

Вінницький національний технічний університет  
Факультет комп'ютерних систем і автоматики  
Кафедра метрології та промислової автоматики

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
на тему  
**Засіб контролю якості повітря у міському середовищі**

Виконав: студент 2 курсу,  
групи КІВТ-20м  
спеціальності 152 – Метрологія та  
інформаційно-вимірювальна техніка  
освітня програма: комп'ютеризовані  
інформаційно-вимірювальні технології  
\_\_\_\_\_ Ксенчук В.С.

Керівник: д.т.н., проф., проф. каф. МПА  
\_\_\_\_\_ Васілевський О.М.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Опонент: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**Допущено до захисту**  
Завідувач кафедри МПА  
\_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Кучерук В.Ю.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Вінницький національний технічний університет  
Факультет комп'ютерних систем і автоматики  
Кафедра метрології та промислової автоматики  
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)  
Галузь знань 15 "Автоматизація та приладобудування"  
Спеціальність 152 – Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка  
Освітньо-професійна програма Комп'ютеризовані інформаційно-вимірвальні технології

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри МПА

\_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Кучерук В.Ю.  
 “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Ксенчук В.С.

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи \_\_\_\_\_ Засіб контролю якості повітря у міському середовищі

керівник роботи \_\_\_\_\_ Васілевський О.М., д.т.н., проф.  
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “24” 09 2021 року № 277

2. Строк подання студентом роботи 17.12.2021

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

Особливість засобу – засіб контролю

Параметри контролю CO<sub>2</sub>

Результат контролю представляти згідно AQI

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз методів контролю концентрації компонентів газів у повітрі; розробка математичної моделі вимірвального перетворювача концентрації газу (двоокису вуглецю) у повітрі; розробка засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі та оцінювання його метрологічних характеристик; розробка програмного забезпечення та експериментальні дослідження засобу контролю якості повітря; економічна частина

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

Спектри поглинання, ФР, ФД, характеристики ІЧ випромінювачів

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-4	Васілевський О.М. д.т.н., проф.	01.09.2021	17.12.2021
5	Ратушняк О.Г. к.е.н., доц	16.11.2021	17.12.2021

7. Дата видачі завдання 01.09. 2021 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Особливості прогнозування рівня забруднення	01.09.2021 07.09.2021	
2	Хімічне забруднення атмосферного повітря	07.09.2021 14.09.2021	
3	Аналіз спектрів найпоширеніших у повітрі газів	14.09.2021 20.09.2021	
4	Коефіцієнт поглинання CO <sub>2</sub> у повітрі	20.09.2021 28.09.2021	
5	Розробка структурної схеми засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі	28.09.2021 01.10.2021	
6	Розробка функціональної схеми засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі	01.10.2021 07.10.2021	
7	Реалізація моделі системи управління квадрокоптером з сенсором контролю якості повітря	07.10.2021 16.10.2021	
8	Експериментальні дослідження	16.10.2021 19.10.2021	
9	Економічна частина	16.11.2021 17.12.2021	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)Ксенчук В.С. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)Васілевський О.М. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

УДК 621.374.415

Ксенчук В. С. Засіб контролю якості повітря у міському середовищі. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 152 – Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка, освітня програма: комп'ютеризовані інформаційно-вимірвальні технології. Вінниця: ВНТУ, 2021. 99 с. На укр. мові. Бібліогр.: 65 назв; рис.: 43; табл. 19.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено засіб контролю якості повітря у міському середовищі. У загальній частині роботи зроблено аналіз фізико-математичних властивостей поглинання газів інфрачервоною радіацією. Вдосконалена математична модель перенесення випромінювання в середовище міського повітря, яка, на відміну від існуючих враховує особливості об'єкта контролю, причому у атмосферному тиску враховується висота засобу контролю над рівнем моря, що дозволило підвищити достовірність контролю.

У технологічній частині проведено аналіз коефіцієнту передачі оптичного вимірвального перетворювача, коефіцієнт поглинання  $\text{CO}_2$  у повітрі досліджено вплив ширини спектру приймача ІЧ випромінювання на чутливість оптичного каналу газового сенсора.

Графічна частина складається з 10 плакатів із результатами моделювання.

У економічному розділі зроблено розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки.

Ключові слова: сенсор, вимірвальний перетворювач, двоокис вуглецю, повітря, контроль.

## ABSTRACT

Ksenchuk VS Means of air quality control in the urban environment. Master's thesis in specialty 152 - Metrology and information-measuring technology, educational program: computerized information-measuring technologies. Vinnytsia: VNTU, 2021. 99 p. In Ukrainian language. Bibliography: 65 titles; fig.: 43; table 19.

In the master's qualification work the means of control of air quality in the urban environment is developed. In the general part of work the analysis of physical and mathematical properties of absorption of gases by infrared radiation is made. Improved mathematical model of radiation transfer to urban air, which, unlike existing ones, takes into account the characteristics of the object of control, and atmospheric pressure takes into account the height of the sea level control, which increased the reliability of control.

In the technological part the analysis of the transmission coefficient of the optical measuring transducer is carried out, the coefficient of CO<sub>2</sub> absorption in the air the influence of the spectrum width of the IR radiation receiver on the sensitivity of the optical channel of the gas sensor is investigated.

The graphic part consists of 10 posters with simulation results.

In the economic section the calculation of economic efficiency of scientific and technical development is made.

Key words: sensor, measuring transducer, carbon dioxide, air, control.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
<b>1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ КОМПОНЕНТІВ ГАЗІВ У ПОВІТРІ.....</b>	<b>11</b>
1.1 Якість повітря та забруднюючі речовини. AQI.....	12
1.2. Особливості прогнозування рівня забруднення.....	12
1.3 Стан проблеми на сьогодні.....	13
1.4.1 Хімічне забруднення атмосферного повітря.....	14
1.4.2 Викиди автотранспорту.....	16
1.5 Огляд сучасних методів для визначення концентрації газів у повітрі.....	23
1.6 Висновки до розділу 1.....	27
<b>2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ (ДВООКИСУ ВУГЛЕЦЮ) У ПОВІТРІ .....</b>	<b>29</b>
2.1 Аналіз спектрів найпоширеніших у повітрі газів.....	29
2.2 Математична модель перенесення випромінювання у умовне середовище атмосферних газів.....	31
2.3 Коефіцієнт поглинання CO <sub>2</sub> у повітрі.....	36
2.4 Висновки до розділу 2.....	40
<b>3 РОЗРОБКА ЗАСОБУ КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ДВООКИСУ ВУГЛЕЦЮ У ПОВІТРІ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЙОГО МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....</b>	<b>41</b>
3.1 Вибір бази для засобу контролю якості повітря.....	41
3.2 Розробка структурної схеми засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі.....	42
3.3 Розробка функціональної схеми засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі.....	44
3.4 Висновки до розділу 3.....	45

<b>4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АСОБУ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ .....</b>	<b>46</b>
4.1 Реалізація моделі системи управління квадрокоптером з сенсором контролю якості повітря.....	46
4.2 Експериментальні дослідження .....	52
4.3 Висновки до розділу 4.....	54
<b>5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....</b>	<b>55</b>
5.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки .....	55
5.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи.....	61
5.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки.....	69
5.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності.....	70
5.5 Висновки до економічного розділу.....	73
ВИСНОВКИ.....	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	75
ДОДАТКИ.....	82
Додаток А. Технічне завдання.....	83
Додаток Б. Спектри поглинання, ФР, ФД, характеристики ІЧ випромінювачів.....	86
Додаток В. Аналіз спектрів поглинання атмосферних газів у різних діапазонах.....	88

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Якість повітря визначається рівнем забруднення повітря, тобто концентраціями забруднюючих речовин, що містяться в ньому. Якість повітря може змінюватися не тільки день у день, але й протягом кількох годин. Це пояснюється тим, що рівень забруднення може змінюватися в залежності від кількості викидів в атмосферу, від часу дня, наприклад, у годину пік забруднення повітря є найвищим, від погодних умов, при сильному вітрі, як правило, якість повітря значно краще, а також від безлічі інших факторів. У зв'язку з цим необхідно регулярно проводити вимірювання рівня забрудненості атмосферного повітря.

Незважаючи на те, що існує величезна кількість різних забруднюючих речовин, 98% обсягу викидів припадає лише на 4 забруднювачі: діоксид сірки, діоксид вуглецю, оксиди азоту та оксид вуглецю. Крім того, концентрація саме цих речовин найчастіше перевищує допустимі норми.

Дані про концентрацію різних речовин разом є інформацією про рівень забруднення повітря. Наскільки небезпечний для людини даний рівень забруднення визначається відповідно до норм, встановлених державними наглядовими органами.

Зазвичай на громадський розсуд подаються дані про забруднення атмосферного повітря подаються в індексах якості повітря. Це робиться для наочнішого представлення інформації про забруднення. Зокрема, ці індекси використовуються державними органами для доведення інформації до населення про забруднення повітря.

Для обчислення індексу забруднення потрібно інформація про концентрацію забруднювачів повітря за певний період часу. Зазвичай цю інформацію одержують у результаті моніторингу повітря.

Для перетворення концентрацій в індекс забрудненості використовують спеціальні математичні функції, причому для кожної речовини коефіцієнти в цій функції різні, залежно від типу забруднювача. Це пов'язано з тим, що різні



речовини можуть бути небезпечні різною мірою. Потім отримані значення оцінюються за певною бальною шкалою, де значення індексу, як правило, групуються в певні діапазони. Кожному діапазону присвоюється назва, опис можливих наслідків для здоров'я і в деяких індексах зазначається колірний код. Залежно від значень індексу якості повітря влада може давати різні рекомендації населенню для зменшення шкідливого впливу забруднювачів на організм.

На жаль, оскільки немає єдиного індексу забруднення атмосферного повітря, різні країни використовують різні індекси якості повітря, що відповідають різним національним стандартам. Так, наприклад, в Росії використовується ІЗА - інтегральний показник забруднення атмосферного повітря, в Україні (Київ, Львів, Одеса) - моніторинг чистоти повітря «ЛУН Місто Air» вимірює дрібнодисперсний пил, вологість та температуру повітря, а в США розраховують забрудненість повітря з використанням AQI (Air Quality Index), у Франції - АТМО і т.д. Серед них найбільшого поширення набув індекс, розроблений у США – AQI, це пояснюється тим, що він є найпростішим для розуміння та інформативним.

Також актуальність роботи обумовлена проблемою моніторингу якості повітря в містах України. Якість життя людини прямо залежить від наявності достовірної інформації про параметри які визначають на скільки повітря є безпечним для містян. Невисока точність контрольно-вимірювальної апаратури, такої як засіб контролю концентрації CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> та інших газів, може спричинити невірні показники про стан повітря, і, як наслідок, зашкодити здоров'ю людини.

Тому питання розробки засобу контролю якості повітря у місті, що забезпечує високу точність та необхідні динамічні метрологічні характеристики, є актуальним.

**Мета дослідження.** Метою роботи є підвищення наочності при необхідній швидкодії процесу контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі за рахунок оцінення та використання AQI.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані та вирішені такі **задачі:**

- аналіз існуючих засобів та методів контролю концентрації компонентів атмосферних газів у повітрі;

- технічне обґрунтування реалізації засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі;

- розробка математичної моделі засобу для контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі на основі оптико-абсорбційного інфрачервоного методу;

- розробка структурної схеми засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі;

*Об'єктом дослідження* в роботі є процес вимірювального контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі.

*Предметом дослідження* є методи та засоби підвищення достовірності контролю при заданій швидкодії оптико-абсорбційного методу контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі.

**Методи дослідження.** При вирішенні поставлених задач в роботі були використані методи теорії вимірювального контролю, математичної статистики та теорії випадкових процесів, комп'ютерного моделювання, теорії вимірювань, похибок вимірювань та технічного контролю використовувались для визначення вірогідності контролю.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

Вдосконалена математична модель ослаблення випромінювання в середовище повітря міського середовища, яка, на відміну від існуючих, враховує параметри об'єкта контролю, а саме, враховується висота засобу контролю над рівнем моря.

**Практичне значення одержаних результатів.** У роботі отримані такі практичні результати:

Розроблена структурно-алгоритмічна організація засобу контролю концентрації двоокису вуглецю повітрі на основі оптико-абсорбційного методу, яка враховує адаптаційні алгоритми функціонування його в реальних умовах.

Теоретично досліджено та експериментально підтверджено: зв'язок ширини спектра світлодіода з чутливістю оптичного каналу газового сенсора.

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення та результати, що представлені в роботі, одержані автором самостійно.

**Апробація результатів роботи.** Результати роботи обговорювалися на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів ВНТУ.

**Обсяг і структура.** Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, основних висновків по роботі, переліку використаних джерел (65 бібліографічних посилання, 7 сторінок) та додатків (18 сторінок). Загальний обсяг роботи, в якому викладено основний зміст, складає 73 сторінок і містить рисунків 43, таблиць 19. Повний обсяг роботи – 99 сторінки.

# 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ КОМПОНЕНТІВ ГАЗІВ У ПОВІТРІ

## 1.1 Якість повітря та забруднюючі речовини. AQI

Для інформування населення про поточну якість повітря ЕРА (Агентство з охорони навколишнього середовища США) [10] розробило індекс якості повітря AQI (Air Quality Index) [39], який передбачає вимірювання п'яти найбільш поширених забруднювачів повітря. Цей індекс дозволяє надавати населенню інформацію про поточний стан атмосферного повітря та інформувати про його можливий вплив на здоров'я людини. Індекс AQI використовується і для моніторингу повітря в Лун Місто (наприклад, Київ станом на 09.11.2021р. 8:57 – повітря чисте 20 AQI)

Обчислюється AQI на основі концентрацій наступних забруднюючих речовин: приземного озону (O<sub>3</sub>), оксиду вуглецю (CO), діоксиду сірки (SO<sub>2</sub>), діоксиду азоту (NO<sub>2</sub>) та завислих частинок (PM). Останній тип забруднювача можна розділити на два види: зважені частки розміром до 2,5 мкм та розміром від 2,5 до 10 мкм.

AQI може приймати значення від 0 до 500. Чим вище значення AQI, тим вище рівень забруднення повітря і тим більшу небезпеку для здоров'я повітря становить. Наприклад, значення AQI 50 говорить про те, що якість повітря є гарною і ваш організм навряд чи зазнає негативного впливу, тоді як повітря зі значенням AQI більше 300 вже становить серйозну небезпеку для здоров'я людини.

Мета AQI - допомогти людям зрозуміти, якої якості повітря в даний момент і як перебування на відкритому повітрі може позначитися на здоров'ї людини. Для того, щоб це було легше зрозуміти, шкала AQI ділиться на шість категорій. Кожна категорія відповідає різному рівню якості повітря.

Для того щоб люди могли швидше і простіше зрозуміти наскільки забруднене повітря, ЕРА надало кожній категорії AQI певний колір. Наприклад,

помаранчевий колір означає, що умови несприятливі для особливо чутливих, у той час як червоний колір означає, що умови можуть бути небезпечними для всіх, і так далі.

## 1.2. Особливості прогнозування рівня забруднення

Перша складність з якою стикається дослідник у цій галузі – необхідність регулярного моніторингу якості повітря. Для якісного прогнозу необхідно вичерпне покриття міста мережею станцій моніторингу. Однак це не єдина проблема прогнозування якості повітря, даний процес складний ще за трьома причинами [21].

1) Якість повітря в містах залежить від безлічі складних факторів, таких як погодні умови, дорожній трафік, викиди підприємств, лісові пожежі і т.д. Крім того, не всі ці дані публікуються у відкритому доступі.

2) Якість повітря у місті може швидко та сильно змінюється (рис. 1). Це пояснюється тим, що рівень забруднення може варіюватися в залежності від різних факторів: від часу дня, в годину пік забруднення повітря є найвищим, від різко змінних погодних умов, при сильному вітрі, як правило, якість повітря значно краще, і навіть від багатьох інших чинників. До того ж, у різних місцях міста рівень забруднення може значно відрізнятись. Наприклад, у промислових районах, при викидах забруднюючих речовин підприємствами, рівень забруднення може бути значно вищим, ніж у спальних районах.

3) Якість повітря може різко змінитись. Це може бути викликано екстремальними погодними умовами або НП. У деяких випадках, наприклад, коли настають сильні вітри або зливи, якість повітря дуже сильно змінюється за короткий проміжок часу. Такі різкі перепади важко передбачити, оскільки їхня присутність у всьому спостереженні зустрічається дуже рідко, тому існуючі моделі не можуть передбачити раптові зміни досить добре.

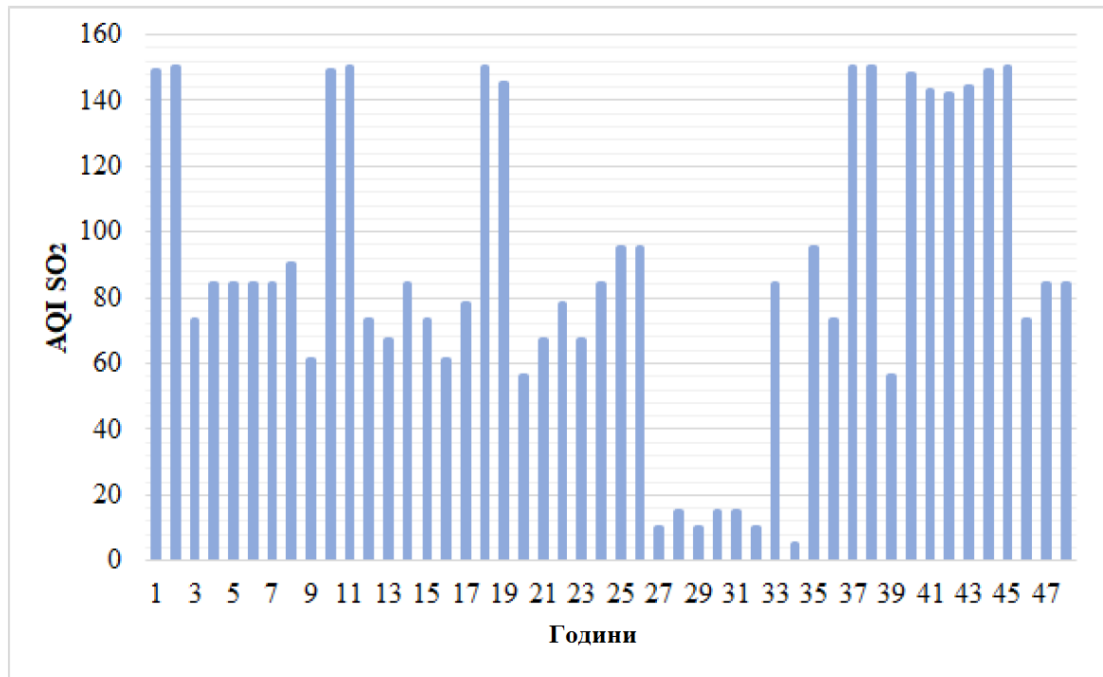


Рисунок 1.1 – Зміни AQI на окремо взятій станції протягом 48 годин

### 1.3 Стан проблеми на сьогодні

На сьогоднішній день вже було проведено безліч досліджень у галузі моніторингу та прогнозування забруднення атмосферного повітря [6, 8, 9, 22] та інтерес до цього напрямку зростає з кожним роком.

Існує безліч моделей передбачення рівня забруднення атмосфери з різних технологій. В даний час найбільш популярним інструментом для розрахунку майбутньої якості повітря є інтелектуальний аналіз даних, зокрема, були розроблені моделі передбачення на основі дерев рішень [8], регресійного аналізу [9] і нейронних мереж [22]. Однак найбільш поширені моделі прогнозування засновані на авторегресійних моделях (ARIMAX) [4, 13]. Головну конкуренцію даним моделям складають нейромережеві моделі (ANN) [12, 14, 15].

Також останнім часом було розроблено безліч комерційних проектів, створених безпосередньо для населення, які займаються проблемою прогнозування забруднення. Як приклад можна навести такі продукти як AQICN [5], AirNow [3], PlumeLabs [17].

#### 1.4.1 Хімічне забруднення атмосферного повітря

Джерелами забруднення атмосферного повітря є природні та антропогенні процеси (джерела, що виникають у результаті життєдіяльності людини). За обсягом природні викиди шкідливих речовин можуть перевершувати антропогенні у кілька разів. Однак, природні викиди розподіляються в атмосфері рівномірно та утворюють лише фонові концентрації. У той же час антропогенні викиди утворюються постійно мають локальний характер, унаслідок чого створюють небезпечні концентрації шкідливих речовин у природному середовищі. Обсяги викидів забруднюючих атмосферу шкідливі речовини можуть бути більшими або порівняно невеликими.

В залежності від цього забруднюючі атмосферу речовини поділяються на масові та специфічні. До масових забруднювачів атмосферного повітря відносяться: діоксид сірки, оксиди азоту, оксид вуглецю, вуглеводні та пил.

Шкідливі газо- і пароподібні речовини, що викидаються в атмосферу в порівняно невеликих кількостях, називаються специфічними забруднювачами атмосфери. До них відносяться аміак, бенз(а)пірен, сірководень, сірковуглець, галогени (хлор, фтор) та їх сполуки, пари ртуті, меркаптани, діоксини та ін. Ці сполуки зазвичай виявляються в атмосферному повітрі у промислових підприємств, які або застосовують ці речовини в технологічних процесах, або вони утворюються під час виробництва інших хімічних сполук [17].

Пасивні методи зменшення забруднення атмосфери.

Ці способи призначені для зменшення шкідливого впливу газоподібних викидів на рослинний та тваринний світ. При цьому абсолютне кількість шкідливих викидів не зменшується, відбувається лише їх розведення в атмосферному повітрі та зниження небезпечних концентрацій до рівня гранично допустимих.

Найбільш поширеними пасивними способами зменшення шкідливого впливу газоподібних викидів є такі.

Розміщення підприємств із урахуванням троянди вітрів. Вітер є рух повітря щодо земної поверхні, спричинений нерівномірним розподілом атмосферного тиску. Зазвичай такий рух повітря спрямовано від високого до низького тиску. Вітер характеризується швидкістю та напрямом.

Проектування та будівництво промислових підприємств здійснюється з урахуванням троянди вітрів. Вона є векторною діаграмою, яка характеризує режим вітру у цьому місці за багаторічними спостереженнями [18].

Облік рози вітрів дозволяє будувати промислове підприємство так, щоб його шкідливі газоподібні викиди неслися вітром у протилежному напрямку від міста чи населеного пункту.

Створення санітарно-захисних зон у вигляді лісопосадок та парків. Санітарно-захисні зони навколо промислових підприємств не лише сприяють розведенню шкідливих газоподібних викидів у повітрі, а й поглинають їх.

Встановлено, що 1 га лісу віком 20–30 років за вегетаційний період поглинає листям 500-700 кг діоксиду сірки, 400 кг сірчаного ангідриду, 180 кг оксидів азоту, 100 кг хлору, 40 кг фтору, 20 кг фенолу, затримує до 18 т пилу.

Таким чином, завдяки диханню та автотрофному харчуванню, рослини здатні очищати значний об'єм повітря. При цьому стійкі види рослин не гинуть, а накопичують та знешкоджують досить велику кількість токсичних речовин [19].

Введення режимних умов підприємств. Режимні умови роботи промислових підприємств полягають у наступному. У вітряну погоду виробництво працює на повну потужність, а в безвітряну потужність виробництв, у яких утворюються шкідливі викиди, зменшують.

Використання високих труб. Для розсіювання шкідливих викидів на великі площі використовують високі димові чи вихлопні труби. Відомо що димова труба заввишки 200 метрів розсіює шкідливі викиди на площі радіусом 25 км, тоді як труби висотою 250 метрів збільшують радіус площі розсіювання до 75 км.



У той же час при частому розташуванні димових труб ефект розсіювання не досягається через перекриття площ розсіювання однотипних шкідливих викидів з різних труб, наприклад, діоксиду сірки у складі атмосферних газів містах Західної Європи.

