

Вінницький національний технічний університет  
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії  
Кафедра обчислювальної техніки

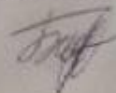
**БАКАЛАВРСЬКА ДИПЛОМНА РОБОТА**

на тему:


**Гео-інформаційна система моніторингу забруднення повітря**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

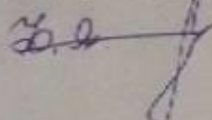
Виконав студент 4 курсу, групи 2КІ-186  
спеціальності 123 — Комп'ютерна інженерія

 Байрамян Г. Г.

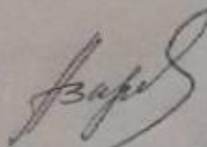
Керівник к.т.н., доц. каф. ОТ

 Кожем'яко А. В.

Рецензент кф-мн., доц., доцент каф. МБІС

 Яремчук Ю. Є.

Допущено до захисту  
д.т.н., проф. Азаров О.Д.



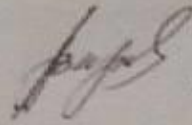
" 21 " червня 2022 р.

# ВІСНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії  
Кафедра обчислювальної техніки  
Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр  
Спеціальність – 123 Комп'ютерна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри  
обчислювальної техніки  
проф. Азареву О.Д.  
«08» 02 2022 р.



## ЗАВДАННЯ

### НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Байрамяну Григорію Гегамовичу

1 Тема роботи «Гео-інформаційна система моніторингу забруднення повітря», керівник роботи к.т.н., доц. каф. ЛОТ Кожем'яко А. В. затверджені наказом вищого навчального закладу від «24» березня 2022 року № 66.

2 Строк подання студентом проекту 21.06.2022 р.

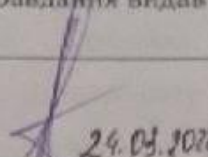
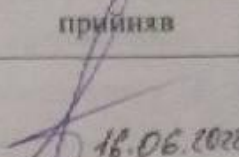
3 Вихідні дані до проекту: стандарти, монографії, підручники та наукові статті по темі. Існуюче програмне забезпечення, яке стосується теми бакалаврської дипломної роботи.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): вступ, аналіз актуальності створення та використання систем екологічного моніторингу, методи моделювання для задач вимірювання забруднення повітря в системах екомоніторингу, розробка системи екомоніторингу для гео-інформаційної системи, моделювання системи для аналізу та відображення даних забруднення.

5 Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): система екологічного моніторингу в режимі реального часу, пристрій екологічного моніторингу в режимі реального часу, пристрій екологічного моніторингу в режимі реального часу, схема електрична функціональна.

6 Консультанти розділів роботи приведені в таблиці 1.

Таблиця 1 — Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-4	Кожем'яко А.В., к.т.н., доц, каф. ОТ	 24.03.2022р	 16.06.2022р

7 Дата видачі завдання «24» березня 2022 р.

8 Календарний план виконання БДР приведені в таблиці 2.

Таблиця 2 — Календарний план виконання БДР

№ з/п	Назва етапів БДР	Строк виконання	Примітка
1	Визначення напрямку бакалаврської роботи, формулювання теми	25 березня – 3 квітня 2022 р.	Виконав
2	Аналіз предметної області обраної теми	5-25 квітня 2022 р.	Виконав
3	Розробка алгоритму роботи	26-30 квітня 2022 р.	Виконав
4	Написання бакалаврської роботи на основі розробленої теми	1-17 травня 2022 р.	Виконав
5	Передзахист бакалаврської дипломної роботи	18-19 травня 2022 р.	Виконав
6	Виправлення, уточнення, корегування бакалаврської дипломної роботи	20 травня – 20 червня 2022 р.	Виконав
7	Захист бакалаврської дипломної роботи	21 червня 2022 р.	Виконав

Студент

Байрамян Г. Г.

Керівник роботи

Кожем'яко А. В.

## АНОТАЦІЯ

Байрамян Г.Г. гео-інформаційна система моніторингу забруднення повітря. Бакалаврська дипломна робота складається з 86 сторінок формату А4, на яких є 26 рисунків, 4 таблиці, список використаних джерел містить 29 найменувань.

Метою роботи є підвищення ефективності сучасних гео-інформаційних екомоніторингових систем за рахунок застосування датчиків вимірювання забруднення, а також обробку та візуалізацію даних в мережі Інтернету.

У загальній частині роботи розглянуто особливості побудови сучасних гео-інформаційних систем, а також обґрунтована доцільність їх розробки. У розрахунково-конструкторській частині виконано моделювання роботи розподіленої оптоелектронної системи екологічного моніторингу в режимі реального часу, яка поєднує систему датчиків моніторингу навколишнього середовища, математичну обробку їх даних, візуалізацію та аналіз набору даних, що були зібрані у ході цієї роботи.

Ключові слова: гео-інформаційні, екологічний моніторинг, забруднення повітря.

## **ABSTRACT**

Bairamian H.H. Air-information monitoring system. The bachelor's thesis consists of 86 A4 pages, which have 26 figures, 4 tables, a list of sources used contains 29 titles.

The aim of the work is to increase the efficiency of modern geo-information eco-monitoring systems through the use of sensors for measuring pollution, as well as data processing and visualization on the Internet.

In the general part of the work the peculiarities of construction of modern geo-information systems are considered, as well as the expediency of their development is substantiated. The computational and design part simulates the operation of a distributed optoelectronic environmental monitoring system in real time, which combines a system of environmental monitoring sensors, mathematical processing of their data, visualization and analysis of data sets collected during this work.

Key words: geo-information, ecological monitoring, air pollution.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	<b>8</b>
<b>1 АНАЛІЗ АКТУАЛЬНОСТІ СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ</b> .....	<b>11</b>
1.1 Сучасні тенденції застосування ГІС для екологічних потреб .....	11
1.2 Структура гео-інформаційних процесів в засобах екологічного моніторингу .....	12
1.3 Визначення основних параметрів екологічних показників, які впливають на стан здоров'я людей .....	14
1.4 Первинні та вторинні забруднювачі.....	19
1.5 Класифікації забруднювачів повітря та тенденції їх розповсюдження..	20
<b>2 МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ВИМІРЮВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ В СИСТЕМАХ ЕКОМОНІТОРИНГУ</b> .....	<b>22</b>
2.1 Аналіз методів екомоніторингу навколишнього середовища .....	22
2.2 Класифікації методів поширення забруднення повітря .....	25
2.3 Кореляційний аналіз та аналіз даних .....	27
2.4 Моделювання дисперсії повітря .....	29
2.5 Визначення моделей, що описують атмосферні процеси .....	31
<b>3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕКОМОНІТОРИНГУ ДЛЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ</b> .....	<b>38</b>
3.1 Принцип роботи запропонованої моделі .....	38
3.2 Сенсори системи моніторингу .....	40
<b>4 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА ВІДОБРАЖЕННЯ ДАНИХ ЗАБРУДНЕННЯ</b> .....	<b>54</b>
4.1 Оцінювання технології для мережевих датчиків навколишнього середовища .....	54

					08-23.БДР.025.00.000 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>	Байрамян Г. Г.				Гео-інформаційна система моніторингу забруднення повітря.  Пояснювальна записка	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Керівник</i>	Кожем'яко А. В.					7	86	
<i>Рецензент</i>	Яремчук Ю. Є.					ВНТУ, гр. 2КІ-186		
<i>Н.контр.</i>	Швець С. І.							
<i>Затвердж.</i>	Азаров О.Д							

4.2 Моделі зберігання отриманих даних.....	55
4.3 Багатокористувацькі архітектури.....	56
4.4 Проектування системи .....	57
4.5 Опис роботи системи .....	61
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	64
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ</b> .....	65
<b>ДОДАТОК А</b> Технічне завдання .....	68
<b>ДОДАТОК Б</b> Система екологічного моніторингу в режимі реального часу .....	72
<b>ДОДАТОК В</b> Схема електрична принципова пристрою екологічного моніторингу в режимі реального часу .....	73
<b>ДОДАТОК Г</b> Пристрій екологічного моніторингу в режимі реального часу .....	74
<b>ДОДАТОК Д</b> Лістинг програми .....	75
<b>ДОДАТОК Е</b> Перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень .....	86

## ВСТУП

Повітря є одним із найважливіших елементів навколишнього середовища людини. Земна атмосфера насичена повітрям, яке містить такі гази, як азот, кисень, чадний газ і сліди деяких рідкісних елементів. Людям потрібна атмосфера повітря, яка не містить забруднювачів. Це дуже важливо для життя та здоров'я людини. Будь-яка зміна природного складу повітря може завдати серйозної шкоди формам життя на землі. Забруднення повітря – це наявність в атмосфері одного або кількох забруднюючих речовин, таких як гази, у кількості, яка може завдати шкоди людям, тваринам і рослинам [1]. Забруднювачі повітря вимірюються в частинах на мільйон (PPM) або мк/м<sup>3</sup> [2].

Забруднення повітря є причиною смерті 7 мільйонів людей у всьому світі щороку або кожної восьми передчасної смерті щорічно [5]. Майже 570 000 дітей у віці до п'яти років щороку помирають від респіраторної інфекції, пов'язаної із забрудненням у приміщенні/зовні приміщення та пасивним курінням [6]. Діти, які піддаються впливу забрудненого повітря, мають підвищений ризик розвитку хронічних респіраторних проблем, таких як астма. У рамках моніторингу забруднення повітря кілька дослідників у всьому світі розробили моделі для моніторингу багатьох забруднюючих газів, таких як двоокис сірки (SO<sub>2</sub>), монооксид вуглецю (CO), двоокис вуглецю (CO<sub>2</sub>), оксиди азоту (NO) тощо.

Розробка та впровадження розумної системи моніторингу забруднень повітря дозволить контролювати рівень забруднюючих речовин у повітрі за допомогою датчика газу, мікроконтролера Arduino та мережевого модуля. Основою розробки є розумна системи моніторингу забруднення повітря, яка може контролювати, аналізувати та реєструвати дані про якість повітря на віддаленому сервері та підтримувати дані в актуальному стані через Інтернет.

**Актуальність** обраної теми обумовлено тим, що чисте повітря має важливе значення для нашого власного здоров'я та навколишнього



середовища. Але після промислової революції якість повітря, яким ми дихаємо, значно погіршилася — в основному в результаті діяльності людини. Турбота про чисте довкілля та здоров'я людей в останні десятиліття привела до суттєвого покращення якості повітря. Однак забруднення існує, особливо у великих містах і навколо них, люди постійно піддаються небезпеці для здоров'я. Потреба в просторово чітких даних для використання в ГІС-аналізі ще більше зростає вибір даних. В інших випадках оцінюють дані екологічного моніторингу з метою вивчення наукової теорії, а бенефіціари послуг не мають першочергового значення або навіть не визначаються. Різноманітність індикаторів, що використовуються для розробки карт у ГІС, свідчать про те, що їх контекстна релевантність та кінцева мета можуть бути важливішими, ніж послідовність у їх використанні

**Метою роботи** є підвищення ефективності сучасних геоінформаційних еко-моніторингових систем за рахунок застосування датчиків вимірювання забруднення, а також обробку та візуалізацію даних в мережі Інтернет.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз сучасного стану розвитку систем екологічного моніторингу, зокрема із доступом в Інтернет;
- охарактеризувати елементи та процеси вимірювання забруднення;
- провести розрахунки та аналіз вимірювань;
- виконати комп'ютерне моделювання проекту системи, рекомендації щодо раціональної організації роботи системи для екологічного моніторингу.

**Об'єкт дослідження** — система екологічного моніторингу забруднення повітря.

**Предмет дослідження** — методи та засоби розробки геоінформаційних систем для контролю забруднення повітря.

**Методи дослідження** базуються на методах математичного та програмного моделювання.

**Науково-технічний результат дослідження** полягає в тому що на основі теоретичних положень та підходів до створення гео-інформаційних систем розроблено методику застосування датчиків вимірювання забруднення повітря; виконано комп'ютерне моделювання проекту такої системи. Основні теоретичні, розрахункові та експериментальні результати з формулюванням відповідних висновків отримані автором самостійно.

# 1 АНАЛІЗ АКТУАЛЬНОСТІ СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

## 1.1 Сучасні тенденції застосування ГІС для екологічних потреб

Деякі сучасні вчені описали критичну залежність суспільства від природних благ і процесів. Однак переваги, які люди отримують від екосистем, стали ширше вивчатися після публікацій сучасних зарубіжних та вітчизняних дослідників [1]. У 2005 році вийшла фундаментальне дослідження - «Оцінка екосистем тисячоліття» (МЕА), комплексна доповідь про наслідки зміни екосистеми для добробуту людей, додатково пропагувала та визначала концепцію еко системних послуг.

Було проаналізовано еко системні проблеми в чотири категорії:

- послуги забезпечення, такі як їжа, вода, деревина та інше;
- регулювання послуг, які впливають на клімат, повені, хвороби, відходи та якість повітря та води;
- культурні послуги, що забезпечують відпочинок, естетичні та духовні переваги;
- допоміжні послуги, такі як формування ґрунту, фотосинтез і кругообіг поживних речовин.

Ці чотири категорії послуг сприяють різноманітним вимірам людського благополуччя, включаючи основні матеріали для життя, здоров'я, безпеки, соціальних відносин та свободи вибору та дій. Автори дійшли висновку, що за останні 50 років люди змінили екосистеми швидше та масштабніше, ніж за будь-який подібний період в історії людства, погіршивши 15 з 24 досліджених екосистемних послуг. Наслідки цієї деградації для добробуту людини були добре задокументовані в деяких контекстах, але складний зв'язок між змінами в екосистемних послугах і різноманітними вимірами добробуту людини виявилось досить складним для оцінки.

Люди погіршують екосистеми частково через стимули перетворювати природні землі на землі для сільховикористання, а державні та приватні

вигоди від природного капіталу та його потоків пов'язаних з ним екосистемних послуг рідко входять до рівняння для прийняття рішень. Для кращого розуміння того, як зміни в екосистемах впливають на надання послуг, потрібна поточна та надійна інформація.

Оскільки екосистеми неоднорідні, а надання екосистемних послуг різняться в просторі та часі, географічні інформаційні системи (ГІС) надають потужний інструмент для візуалізації та аналізу даних. Крім того, поширення вільно доступних супутникових зображень і пов'язаних з ними баз даних дозволяє проводити ГІС-аналіз екосистемних послуг у тих районах світу, де доступні лише деякі інші форми даних. ГІС можна використовувати для візуалізації того, як екосистемні послуги розподіляються по ландшафту, для порівняння розподілу різноманітних екосистемних послуг із чинниками змін та іншими соціально-екологічними параметрами, а також для моделювання змін у використанні землі або земельному покриві, землеустрою, екосистемі. кліматичні умови, а також людські популяції впливають на надання екосистемних послуг, а також на вартість і використання послуг.

## 1.2 Структура гео-інформаційних процесів в засобах екологічного моніторингу

ГІС мають параметри, що дозволяє вважати цю технологію основною для багатьох цілей обробки і управління екологічною інформацією. Ці засоби кращі, ніж можливості звичайних картографічних систем, тому що містять основні методи отримання сучасних високоякісних карт і планів. У самій концепції таких систем закладені можливості збору, зберігання та аналізу будь-яких даних, які є статичними або динамічними.

