтувати та побудувати математичну модель залежності персональної експозиції людини від зовнішніх та внутрішніх факторів.
    - 5.1.4 Виконати дослідження математичної моделі залежності персональної експозиції від зовнішніх та внутрішніх факторів.
  - 5.2 Експериментальні дослідження:
    - 5.2.1. Розробити алгоритм розрахунку персональної експозиції людини.
    - 5.2.2 Провести аналіз та узагальнення результатів, отриманих при дослідженнях персональної експозиції на базі ПАТ «УКРПОШТА».
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу
  - 6.1 Результати аналізу впливу діоксиду вуглецю.

6.2. Таблиці порівняльного аналізу характеристик сенсорів діоксиду вуглецю.  
6.4 Математична модель залежності персональної експозиції від зовнішніх та внутрішніх факторів.

6.5 Результати дослідження математичної моделі залежності персональної експозиції від зовнішніх та внутрішніх факторів.

6.6 Алгоритм розрахунку персональної експозиції.

7. Орієнтовний перелік публікацій

7.1 Опублікувати 2 статті в наукових журналах.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ розробки стартап-проекту	кандидат економічних наук, доцент Бояринова К.О.		

9. Дата видачі завдання 16 жовтня 2017 р.

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Вступ, аналіз методів вимірювання	18.11.2017	
2	Аналіз норм вмісту діоксиду вуглецю в приміщенні	18.12.2017	
3	Оформлення першого розділу	20.12.2017	
4	Обґрунтування та формалізація параметру оцінки вимірювань	25.12.2017	
5	Виконання теоретичних досліджень	15.04.2018	
6	Розробка методики виконання експериментів і виконання експериментальних досліджень	25.06.2018	
7	Виконання розділу стартап-проектів	10.09.2018	
8	Оформлення пояснювальної записки	14.10.2018	
9	Подача дисертації на попередній захист	12.12.2018	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

/А.А.Люлевич/

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_ (підпис)

/В. М. Івасенко/

## Реферат (укр)

В даній магістерській дисертації був розроблений алгоритм розрахунку персональної експозиції людини по діоксиду вуглецю в приміщеннях, в залежності від зовнішньої концентрації.

За алгоритмом розрахунку була розроблена комп'ютерна програма, яка допомогла полегшити і прискорити розрахунки, а також підвищити їх точність.

Були розглянуті методи вимірювання концентрації діоксиду вуглецю. Після аналізу позитивних і негативних сторін кожного методу був обраний оптичний метод.

В роботі розглянуті наступні питання: аналіз робіт по концентрації діоксиду вуглецю в атмосфері і всередині приміщень, аналіз стандартів якості повітря, проаналізовані типи вентиляційних систем, розроблено математичну модель залежності персональної експозиції по діоксиду вуглецю всередині приміщення від зовнішньої концентрації, наведені результати досліджень на базі ПАТ « УКРПОШТА ». Дано висновки і рекомендації.

Даний дипломний проект містить 32 таблиці, 13 малюнків, 40 літературних джерел і складається з 75 сторінок.

## Реферат(рус)

В данной магистерской диссертации был разработан алгоритм расчета персональной экспозиции человека по диоксиду углерода в помещениях, в зависимости от внешней концентрации.

По алгоритму расчета была разработана компьютерная программа, которая помогла облегчить и ускорить расчеты, а также повысить их точность.

Были рассмотрены методы измерения концентрации диоксида углерода. После анализа положительных и отрицательных сторон каждого метода был выбран оптический метод.

В работе рассмотрены следующие вопросы: анализ работ по концентрации диоксида углерода в атмосфере и внутри помещений, анализ стандартов качества воздуха, проанализированы типы вентиляционных систем, разработана математическая модель зависимости персональной экспозиции по диоксиду углерода внутри помещения от внешней концентрации, приведены результаты исследований на базе ПАО «УКРПОШТА». Даны выводы и рекомендации.

Данный дипломный проект содержит 32 таблицы, 13 рисунков, 40 литературных источников и состоит из 75 страниц.

## **Abstract**

In this master's thesis, an algorithm was developed for calculating the personal exposure of a person to carbon dioxide in rooms, depending on the external concentration.

According to the calculation algorithm, a computer program was developed that helped simplify and speed up the calculations, as well as improve their accuracy.

Methods for measuring carbon dioxide concentrations were considered. After analyzing the positive and negative sides of each method, an optical method was chosen.

The following issues were considered: analysis of carbon dioxide concentration in the atmosphere and inside rooms, analysis of air quality standards, types of ventilation systems were analyzed, a mathematical model was developed for the dependence of personal exposure to carbon dioxide inside a room on external concentration, the results of studies based on PJSC “ UKRPOSHTA. Conclusions and recommendations are given.

This thesis project contains 32 tables, 13 figures, 40 literary sources and consists of 75 pages.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	10
1.АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ .....	14
1.1 Забрудненість атмосферного повітря, та його вплив на внутрішню концентрацію .....	14
1.2 Внутрішня концентрація і нормативи концентрації .....	16
1.3 Нормативи якості повітря в приміщенні .....	17
1.3.1 Стандарт EN 13779:2004. Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems.....	18
1.3.2 ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.....	20
1.3.3 The NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards[16] .....	21
1.4 Вплив діоксида вуглецю на здоров'я людини .....	23
1.4.1 Вплив діоксида вуглецю на когнітивні здібності .....	24
1.4.2 Вплив високих концентрацій за короткий проміжок часу .....	25
1.4.3 Вплив на здоров'я низьких концентрації за довготривалий проміжок часу (<1%) .....	26
1.5 Методи вимірювання діоксиду вуглецю .....	30
1.5.1 Оптичний метод .....	31
1.5.1.1 Характеристики інфрачервоного випромінювання.....	32
1.5.1.2 Поглинання випромінювання .....	33
1.5.1.3 Інфрачервоний спектрометр .....	33
1.5.1.3.1 Дисперсійні ІК-спектрометри.....	34
1.5.1.3.2 Фур'є – інфрачервона – спектрометрія .....	35
1.5.2 Термокундоктометричний метод .....	37
1.5.2.1 Пряма вимірювальна газова схема.....	38
1.5.2.2 Диференціальна вимірювальна газова схема .....	38
1.5.2.3 Теплофізичні властивості вуглекислого газу за атмосферного тиску .....	39
1.5.3 Електрохімічний метод .....	40
1.5.3.1 Потенціометричні газоаналізатори .....	40

1.5.3.2 Кондуктометричні газоаналізатори .....	41
1.5.4 Напівпровідниковий метод .....	42
1.5.5 Порівняння методів газового аналізу.....	43
1.6 Аналіз вентиляційних систем .....	45
1.6.1 Класифікація типів вентиляційних систем.....	46
1.6.1.1 За способом переміщення повітря .....	46
1.6.1.2 За призначенням.....	47
1.6.1.3 За зоною обслуговування.....	48
1.6.3 Класифікація якості повітря по витраті зовнішнього повітря на одну людину.....	48
<b>2. ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ПОХИБКУ ВІМІРЮВАННЯ .....</b>	<b>49</b>
2.1 Метрологічна оцінка вимірювання параметрів концентрації діоксиду вуглецю .....	50
2.2 Математична модель розрахунку персональної експозиції .....	51
<b>3. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....</b>	<b>53</b>
3.1 Опис приладу для вимірювання концентрації діоксиду вуглецю .....	53
3.2 Вимірювання зовнішньої концентрації діоксиду вуглецю.....	54
3.3 Алгоритм розрахунку персональної експозиції в приміщенні .....	56
3.4 Програма для розрахунку персональної експозиції .....	57
3.5 Аналіз результатів отриманих при дослідженнях персональної експозиції на базі ПАТ «УКРПОШТА» .....	59
<b>4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «ПРОГРАМА ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПЕРСОНАЛЬНОЇ ЕКСПОЗИЦІЇ».....</b>	<b>62</b>
4.1 Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології) .....	62
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	64
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту.....	64
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту .....	72
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	74
4.6 Висновки .....	77
<b>ВИСНОВОК.....</b>	<b>78</b>
<b>ЛІТЕРАТУРА .....</b>	<b>80</b>

## ВСТУП

Діоксид вуглецю має вагому роль у підтримці балансу і життя на планеті. За допомогою фотосинтезу, рослини переробляють діоксид вуглецю на кисень, яким дихає людство. Діоксид вуглецю 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 діоксиду вуглецю. Підвищення рівню концентрації діоксиду вуглецю в навколишньому повітрі є наслідком підвищення кількості автомобілів [1, 2] та нарощування виробничих потужностей підприємств. Також на підвищення рівня діоксиду вуглецю впливає вирубка лісів [3]. Більша частина промисловість пов'язана з процесами, при яких виділяється діоксид вуглецю. Особливо це стало помітно після індустріальної революції у XIX та XX століттях. За 200 років рівень діоксиду вуглецю підвищився вдвічі.

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

Одне з центральних місць в дисертації займає поняття персональної експозиції людини за діоксидом вуглецю, що міститься в атмосферному повітрі. Персональна експозиція - це середнє значення концентрації за деякий проміжок часу яке вплинула на людину. Експозиція людини в умовах забрудненого повітряного середовища може призводити до самих різних ефектів на здоров'я в залежності від конкретного типу речовин, що забруднюють; від величини, тривалості та повторюваності експозиції. Залежно від тієї чи іншої діяльності людини на його здоров'я впливають забруднювачі повітряного середовища як всередині приміщень, так і на відкритому повітрі.

Тому, при проектуванні нежилых будівель, однією з найголовніших частин – є розробка вентиляційної системи. Вентиляційні системи мають важливу роль в дотриманні санітарних норм та якості повітря.

Контроль рівня діоксиду вуглецю дуже важливий, для нормального самопочуття людини. Особливо, такий контроль важливий для людей з категорії ризику (діти, люди похилого віку, а також хворі). У великих кількостях він може суттєво впливати на здоров'я і навіть вбити людину. Важливим є вплив на розумову активність і на концентрацію уваги, найбільш важливо це у офісах та навчальних закладах. Якість повітря в таких місцях повинна бути дуже високою .

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% [5].

Таким чином, питання контролю якості повітря у внутрішньому середовищі не втрачає своєї актуальності з часом, тому що мікроклімату приміщень належить ключова роль в персональній експозиції, так як протягом дня головну частину свого часу люди проводять вдома, на роботі або в школі.

**Мета і задачі дослідження.** Метою даної роботи є метрологічна оцінка персональної експозиції людини в приміщенні, в залежності від зовнішньої концентрації діоксиду вуглецю.

Для досягнення мети потрібно вирішити наступні задачі:

1. провести огляд та аналіз наукових праць з питання концентрації діоксиду вуглецю в нежилых приміщеннях, а також в зовнішньому повітрі;
2. проаналізувати норми концентрації діоксиду вуглецю в приміщеннях та негативний вплив великих концентрації  $\text{CO}_2$  на здоров'я людини;
3. визначити вплив факторів на похибку вимірювання вмісту  $\text{CO}_2$  в повітрі;
4. обґрунтувати та побудувати модель залежності концентрації  $\text{CO}_2$  в приміщенні ;
5. провести метрологічну оцінку вимірювання концентрації  $\text{CO}_2$  в повітрі;
6. провести експериментальні дослідження параметрів повітря з різними концентраціями  $\text{CO}_2$  ;
7. експериментально підтвердити достовірність математичної моделі залежності концентрації  $\text{CO}_2$  в приміщенні від концентрації  $\text{CO}_2$  в зовнішньому повітрі;
8. розробити алгоритм розрахунку визначення концентрації  $\text{CO}_2$  в приміщенні;
9. провести аналіз та узагальнення результатів, отриманих при дослідженнях концентрації  $\text{CO}_2$  на базі ПАТ «Укрпошта».

**Об'єкт дослідження** – процес формування та розповсюдження в приміщенні концентрацій діоксиду вуглецю в залежності від якості зовнішнього повітря.

**Предмет дослідження** – методи та засоби визначення концентрацій діоксиду вуглецю в приміщеннях в залежності від висоти будівлі.

**Науковановизнаотриманих результатів** полягає у наступному:

1. розробці алгоритму розрахунку концентрації діоксиду вуглецю у нежилых приміщеннях в залежності від зовнішньої концентрації;
2. розробці моделі залежності якості повітря (концентрації CO<sub>2</sub> в приміщенні) від зовнішніх та внутрішніх факторів;
3. розробці комп'ютерної програми для розрахунку концентрації CO<sub>2</sub>.

**Практичне значення результатів** полягає в:

1. дослідженні факторів, які впливають на концентрацію діоксиду вуглецю в повітрі приміщень;
2. впровадження результатів роботи на базі ПАТ «Укрпошта».

## 1.АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ

В законі України «Про охорону праці» сказано, що санітарно - побутові умови повинні відповідати вимогам нормативних актів про охорону праці [6]. Проте, в списках ГДК така забруднююча речовина, як діоксид вуглецю ігнорується.

### 1.1 Забрудненість атмосферного повітря, та його вплив на внутрішню концентрацію

Діоксид вуглецю – тривка хімічна сполука. Входить до складу технічних горючих газів, вулканічних газів, природних газів. За даними на 2018 рік концентрація, діоксиду вуглецю, в атмосфері Землі підвищилася до рівня 408 ppm. З легкістю пропускає ультрафіолетові промені, а також промені видимої частини спектру, сонячного світла. Є одним з парникових газів, поглинає інфрачервоні промені, які випускає Земля. Присутність таких газів у атмосфері є причиною парникового ефекту.

Природними джерелами діоксиду вуглецю є: дихання тварин і рослин, вулканічна активність, розкладання органічних речовин. Двоокис вуглецю є основним побічним продуктом бактеріального розкладання. Як і люди, «аеробні» або кисневі бактерії продукують вуглекислий газ в якості основного побічного продукту метаболізму.

Підвищення рівня почалося з приходом індустріальної революції, в середині XIX сторіччя, и продовжується і сьогодні. На графіку Кілінга(Рис. 1.1) можна побачити зміни концентрації CO<sub>2</sub> у атмосфері Землі[7].