Розташування промислових підприємств з урахуванням рельєфу місцевості.

Зазвичай промислові підприємства розміщуються на піднесених місцях, а населені пункти – у низовинних, що дозволяє розсіювати шкідливі газоподібні викиди у високих шарах атмосфери навіть із території підприємств.

Активні методи зменшення забруднення атмосфери.

Активні способи зменшення забруднення атмосфери призначені для скорочення абсолютних кількостей викидів шкідливих газоподібних речовин у навколишнє середовище. Найбільш широке застосування знаходять такі активні методи:

- Будівництво підприємств за проектами, що пройшли експертизу;
- удосконалення вже існуючих технологій з підвищенням їх екологічної безпеки;
- суворе дотримання технологічного регламенту робітниками та службовцями підприємств;
- Підвищення екологічної безпеки сировини перед його застосуванням;
- будівництво газоочисних установок для уловлювання та подальшої утилізації чи знешкодження шкідливих газоподібних викидів. Однак це не завжди можливе через те, що вартість газоочисних установок часом сягає 70% вартості самих підприємств;
- Створення маловідходних та безвідходних технологій з оборотним циклом [18].

#### 1.4.2 Викиди автотранспорту

Викиди автотранспорту – відпрацьовані вихлопні гази, що викидаються в довкілля, під час експлуатації автомобілів. У будівництві та на підприємствах будіндустрії автотранспорт застосовується досить широко.

Склад викидів автотранспорту насамперед залежить від виду палива. У нині основним видом палива є бензин, щонайменше – дизельне паливо, скраплений природний газ та ін. Загальна кількість речовин, що містяться у викидах автотранспорту перевищує 1000 найменувань.

Найбільш небезпечні для здоров'я людини вуглеводні, зокрема поліциклічні ароматичні, оксиди вуглецю, азоту та сірки, тверді Зважені речовини. Основні причини збільшення вмісту токсичних речовин у викидах автотранспорту – неповне згоряння палива при неправильне регулювання карбюраторів та поганий технічний стан двигуна. До складу викидів автотранспорту входять також картерні гази – суміш газів з парами мастила. Джерелом забруднення повітря можуть бути також випаровування летких фракцій бензину з паливних баків, карбюраторів, систем живлення двигуна.

Викиди забруднюючих речовин в атмосферу від автотранспортних засобів збільшуються у світі щорічно в середньому на 3,1%. В результаті щорічний екологічні збитки від функціонування транспортного комплексу країн становить понад 3,5 млрд. у. о. і ця сума продовжує зростати [20].

Внесок автомобілів у забруднення довкілля становить 60–90%. Автомобільні двигуни скидають у повітря міст більше 95% оксиду вуглецю, близько 65% вуглеводнів та 30% оксидів азоту. При згорянні 1 кг бензину в атмосферу надходить 465 г чадного газу, 25 г вуглеводнів, 15 г оксидів азоту. Крім того, для згоряння 1 кг бензину необхідно 14,5 кг повітря. Тобто двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) протягом години витрачає близько 200 л кисню – у 2,5 рази більше, ніж за добу вдихає людина. Загалом забруднення атмосферного повітря токсичними викидами автомобілів частка двигунів із іскровим запаленням становить 93-95%, дизельних двигунів – 5-7%. Щоправда, рівень викидів сажі в останніх у 5-6 разів вище [21].

Шкідливий вплив викидів автотранспорту на людину виражається в збільшенні як гострих, так і хронічних захворювань легень та серцево-судинної системи, а також онкологічних захворювань. В даний час, для боротьби із забрудненням повітряного середовища викидами автотранспорту проводять два види заходів: організаційно-правові та технічні.

До організаційно-правових заходів, що вирішують транспортно-регулюючі завдання відносяться: забезпечення безперервного руху автомобілів із постійною швидкістю (наприклад, 60 км/год) за рахунок зменшення числа перехресть, використання «зеленої хвилі» тощо; зниження інтенсивності руху найбільш завантаженими вулицями; створення зон, вільних від автомобілів; будівництво окружних кільцевих доріг для відведення із центрів міст окремих видів автотранспорту (вантажного); розвиток та удосконалення громадського міського транспорту. Вирішення цих завдань сприяють і архітектурно-планувальні заходи: раціональна забудова, спорудження транспортних розв'язок на різних рівнях, будівництво кільцевих автомагістральних доріг, магістралей-дублерів, використання підземного простору для розміщення стоянок та гаражів, наближення місць роботи до житлових зон, включення до поперечного профілю вулиць (при їх проектування та реконструкції) деревно-чагарникових насаджень. За рахунок таких заходів вміст у повітрі аерозолів, пилу та токсичних речовин може бути знижено на 65, 75 та 90% відповідно.

До організаційно-правових заходів належать також розробка гігієнічних нормативів складу викидів автотранспорту, оперативний систематичний контроль за їх дотриманням, встановлення стандартів на склад палива, викидів та методи їх визначення.

За кордоном встановлені норми на утримання ряду компонентів викидів автотранспорту (оксид вуглецю, вуглеводні та оксиди азоту) з розрахунку кількості речовин (у грамах) на 1 км. пробігу автомобіля. Причому ці вимоги посилюються, а граничні норми знижуються, що має сприяти вдосконаленню екологічної безпеки автотранспорту [22].

Технічні методи боротьби з викидами автотранспорту включають: впровадження найефективніших дизельних двигунів на легкових автомобілях; застосування палива відповідної якості; використання присадок до палива; покращення процесу спалювання; вдосконалення процесів впуску та випуску газів та сумішоутворення в двигунах; зниження витрати палива за рахунок покращення конструкції двигуна, аеродинаміки автомобіля та зменшення його маси; створення двигунів нових типів та ін.

Більше застосування отримують полум'яні та каталітичні нейтралізатори вихлопних газів. У полум'яних нейтралізаторах (термічних реакторах) відбувається процес догорання продуктів неповного згоряння у відкритому полум'я безпосередньо на виході з циліндрів при додаванні надлишкового повітря. Дія каталітичних нейтралізаторів ґрунтується на окисленні продуктів неповного згоряння та відновлення оксидів азоту в присутності каталізатора (частіше за платину). Вони бувають двокомпонентні, що нейтралізують два токсичні компоненти (оксид вуглецю та оксиди азоту), і трикомпонентні, які нейтралізують три токсичні сполуки (оксид вуглецю, вуглеводні та оксиди азоту). Рідкісні нейтралізатори забезпечують знешкодження викидів автотранспорту шляхом хімічних реакцій із рідкими реагентами [23].

Забруднення атмосферного повітря відпрацьованими газами автомобілів зручно оцінювати за концентрацією окису вуглецю, мг/м<sup>3</sup>. Вихідними даними для роботи є показники підрахунку транспортного засобу (ТЗ) на автошляхах різного типу в робочий або обідній годинник, в ранковий час або після закінчення робочого дня («година пік»).

Визначають кількість СО, що виділяється АТС на цій дорозі за формулою оцінки концентрації окису вуглецю (КСО) (Бегма та ін, 1984; Шаповалов, 1990):

$$K_{CO} = (0,5 + 0,01N \cdot K_T) \cdot K_A \cdot K_U \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_{II} \quad (1.1)$$

де:

0,5 – фонове забруднення атмосферного повітря нетранспортного походження, мг/м<sup>3</sup>;

N - сумарна інтенсивність руху автомобілів на міській дорозі, автом./год;

K<sub>T</sub> - коефіцієнт токсичності автомобілів за викидами в атмосферне повітря;

K<sub>a</sub> - Коефіцієнт, що враховує аерацію місцевості;

K<sub>y</sub> - коефіцієнт, що враховує зміну забруднення атмосферного повітря в залежності від величини поздовжнього ухилу;

K<sub>c</sub> – коефіцієнт, що враховує зміни концентрації ЗІ залежно від швидкості вітру;

K<sub>v</sub> – коефіцієнт, що враховує зміни концентрації ЗІ залежно від вологості повітря;

K<sub>p</sub> – коефіцієнт збільшення забруднення атмосферного повітря у перетинів.

Коефіцієнт токсичності автомобілів визначається як середньозважений для потоку автомобілів за формулою:

$$K_T = \sum P_i \cdot K_{Ti} \quad (1.2)$$

де:

P<sub>i</sub> - склад автотранспорту в частках одиниці;

K<sub>Ti</sub> – визначається за табл.1.1

Таблиця 1.1 – Коефіцієнти токсичності автотранспорту

Тип автомобіля	Коефіцієнт K <sub>T</sub>
Легковий фургон до 1,5т	2,3
Середня вантажівка	2,9
Важка вантажівка	0,2
Автобус	3,7
Легковий автомобіль	1,0

Значення коефіцієнта  $K_A$ , що враховує аерацію місцевості, визначається таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Ступінь аерації дороги

Тип місцевості за рівнем аерації	Коефіцієнт $K_A$
Транспортні тунелі	2,7
Транспортні галереї	1,5
Магістралі та вулиці з багатоповерховою забудовою з двох сторін	1,0
Житлові вулиці з одноповерховою забудовою	0,6
Міські вулиці та дороги з односторонньою забудовою, набережні, естакади, віадукі, високі насипи	0,4
Пішохідні тунелі	0,3

Для магістральної вулиці з багатоповерховою забудовою  $K_A=1$ .

Значення коефіцієнта  $K_U$ , що враховує зміну забруднення повітря окисом вуглецю, залежно від величини поздовжнього ухилу, визначаємо за таблицею 1.3.

Таблиця 1.3 – Нахил дороги

Поздовжній ухил, °	Коефіцієнт $K_U$
0	1,00
2	1,06
4	1,07
6	1,18
8	1,55

Коефіцієнт зміни концентрації окису вуглецю в залежності від швидкості вітру  $K_c$  визначається за таблицею 1.4.

Таблиця 1.4 – Швидкість вітру

Швидкість вітру, м/с	$K_c$
1	2,70
2	2,00
3	1,50
4	1,20
5	1,05
6	1,00

Значення коефіцієнта  $K_v$ , що визначає зміну концентрації окису вуглецю в залежності від відносної вологості повітря, наведено у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Відносна вологість повітря

Відносна вологість повітря	Коефіцієнт $K_v$
100	1,45
90	1,30
80	1,15
70	1,00
60	0,85
50	0,75

Коефіцієнт збільшення забруднення повітря окисом вуглецю у перетинів наведено у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Типи перехрестів

Типи перехрестів	Коефіцієнт Кп
Регульоване перехрестя:	
- зі світлофорами (звичайне)	1,8
- зі світлофорами (кероване)	2,1
- саморегульоване	2,0
Нерегульоване:	
- зі зниженням швидкості	1,9
- кільцеве	2,2
- з обов'язковою зупинкою	3,0

ГДК викидів автотранспорту по окису вуглецю дорівнює 5 мг/м<sup>3</sup>.

В даний час автотранспорт є одним із основних забруднювачів атмосфери речовинами, що містяться у вихлопних газах.

Сумарну завантаженість вулиць АТС можна оцінити згідно з ДСТУ-17.2.2.03-77:

- низька інтенсивність руху – 2,7-3,6 тис. авт./добу;
- середня – 8-17 тис. авт./добу;
- висока – 18-27 тис. авт./добу.

Станом на 09.11.2021р. згідно даних Лун Місто Air у м.Києві – трафік дуже щільний, 76%.

### 1.5 Огляд сучасних методів для визначення концентрації газів у повітрі

Систематизація методів контролю концентрації компонентів газів у повітрі атмосфери міста. На основі зробленого аналізу методів контролю концентрації компонентів атмосферних газів представлено систематизацію (рис. 1.2)



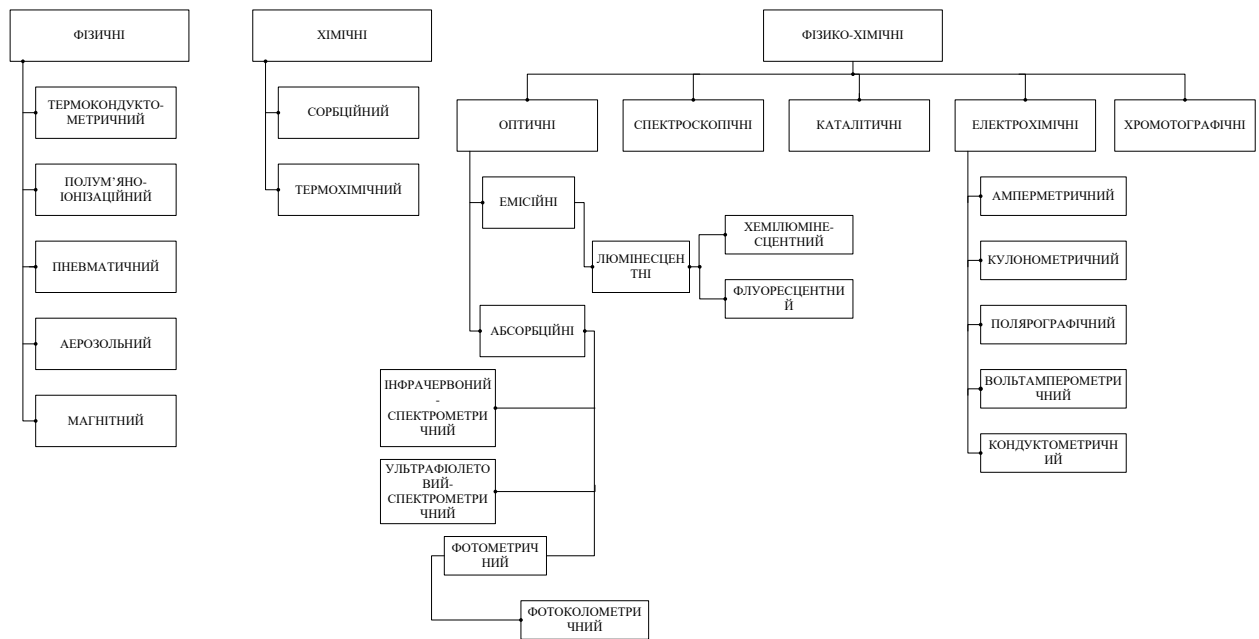


Рисунок. 1.2 - Систематизація методів контролю концентрації компонентів атмосферних газів

Основні переваги, недоліки та фізична природа методів контролю концентрації компонентів атмосферних газів представлено у таблиці 1.7.

Таблиця 1.7- Порівняння методів контролю концентрації компонентів газів у повітрі міста

Назва методу	Фізична природа методу	Основні переваги методу	Основні недоліки методу
Термокондуктометричний	Принцип дії заснований на залежності теплопровідності газової суміші від її складу	Широко застосовують для контролю процесів у виробництві	Неселективний. До того ж малий діапазон вимірювань
Термохімічний	Сутність зводиться до вибіркового поглинання того чи іншого компоненту рідким, а іноді і твердим реагентом	Визначають вміст двоокису вуглецю разом із сірководнем. Кожний з цих газів може бути з достатньою точністю визначений при вмісті в досліджуваній газової суміші не менше 0,05–0,1 % об.	Для кожного компоненту складної газової системи застосовується особливий реагент, який специфічно діє на газ, який аналізується

Магнітний	Принцип дії методу заснований на залежності магнітної сприйнятливості газової суміші від концентрації $O_2$	Застосовують для визначення $O_2$	Низька швидкодія
Пневматичний	Вимірюють гідравлічного опору дроселя (капіляра) при пропусканні через нього газу	Елементи схеми, що контактують з газами, виконані зі скла і фторопласту, що дозволяє аналізувати агресивні гази	Не володіє високою вибірковістю
Пневмоакустичний	Містять два свистки з близькими частотами (3-5 кГц), через один з яких проходить газ, який аналізується, через другий – порівняльний	Не містять електричних елементів і тому можуть використовуватися в приміщеннях будь-якої категорії пожежо і вибухонебезпеки	Діапазон вимірювання – від одиниць до десятків відсотків
Оптико-абсорбційний інфрачервоний	Дія заснована на виборчому поглинанні молекулами газів і пари ІЧ-випромінювання в діапазоні 1-15 мкм	Широко використовують для контролю якості продукції, аналізу газів, що відходять у складі атмосферних газів.	Недоліком є нездатність визначати деякі одноатомні гази (такі як $O_2$ )
Хемілюмінесцентний	Вимірюють інтенсивність люмінесценції, збудженої завдяки хімічній реакції контрольованого компонента з реагентом в твердій, рідкій або газоподібній фазі	Висока вибірковість обумовлена специфічністю вибраної реакції	Недоліком є невисока селективність оскільки спектри люмінесценції зазвичай являють собою широкі смуги і часто перекриваються.
Флуоресцентний	Вимірюють інтенсивність флуоресценції (довжина хвилі), що виникає при дії на контрольований компонент УФ – випромінювання	При визначенні $SO_2$ характеризуються високою чутливістю і вибірковістю	Недоліком методу є низька надійність. За рахунок складної структури засобів

Продовження табл. 1.7

Фото- коло- риметрич- ний	Вимірюють інтенсивність забарвлення продуктів виборчої реакції між компонентом, що визначається, і спеціально підібраним реагентом	Дозволяє контролювати вибухові концентрації органічних речовин	Хоча цей метод і має високу чутливість, але при цьому він володіє низькою вибірковістю та швидкістю, за рахунок особливостей самого процесу вимірювання
Амперо- метрич- ний	Дія заснована на залежності між електричним струмом і кількістю компоненту, який прореагував на індикаторному електроді	Перевага амперметричного газоаналізатора - висока чутливість і вибірковість	Недоліками такого методу є невеликий діапазон вимірювання, не висока швидкість та вибірковість
Іонізацій- ний	Дія заснована на залежності електричної провідності іонізованих газів від їх складу	Здатність контролю зміни сумарного вмісту вуглеводнів в атмосфері і токсичні домішки в повітрі промислових приміщень, чистоту вихлопних газів автомобілів, витоку газів з трубопроводів і підземних комунікацій	Головним недоліком є неможливість визначити неорганічні речовини (такі як CO та CO <sub>2</sub> ), а також низька вибірковість при аналізі багатокомпонентних сумішей

Для порівняння різних методів застосуємо критерій який приймає два значення: “1” – якщо мета досягнута, “0” – ні. Тоді якісний критерій ефективності буде являти собою

$$k = \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{n}, \quad (1.3)$$

де  $a_i$  – вагові коефіцієнти;  $n$  – загальна кількість якісних критеріїв ефективності.

Порівняння методів для контролю концентрації компонентів атмосферних газів представлено у таблиці 1.8. Вагові коефіцієнти у таблиці 1.8. занесено при аналізі першого розділу (“1” – відповідає вимогам, “0” –ні).

Таблиця 1.8 – Порівняння методів для контролю концентрації компонентів газів у повітрі

Метод/ Параметр	Діапазон вимірювань	Швидкість	Надійність	Багато- компонентність	Вибірковість	УЛКЕ
Термокондуктометричний	0.2	0.2	0.9	0.9	0.1	0.46
Термохімічний	0.3	0.2	0.8	0.8	0.3	0.48
Магнітний	0.4	0.4	0.9	0.9	0.9	0.7
Пневматичний	0.1	0.1	0.7	0.7	0.2	0.36
Пневмоакустичний	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.16
Оптико-абсорбційний інфрачервоний	1	0.9	0.8	0.9	0.8	0.88
Хемілюмінесцентний	0.9	0.8	0.3	0.9	0.8	0.74
Флуоресцентний	0.9	0.8	0.3	0.9	0.8	0.74
Фотоколориметричний	0.8	0.8	0.2	0.8	0.8	0.68
Амперометричний	0.2	0.2	0.7	0.7	0.3	0.42
Іонізаційний	0.2	0.9	0.3	0.8	0.4	0.52

З вище наведеного аналізу методів контролю вимірювання концентрації компонентів атмосферних газів можна зробити висновок, що найбільш оптимальним є оптико-абсорбційний інфрачервоний метод вимірювання.

## 2.6 Висновки до розділу 1

У розділі зроблено аналіз методів визначення концентрації газових сумішей та окремих газів. Здійснено огляд найбільш поширених методів газового аналізу, розглянуто їх переваги і недоліки, можливості застосування для розв’язання поставлених задач. Розповсюдженим недоліком більшості

існуючих методів, за винятком оптичних, є їх невисока селективність, тобто часто визначенню концентрації газу заважає присутність інших компонентів. А низький поріг чутливості, тобто можливість визначати малі концентрації газів, характерні лише для електрохімічних та оптичних методів газового аналізу. Здійснений огляд показав, що найдоцільнішим є використання оптичних методів, серед яких для розв'язання поставлених задач найкращим є оптико-абсорбційний метод. Тому важливою метою подальшої роботи є вдосконалення оптимального методу контролю концентрації компонентів газів та його уніфікація орієнтовно особливостей об'єкта контролю.

## 2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗУ (ДВООКИСУ ВУГЛЕЦЮ) У ПОВІТРІ

### 2.1 Аналіз спектрів найпоширеніших у повітрі газів

Для того, щоб визначити характеристики фотоприймачів у засобі контролю концентрації зроблено аналіз спектрів поглинання різних газів [62-63], які є основними у атмосфері міста.

Аналіз спектрів поглинання газів, що складають основу повітря у міському середовищі у широкому інфрачервоному діапазоні 0.75-15 мкм ( $13330\text{-}667\text{ см}^{-1}$ ) наведено на рис. 2.1-2.5.