Було проведено широке дослідження щодо картографування та моделювання процесів, структури та складу екосистеми, і з міркувань практичності всі ці показники використовувалися для оцінки екосистемних послуг, оскільки відповідні дані та моделі часто недоступні. Оскільки екосистеми є одними з основних ландшафтних одиниць, перед

картографуванням екосистемних послуг часто важливо зрозуміти їх фактичне поширення або виникнення, представлене первинними даними. Хоча карти, засновані на таких даних, корисні для відображення широкомасштабних моделей екосистем послуг, оскільки карти погано відповідають фактичним даним, вони менш корисні для визначення пріоритетних територій. Не існує універсального підходу до картографування або оцінки екосистем, оскільки можуть бути більш-менш пов'язані з окремими її частинами і часто визначаються унікальним чином у певних контекстах. Нові моделі намагаються включити як надання, так і пов'язані з ними переваги і мають багато перспектив для підтримки складних рішень щодо управління та збереження екології. Можливо розглядати різні способи використання ГІС для оцінки екосистем, а також як інформація, отримана за допомогою різних підходів, може бути більш-менш корисною для прийняття різних типів рішень.

Підходи до оцінки екологічних станів з використанням ГІС включають:

- розробку «статичних» оцінок або значень, керованих даними, які представляють моментальний знімок поточних або минулих станів;
- розробка моделей екосистемних послуг, які можна використовувати для аналізу того, як зміни впливають на надання екосистемних послуг і переваг;
- розробка моделей і підходів, які підкреслюють соціальні переваги та встановлення пріоритетів для управління екосистемними послугами.

Значення екологічних показників вибираються та наносяться на карту, щоб зрозуміти, де вони визначити розташування «гарячих точок» і порівняти розподіл з іншими даними кількох показників, щоб краще зрозуміти загальний стан міст або селищ. Ці зіставлені показники є «статичними» розподілами (тобто оцінками, отриманими від даних, на відміну від моделей). Кожен індикатор значень наноситься на карту з обраною просторовою роздільною здатністю, використовуючи межі, які є довільними (наприклад, растрова сітка), екологічними (наприклад, вододіл) або соціальними

(наприклад, одиниці перепису). Вчені намагалися визначити кількісну оцінку екосистемних послуг, використовуючи послідовні, порівнянні підходи.

Потреба в просторово чітких даних для використання в ГІС-аналізі ще більше звужує вибір даних. В інших випадках оцінюють дані екологічного моніторингу з метою вивчення наукової теорії, а бенефіціари послуг не мають першочергового значення або навіть не визначаються. Різноманітність індикаторів, що використовуються для розробки поточних та історичних карт у ГІС, свідчать про те, що їх контекстна релевантність та кінцева мета можуть бути важливішими, ніж послідовність у їх використанні.

1.3 Визначення основних параметрів екологічних показників, які впливають на стан здоров'я людей

Чисте повітря має важливе значення для нашого власного здоров'я та навколишнього середовища. Але після промислової революції якість повітря, яким ми дихаємо, значно погіршилася – в основному в результаті діяльності людини [1], [2]. Турбота про чисте довкілля та здоров'я людей в останні десятиліття привела до суттєвого покращення якості повітря. Однак забруднення існує, особливо у великих містах і навколо них, люди постійно піддаються небезпеці для здоров'я.

Якість повітря визначається викидами в атмосферне повітря як від стаціонарних джерел, так і від пересувних (переважно автомобільного транспорту), а також від транспортування забруднюючих речовин на великі відстані, що дуже часто перевищують межі, що встановлені законодавством. Також якість повітря визначається викидами промисловості, сільське господарство, виробництво енергії або стихійні лиха та автомобільного і повітряного транспорту. Після викиду забруднювачі швидко розсіюються в атмосферу, залежно від погодних умов (стану атмосфери в певний час і місце) [11]. Первинні забруднювачі викидаються безпосередньо в атмосферу. Вторинні забруднювачі утворюються, коли первинний забруднювач реагує з іншими хімічними речовинами атмосфери [3]. Якість повітря впливає на

здоров'я населення. Вплив забруднення повітря варіюється від утруднення дихання, кашлю, загострення астми та емфіземи [4]. Забруднене повітря, через смог також може погіршити видимість для водіїв.



Рисунок 1.1 – Джерела і наслідки забруднення повітря

Вітер (викликаний зміною тиску), температура та стабільність атмосфери є основними факторами, які впливають на транспортування та розсіювання основних забруднюючих речовин, окрім клімату, географічних умов, сонячної радіації, опадів та вологості.

Багато хімічних реакцій відбуваються під час цієї дисперсії, утворюючи більш стабільні сполуки, які можна виявити та проаналізувати на станціях моніторингу[12]. Це «емісії», забруднювачі, якими ми вдихаємо або які відкладаються на землі, епідеміологічні дослідження, що показують зв'язок між ними та ризиками для здоров'я населення.

Оцінка якості повітря зазвичай базується на даних моніторингу. Періодичні вимірювання є обов'язковими в більшості країн для визначення якості атмосферного повітря (мережі моніторингу якості повітря)[13].

Забруднення повітря і, зокрема, міського повітря залишаються тривожними. Дійсно, вплив забруднювачів повітря може призвести до зростання не тільки захворюваності, але й смертності. Навіть якщо був досягнутий значний прогрес у скороченні викидів промислових джерел, при істотному зниженні концентрації SO<sub>2</sub>, автомобільний рух став першим джерелом викидів у міських районах з подальшим збільшенням забруднення повітря фотоокисниками.

Таким чином, необхідна розробка альтернативних видів палива та типів двигунів, які можуть зменшити викиди забруднюючих речовин, а також використання громадського транспорту чи велосипедів, наприклад. Крім того, урядам необхідно прийняти важливі рішення для зменшення забруднення повітря та його небезпечного впливу на здоров'я та навколишнє середовище. Потрібні нові дослідження довгострокового впливу низьких доз забруднювачів повітря, включаючи важливі партнерські відносини між епідеміологами, токсикологами, метеорологами, хіміками, фізиками та біологами.

Сучасна атмосфера за хімічним складом значно відрізняється від природної атмосфери, яка існувала до промислової революції (близько 1760 р.). Якщо природна атмосфера вважається «чистою», то це означає, що чисте повітря не зустрічається ніде в сучасній атмосфері.

Хімічний склад доіндустріальної (тобто до 18 століття) природної глобальної атмосфери порівняно з сучасним складом у табл. 1.1.

Визначити поняття «забруднення повітря» непросто. Можна стверджувати, що забруднення повітря почалося, коли люди почали спалювати паливо. Іншими словами, всі техногенні (антропогенні) викиди в повітря можна назвати забрудненням повітря, оскільки вони змінюють хімічний склад природної атмосфери. Збільшення глобальних концентрацій



парникових газів CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> і N<sub>2</sub>O (показано в табл.1.1) можна назвати забрудненням повітря за допомогою цього підходу, хоча концентрації не виявлено токсичними для людей та екосистеми.

Таблиця 1.1 — Хімічний склад атмосфери

Газ	Позначення	Відсоток за обсягом (атмосфера)	ppm (Природня атмосфера)	ppm (Поточна атмосфера)
Азот	N <sub>2</sub>	78.1		
Кисень	O <sub>2</sub>	20.9		
Аргон	Ar	0.92		
Неон	Ne		18.2	
Гелій	He		5.2	
Криптон	Kr		1.14	
Ксенон	Xe		0.09	
Вуглецевий газ	CO <sub>2</sub>		280.0	370.0
Метан	CH <sub>4</sub>		0.750	1.77
Оксид азоту	N <sub>2</sub> O		0.270	0.318
Водяна пара	H <sub>2</sub> O	0.04-4		

Можна уточнити цей підхід і вважати забрудненням повітря лише антропогенні викиди шкідливих хімічних речовин. Однак цей підхід має деякі недоліки. По-перше, потрібно визначити, що означає «шкідливий». «Шкідливий» може означати несприятливий вплив на здоров'я живих істот, негативний вплив на антропогенні чи природні неживі споруди або погіршення видимості повітря. Крім того, хімічна речовина, яка не викликає короточасних шкідливих ефектів, може накопичуватися в атмосфері і створювати довготривалий шкідливий ефект. Наприклад, антропогенні викиди хлорфторуглеродів (CFC) колись вважалися безпечними, оскільки вони інертні в нижній частині атмосфери, яка називається тропосферою. Однак, як тільки ці хімічні речовини потрапляють у стратосферу, ультрафіолетове випромінювання може перетворити їх у високореактивні речовини, які можуть мати руйнівний вплив на стратосферний озон. Аналогічно антропогенні викиди CO<sub>2</sub> від процесів горіння вважалися

безпечними, оскільки вони не є токсичними, але тривале накопичення  $\text{CO}_2$  в атмосфері може призвести до зміни клімату, що може бути шкідливим для людей та екосистеми.

Іншим недоліком цього підходу є те, що він не розглядає природні викиди як забруднення повітря, хоча вони можуть бути дуже шкідливими, наприклад, гази та частинки від вивержень вулканів, а також дим від лісових пожеж, спричинених природними процесами (удари блискавки).

Тому, окрім антропогенних викидів, корисно також враховувати геогенні викиди та біогенні викиди як чинники забруднення повітря. Геогенні викиди визначаються як викиди, спричинені неживим світом, наприклад, викиди вулканів, викиди морської солі та природні пожежі. Біогенні викиди надходять із живого світу; наприклад, викиди летких органічних сполук (ЛОС) з лісів та викиди  $\text{CH}_4$  з боліт.

Діяльність людини також може впливати на геогенні та біогенні викиди. Наприклад, застосування людиною азотних добрив у сільському господарстві може призвести до збільшення біогенних викидів азотних сполук із ґрунту. Крім того, люди можуть впливати на біогенні викиди ЛОС, вирубуючи дерева або висаджуючи дерева. Нарешті, геогенні викиди пилу з земної поверхні можуть бути змінені, якщо поверхня змінюється діяльністю людини. Отже, беручи до уваги все вищесказане, ми можемо визначити «забруднювач повітря» як будь-яку речовину, що викидається в повітря з антропогенного, біогенного або геогенного джерела, яка або не є частиною природної атмосфери, або присутня у вищих концентраціях, ніж природної атмосфери і може викликати короточасний або довготривалий негативний ефект.

#### 1.4 Первинні та вторинні забруднювачі

Забруднюючі речовини можна класифікувати як первинні та вторинні. Первинні забруднювачі – це речовини, які безпосередньо викидаються в атмосферу з джерел. Основними забруднювачами, які, як відомо, завдають шкоди у досить високих концентраціях, є:

- сполуки вуглецю, такі як CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> та ЛОС;
- сполуки азоту, такі як NO, N<sub>2</sub>O та NH<sub>3</sub>;
- сполуки сірки, такі як H<sub>2</sub>S і SO<sub>2</sub>;
- сполуки галогенів, такі як хлориди, фториди;
- тверді частинки (PM або «аерозолі»), у твердій або рідкій формі, які

зазвичай поділяються на ці групи на основі аеродинамічного діаметру частинок.

Частинки бувають менше 100 мікрон, які також називають «вдихальними», оскільки вони легко можуть потрапити в ніс і рот. Частинки розміром менше 10 мікрон (PM10, часто позначаються як «дрібнодисперсні»). Ці частинки також називають «грудними», оскільки вони можуть проникати глибоко в дихальну систему. Частинки розміром менше 4 мікрон, вони досить малі, щоб повністю пройти через дихальну систему і потрапити в кров. Частинки розміром менше 2,5 мкм (PM2.5). Частинки розміром менше 0,1 мкм (PM0,1, «ультратонкий»).

Вторинні забруднювачі не викидаються безпосередньо з джерел, а замість цього утворюються в атмосфері з первинних забруднювачів (також званих «попередниками»). Основними вторинними забруднювачами, які, як відомо, завдають шкоди у досить високих концентраціях, є:

- NO<sub>2</sub> та HNO<sub>3</sub>, що утворюються з NO;
- озон (O<sub>3</sub>), що утворюється в результаті фотохімічних реакцій оксидів азоту та ЛОС;
- краплини сірчаної кислоти, що утворюються з SO<sub>2</sub>, та краплі азотної кислоти, що утворюються з NO<sub>2</sub>;

— сульфати та аерозолі нітратів (наприклад, (бі)сульфат амонію та нітрат амонію), що утворюються в результаті реакцій крапель сірчаної кислоти та крапель азотної кислоти з  $\text{NH}_3$  відповідно;

— органічні аерозолі, що утворюються з ЛОС у реакціях газ-частка.

У 20 столітті було визнано, що нафтопродукти є відповідальними за новий тип «смогу», фотохімічного літнього смогу, що складається з вторинних забруднюючих речовин, таких як озон, який значно відрізняється від зимового сірчаного смогу, описаного раніше. Після десятиліть досліджень смог був ідентифікований як продукт фотохімічних реакцій за участю «прекурсорів (оксидів азоту та ЛОС) і сонячного світла з утворенням озону та інших вторинних хімічних речовин. У той час як оксиди азоту виділяються різними джерелами, автомобілі здебільшого виділяють ЛОС, незважаючи на те, що внесок можна знайти від рослинності та звичайної діяльності людини, наприклад, пекарні.

Деякі вторинні забруднювачі – сульфати, нітрати та органічні частинки – можуть транспортуватися на великі відстані, наприклад, сотні і навіть тисячі миль. Вологе та сухе осадження цих забруднюючих речовин сприяє проблемі «кислотних осадів» (часто званого «кислотними дощами»), з можливим пошкодженням ґрунтів, рослинності та вразливих озер.

### 1.5 Класифікації забруднювачів повітря та тенденції їх розповсюдження

Як зазначено вище, існує 6 основних або «критеріальних» забруднювачів, що регулюються більшістю країн світу:

— загальна кількість зважених частинок (ЗЧ) з додатковими підкатегоріями частинки діаметром менше 10 мкм (PM10) і частинки менше 2,5 мкм в діаметрі (PM2,5), ЗЧ можуть існувати в твердій або рідкій формі і включають дим, пил, аерозолі, оксиди металів і пилок, джерела ЗЧ включають горіння, фабрики, будівництво, знесення, сільськогосподарську

діяльність, транспортні засоби та спалювання деревини, вдихання достатньої кількості РМ з часом збільшує ризик хронічних респіраторних захворювань;

— діоксид сірки ( $\text{SO}_2$ ) — ця сполука безбарвна, але має задушливий різкий запах, основним джерелом  $\text{SO}_2$  є спалювання палива, що містить сірку (наприклад, нафти та вугілля), вплив  $\text{SO}_2$  може спричинити подразнення легеневих тканин і пошкодити здоров'я та матеріали;

— оксиди азоту ( $\text{NO}$  і  $\text{NO}_2$ ).  $\text{NO}_2$  — газ червонувато-коричневого кольору з різким запахом, основним джерелом цього газу є рух транспортних засобів, і він відіграє роль у формуванні тропосферного озону, великі концентрації можуть зменшити видимість і підвищити ризик гострих і хронічних респіраторних захворювань.

— окис вуглецю ( $\text{CO}$ ) — це безбарвний газ без запаху утворюється в результаті неповного згоряння палива, таким чином, найбільшим джерелом  $\text{CO}$  сьогодні є автотранспорт, вдихання  $\text{CO}$  зменшує кількість кисню в крові, а високі концентрації можуть призвести до головного болю, запаморочення, втрати свідомості та смерті.

— озон ( $\text{O}_3$ ) — тропосферний («низькорівневий») озон є вторинним забруднювачем, що утворюється, коли сонячне світло викликає фотохімічні реакції за участю ЛОС, автомобілі є найбільшим джерелом ЛОС, необхідних для цих реакцій, концентрація озону, як правило, досягає свого піку в другій половині дня і може викликати подразнення очей, загострення респіраторних захворювань і пошкодження рослин і тварин.