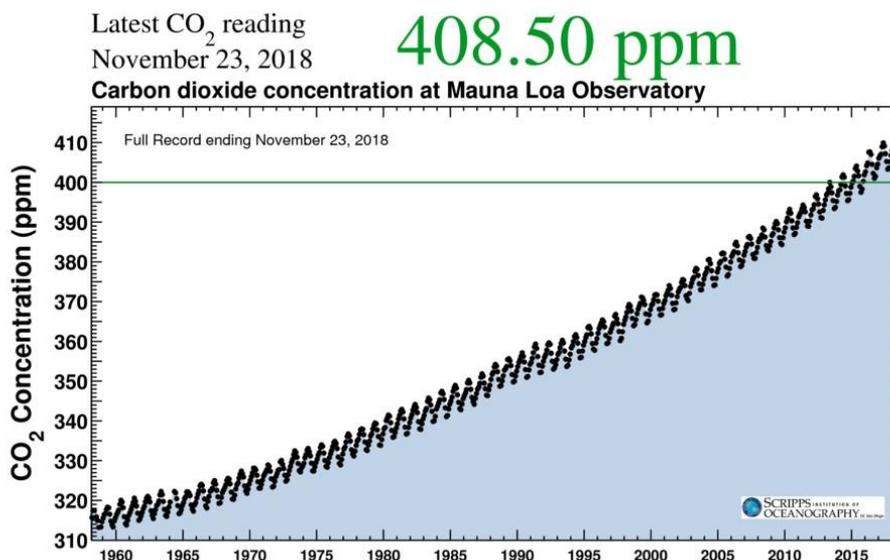


Рис.1.1 – Графік Киллінга

Як бачимо, концентрація CO<sub>2</sub> у атмосфері швидко зростає. Також на графіку зображені річні коливання концентрації CO<sub>2</sub>, з амплітудою 5 ppm, це пов'язано з сезонним споживанням рослинами діоксиду вуглецю.

До головних антропогенних джерел належать промислові викиди, пов'язані з процесом горіння, а також автомобільний транспорт.

Широко використовуються рідкий і твердий вуглекислий газ (сухий лід) як холодоагенти, особливо в харчовій промисловості. Вуглекислий газ також використовується в багатьох інших галузях. Діоксид вуглецю особливо пов'язаний з пивною і виноробною промисловістю, де він виробляється дрожжами під час процесу ферментації, який перетворює цукор в алкоголь. Діоксид вуглецю також широко використовується в нафтодобувній промисловості, де його вводять в нафтову свердловину для зменшення в'язкості і допомагають в екстракції нафти.

Вуглекислий газ важчий за повітря, а його щільність в 1,5 рази більше, ніж у свіжого повітря. Коли вуглекислий газ виділяється в замкнутому або обмеженому просторі, він має тенденцію осідати. Через цю схильність, максимальна концентрація досягається в самих нижніх частинах простору. Так само дана схильність призводить до накопичення високих концентрацій в локалізованих областях. Це призводить до того, що великі концентрації діоксиду вуглецю накопичуються в печерах, низинах.

В даний час близько 57% виробленого людством вуглекислого газу видаляється з атмосфери рослинами і океанами[8]. Частина яка не видаляється акумулюється у атмосфері.

## **1.2 Внутрішня концентрація і нормативи концентрації**

Вуглекислий газ є одним з найбільш часто ігнорованих з усіх токсичних газів. Навіть інформація про те, що  $\text{CO}_2$  є токсичним несподівана для багатьох[9]. Це також один з найбільш поширених забруднювачів повітря, що зустрічаються в середині приміщень. В приміщеннях концентрація  $\text{CO}_2$  часто підвищується щодо зовнішнього рівня, оскільки в повітрі що видихає людина високий рівень  $\text{CO}_2$  (близько 4%), а вентиляція приміщення може виявитися недостатньо ефективною для запобігання збільшенню рівня  $\text{CO}_2$ .

У багатьох замкнутих просторах (житлові і не житлові приміщення) існує прямий зв'язок між низькими концентраціями кисню і підвищеними концентраціями  $\text{CO}_2$ . У разі обмеженого простору, де  $\text{CO}_2$  утворюється як побічний продукт аеробного діяльності бактерій, або людей, концентрації  $\text{O}_2$  у 19,5%(поріг небезпеки для дефіциту кисню в більшості країн[10]) буде пов'язана з еквівалентною концентрацією  $\text{CO}_2$ , не менше 1,4%.

В ході метаболічних процесів в організмі людини концентрація кисню в повітрі, що видихається знижується з 20,9 до 16,3%, а вуглекислого газу, навпаки, зростає з 0,03 до 4% [11]. Слід звернути увагу на ту обставину, що концентрація вуглекислого газу зростає більш ніж в 100 разів. Фахівцями було встановлено, що ступінь концентрації газових забруднювачів, що виділяються людиною, тісно корелюють зі зміною концентрації вуглекислого газу, що виділяється при диханні людини [12, 13]. У зв'язку з цим концентрація вуглекислого газу була прийнята як індикатор якості повітря. Інші шкідливі газові виділення в приміщеннях житлових і громадських будівель (фенолформальдегіди, ацетон, аміак і інші компоненти, які виділяються меблями, оздоблювальними матеріалами) призводять до еквівалентів вуглекислого газу [4]. Забруднювачі від меблів і оздоблювальних матеріалів (в основному формальдегіди і аніліну) по відношенню до шкідливих речовин, які виділяються людиною, носять в основному різноспрямований характер і асимілюються повітрообміном, розрахованим за концентрацією CO<sub>2</sub>.

### **1.3 Нормативи якості повітря в приміщенні**

В країнах Європейського Союзу, США, Канаді основним показником якості повітря у житлових і громадських приміщеннях є рівень концентрації CO<sub>2</sub>.

Вуглекислий газ виступає як газ-індикатор, за яким можна оцінювати наявність інших токсичних речовин у повітрі й оцінювати ефективність роботи вентиляційної системи приміщення. Чим більше вуглекислого газу, тим гірше працює вентиляційна система і тим більше в повітрі токсичних речовин та різних бактерій і грибків. При зниженні рівню  $\text{CO}_2$  розведеного припливним повітрям одночасно знижується рівень концентрації інших речовин. Вуглекислий газ обраний через те, що його концентрацію легко виміряти з достатньо високою точністю і його масове виділення значно більше інших шкідливих речовин. Як у вітчизняних нормативних документах, так і в закордонних відсутній норматив гранично допустимої концентрації вуглекислого газу в атмосферному повітрі.

Зміст атмосферного повітря у сільській місцевості буде відрізнятися від змісту повітря у невеликих і великих містах. Концентрація залежить від викидів автотранспорту, спалювання палива на теплових електростанціях та промислових підприємствах.

Закордоном, вуглекислий газ входить до списку забруднюючих речовин, таких як: оксиди 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  $\text{CO}_2$  у повітрі приміщень. У цьому дипломному проекті будуть проаналізовані і використані норми інших країн. Таких як країни СНД, а також країни члени ЄС.

### **1.3.1 Стандарт EN 13779:2004. Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems.**

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	Висока якість повітря в приміщеннях
IDA2	Середня якість повітря в приміщеннях
IDA3	Прийнятне якість повітря в приміщеннях
IDA4	Низьке якість повітря в приміщеннях

У таблиці 1.2 наведена класифікація повітря за вмістом CO<sub>2</sub>.

Таблиця 1.2 Вміст CO<sub>2</sub> в приміщенні

Клас	Концентрація CO <sub>2</sub> в приміщенні понад концентрації в зовнішньому повітрі, ppm	
	Типові границі	Типові значення
IDA1	< 400	350
IDA2	400-600	500
IDA3	600-1000	800
IDA4	>1000	1200

Знаючи місцезнаходження і рівень концентрація CO<sub>2</sub> в зовнішньому повітрі, легко визначити його розрахункову концентрацію в повітрі приміщення.

### 1.3.2 ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.

Цей ГОСТ був прийнятий Міждержавною науково-технічною комісією по стандартизації, технічному нормуванню і оцінці відповідності в будівництві. За прийняття голосували такі країни : Україна, Молдова, Вірменія, Азербайджан та інші.

У цьому стандарті були використані дані з європейського стандарту EN 13779:2004. Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems.

Дійсний стандарт встановлює параметри мікроклімату приміщень : житлових будинків, дитячих дошкільних установ, громадських установ і побутових будівель. Встановлює вимоги до оптимальних і допустимих показників мікроклімату і якості повітря.

ГОСТ 30494-2011 не розповсюджується на параметри мікроклімату виробничих приміщень.

Визначаючою шкідливою речовиною є вуглекислий газ. Еквівалентом шкідливих речовин, що виділяють : меблі, килими та ін. , також приймається вуглекислий газ.

В таблиці 1.3 наведені вимоги до якості повітря у будівлі.

Таблиця 1.3 Класифікація повітря в приміщеннях

Клас	Якість повітря в приміщенні		Допустима концентрація CO <sub>2</sub> , см <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>
	Оптимальна	Допустима	
1	Високе	-	400 і менше
2	Середнє	-	400-600
3	-	Допустиме	600-1000
4	-	Низьке	1000 і більше

Допустима концентрація  $\text{CO}_2$  в приміщеннях приймаюць понад концентрації  $\text{CO}_2$  в зовнішньому повітрі.

Приблизна концентрація забруднень в зовнішньому повітрі приведена в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 Приблизні концентрації  $\text{CO}_2$  у різних місцевостях

Місцевість	Концентрація в повітрі			
	$\text{CO}_2$ , $\text{см}^3/\text{м}^3$	$\text{CO}$ , $\text{мм}/\text{м}^3$	$\text{NO}_2$ , $\text{кг}/\text{м}^3$	$\text{SO}_2$ , $\text{мкг}/\text{м}^3$
Сільська місцевість	350	1	5-35	5
Невелике місто	375	1-3	15-40	5-15
Центр великого міста	400	2-6	30-80	10-50

Приведені значення є середньорічними. Їх не рекомендують використовувати при проектуванні будівель, оскільки максимальна концентрація буде вище. Для більш детального аналізу рекомендують робити оцінку забруднення на місці.

### 1.3.3 The NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards[16]

Цей стандарт використовується в США з 1992 року[17]. Базою для нього послужив Закон про безпеку та охорону праці [18], який був прийнятий в 1970 році.

В цьому стандарті приведені норми персональної експозиції людини хімічною речовиною або фізичним агентом, такі як гучний шум.

Для хімічних речовин одиницею виміру зазвичай є частина на мільйон (ppm), або іноді міліграм на кубічний метр ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ). Одиниці виміру для фізичних агентів, таких як шум, специфічні для кожного конкретного агента.

Також описані такі терміни як :

Середньозважений час (TWA) - це середнє вплив будь-якого шкідливого газу на робочому місці на основі восьмигодинного робочого дня або 40-годинного робочого тижня. Це максимально допустимий розмір експозиції, якій може піддаватися людина, але не зазнає значних несприятливих впливів на здоров'я протягом зазначеного періоду. Після того як TWA буде перевищено, працівник не може повторно увійти в приміщення на решту дня.

Короткотермінові обмеження впливу (STEL) - це допустима середня експозиція протягом короткого періоду часу, зазвичай 15 хвилин, і не повинна перевищуватись більше чотирьох разів на день, доки не перевищує середньозважений час(TWA). Якщо заздалегідь визначений ліміт був перевищений, працівник повинен покинути приміщення щонайменше на одну годину.

Рекомендована межа експозиції (REL) - є нормативним лімітом кількості або концентрації речовини в повітрі. Це зазвичай базується на середньозваженому часі (TWA), атакож на короткострокових межах (STEL).

Межа впливу навколишнього середовища на робочому місці (WEEL) - може бути виражена як TWA. Залежно від властивостей агента вказуються різні періоди часу. Восьмигодинний TWA вказує концентрацію за нормальний восьмигодинний робочий день та 40-годинний робочий тиждень. Це також може бути виражено як граничний рівень, і його не можна перевищувати в будь-який час протягом робочого дня.

Негайно небезпечний для життя чи здоров'я (IDLH) це "вплив забруднюючих речовин в повітрі, що, ймовірно, може спричинити смерть, негайно, або з часом призводити до постійного несприятливого впливу на здоров'я або запобігання виходу з такого середовища(Втрата свідомості)", як визначено NIOSH.

Тобто, як резюме, REL можна виміряти в STEL або TWA; і WEEL вимірюється в TWA. IDLH – це критичне значення експозицій, яке може привести до значних наслідків для здоров'я.

Нормативи NIOSH для діоксиду вуглецю вказані в таблиці 1.5

Таблиця 1.5 Нормативи діоксиду вуглецю за NIOSH

REL, ppm	ST, ppm	IDLH, ppm
5000	30000	40000

NIOSH встановлює REL 5000 ppm для 8-годинного TWA та STEL 30,000 ppm для захисту працівників від переживання метаболічних та дихальних змін, які становлять істотні порушення здоров'я, які пов'язані з підвищеним короткостроковою експозицією CO<sub>2</sub>. Агентство робить висновок, що додавання цього ліміту суттєво зменшить ризик, пов'язаний з високим короткостроковим впливом CO<sub>2</sub>, який можливий при відсутності STEL.

#### **1.4 Вплив діоксида вуглецю на здоров'я людини**

Існує оптимальний діапазон для концентрації CO<sub>2</sub> в повітрі, яким ми дихаємо. Занадто мала концентрація в крові може означати, що дихання відбувається занадто повільно, і недостатньо кисню потрапляє в організм, занадто велика може поставити під загрозу нашу здатність видаляти CO<sub>2</sub> в якості відходів.

### 1.4.1 Вплив діоксида вуглецю на когнітивні здібності

Існує велика кількість досліджень, в яких вивчається вплив концентрації CO<sub>2</sub> на самопочуття людини в закритих приміщеннях, таких як: дитячі садки, початкові школи, середні школи і університети. Існує загальна згода з тим, що рівні CO<sub>2</sub> в 20-50% приміщень, зазвичай, становить 1000 ppm і часто набагато вище, іноді досягаючи рівнів до 6000 ppm протягом тривалих періодів часу. У ряді досліджень були виявлені симптоми пов'язані з високою концентрацією CO<sub>2</sub> та респіраторними захворюваннями, такими, як: чхання, хрипи, риніт і астма [19, 20]. Також були виявлені інші симптоми, а саме: кашель, головний біль та подразнення слизових оболонок [20]. Зниження уважності було пов'язане з рівнями CO<sub>2</sub> понад 1000 ppm. Вчителі також повідомляють про нейро-фізіологічні симптоми (головний біль, втома, порушення концентрації уваги) при рівнях CO<sub>2</sub> більше 1000 ppm [21].