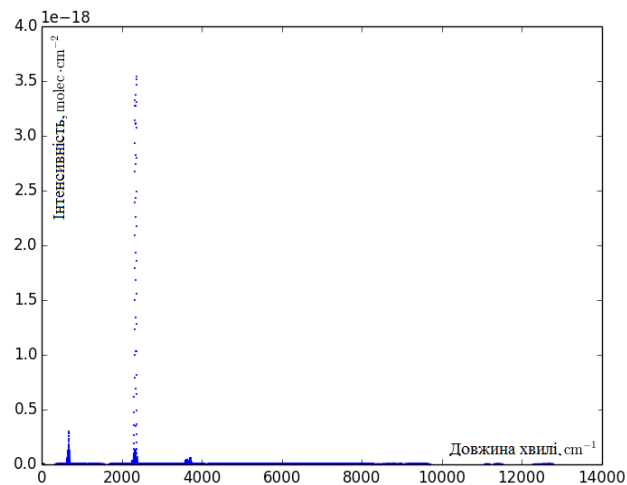


Рис. 2.1. Спектр поглинання  $\text{CO}_2$  у діапазоні 0.74-15 мкм

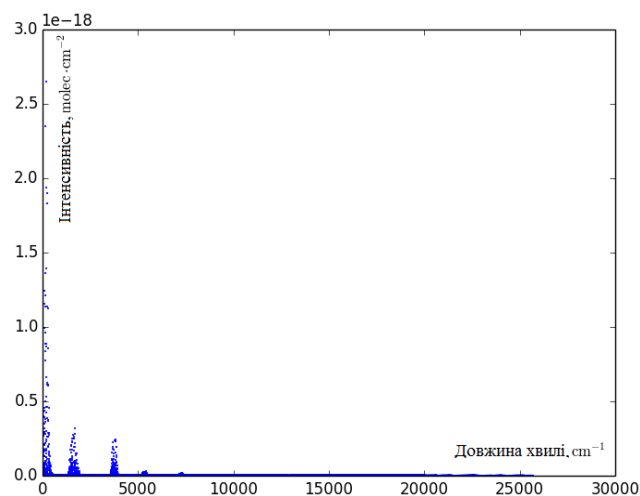


Рис. 2.2. Спектр поглинання  $\text{H}_2\text{O}$  у діапазоні 0.74-15 мкм

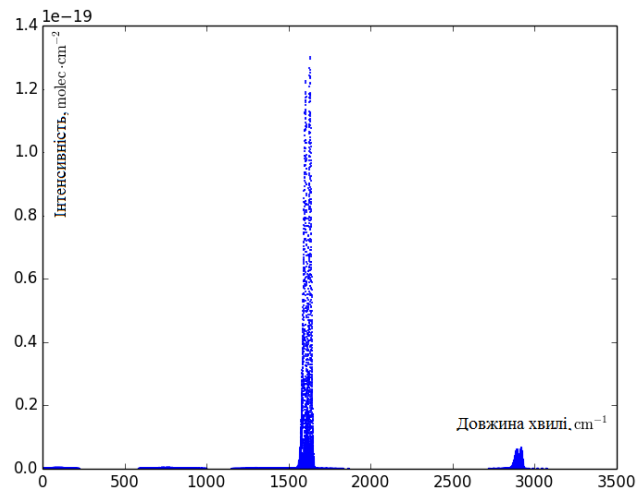


Рис. 2.3. Спектр поглинання N<sub>2</sub>O у діапазоні 0.74-15 мкм

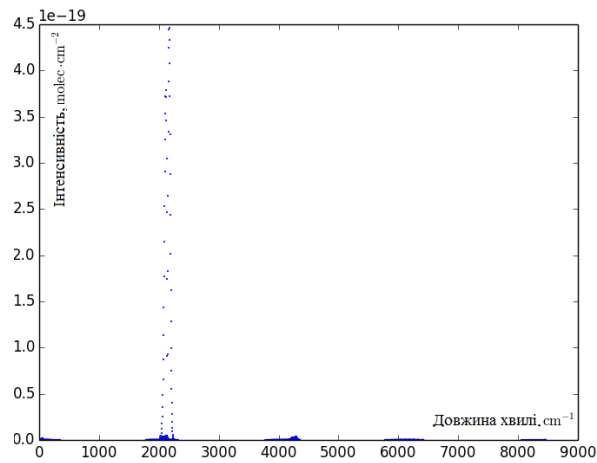


Рис. 2.4. Спектр поглинання CO у діапазоні 0.74-15 мкм

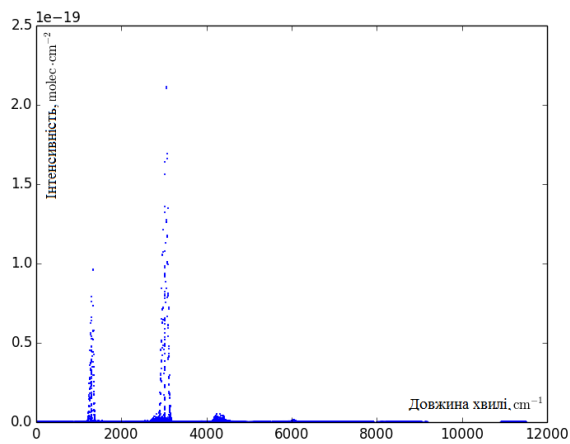


Рис. 2.5. Спектр поглинання CH<sub>4</sub> у діапазоні 0.74-15 мкм

З аналізу наведеного вище можна зробити висновок що робоча область знаходиться в межах  $2200\text{-}2500\text{ cm}^{-1}$ . На рис. 2.6 представлено поглинання газів які є основними у повітрі міського середовища у діапазоні  $4 - 4.5\text{ мкм}$  ( $2200 - 2500\text{ cm}^{-1}$ ).

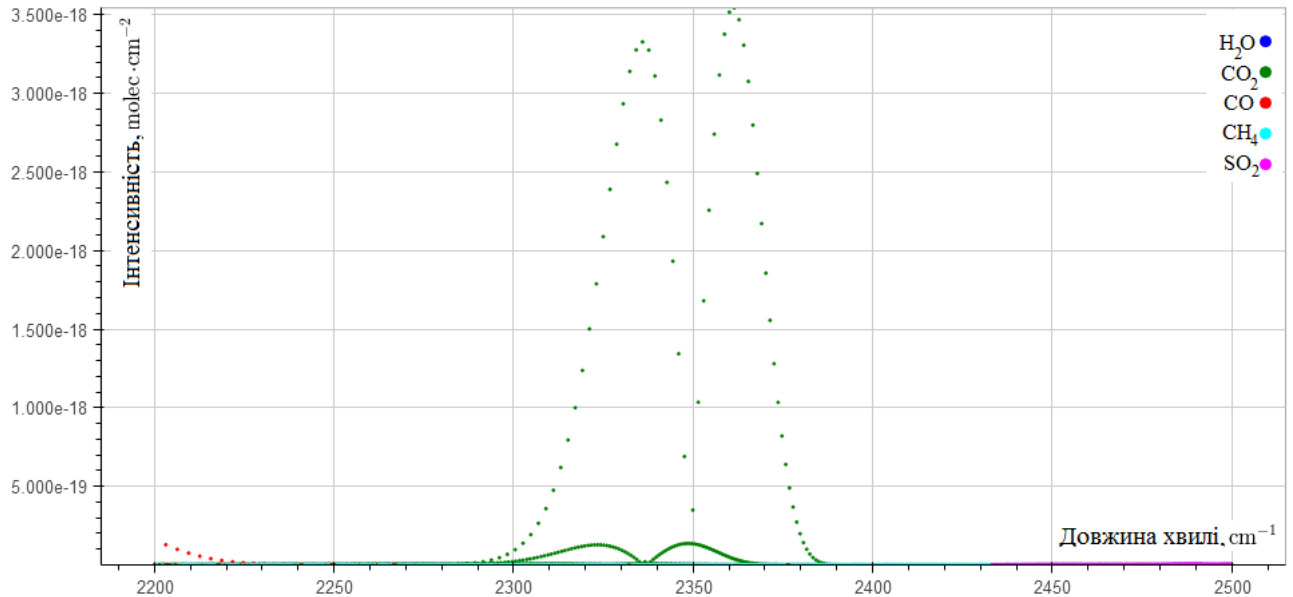


Рис. 2.6. Спектр поглинання компонентів газів у атмосфері міського середовища у діапазоні  $4 - 4.5\text{ мкм}$

## 2.2 Математична модель перенесення випромінювання у умовне середовище атмосферних газів

Запишемо відомий закон Бугура-Ламберта-Бера який зв'язує інтенсивність що пройшла через повітря, з концентрацією газу, концентрацію якого необхідно визначити у суміші та довжиною тракту поглинання та коефіцієнтом поглинання (табличне значення)

$$I_l = I_0 \cdot e^{-\varepsilon Cl}, \quad (2.1)$$



де  $C$  – концентрацією газу що досліджується,  $l$  – довжиною тракту,  $\varepsilon$  – коефіцієнт послаблення.

Коефіцієнт послаблення представляє суму двох складових і записується

$$\varepsilon = k_n + k_p, \quad (2.2)$$

де  $k_n$  та  $k_p$  – коефіцієнт поглинання, коефіцієнт розсіювання.

Завдяки конденсорній лінзі, яка використовується у засобі, коефіцієнт розсіювання у формулі (2.2) зникає. Тоді, (2.2) представимо як

$$I_l = I_0 \cdot e^{-k_n C l}. \quad (2.3)$$

Якщо концентрація записується у моль/л, то коефіцієнт поглинання  $k_n$  замінюється на молярний питомий коефіцієнт поглинання  $\chi$  (представляється у [л/(моль·см)])

$$I_l = I_0 \cdot e^{-\chi C l}. \quad (2.4)$$

Так як (2.4) концентрація газу  $C$  представлена у моль/л, а одиницею вимірювання концентрації у магістерській роботі є % об., тому у дану залежність введемо корегуючий коефіцієнт. По перше запишемо концентрацію у  $мг/м^3$ .

$$C_{\text{мг/м}^3} = C \cdot M \cdot 10^6, \quad (2.5)$$

де  $C_{\text{мг/м}^3}$  – концентрація газу ( $мг/м^3$ ),  $M$  – молярна маса газу який досліджується ( $г/моль$ ).

Концентрація газу у  $мг/м^3$  має пряму залежність з об'ємною концентрацією  $\%об.$  і записується наступним зв'язком (при умові  $1\%об. = 10000 ppm$ )

$$C_{\%об.} = \frac{C_{мг/м^3} \cdot \frac{R \cdot T}{P}}{M \cdot 10^4}. \quad (2.6)$$

Підставивши (2.5) у (2.6) отримаємо

$$C_{\%об.} = C \cdot 10^2 \cdot \frac{R \cdot T}{P}. \quad (2.7)$$

Температура і тиск мають значний вплив на коефіцієнт поглинання  $\chi$  і, як наслідок, на коректність результатів вимірювання безпосередньо [64]. Аналітично запишемо залежність  $\chi$  від  $T$  та  $P$ . На першому етапі перейдемо від молярного до спектрального показника поглинання, на другому етапі представимо  $T$  та  $P$  через закон Клапейрона–Менделєєва.

Тоді, молярний і спектральний коефіцієнти поглинання пов'язанні співвідношенням:

$$\chi = k_n(\lambda) \cdot \frac{V}{\mu}, \quad (2.8)$$

де  $V$  – об'єм газу (л),  $\mu$  – моль.

Далі,  $\mu$  залежить від молярного об'єму за н.у.  $V_m$  (22,4 л/моль) та об'єму який займає газ що аналізується за н.у.  $V_0$  (л).

$$\mu = \frac{V_0}{V_m}. \quad (2.10)$$

Якщо прийняти що процес контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі є стандартним термодинамічним процесом, що протікають з незмінною масою і при значенні об'ємконстанта газу який аналізується. Тобто процес приймаємо як ізохорний [61] і

$$\frac{P}{T} = \text{const} \quad (2.11)$$

Представимо закон Клапейрона–Менделєєва [62] у вигляді простої системи

$$\begin{cases} PV = \mu RT; \\ P_0 V_0 = \mu RT_0, \end{cases} \quad (2.12)$$

де  $R$  – універсальна газова стала.

Вивевши параметр  $\mu R$  та розв'язавши систему відносно  $V_0$

$$V_0 = \frac{PVT_0}{TP_0} . \quad (2.13)$$

Підставляючи (2.13) у (2.10) отримаємо

$$\mu = \frac{PVT_0}{TP_0 V_m} \quad (2.14)$$

Оптимізуємо вираз (2.14). Для цього запишемо значення  $P_0$  та  $T_0$  за стандартних нормальних умов визначених згідно ІУРАС

$$\mu = 1,2 \cdot 10^{-4} \frac{PV}{T} . \quad (2.15)$$

Вираз підставляємо у (2.9):

$$\chi = k_n(\lambda) \cdot \frac{8333, (3) \cdot T}{P}. \quad (2.16)$$

Як відомо, значення абсолютного тиску дорівнює сумі атмосферного тиску та тиску розрідження. Тоді

$$P_{аб.} = P_{атм.} - P_{розр.} \quad (2.23)$$

Важливе зауваження. Відповідно до вимог міжнародного коду FM 12 SYNOP тиск приведений до рівня моря. Для розрахунку тиску на висоті  $h$  (висота на якій працює засіб контролю концентрації атмосферних газів) по тиску на рівні моря  $P_0$  (саме цей тиск використовується у 2.23) та температури навколишнього середовища (повітря яке досліджується)  $T$  запишемо формулу

$$P_{атм.} = P_0 \cdot e^{-\frac{M_m \cdot g \cdot h}{R \cdot T}}, \quad (2.24)$$

де  $M$  – молярна маса сухого повітря ( $0.029 \frac{кг}{моль}$ ),  $g$  – прискорення вільного падіння,  $h$  – висота поверхні над рівнем моря (наприклад, ЖК Premier Tower знаходиться на висоті 294 метри над рівнем моря з висотою верхніх поверхів 60 метрів).

Тоді абсолютний тиск на об'єкті контролю виражається

$$P_{аб.} = P_0 \cdot e^{-\frac{M_m \cdot g \cdot h}{R \cdot T}} - P_{розр.} \quad (2.25)$$

### 2.3 Коефіцієнт поглинання CO<sub>2</sub> у повітрі

Контур виділеної смуги можна описати функцією Лоренца [58] (запишемо через довжину  $\lambda$ )

$$k_i(\lambda) = \frac{S(\lambda_i)}{\pi} \cdot \frac{\sigma}{\sigma^2 + \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_i}\right)^2}, \quad (2.26)$$

де  $S$  – інтенсивність смуги поглинання,  $\lambda$  та  $\lambda_0$  – довжина та відповідно її центр,  $\sigma$  – ширина смуги поглинання.

Тоді

$$S(\lambda_s) = \int_0^{\infty} k_s(\lambda) d\lambda. \quad (2.27)$$

Необхідну інформацію про газ (інтенсивність і спектральна напівширина ліній) можна отримати з HITRAN [55-59]. Дані про газ зберігаються в таблиці, де є інформація про назву газу, хвильове число, інтенсивність окремої лінії газу, спектральну напівширину ліній.

Таблиця 2.1 – Фізичні властивості смуг поглинання газів

Порядковий номер газової суміші	Хвильове число ( $\nu$ )	Інтенсивність лінії газу (S)	Спектральна напівширина ліній ( $\sigma$ )
23	2373.455087	2.058E-30	.06800
3	2373.470292	1.330E-28	.06440
23	2373.473365	1.213E-25	.06010
21	2373.477165	7.860E-28	.07730
21	2373.484763	5.652E-27	.05860
24	2373.507231	2.038E-30	.05680

21	2373.524463	2.052E-29	.05610
23	2373.529430	1.972E-29	.07280
24	2373.556092	1.370E-30	.05660
11	2373.572984	9.372E-28	.01980
21	2373.576440	5.582E-28	.07940
61	2373.587840	1.521E-29	.04700
24	2373.629919	1.621E-23	.06580
61	2373.630875	6.218E-29	.04500
24	2373.636738	1.411E-30	.05660
21	2373.661105	3.602E-28	.08150
21	2373.665624	1.034E-18	.06810
61	2373.671538	3.617E-29	.04500
63	2373.681517	2.192E-28	.02240

Графічне представлення газу з бази даних HITRAN наведено на рис. 2.9

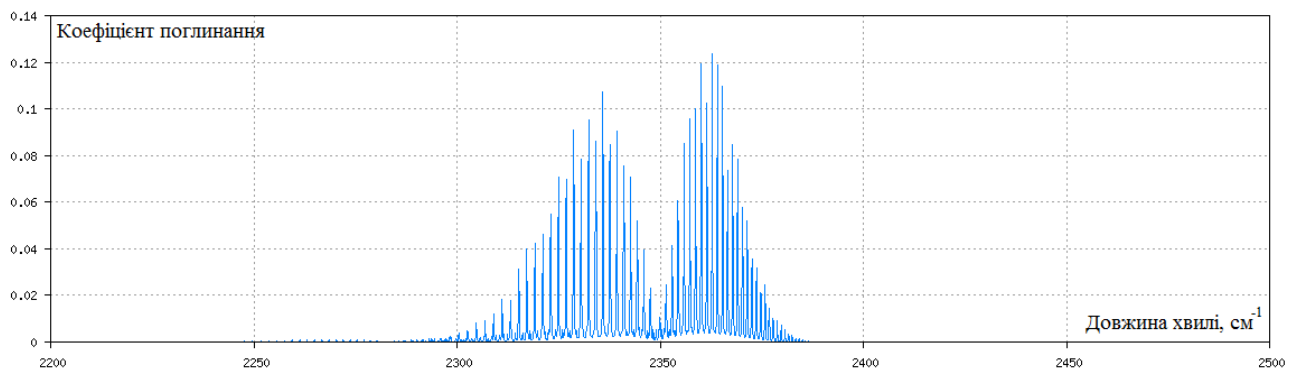


Рис. 2.9. Графічне моделювання фрагменту бази даних HITRAN

З рис. 2.8-2.9 можна зробити висновок, що спектр поглинання газів повітря в заданому діапазоні має складну структуру. Це відбувається через те що спектри газів накладаються один на одній.

Коефіцієнт поглинання  $k(\lambda)$  смуги виразимо сумою коефіцієнтів ліній, що входять до цієї смуги:

$$k(\lambda) = \sum_i \frac{S(\lambda_i)}{\pi} \cdot \frac{\sigma}{\sigma^2 + \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_i}\right)^2} \quad (2.28)$$

Тоді, підставивши формули 2.7 у 2.4, 2.25 у 2.15, 2.28 у 2.16, отримаємо загальний вигляд математичної моделі яка пов'язана з науковою новизною магістерської роботи:

$$I_l = I_0 \cdot e^{\int_0^{\infty} k_s(\lambda) d\lambda} \cdot \frac{\sigma}{\sigma^2 + \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_i}\right)^2} \cdot P_0 \cdot e^{\frac{-0,0083T}{P_0} \cdot \frac{C}{M}} \cdot \frac{C}{M} \cdot l \quad (2.29)$$

Результати моделювання наведено на рис. 2.10-2.11.

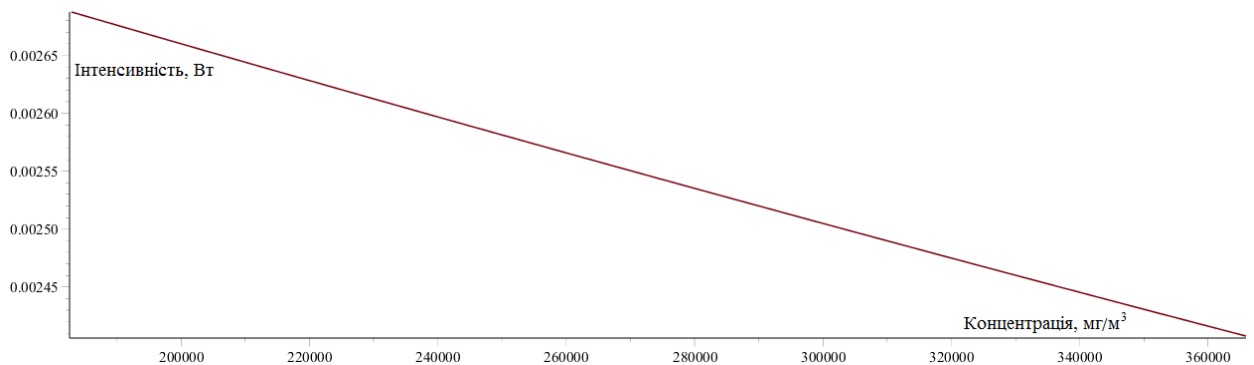


Рис. 2.10. Моделювання залежності концентрації CO2 від інтенсивності (в робочому діапазоні)

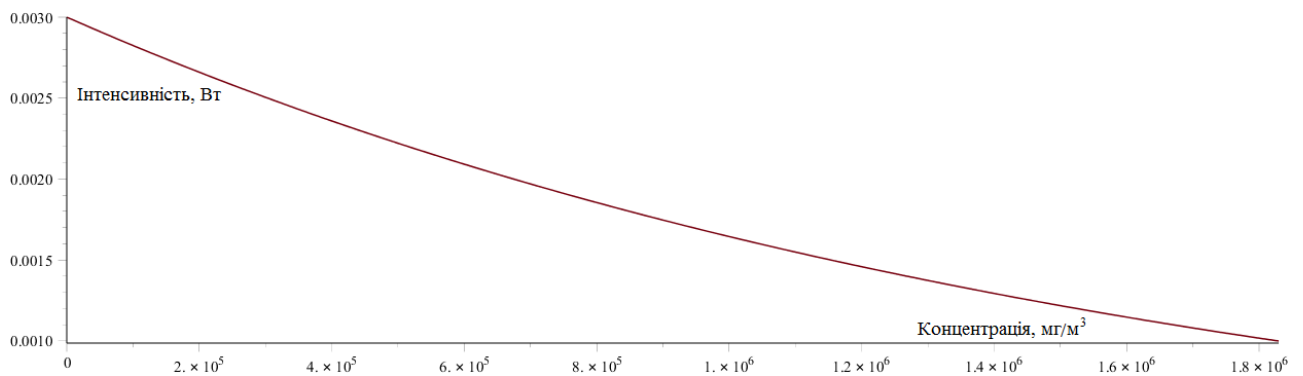


Рис. 2.11. Моделювання залежності концентрації CO2 від інтенсивності (в повному діапазоні)

Таким чином, математична модель (2.29) та її представлення рис. 2.10-2.11 описує процес проходження оптичного випромінювання у вимірювальному перетворювачі. Модель враховує специфічні фактори, які пов'язані з особливостями об'єкту контролю, а саме повітрям у межах міста, що забезпечує покращені метрологічні характеристики засобу контролю у якому дана модель буде використовуватись.

Моделювання залежності концентрації  $\text{CO}_2$  від напруги у робочому та повному діапазоні представлено на рис. 2.13-2.14.

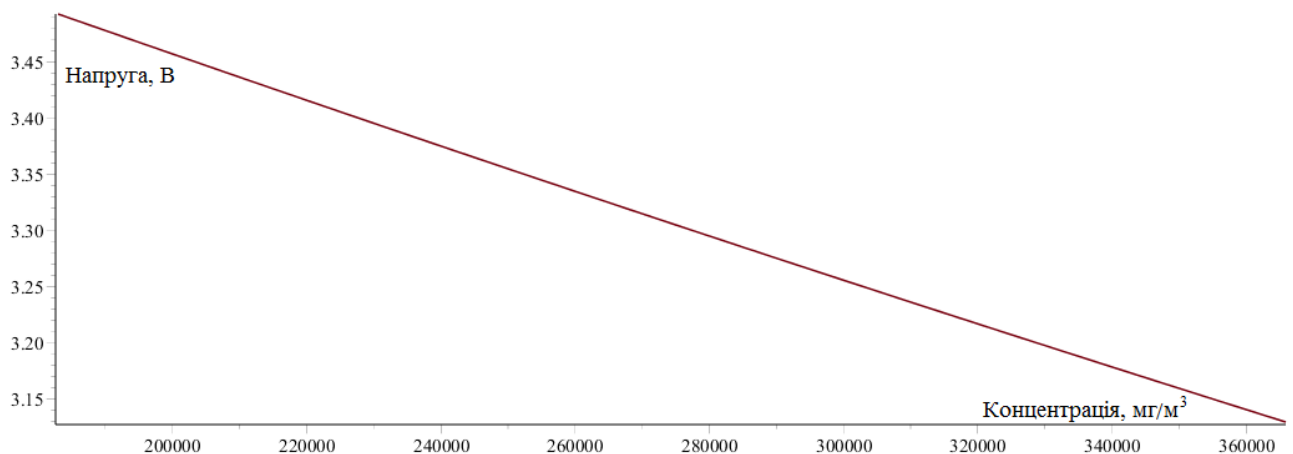


Рис. 2.13. Залежність напруга-концентрація (робочий діапазон)

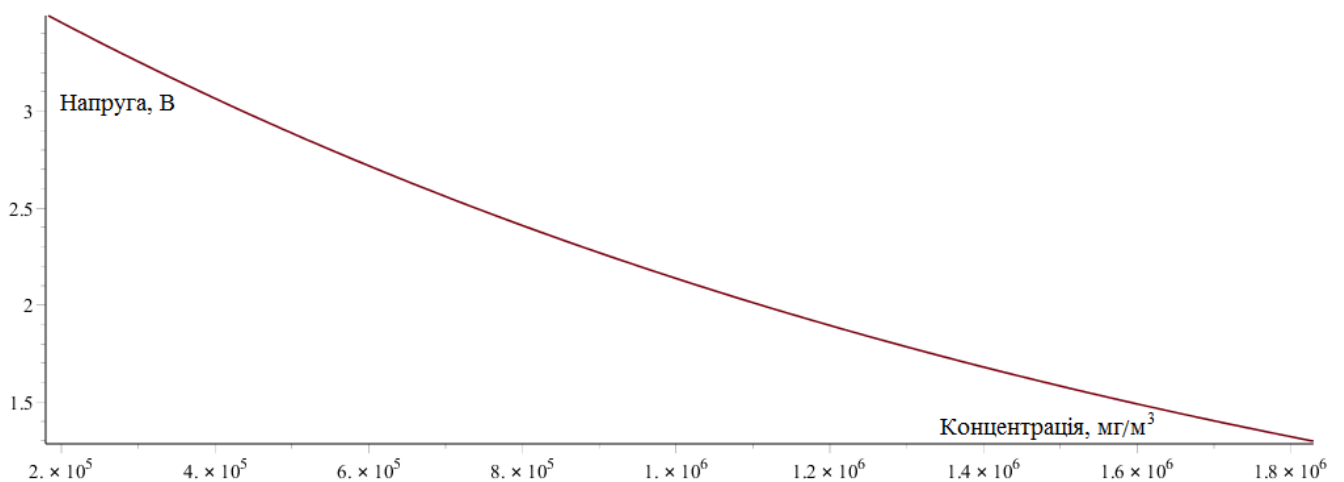


Рис. 2.14. Залежність напруга-концентрація (повний діапазон)



Моделювання проводилось при вхідній інтенсивності 3мВт, опорі з.з. 9.88МОм (ряд E192), інтегральній струмовій чутливості фотодіоду  $5.06 \frac{A}{M^2}$ , S фоточутливого шару фотоприймача 26 мм<sup>2</sup>.