— свинець ( $\text{Pb}$ ) — це найбільшим джерелом свинцю в атмосфері є спалювання свинцю, але з поступовим виведенням свинцю з бензину в усьому світі рівень  $\text{Pb}$  в повітрі значно знизився, інші джерела, що переносяться в повітря, включають спалювання твердих відходів, вугілля та нафти, викиди від виробництва чавуну та сталі та виплавки свинцю, а також тютюновий дим, вплив  $\text{Pb}$  може вплинути на кров, нирки, нервову, імунну, серцево-судинну та репродуктивну системи.

## 2 МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ВИМІРЮВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ В СИСТЕМАХ ЕКОМОНІТОРИНГУ

### 2.1 Аналіз методів екомоніторингу навколишнього середовища

Визначення забруднення повітря є складним процесом. Він охоплює транспортування та дифузію забруднення в атмосфері, його сухе та вологе осадження та хімічні реакції. Розсіювання забруднення в атмосфері залежить від особливостей забруднюючих речовин, метеорологічних, емісійних і рельєфних умов. Для опису дисперсії забруднення повітря розроблено фізичні та математичні моделі. Фізичні моделі — це дрібномасштабні уявлення про атмосферний потік, що здійснюються в аеродинамічних трубах або гідравлічних резервуарах. Математичні моделі поділяються на імітаційні (детерміновані) та емпіричні (статистичні). Емпіричні моделі засновані на аналізі даних минулого моніторингу якості повітря. Математичні імітаційні моделі засновані на математичному описі фізичних і хімічних процесів, що відбуваються в атмосфері.

Математичні рівняння виражають закони збереження маси, імпульсу, енергії, води та речовини. Описано математичні детерміновані моделі розсіювання забруднення повітря. Їх можна згрупувати в класи за різними критеріями. Часто використовуються просторовий масштаб, часовий масштаб, тип забруднювача, тип джерела викидів або математичні принципи. З урахуванням типу системи координат виділяють лагранжеву та ейлереву моделі. У моделях Лагранжа дисперсія забруднення повітря описується в системі координат, що рухається разом з повітряними масами. У моделях Ейлера використовується система координат, закріплена на землі. З практичних міркувань гауссові моделі відокремлені від лагранжевих моделей. Методи вимірювання забруднюючих речовин, що підлягають моніторингу, їх граничні значення, пороги попередження та критерії мають відповідати вимогам українських та європейських правил. Сучасні системи моніторингу якості повітря виконують безперервні вимірювання діоксиду

сірки ( $\text{SO}_2$ ), оксидів азоту ( $\text{N}_{\text{ox}}$ ), монооксид вуглецю ( $\text{CO}$ ), озон ( $\text{O}_3$ ), тверді частки ( $\text{PM}_{10}$  і  $\text{PM}_{2,5}$ ), бензол ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) і свинець ( $\text{Pb}$ ).

В даний час функціонують станції моніторингу якості повітря (міського, промислового, транспортного або регіонального), оснащених автоматичними вимірювальними приладами (на основі ІЧ-недисперсійної спектроскопії, хемілюмінесценції, УФ-флуоресценції, селективного горіння та виявлення за допомогою іонізації полум'я).

Система моніторингу дозволяє місцевим органам охорони навколишнього середовища:

- оцінювати, знати та інформувати громадськість та інші органи та установи про якість повітря;

- своєчасно вживати заходів щодо зменшення та/або ліквідації епізодів забруднення у разі виникнення надзвичайної ситуації;

- запобігти випадковому забрудненню;

- попереджати та захищати населення у разі надзвичайної ситуації.

Забруднення повітря є одним із найпомітніших у світі наслідків урбанізації та розвитку транспорту. Україна, як один з основних виробників вугілля через переважання застарілих будинкових печей для спалювання вугілля, перевищує допустимі концентрації твердих забруднювачів повітря [1,2]. Крім того, спалювання відходів у побутових печах створює низькі викиди канцерогенних забруднюючих речовин, тобто бензопірену та  $\text{PM}_{2,5}$  (частинки 2,5 мкм у діаметрі). Основною причиною такого рівня забруднення є рівень енергетичної бідності, який, на жаль, є високим у порівнянні з західними країнами ЄС. Перевищення спостерігається особливо під час опалювального сезону, тобто в період з жовтня по березень, коли найбільш часто виникає смог від збільшення викидів, незважаючи на величезні витрати на охорону навколишнього середовища за останні роки. Рівні твердих забруднювачів все ще перевищують допустимі значення, визначені відповідними законодавчими регуляторами, іноді в кілька разів. У

країні державний моніторинг довкілля охоплює всю країну, з особливим акцентом на місцях, де часто перевищується допустимий рівень забруднення.

Рівні окремих частинок у повітрі оцінюються на основі безперервного автоматичного або ручного вимірювання, що проводиться відповідно до прийнятих еталонних методів у фіксованих точках вимірювання, які є найбільш підходящими для вибраної області. Протягом останніх років можна було спостерігати зростання активності суспільства щодо забруднення повітря, особливо у високорозвинених, густонаселених регіонах.

У нашій країні смог під час опалювального сезону досить частий. Шкідливість забруднювачів повітря для людини добре відома і була предметом багатьох наукових публікацій, які описують наслідки вдихання забрудненого повітря протягом тривалого часу.

Запропонований статистичний аналіз моделей та їхніх коефіцієнтів та кореляція з такими параметрами, як температура чи швидкість вітру, дозволяє оцінити зміни значень забруднення повітря у світлі вжитих заходів та незалежних природних факторів. Попри державні ініціативи змінити існуючу ситуацію, ймовірно, періоди перевищення допустимих рівнів все ж будуть.

Найбільш уразливими до ризиків, пов'язаних із вдиханням забрудненого повітря, є люди похилого віку, діти та люди з діагностованими захворюваннями органів дихання, кровообігу та нервової системи. Постійний вплив забруднення може призвести до госпіталізації, а в деяких випадках і до смерті. У разі смогу, бажано ще до його появи, доцільно інформувати громадськість через засоби масової інформації про пов'язані з ним небезпеки. Для цієї мети також можна використовувати стохастичні моделі, що оцінюють концентрації забруднення у вибраному районі.

Тому з точки зору профілактики та попередження важливо розробити найкращі статистичні моделі для прогнозування концентрацій газоподібних забруднюючих речовин (CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) або твердих забруднюючих речовин (PM<sub>2,5</sub> та PM<sub>10</sub>). У статистичних моделях змінними зазвичай є



концентрації вибраних забруднювачів за попередній день (тобто «фонові» концентрації) та метеорологічні умови, головним чином температура, сила і напрям вітру, вологість повітря та опади. Варто зазначити, що концентрації в повітрі зазвичай стохастичні.

Зростання концентрації пилу, зокрема  $PM_{2,5}$ , також має великий вплив на утворення смогу. Розроблені моделі пилу дозволили перевірити та проаналізувати прийняті модельні форми та порівняти їх коефіцієнти з опалювальними сезонами.

## 2.2 Класифікації методів поширення забруднення повітря

Загалом моделі забруднення повітря можна розділити відповідно до діаграми на рис. 2 1.

Моделі концентрації забруднення повітря були предметом багатьох досліджень, результати яких були реалізовані в міських районах із задовільними результатами. Серед цих робіт є Стокгольмська модель, представлена в [11], і Віденська модель [12]. Серед інших, використовують дисперсійні моделі та їх застосування для прогнозування забруднення повітря [13] для дотримання європейських норм викидів.

Крім того, представлено методологію застосування дисперсійних моделей для вологого осадження забруднюючих речовин атмосфери [16]. Такі моделі включають модель транспорту та викидів сірки (STEM II) [17], регіональну модель атмосферного осадження RADM [18] та модель окислення атмосферного осадження ADOM [19].

Крім того, застосування ейлерової моделі було представлено в [20]. Моделювання впливу двоокису сірки на якість повітря також було основним питанням у [21,22]. Використання географічної інформаційної системи (ГІС) для контролю транспортування забруднювачів повітря, включаючи застосування раніше розроблених моделей, було в [25]. У багатьох роботах обговорювалися різні вдосконалення запропонованих моделей дисперсії.

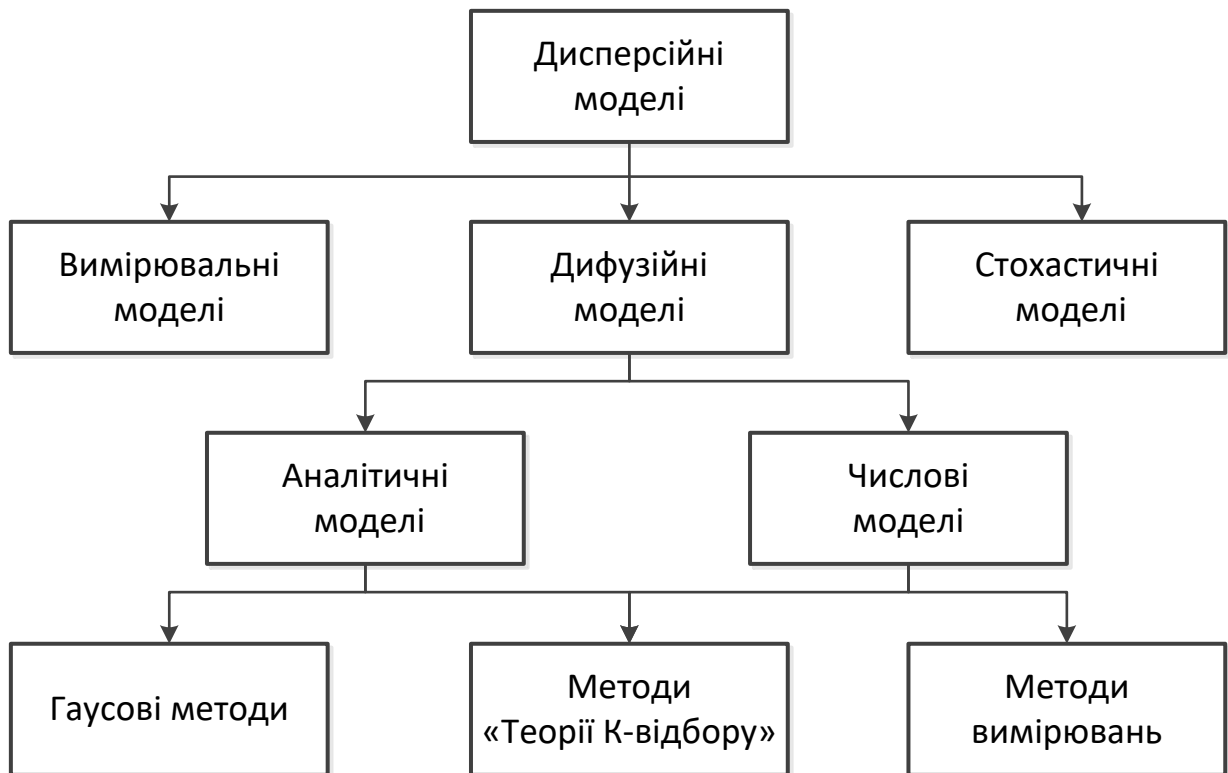


Рисунок 2.1 — Моделі розповсюдження забруднення повітря

Впровадження нечіткої синтетичної моделі оцінювання було здійснено в [30]. Застосування чисельного моделювання дисперсії забруднення проводилось, наприклад, у [31,32], для цього використовувалися різні функції розподілу в [33], а багатомасштабні підходи показані в [34,35]. Забруднення повітря як наслідок смогу у великих містах обговорювалося та моделювалося в [36–40]. Широкий вплив різних забруднювачів на здоров'я живих організмів у різних місцях світу обговорювався в [41–46]. Широкий спектр моделювання обговорювався в [47], беручи до уваги аспекти хімії та метеорології, а також різні часові масштаби із сезонними змінами.

### 2.3. Кореляційний аналіз та аналіз даних

Дані, які використовуються для визначення моделей прогнозування концентрацій  $\text{SO}_2$  та  $\text{PM}_{10}$ , отримані від станції автоматичного моніторингу, розташованої на вулиці. Вимірювання концентрацій забруднюючих речовин і метеорологічні дані є результатом підвищеного інтересу до навколишнього

середовища Система таких станцій є по всій країні, крім того, телеметричні станції вимірюють транспортні забруднювачі, і є доступ до мобільного автомобіля швидкої допомоги. Вимірювальна станція забезпечує автоматичне погодинне вимірювання забруднюючих речовин: (PM10, PM2.5, SO<sub>2</sub>) та метеорологічних характеристик (напрямок вітру, температура, швидкість вітру та вологість).

Максимальна температура та швидкість вітру  $T_0 = 22,6$  C,  $v_0 = 4,4$  м/с. Можна спостерігати високу кореляцію між концентрацією пилу в день і в ночі. Це стосується як меншої фракції (PM2.5), так і більшої (PM10). Подібну тенденцію можна спостерігати у випадку діоксиду сірки. Вказано коефіцієнти кореляції в межах 0.9 висока кореляція між поточними значеннями та виміряними попереднього дня, що довело погану вентиляцію території через низьку швидкість вітру та високий коефіцієнт шорсткості. Коефіцієнти кореляції між пилом і діоксидом сірки були досить високі, близько 0,6, оскільки вони виникли від згоряння неякісного палива та низьких викидів побутових котлів, у яких відсутні пристрої для зменшення викидів пилу та газів. Варто підкреслити, що майже всі кореляції були статистично значущими, що є результатом дуже великої вибірки даних. Тому він є чудовою основою для розробки статистичних моделей для надійної оцінки поширення окремих забруднювачів повітря, швидкості та вологості).

Через те, що вимірювальні станції розташовані на невеликій відстані один від одного, тому враховуючи напрямки вітру, можна очікувати, що можливе значне переміщення забруднюючих речовин між станціями. Тому важливо, щоб станція була розташована у відповідному місці, враховуючи як джерела найбільших викидів, так і напрямок надходження забруднюючих речовин із сусідніх районів. Крім того, важлива найближча навколишня станція, оскільки вона може впливати на зміни параметрів поширення забруднення. Це було основою для проведення аналізів у цьому діапазоні.

Такий підхід до моделей дав можливість інтерпретувати коефіцієнти та моделі транспортування забруднень або шукати правила (методи) поширення

забруднюючих речовин у високоурбанізованих районах. Це було основою для проведення аналізів у цьому діапазоні. 3.4. Зведена статистика У таблиці 2 розміщено підсумкову статистику для метеорологічних даних та концентрації забруднюючих речовин у аналізовані сезони. Дані дозволили проаналізувати отримані модельні форми в розрізі значень коефіцієнтів та їх варіації за окремими сезонами. Аналіз усереднених значень в опалювальні сезони, дозволяє порівняти рівні концентрації забруднюючих речовин та метеорологічні умови, які сприяють утворенню смогу. Порівнюючи опалювальні сезони для значень забруднення повітря SO<sub>2</sub> та PM, варто відзначити, що вони були порівнянними в окремі сезони як за середніми, так і за максимальними значеннями.

Концентрації як SO<sub>2</sub>, так і PM<sub>10</sub> зменшувалися з підвищенням температури, що підтверджує припущення про їх параболічний характер. Однак це зниження було найбільш помітним для SO<sub>2</sub> в інтервалі негативних температур і меншою мірою для PM<sub>10</sub>. Найбільша мінливість концентрацій спостерігалася при низьких температурах. Зміна концентрації при вищих температурах була невеликою і пов'язана з меншою потребою в опаленні будівлі. Зростання швидкості вітру суттєво впливає на зниження концентрації як SO<sub>2</sub>, так і PM<sub>10</sub>. Якщо в певний день не має вітру або був дуже слабкий, то явище накопичення забруднюючих речовин створило б смог. Найбільша зміна рівня концентрації, коли швидкість вітру становить від 1 до 2 м/с, що спричиняло 50% зменшення забруднюючих речовин. Особливо це помітно для PM<sub>10</sub>, які разом з PM<sub>2,5</sub> є основною причиною смогу. Зміна швидкості вітру до вищих значень (до 3 м/с) не призводить до подальшого зниження значень концентрацій, але найбільша мінливість помічена для вітрів сильніше 3 м/с. Проте дні з таким сильним вітром в опалювальні сезони бувають рідко. Однією з причин спостережуваної залежності могло бути вторинне запилення сильним вітром. Враховуючи рівні концентрації по відношенню до швидкості вітру, усі опалювальні сезони можна вважати порівнянними.