Офісні будівлі мають рівні CO<sub>2</sub>, аналогічні класними кімнатами, в залежності від кількості або щільності працівників і типів систем вентиляції [22, 23]. Ці дослідження знайшли переконливі докази взаємозв'язку між рівнями CO<sub>2</sub> в офісах і наслідками Sick Building Синдрому (SBS) або синдрому "хворого" будівлі, такими як головні болі, запаморочення, втома, симптоми респіраторного тракту, симптоми очей, носові і слизові симптоми [24].

Зростає занепокоєння з приводу впливу CO<sub>2</sub> на навчання і пізнавальні здібності в школах і офісах. Тестування студентів показало, що CO<sub>2</sub> може негативно вплинути на увагу, пам'ять, концентрацію і здатність до навчання [25, 26]. Кілька недавніх досліджень, в галузі вивчення когнітивних ефектів CO<sub>2</sub>, показали, що навіть низький рівень CO<sub>2</sub> (між 950 ppm і 2500 ppm CO<sub>2</sub>) впливає на когнітивні здібності студентів і фахівців в області інформації [27, 28]. Для даних досліджень вимірювання концентрації CO<sub>2</sub> проводилися протягом 2,5 годин впливу. За результатами було видно, що для семи з дев'яти шкал ефективності прийняття рішень (базова діяльність, прикладна діяльність, цільова орієнтація, ініціативність, використання інформації, широта підходу і базова стратегія) ефективність була значно знижена в залежності від концентрації CO<sub>2</sub>. Наприклад, в порівнянні з середніми показниками оцінок при 600 ppm, середні показники оцінок при 1000 ppm CO<sub>2</sub> були на 11-23% нижче, а при 2500 ppm були на 44-94% нижче.

#### **1.4.2 Вплив високих концентрацій за короткий проміжок часу**

Виявлено, що короткочасний вплив концентрації CO<sub>2</sub> в 1-5% у людей і тварин зареєстровані такі зміни в організмі як: задишка (задишка), прискорене дихання, ацидоз, тремор, міжреберна біль, головний біль, порушення зору, пошкодження легень, підвищений кров'яний тиск, деградація кісток, зміни хімічного складу крові, а також неуважність [29, 30]. Цей рівень CO<sub>2</sub> також викликає панічні атаки, перериває процеси метаболічних ферментів і порушує процес клітинного ділення [31, 32]. Ризики для здоров'я продовжують підвищуватися, причому поступово більш високі концентрації CO<sub>2</sub> викликають більш серйозні, і більш швидкі реакції організму. Значення 40 000 ppm вважається негайно небезпечним для життя і здоров'я, враховуючи, що 30-хвилинне вплив 50 000 ppm викликає інтоксикація, а концентрація близько 70 000 ppm викликає втрату свідомості [17]. Крім того, високотоксичним рівнем вважається концентрація CO<sub>2</sub> в 90 000 ppm протягом 5 хвилин. CO<sub>2</sub>

### 1.4.3 Вплив на здоров'я низьких концентрацій за довготривалий проміжок часу (<1%)

У тих випадках, коли рівень CO<sub>2</sub> в приміщеннях відносно високий і впливає на здоров'я, як правило, можна отримати полегшення, виходячи на вулицю. Однак з огляду на тенденції зростання рівня CO<sub>2</sub> в атмосфері, слід враховувати наслідки безперервного довгострокового впливу високого рівня. Було проведено дуже мало досліджень, пов'язаних з довгостроковим впливом при середніх рівнях CO<sub>2</sub>, які незначно перевищують атмосферний рівень, можливо, з причин, пов'язаних з логістикою, оскільки складно організувати експеримент на тривалий термін життя людини. З огляду на відсутність довгострокових досліджень на цих рівнях CO<sub>2</sub> є розумним розглянути дослідження, доступні для середньострокових досліджень на рівнях CO<sub>2</sub> менше 10 000 ppm (1%). У таблиці 1.6 наведено огляд наслідків для здоров'я, в результаті дихання CO<sub>2</sub> на рівнях рівних або нижче 1%.

Таблиця 1.6 Дія на здоров'я від дихання при концентрації CO<sub>2</sub> нижче 1%.

Рівень CO <sub>2</sub>	Дія на здоров'я	Час дії
10000 ppm	кальциноз нирок, деградація кісткової тканини	6 тижнів
8500 ppm	Збільшення обсягу мертвого простору легких	20 днів
7000 ppm	35% збільшення мозгового кровотока (наслідки для когнітивні ефекти, спостерігаються в інших дослідженнях)	23 дня

5000 – 6600 ppm	Головні болі, летаргія, примхливість, ментальна повільність, емоційне роздратування, порушення сну	15 – 30 хвилин
5000 ppm	кальциноз нирок, деградація кісток у морських свинок	8 тижнів
5000 ppm	допустимий рівень експозиції в підводні човни і космічні апарати	На протязі всієї операції
5000 ppm	Рекомендована межа експозиції для робочого дня	8 годин
2000 – 4000 ppm	Шкідливий рівень CO <sub>2</sub> в крові - на 15% вище норми, сонливість, головний біль і зміни серцевого ритму	4 години
1400 – 3000 ppm	Значне погіршення когнітивної функції, включаючи втому	Від 2.5 до 8 годин
1000 ppm	Шкідливі зміни в диханні, кровообігу і в	15 – 30 хвилин

	корі головного мозку	
1000 ppm	Окислювальний стрес і пошкодження ДНК у бактерій (наслідки для онкологічних захворювань у людей)	3 години
1000 ppm	Рівень, пов'язаний з респіраторними захворюваннями, головним болем, втомою, труднощами з концентрацією уваги в навчальних закладах	15 – 30 хвилин
950 – 1000 ppm	Помірне порушення когнітивних функцій	Від 2.5 до 8 годин
800 ppm	Рівень пов'язаний з SBS: головний біль, втома, почервоніння очей, подразнення дихальних шляхів.	15 – 30 хвилин
400 ppm	Поточна середня концентрація в зовнішньому повітрі - невідомий ефект	тривалість життя
280 – 300 ppm	До промислова зовнішня концентрація від приблизно 1820 до 25 мільйон років тому -	тривалість життя

	ніякого ефекту	
--	----------------	--

Також важливою проблемою для організму людини є підвищення церебрального кровотоку(ЦКТ) від дихання CO<sub>2</sub>. У міру збільшення CO<sub>2</sub> в крові, ЦКТ збільшується, щоб ефективно вимивати CO<sub>2</sub> з тканини головного мозку і допомагає регулювати рН [33]. У 23-денному експерименті на людях [34] виявили, що ЦКТ збільшується при концентрації CO<sub>2</sub> приблизно 7 000 ppm (0,7%) на цілих 35% і що ЦКТ залишається підвищеним до кінця випробувального періоду, через 2 тижні після впливу. Наслідки постійного збільшення ЦКТ неясні, хоча може бути ризик підвищеного внутрішньочерепного тиску, який може стискати і пошкоджувати делікатну тканину головного мозку. Є також дані про те, що реакція ЦКТ на збільшення концентрації CO<sub>2</sub> порушується у пацієнтів з хворобою Альцгеймера і що це пов'язано із занепадом когнітивних здібностей [35], який буде погіршуватися в міру збільшення CO<sub>2</sub> в атмосфері.

Відомо, що у людей вуглекислий газ грає роль в окислювальному стресі, викликаному активними формами кислороду (АФК) [36]. АФК продукуються аеробним метаболізмом молекулярного окису і відіграють важливу роль у різних клінічних умовах, включаючи злоякісні захворювання, діабет, атеросклероз, хронічне нападання та неврологічні розлади, такі як хвороби Паркінсона та Альцгеймера [37]. Зокрема, окислювальна пошкодження клітинної ДНК може призвести до мутацій, що приводять до ініціації та прогресування раку. Езраті і ін.[36] показали, що поточні рівні  $\text{CO}_2$  в атмосфері грають певну роль в окислювальній напрузі і що підвищення рівня  $\text{CO}_2$  між 400 і 1000 ppm ускладнює окислювальний стрес і пошкодження ДНК у бактеріях. Збільшення  $\text{CO}_2$  сприяє виробництву АФК, що призводить до більшого розповсюдження раку та інших захворювань, у тому числі до просування вірусної активності. Езраті [36] приходять до висновку, що при більш високих концентраціях  $\text{CO}_2$  у атмосфері може представляти велику екологічну проблему з важливими наслідками для життя на Землі.

В додаток до раку існує ряд умов, в яких деякі люди в даний час піддаються впливу токсичності  $\text{CO}_2$ . Одним з прикладів є люди, які страждають розладом дихання у сні (SDB). Brillante і ін. [38] виявили, що розвиток нічної гіперкапнії при нормальній концентрації повітря в повітрі всередині приміщень, що визначається великою різницею в вуглекислі газу в крові між ранком і вечором, передбачало збільшення смертності у пацієнтів із СДБ. Це пов'язано з відсутністю ефективності дихальної регуляторної системи людини у сні для підтримання нормального кровообігу [38]. Потому що рівні  $\text{CO}_2$  в атмосфері збільшуються, логічно, що рівень впливу також буде зростати.

### **1.5 Методи вимірювання діоксиду вуглецю**

Розглянемо найбільш поширені методи вимірювання концентрації діоксиду вуглецю, а саме: оптичний метод, електрохімічний метод, термокундуктометричний метод, напівпровідникові метод

### 1.5.1 Оптичний метод

Інфрачервона спектроскопія - розділ спектроскопії, що вивчає взаємодію інфрачервоного випромінювання з речовинами[41].

При пропусненні інфрачервоного випромінювання через речовину відбувається збудження коливальних рухів молекул або їх окремих фрагментів. При цьому спостерігається ослаблення інтенсивності світла, що пройшло через зразок. Однак поглинання відбувається не в усьому спектрі падаючого випромінювання, а лише при тих довжинах хвиль, енергія яких відповідає енергій збудження коливань в досліджуваних молекулах.

Отже, довжини хвиль (або частоти), при яких спостерігається максимальне поглинання ІЧ-випромінювання, можуть свідчити про наявність в молекулах зразка тих чи інших функціональних груп та інших фрагментів, що широко використовується в різних областях хімії для встановлення структури сполуки.

Експериментальним результатом в ІЧ-спектроскопії є інфрачервоний спектр - функція інтенсивності пропущеного інфрачервоного випромінювання від його частоти. Зазвичай інфрачервоний спектр містить ряд смуг поглинання, за матеріальним становищем і відносної інтенсивності яких робиться висновок про будову досліджуваного зразка. Такий підхід став можливий завдяки великій кількості накопиченої експериментальної інформації: 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 є цінним аналітичним методом і служить для дослідження будови органічних молекул, неорганічних і координаційних, а також високомолекулярних з'єднань. Основним приладом, використовуваним для подібних аналізів, є інфрачервоний спектрометр (дисперсійний або з перетворенням Фур'є).

Аналіз складних зразків став можливий завдяки розробці нових технік інфрачервоної спектроскопії: ІЧ-спектроскопії відображення, ІЧ-спектроскопії випускання і ІЧ-мікроскопії. Крім того інфрачервона спектроскопія була об'єднана з іншими аналітичними методами: газовою хроматографією і термогравіметрія.

### 1.5.1.1 Характеристики інфрачервоного випромінювання

ІК-спектроскопія заснована на явищі поглинання хімічними речовинами інфрачервоного випромінювання з одночасним порушенням коливань молекул. Інфрачервоне випромінювання представляє собою електромагнітну хвилю і характеризується довжиною хвилі  $\lambda$ , частотою  $\nu$  і хвильовим числом  $\tilde{\nu}$ , які пов'язані наступною залежністю[42]:

$$\tilde{\nu} = \frac{\nu}{(c/n)} = \frac{1}{\lambda} \quad (0.1)$$

де  $c$  - швидкість світла,

$n$  - показник заломлення середовища.

У спектроскопії поглинання, окремим випадком якої є ІК-спектроскопія, відбувається поглинання молекулами фотонів певної енергії, яка пов'язана з частотою електромагнітної хвилі через постійну Планка:

$$E_p = h\nu \quad (0.2)$$

де,  $E_p$  - різниця енергій,

$h$  - постійна Планка,

$\nu$  - частота.

При поглинанні фотона відбувається збудження - збільшення енергії молекули: вона переходить з основного коливального стану  $E_1$  в якийсь збуджений коливальний стан  $E_2$  так, що енергетична різниця між цими рівнями дорівнює енергії фотона.

$$E_2 - E_1 = \Delta E = h\nu = hc\tilde{\nu} \quad (0.3)$$

Енергія поглиненого інфрачервоного випромінювання витрачається 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 в експерименті прилад випускає одночасно всі довжини хвиль інфрачервоного випромінювання, включаючи ближню ІЧ-область (14 000 - 4000  $\text{см}^{-1}$ ), середню ІК-область (4000 - 400  $\text{см}^{-1}$ ) і далеку ІК-область (400 - 10  $\text{см}^{-1}$ ). Поглинання випромінювання речовиною кількісно описується законом Бугера - Ламберта - Бера, а спектр виходить при побудові залежності пропускання ( $T$ , англ. Transmittance, %) або оптичної щільності ( $D$ , англ. Optical density) від довжини хвилі (частоти, хвильового числа)[43].

Для того, щоб поглинання випромінювання відбулося, необхідно виконання двох умов. По-перше, поглинаються лише хвилі такої частоти, яка збігається з частотою того чи іншого коливання молекули. По-друге, коливання повинно викликати зміна дипольного моменту молекули. З цієї причини молекули, які не мають дипольного моменту (наприклад,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ , а також 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.

### 1.5.1.3.1 Дисперсійні ІК-спектрометри

Типовий дисперсійний ІЧ-спектрометр функціонує наступним чином. Оптична схема типового ІЧ-спектрометра зображена на рисунку 1.2.

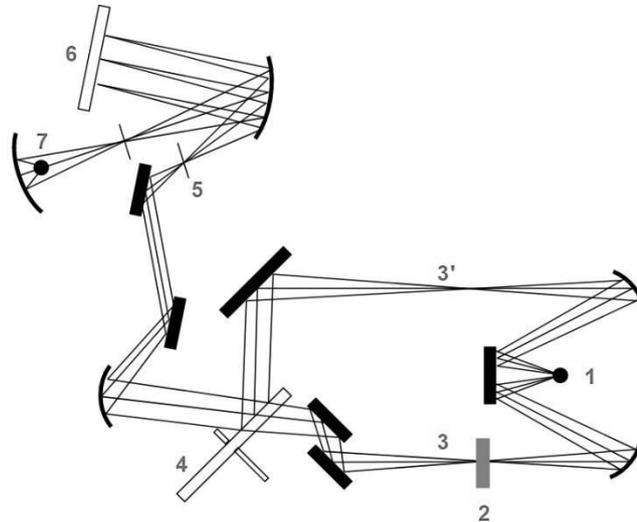


Рис. 1.2 - Оптична схема двопроменевого дисперсійного ІЧ-спектрометра: 1 - джерело, 2 - зразок, 3 - промінь, що проходить через зразок, 3'- промінь порівняння, 4 - дзеркало з секторами, 5 - щілини, 6 - решітка, 7 – детектор.