## 2.4 Висновки до розділу 2

У даному розділі проведено аналіз фізико-математичних властивостей поглинання газів інфрачервоною радіацією.

Вдосконалена математична модель перенесення випромінювання в середовище міського повітря, яка, на відміну від існуючих враховує особливості об'єкта контролю, причому у атмосферному тиску враховується висота засобу контролю над рівнем моря, що дозволило підвищити достовірність контролю.

Проведено аналіз коефіцієнту передачі оптичного вимірювального перетворювача, коефіцієнт поглинання CO<sub>2</sub> у повітрі досліджено вплив ширини спектру приймача ІЧ випромінювання на чутливість оптичного каналу газового сенсора.

### 3 РОЗРОБКА ЗАСОБУ КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ДВООКИСУ ВУГЛЕЦЮ У ПОВІТРІ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЙОГО МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

#### 3.1 Вибір бази для засобу контролю якості повітря

Базою (пристроєм перенесення у просторі) обрано квадрокоптер. Квадрокоптер як об'єкт управління є динамічною нелінійною замкнутою системою і має шість ступенів свободи. Апарат рухається щодо нерухомої інерційної системи відліку, пов'язаної із Землею і заданої перпендикулярними один одному координатними осями  $Ox$ ,  $Oy$  та  $Oz$ , причому вісь  $Oz$  спрямована протилежно до вектора сили тяжіння. Тривимірна схема квадрокоптера, а також сили та моменти, що діють на апарат, представлені на рис 3.1.

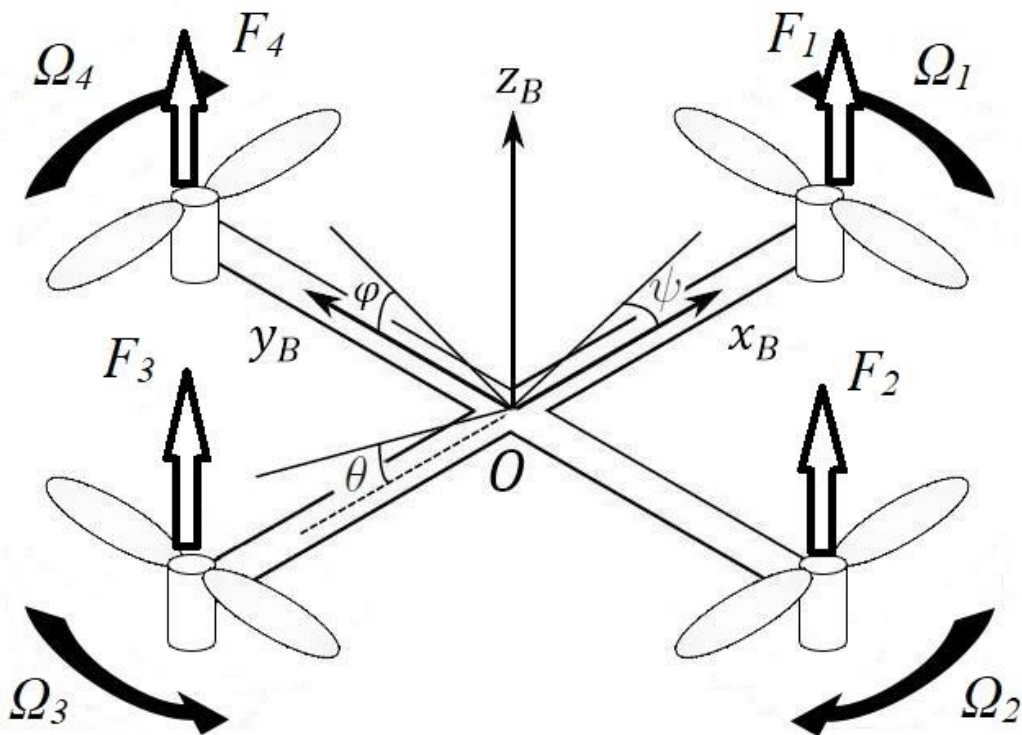


Рисунок 3.1 – Тривимірна схема квадрокоптера.

На рис. 1.1: компонент вектора підйомної сили і ротора; компонент вектора кутової швидкості обертання і-го ротора;  $\theta$ ,  $\varphi$ ,  $\psi$  – кути тангажу, крену та нишпорення відповідно;  $x_b$ ,  $y_b$ ,  $z_b$  - пов'язана система координат квадрокоптера.

Тривимірна схема квадрокоптера представлена на рис. 3.2.

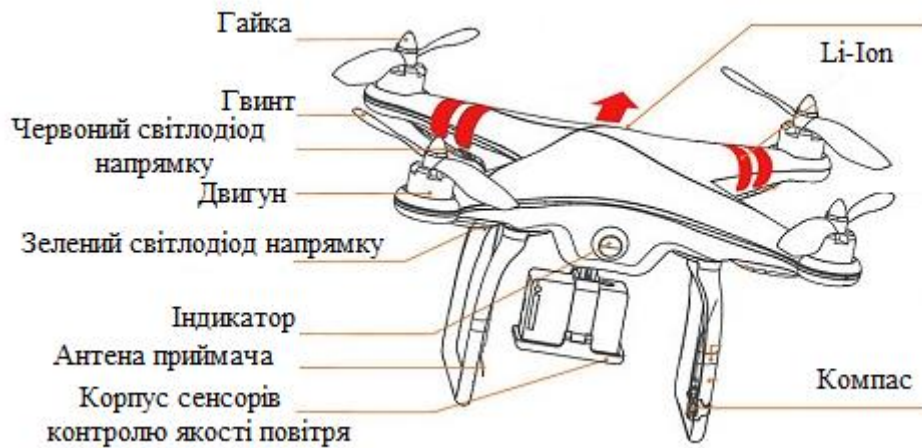


Рисунок 3.2 – Тривимірна схема квадрокоптера

Як видно з рис. 3.2. корпус сенсорів контролю якості повітря з'єднується безпосередньо з корпусом квадрокоптера.

### 3.2 Розробка структурної схеми засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі

До складу розробленого засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі входять такі основні структурні вузли (рис. 3.3):

- джерело випромінювання;
- оптичний вимірювальний перетворювач;
- приймач випромінювання;
- контролер
- АЦП ;
- МХ;

- персональний комп'ютер;
- сенсор тиску;
- сенсор температури.

За допомогою програмованого логічного контролера (інтегрованими вузлами якого є АЦП та МХ) здійснюється багатоканальне аналогово-цифрове перетворення вимірювальних сигналів. Вимірювальні сигнали уніфіковані та надходять від промислових сенсорів температури і тиску та оптичного вимірювального перетворювача. За допомогою інтерфейсу RS-232 забезпечується обмін даними між ПЛК та персональним комп'ютером з необхідним програмним забезпеченням.

На рис. 3.3 представлено узагальнену структурну схему засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі.

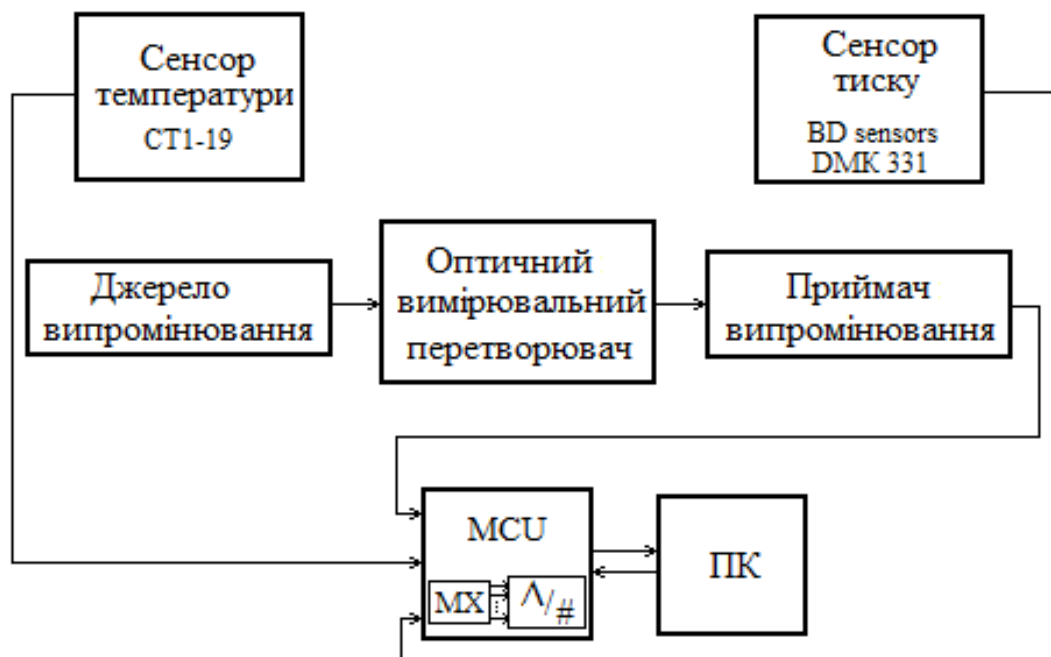


Рис. 3.3. Структурна схема засобу контролю концентрації двоокису вуглецю повітрі

Слід зазначити що MCU дані про концентрацію газів у повітрі в реальному часі передає на персональний комп'ютер.

### 3.3 Розробка функціональної схеми засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі

До функціональних вузлів розробленого засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі відносять (рис. 3.2):

- 1 – корпус засобу контролю складу концентрації двоокису вуглецю у повітрі;
- 2 – корпус оптичного сенсору;
- 3 – газозабірний зонд шланг для закачування/відкачування пробу у/з засобу контролю;
- 4 – фільтр (від механічних домішок) ;
- 5 – вентилятори;
- 6 – сенсор тиску;
- 7 – сенсор температури;
- 8 – СВД робочого каналу;
- 9 – ФД робочого каналу;
- 10 – ФД опорного каналу;
- 11 – СВД опорного каналу;
- 12 – плата;
- 13 – гніздо для роз'ємів;
- 14 – MCU з вбудованим АЦП;
- 15 – ПК;
- 16 – газова суміш;
- 17 – нагрівач;
- 18 – охолоджувач;
- 19 – сигналізація.

На рис. 3.4 представлено функціональну схему засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі.

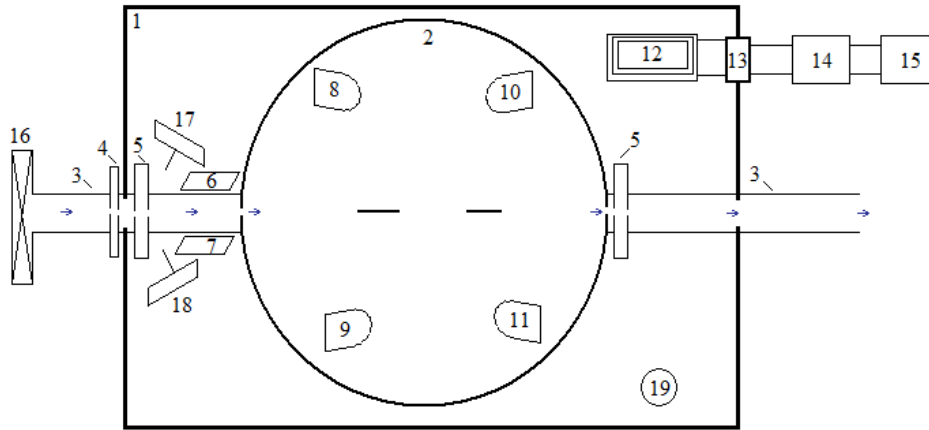


Рис. 3.4. Функціональна схема засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі

Нагрівач та охолоджувач у схемі використовуються як додаткові елементи для нормалізації температури газової проби до нормальних умов.

### 3.4 Висновки до розділу 3

У третьому розділі розроблена структурна та функціональна схеми засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі та оптичного сенсора зокрема. Представлені рекомендації для проектування засобу вимірального контролю двоокису вуглецю у повітрі.

## **4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АСОБУ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ**

4.1 Реалізація моделі системи управління квадрокоптером з сенсором контролю якості повітря

З вивченого теоретичного матеріалу у 3 розділі роботи, необхідно перейти до практичної реалізації. А саме до побудови моделі квадрокоптера у математичному пакеті MatLab Simulink. MATLAB – це високорівнева мова та інтерактивне середовище для програмування, чисельних розрахунків та візуалізації результатів. За допомогою MATLAB можна аналізувати дані, розробляти алгоритми, створювати моделі та програми. Simulink – це графічне середовище імітаційного моделювання, що дозволяє за допомогою блок-діаграм у вигляді спрямованих графів, будувати динамічні моделі, включаючи дискретні, безперервні та гібридні, нелінійні та розривні системи [6].

У ході створення моделі системи управління квадрокоптером вона була розбита на окремі блоки, щоб спростити подальше її використання у дослідженнях:

- Блок завдання початкових умов;
- Блок контролера керування висотою;
- Блок управління рухом;
- Блок, що описує динаміку квадрокоптера.

Розроблена система управління представлена рис. 4.1.

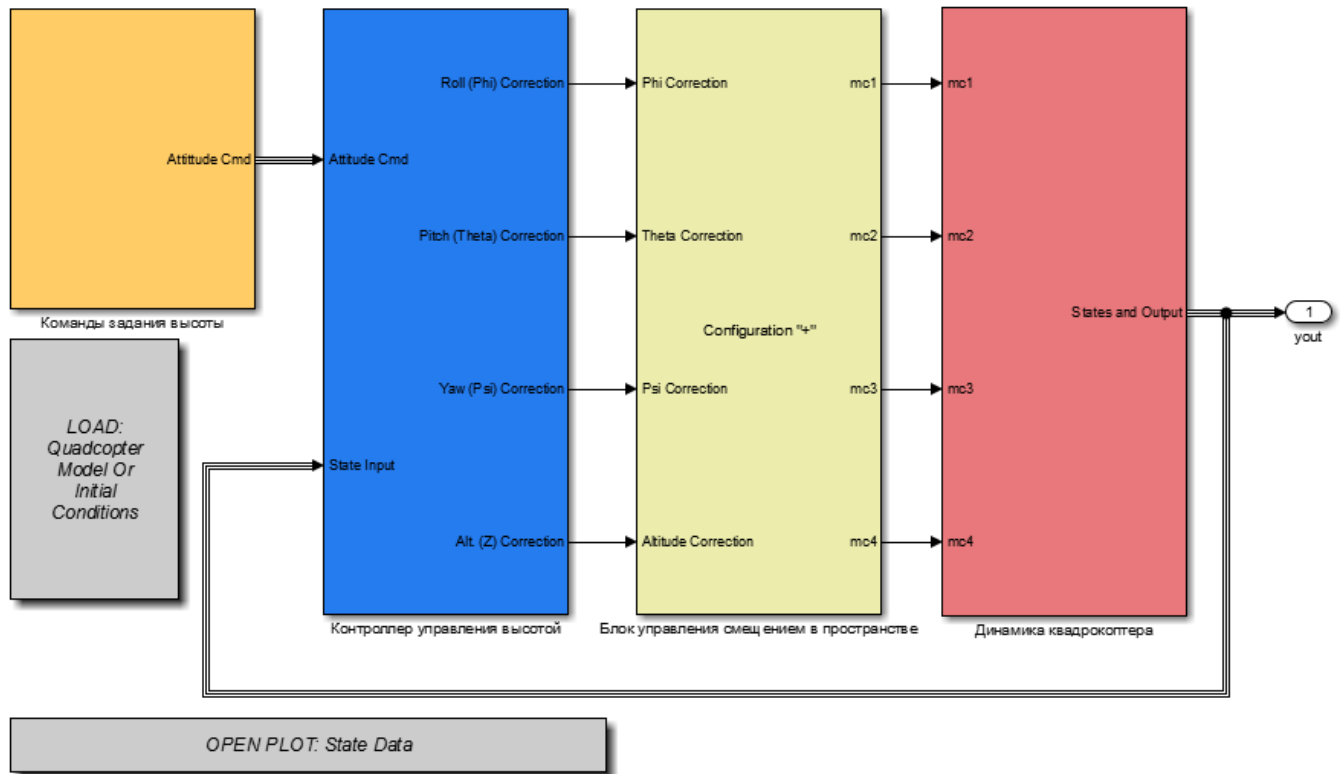


Рисунок 4.1 – Модель системи управління БПЛА

Представлена система складається із 4 модулів. Кожен модуль є частиною загальної системи управління. Дані модулі є активними елементами і при подвійному натисканні на нього відкривається структура цього блоку. Така методика створення системи управління дозволяє легко взаємодіяти з нею, шляхом швидкого доступу до певної частини системи і при необхідності, швидко змінити її. Також на схемі присутні дві активні запрограмовані кнопки. Система має принцип управління з відхилення, яка організована шляхом додавання негативного зворотнього зв'язку. Керуюча дія при використанні принципу управління з відхилення виробляється в результаті перетворення відхилення керованої величини від необхідного значення. Далі буде розібрано кожен блок окремо.



Блок встановлення початкових умов. У цьому блоці (рисунок 4.2) задається початкове положення літального апарату, а також задається висота, на якій літальному апарату необхідно зависнути.

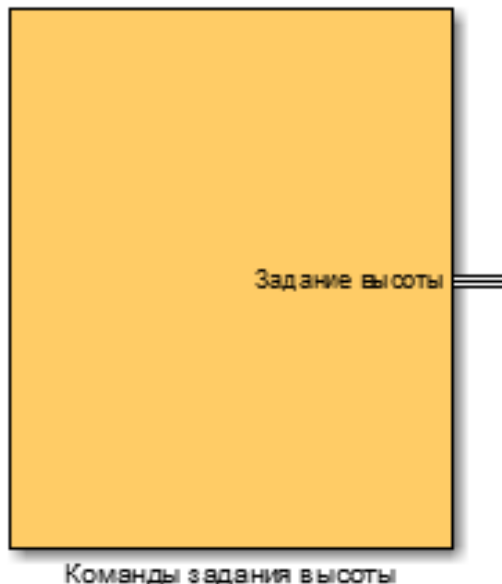


Рисунок 4.2 – Блок встановлення початкових умов

Після відкриття цього блоку можна переглянути його структурну схему (рисунок 4.3), тут використані стандартні блоки Step. Оператор може встановити початкове положення квадрокоптера в просторі, і вказати так само початкову висоту і висоту стабілізації.

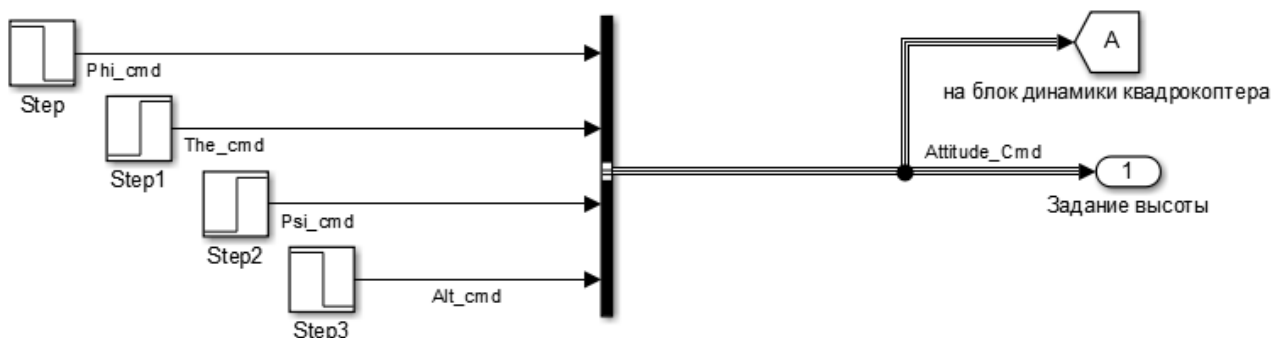


Рисунок 4.3 – Структурна схема блоку завдання початкових умов

Задані сигнали надходять на блок контролера керування висотою та на блок динаміки квадрокоптера. Розглянемо вікно встановлення початкової висоти та необхідної для стабілізації (рисунок 4.4).

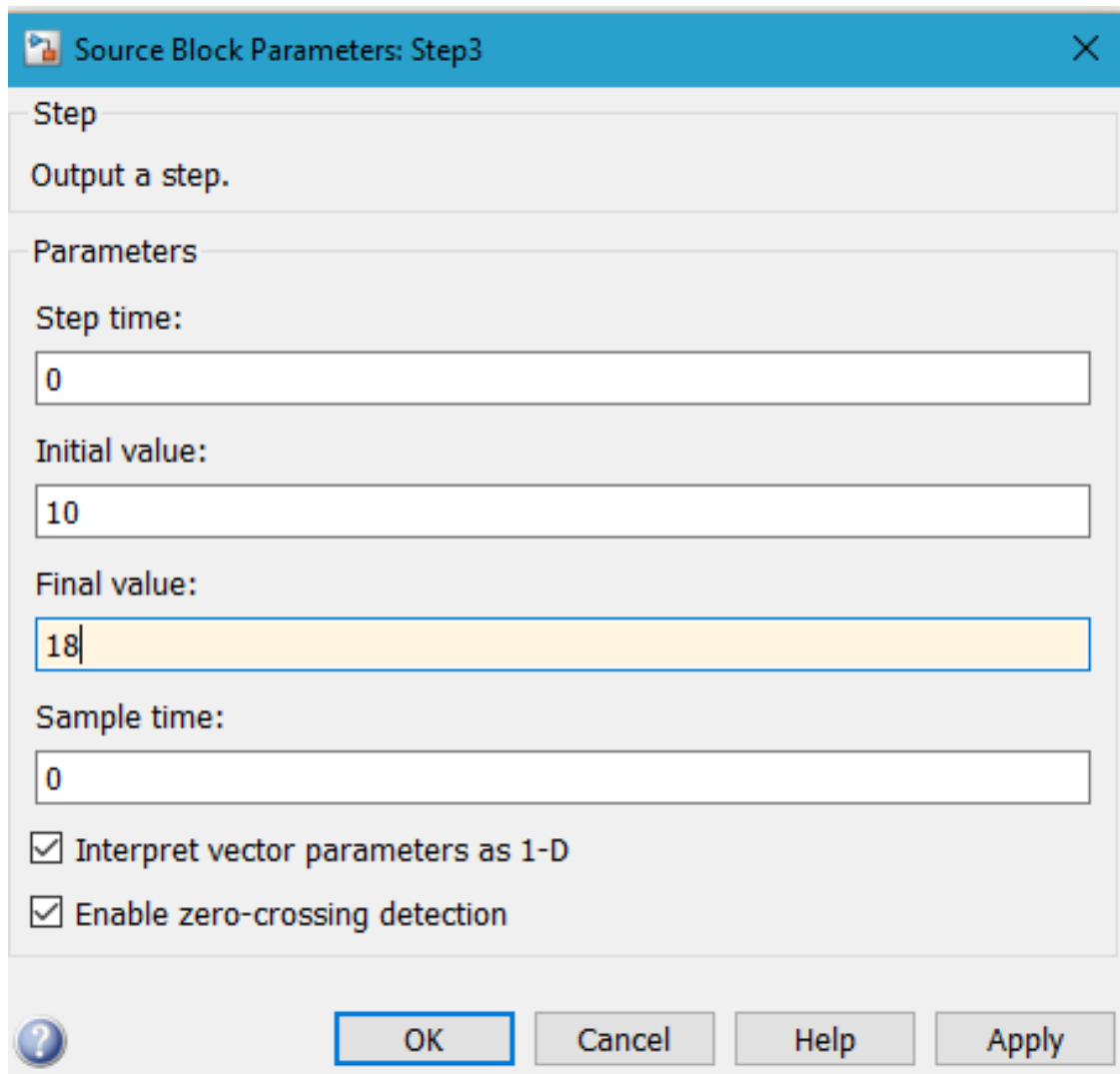


Рисунок 4.4 – Вікно встановлення параметрів висоти

Таким чином ми задаємо початкові умови для інших параметрів що визначають літальний апарат у просторі.