Найбільші відмінності спостерігаються для найнижчих температур за низької швидкості вітру. Найбільша варіація даних також відбулася через високе значення швидкості вітру, але це стосувалося переважно високого значення стандартного відхилення, тоді як середній рівень був досить порівнянним.

#### 2.4 Моделювання дисперсії повітря

Вимірювання, проведені для оцінки ступеня забруднення повітря, дають важливу кількісну інформацію про концентрації забруднювачів повітря та ґрунтових покладів. Але вони можуть лише описати якість повітря в конкретних місцях і моментах часу, не даючи чітких вказівок щодо визначення причин погіршення якості повітря. Натомість, моделювання забруднення повітря може надати більш повний опис проблеми, включаючи аналіз факторів і причин (джерела викидів, метеорологічні умови/процеси, фізичні та хімічні зміни) і навіть деякі рекомендації щодо впровадження заходів для пом'якшення забруднення та шкідливих наслідків.

Моделювання забруднюючих речовин в атмосфері є фактично, абстрактно кажучи, комп'ютерним моделюванням руху та розрідження забруднювачів повітря від точок (джерел) вихлопних газів до екологічно чутливих цілей (рецепторів). Дві поширені системи моделювання — це модель промислового джерела (ISC) і система оцінки опромінення населення по всій країні (ASPEN).

Програмне забезпечення є довідковим інструментом у галузі досліджень моделювання забруднення повітря. Воно інтегрує моделювання розсіювання повітря (гази, пил, запахи), поширення звуку на вулиці (дорожній, транспортний, залізничний, промисловий та рекреаційний шум) та інтерфейси до САД та ГІС та використовується професіоналами, які працюють з органами державної влади, консалтинговими інжиніринговими компаніями та промисловістю[17].

Моделі дисперсії можуть передбачати концентрації у вибраних місцях рецепторів за вітром. Модель дисперсії для оцінки концентрації шлейфу забруднюючої речовини в певній точці простору заснована на рівнянні гауссової дисперсії [18].

При розробці вищезгаданого рівняння були зроблені такі припущення:

— розповсюдження шлейфу має гауссовий (нормальний) розподіл як у горизонтальній, так і у вертикальній площинах, із стандартними відхиленнями розподілу концентрації шлейфу в горизонтальному та вертикальному напрямках;

— рівномірність викидів забруднюючих речовин;

— повне відбиття шлейфу від землі;

— шлейф рухається за течією (горизонтально в напрямку  $x$ ) із середнім поширенням вітру.

— з середовища, що викидається з пересувного джерела (трафіку) в атмосферу, не є реакційноздатними, тобто між забруднювачами немає ніякої форми реакції.

Моделювання атмосферної дисперсії газу-забруднювача, як математичне моделювання того, як забруднювачі з газу, що виділяється, розсіюються в навколишній атмосфері. В даний час моделювання виконується за допомогою комп'ютерних програм/спеціалізованого програмного забезпечення, які використовують математичні рівняння та алгоритми для моделювання того, як забруднювачі розсіюються в повітрі та, в деяких випадках, як вони реагують на атмосферу.

Програмні моделі забруднення повітря відіграють важливу роль у науці, оскільки вони здатні оцінювати важливість відповідних процесів.

Моделювання дисперсії забруднення повітря є єдиним методом, який визначає кількісно детермінований зв'язок між викидами та концентраціями/осадженнями, включаючи минулі та майбутні сценарії наслідків та визначення ефективності стратегій зменшення забруднення. Це

робить модель забруднення повітря незамінною в нормативних дослідженнях і навіть у дослідницьких програмах

## 2.5 Визначення моделей, що описують атмосферні процеси.

Рівняння, що описують атмосферні процеси в нижньому шарі атмосфери, можна представити за допомогою різних методів. Враховуючи порядок наближення як критерій, виділяють наближення першого, другого та вищого порядку. Наближення першого порядку – це коли невідомі моменти другого порядку (кореляції та дисперсії метеорологічних змінних) у цих рівняннях визначаються шляхом їх зв'язку з градієнтами моментів першого порядку. Замикання другого порядку – це коли для невідомих моментів деталей другого порядку виводяться прогностичні рівняння. Невідомі моменти третього порядку, які з'являються в цих нових рівняннях, визначаються зв'язуванням їх з моментами нижчого порядку. Процедура наближення можна розширити на будь-який порядок шляхом введення прогностичних рівнянь для моментів третього і вищих порядків. На останньому кроці невідомі моменти найвищого порядку повинні бути пов'язані з моментами нижчого порядку. Описана техніка швидко дуже ускладнюється. У моделях, що описують атмосферний потік, рівняння замикаються на рівні до другого порядку. З урахуванням просторового походження значень змінних, які використовуються в процедурі наближення, відомі локальні та нелокальні наближення. У процедурі локального наближення невідомі змінні для даної точки простору апроксимуються за допомогою відомих значень інших змінних або їх градієнтів у цій точці простору та емпіричних констант. При моделюванні атмосферних процесів можна використовувати локальне наближення будь-якого порядку, але на практиці вище третього порядку не використовується. У нелокальному наближенні невідомі змінні в даній точці простору апроксимуються за допомогою відомих значень інших змінних у різних точках простору. У

моделюванні атмосферних процесів використовується лише нелокальне наближення першого порядку.

Рівняння, що описують атмосферні процеси, можуть бути представлені в різних типах систем координат. Що стосується горизонтальних координат, то використовуються перпендикулярні координати або сферичні координати. Що стосується вертикальної координати, то різноманітність набагато більше. Просторова координата  $z$  з перпендикулярної системи координат використовується дуже рідко. Замість них використовуються функції висоти, тиску та потенційної температури. Різні комбінації цих параметрів призводять до координат місцевості, ізентропічних чи ізобаричних координат. Кожна система координат має певні переваги та обмеження.

## 2.6 Моделі дисперсії забруднення повітря

### 2.6.1 Ейлерові моделі

Основне рівняння, що використовується в моделях дисперсії забруднення повітря Ейлера, випливає з рівняння молекулярної дифузії забруднювача, заданого формулою

$$\frac{\partial \tilde{C}}{\partial t} + \frac{\partial(\tilde{u}\tilde{C})}{\partial x} + \frac{\partial(\tilde{v}\tilde{C})}{\partial y} + \frac{\partial(\tilde{w}\tilde{C})}{\partial z} = D_c \left( \frac{\partial^2 \tilde{C}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \tilde{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \tilde{C}}{\partial z^2} \right) + \tilde{S}_c, \quad (2.1)$$

де  $\tilde{C}$  — концентрація забруднюючих речовин в атмосферному повітрі;

$\tilde{u}, \tilde{v}, \tilde{w}$  — компоненти швидкості вітру;

$\tilde{U}$  — у системі координат, закріпленої на землі;

$D_c$  — коефіцієнт молекулярної дифузії забруднювача;

$\tilde{S}_c$  — термін, що позначає джерела та поглиначі забруднюючої речовини в атмосферу, тобто його викиди, видалення з атмосфери сухим і вологим осадженням, хімічними реакціями.



Найпростішим методом замикання рівняння (2.1) є локальне замикання першого порядку, в якому використовується К-теорія. Припускаючи, що турбулентний потік концентрації пропорційний градієнту середньої концентрації, отримуємо наступне співвідношення.

Використовується основне рівняння що в моделях коробки, яка виводиться з припущення, що загальна маса забруднюючої речовини  $M$  в об'ємі коробки  $V$ , обмежена її поверхнею.

Моделі Ейлерові коробки (див. рис. 2.2.) належать до найпростіших детермінованих моделей дисперсії забруднення повітря. Ці моделі засновані на припущенні, що забруднювачі рівномірно змішуються в певному обсязі повітря, який називається коробкою. У моделях ейлерівського типу цей ящик закріплений на землі.

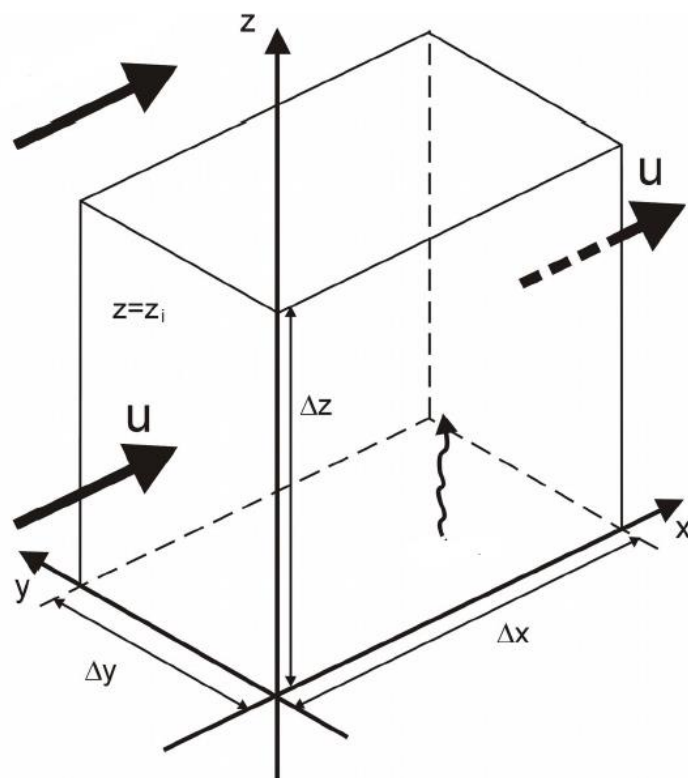


Рисунок 2.2 — Схема простої моделі ейлерової коробки

Моделі типу Лагранжа, в яких коробка рухається разом з повітряною масою, де  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  – розміри коробки,  $u$  – швидкість вітру,  $z_i$  – основа шару інверсії підвищеної температури. Моделі Ейлерової коробки включають

моделі з одним ящиком і моделі з багатьма коробками. У моделях з одним ящиком передбачається, що основа коробки покриває цілу область, в якій локалізовані джерела викидів. У вертикальному напрямку ґрунт і підстава шару інверсії підвищеної температури обмежують коробку. У мультибоксових моделях область моделювання покривається матрицею ящиків або каубоїдом коробок. Це дозволяє отримати просторовий розподіл концентрацій. У типових мультибоксових моделях розміри коробки в горизонтальній площині рівні. Концентрації рівномірно змішуються в кожній коробці. Транспорт забруднюючих речовин між ящиками відбувається лише за рахунок адвекції, оскільки вертикальним транспортуванням і дифузиею нехтують.

### 2.6.2 Теоретичні основи опису концентрації забруднюючих речовин в гауссових моделях

Формули, що описують концентрації забруднюючих речовин в гауссових моделях, можна отримати за допомогою методу Ейлера та Лагранжа. Формула для точкового джерела безперервного усталеного випромінювання виведена за допомогою методу Ейлера. Рівняння переносу забруднювача можна спростити, ввівши наступні припущення, що існує стаціонарне поле концентрації, є середній потік тільки в напрямку осі OX зі швидкістю  $u$ :  $u \geq 0, v = w = 0$ , джерел об'ємних викидів немає ( $S_C$ ), адвекція в напрямку швидкості вітру більша за турбулентну складову у цьому напрямку

$$u \frac{\partial C}{\partial x} \gg \frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) \quad (2.2)$$

З цими припущеннями рівняння (2.2) має вигляд

$$-u \frac{\partial S}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial S}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial S}{\partial z} \right), \quad (2.3)$$

Системи координат, що використовуються при моделюванні атмосферних процесів.

Хорошою математичною моделлю для опису середньодобової концентрації  $\text{SO}_2$  в містах (станціях вимірювання) визначена з параболічної функції  $\text{SO}_2(v)$  [52]. Відповідність моделі підтверджували високі коефіцієнти детермінації  $R^2$ . Порівнюючи концентрації, отримані з прогнозу, з концентраціями, виміряними на станціях, ми також оцінили похибки за допомогою середньоквадратичної помилки MSE за формулою (2.3), які також були на задовільному рівні. Аналізуючи коефіцієнти розроблених моделей для концентрації  $\text{PM}_{10}$ , можна помітити, що запропонована модель є ефективною і для цього типу забруднення повітря. Значення для цієї моделі були близькі до 90%, що означало, що статистично ці моделі дають достатню кількість потенційної точності оцінки. Це означає, що запропоновану регресійну модель можна успішно застосувати з метою попередження та попередження практик щодо концентрацій вибраних забруднювачів повітря.

На рис.2.3 прийнято позначення  $E$  – швидкість викидів забруднюючих речовин,  $d$  – діаметр труби,  $T_g$ ,  $v_g$  – температура та швидкість шлейфу на виході з труби,  $H$  – ефективна висота викидів,  $h$  – висота труби,  $\Delta h$  – підйом шлейфу,  $u$  – швидкість вітру,  $\Delta u, \Delta z$  – стандартні відхилення розподілу концентрації забруднюючих речовин у шлейфі в горизонтальному та вертикальному напрямках.

Рівняння, що описують атмосферні процеси, можуть бути представлені в різних типах систем координат. Що стосується горизонтальних координат, то використовуються перпендикулярні координати або сферичні координати. Що стосується вертикальної координати, то різноманітність набагато більше.

Просторова координата  $z$  з перпендикулярної системи координат використовується дуже рідко. Замість них використовуються функції висоти, тиску та потенційної температури. Різні комбінації цих параметрів призводять до координат місцевості, ізентропічних чи ізобаричних координат. Кожна система координат має певні переваги та обмеження.