Випромінювання від поліхроматичного джерела проходить через кювету з зразком, а потім потрапляє на монохроматор, в якості якого виступає призма або дифракційна решітка. Далі інфрачервоне випромінювання, розкладене в спектр, проходить через вузьку щілину, що дозволяє вибрати необхідний спектральний діапазон і направити його на детектор, де відбувається визначення його інтенсивності.

Прохід по всьому спектральному діапазоні досягається за рахунок повороту призми або дифракційних ґрат: при цьому в щілину по черзі потрапляє випромінювання з різними довжинами хвиль, що дозволяє записати спектр.

Зазвичай дисперсійний прилад має двопроменеву оптичну схему. У ньому реєструється інтенсивність не тільки пучка, що проходить через зразок, але і пучка порівняння, який проходить через порожню кювету або кювету, заповнену чистим розчинником. Далі обидва пучка по черзі потрапляють на монохроматор і детектор, де їх інтенсивності порівнюються. Конструкційно це досягається за допомогою круглого дзеркала, в якому частина секторів дзеркальна, а частина порожня. Така будова дзеркала дозволяє або пропускати на детектор промінь від зразка, або відображати на детектор промінь порівняння, а за рахунок обертання дзеркала ці фази швидко чергуються. Частка від ділення інтенсивності пучка від зразка на інтенсивність пучка порівняння дає шукану величину пропускання  $T$  (англ. Transmittance,%).

#### **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. Інтерферограма можна перетворити в інфрачервоний спектр за допомогою перетворення Фур'є. Оптична схема Фур'є-ІЧ-спектрометра зображена на рисунку 1.3.

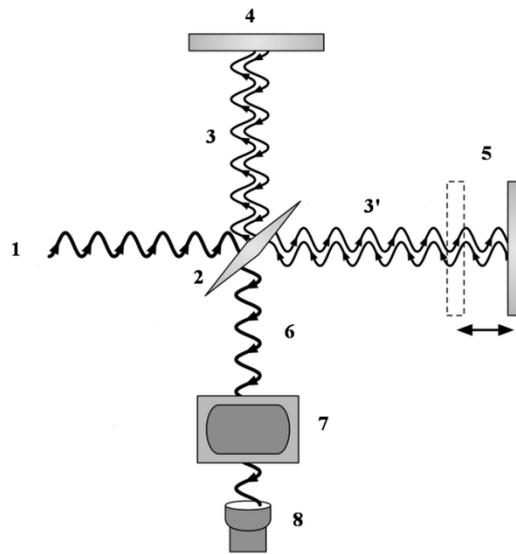


Рис. 1.3 – Оптична схема Фур'є-ІЧ-спектрометра : 1 – когерентне джерело світла, 2 – світло дільник, 3 – розщеплений промінь, 3 - відстаючий промінь, 4 – нерухоме дзеркало, 5 – рухоме дзеркало, 6 – об'єднаний промінь, 7 – зразок, 8 – детектор.

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-ІК-спектрометри зазвичай працюють в однопроменевому режимі: по черзі записуються два спектра (з зразком і без нього), а їх різниця і дає спектр поглинання зразка .

### 1.5.2 Термокондуктометричний метод

Їх дія заснована на залежності теплопровідності газової суміші від її складу. Обов'язковою умовою вимірювання є постійне співвідношення між змістом невимірюваних компонентів в межах всієї шкали або сталість заданого середнього значення вмісту невимірюваних компонентів. Вимірювання теплопровідності проводиться опосередковано зі зміни електричного опору чутливого елемента, який міститься в аналізовану газову суміш.

Термокондуктометричні газоаналізатори не володіють високою вибірковістю і використовуються, якщо контрольований компонент по теплопровідності істотно відрізняється від інших, наприклад для визначення концентрацій  $\text{H}_2$ ,  $\text{He}$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{CO}_2$  в газових сумішах, що містять  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$  та ін. Діапазон вимірювання - від одиниць до десятків відсотків за обсягом. Зміна складу газової суміші призводить до зміни її теплопровідності і, як наслідок, температури і електричного опору нагрівається струмом металеві або напівпровідникового терморезистора, розміщеного в камері, через яку пропускається суміш. При цьому:

$$\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} = \frac{\alpha}{a} I^2 \left( \frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) \quad (0.4)$$

де  $a$  – конструктивний параметр камери,

$R_1, R_2$  - опір терморезистора в разі пропускання через нього струму  $I$  за теплопровідності газового середовища  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$ ,

$\alpha$  - температурний коефіцієнт електроопору терморезистора.

У термокондуктометричних газоаналізаторах застосовуються пряма і диференціальна вимірювальні газові схеми. В якості чутливих елементів застосовані платинові опори, які включені в плечі вимірювального моста.

При зміні вмісту контрольованого компонента в вимірювальній діагоналі моста з'являється напруга розбалансу, пропорційне його змістом.

### 1.5.2.1 Пряма вимірювальна газова схема

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

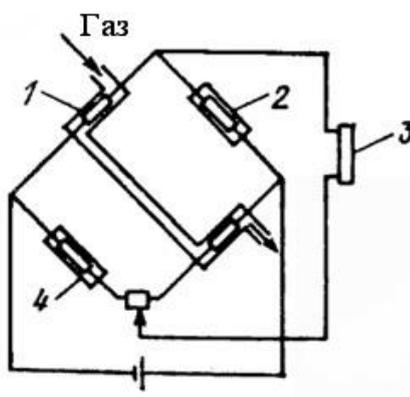


Рис. 1.4 – Пряма вимірювальна газова схема : 1 – робоча камера, 2 – порівнювальна камера, 3 – вторинний прилад, 4 – чутливий елемент, 5 – поглинач.

### 1.5.2.2 Диференціальна вимірювальна газова схема

При диференціальній схемою вимірювання (рисунок 1.5) газова суміш, що аналізується, проходить через робочі камери, а потім, після попереднього видалення з неї контрольованого компонента в печі допалювання або поглиначі за межами газоаналізатора, надходить в порівняльні камери і виконує функції порівняльного газу.

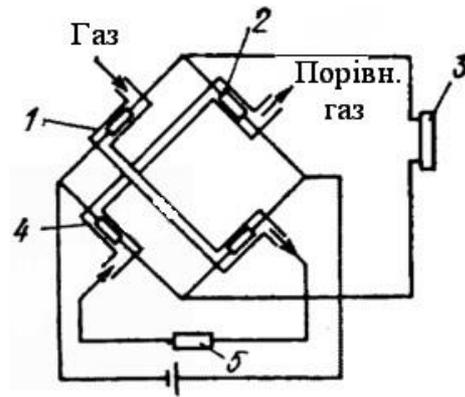


Рис. 1.5 - Диференціальна вимірювальна газова схема: 1 – робоча камера, 2 – порівнювальна камера, 3 – вторинний прилад, 4 – чутливий елемент, 5 – поглинач.

### 1.5.2.3 Теплофізичні властивості вуглекислого газу за атмосферного тиску

У таблиці 1.7 дані теплофізичні властивості вуглекислого газу  $\text{CO}_2$  в залежності від температури (в інтервалі від  $-25$  до  $90$  °C) за атмосферного тиску. За даними таблиці видно, що з ростом температури теплопровідність і динамічна в'язкість вуглекислого газу також збільшуються. Для більшості практично важливих випадків справедливо рівняння (формула 1.5):

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i C_i \quad (0.5)$$

де  $\lambda$  - теплопровідність суміші,

$\lambda_i$  - теплопровідність  $i$ -того компонента,

$C_i$  - концентрація  $i$ -того компонента,  $n$  – число компонентів.

Таблиця 1.7 - Теплопровідність діоксиду вуглецю за атмосферного тиску.

$t, ^\circ\text{C}$	$T, \text{K}$	$\lambda, \text{вт} / (\text{м}\cdot\text{град})$
-25	248	1,300
0	273	1,489

10	283	1,566
20	293	1,643
30	303	1,720
40	313	1,798
50	323	1,876
60	333	1,954
70	343	2,032
80	353	2,111
90	363	2,189

### 1.5.3 Електрохімічний метод

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

#### 1.5.3.1 Потенціометричні газоаналізатори

Дія потенціометричних газоаналізаторів заснована на залежності потенціалу  $E$  індикаторного електрода від активності  $a$  електрохімічних активних іонів, що утворилися за розчиненні визначається компонента (формула 1.6):

$$E = E^{\circ} + \frac{RT}{nF} \ln a \quad (0.6)$$

де  $E^{\circ}$ -Стандартний електродний потенціал,  $R$ - універсальна газова постійна,  $T$  - абсолютна температура,  $F$ - число Фарадея,  $n$ -число електронів, що беруть участь в електрохімічній реакції.

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

Великого поширення набули потенціометричні газоаналізатори з твердим електролітом для вимірювання вмісту  $O_2$ . Керамічна пластина на основі  $CaO$  і  $ZrO_2$  при високій температурі починає проводити іони кисню, тобто поводить себе як електроліт. На поверхню такої пластини з обох сторін наносять тонкі шари пористої платини (платинові електроди). З одного боку пластини подають газову суміш, що аналізують, з іншого - порівняльний газ. Різниця потенціалів між електродами - міра вмісту  $O_2$ . Термостат підтримує температуру електрохімічної комірки в потрібному діапазоні. За допомогою таких газоаналізаторів визначають  $O_2$  в широкому діапазоні концентрацій ( $10^{-4}$ -100% за обсягом). Присутність вуглеводнів в аналізованій суміші призводить до спотворення результатів через їх окислення при високій температурі.

### **1.5.3.2 Кондуктометричні газоаналізатори**

У кондуктометричних газоаналізаторах вимірюється електропровідність розчину при селективному поглинанні їм визначається компонента. Зазвичай схема приладу включає електричний міст постійного або змінного струму з двома кондуктометричного осередку, через які протікає електроліт. В одну з комірок електроліт надходить після контакту з потоком аналізованого газу. Вихідний сигнал пропорційний різниці електропровідностей розчину до і після контакту з контрольованою сумішшю. Ця різниця залежить від концентрації розчиненого в електроліті визначається компонента. Змінюючи витрати електроліту і аналізованої суміші, можна в широких межах змінювати діапазон визначаються концентрації. Недоліки цих газоаналізаторів - низька вибірковість і тривалість встановлення показань при вимірюванні малих концентрацій. Кондуктометричні газоаналізатори широко застосовують для визначення  $O_2$ ,  $CO$ ,  $SO_2$ ,  $H_2S$ ,  $NH_3$  та ін.

### 1.5.4 Напівпровідниковий метод

Їх дія заснована на зміні опору напівпровідника (плівки або монокристалу) при впливі аналізованого компонента суміші. В основі роботи напівпровідникових окисних газоаналізаторів лежить зміна провідності чутливого шару (суміші оксидів металів) при хемосорбції на його поверхні молекул хімічно активних газів (рисунок 1.6). Такі газоаналізатори застосовують для визначення горючих газів (зокрема,  $H_2$ ,  $CH_4$ , пропану), а також  $O_2$ ,  $CO_2$  та ін. Селективність аналізу досягається варіюванням складу чутливого шару і його температури (за допомогою вбудованого нагрівача). Діапазон вимірюваних концентрацій горючих газів 0,01-1% за обсягом.

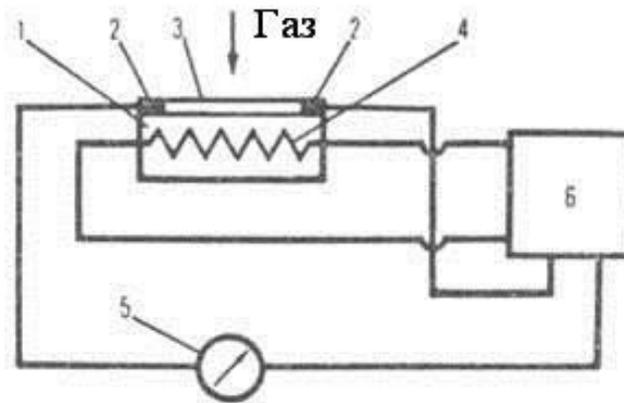


Рис. 1.6 - Напівпровідниковий окисний газоаналізатор: 1-підкладка, 2-контакти, 3-чутливий шар, 4-нагрівальний елемент, 5-вторинний прилад, 6-джерело напруги.

У напівпровідникових газоаналізаторах з кристалічними чутливим елементами вимірюють провідність монокристалів або більш складної напівпровідникової структури з р-n-переходами при зміні зарядового стану поверхні, тобто концентрації або розподілу зарядів на ній. Напруга, для визначення  $H_2$  використовують чутливі елементи у вигляді системи шарів метал - діелектрик - напівпровідник (каналні транзистори), причому верхній металевий шар отримують з Pd або його сплавів. Зміна зарядового стану поверхні досягається зміною контактної різниці потенціалів між напівпровідником і Pd при розчиненні в останньому  $H_2$ , присутнього в аналізованій суміші. Діапазон вимірюваних концентрацій  $H_2$  в інертних газах  $10^{-5}$ - $10^{-3}\%$ .

Для серійного виробництва напівпровідникових газоаналізаторів застосовують сучасну технологію мікроелектроніки, що дозволяє створювати вимірювальний перетворювач, що включає чутливий елемент, систему термостатування і підсилювач електричного сигналу у вигляді окремого мікромодуля.

### **1.5.5 Порівняння методів газового аналізу**

У таблиці 1.8 приведені порівняння методів аналізу газових сумішей, а також переваги і недоліки цих методів. На основі даних з таблиці 1.7, можна зробити висновок, що оптимальним методом газового аналізу – є оптичний, а саме інфрачервона спектроскопія.