Коригування руху квадрокоптера відбувається шляхом використання ПД-регуляторів. Тому що під час польоту нам необхідно забезпечувати стабілізацію по всіх осях руху літального апарату. Таким чином отримуємо, що нам необхідно реалізувати чотири ПД-регулятори. Перший стабілізуватиме

крен, другий стабілізуватиме тангаж, третій стабілізуватиме нишпорення, а четвертий відповідає за стабілізацію квадрокоптера по висоті. У цьому дослідженні основним завданням було розгляд стабілізації мультироторного безпілотного літального апарату на заданій висоті, тому при налаштуванні ПІД регуляторів, основне завдання було налаштування регулятора, що відповідає за утримання висоти. Структурна схема блоку контролера управління висотою представлена рис. 4.5.

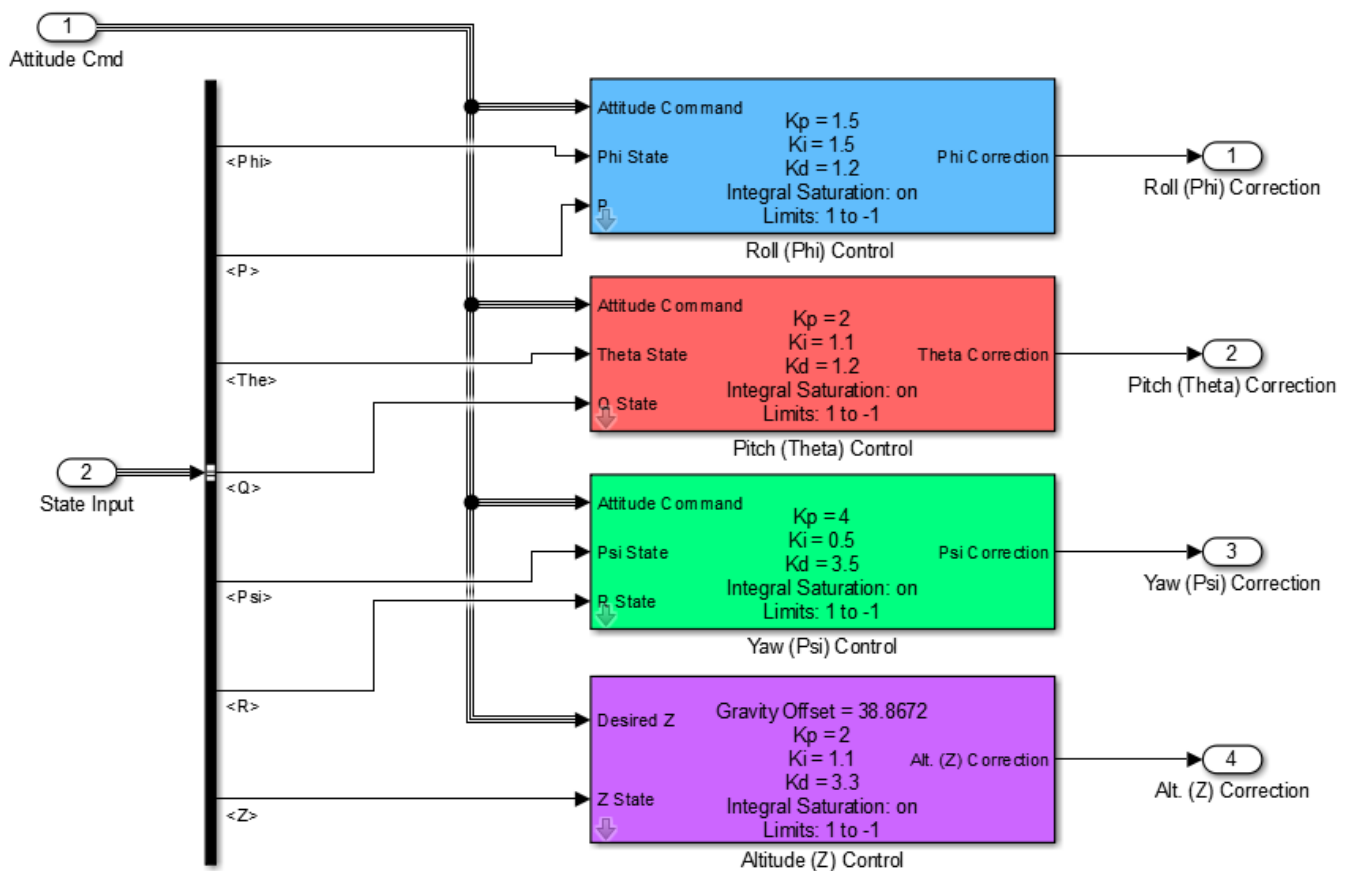


Рисунок 4.5. - Структурна схема блоку контролера управління висотою

Графік перехідного процесу представлений рис. 4.6, з графіка видно, що перехідний процес є усталеним, усталене значення входить у коридор допустимих значень 5%. І можна сказати, що такий перехідний процес повністю задовольняє вихідне завдання.

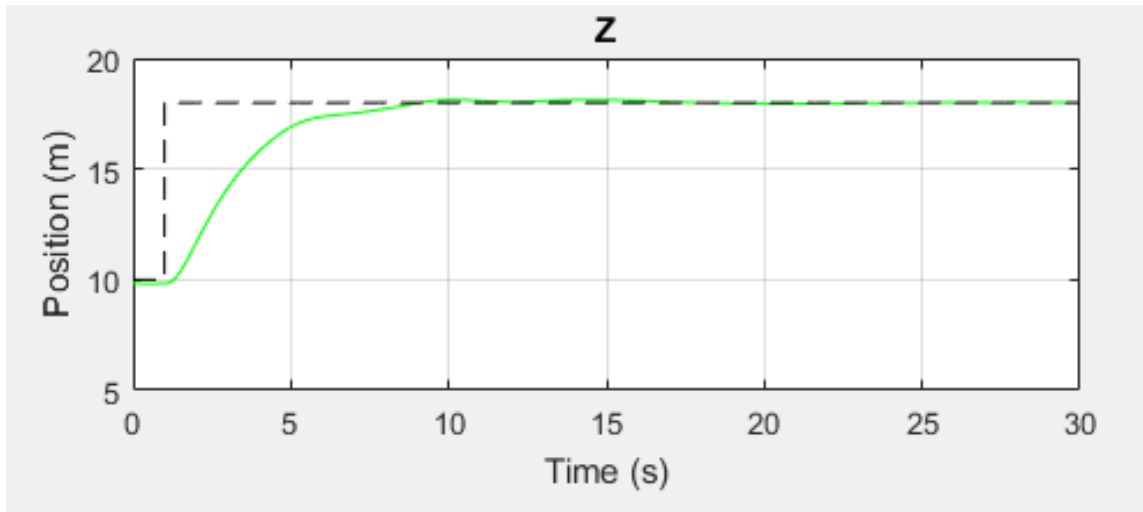


Рисунок 4.6 – Перехідний процес регулювання висоти

На структурній схемі, наведеній на рис. 4.7 видно чотири ПД регулятора, можна детальніше розглянути будь-який ПД регулятор шляхом натискання на стрілку в нижньому лівому куті блоку. Таким чином, відкриється структурна схема ПД регулятора (рисунок 4.7).

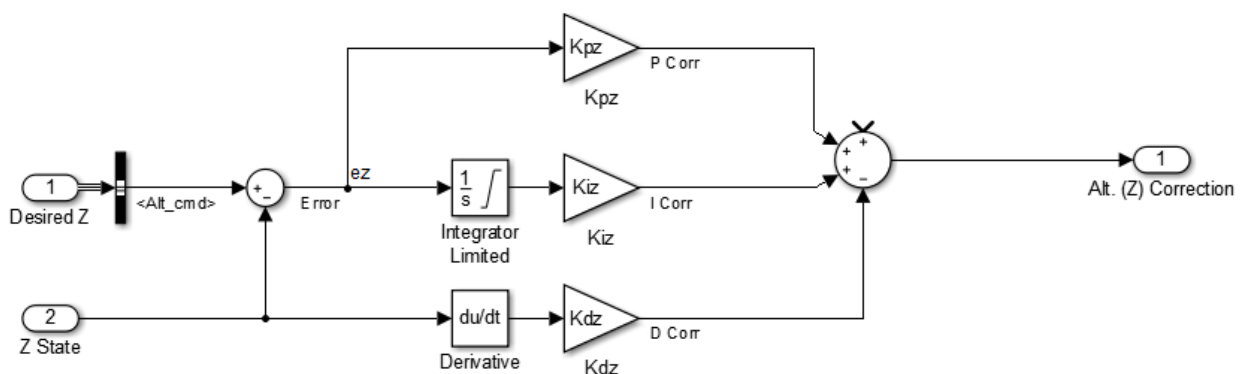


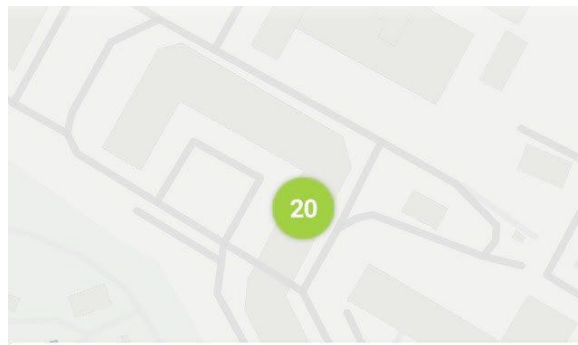
Рисунок 4.7 – Структурна схема ПД-регулятора висоти

Після налаштування параметрів регулювання блок контролера управління висотою передає отримані результати блок управління зміщенням у просторі.

## 4.2 Експериментальні дослідження

Як зазначалося вище AQI обчислюється на основі концентрацій наступних забруднюючих речовин: приземного озону (O<sub>3</sub>), оксиду вуглецю (CO), діоксиду сірки (SO<sub>2</sub>), діоксиду азоту (NO<sub>2</sub>) та завислих частинок (PM). Останній тип забруднювача можна розділити на два види: зважені частки розміром до 2,5 мкм та розміром від 2,5 до 10 мкм.

AQI може приймати значення від 0 до 500. Чим вище значення AQI, тим вище рівень забруднення повітря і тим більшу небезпеку для здоров'я повітря становить. Наприклад, значення AQI 20 (перехрестя просп. Космонавтів та вул. Келецька, 6.00 ранку, рисунок 4.9) говорить про те, що якість повітря є гарною і ваш організм навряд чи зазнає негативного впливу (рисунок 4.8).



Медіана AQI

20



Рисунок 4.8 – Значення AQI на карті міста

Об'єкт дослідження в представлено на фото (рис. 4.9).



Рисунок 4.9 – Експериментальне перехрестя, м. Вінниця

З експериментальної статистики зроблено висновок, що значення AQI залежить від поверху. Наприклад найбільше значення AQI на рівні 10-26 (рисунок 4.10) поверху і повітря стає чистим і безпечним вже після 40 поверху (від 140 м).

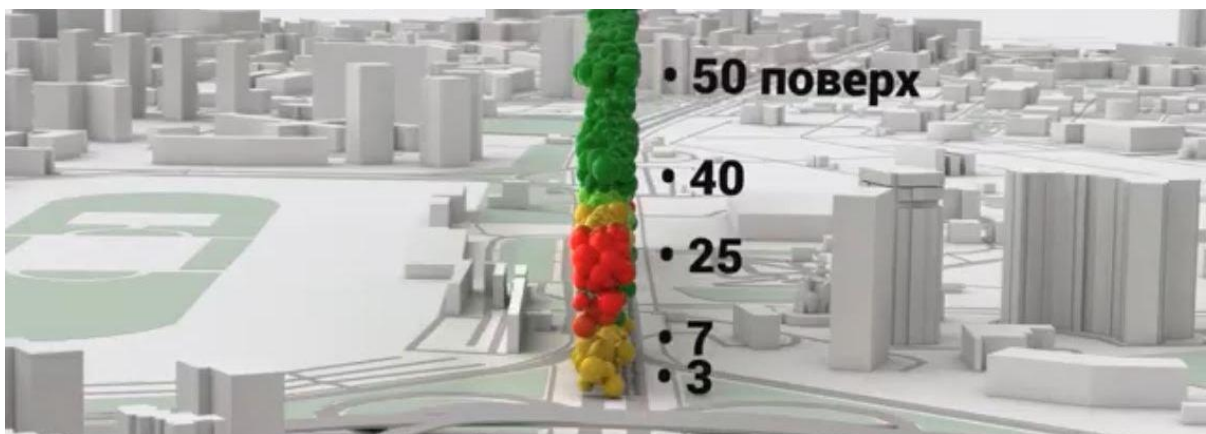


Рисунок 4.10 – Залежність AQI від поверху

Також встановлено що AQI більший біля перехресть безпосередньо. Це відбувається за рахунок того що на перехрестях стоять світлофори і при старті

авто активно натискають педаль газу, що призводить до різкого викиду шкідливих речовин, і, як наслідок, збільшення параметра AQI (рис. 4.11).

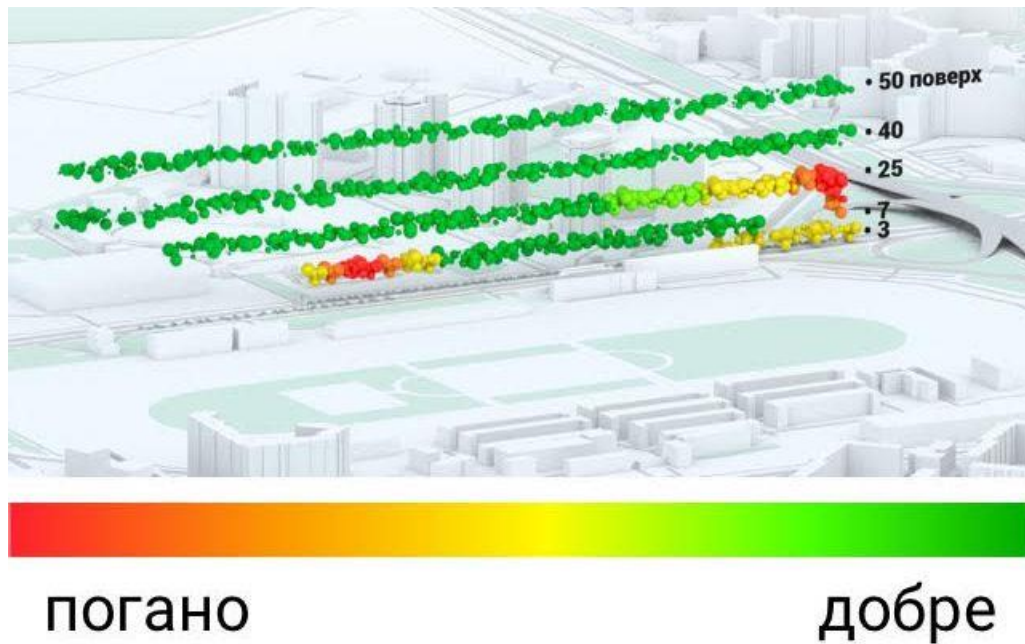


Рисунок 4.11 – Залежність AQI від віддаленості контрольної точки від перехрестя

Отже, за 100-150 метрів від перехрестя повітря набагато чистіше ніж на самому перехресті.

#### 4.3 Висновки до розділу 4

У четвертому розділі роботи реалізовано та представлено реальні моделі системи управління квадрокоптером з сенсором контролю якості повітря. Також наведено результати експериментальних досліджень, а саме визначено абсолютний показник AQI для реальних міських умов (міського середовища).

## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 5.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Метою проведення комерційного та технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу впровадження засобу контролю якості повітря у міському середовищі (на прикладі м. Вінниця).

Для проведення технологічного аудиту було залучено 3-х незалежних експертів Вінницького національного технічного університету кафедри метрології та промислової автоматики: д.т.н проф. Кучерук В.Ю., д.т.н проф. Кулаков П. І. та з кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних систем к.т.н., доцент Овчинников К.В. Для проведення технологічного аудиту було використано таблицю 4.1 [1] в якій за п'ятибальною шкалою використовуючи 12 критеріїв здійснено оцінку комерційного потенціалу.

Таблиця 4.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено робоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів



Продовження табл. 4.1

5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Таблиця 4.2 – Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів СБ, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0-10	Низький
11-20	Нижче середнього
21-30	Середній
31-40	Вище середнього
41-48	Високий

В таблиці 4.3 наведено результати оцінювання експертами комерційного потенціалу розробки.

Таблиця 4.3 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Прізвище, ініціали, посада експерта		
	Кучерук В. Ю.	Кулаков П. І.	Овчинников К.В.
	Бали, виставлені експертами:		
1	2	2	2
2	3	1	3
3	2	2	3
4	3	1	2
5	3	2	3
6	2	2	2
7	3	2	3
8	2	2	2
9	3	2	1
10	3	3	3
11	2	2	3
12	3	3	2
Сума балів	СБ <sub>1</sub> =31	СБ <sub>2</sub> =24	СБ <sub>3</sub> =29
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{31+24+29}{3} = 28$		

Середньоарифметична сума балів, розрахована на основі висновків експертів склала 28 балів, що згідно таблиці 4.2 вважається, що рівень комерційного потенціалу проведених досліджень є середнім.

Порвняємо нову розробку з аналогами, які існують на ринку. В якості для розробки було обрано незвичайні сенсори та давачі на метеостанціях України, які мають стаціонарне розміщення.

Основними недоліками аналога є відсутність контрольно вимірювальної апаратури в різних точках міст України, зокрема сенсорів кисню, озону, діоксиду вуглецю. Також до недоліків можна віднести відсутність давачів температури і вологості.

У розробці дана проблема вирішується синтезом вище згаданих сенсорів у систему. Також система випереджає аналог за такими параметрами як багатокomпонентність та точність вимірювання концентрації у повітрі

Проведемо оцінку якості і конкурентоспроможності нової розробки порівняно з аналогом. В таблиці 4.4 наведені основні техніко-економічні показники аналога і нової розробки.

Таблиця 4.4 – Основні параметри нової розробки та товару-конкурента

Показник	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий (товар-конкурент)	Новий (інноваційне рішення)		
1	2	3	4	5
Шум, Дб	20	20	1	10%
Діапазон, бар	10	30	3	40%
Похибка, %	10	1	10	30%
Напрацювання на відмову, год	3000	5000	1,7	10%
Масо-габарити, кг	3	3	1	10%

Проведемо оцінку якості продукції, яка є найефективнішим засобом забезпечення вимог споживачів та порівняємо її з аналогом.

Визначимо відносні одиничні показники якості по кожному параметру за формулами (4.1) та (4.2) і занесемо їх у відповідну колонку табл. 4.5.

$$q_i = \frac{P_{Hi}}{P_{Bi}} \quad (4.1)$$

Або

$$q_i = \frac{P_{Bi}}{P_{Hi}} \quad (4.2)$$

де  $P_{Hi}$ ,  $P_{Bi}$  – числові значення  $i$ -го параметру відповідно нового і базового виробів.

$$q_1 = \frac{20}{20} = 1;$$

$$q_2 = \frac{30}{10} = 3;$$

$$q_3 = \frac{10}{1} = 10;$$

$$q_4 = \frac{5000}{3000} = 1,7;$$

$$q_5 = \frac{3}{3} = 1.$$

Відносний рівень якості нової розробки визначаємо за формулою:

$$K_{я.в.} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i, \quad (4.3)$$

$$K_{я.в.} = 1 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,4 + 10 \cdot 0,3 + 1,7 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,1 = 4,57$$

Відносний коефіцієнт показника якості нової розробки більший одиниці, отже нова розробка якісніший базового товару-конкурента.

Наступним кроком є визначення конкурентоспроможності товару. Конкурентоспроможність товару є головною умовою конкурентоспроможності підприємства на ринку і важливою основою прибутковості його діяльності.

Однією із умов вибору товару споживачем є збіг основних ринкових характеристик виробу з умовними характеристиками конкретної потреби покупця. Такими характеристиками найчастіше вважають нормативні та технічні параметри, а також ціну придбання та вартість споживання товару.

В табл. 4.5 наведено технічні та економічні показники для розрахунку конкурентоспроможності нової розробки відносно товару-аналога, технічні дані взяті з попередніх розрахунків.

Таблиця 4.5 – Нормативні, технічні та економічні параметри нової розробки і товару-виробника

Показники	Варіанти	
	Базовий (товар-конкурент)	Новий (інноваційне рішення)
1	2	3
1. Нормативно-технічні показники		
Шум, Дб	20	20
Діапазон, бар	10	30
Похибка, %	10	1
Напрацювання на відмову, год	3000	5000
Масо-габарити, кг	3	3
2. Економічні показники		
Ціна придбання, грн	4000	3900

Загальний показник конкурентоспроможності інноваційного рішення ( $K$ ) з урахуванням вищезазначених груп показників можна визначити за формулою:

$$K = \frac{I_{m.n.}}{I_{e.n.}}, \quad (4.4)$$

де  $I_{m.n.}$  – індекс технічних параметрів;  $I_{e.n.}$  – індекс економічних параметрів.

Індекс технічних параметрів є відносним рівнем якості інноваційного рішення. Індекс економічних параметрів визначається за формулою (4.5)

$$I_{e.n.} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{Hei}}{\sum_{i=1}^n P_{Bei}}, \quad (4.5)$$

де  $P_{Hei}$ ,  $P_{Bei}$  – економічні параметри (ціна придбання та споживання товару) відповідно нового та базового товарів.

$$I_{e.n.} = \frac{3900}{4000} = 0,98;$$

$$K = \frac{4,57}{0,98} = 4,66.$$

Зважаючи на розрахунки, можна зробити висновок, що нова розробка буде конкурентоспроможніше, ніж конкурентний товар.

## 5.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи групуються за такими статтями: витрати на оплату праці, витрати на соціальні заходи, матеріали, паливо та енергія для науково-виробничих цілей, витрати на службові відрядження, програмне забезпечення для наукових робіт, інші витрати, накладні витрати.

1. Основна заробітна плата кожного із дослідників  $Z_0$ , якщо вони працюють в наукових установах бюджетної сфери визначається за формулою:

$$Z_0 = \frac{M}{T_p} * t \text{ (грн)} \quad (4.6)$$

де  $M$  – місячний посадовий оклад конкретного розробника (інженера, дослідника, науковця тощо), грн.;

$T_p$  – число робочих днів в місяці; приблизно  $T_p \approx 21...23$  дні;

$t$  – число робочих днів роботи дослідника.

Для розробки засобу контролю якості повітря у міському середовищі необхідно залучити інженера з посадовим окладом 6500 грн. Кількість робочих днів у місяці складає 22, а кількість робочих днів інженера складає 21. Зведемо сумарні розрахунки до таблиця 4.6.