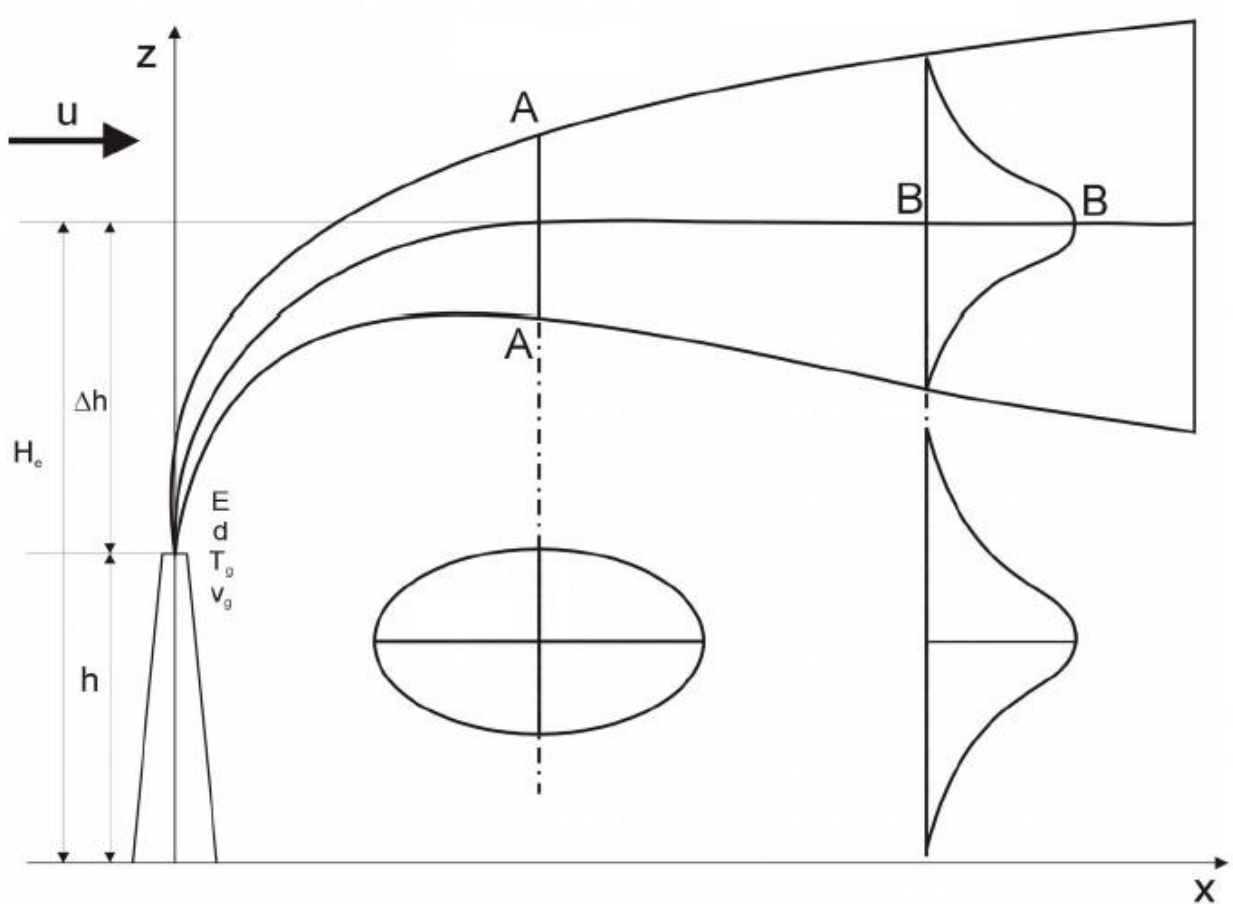


Рисунок 2.3 — Параметри газової моделі шлейфу забруднення

Коефіцієнти кореляції між окремими забруднювачами, виміряними одночасно, знаходяться на задовільному рівні. Запропонована форма моделі може генерувати хороший вихідний матеріал при спробі створити стохастичну модель, яка, залежно від напрямку досліджень, дасть кращі результати для прогнозування концентрацій досліджуваного типу забруднення повітря. Аналіз підтвердив параболічний характер взаємозв'язку між концентраціями  $\text{SO}_2$  та  $\text{PM}_{10}$  та метеорологічними параметрами швидкості та температури вітру. Особливо це було помітно при низьких значеннях температури. Для  $\text{SO}_2$  середня концентрація для низьких температур становила близько  $30\text{--}40 \text{ мкг/м}^3$ , а для вищих – близько 15.

Запропоновану модель можна розглядати як уніфіковану форму. Навіть якщо модель минулого року використовувати для нової, посадка досить непогана. Дуже важливим параметром моделі є накопичення забруднювача за

попередній час. Це означає, що модельні коефіцієнти досить стабільні для певної області. Вони можуть змінитися, якщо зміниться урбанізація території або розташування промислових підприємств. Спостереження за значеннями та змінами коефіцієнтів моделі, а також за впливом метеорологічних умов (швидкість вітру та температура) дозволяє остаточно оцінити наслідки діяльності.

## 3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕКОМОНІТОРИНГУ ДЛЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

### 3.1. Принцип роботи запропонованої моделі

У цьому розділі було запропоновано систему розумного моніторингу забруднення повітря, яка постійно відстежує якість повітря в певній місцевості та відображає якість повітря, виміряну на РК-екрані. Він також надсилає виміряні дані на мобільну платформу. Система допомагає усвідомити якість повітря, яким людина дихає щодня. Цей пристрій моніторингу може здійснювати вимірювання якості повітря в режимі реального часу.

Модель була розроблена з використанням мікроконтролера Arduino, модуля Wi-Fi 8266, газового датчика MQ135 і рідкокристалічного дисплея (LCD) розміром 16 на 2.

Запропонована блок-схема представлена на рис. 3.1.

Процедура роботи системи була розроблена на п'ять кроків вимірювання, показано. Перший шар це параметри навколишнього середовища, отримані шляхом вимірювання. Другим шаром є вивчення характеристик і особливостей датчиків. Третій шар це прийняття рішень, датчики, вимірювання, фіксація порогового клапана, періодичність чутливості, час і простір. Четвертим рівнем є збір даних датчика. П'ятим шаром є навколишнє інтелектуальне середовище. Датчик збирає дані під час керування мікроконтролером і пересилає їх через Інтернет для аналізу через модуль Wi-Fi. Користувачі мають змогу відстежувати вимірювані параметри.

Як показано на рис. 3.1, бібліотека в Arduino була завантажена, і після цього повідомлення було надіслано на РК-дисплей. Дані про якість повітря збирали за допомогою датчика MQ135. Відкалібрований датчик зробив аналогову вихідну напругу пропорційною концентрації забруднюючих газів у частинах на мільйон (ppm).



Рисунок 3.1 – Принцип вимірювання якості повітря

Дані спочатку відображаються на РК-екрані, а потім передаються на модуль Wi-Fi. Модуль Wi-Fi передає виміряні дані клапана на сервер через Інтернет. Модуль Wi-Fi налаштований на передачу вимірюваних даних до програми на віддалений сервер під назвою. Онлайн-додаток забезпечує глобальний доступ до вимірюваних даних через будь-який пристрій, який

має можливості підключення до Інтернету. Дані, зібрані з датчика, перетворювалися в рядок і використовувалися для оновлення інформації, надісланої на віддалений сервер.

У якості контролера було обрано Arduino Mega 2560 R3 - плата мікроконтролера ATmega 2560. Часто використовується для різних видів автоматизації [18-19].

Характеристики:

- Програмна пам'ять — 256 Кб;
- Оперативна пам'ять — 8 Кб;
- Енергонезалежна пам'ять — 4 Кб;
- 54 цифрових входи/виходи. З яких 15 можуть використовуватись як PWM;
- 16 аналогових входів;
- 4 UART інтерфейсів (апаратних);
- 16 МГц кристал;
- USB-B гніздо (мама);
- Конектор живлення до 6-20 В;
- Конектор ISP програмування;
- Кнопка RESET.

### 3.2 Сенсори системи моніторингу

Сенсор MQ вибрано для моніторингу вмісту CO у повітрі використано 7. Сенсори MQ використовують SnO<sub>2</sub> як матеріал для підкладки. Підкладинка визначає концентрацію газу в атмосфері та змінює свій опір. Сенсори CO розраховані на роботу стабільним рівнем кисню атмосферою. Згідно специфікації вміст кисню має складати 21%. Це є усередненою нормою. Якщо ж кисню більше/менше, то показання будуть змінюватися. Це може призвести до нездатності датчика видавати результати. Точність показань таких датчиків не тільки також залежить від кисню. Показники можуть суттєво змінюються від температури повітря і від його вологості.



Розраховано показники для вологості в 65% і температури 20°. Вологість вище 95 відсотків не дозволяє датчик адекватно вимірювати показники.

Для отримання показників з таких датчиків використовують за омметра. Він вимірює опір, який коливається в залежності від концентрації CO газу. Для калібрування, потрібно знати газу в атмосфері. І визначити резистор для знаходження у визначеному сектор за графіком.

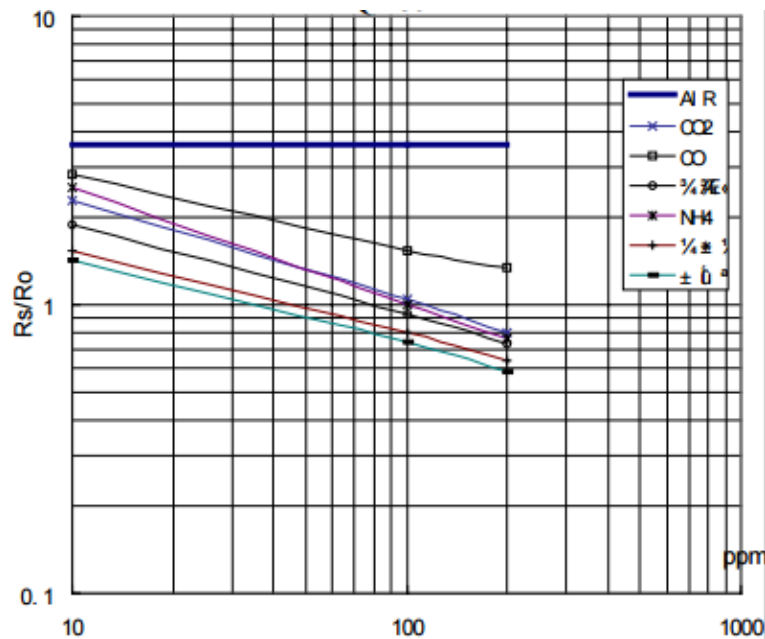


Рисунок 3.1 – Графік калібрування сенсора CO

Показники температури, вологості надходять з Si7021. Сенсор — твердотільна CMOS мікросхема, що виконує функції сенсора. Значення вологості і температури отримують з аналого-цифрового перетворювача. Також містить обробку сигналів, інтерфейсу I2C, калібрувальника даних. Такі твердотільні датчики CMOS з малим дрейфом, гістерезисом і а також мають довгостроковий стабільністю показань [22].

Датчик вологості і температури калібрується. Дані зберігаються в незалежній пам'яті, що гарантує що датчики є повністю уніфікованими. Це не вимагає калібрування або програмних змін [23].

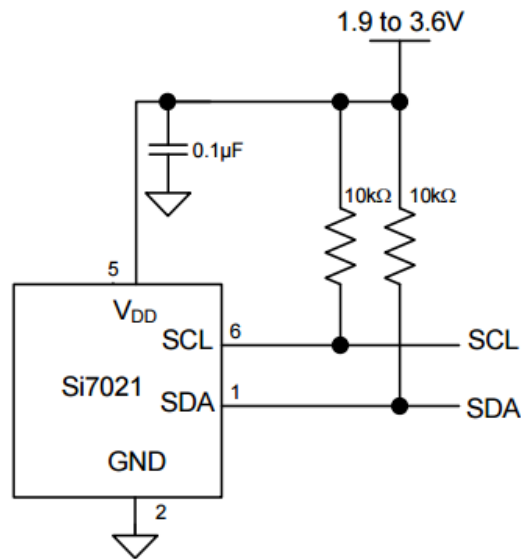


Рисунок 3.2 — Електрична принципова схема сенсору Si7021

Параметри датчику:

- діапазон вимірювання відносної вологості 0 ... 100%;
- точність вимірювання вологості  $\pm 3\%$  RH в діапазоні 0 ... 80% RH;
- діапазон температур  $-40 \dots +125$  ° C;
- вимірювання температури  $\pm 0.4$  ° C яка знаходиться в діапазоні  $-10 \dots 85$  ° C;
- напруга живлення 1,9 ... 3,6 В;
- струм споживання складає в активному стані 150 мкА;
- струм в режимі очікування складає 60 нА;
- інтерфейс передачі даних I2C;
- розміри 13 x 10 мм.

Для тиску використовується сенсором T5403 «Sparkfun». T5403 — датчик з інтерфейсом I2C, який визначає тиск змінюється в залежності від погоди. Залежно від того, які дані надійшли можливо відстежувати зміни в погоді. А саме – висоту знаходження сенсору, або інші задачі для точного значення вимірювання тиску.

Сенсор T5403 — це п'єзоелектричний чутливий елемент. Містить MEMS тиску і ASIC з вбудованим датчиком температури. Спеціалізована

інтегральна схема аналогово-цифрового перетворювача ADC та пам'ять. Для вимірювання потрібна напруги живлення від 1,7В до 3,6 з споживанням струму 790µА макс [24].

Особливості:

- напруга живлення: 1.7-3.6V;
- максимальний струм споживання: 790µА;
- діапазон тиску: 300hPa — 1100hPa;
- інтерфейс I2C;
- 16 бітний АЦП;
- внутрішній осцилятор.

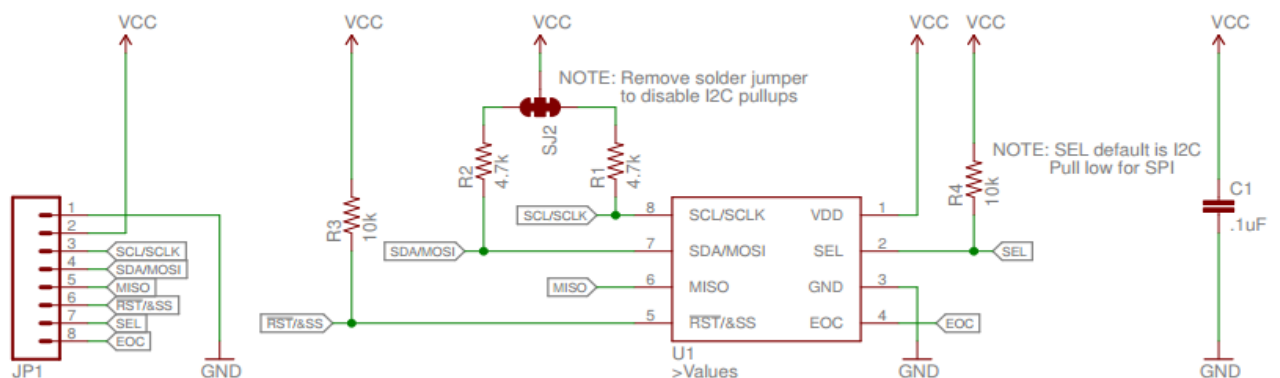


Рисунок 3.3 — Електрична принципова схема сенсору тиску T5403

Використовується модуль із мікросхемою DS3102 [22].

Характеристики модуля:

- рахує від до років із врахуванням високосних;
- подання часу в 12 або 24 стандарті;
- живлення в діапазоні від 2.0В до 5.5В;
- при 2В струм споживання менше 300нА;
- простий 3-х провідний інтерфейс;
- робочий діапазон температур за Цельсієм від мінус40° до + 85°.

Зв'язок з базою даних відбувається за допомогою Wi-Fi модуля ESP8266. Він одночасно являється мікроконтролером. Мікроконтролер немає на кристалі незалежній пам'яті. Виконання програми відбувається з

зовнішньої ПЗУ. Шляхом динамічного завантаження необхідного коду програми в кеш інструкцій. Підтримується до 16МБ зовнішньої пам'яті. Можливі інтерфейси Standard, Dual або Quad SPI.

Характеристики:

- 80 MHz 32-bit процесор Tensilica Xtensa L106;
- IEEE 802.11 b / g / n Wi-Fi. Підтримується WEP, WPA / WPA2;
- 14 портів введення-виведення, SPI, I<sup>2</sup>C, I<sup>2</sup>S, UART, 10-bit АЦП;
- живлення від 2,2В до 3,6В.

У режимі доступу пристрій виконує пошуку інтернет мережі в планшетах і комп'ютерах. Необхідно підключитися до пристрою, завантажити HTML-сторінку конфігурації, встановити параметри мережі. Після чого пристрій підключається до мережі в режимі кінцевої станції.

Сенсор диму та пилу застосовується для виявлення забруднюючих речовин. Він може бути різноманітними оптоелектронними датчиками.

Датчик оксидів азоту. Застосовується як датчик NO<sub>x</sub>. Служить для виявлення оксидів азоту, діоксидів азоту, закисів азоту і інших у відпрацьованих газах.

Конструктивно датчик включає камери, два насосні осередки, електроди. Сенсорний елемент датчика виконано із діоксиду цирконію. В ньому при напрузі іони кисню перетікають від негативного електрода до позитивного.

Принцип роботи датчика вимірювання кисню. У першій насосній камері видаляється кисень, який може ускладнювати вимір оксидів азоту.