Таблиця 1.8 - Головні переваги та недоліки газоаналізаторів

Назва методу	Переваги методу	Недоліки методу
Оптичний метод	Висока чутливість; відсутні шкідливі реагенти, необхідні для аналізу суміші газів; високу швидкодію селективність і чутливість; дозволяють визначати практично всі забруднюючі гази і речовини	Висока вартість
Електрохімічний метод	Дозволяє виявляти навіть найдрібніші частинки шкідливих газів; широкий діапазон визначення забруднюючих органічних і неорганічних речовин; низьке енергоспоживання; прийнятна ціна	Обмежена швидкодія; низька селективність; великі габарити; необхідно додатково за собою носити величезна кількість реагентів і різноманітних блоків
Термокондуктометричний метод	Низька вартість	Низька вибірковість; маленький діапазон вимірюваної концентрації; нетривалий термін

		служби сенсора; низька швидкодія і чутливість;
Напівпровідникові метод	Дозволяє виявляти навіть найдрібніші частинки шкідливих газів; висока чутливість;	Висока вартість; нетривалий термін служби сенсора; складність обслуговування;

### 1.6 Аналіз вентиляційних систем

Вентиляція - це один з основних елементів створення мікроклімату в приміщенні. Даний процес має на увазі видалення відпрацьованого повітря з приміщення. У необхідних випадках при цьому проводиться: кондиціонування повітря, фільтрація, підігрів або охолодження, зволоження або осушення, іонізація і т. Д. Вентиляція забезпечує санітарно-гігієнічні умови (температуру, відносну вологість, швидкість руху повітря і чистоту повітря) повітряного середовища в приміщенні, сприятливі для здоров'я і самопочуття людини, що відповідають вимогам санітарних норм, технологічних процесів, будівельних конструкцій будівель, технологій зберігання.

Системи вентиляції, на відміну від кондиціонерів, які все ж не є предметами першої необхідності, встановлюються у всіх офісних і житлових будівлях. Наявність вентиляційних систем є просто необхідністю, а вимоги до їх технічних характеристик мають силу закону. Це можна пояснити тим, що при відсутності вентиляції в закритих приміщеннях зростає концентрація шкідливих речовин, в першу чергу вуглекислого газу, що негативно позначається на самопочутті людей, викликає сонливість, головний біль, втрату працездатності. В деякій мірі цю проблему можна вирішити, періодично провітрюючи приміщення, однак тоді разом зі свіжим повітрям всередину потрапляє пил, різні запахи, вуличний шум і інші неприємності. До того ж доводиться постійно відкривати і закривати вікно або квартиру. Для вирішення всіх цих проблем і існують системи вентиляції повітря.

### **1.6.1 Класифікація типів вентиляційних систем**

Вентиляційна система - сукупність пристроїв для обробки, транспортування, подачі і видалення повітря.

#### **1.6.1.1 За способом переміщення повітря**

Природна вентиляція створюється без застосування електроустаткування (вентиляторів, електродвигунів) і відбувається внаслідок різниці температур повітря, зміни тиску в залежності від висоти, вітрового тиску та інших природних факторів. Їх перевагами є дешевизна, простота монтажу і надійність, яка визначається відсутністю електроустаткування і рухомих частин. Тому такі системи широко застосовується при будівництві типового житла і являють собою вентиляційні короба, розташовані в самих незручних місцях на кухні, у ванній або в коридорі.

Негативною стороною дешевизни природних систем вентиляції є їх сильна залежність від вищевказаних зовнішніх факторів - температури повітря, напрямку і швидкості вітру і т.д. Більш того, такі системи в принципі нерегульовані і з їх допомогою дуже важко вирішити багато завдань в області вентиляції.

Штучна або механічна вентиляція застосовується там, де недостатньо природною. В таких системах використовуються обладнання й прилади (вентилятори, фільтри, повітронагрівачі і т.д.), що дозволяють очищати, переміщати і нагрівати повітря. Вони не залежать від умов навколишнього середовища. В квартирах і офісах дуже важливо використовувати саме штучну систему вентиляції, так як тільки вона може гарантувати створення комфортних умов.

#### **1.6.1.2 За призначенням**

Припливна система вентиляції служить для подачі свіжого повітря в приміщення. Подається повітря, при необхідності, може нагріватися і очищатися від пилу. Витяжна вентиляція, навпаки, видаляє з приміщення нагрітим чи забруднене повітря.

Зазвичай в приміщенні встановлюється обидві системи вентиляції. При цьому, їх продуктивність повинна бути збалансована; в іншому випадку в приміщенні буде утворюватися недостатнє або надлишковий тиск, що може привести до неприємного ефекту "ляскаючих дверей".

### **1.6.1.3 За зоною обслуговування**

Призначення місцевої вентиляції полягає в подачі свіжого повітря на певні місця (місцева припливна вентиляція) або у відборі забрудненого повітря від місць утворення шкідливих виділень (місцева витяжна вентиляція). Коли місця виділення шкідливих локалізовані і можна не допустити їх поширення по всьому приміщенню, застосовують місцеву витяжну вентиляцію. У таких випадках вона досить ефективна і порівняно недорога. Місцева вентиляція використовується, найчастіше, на виробництві. Загально обмінна вентиляція ефективна для побутових умов. Тут винятком є кухонні витяжки, які представляють собою місцеву витяжну вентиляцію.

На відміну від місцевої, загальнообмінна вентиляція призначена для здійснення вентиляції в усьому приміщенні. Вона так само може бути припливної та витяжної. Припливна загальнообмінна вентиляція зазвичай виконується з підігрівом і фільтрацією приточного повітря. Тому вона повинна бути механічною (штучної). Загально обмінна витяжна вентиляція, в принципі, простіше припливної і виконується у вигляді вентилятора, встановленого в отворі в стіні або вікні, так як видаляється повітря не потрібно обробляти. При невеликих обсягах вентилязованого повітря встановлюють природну витяжну вентиляцію, яка помітно дешевше механічної.

### **1.6.3 Класифікація якості повітря по витраті зовнішнього повітря на одну людину**

Цей метод широко використовується для приміщень, в яких знаходяться люди. У таблиці 1.9 наведено витрата зовнішнього повітря, що подається системою вентиляції на одну людину, при нормальній роботі в офісі або вдома. Ці значення враховують виділення від людей і матеріалів приміщень (для матеріалів з низькою інтенсивністю виділення забруднень)[40].

Таблиця 1.9 - Витрати зовнішнього повітря на одну людину

Клас	Одиниці виміру	Значення витрат зовнішнього повітря			
		Палити заборонено		Палити дозволено	
		Граничне	Номінальне	Граничне	Номінальне
IDA 1	м <sup>3</sup> /(ч*люд)	> 54	72	> 108	144
	л/(с*люд)	> 15	20	> 30	40
IDA 2	м <sup>3</sup> /(ч*люд)	36 – 54	45	72 – 108	90
	л/(с*люд)	10 – 15	12,5	20 – 30	25
IDA 3	м <sup>3</sup> /(ч*люд)	22 – 36	29	43 – 72	58
	л/(с*люд)	6 – 10	8	12 – 20	16
IDA 4	м <sup>3</sup> /(ч*люд)	< 22	18	< 43	36
	л/(с*люд)	< 6	5	<12	10

## **2. ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ПОХИБКУ ВИМІРЮВАННЯ**

Для цієї дисертації був обрани оптичний сенсор діоксиду вуглецю, а саме інфрачервоний. Сьогоднішні технології виробництва надають великий вибір інфрачервоних сенсорів. Оптичні сенсори газів представляють дуже важливу лінійку газових сенсорів, і використовують одну з кращих технологій, засновану на принципі поглинання газом інфрачервоного випромінювання.

Різні гази мають різні максимуми поглинання ІЧ випромінювання, тому тип і концентрація газу можуть бути визначені через вимір і аналіз кривої поглинання газом ІЧ випромінювання. Через складність такого типу сенсорів, і зрушень фаз, що вносяться приладами, ІЧ сенсори газу не стали справжніми лідерами ринку, незважаючи на відомі переваги принципу детектування. У світі науково-технологічного прогресу постійно з'являються фотоелектричні ІК прилади з невеликими габаритами і низьким тиском, що дозволяє зробити мініатюризацію одним з основних напрямків розвитку сенсорів газу. Чи не дисперсійний інфрачервоний метод (NDIR) це основна технологія, яка використовується в ІК сенсорах газу.

Принцип роботи сенсора, що визначає тип і концентрацію газу, заснований на зміні інтенсивності ІЧ випромінювання до і після поглинання в інфрачервоному детекторі з Центральною виборчою чутливістю. Сенсори можуть широко використовуватися там, де потрібна висока чутливість, як наприклад, при визначенні небезпечних газів, аналізі викидів в навколишнє середовище (вихлопні гази), виявленні газів у вугільних шахтах, моніторингу стану навколишнього середовища в оселях і медичних установах, моніторингу вуглекислого газу в теплицях, і в тих місцях, де певні гази важко виявити за допомогою сенсорів інших типів.

## **2.1 Метрологічна оцінка вимірювання параметрів концентрації діоксиду вуглецю**

Для проведення наших досліджень ми використали модуль МН - Z19 – недисперсійний інфрачервоний(NDIR) сенсор діоксиду вуглецю. Данні про концентрацію діоксиду вуглецю не залежать від концентрації кисню. Вбудований температурний сенсор здійснює температурну компенсацію. Має можливість цифрового і аналогового обміну даними. Метрологічні характеристики МН – Z19 вказані в таблиці 2.1, сенсор зображений на Рис. 2.1.



Рис. 2.1 - Сенсор МН-Z19

Таблиця 2.1 – Метрологічні характеристики МН-Z19

	МН-Z19
Діапазон виміру CO <sub>2</sub> ,ppm	0...5000
Точність, ppm	±50
Поріг чутливості, ppm	1
Час встановлення, с	60
Робоча температура, °С	0...50
Вологість, %	≤ 95
Джерело живлення, В	3,6-5,5

## 2.2 Математична модель розрахунку персональної експозиції

Перед тим як розроблювати математичну модель персональної експозиції слід дослідити фактори, які впливають на концентрацію діоксиду вуглецю в приміщенні. Слід додати, що приміщення вентилується природною вентиляцією, а також в приміщенні заборонено палити.

Мінімальна концентрація діоксиду вуглецю в приміщенні не може бути меншою за зовнішню концентрацію діоксиду вуглецю  $C_{\text{зовн}}$ , для будинків з природною вентиляцією. Тому  $C_{\text{зовн}}$  є одним з найголовніших чинників, які впливають на персональну експозиції.

Наступним чинником, що підвищують концентрацію CO<sub>2</sub> в приміщенні є кількість людей, а саме метаболічні процеси цих людей. Середній об'єм повітря який вдихається та видихається дорослою людиною становить приблизно 500 мл. У видихуваному повітрі міститься в середньому 4% діоксиду вуглецю. Кількість вдихів варіюється для кожної людини від 10 до 18 в хвилину, середнє ж значення 14 вдихів в хвилину [90 потім исправить].

Отже середній об'єм діоксиду вуглецю в суміші видихуваних газів приблизно 20 мл.

Також на підвищення CO<sub>2</sub> впливають параметри приміщення, а саме: об'єм, повітрообмін.

Об'єм кімнати  $V_{\text{пр}}$  визначаємо 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 одна людина використовуємо формулу:

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

Концентрація  $C_{\text{out}}$  яку видаляє система вентиляції, залежить від її параметрів, а саме  $V_{\text{in}}$  кількості повітря, що потрапляє в приміщення за годину.

$$C_{out} = C_h - \left( C_h \cdot \frac{V_{np} - V_{in}}{V_{np}} \right), \left( \frac{ppm}{год} \right) \quad (2.3)$$

Для визначення персональної експозиції  $E_p$  використовуємо розроблену формулу:

$$E_p = (C + n \cdot (C_h - C_{out})) \cdot t, (ppm), \quad (2.4)$$

де  $n$  – кількість людей в приміщенні;

$t$  – час знаходження в приміщенні.

Розраховуємо кількість необхідних вимірювань які нам треба провести для отримання результату. Мінімальне необхідне число вимірювань визначаємо за формулою:

$$n_{min} = \frac{2}{1 - p} \quad (2.5)$$

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

### 3. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Опис приладу для вимірювання концентрації діоксиду вуглецю

Для проведення експериментальних вимірів був розроблений прилад на основі апаратної платформи Arduino “Nano” і недисперсного інфрачервоного сенсору МН – Z19. В основу дії, цього приладу, покладений принцип перетворення концентрації діоксиду вуглецю в напругу на основі поглинання газом ІЧ випромінювання. Цей ефект спостерігається при пропусканні ІЧ випромінювання через вуглекислий газ. Певна кількість світла поглинається молекулами. Різниця напруги, прямо пропорційна кількості ІЧ випромінювання, що поглинене при проході крізь вуглекислий газ.

Структурна схема зображена на рисунку 3.1

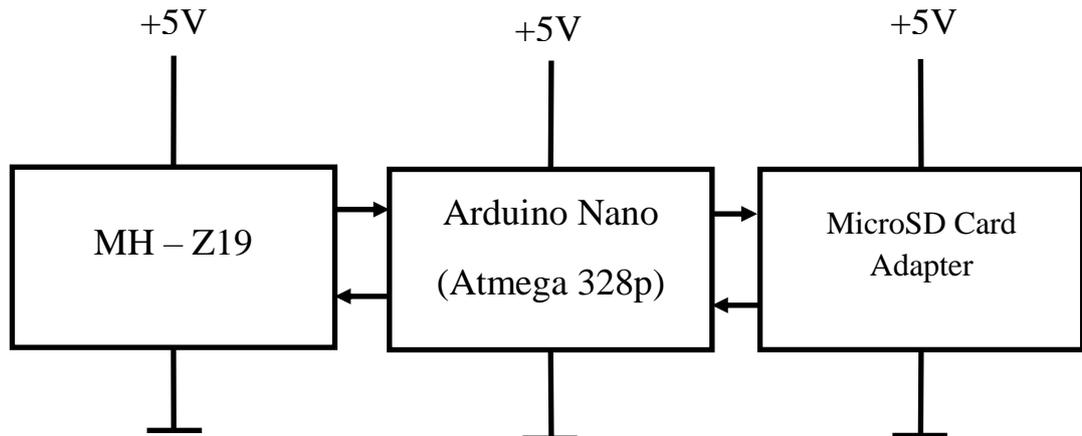


Рисунок 3.1 – Структурна схема приладу

Принцип роботи:

Діоксид вуглецю, під дією дифузії попадає до кювети сенсора МН – Z19. Мікроконтролера АТmega 328р, за допомогою шини UART, відправляє команду для початку вимірювання концентрації CO<sub>2</sub> кожні 10секунд. Після вимірювання, внутрішній мікроконтролер, вбудований в сенсор, кодує отримане значення і по шині відправляє отримані данні на обробку. Алгоритм декодує значення, і записує його в файл, який створюється і оновлюється на MicroSD Card.