Таблиця 4.6 – Заробітна плата дослідника в науковій установі бюджетної сфери

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату грн.
Керівник	11000	500,0	5	2500
Інженер	6500	295,5	21	6205
Всього				8705

Основна заробітна плата робітників  $Z_p$  розраховується за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n t_i \cdot C_i, \quad (4.7)$$

де  $n$  – число робіт по видах та розрядах;

$t_i$  – норма часу на виконання конкретної операції, годин;

$C_i$  – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує певну роботу, грн./год.:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_i}{T_p \cdot T_{зм}}, \quad (4.8)$$

де  $M_m$  – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, грн.;

$K_i$  – тарифний коефіцієнт робітника даного розряду;

$T_p$  – число робочих днів в місяці ( $T_p=21\dots23$  дні);

$T_{зм}$  – тривалість зміни, годин ( $T_{зм} = 8$  годин).

Прожитковий мінімум працездатної особи на 01.12.2021 року складає 2481 грн.

$K_i$  – тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду. Величина чинних тарифних коефіцієнтів робітників відповідних розрядів для бюджетної сфери наведена в таблиці 4.7:

Таблиця 4.7 – Тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду

Розряд	$K_i$
1	1,00
2	1,1
3	1,35
4	1,5
5	1,7
6	2,0
7	2,2
8	2,4

Інформацію про основну заробітну плату заносимо до таблиці 4.8



Таблиця 4.8 – Основна заробітна плата робітників

Найменування робіт	Трудомісткість, нормо-годин	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
1	2	3	4	5
1.Підготовчі	2	4	21,1	42,3
2.Монтажні	7	4	21,1	148,0
3.Складальні	15	3	19,0	285,5
4.Налагоджувальні	9	2	15,5	139,6
5.Випробувальні	6	4	21,1	126,9
Всього				742,2

### 3. Розрахунок додаткової заробітної плати робітників

Додаткова заробітна плата  $Z_d$  всіх розробників та робітників, які приймали участь в розробці нового технічного рішення розраховується як 10 - 12 % від основної заробітної плати робітників.

На даному підприємстві додаткова заробітна плата начисляється в розмірі 10% від основної заробітної плати.

$$Z_d = (Z_o + Z_p) * \frac{N_{\text{дод}}}{100\%} \quad (4.9)$$

$$Z_d = 0,11 * (8705 + 742,2) = 1039,14 \text{ (грн)}$$

4. Нарахування на заробітну плату  $N_{зп}$  дослідників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховуються за формулою (4.10):

$$N_{зп} = (Z_o + Z_p + Z_d) * \frac{\beta}{100} \text{ (грн)} \quad (4.10)$$

де  $Z_o$  – основна заробітна плата розробників, грн.;

$Z_d$  – додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, грн.;

$\beta$  – ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування, % .

Дана діяльність відноситься до бюджетної сфери, тому ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування буде складати 22%, тоді:

$$H_{зп} = (8705 + 742,2 + 1039,14) \cdot \frac{22}{100} = 2306,89 \text{ (грн)}$$

5. Витрати на матеріали  $M$ , що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i - \sum_1^n B_i \cdot C_b \text{ грн.,} \quad (4.11)$$

де  $H_i$  – витрати матеріалу  $i$ -го найменування, кг;

$C_i$  – вартість матеріалу  $i$ -го найменування, грн./кг.;

$K_i$  – коефіцієнт транспортних витрат,  $K_i = (1,1 \dots 1,15)$ ;

$B_i$  – маса відходів матеріалу  $i$ -го найменування, кг;

$C_b$  – ціна відходів матеріалу  $i$ -го найменування, грн/кг;

$n$  – кількість видів матеріалів.

Таблиця 4.9 – Матеріали, що використані на розробку

Найменування матеріалу	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість витраченого матеріалу, грн.
Флюс ФКСН	4	0,05	0,2
Каніфоль	11	0,3	3,3
Припій ПОС-61	500	0,1	50
Всього			53,5
З врахуванням коефіцієнта транспортування			58,85

6. Витрати на комплектуючі вироби, які використовують при виготовленні одиниці продукції, розраховуються, згідно їх номенклатури, за формулою:

$$K = \sum_{i=1}^n H_i \cdot C_i \cdot K_i, \quad (4.12)$$

де  $N_i$  – кількість комплектуючих  $i$ -го виду, шт.;

$C_i$  – покупна ціна комплектуючих  $i$ -го найменування, грн.;

$K_i$  – коефіцієнт транспортних витрат (1,1...1,15).

Таблиця 4.10 – Комплектуючі, що використані на розробку

Найменування комплектуючих	Кількість	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Пластикова пластина	5	30	150
Кабель міжвузловий	2	10	20
Кабель мережевий	1	20	20
Корпус	1	200	200
Тумблер	1	15	15
Діоди стану	2	2	4
Панель оператора	1	2000	2000
Операційний підсилювач	1	2	2
Інтерфейси	2	70	140
Всього (з врахуванням транспортних витрат)			2806,10

7. Амортизація обладнання, комп'ютерів та приміщень, які використовувались під час виконання даного етапу роботи

Дані відрахування розраховують по кожному виду обладнання, приміщенням тощо.

$$A = \frac{C \cdot T}{T_{\text{кор}} \cdot 12} \text{ [грн]}, \quad (4.13)$$

де  $C$  – балансова вартість даного виду обладнання (приміщень), грн.;

$T_{\text{кор}}$  – час користування;

$T$  – термін використання обладнання (приміщень), цілі місяці.

Згідно пункту 137.3.3 Податкового кодекса амортизація нараховується на основні засоби вартістю понад 2500 грн. В нашому випадку для написання

магістерської роботи використовувався персональний комп'ютер вартістю 12000 грн.

$$A = \frac{12000 \cdot 1}{2 \cdot 12} = 500$$

8. До статті «Паливо та енергія для науково-виробничих цілей» відносяться витрати на всі види палива й енергії, що безпосередньо використовуються з технологічною метою на проведення досліджень.

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yt} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{вмі}}{\eta_i} \quad (4.14)$$

де  $W_{yt}$  – встановлена потужність обладнання на певному етапі розробки, кВт;

$t_i$  – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

$C_e$  – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн;

$K_{вмі}$  – коефіцієнт, що враховує використання потужності,  $K_{вмі} < 1$ ;

$\eta_i$  – коефіцієнт корисної дії обладнання,  $\eta_i < 1$ .

$$B_e = \frac{0,3 \cdot 190 \cdot 4,1 \cdot 0,5}{0,8} = 146,06$$

9. Витрати на службові відрядження, витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи, організації та інші витрати. Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуються як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{св} = (З_о + З_р) * \frac{H_{св}}{100\%}, \quad (4.15)$$

де  $H_{св}$  – норма нарахування за статтею «Службові відрядження».

$$V_{cb} = 0,2 * (8705 + 742,2) = 1889,35 \text{ (грн)}$$

10. Накладні (загальновиробничі) витрати  $V_{нзв}$  охоплюють: витрати на управління організацією, оплата службових відряджень, витрати на утримання, ремонт та експлуатацію основних засобів, витрати на опалення, освітлення, водопостачання, охорону праці тощо. Накладні (загальновиробничі) витрати  $V_{нзв}$  можна прийняти як (100...150)% від суми основної заробітної плати розробників та робітників, які виконували дану МКНР, тобто:

$$V_{нзв} = (z_o + z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (4.16)$$

де  $H_{нзв}$  – норма нарахування за статтею «Інші витрати».

$$V_{нзв} = (8705 + 742,2) \cdot \frac{100}{100\%} = 9446,73 \text{ грн}$$

Сума всіх попередніх статей витрат дає витрати, які безпосередньо стосуються даного розділу МКНР

$$V = 8705 + 742,2 + 1039,14 + 2306,89 + 58,85 + 2806,10 + 500 + 146,06 + 1889,35 + 9446,73 = 27628,3$$

Прогнозування загальних витрат  $ZB$  на виконання та впровадження результатів виконаної МКНР здійснюється за формулою:

$$ZB = \frac{V}{\eta}, \quad (4.17)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт, який характеризує стадію виконання даної НДР.

Оскільки, робота знаходиться на стадії науково-дослідних робіт, то коефіцієнт  $\beta = 0,7$ .

Звідси:

$$ЗВ = \frac{27628,3}{0,7} = 39469,03 \text{ грн.}$$

### 5.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки

У даному підрозділі кількісно спрогнозуємо, яку вигоду, зиск можна отримати у майбутньому від впровадження результатів виконаної наукової роботи. Розрахуємо збільшення чистого прибутку підприємства  $\Delta\Pi_i$ , для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, за формулою

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta\Pi_o \cdot N + \Pi_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\nu}{100}\right) \quad (4.18)$$

де  $\Delta\Pi_o$  – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році.

$N$  – основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки;

$\Delta N$  – покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки:

$\Pi_o$  – основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки;

$n$  – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки:

$l$  – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. Ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт  $l = 0,8333$ .

$p$  – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту.  $p = 0,25$ ;

$x$  – ставка податку на прибуток. У 2021 році – 18%.

Припустимо, що при впровадженні результатів наукової розробки покращується якість програмного продукту для формування індивідуальних тренувань. Припустимо, що ціна від зросте на 500 грн. Кількість одиниць реалізованої продукції також збільшиться: протягом першого року на 40 шт., протягом другого року – на 55 шт., протягом третього року на 60 шт. Реалізація продукції до впровадження розробки складала 1 шт., а її ціна до складає 3900 грн. Розрахуємо прибуток, яке отримає підприємство протягом трьох років.

$$\Delta\Pi_1 = [500 \cdot 1 + (3900 + 500) \cdot 40] \cdot 0,833 \cdot 0,25 \cdot \left(1 + \frac{18}{100}\right) = 30150,88 \text{ грн.}$$

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_2 &= [500 \cdot 1 + (3900 + 500) \cdot (40 + 55)] \cdot 0,833 \cdot 0,25 \cdot \left(1 + \frac{18}{100}\right) \\ &= 71905,48 \text{ грн.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_3 &= [500 \cdot 1 + (3900 + 500) \cdot (40 + 55 + 60)] \cdot 0,833 \cdot 0,25 \cdot \left(1 + \frac{18}{100}\right) \\ &= 117003,67 \text{ грн.} \end{aligned}$$

#### 5.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності

Розрахуємо основні показники, які визначають доцільність фінансування наукової розробки певним інвестором, є абсолютна і відносна ефективність вкладених інвестицій та термін їх окупності.

Розрахуємо величину початкових інвестицій  $PV$ , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки.

$$PV = k_{\text{інв}} \cdot 3B, (4.19)$$

$k_{інв}$  – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію. Це можуть бути витрати на підготовку приміщень, розробку технологій, навчання персоналу, маркетингові заходи тощо ( $k_{інв} = 2...5$ ).

$$PV = 2 \cdot 39469,03 = 78938,06$$

Розрахуємо абсолютну ефективність вкладених інвестицій  $E_{абс}$  згідно наступної формули:

$$E_{абс} = (ПП - PV) \quad (4.20)$$

де ПП – приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство від реалізації результатів наукової розробки, грн.;

$$ПП = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (4.21)$$

де  $\Delta\Pi_i$  – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДЦКР, грн.;

$T$  – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої НДЦКР, роки;

$\tau$  – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,2;

$t$  – період часу (в роках).

$$ПП = \frac{30150,88}{(1 + 0,2)^1} + \frac{71905,48}{(1 + 0,2)^2} + \frac{117003,67}{(1 + 0,2)^3} = 143085,48 \text{ грн.}$$

$$E_{абс} = (143085,48 - 78938,06) = 64147,42 \text{ грн.}$$



Оскільки  $E_{abc} > 0$  то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів НДДКР може бути доцільним.

Розрахуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій  $E_e$ . Для цього користуються формулою:

$$E_e = \sqrt[T_{жс}]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (4.22)$$

$T_{жс}$  – життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_e = \sqrt[3]{1 + \frac{64147,42}{78938,06}} - 1 = 0,38 = 38\%$$

Визначимо мінімальну ставку дисконтування, яка у загальному вигляді визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (4.23)$$

де  $d$  – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2021 році в Україні  $d = (0,14 \dots 0,2)$ ;

$f$  – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина  $f = (0,05 \dots 0,1)$ .

$$\tau_{\min} = 0,18 + 0,05 = 0,23$$

Так як  $E_e > \tau_{\min}$  то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_g} \quad (4.24)$$

$$T_{ок} = \frac{1}{0,38} = 2,6 \text{ роки}$$

Так як  $T_{ок} \leq 3$  років, то фінансування даної наукової розробки в принципі є доцільним.

## 5.5 Висновки до економічного розділу

Було проведено оцінку комерційного потенціалу розробка засобу контролю якості повітря у місті, який є на середньому рівні. При порівнянні нової розробки з аналогом виявлено, що вона є якіснішою і конкурентоспроможнішою відносно аналога, а також краще по технічним і економічним показникам.

Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи по кожній з статей витрат складе 27628,3 грн. Загальна ж величина витрат на виконання та впровадження результатів даної НДР буде складати 39469,03грн.

Вкладені інвестиції в даний проект окупляться через 2,6 роки при прогнозованому прибутку 143085,48 грн. за три роки.

## ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі зроблено аналіз методів визначення концентрації газових сумішей. Здійснено огляд найбільш поширених методів газового аналізу, розглянуто їх переваги і недоліки, можливості застосування для розв'язання поставлених задач.

Проведено аналіз фізико-математичних властивостей поглинання газів інфрачервоною радіацією.

Вдосконалена математична модель перенесення випромінювання в середовище міського повітря, яка, на відміну від існуючих враховує особливості об'єкта контролю, причому у атмосферному тиску враховується висота засобу контролю над рівнем моря, що дозволило підвищити достовірність контролю.

Проведено аналіз коефіцієнту передачі оптичного вимірювального перетворювача, коефіцієнт поглинання CO<sub>2</sub> у повітрі досліджено вплив ширини спектру приймача ІЧ випромінювання на чутливість оптичного каналу газового сенсора.

Розроблена структурна та функціональна схеми засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі та оптичного сенсора зокрема. Представлені рекомендації для проектування засобу вимірювального контролю двоокису вуглецю у повітрі.

Реалізовано та представлено реальні моделі системи управління квадрокоптером з сенсором контролю якості повітря. Також наведено результати експериментальних досліджень, а саме визначено абсолютний показник AQI для реальних міських умов (міського середовища).

Визначено що  $T_{ок} \leq 3$  років, тобто фінансування даної наукової розробки в принципі є доцільним.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Франко Р.Т. приборы и системы / Р.Т. Франко, Б.Г. Кадук, А.А. Кравченко. – М.:Машиностроение, 1983. – 358с.
2. Соколов В.А. Методы анализа газов / В.А. Соколов – М.: Гостоптехиздат, 1958. – 340с.
3. Кустикова М.А. Методические указания к лабораторным работам по разделу “Оптико-электронные газоанализаторы” курса “Экологический мониторинг” / Кустикова М.А., Мешалкина М.Н., Мусяков В.Л., Тимофеев А.Н.. – С-Пб: 2003. – С. 73-89.
4. Теплюх З.М. Синтезатор перевірювальних сумішей для хроматографів складу атмосферних газів / З.М. Теплюх // Энергетика и Электрификация. - 2004. – №3. – С. 10-18.
5. Антропов Д.Н. Энергосберегающие режимы работы теплоэнергетических установок с применением микропроцессорных
6. Парахин Н.Ф. Оптимизация теплового режима котла ДЕ-25-14 ГМ при отоплении коксовым газом / Н.Ф. Парахин, А.К. Алексеева // Энергосбережение.– 2007. – №16. – С. 26-28.
7. Вронский В. А. Прикладная экология / Вронский В. А. – Ростов-на-Дону: Феникс. - 1996. - 512с.
8. Бродский А.К. Краткий курс общей экологии / Бродский А.К. – С-Пб. – 1992. –152с.
9. А.Ю. Ретюма. Вторжение в природную среду. Оценки воздействия /А.Ю. Ретюма. - М.: Прогресс. – 1983. - 192 с .
10. Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами:энергетические системы / А.А. Колесников. – М.: Едиториал УРСС, 2005. – 457 с.
11. Кучерук В.Ю. Синергетичні методи керування теплоенергетичними об'єктами / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // Міжнародна науково-практична

конференція “Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія”. – Вінниця, 2010. – С. 47.

12. Фокин В.М. Теплогенерирующие установки систем теплоснабжения / В.М. Фокин. – М.: Машиностроение-1, 2006. – 352с.

13. Садыков Р.А. Компьютерная симуляция теплогенерирующих установок / Р.А. Садыков, Д.Н. Андропов, Д.В. Крайнов // Известия КазГАСУ. - 2009. – №1 (11). - С196-200.

14. Кнорринг В.Г. Автоматизирования системы контроля и управление процессом горения в топливосжигающем оборудовании / В.Г. Кнорринг, О.Н. Новиков, А.Н. Окадьев // Межвуз. сб. науч. тр.. Пенз. гос. ун-т. - 2000. – №25. – С.112-117.

15. Ротач В.Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами / В.Я. Ротач. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 150 с.

16. Тюрин М.П. Повышение экономичности работы промышленных котлоагрегатов / М.П. Тюрин, Л.М. Кочетов, Е.В. Харамин. – М.: РХТУ, 1999. – 290 с.

17. Бугайов Ю.В. Використання мікропроцесорних систем для компенсації температурної похибки оптичних перетворювачів / Ю.В. Бугайов, Ю.В. Шабатура // Вісник Технологічного університету Поділля. - 2003. – №3/Т.2. – С. 152-154.

18. Бужинський В.В. Автоматизація теплоенергетичних та теплотехнологічних процесів і установок / В.В. Бужинський, М.М. Чепурний. – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 48 с.

19. Патент на корисну модель 5163, Україна, G01 N27/72. Високоточний термомагнітний газоаналізатор / Целіщев О.Б., Стенцель Й.І., Стенцель В.В.; заявники та патентовласники Целіщев О.Б., Стенцель Й.І., Стенцель В.В. №20040705790; заявлено 14.07.2004; опубл. 15.02.2005, Бюл. № 2. – 2005.- 4 с.

20. Метрологія. Терміни та визначення: ДСТУ 2681-94.- [Чинний від 1994-04-01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 1994. – 12 с. – (Національні стандарти України).
21. Франко Р.Т. Газоаналитические приборы и системы / Франко Р.Т., Кадук Б.Г., Кравченко А.А. - М.: Машиностроение. – 1983. - 128 с.
22. Горелик Д.О. Мониторинг загрязнения атмосферы и источников выбросов / Горелик Д.О., Конопелько Л.А. - М.:из-во Стандартов. – 1992. – 432 с.
23. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия / Ельяшевич М.А. - М.:из-во Стандартов. – 1962. – 452 с.
24. Смирнов Н.И. Оптимизация настроечных параметров регулирующих устройств в АСУ // Теория и практика построения и функционирования АСУ ТП: труды Международ. науч. конф. - М.: Издательство МЭИ. - 2003. - С.52-57.
25. Левин А.С. Введение в общую экологию:курс лекций / Левин А.С. – Таллин: LEX. - 1996. -174 с.
26. On-line расчеты в Интернет на Mathcad Application Server (MAS). – Режим доступа:<http://www.vpu.ru/mas>.
27. Горелик Д.О. Экологический мониторинг. Оптико-электронные приборы и системы/ Горелик Д.О. - Том 2. – СПб.: Крисмас+, 1998. -592 с.
28. Горелик Д.О. Мониторинг загрязнения атмосферы и источников выбросов / Д.О. Горелик, Л.А. Конопелько. – М.: из-во Стандартов, 1992. – 432 с.
29. Л.Н. Панченко. Проверенное решение автоматизации тепловых котельных на базе контроллеров МФК» / Л.Н. Панченко, И.В. Карандасов, В.И. Самыкин, А.В. Селезнев // Промышленные АСУ и контроллеры. - 2003. – № 4. – С.19-23.
30. Горелик Д.О. Экологический мониторинг. Оптико-электронные приборы и системы. Том 1/ Горелик Д.О., Конопелько Л.А., Панков Э.Д. – СПб.: Крисмас+. - 1998. -735 с.

31. А.Д. Фролов. О применении прямого расчета поглощения ИК радиации к задаче определения общего содержания CO<sub>2</sub> в вертикальном столбе атмосферы: Труды Гго в. 369 / А.Д. Фролов, А.А. Шашков. – СПб.: Крисмас+. - 1976. - 211 с.
32. Howell Y.R. Solution of Thermal Transfer through Radiant Media Between Gray Walls / Howell Y.R., Permuter M. Monte Carlo // *Yourn. Heat Transfer*. - 1964. – P. 116-122.
33. Zanelly S. On the calculation of spatical temperature and radiative transfer in industrial watertube boiler/ Zanelly S., Corsi R., Rieri Y. // *Heat Transfer in Flames*. – Washington: Scripta Book Company, 1973. – P. 18-24.
34. Горелик Д.О. Экологический мониторинг. Оптико-электронные приборы и системы. Том 2 / Горелик Д.О., Конопелько Л.А., Панков Э.Д. – СПб.: Крисмас+. - 1998. – 592 с.
35. Кучерук В.Ю. Метод компенсації температурної похибки оптико-абсорбційних температурних перетворювачів концентрації газової суміші / В.Ю. Кучерук, І.А. Дудатьєв // *Оптико електронні інформаційно-енергетичні технології*. - 2011. – №1 (21). – С. 163-167.
36. Rychkov A. D., Krasinskii D. V., Keino A. J., Salomatov V. V. Modeling the vortex furnace aero dynamics // *Proc. 4<sup>th</sup> Europ. Conf. on Industrial Furnace and Boilers*. Vol. 2. Portugal, Espinho-Porto. – 1997. – P.9.
37. Rychkov A. D., Filipov K. P. Numerical modeling of coal combustion processes in ecological clear circulating fluidized bed boiler units // *Proc. of 4th Intern. Korean Nat.Symp. on Sci. and Technologies KORUS 2000, Ulsan, 2000*. – Pt 1. – P.304–309.
38. Исаева Л.К. Контроль химических и биологических параметров окружающей среды / Под ред. Исаева Л.К. – СПб.: Эколого-аналитический информационный центр "Союз". - 1998. - 896 с.
39. Ю.К. Кривогузова. Исследование состава воздуха. Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Теплотехнические измерения и приборы» для студентов всех направлений

Энергетического института / Ю.К. Кривогузова, И.П. Озерова. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2013. –15 с.

40. Ваня Я. Анализаторы газов и жидкостей / Я. Ваня. – М. : Энергия, 1970. – 552 с.

41. Еремина Б. Г. Газовый анализ / Б. Г. Еремина. – Л. : Гос. науч.-техн. из-во хим. литературы, 1955. – 380 с.

42. Примак А. В. Методы и средства контроля загрязнения атмосферы / А. В. Примак, А. Н. Щербань – К. : Наук. думка, 1980. – 296 с.

43. Анцыферов С.С. Общая теория измерений: учебное пособие / С.С. Анцыферов, Б.И. Голубь; под ред. Н.Н. Евтихеева. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007.

44. Dils B. Ground-based CO observations atJungfraujoch // Comparison between FTIR and NDIR measurements / Dils B., Mahieu E., Demoulin P., Steinbacher M., Buchmann B., and De Maziere M. - 2009. - 154p.

45. Браславский, Д.А. Точность измерительных устройств / Д.А. Браславский, В.В. Петров. – М.: Машиностроение, 1976.

46. Ван-дер-Зил. Источники, описание, измерение / А. Ван-дер-Зил, А. Шум. – М.: Сов. радио, 1973.

47. Meszaros T., Haszpra L., Gelencser A.: Tracking changes in carbon monoxide budget over Europe between 1995 and 2000, Atmos. Environ., 39, 7297–7306. - 2005.

48. Stemmler K., Zellweger C., Ridgeon P.: Two highspeed, portable GC systems designed for the measurement of non-methane hydrocarbons and PAN: Results from the Jungfraujoch High Altitude Observatory, J. Environ. Monit., 6, 234–241. - 2004.

49. Wild O., Prather M. J.: Excitation of the primary tropospheric chemical mode in a global three-dimensional model, J. Geophys. Res. Atmos., 105, 24647–24660. - 2000.