Після подачі напруги, молекули кисню розпадаються на іони. Вони протікають через електроліт з діоксиду цирконію. У другій відновлювальній камері розпадаються оксиди азоту на кисень і азот. Струм пропорційний вмісту оксидів азоту у газах відпрацювання. Датчик схематично зображено на рис. 3.1.



Рисунок 3.4 — Датчик виявлення NO<sub>x</sub>

Для оцінки забрудненості існують інші датчики. Наприклад, волоконно-оптичний газоаналізатор (ВОГ) робота якого ґрунтується на диференціальному методі [21].

Джерело живлення 1 по чергово вмикає світловипромінюючі діоди 3, 3' з довжинами хвиль відповідно  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$  ( $\lambda_1$  — довжина хвилі випромінювання, що відповідає лінії поглинання газу;  $\lambda_2$  — опорна довжина хвилі випромінювання. Вона лежить за межами діапазону спектру поглинання газу. Після розгалужувача випромінювання через світловод 5 потрапляє у вимірювальну кювету (відкритий канал) 6 з вбудованим на виході приймачем інфрачервоного випромінювання 7, спектральна сприйнятливість якого узгоджена з довжиною хвилі власного поглинання досліджуваного газу. Далі з приймача 7 електричні сигнали надходять до мікропроцесора 8, який їх обробляє і видає значення концентрації газу  $N$ .

Основне рівняння для розрахунку концентрації газу методом диференціального поглинання має наступний вигляд [21]:

$$N = \frac{1}{[\sigma(\lambda_1) - \sigma(\lambda_2)]l} \ln \frac{P_r(\lambda_2)}{P_r(\lambda_1)} \quad (3.1)$$

де  $N$  — парціальний тиск (концентрація) газу в повітряній суміші ( $N = 760$  Торр відповідає концентрації  $C=100\%$ );

$\lambda_1$  — довжина хвилі, що відповідає лінії поглинання газу (робоча довжина хвилі);

$\lambda_2$  — опорна довжина хвилі, що лежить за межами поглинання;

$l$  — довжина вимірювальної кювети (відкритого каналу) з газом;  $P_r(\lambda_1)$  (де  $i = 1, 2$ ) — потужність оптичного випромінювання на довжині хвилі  $\lambda_i$ , прийнята приймачем;

$\sigma(\lambda_i)$  — переріз поглинання газу на довжині хвилі  $\lambda_i$ .

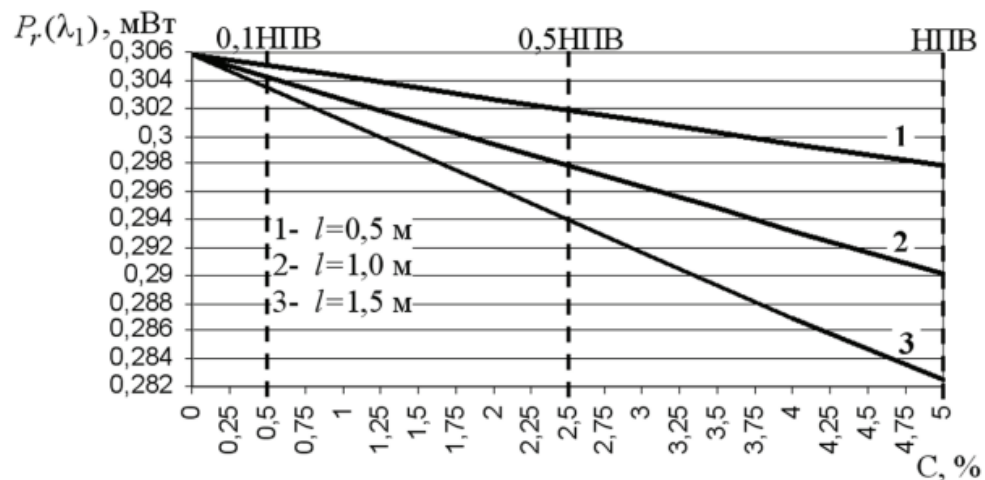


Рисунок 3.5 — Залежність потужності  $P_r(\lambda_1)$  від концентрації метану

Робоча довжина хвилі 1331 нм. Потужність введеного випромінювання 2 мВт. Загальна довжина волоконного тракту 10м ( $\alpha=0,5$ дБ/км); втрати в оптичних елементах 8 дБ [27].

За вихідними потужностями оптичного випромінювання  $P_r(\lambda_i)$  проведено розрахунки параметрів волоконно-оптичного газоаналізатора, призначеного для реєстрації метану, з урахуванням втрат потужності світлового потоку у елементах волоконно-оптичного сенсора [28].

Важливе значення для даного датчика концентрації газу має вибір приймача випромінювання, оскільки рівень шуму приймача випромінювання визначає чутливість сенсора. Потоки випромінювання з потужністю  $P_r(\lambda_1)$  і  $P_r(\lambda_2)$  при попаданні інфрачервоного випромінювання на приймач

створюють на його виході зміну напруги  $\Delta(U_1)$  і  $\Delta(U_2)$ , пропорційно до ступеня ослаблення потоків, відповідно, яка в свою чергу пропорційна концентрації газу. Тоді рівність (3.1) матиме вигляд:

$$N = \frac{1}{[\sigma(\lambda_1) - \sigma(\lambda_2)]l} \ln \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1} \quad (3.2)$$

де  $\Delta U_1, \Delta U_2$  — зміна напруги на приймачі.

При використанні оптично-частотного перетворювача, на його виході, пропорційно до ступеня ослаблення потоків, отримаємо зміну частот  $\Delta f_1$  і  $\Delta f_2$ , яка в свою чергу пропорційна концентрації газу, що аналізується. Використовуючи формулу (3.1) отримаємо співвідношення:

$$N = \frac{1}{[\sigma(\lambda_1) - \sigma(\lambda_2)]l} \ln \frac{\Delta f_2}{\Delta f_1} \quad (3.3)$$

де  $\Delta f_1, \Delta f_2$  — зміна частот на виході приладу при попаданні на нього потоку випромінювання з довжиною хвилі  $\lambda_1$  ( $i = 1, 2$ ) відповідно, що пройшов через вимірювальну кювету (відкритий канал) з довжиною  $l$ .

Функціональна схема датчика наведена на рис. 3.6.

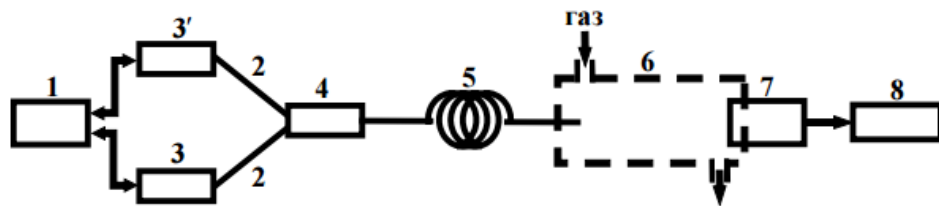


Рисунок 3.6 — Функціональна схема волоконно-оптичного газоаналізатора

Інфрачервоні газоаналізатори ґрунтуються на вибіркового поглинанні різними молекулами газів і парів інфрачервоного випромінювання в діапазоні 1-15 мкм. Дане випромінювання поглинають усі гази, молекули яких складаються з двох і більше різних атомів. Відмінність молекулярних

спектрів поглинання різних газів дозволяє використовувати такі газові датчики в лабораторіях і промисловості для певних газів [25].

На рис. 3.7 показано поширену схему газосигналізатора. Через світлофільтр і робочу область, в яку подається аналізована суміш, послідовно проходить випромінювання від джерела і потрапляє в спеціальний приймач. Якщо використовується джерело немонахроматичного випромінювання, вибірка досягається за допомогою селективного приймача [29].

На рис. 3.7 позначено:

- 1) — джерело випромінювання;
- 2) — світлофільтр;
- 3) — модулятор;
- 4) — 4 і 4' — робочий й порівняльна (внизу) області;
- 5) — приймач випромінювання;
- 6) — підсилювач;
- 7) — вторинний прилад.

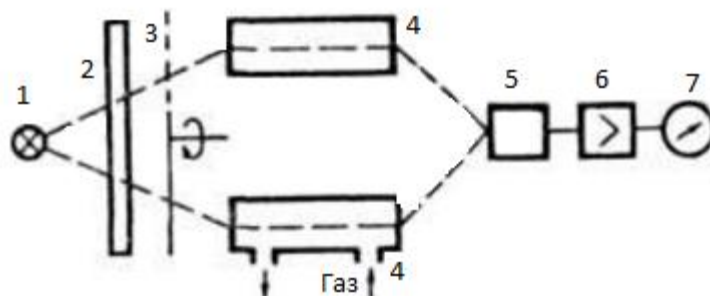


Рисунок 3.7 — Недисперсійний інфрачервоний газовий датчик

Найбільш часто зустрічаються газові датчики з газонаповненим оптико-акустичним приймачем, що представляє собою герметичну камеру з вікном, заповнену газом, зміст якого необхідно виміряти. Замінюючи газ в приймальнику випромінювання оптико-акустичного газового датчика, можна вибірково вимірювати вміст різних компонентів сумішей.



З допомогою інфрачервоних газових датчиків визначають, наприклад, CO, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub> в технологічних газах виробництва синтетичного аміаку, пари ряду розчинників в повітрі промислових приміщень, оксиди азоту, SO<sub>2</sub> і т. д. [23].

Також для виявлення забруднюючих речовин використовуються хімічні сенсори. ХС складається з хімічного селективного шару датчика, що дає відгук на присутність обумовленого компонента і зміна його змісту, і фізичного перетворювача (трансдюсера). Загальна схема функціонування ХС зображена на рис. 3.8 [24].

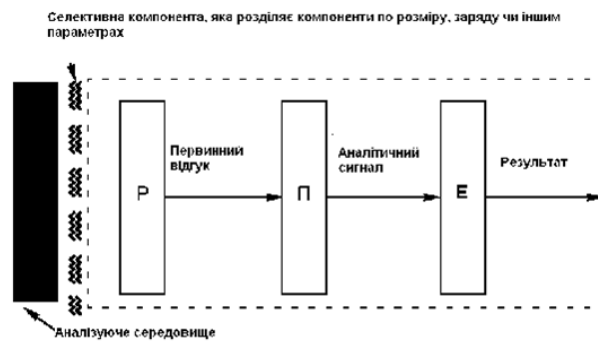


Рисунок 3.8 — Схема роботи хімічного сенсора.

На рис. 3.8 Р — хімічно чуттєвий шар, П — перетворювач сигналу, Е — електронний блок.

На рис. 3.9 показана схема роботи необоротного оптрона на кисень.



Рисунок 3.9 — Схема роботи необоротного волоконно-оптичного сенсора на кисень

Волоконно-оптичний сенсор для контролю аміаку в повітрі. Плоскохвильоводний оптичний хімічний сенсор чотирьохшарової конструкції: підкладка з плавленого кварцу, що відіграє роль посередника для введення світла в хвилевід через торець посередника; полімерний хвилевід з поліметилметакрилата товщиною  $0,920 \pm 0,014$  мкм; чуттєвий шар — полідиметилсилоксан функціоналізований катіонами брильянтового зеленого (рис. 3.10).

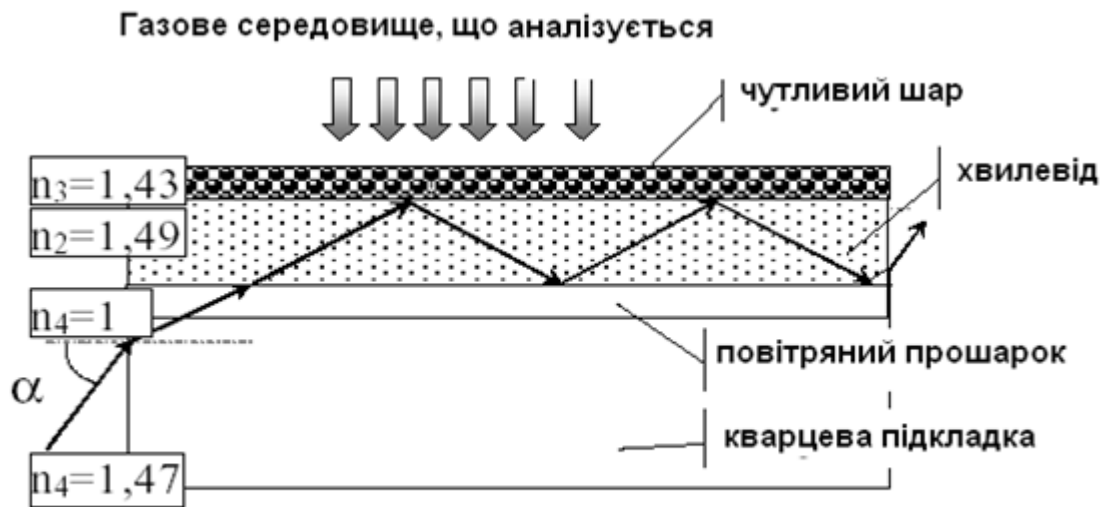


Рисунок 3.10 — Чотирьохшарова конструкція оптичного сенсора

Для моніторингу забруднення повітря було обрано лазерний датчик PM2.5 PMS3003 - представник універсальних цифрових оптичних (лазерних) датчиків пилу в повітрі третього покоління.

Особливістю датчика є висока точність підрахунку кількості частинок, досягнута за рахунок внутрішньої обробки сигналу реєстратора пилу високопродуктивним мікро контролером Cypress CY8C4245. Датчик оснащений послідовним UART інтерфейсом з рівнем 3.3В, що дозволяє використовувати його з 5В і 3В мікроконтролерами [26-28].

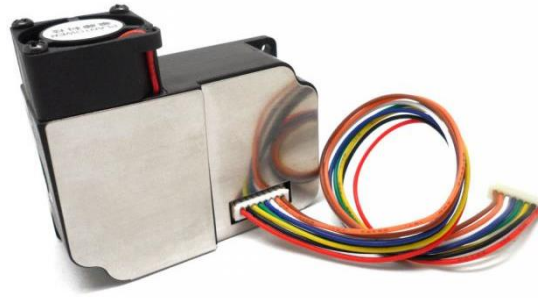


Рисунок 3.12 – Лазерний датчик PM2.5

Лазерний датчик пилу PM2.5 являє собою цифровий універсальний датчик концентрації частинок. Він може бути використаний для отримання кількості зважених часток в одиниці об'єму повітря в межах від 0,3 до 10 мікрон, тобто концентрація твердих частинок, і вихід з цифровим інтерфейсом, також може виводити дані про якість на одну частинку. Датчики якості повітря можуть бути вмонтовані в різних концентраціях пов'язаних з навколишнім середовищем інструментів зважених твердих частинок у повітрі, щоб забезпечити своєчасні і точні дані про концентрацію.

Датчик PM2.5 використовує теорію лазерного розсіювання. А саме розсіювання лазерного випромінювання у повітрі зважених частинок, під час збору розсіяного світла під певним кутом, щоб отримати інтенсивність розсіювання в порівнянні з годографом (кривою залежності від часу). Після збору даних мікропроцесора отримується залежність між тимчасовою областю і частотною областю за допомогою перетворення Фур'є, а потім через ряд складних алгоритмів, щоб отримати кількість частинок в еквівалентних обсягах і об'ємних одиницях різного розміру [29]. Кожну функціональну блок-схему частини датчика, показано на рисунку 3.13.

Для вимірювання ступеня запиленості або задимленості повітря обрано оптичний датчик GP2Y1010AU0F. Дуже зручний датчик для автоматизації управління системою вентиляції і кондиціонування повітря.