### 3.2 Вимірювання зовнішньої концентрації діоксиду вуглецю

Мета проведення вимірювань - розробка розрахункових залежностей для визначення концентрації діоксиду вуглецю в залежності від висоти будівлі.

Величина концентрації CO<sub>2</sub> в зовнішньому повітрі вимірювалася по висоті будівлі. Всього було обрано 6 постів спостережень, 3 з навітряного боку, та 3 з підвітряного боку. Відбір проб проводився з 9 до 18 год., чергуючи дні вимірів з підвітряного та навітряного боків будівлі. Прилади для фіксації концентрації діоксиду вуглецю розташовувалися в 50 см від стіни.

На рисунку 3.2 наведено графік залежності концентрації діоксиду вуглецю від висоти з навітряного боку будівлі.

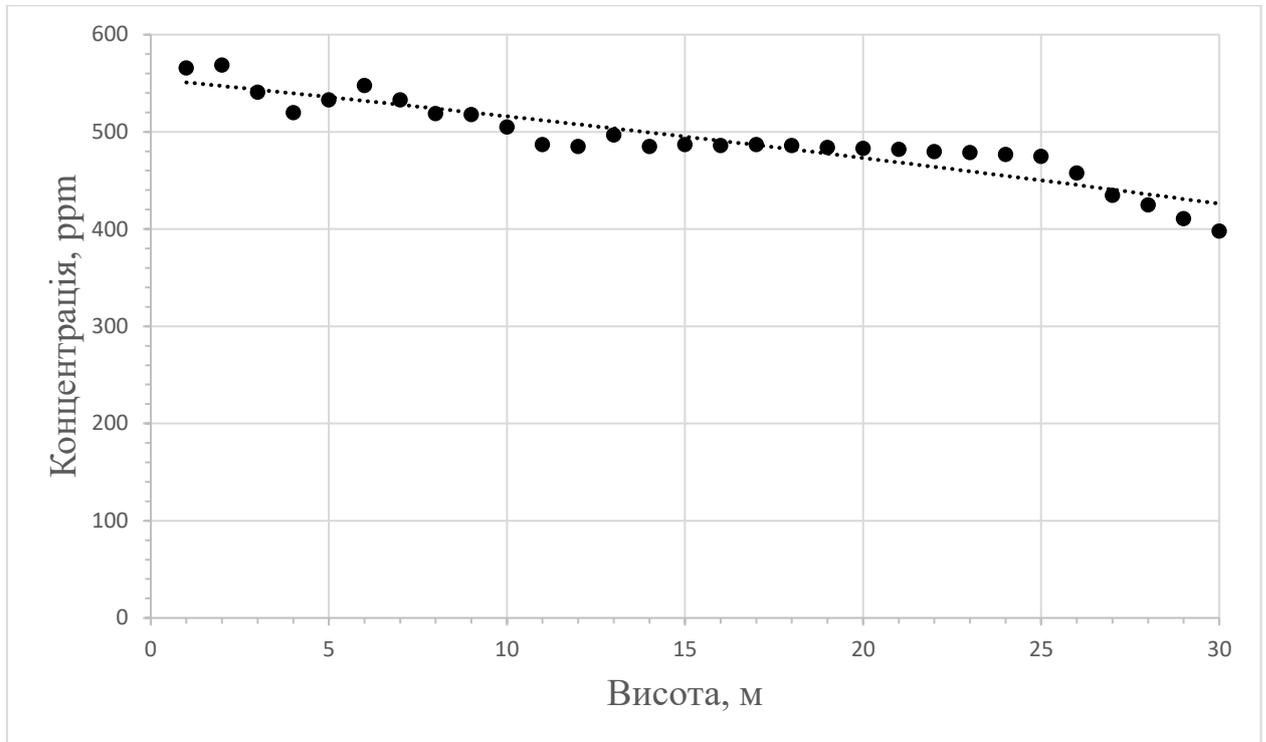


Рис. 3.2 - Залежність концентрації CO<sub>2</sub> від висоти з навітряного боку будівлі

$$C_{нв} = -0,0214 \cdot x^2 - 3,6409 \cdot x + 554,48 \quad (3.1)$$

На рисунку 3.3 наведено графік залежності концентрації діоксиду вуглецю від висоти з підвітряного боку будівлі.

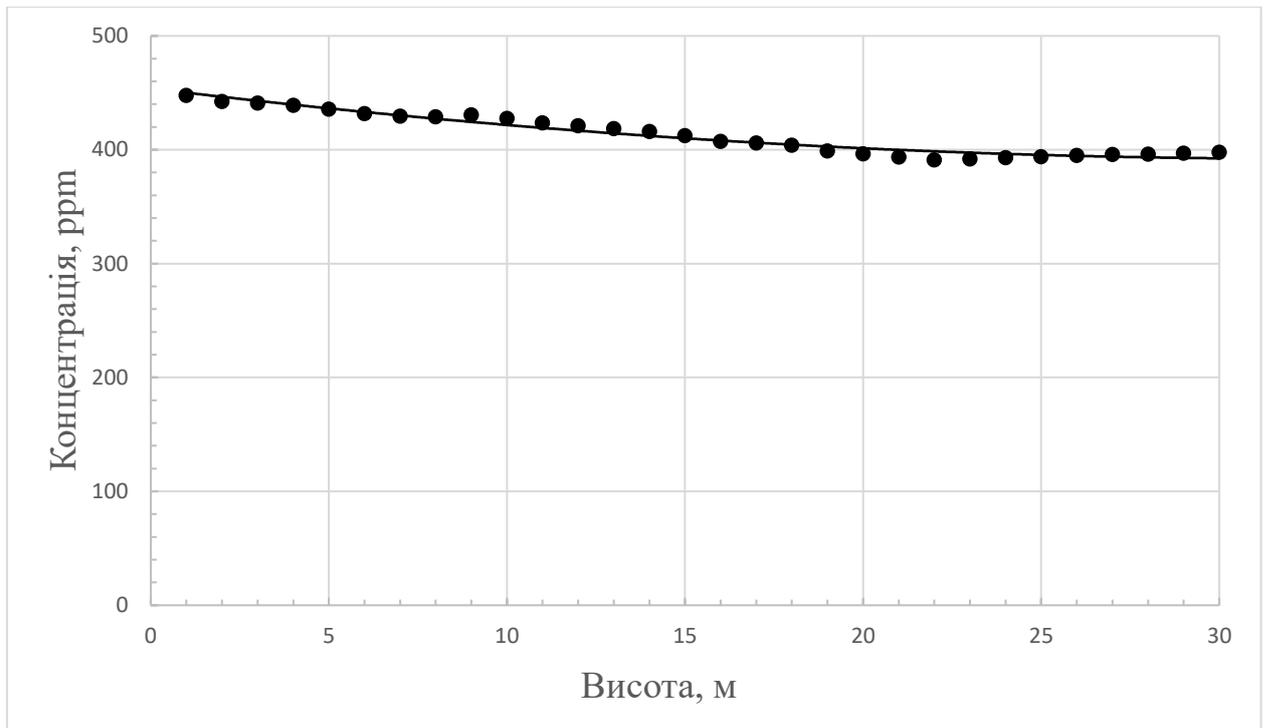


Рис. 3.3 - Залежність концентрації CO<sub>2</sub> від висоти з підвітряного боку будівлі

$$C_{не} = 0,0581 \cdot x^2 - 3,7888 \cdot x + 453,86 \quad (3.2)$$

### 3.3 Алгоритм розрахунку персональної експозиції в приміщенні

Розрахунок персональної експозиції проводиться в два етапи:

На першому етапі відбувається визначення зовнішньої концентрації діоксиду вуглецю за допомогою формул (3.3) або (3.4)

$$C_{не} = 0,0581 \cdot x^2 - 3,7888 \cdot x + 453,86 \quad (3.3)$$

$$C_{не} = -0,0214 \cdot x^2 - 3,6409 \cdot x + 554,48 \quad (3.4)$$

На другому етапі розраховуються параметри приміщення, а також параметри які залежать від об'єму приміщення. Об'єм приміщення  $V_{пр}$  розраховується на підставі креслень будівлі, або розмірів отриманих після вимірювання за допомогою формули (3.5).

$$V_{пр} = l \times w \times h, (м^3), \quad (3.5)$$

де  $l$  – довжина приміщення, м;

$w$  – ширина приміщення, м;

$h$  – висота приміщення, м.

Для того щоб розрахувати підвищення концентрації  $C_{л}$ , яке спричиняє одна людина використовуємо формулу:

$$C_{л} = 840 \cdot \frac{20}{V_{np}}, \left( \frac{ppm}{год} \right), \quad (3.6)$$

Концентрація  $C_{out}$  яку видаляє система вентиляції, залежить від її параметрів, а саме  $V_{in}$  кількості повітря, що потрапляє в приміщення за годину.

$$C_{out} = C_h - \left( C_h \cdot \frac{V_{np} - V_{in}}{V_{np}} \right), \left( \frac{ppm}{год} \right) \quad (3.7)$$

Для визначення персональної експозиції  $E_p$  використовуємо розроблену формулу:

$$E_p = (C + n \cdot (C_h - C_{out})) \cdot t, (ppm), \quad (3.8)$$

де  $C$  – зовнішня концентрація діоксиду вуглецю;

$n$  – кількість людей в приміщенні;

$t$  – час що минув з моменту останнього провітрювання.

### 3.4 Програма для розрахунку персональної експозиції

На основі розробленого алгоритму розрахунку персональної експозиції біло створено комп'ютерну програму. Інтерфейс програми зображений на рис.3.4. Дана програма реалізує автоматичний розрахунок персональної експозиції за діоксидом вуглецю в приміщенні.

The screenshot shows a window titled "CO2Expo" with a standard Windows title bar. The main content area is titled "Расчет персональной экспозиции" (Calculation of personal exposure). Below this, there are several sections of input fields:

- Параметры помещения** (Room parameters):
  - Длина, м: 0
  - Ширина, м: 0
  - Высота, м: 0
  - Число людей: 0
- Внешняя концентрация CO2** (External CO2 concentration):
  - Radio buttons for "Наветренная сторона" (Windward side) and "Подветренная сторона" (Leeward side).
  - Selected radio button: "Высота расположения окна, м: 0" (Window height, m).
  - Radio button: "Данные датчика, ppm: 0" (Sensor data, ppm).
- Параметры вентиляции, м3/ч** (Ventilation parameters, m<sup>3</sup>/h):
  - Время, ч: 0

A "Расчитать" (Calculate) button is located at the bottom right of the form.

Рис. 3.5 – Интерфейс програми CO2Expo

Для розрахунку персональної експозиції користувачу необхідно ввести наступні данні:

- розміри приміщення;
- кількість людей в приміщенні;
- ввести значення зовнішньої концентрації CO<sub>2</sub>, або ввести висоту будівлі, та вказати тип сторони;
- вказати параметри вентиляції, а саме кількість повітря яка видаляється з приміщення;
- вказати час перебування людини в приміщенні.

Заповнений інтерфейс зображений на Рис.3.6.

Рис. 3.6 –Интерфейс заповнений даними для розрахунку

Після введення всіх необхідних даних потрібно натиснути кнопку «Розрахувати». Після розрахунків з'явиться повідомлення, яке містить результат розрахунків, а також проміжні розрахунки. Результат розрахунків зображений на рис. 3.7.

Рис. 3.7 – Результаты розрахунків

### 3.5 Аналіз результатів отриманих при дослідженнях персональної експозиції на базі ПАТ «УКРПОШТА»

В ході експериментальних досліджень персональної експозиції за розробленим нами алгоритмом вимірювання діоксиду вуглецю в приміщеннях ПАТ «УКРПОШТА» були отримані наступні результати.

Вікна обраного приміщення знаходяться з підвітряного боку будівлі на висоті 32 м. Використавши формулу (3.3):

$$C_{зовн} = 0,0581 \cdot 32^2 - 3,7888 \cdot 32 + 453 = 392, (ppm) \quad (3.9)$$

Параметри приміщення:  $l = 8$  м,  $w = 4$  м,  $h = 4$  м. Для розрахунку об'єму приміщення використаємо формулу (3.5):

$$V = 8 \cdot 4 \cdot 4 = 128, м^3 \quad (3.10)$$

За допомогою формули (3.6) розрахуємо підвищення концентрації CO<sub>2</sub>, яке спричиняє одна доросла людина:

$$C_h = 840 \cdot \frac{20}{128} = 131, \left( \frac{ppm}{год} \right) \quad (3.11)$$

Отримавши відомості по параметри вентиляції будівлі, було встановлено, що об'єм повітря що потрапляє до приміщень  $V_{in} = 29$  м<sup>3</sup>/год. Використавши формулу (3.7) визначимо, яка кількість CO<sub>2</sub> може бути видалена за допомогою вентиляції.

$$C_{out} = 131 - \left( 131 \cdot \frac{128 - 29}{128} \right) = 30, \frac{ppm}{год} \quad (3.12)$$

Визначивши кількість людей, які будуть перебувати в приміщенні  $n = 6$ , а також час перебування  $t = 2$  год, можливо розрахувати приблизну персональну експозицію, за допомогою формули (3.8):

$$E = (392 + 6 \cdot (131 - 30)) \cdot 2 = 1996, ppm \quad (3.13)$$

Було проведено контрольні заміри для підтвердження розрахунків проведеним за запропонованим алгоритмом. Графік отриманий за допомогою замірів зображений на Рис 3.8.