50. Авдеева А.А. Хроматография в энергетике / А.А. Авдеева. - М.: Энергия. - 1980. – 271 с.



51. Андреев А.Н. Оптические измерения / Андреев А.Н., Гаврилов Е.В., Ишанин Г.Г., Кирилловский В.К., Прокопенко В.Т. - М.: Университетская книга Логос. - 2008. - 416с.
52. L. S. Rothman, R. B. Wattson, R. R. Gamache, J. Schroeder, and A. McCann, "HITRAN, HAWKS and HITEMP High-Temperature Molecular Database", Proc. Soc. Photo Optical Instrumentation Engineers 2471, 105-111 (1995).
53. Roman V. Kochanov HITRAN Application Programming Interface (HAPI) USA 2015, - 52 p.
54. Бёккер Ю. Спектроскопия. Spektroskopie / БёккерЮ. - М.: Техносфера, 2009. — 528 с. — ISBN 978-5-94836-220-5.
55. Смит А. Прикладная ИК-спектроскопия: основы, техника, аналитическое применение / Смит А. — М.: Мир, 1982. — 328 с.
56. Bernath P. F. Infrared fourier transform emission spectroscopy (англ.) // Chem. Soc. Rev. — 1996. — Vol. 25. — P. 111—115. — DOI:10.1039/CS9962500111.
57. Bernath P. F. Infrared emission spectroscopy (англ.) // Annu. Rep. Prog. Chem., Sect. C: Phys. Chem. — 2000. — Vol. 96. — P. 177—224. — DOI:10.1039/B001200I.
58. Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry / Lindon J. — 2nd Ed. — Academic Press, 2010. — 3312 p.
59. Larkin P. J. Infrared and raman spectroscopy: principles and spectral interpretation. — Elsevier, 2011. — 230 p. — ISBN 978-0-12-386984-5.
60. Noda I. Two-Dimensional Infrared (2D IR) Spectroscopy: Theory and Applications (англ.) // Applied Spectroscopy. — 1990. — Т. 44. — № 4. — С. 550—561.
61. Stuart B. H. Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications. — Wiley, 2004. — 242 p.
62. J. Hildenbrand. Micromachined mid-infrared emitter for fast transient temperature operation for optical gas sensing system /J. Hildenbrand, A. Kurzinger,

C. Peter, E. Moretton, J. Wollenstein, F. Numann, M. Ebert, and J. Korvic. - in Proc. 7-th IEEE SENSORS. - Lecce, Italy. - Oct. 2008. - p. 297–300.

63. G. S. Landsberg. Optics / G. S. Landsberg. - Moscow: Nauka Publishing House. – 1976. - p. 567.

64. Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти // Семенов А.О., Громова Л.П., Макарова Т.В. Сердюк О.В. – ВНТУ, Вінниця – 2021. – 60с.

65. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

## **ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА**

**ЗАСІБ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ У МІСЬКОМУ СЕРЕДОВИЩІ**

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Кафедра метрології та промислової автоматики

(повна назва кафедри)

*ЗАТВЕРДЖУЮ*

Завідувач кафедри МПА

д.т.н., професор Кучерук В.Ю.

\_\_\_\_\_ (підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## **ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на магістерську кваліфікаційну роботу

**Засіб контролю якості повітря у міському середовищі**

08-03.МКР.005.00.000.ТЗ

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

д.т.н., проф. Васілевський О.М.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Розробив студент гр. КІВТ-20м

Ксенчук В.С.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Додаток А  
(обов'язковий)  
Технічне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу

### 1 Підстава для проведення робіт

Підставою для виконання магістерської кваліфікаційної роботи на тему: «Засіб контролю якості повітря у міському середовищі» є наказ № 277 від 24.09.2021 р.

Термін виконання робіт:

початок 01.09.2021 р.

кінець 17.12.2021 р.

### 2 Мета та вихідні дані для проведення робіт

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення наочності при необхідній швидкодії процесу контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі за рахунок оцінення та використання AQI.

Вихідними даними для проведення робіт є індивідуальне завдання на магістерську кваліфікаційну роботу від 01.09.2021 р.

### 3 Етапи виконання робіт

Виконавцем всіх перерахованих в даному розділі етапів є: студент групи КІВТ-20м Ксенчук Владислав факультету комп'ютерних систем та автоматики Вінницького національного технічного університету, а замовником є: кафедра метрології та промислової автоматики.

№ Етапу	Зміст етапу	Строки виконання
E1	Аналіз методів контролю концентрації компонентів газів у повітрі	01.09.2021 14.09.2021
E2	Розробка математичної моделі вимірювального перетворювача концентрації газу (двоокису вуглецю) у повітрі	14.09.2021 28.09.2021
E3	Розробка засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі та оцінювання його метрологічних характеристик	28.09.2021 07.10.2021
E4	Розробка програмного забезпечення та експериментальні дослідження засобу контролю якості повітря	07.10.2021 19.10.2021
E5	Економічна частина	16.11.2021 17.12.2021

#### 4 Призначення і галузь застосування

В наш час широкого розповсюдження набувають мобільні ІВС з різним набором сенсорів для контролю стану середовища і можуть бути використані в широкому спектрі задач автоматизації та контролю стану середовища.

#### 5 Технічні дані

5.1 Конструктивне виконання – переносний засіб;

5.2 Особливість засобу – засіб контролю

5.3 Параметри контролю CO<sub>2</sub>

5.4 Результат контролю представляти згідно AQI

5.4 Тип об'єкта – оптичний.

#### 6 Джерела розробки

6.1 Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти // Семенов А.О., Громова Л.П., Макарова Т.В. Сердюк О.В. – ВНТУ, Вінниця – 2021. – 60с.

6.2 Положення про кваліфікаційну роботу у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. О.Н. Романюк, Р.Р. Обертюх, Т.О. Савчук, Л.П. Громова – Вінниця: ВНТУ, 2015 – 27с.

6.3 Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад.: В.О. Козловський, О.Й. Лесько, В.В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42с.

6.4 ДСТУ 2480-94 Засоби автоматизації налагодження

6.5 ДСТУ 3899-99 Дизайн і ергономіка

6.6 ДСТУ 8812:2018 Викиди стаціонарних джерел настанови з відбирання проб

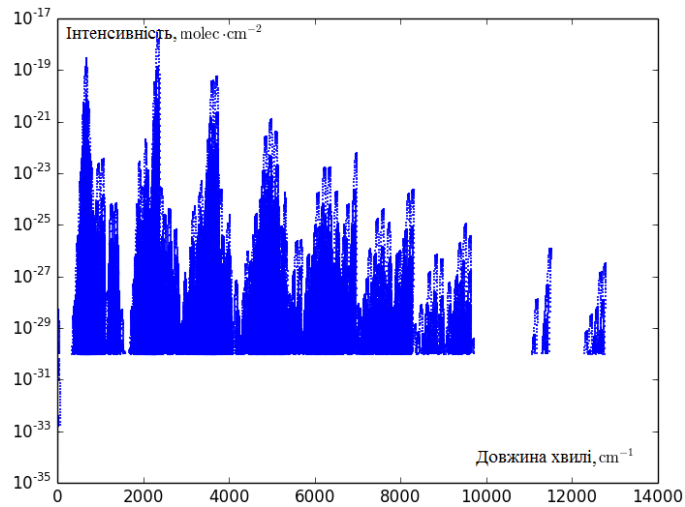
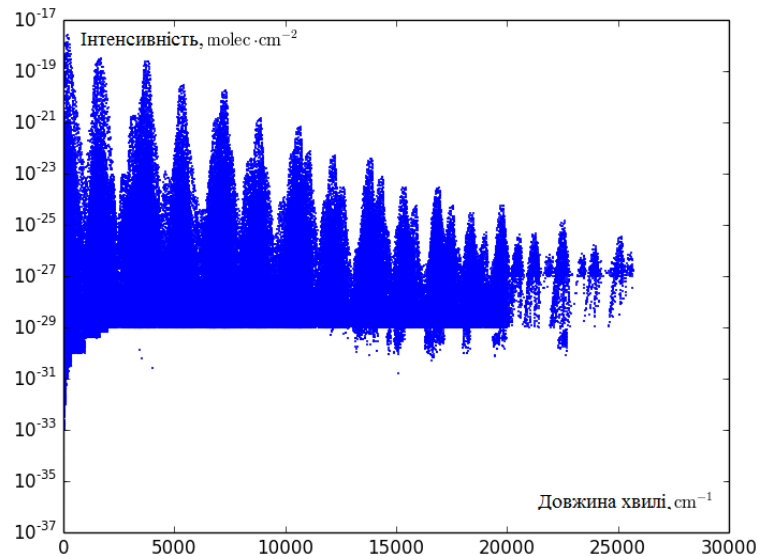
Ст. гр. КІВТ-20м \_\_\_\_\_ Ксенчук В.С.

## Додаток Б

## Спектри поглинання, ФР, ФД, характеристики ІЧ випромінювачів

id ↓	name	formula	bands	lines	WN <sub>min</sub> , cm <sup>-1</sup>	WN <sub>max</sub> , cm <sup>-1</sup>	S <sub>min</sub> , cm/mol	S <sub>max</sub> , cm/mol	S <sub>v</sub> , cm/mol
1	Water vapour	H <sub>2</sub> O	728	224515	0.007002	25710.825500	1.393e-37	2.651e-18	7.374e-17
2	Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	4064	471847	0.736369	12784.056441	3.934e-35	3.543e-18	1.132e-16
4	Nitrous oxide	N <sub>2</sub> O	351	47843	0.838022	7796.633110	1.229e-28	1.004e-18	7.191e-17
5	Carbon monoxide	CO	49	4606	3.462498	8464.881965	1.378e-56	4.461e-19	1.020e-17
6	Methane	CH <sub>4</sub>	334	468013	0.001063	11501.872500	1e-37	2.114e-19	1.783e-17
8	Nitrogen oxide	NO	293	105079	0.000001	9273.214340	1.451e-95	2.322e-20	4.735e-18
9	Sulfur dioxide	SO <sub>2</sub>	20	95121	0.017394	4092.948220	3.101e-30	4.851e-20	4.010e-17
10	Nitrogen dioxide	NO <sub>2</sub>	11	104223	0.497999	3074.152650	4.24e-28	1.302e-19	6.232e-17

Рис. Б.1. Основні гази у повітрі

Рис. Б.2. Спектр поглинання CO<sub>2</sub> у діапазоні 0.75-15 мкмРис. Б.3. Спектр поглинання H<sub>2</sub>O у діапазоні 0.75-15 мкм

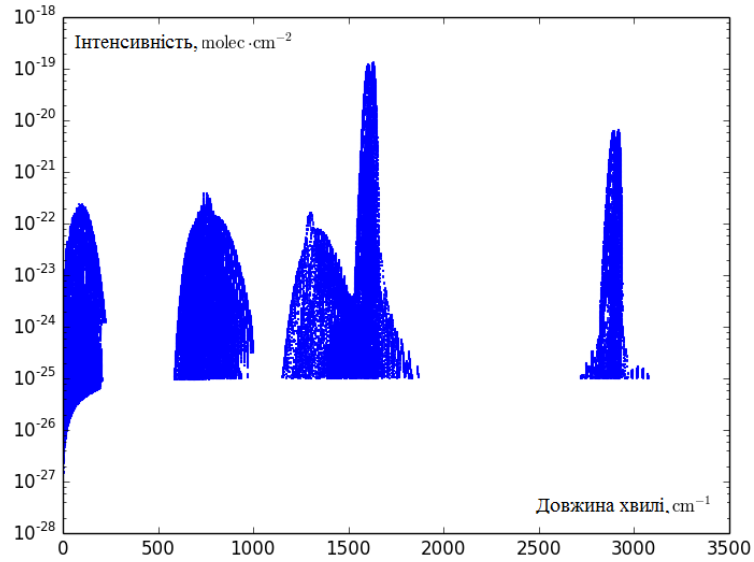


Рис. Б.4. Спектр поглинання N<sub>2</sub>O у діапазоні 0.75-15 мкм

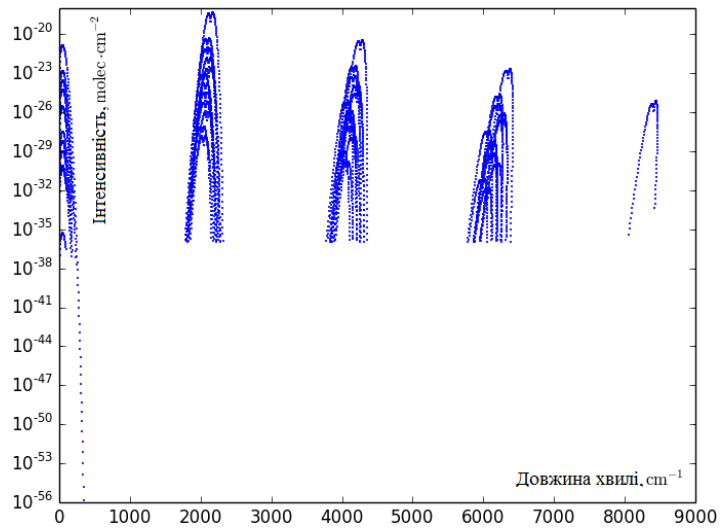


Рис. Б.5. Спектр поглинання CO у діапазоні 0.75-15 мкм

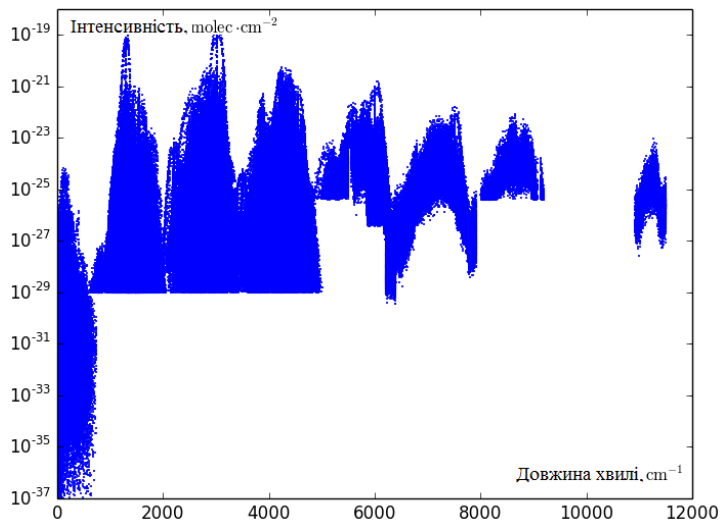


Рис. Б.6. Спектр поглинання CH<sub>4</sub> у діапазоні 0.75-15 мкм



## Додаток В

## Аналіз спектрів поглинання атмосферних газів у різних діапазонах

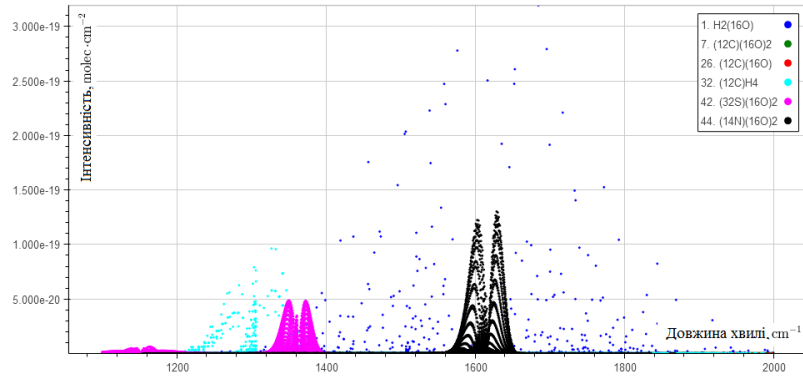


Рис. В.2. Аналіз спектрів поглинання атмосферних газів у діапазоні 1000-2000  $\text{cm}^{-1}$

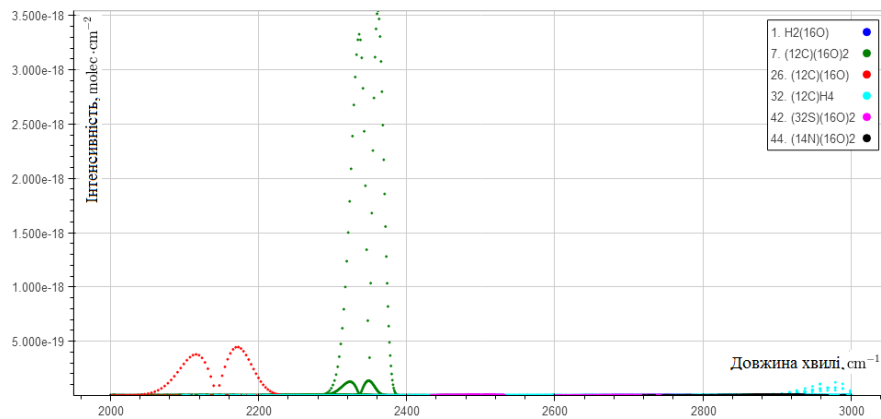


Рис. В.3. Аналіз спектрів поглинання атмосферних газів у діапазоні 2000-3000  $\text{cm}^{-1}$

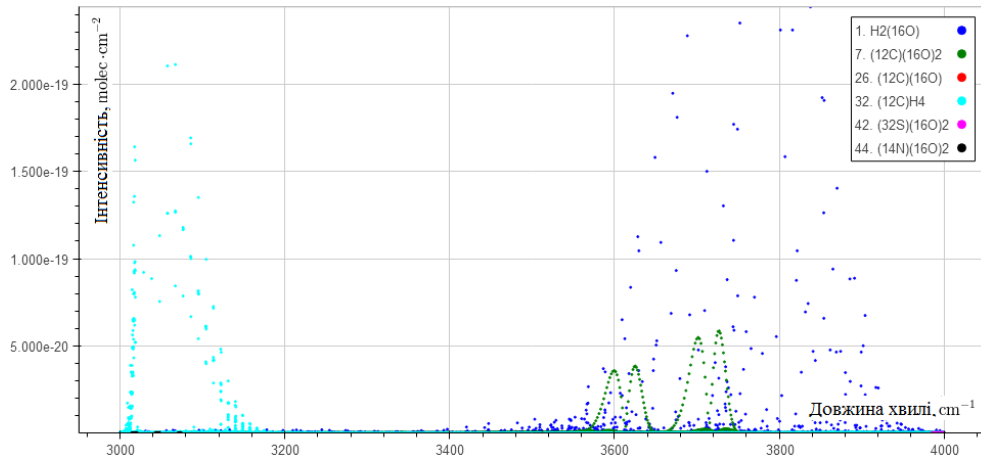


Рис. В.4. Аналіз спектрів поглинання атмосферних газів у діапазоні 3000-4000  $\text{cm}^{-1}$

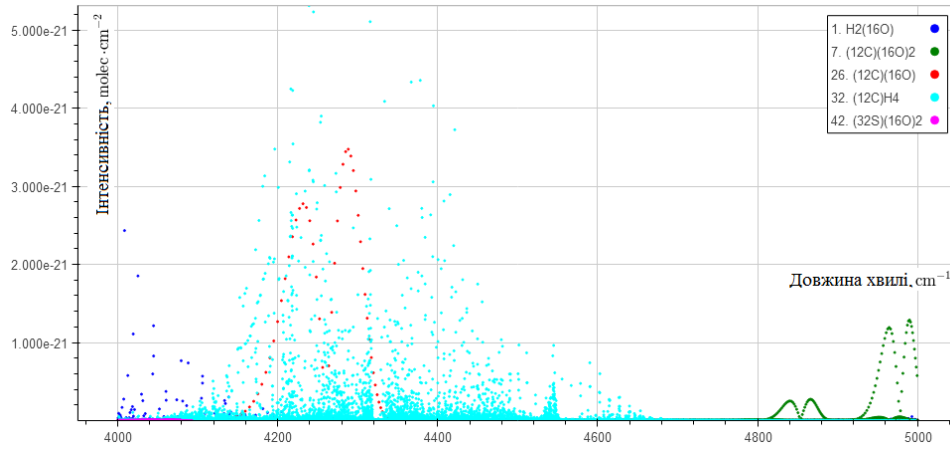


Рис. В.5. Аналіз спектрів поглинання атмосферних газів у діапазоні 4000-5000  $\text{cm}^{-1}$

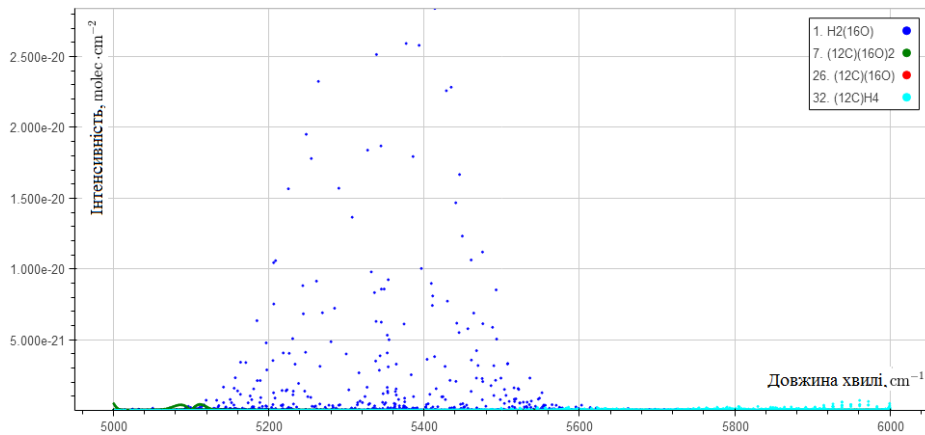


Рис. В.6. Аналіз спектрів поглинання атмосферних газів у діапазоні 5000-6000  $\text{cm}^{-1}$

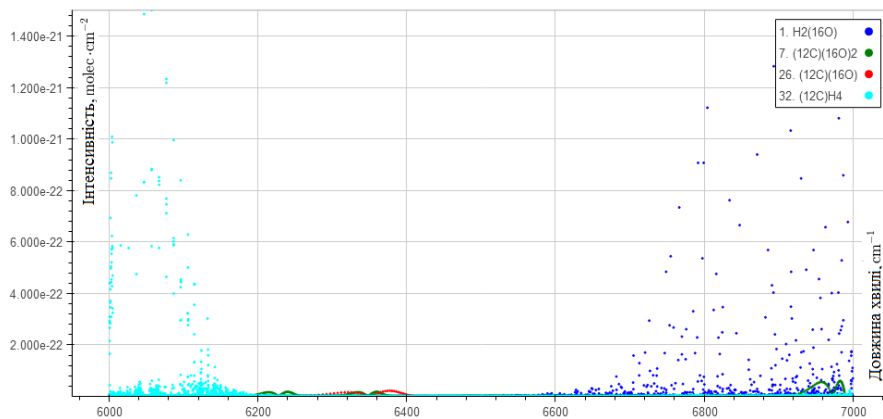


Рис. В.7. Аналіз спектрів поглинання атмосферних газів у діапазоні 6000-7000  $\text{cm}^{-1}$

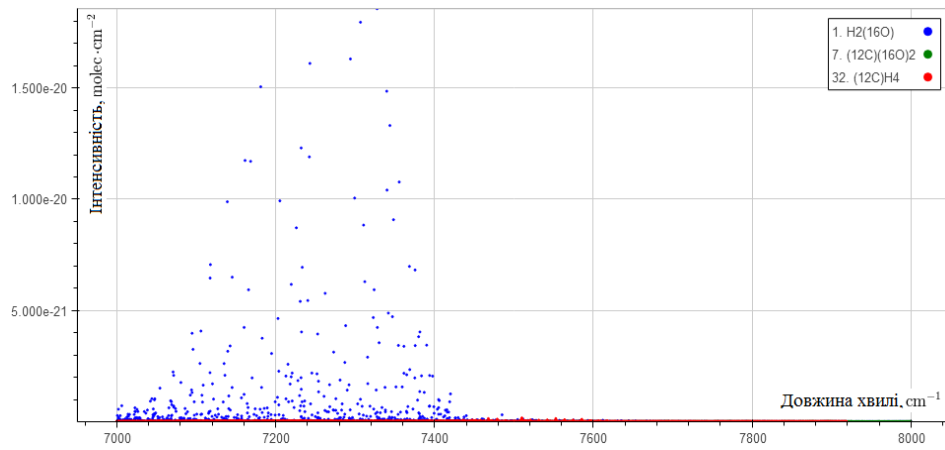


Рис. В.8. Аналіз спектрів поглинання атмосферних газів у діапазоні 7000-8000  $\text{см}^{-1}$

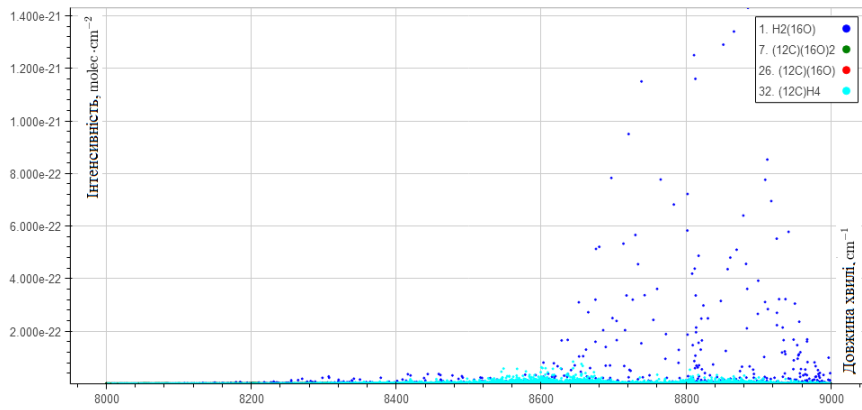


Рис. В.9. Аналіз спектрів поглинання атмосферних газів у діапазоні 8000-9000  $\text{см}^{-1}$

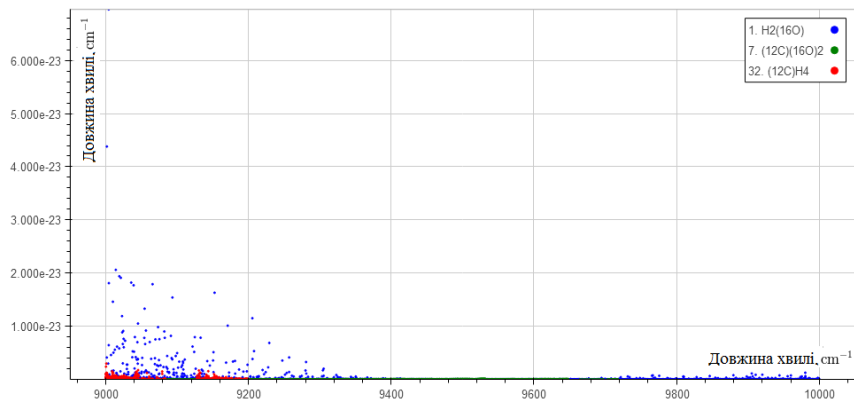


Рис. В.10. Аналіз спектрів поглинання атмосферних газів у діапазоні 9000-10000  $\text{см}^{-1}$

# Засіб контролю якості повітря у міському середовищі

Виконав: Ксенчук В.С.