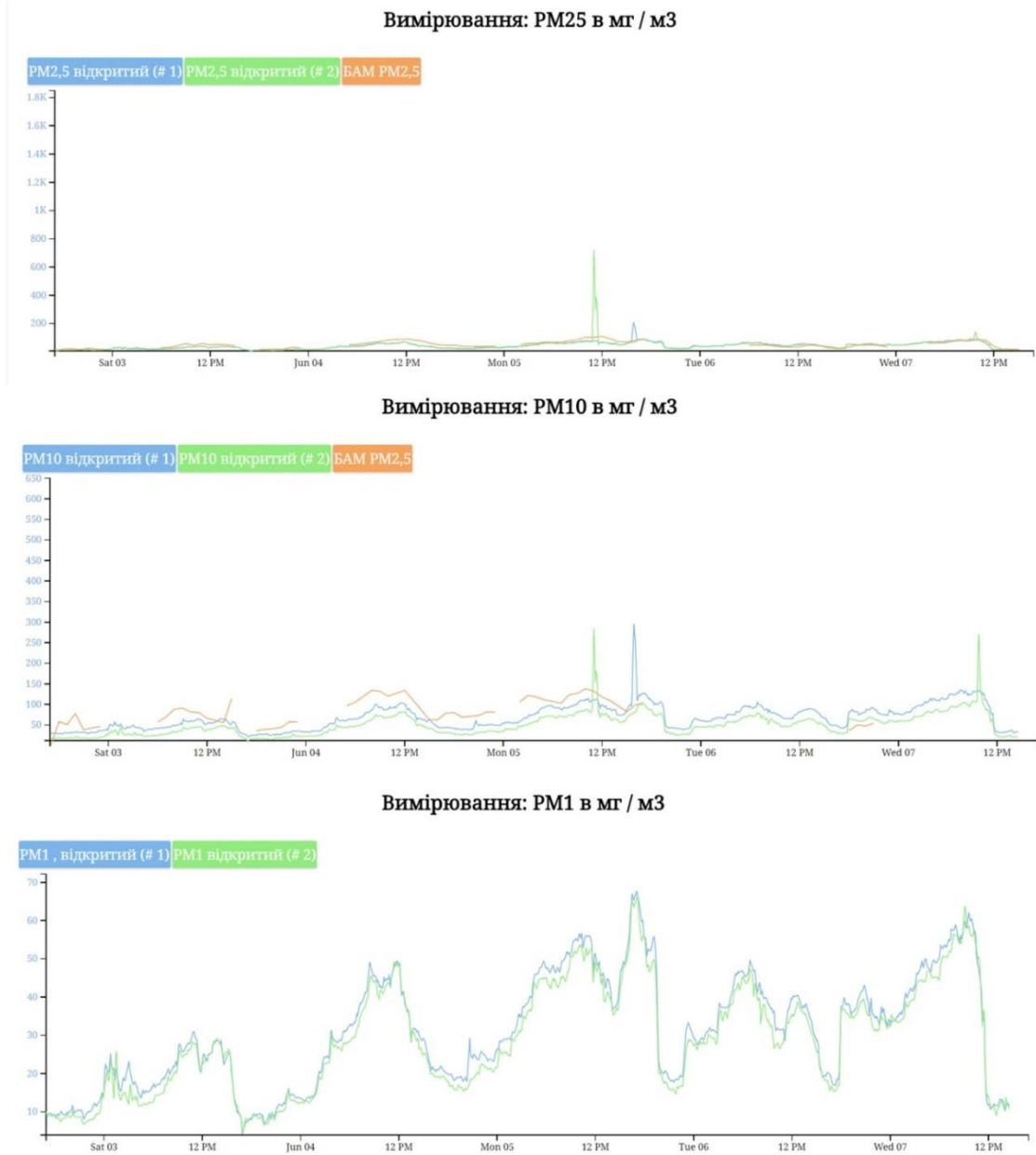


Рисунок 3.13 — Графіки часових рядів

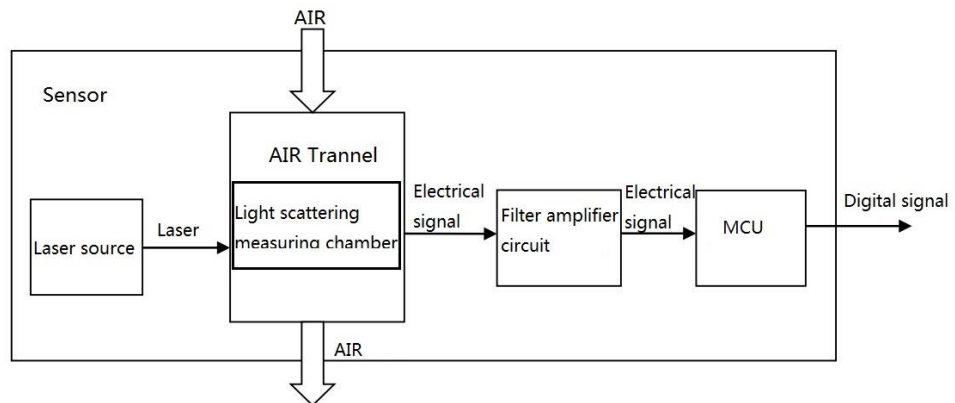


Рисунок 3.14 — Функціональна блок-схема датчика PM2.5

Принцип роботи датчика заснований на вимірюванні фотодатчиком ступеня розсіювання інфрачервоного випромінювання світлодіода в вимірюваній середовищі. Вимірювання проводиться в імпульсному режимі, що різко знижує споживаний від джерела живлення струм [30].



Рисунок 3.15 — Оптичний датчик GP2Y1010AU0F

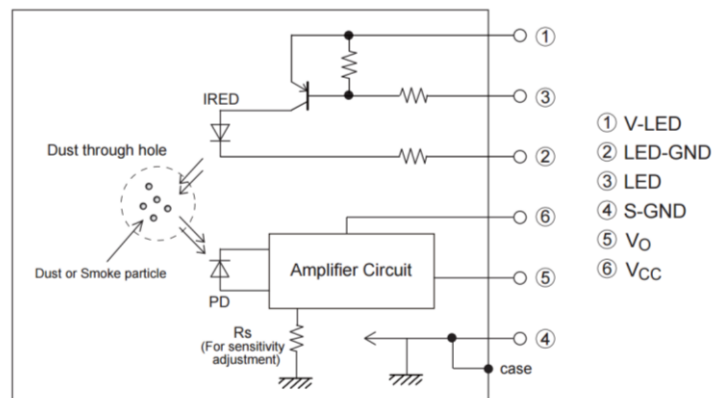


Рисунок 3.16 — Схема електрична датчика GP2Y1010AU0F

Схема електрична принципова пристрою екологічного моніторингу в режимі реального часу наведена в Додатку В.

## 4 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА ВІДОБРАЖЕННЯ ДАНИХ ЗАБРУДНЕННЯ

### 4.1 Оцінювання технології для мережевих датчиків навколишнього середовища

Як зазначено у вимогах до системи, засіб автоматичного отримання записів з блоків вимірювання має бути розроблений з використанням технології бездротового зв'язку для максимальної ефективності та простоти використання.

Бездротовий зв'язок успішно використовується для багатьох ситуацій моніторингу сільського господарства, наприклад, у теплицях і на полях для моніторингу умов і росту рослин [16].

Широко використовуються чотири мережеві технології. У цьому розділі наведено порівняння та найефективніші варіанти використання, визначені з літератури. Обговорення зосереджено на технологіях, які використовують високочастотне радіо як зв'язок. Інші альтернативи, такі як мікрохвильовий зв'язок та інфрачервоний (ІЧ), були опущені, оскільки вони погано працюють у забрудненому середовищі. Wi-Fi — популярна назва Wireless Fidelity, яка стандартизована як IEEE 802.11a/b/g/n. Wi-Fi використовується в основному для бездротових локальних мереж (WLAN), таких як надання доступу до Інтернету до пристроїв у всьому домогосподарстві. Дальність передачі Wi-Fi номінально становить 100 м, з максимальною швидкістю сигналу 54 Мбіт/с і пропускну здатністю 22 МГц. Це робить його ідеальною бездротовою технологією для загальних мереж, які забезпечують зв'язок між персональними комп'ютерами, ноутбуками та маршрутизаторами. Час передачі Wi-Fi є відносно високим, а ефективність кодування даних висока при великих розмірах корисного навантаження. Ультраширокосмуговий, або UWB, стандартизований IEEE 802.15.3 і стає популярною технологією для короткого високошвидкісного зв'язку, наприклад, у мультимедійних додатках [7]. Це пов'язано з дуже

високою швидкістю сигналу та пропускнуою здатністю каналу. Ці характеристики означають, що UWB має дуже швидкий час передачі; однак із чотирьох обговорюваних бездротових технологій він має найбільше енергоспоживання

Спеціальні бездротова мережа Ad hoc — це технологія, яка дозволяє бездротові мережі в середовищах, де існує обмежена або непідключена або стільникова інфраструктура. Як правило, спеціальні мережі створюються на обмежений проміжок часу і створюються для певної служби або застосування. Такий тип мережі дозволяє продовжити мережевий зв'язок, водночас забезпечуючи мобільність вузлів. Існує ряд вимог до проектування, які необхідно враховувати через мобільний, неінфраструктурний характер бездротових мереж ad hoc, що включає самоналаштування, багатоадресну передачу та мобільність.

Adhoc мережі мали труднощі з тим, щоб стати узагальненими стандартами; однак вони стають все більш успішними, коли вони розроблені для конкретних цілей або застосувань[10]. Існує ряд ключових характеристик, які визначають мережу adhoc. Однією з головних характеристик є мобільність. Оскільки вузли можуть мати випадкову мобільність, мережа повинна мати можливість обслуговувати вузли, які входять і виходять з області мережі. Основним використанням мереж, які зараз діють, є публічний доступ до Інтернету, де підключення до Інтернету надається в населеному пункті через бездротову магістраль.

#### 4.2 Моделі зберігання отриманих даних

Модель даних визначає, як дані зберігаються, організуються та обробляються в системі баз даних. Моделі даних використовуються для опису даних на різних рівнях системи. Концептуальний рівень представляє, як інформація зберігається та логічно пов'язана, на відміну від зовнішнього рівня, що представляє те, як користувачі бачать дані, і фізичного рівня, що представляє, як дані фізично зберігаються. Ієрархічні та мережеві моделі

даних є більш ранніми розробками моделей даних, ніж реляційна модель, і їх часто замінюють реляційними моделями. У цих моделях дані представлені у вигляді набору записів. Набори використовуються для визначення зв'язків між записами. Реляційні моделі даних використовують таблиці для представлення як даних, так і відносин. Кожна таблиця має ряд стовпців, які містять дані для певного поля. Записи додаються до таблиці як нові рядки. Кожна таблиця повинна мати принаймні один стовпець (або комбінацію стовпців), який має унікальний запис для кожного рядка, щоб забезпечити індивідуальну ідентифікацію. Зв'язки не є явними в цій моделі даних і визначаються зв'язуванням стовпців у кількох таблицях. Реляційна модель в даний час добре використовується і має незліченну кількість реалізацій із задовільним ступенем успіху.

#### 4.3 Багатокористувацькі архітектури

Існують три загальні архітектури баз даних, які дозволяють використовувати багатокористувацьку систему: телеобробка, файловий сервер і клієнт-сервер [13]. Телеобробка є традиційною формою багатокористувацької системи, де легкі термінальні комп'ютери підключаються до центрального комп'ютера для доступу до бази даних. Ця архітектура спричиняє велике навантаження на центральний комп'ютер, оскільки він вимагає виконувати всю обробку. Через це дві інші архітектури будуть розглянуті більш детально. Архітектура клієнт-сервер — це реалізація, яка розділяє програмні компоненти на клієнтські процеси, які потребують ресурсу, і сервери, які надають цей ресурс. Використання такої модуляції дозволяє клієнтам і серверам перебувати на різних машинах, забезпечуючи віддалені та багатокористувацькі функції. Традиційна архітектура клієнт-сервер, відома як дворівнева, складається з двох машин, клієнта і сервера. Завдання управління базою даних розподілені між двома машинами; клієнтська машина відповідає за інтерфейс користувача та основну логіку обробки даних, тоді як сервер відповідає за перевірку та



доступ до бази даних. Традиційну архітектуру клієнт-сервер можна розширити на трирівневі, а іноді навіть більше архітектури. Концепція збільшення рівнів полягає в тому, що додаються додаткові машини, щоб виконати частину необхідної обробки. Наприклад, у трирівневій архітектурі клієнтська машина відповідає лише за користувальницький інтерфейс, машина другого рівня використовується як сервер додатків, який відповідає за обробку основних даних, і сервер має ті ж обов'язки, що й у дворівневному.

Ще одним фактором, який слід враховувати при розробці бази даних, є розподіл системи. У системі розподілених баз даних є кілька серверів, кожен із власною базою даних і мережею клієнтів. Клієнти мають доступ до даних із серверної бази даних, а також з інших розподілених систем баз даних. Уся база даних є логічною сукупністю всіх баз даних у розподіленій системі. Перевага розповсюдження системи зменшує навантаження на сервер і запобігає вузьким місцям продуктивності або проблемам із безпекою, спричинених великими обсягами даних, які зберігаються в одному місці.

#### 4.4 Проектування системи

Проектування системи є останнім кроком перед впровадженням, на якому приймаються рішення щодо архітектурного проектування, такі як апаратне/програмне забезпечення, керування даними та контроль доступу. Мета системи, як зазначено в попередньому розділі, полягає в тому, щоб забезпечити зручний та ефективний спосіб для збору та зберігання даних, отриманих від сенсорів. Система співпраці зосереджена на функціональності системи та серверних машин. Система була розроблена з метою проведення досліджень. Тому повна функціональність не була реалізована. Цілі проектування були отримані на основі нефункціональних вимог і використовувалися для прийняття важливих рішень протягом усього процесу проектування системи. Нижче наведено основні цілі проектування:

— низькі витрати на експлуатацію та розробку — це необхідно через обмежені ресурси, залучені до проекту, ця мета розробки веде до вибору безкоштовних компонентів або компонентів з відкритим кодом;

— масштабованість — кількість машин, які підтримує система, необхідно легко збільшити без погіршення продуктивності системи;

— висока зручність використання — інтерфейс повинен бути простим у використанні, щоб пристосуватись до незнайомих користувачів із системою;

— безпека — це означає, що система, яка буде використовуватися в режимі онлайн, потребує заходів безпеки, щоб запобігти зловмисному та несанкціонованому доступу або модифікації.

Оскільки визначення системи на місці та необхідні різні датчики за допомогою Fritzing [19]. Fritzing — це безкоштовний набір дизайну з відкритим вихідним кодом, який працює на Windows, Mac і Linux. Він має простий і реалістичний інтерфейс, що робить проектування схем інтуїтивно зрозумілим. Ідея полягає в тому, щоб дозволити нам просто скопіювати макет, використовуючи зображення використаних частин, а потім легко дістатися до дизайну друкованої плати (PCB). Fritzing дуже підтримує створення прототипів за допомогою Arduino, насправді відкрита апаратна плата є однією з перших реалізованих частин. Ескіз Fritzing на малюнку 6 показує різні датчики, які використовуються для контролю температури та освітлення. Інфрачервоний датчик наближення здатний керувати найближчим об'єктом і виконує деякі завдання відповідно до вимірювання відстані.