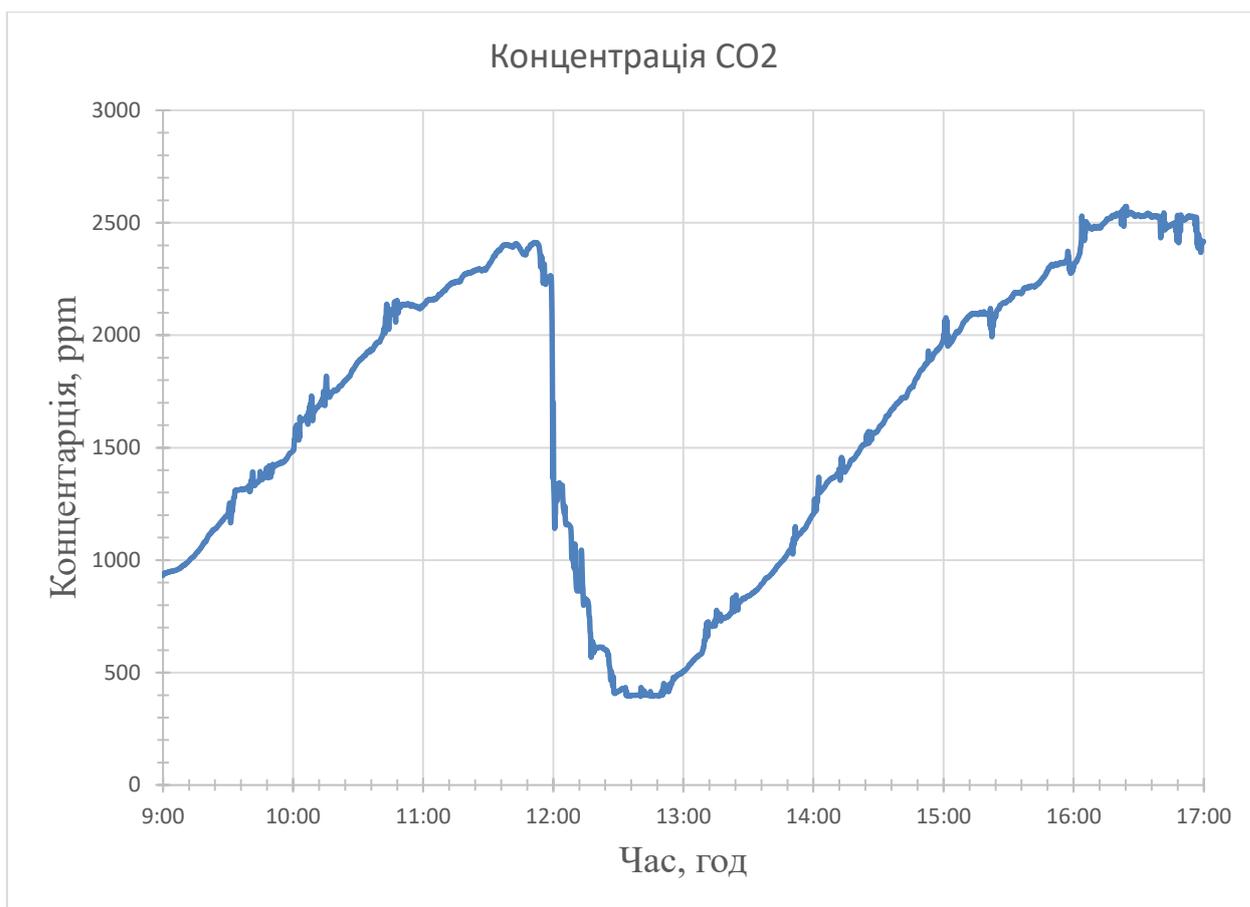


Рис.3.8 – Концентрація діоксиду вуглецю в приміщенні на протязі робочого дня

Контрольним інтервалом часу було обрано інтервал в 2 години з 12:53 до 14:53. Концентрація CO<sub>2</sub> в приміщенні в кінці 2 годинного інтервалу  $C_{пр} = 1930$  ppm.

Абсолютна похибка розрахунків:

$$\Delta E = |1930 - 1996| = 66, \text{ ppm} \quad (3.14)$$

Відносна похибка розрахунків:

$$\delta = \frac{\Delta E}{1930} \cdot 100\% = \frac{66}{1930} \cdot 100\% \approx 4\% \quad (3.15)$$

## 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «ПРОГРАМА ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПЕРСОНАЛЬНОЇ ЕКСПОЗИЦІЇ»

### 4.1 Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології)

Розглянувши в попередніх розділах вплив концентрації діоксиду вуглецю на людину було написано програму для розрахунку персональної експозиції люди в приміщенні. В цьому розділі проведено аналіз ринку, а також конкурентоспроможності нашого стартап проекту.

У таблиці 4.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібна шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка мультиплатформеної програми для розрахунку персональної експозицій людини	Контроль концентрації діоксиду вуглецю в офісах	Виключення людського фактору при розрахунку експозиції
	Контроль концентрації діоксиду вуглецю в школах та інших навчальних закладах	
	Аудит нежилых приміщень	Швидкість розрахунків

Отже, пропонується новий спосіб розрахунку концентрації діоксиду вуглецю в повітрі нежилых приміщень шляхом розробки мультиплатформеної програми, яка відрізняється тим, що на багато спрощує та прискорює процес розрахунків та запобігає виникненню похибок пов'язаних з людським фактором.

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

– визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;

– визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

– проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 4.2).

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко - економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W	N	S
		Co2Expro	EXHAUSTO		Конкурент 3			
1.	Вартість програмного забезпечення	0	0			-	+	-
2.	Швидкість встановлення	3	45			-	-	+
3.	Вартість обслуговування	0	600			-	-	+
4.	Мульти - платформова	Так	ні			-	-	+
5.	Зрозумілий інтерфейс	Так	Так			-	+	-
6.	Торгова марка	Немає	Немає			-	+	-

Порівнявши свій проект з конкурентами був визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару що є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

## 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології (мови програмування), за допомогою якої можливо реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Розробка комп'ютерної програми для розрахунку персональної експозиції	Написання комп'ютерної програми на мові C#	Мова програмування вже розроблена і є в наявності	Дана мова доступна
		Написання комп'ютерної програми на мові Java	Мова програмування вже розроблена і є в наявності	Дана мова доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Написання комп'ютерної програми на мові Java				

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок що наш проект можна реалізувати будь якою мовою програмування яка доступна на даний момент, але серед доступних нам ми обираємо мову Java та будемо використовувати її для реалізації нашої ідеї.

## 4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Це дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	1
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	0
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стагнує
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Патентування продукта
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	68%

Так як ринок має стагнуючу динаміку, але має хороший попит на запропонований нами продукт робимо висновок що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5).

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Спрощення та прискорення розрахунку персональної експозиції за діоксидом вуглецю	Компанії в офісах яких є проблеми з вентиляцією. Навчальні заклади.	Норми персональної експозиції а також стандарти якості повітря в приміщенні. Після	- до продукції Зрозумілий інтерфейс. Робота без збоїв.  - до компаніїпостачальника Своєчасне оновлення. Технічна підтримка.

			встановлення нашої програми, клієнт зможе вільно користуватися всім функціоналом, проте він зможе видалити рекламу купивши копію програми.	
--	--	--	--	--

В даній таблиці ми визначили сегменти ринку на якому будемо пропонувати наш продукт, визначили фактори продукту які формують поведінку клієнтів відносно нашого продукту та їхні основні вимоги до продукту.

При застосуванні даної технології існують певні загрози. Для попередження таких ситуацій необхідно якісне обладнання, а також працювати з такими програмами повинні висококваліфіковані фахівці. Також, повинно своєчасне технічне обслуговування даного продукту (таблиця 4.6).

Таблиця 4.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Можливий вихід на ринок компаній конкурентів	Постійне вдосконалення і розширення функціоналу нашого продукту
2.	Вдосконалення стандартів	Зміна стандартів якості повітря, а також впровадження нових стандартів.	Моніторинг стандартів, і своєчасне оновлення програмного забезпечення
3.	Технічні причини	Збої програмного	Швидке виявлення причини

		забезпечення	збою, та випуск оновлення з виправленням
--	--	--------------	--

В таблиці 4.6 ми визначили фактори загроз які перешкоджають ринковому впровадженню нашого проекту, а також можливу реакцію на фактор щоб звести до мінімуму його вплив.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 4.7).

Таблиця 4.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Науково-технічні	Змінення технологій розробки товару	Впровадження нових технологій, якщо це доцільно
2.	Попит	Хороші темпи зростання ринку	Розширення функціоналу, для охоплення більшої кількості цільових аудиторій
3.	Екологія	Підвищення зацікавленості людей екологічними проблемами	Рекламна компанія продукції, розповсюдження безкоштовних копій

В таблиці 4.7 ми визначили фактори можливостей які сприяють ринковому впровадженню нашого проекту, а вигоди які компанія може отримати відповідно від реакції на той чи інший фактор.

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції - монополія/олігополія/монополістична/чиста	Монополістична	Використання сучасних технологій, промо компанії

2. За рівнем конкурентної боротьби - локальний/національний/...	Національна	Вдосконалення продукту і вихід на міжнародний ринок
3. За галузевою ознакою - міжгалузева/внутрішньогалузева	Міжгалузева	Розширення ринку за рахунок збільшення функціоналу
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-родова - товарно-видова - між бажаннями	Товарно-видова	Вдосконалення та реклама для показу переваг.
5. За характером конкурентних переваг - цінова / нецінова	Нецінова	Розширення функціоналу продукту.
6. За інтенсивністю - марочна/не марочна	Не марочна	Розробка бренду та активна реклама

В даній таблиці ми проаналізували ринок збуту нашого продукту і визначили загальні риси конкуренції на ньому.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товаризамінники
Складові і аналізу	На даний момент на ринку присутній прямиий один конкурент	Потенційні конкуренти з іноземних ринків. Патенти на продукт.	Постачальники є інтернет магазин з програмами різноманітною і направленістю.	Основними клієнтами є робітники офісів, технічний персонал.	Компанія володіє сильною пропозицією, конкурентів практично немає.

Висновки:	Проводити аналіз пропозицій конкурента. Знизити собівартість продукту	Бар'єр для виходу на ринок не дуже високий, що може призвести до появи нових гравців. На даний момент потенційних конкурентів немає	Товар повинен пройти перевірку на якість і робото-спроможність	Клієнти хочуть отримати товар прийнятної якості за низькою ціною. Для задоволення цієї потреби було прийнято рішення про безкоштовне розповсюдження нашої програми	Розширення функціоналу, і підтримка гарних позицій на ринку.
-----------	---	---	--	--	--

Проаналізувавши таблицю 4.9 робимо висновок що з огляду на конкурентну ситуацію на ринку можливість роботи на ринку присутня. Також ми визначили які характеристики повинен мати проект і які дії має проводити компанія щоб бути конкурентоспроможною на ринку.

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Поки проект не впроваджено в життя, це важко зробити точно, можна дати лише попередню оцінку конкурентоспроможності.

Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
	Ціна	Безкоштовне розповсюдження товару
	Висока якість	Клієнт може бути впевнений в достовірності результатів
	Висока кількість постачальників	Доступність товару в не залежності від ситуації на ринку
	Технічна підтримка	Своєчасне рішення проблем що виникли і

		призвели до збоїв в роботі програмного забезпечення
--	--	---

В таблиці 4.10 на основі аналізу проведеного в таблиці 4.9 визначили та обґрунтували фактори конкурентоспроможності нашого проекту.

Таблиця 4.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «CO2Ехро»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з CO2Ехро							
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
1	Ціна	14							+	
2	Велика кількість постачальників	15					+			
3	Висока якість	17	+							
	Технічна підтримка	19		+						

З таблиць 4.10 та 4.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок при впровадженні нового програмного забезпечення для розрахунку персональної експозиції. Основною перевагою та головним досягненням є висока якість продукту та технічна підтримка на протязі всього терміну його використання споживачем.

Таблиця 4.12. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Вільна модель розповсюдження і висока якість приваблює нових клієнтів. Низька конкуренція на ринку.	Слабкі сторони:
Можливості: Впровадження нових технологій, якщо це доцільно Розширення функціоналу, для охоплення більшої кількості цільових аудиторій	Загрози: Можливий вихід на ринок компаній конкурентів Зміна стандартів якості повітря, а також впровадження нових стандартів.

Рекламна компанія продукції.	Збої програмного забезпечення
------------------------------	-------------------------------

В таблиці 4.12 проводимо перелік сильних та слабких сторін проект. А також ринкових загроз та ринкових можливостей який складаємо на основі факторів загроз і можливостей який ми склали раніше. Ринкові загрози та можливості на відміну від факторів ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Таблиця 4.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	1,5 роки
2.	Стратегія виходу з ринку	низька	

Проводимо аналіз розроблених нами альтернатив ринкового впровадження і з зазначених альтернатив обираємо ту яка має найбільшу ймовірність отримання ресурсів, а також є найшвидшою в реалізації. Отже обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.

#### 4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
	Компанії які займаються аудитом робочих місць	Інтерес споживача в високій якості повітря в приміщеннях	Залежатиме від рівня та від темпу розвитку економіки взагалі і галузі споживача зокрема	Низька	Низькі бар'єри входу на ринок
	Навчальні заклади			Низька	Низькі бар'єри входу на ринок
Які цільові групи обрано: Компанії які займаються аудитом робочих місць					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи, для яких будемо пропонувати свою програму для розрахунку персональної експозиції та визначили стратегію охоплення ринку: стратегію диференційованого маркетингу, тому що працюємо із конкретним сегментом, розробляючи для нього програму ринкового впливу.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку.

Таблиця 4.15. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*

Підсилення сильних сторін стартапу за рахунок ринкових можливостей	Диференційований маркетинг	Якісний продукт, постійний зворотній зв'язок з клієнтами	Стратегія диференціації
--	----------------------------	--	-------------------------

В таблиці 4.15 в залежності від обраного нами сегменту ринку обираємо стратегію розвитку нашого проекту на ринку.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16).

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
	Ні	Так, передбачається розвиток ринку	Ні, не буде.	Зайняття конкурентної ніші

В таблиці 4.16 проводимо аналіз того як будемо поводити себе в конкурентній боротьбі і в залежності від прийнятих нами рішень обираємо стратегію конкурентної поведінки.

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект

Таблиця 4.17. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	Вдосконалення продукту враховуючи побажання споживачів	Стратегія диференціації	Висока якість продукту. Формування лояльності і прихильності споживачів	Якість. Ціна. Технічна підтримка.

В даній таблиці формуємо комплекс асоціацій за якими споживачі будуть ідентифікувати наш торгівельний проект.

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку

#### 4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 4.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
	Потреба в програмному забезпеченні для спрощення та прискорення розрахунків персональної	Розрахунок концентрації за допомогою комп'ютера або телефона, зменшення похибок.	Постійна технічна підтримка та оновлення. Вдосконалення програми за допомогою розширення функціоналу.

	експозиції		
--	------------	--	--

Результатом аналізу даної таблиці є перелік ключових переваг нашого товару перед конкурентами, а також переваги які потрібно ще створити.