Керівник: д.т.н., проф. Васілевський О.М.

# Актуальність роботи

**Актуальність роботи.** Якість повітря може змінюватися не тільки день у день, але й протягом кількох годин. Це пояснюється тим, що рівень забруднення може змінюватися в залежності від кількості викидів в атмосферу, від часу дня, наприклад, у годину пік забруднення повітря є найвищим, від погодних умов, при сильному вітрі, як правило, якість повітря значно краще, а також від безлічі інших факторів. У зв'язку з цим необхідно регулярно проводити вимірювання рівня забрудненості атмосферного повітря.

Незважаючи на те, що існує величезна кількість різних забруднюючих речовин, 98% обсягу викидів припадає лише на 4 забруднювачі: діоксид сірки, діоксид вуглецю, оксиди азоту та оксид вуглецю. Крім того, концентрація саме цих речовин найчастіше перевищує допустимі норми.

Дані про концентрацію різних речовин разом є інформацією про рівень забруднення повітря. Наскільки небезпечний для людини даний рівень забруднення визначається відповідно до норм, встановлених державними наглядовими органами.

Також актуальність роботи обумовлена проблемою моніторингу якості повітря в містах України. Якість життя людини прямо залежить від наявності достовірної інформації про параметри які визначають наскільки повітря є безпечним для містян. Невисока точність контрольно-вимірювальної апаратури, такої як засіб контролю концентрації CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> та інших газів, може спричинити невірні показники про стан повітря, і, як наслідок, зашкодити здоров'ю людини.

Тому питання розробки засобу контролю якості повітря у місті, що забезпечує високу точність та необхідні динамічні метрологічні характеристики, є актуальним.

**Мета дослідження.** Метою роботи є підвищення наочності при необхідній швидкодії процесу контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі за рахунок оцінення та використання AQI.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані та вирішені такі **задачі:**

аналіз існуючих засобів та методів контролю концентрації компонентів атмосферних газів у повітрі;

технічне обґрунтування реалізації засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі;

розробка математичної моделі засобу для контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі на основі оптико-абсорбційного інфрачервоного методу;

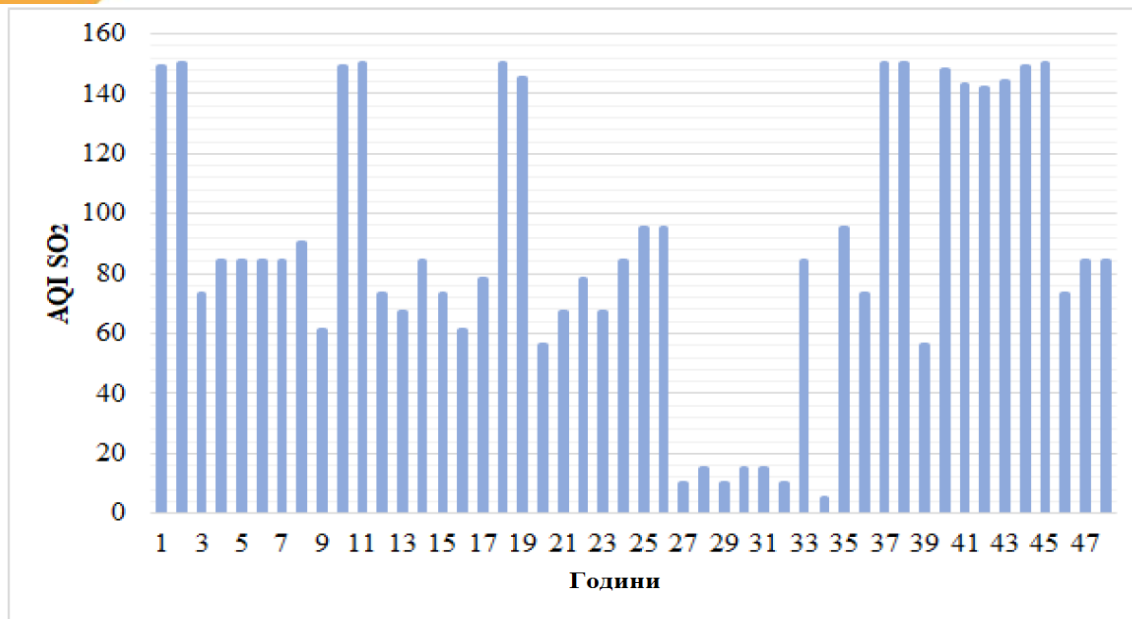
розробка структурної схеми засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі;

*Об'єктом дослідження* в роботі є процес вимірювального контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі.

*Предметом дослідження* є методи та засоби підвищення достовірності контролю при заданій швидкодії оптико-абсорбційного методу контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі.

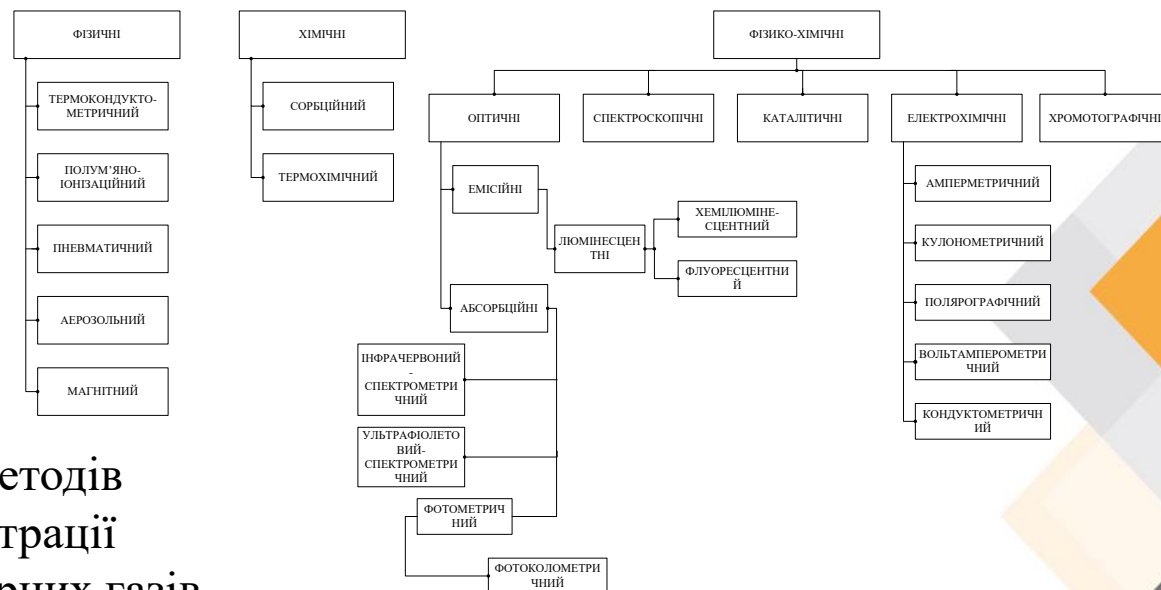
**Методи дослідження.** При вирішенні поставлених задач в роботі були використані методи теорії вимірювального контролю, математичної статистики та теорії випадкових процесів, комп'ютерного моделювання, теорії вимірювань, похибок вимірювань та технічного контролю використовувались для визначення вірогідності контролю.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Вдосконалена математична модель ослаблення випромінювання в середовище повітря міського середовища, яка, на відміну від існуючих, враховує параметри об'єкта контролю, а саме, враховується висота засобу контролю над рівнем моря.



Зміни AQI на окремо взятій станції протягом 48 годин

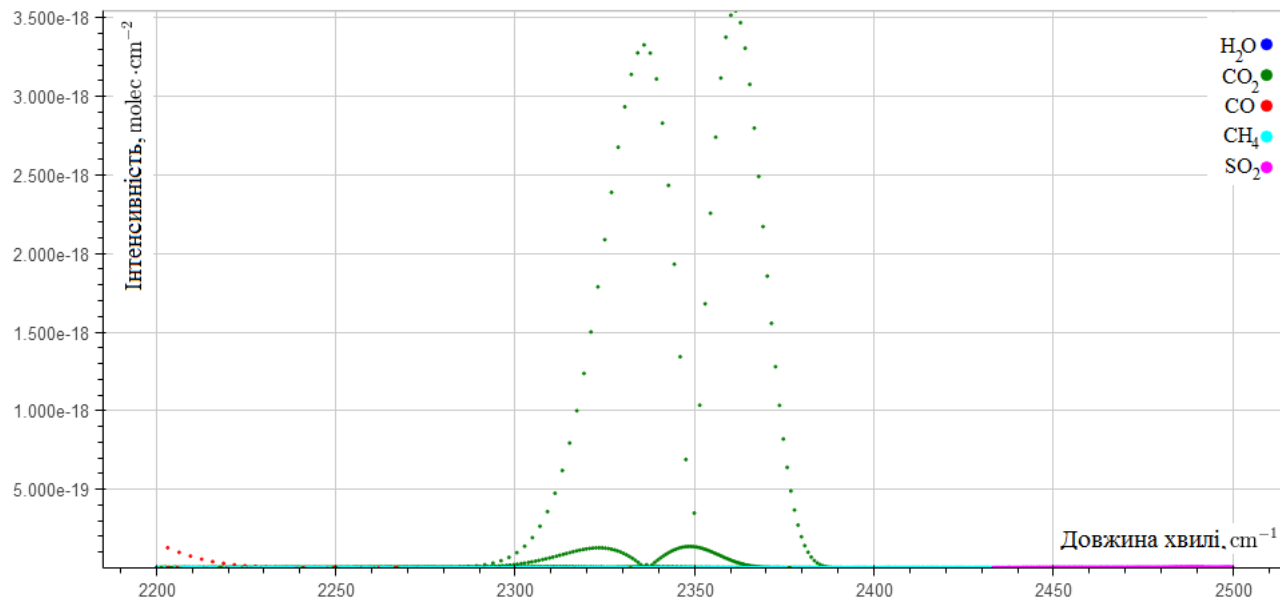
## Систематизація методів контролю концентрації компонентів атмосферних газів



Метод/ Параметр	Діапазон вимірювань	Швидкість	Надійність	Багато- компонентність	Вибірковість	УАЖЕ
Термокондуктометричний	0.2	0.2	0.9	0.9	0.1	0.46
Термохімічний	0.3	0.2	0.8	0.8	0.3	0.48
Магнітний	0.4	0.4	0.9	0.9	0.9	0.7
Пневматичний	0.1	0.1	0.7	0.7	0.2	0.36
Пневмоакустичний	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.16
Оптико-абсорбційний інфрачервоний	1	0.9	0.8	0.9	0.8	0.88
Хемілюмінесцентний	0.9	0.8	0.3	0.9	0.8	0.74
Флуоресцентний	0.9	0.8	0.3	0.9	0.8	0.74
Фотоколориметричний	0.8	0.8	0.2	0.8	0.8	0.68
Амперометричний	0.2	0.2	0.7	0.7	0.3	0.42
Іонізаційний	0.2	0.9	0.3	0.8	0.4	0.52

Порівняння методів для контролю концентрації компонентів атмосферного газу



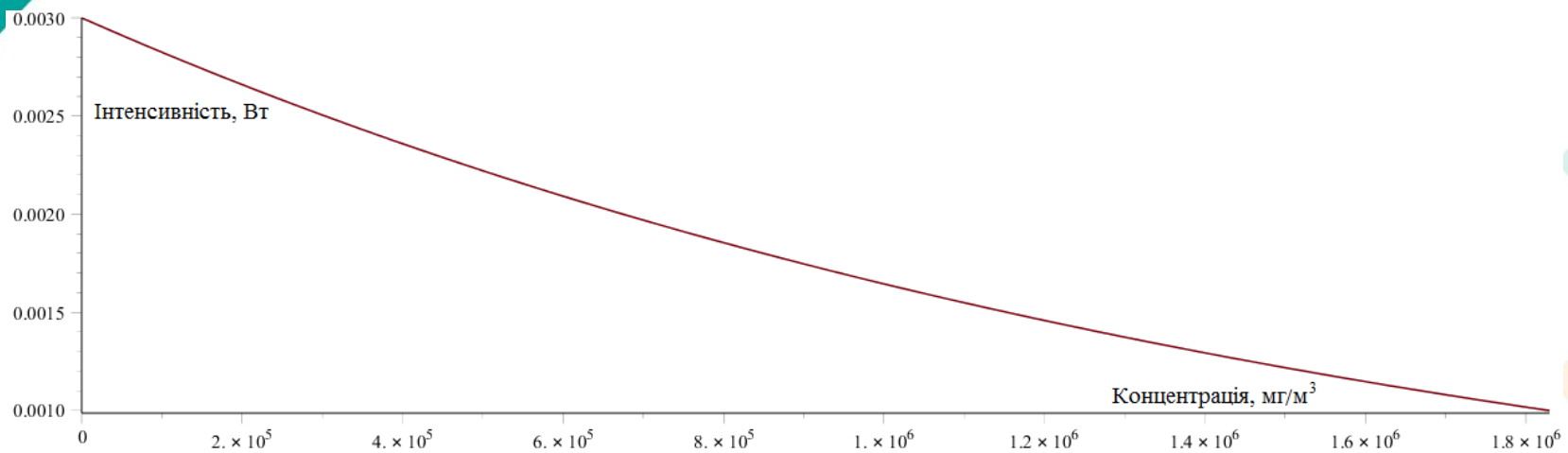


Спектр поглинання компонентів газів у атмосфері міського середовища у діапазоні 4 – 4.5 мкм

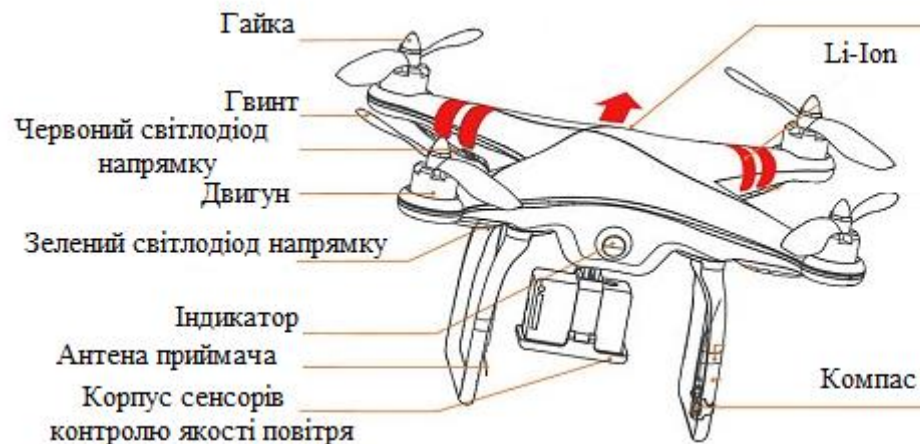
$$I_l = I_0 \cdot e^{-\varepsilon Cl}$$

де  $C$  – концентрацією газу що досліджується,  $l$  – довжиною тракту,  $\varepsilon$  – коефіцієнт послаблення.

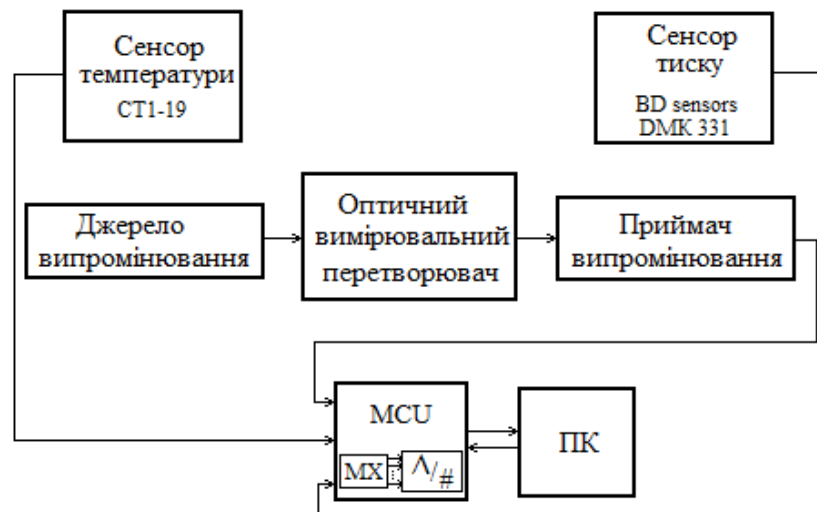
$$I_l = I_0 \cdot e^{-\frac{\int_0^{\infty} k_s(\lambda) d\lambda}{\pi} \cdot \frac{\sigma}{\sigma^2 + \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_i}\right)^2} \cdot \frac{-0,0083T}{P_0 \cdot e^{\frac{M_M \cdot g \cdot h}{R \cdot T} - P_{розр}}} \cdot \frac{C}{M} \cdot l}$$



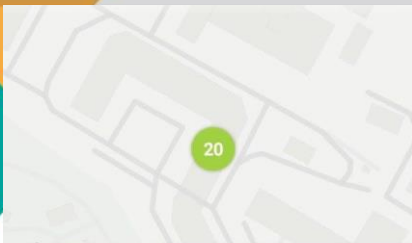
Моделювання залежності концентрації димового газу від інтенсивності (в повному діапазоні)



### Тривимірна схема квадрокоптера



Структурна схема засобу контролю концентрації двоокису вуглецю повітрі



Медіана AQI

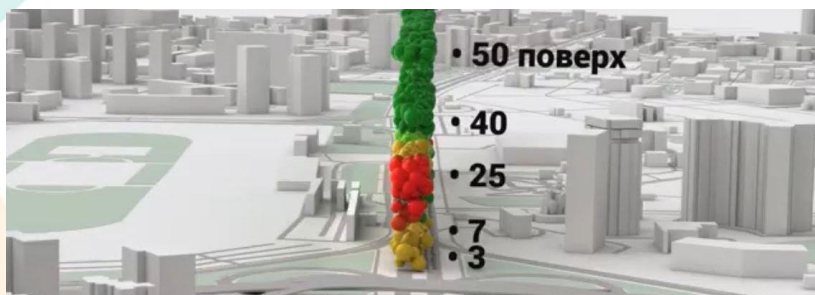
20



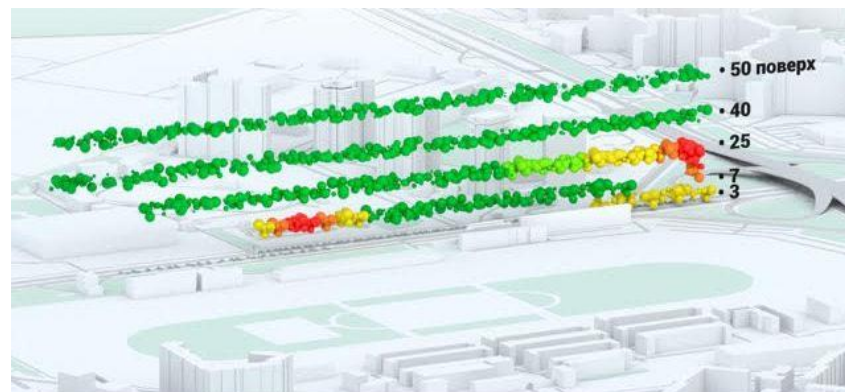
Значення AQI на карті міста



Експериментальне перехрестя, м. Вінниця



Залежність AQI від поверху



погано

добре

Залежність AQI від віддаленості контрольної точки від перехрестя

# Висновки

У магістерській роботі зроблено аналіз методів визначення концентрації газових сумішей. Здійснено огляд найбільш поширених методів газового аналізу, розглянуто їх переваги і недоліки, можливості застосування для розв'язання поставлених задач.

Проведено аналіз фізико-математичних властивостей поглинання газів інфрачервоною радіацією.

Вдосконалена математична модель перенесення випромінювання в середовище міського повітря, яка, на відміну від існуючих враховує особливості об'єкта контролю, причому у атмосферному тиску враховується висота засобу контролю над рівнем моря, що дозволило підвищити достовірність контролю.

Проведено аналіз коефіцієнту передачі оптичного вимірювального перетворювача, коефіцієнт поглинання  $\text{CO}_2$  у повітрі досліджено вплив ширини спектру приймача ІЧ випромінювання на чутливість оптичного каналу газового сенсора.

Розроблена структурна та функціональна схеми засобу контролю концентрації двоокису вуглецю у повітрі та оптичного сенсора зокрема. Представлені рекомендації для проектування засобу вимірювального контролю двоокису вуглецю у повітрі.

Реалізовано та представлено реальні моделі системи управління квадрокоптером з сенсором контролю якості повітря. Також наведено результати експериментальних досліджень, а саме визначено абсолютний показник AQI для реальних міських умов (міського середовища).

Визначено, що термін окупності  $\leq 3$ -х років, тобто фінансування даної наукової розробки в принципі є доцільним.