Таблиця 4.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Програма для розрахунку персональної експозиції Можна виділити наступні вигоди використання: спрощення процесу розрахунків; підвищення швидкості розрахунків; зменшення похибок.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1.Довговічність (немає строку давності)	Нм	Тх
	2. Гарантійний термін (довгий термін гарантійного обслуговування)	Нм	Е
	3.Досконалість виробничого виконання (Досконалий дизайн)	Нм	Тл
	4.Вартість обслуговування (Низька вартість необхідного програмного забезпечення та обслуговування)	Нм	Вр
	Якість: відповідає нормам ДСТУ2499:2017		
Пакування: продукт розповсюджується через інтернет			
Марка: Ехро4Уоц, назва товару Со2Ехро			
III. Товар із підкріпленням	Клієнт має можливість користуватися безкоштовною копією програмного забезпечення.		
	Після продажу споживачу будуть надходити автоматичні оновлення програми, а також він має можливість отримати консультацію по користуванню від виробника.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Від копіювання товар буде захищено шляхом патентування коду (отримання сертифікату про інтелектуальну власність)			

В таблиці 4.19 ми створюємо трьохрівневу модель нашого товару що включає задум товару та його вигоди, основі характеристики готового товару, спосіб його пакування та захисту від копіювання та плагіату.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 4.20).

Таблиця 4.20. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товаризамінники	Рівень цін на товарианалоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1.	0 грн	0 грн	0 – 20000 грн.	0 – 25 грн.

В таблиці проаналізовано ринкові ціни на товари аналоги та замінники, а також середній рівень доходів споживачів. За отриманими даними буду встановлена верхня та нижня межа на нашу програму.

Таблиця 4.21. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Отримання безкоштовної копії ПО	Доставка товару покупцю, його встановлення та налаштування	Канал збуту нульового рівня	Мережа інтернет

Було розроблено концепцію маркетингових комунікацій між споживачами та виробниками. В нашому випадку це робота напряму з виробником та реалізації продукту через мережу інтернет.

Таблиця 4.22. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	Пошук можливості спрощення	Мережа інтернет, виставки,	Спеціалізовані видання	Повідомити клієнта про те що йому	Додаток CO2Ехро зробить

	розрахунків персонально ї експозиції за діоксиду вуглецю	семінари, друковані видання		більше не потрібно рахувати вручну.	твоє дихання легше, а якість розрахунків в краще.
--	--	-----------------------------	--	-------------------------------------	---

Результатом даного підpunkту є ринкова програма яка включає концепцію збуту, просування, аналіз ціноутворення, вона залежить від цінностей та потреб потенційних клієнтів, переваги ідеї, стан ринку на якому буде впроваджено проект на даний момент та його динаміку, та відповідну обрану альтернативу поведінки на ринку.

#### **4.6 Висновки**

Узагальнюючи проведений аналіз стартап проекту можна зробити висновок що у даного проекту на даний момент є хороша можливість ринкової комерціалізації. У зв'язку з хорошою динамікою ринку на розроблений продукт буде хороший попит у споживачів, і з точки зору рентабельності проект обіцяє бути дуже прибутковим. З огляду на потенційні групи клієнтів перспективи впровадження проекту є дуже високими. Але за рахунок того, що на ринку вже є присутні аналоги продукту який розробляється бар'єр входження на ринок є досить високим. Тому для успішного виходу на нього треба надати нашому продукту властивостей які будуть виділяти його серед конкурентів. На даний момент продукт є конкурентоспроможним але для підвищення довіри споживачів і формування своєї бази клієнтів необхідно:

- Вдосконалити технологію розрахунків
- Провести рекламну компанію
- Для початку надати споживачам пробні версії для ознайомлення
- Працювати над покращенням продукту і прислуховуватись до потреб споживачів

Як альтернативний варіант впровадження нашого стартап проекту для ринкової реалізації проекту доцільно обрати початок продаж нашого продукту в мережі інтернет і для якогось одного сегменту ринку, а тільки після закріплення на ринку вже починати шукати клієнтів в інших сегментах і пропонувати їм наш продукт. Також можна зробити висновок що для розширення ринку подальша імплементація проекту є дуже доцільною.

## **ВИСНОВОК**

Вимірювання внутрішньої концентрації діоксиду вуглецю, а також наступний розрахунок персональної експозиції залишається актуальним питання, і його затребуваність тільки зростає з часом, особливо для приміщень які використовуються, як офіси, або для проведення навчальних занять.

Аналіз наукових праць з питань вимірювання концентрації діоксиду вуглець, а також розрахунку персональної експозиції, який був проведений в цій магістерській дисертації, показав, що високі концентрації діоксиду вуглецю в приміщеннях негативно впливають на самопочуття людей, а також на ефективність праці. Концентрація діоксиду вуглецю потребує постійного моніторингу, та утримання на рівні стандартів за допомогою якісних систем вентиляції.

Для контролю концентрації діоксиду вуглецю використовується багато методів, тому в даній дисертації біли проаналізовані найбільш популярні та виявлені плюси та мінуси цих методів. Серед розглянутих методів був обраний оптичний метод, як найбільш точний.

Через те, що на наш метод, розрахунку персональної експозиції, впливають такі параметри як кількість людей, а також параметри приміщення, було розроблено математичну модель залежності їх впливу на результат.

Для підвищення точності розрахунків була побудована полумпірична модель залежності концентрації діоксиду вуглецю в зовнішньому повітрі від висоти будівлі.

На основі отриманих даних було розроблено алгоритм розрахунку персональної експозиції в приміщенні. За алгоритмом було розроблено мультиплатформову програму, для підвищення швидкості розрахунків й виключення людського фактора, який може впливати на похибки.

Дослідження розробленого методу, а також розрахунки персональної експозиції були проведені в офісах ПАТ «УКРПОШТА». Проаналізувавши експериментальні данні та порівнявши їх з нормативами було виявлено, що персональна експозиція за діоксидом вуглецю перевищує норми в півтора рази.

Отже, методи розрахунку персональної експозиції дуже актуальні на даний момент, що якість праці залежить від здоров'я та самопочуття робітників. Але не дивлячись на доступність методів контролю за концентрацією діоксиду вуглецю вони не є ідеальними і потребують подальшого вдосконалення і з часом їх автоматизація та впровадження у всіх будівлях де є проблеми з концентрацією діоксиду вуглецю.

## ЛІТЕРАТУРА

- 1.Черниченко О.І. Ще раз про роль автотранспорту в забрудненні атмосферного повітря / І.О. Черниченко, Я.В. Перشوґуба, Л.С. Соверткова, Н.В. Баленко // Гігієна населених місць : зб. наук. пр. – К., 2010. – Вип. 55. – С. 150–157.
2. Бабій В.Ф. Нагальні проблеми впливу сучасного автотранспорту на довкілля / В.Ф. Бабій, В.М. Худова, О.Є. Кондратенко // Гігієна населених місць: зб. наук. пр. – К., 2011. – Вип. 58. – С. 53–60.
3. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter7.pdf> - [Електронний ресурс]. - IPCC Fourth Assessment Report, Working Group I Report «The Physical Science Basis», Section 7.3.1.2 - С. 514-515
4. Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and roomconditioning systems: EN 13779:2007. – Brussels, – 2007. – 72 p.
- 5.ROBINSON, J. & NELSON, W.C. National human activity pattern survey data base. Research Triangle Park, NC, US Environmental Protection Agency, 1995.
6. <https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/>
7. <https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/>
8. Josep G. Canadell, Corinne Le Quéré, Michael R. Raupach, Christopher B. Field, Erik T. Buitenhuis, Philippe Ciais, Thomas J. Conway, Nathan P. Gillett, R. A. Houghton, and Gregg Marland Contributions to accelerating atmospheric CO<sub>2</sub> growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks, 2007
- 9.Brauer, M.; Amann, M.; Burnett, R.T.; Cohen, A.; Dentener, F.; Ezzati, M.; Henderson, S.B.; Krzyzanowski, M.; Martin, R.V.; Dingenen, R.V.; et al. Exposure Assessment for Estimation of the Global Burden of Disease Attributable to Outdoor Air Pollution. Environ. Sci. Technol. 2012, 46, 652–660.

10. Neil McManus, CIH, ROH, CSP North West Occupational Health & Safety North Vancouver, British Columbia, Canada \\ Oxygen: Health Effects and Regulatory Limits Part I: Physiological and Toxicological Effects of Oxygen Deficiency and Enrichment, 2009.
11. Уэст Дж. Физиология дыхания. Основы. М., 1988.
12. Гурина И. В. Безопасный уровень углекислого газа требует ревизии // Экологический вестник России. 2008. № 10.
13. Шилькрот Е. О., Губернский Ю. Д. Сколько воздуха нужно человеку для комфорта? // АВОК. 2008. № 4.
15. OSHA PEL Project Documentation, 1988
16. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 1994. NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards. DHHS Publication No. 94-116. Cincinnati, Ohio
17. NIOSH Recommendations for Occupational Safety and Health: Compendium of Policy Documents and Statements, 1992
18. <https://www.osha.gov/laws-regs/oshact/completeoshact>
19. Carreiro-Martins P, Viegas J, Papoila AL, Aelenei D, Caires I, Araújo-Martins J, Gaspar-Marques J, Cano MM, Mendes AS, Virella D, Rosado-Pinto J, Leiria-Pinto P, Annesi-Maesano I, Neuparth N. 2014. CO(2) concentration in day care centres is related to wheezing in attending children. Eur J Pediatr 173: 1041-1049.
20. Ferreira AM, Cardoso M. 2014. Indoor air quality and health in schools. J Bras Pneumol 40(3): 259- 268.
21. Muscatiello N, McCarthy, A, Kielb C, Hsu WH, Hwang SA, Lin S. 2015. Classroom conditions and CO2 concentrations and teacher health symptom reporting in 10 New York State Schools. Indoor Air 25(2): 157-167.

22. Lu CY, Lin JM, Chen YY, Chen YC. 2015. Building-related symptoms among office employees associated with indoor carbon dioxide and total volatile organic compounds. *International journal of environmental research and public health* 12(6): 5833-5845.

23. Tsai DH, Lin JS, Chan CC. 2012. Office workers' sick building syndrome and indoor carbon dioxide concentrations. *J Occup Environ Hyg* 9(5): 345-351.

24. Seppänen OA, Fisk WJ, Mendell MJ. 1999. Association of Ventilation Rates and CO<sub>2</sub>-Concentrations with Health and other Responses in Commercial and Institutional Buildings. *Indoor Air* 9: 226-252.

25. Bakó-Biró Z, Clements-Croome DJ, Kochhar N, Awbi HB, Williams MJ. 2011. Ventilation rates in schools and pupils' performance. *Building and Environment* 48: 1-9.

26. Coley DA, Greeves R, Saxby BK. 2007. The effect of low ventilation rates on the cognitive function of a primary school class. *International Journal of Ventilation* 6: 107-112.

27. Satish U, Mendell MJ, Shekhar K, Hotchi T, Sullivan D, Streufert S, Fisk WJ. 2012. Is CO<sub>2</sub> an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO<sub>2</sub> Concentrations on Human Decision-Making Performance. *Environmental Health Perspectives* 120:1671-1677.

28. Allen JG, MacNaughton P, Satish U, Santanam S, Vallarino J, Spengler JG. 2015. Associations of Cognitive Function Scores with Carbon Dioxide, Ventilation, and Volatile Organic Compound Exposures in Office Workers: A Controlled Exposure Study of Green and Conventional Office Environments. *Environmental Health Perspectives* DOI:10.1289/ehp.1510037.

29. Halperin WE. 2007. National Emergency and Continuous Exposure Guidance Levels for Selected Submarine Contaminants. Vol. 1. National Research Council of the National Academies. National Academies Press. Available: <http://www.nap.edu> [accessed 9 April 2015].

30. Guais A, Brand G, Jacquot L, Karrer M, Dukan S, Grevillot G, Jo Molina T, Bonte J, Regnier M, Schwartz L. 2011 Toxicity of Carbon Dioxide: A Review. *Chem Res Toxicol* 24 2061-2070.
31. Abolhassani M, Guais A, Chaumet-Riffaud P, Sasco A, Schwartz L. 2009. Carbon dioxide inhalation causes pulmonary inflammation. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol* 296: L657–L665.
32. Colasanti A, Salamon E, Schruers K, van Diest R, van Duinen M, Griez E, 2008. Carbon Dioxide Induced Emotion and Respiratory Symptoms in Healthy Volunteers. *Neuropsychopharmacology* 33: 3103-3110.
33. Ainslie PN, Duffin J. 2009. Integration of cerebrovascular CO<sub>2</sub> reactivity and chemoreflex control of breathing: mechanisms of regulation, measurement, and interpretation. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 296: R1473–1495.
34. Sliwka U, Krasney JA, Simon SG, Schmidt P, Noth J. 1998. Effects of sustained low-level elevations of carbon dioxide on cerebral blood flow and autoregulation of the intracerebral arteries in humans. *Aviat Space Environ Med* 69:299-306.
35. Glodzik L, Randall C, Rusinek H, de Leon MJ. 2013. Cerebrovascular reactivity to carbon dioxide in Alzheimer’s disease. A review. *J Alzheimers Dis.* 35(3):427-440
36. Ezraty B, Chabalier M, Ducret A, Maisonneuve E, Dukan S. 2011. CO<sub>2</sub> exacerbates oxygen toxicity. *EMBO Reports* 12: 321–326.
37. Waris G, Ahsan H. 2006 Reactive oxygen species: role in the development of cancer and various chronic conditions. *Journal of Carcinogenesis* 5: 14.
38. Brillante R, Laks L, Cossa G, Peters M, Liu P. 2012. An overnight increase in CO<sub>2</sub> predicts mortality in sleep disordered breathing. *Respirology* 17: 933-939.
39. Физиология человека. В 3-х т. Т. 2. Пер с англ. / Под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. — М.: Мир, N 5-03-002544-8.

40. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.

41. Бёккер Ю. Спектроскопия - Spektroskopie / Пер. с нем. Л. Н. Казанцевой, под ред. А. А. Пупышева, М. В. Поляковой. — М. : Техносфера, 2009. — 528 с. — ISBN 978-5-94836-220-5. (рос.).

42. Інфрачервоне проміння // Українська радянська енциклопедія : у 12 т. / гол. ред. М. П. Бажан ; редкол.: О. К. Антонов та ін. — 2-ге вид. — К. : Головна редакція УРЕ, 1974–1985.

43. Леконт Ж., Инфракрасное излучение, пер. с франц., М., 1958; Дерибере М., Практические применения инфракрасных лучей, пер. с франц., М.—Л., 1959; Козелкин В. В., Усольцев И. Ф.