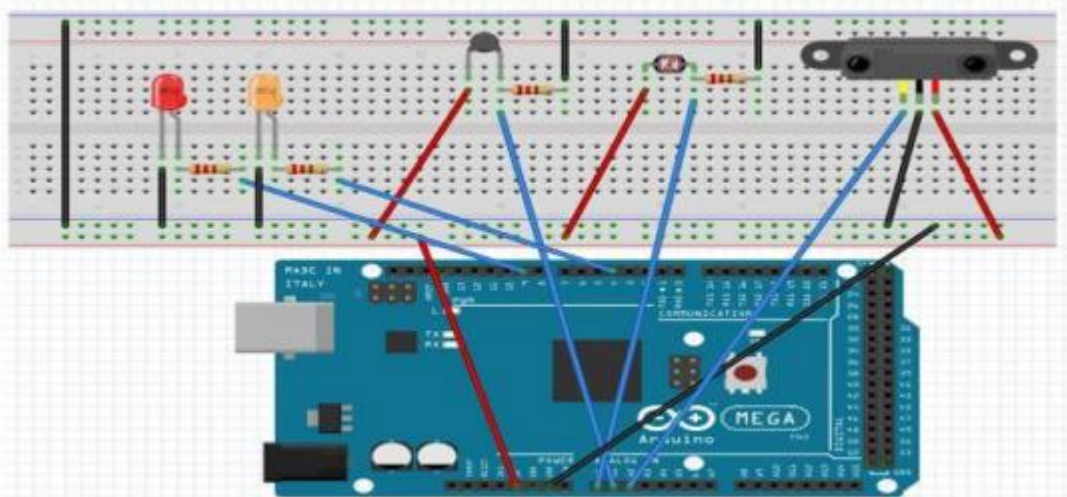


Рисунок 4.1 — Ескіз схеми проектування з використанням Arduino як плати мікроконтролера

Файл оболонки для завантаження даних з локального каталогу в базу даних MySQL Розроблено базу даних, яка міститиме статичні та динамічні дані наступним чином: одна таблиця з назвою «sensorupload», де зберігаємо зареєстровану температуру, класифіковану за датою, у форматі часових позначок. Сценарій оболонки, буде виконуватися як завдання кожні 5 хвилин. Сценарій полягає в тому, щоб зчитувати файл txt з локального шляху, завантажуючи дані в таблицю «sensorupload» після видалення попередніх даних, вставлених у таблицю [15]. Повідомлення про моніторинг навколишнього середовища розроблено за допомогою Python. Деталі коду сценарію складаються з надсилання електронної пошти в прикріплених даних датчика журналу. Ці дані датчика даних журналу передаються з центру обробки даних, де розгорнута система моніторингу навколишнього середовища, на віддалений сервер за допомогою безпечного інструменту WinSCP. Окрім сценарію python, є сценарій оболонки, щоб автоматично виконує сценарій як завдання кожні 5 хвилин. Розгортання включає плату Arduino всередині датчика температури, інфрачервоного випромінювання, датчика світла; і хост-сервер, на якому встановили програмне забезпечення. Arduino підключено до хост-сервера, а порт COM 5 використовується для

забезпечення зв'язку між Arduino і хост-сервером. На рис.4.2 показано моніторинг в режимі реального часу на платі Arduino.

```

COM5
#S|SENSORLOG|[ == there are <<<< 2232 >>>> lines every week per sensor]#
#S|SENSORLOG|[ == There are <<<< 2232 >>>> lines every month per sensor]#
#S|SENSORLOG|[ == The sensordelay is 1200000 milliseconds per interval]#
#S|SENSORLOG|[ == Do NOT remove or change these lines!]#
#S|SENSORLOG|[ == They are used in your web service portal to determine the value generated and logged]#
#S|SENSORLOG|[ == weeknumber and monthnumber. <c>Visual Data Webservices]#
#S|SENSORLOG|[ =====]#
0 inches
#S|SENSORLOG|[Sharp Infrared Sensor:0;inches distance; LC: ]#
13 Celsius, 55 fahrenheit -> 13 Max, 13 Min
#S|SENSORLOG|[TemperatureSensor:0;- Temp in Minimum Value-Celsius; LC: ]#
#S|SENSORLOG|[TemperatureSensor:55;- Temp in Minimum Value-fahrenheit; LC: ]#
Temp reading = 26 - 0.08 volts
-41.62 degrees C
#S|SENSORLOG|[TemperatureSensor:-41;Voltage according to Temperature degrees C; LC: ]#
-42.92 degrees F
#S|SENSORLOG|[TemperatureSensor:-42;Voltage according to Temperature degrees F; LC: ]#
0.13 volts
-37.30 degrees C
#S|SENSORLOG|[TemperatureSensor:-41;Voltage according to Temperature degrees C; LC: ]#
-35.15 degrees F
#S|SENSORLOG|[TemperatureSensor:-35;Voltage according to Temperature degrees F; LC: ]#
Distance to nearest object: 513.18 cm
#S|SENSORLOG|[UltraSonicSensor:513;Distance to nearest object; LC: ]#
#S|SENSORLOG|[ =====]#
  
```

Рисунок 4.2 — Зчитування температури датчика з Arduino і передача даних на комп'ютер

Дані журналу зберігаються на хост-сервері у форматі csv. Після виконання завдань із завантаження файлу csv, який містить дані моніторингу, файл даних журналу надсилається на електронну пошту команди керівника

Для реалізації проекту були поставлені задачі, пов'язані із прийомом даних сервером, їх візуалізацією і обробкою з використанням WEB-технологій. Нині існує доволі багато систем з реалізацією аналогічних задач, всі вони працюють за доволі схожим принципом.

WEB-сайт системи одержує дані. Виконує їх обробку і візуалізацію в зручному вигляді. Інтерфейс реалізований на адаптивній технології, що дозволяє працювати в системі як з мобільних пристроїв так і з комп'ютера.

Структурна схема системи наведена в Додатку Г.

## 4.5 Опис роботи системи

Зв'язок сервера із датчиками відбувається за допомогою POST-запитів. При отриманні даних від датчика у форматі Json, модуль збирання та попередньої обробки інформації додає отриманні дані в колекцію датчика, яка зберігається в базі даних і паралельно з цим надсилає отриманні дані всім користувачам в системі, підписаним на цей датчик, після чого клієнтський модуль їх обробляє та відображає у зручному для користувача вигляді.

Особливістю клієнтського модуля системи є використання геолокації на основі технологій Google.

При завантаженні сторінки, завдяки зв'язку з модулем збирання та попередньої обробки інформації на основі технології WebSocket, одержується інформація про координати датчиків та забруднювачів у форматі Json і вона відтворюється на мапі у вигляді маячків. Якщо ж користувачеві не потрібні забруднювачі на мапі, функціонал сайту передбачає можливість їх приховати (рисунок 4.3).

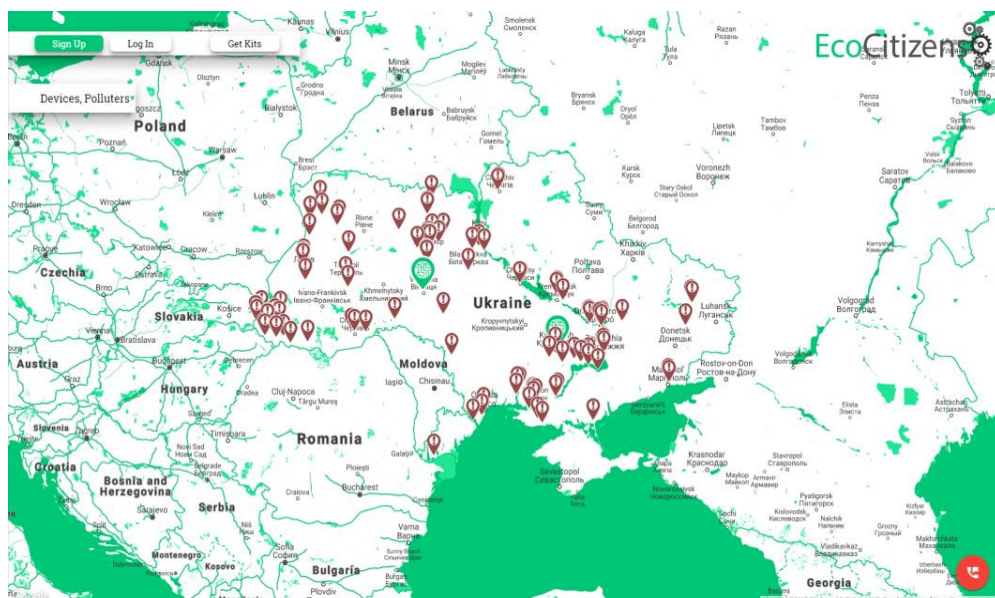


Рисунок 4.3 — Приклад сторінки системи моніторингу

Функціонал передбачає ряд фільтрів, які дозволяють користувачеві відбирати інформацію за необхідними ознаками (рисунок 4.4). Відтворювані

дані формуються як на основі зібраної раніше інформації з бази даних, так і наживо в реальному режимі часу з обраними користувачем датчиками.

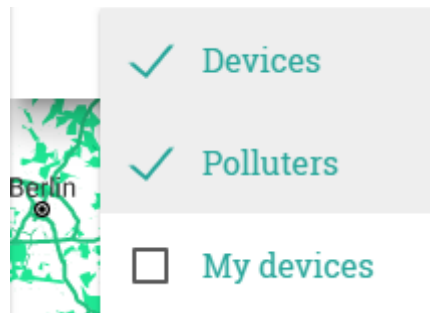


Рисунок 4.4 — Знімок фільтрів користувача, сайт esocitizens.online

Серед маячків на мапі наявні забруднювачі та пристрої. При натисненні на забруднювач, відображається його назва та адреса (рисунок 4.3).

Основним функціоналом сайту є відображення конкретних показань знятих в реальному часі. Обравши пристрій на мапі одним натисненням лівої кнопки миші з'являється вікно з графіками та реальними показами (рис. 4.5).

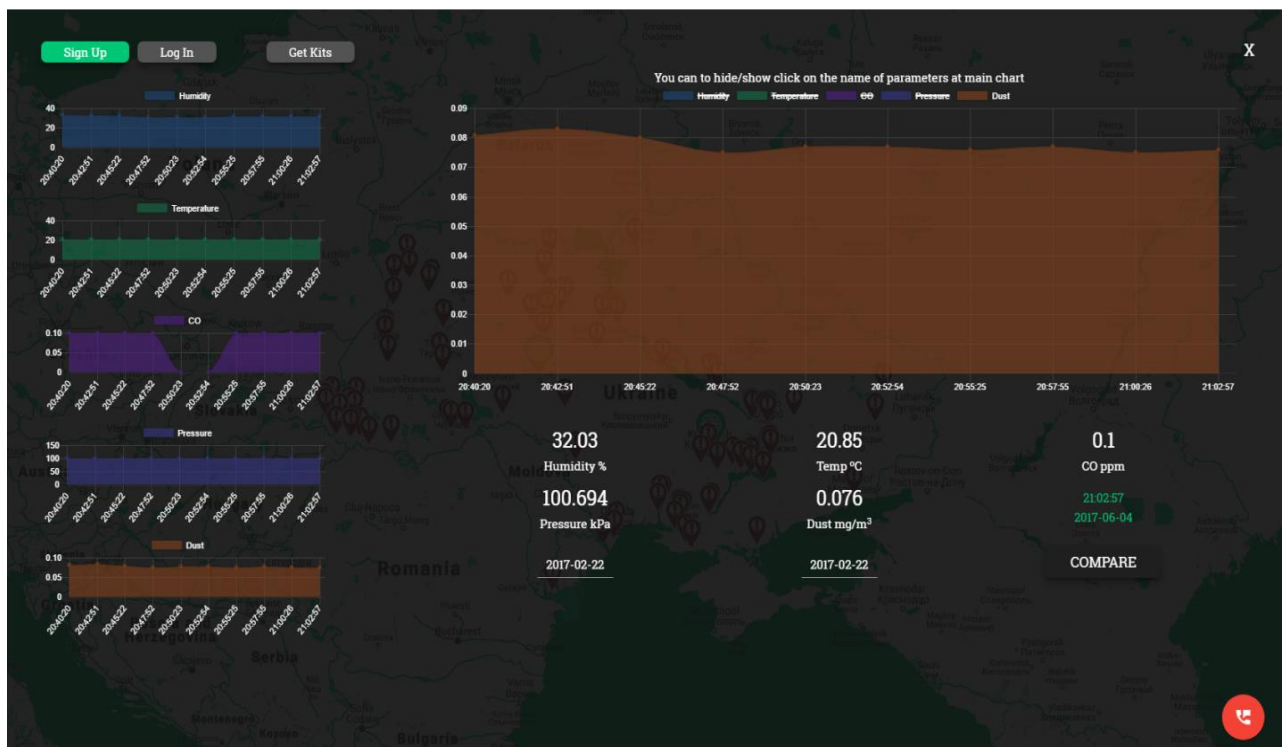


Рисунок 4.5 — Відображення інформації обраного пристрою

Це вікно також має фільтр на головному графіку, який дозволяє відобразити декілька параметрів одночасно (рисунок 4.6).

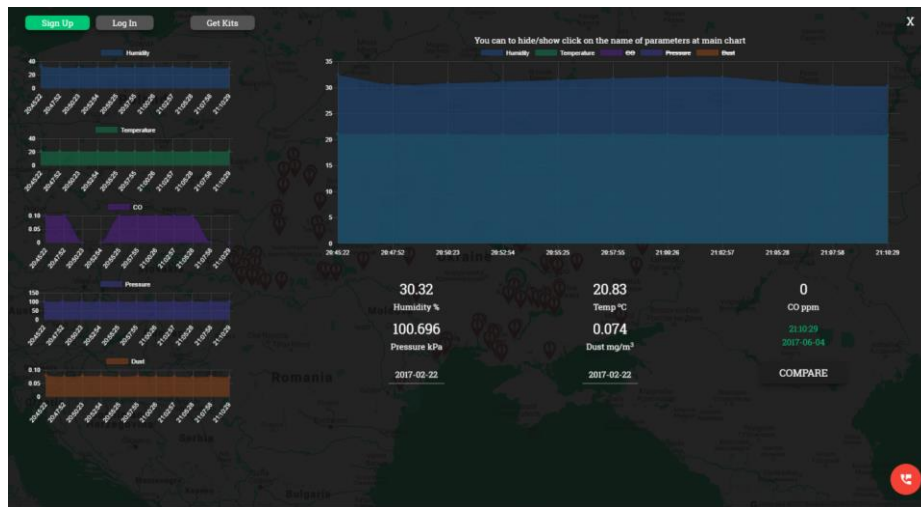


Рисунок 4.6 — Фільтр відображення параметрів на одному графіку

Цей модуль змінює певне значення в колекції обраного датчика, яка зберігається в базі даних. Після цього, цей пристрій може побачити на мапі користувач, після проходження авторизації. Також у кабінеті наявний стандартний функціонал зміни пароля та виходу з акаунта.

## ВИСНОВКИ

У ході роботи було розглянуто питання поєднання оптоелектронної та гео-інформаційної систем. Як складова оптоелектронної системи було розроблено систему датчиків моніторингу атмосферного повітря, які вимірювали стан навколишнього середовища та концентрацію у ньому забруднюючих речовин. Було розглянуто різні типи датчиків, їх характеристики, для вибору доцільних датчиків, за для оптимального вибору забруднюючої речовини та відповідного вимірювального датчика.

Моніторинг довкілля є вирішальним фактором для підтримки хорошої якості життя та збереження здоров'я населення. Розроблено апаратне забезпечення, яке за доступною ціною та забезпечує надійне функціонування в мережі. Програмне забезпечення легко модифікується та розширюється Система моніторингу навколишнього середовища для центрів обробки даних є кроком вперед у напрямку розширення функціональних можливостей такого роду систем. Із запропонованим центром обробки даних моніторингу, екологічні організації можуть без зусиль встановити систему без додаткових витрат на монтаж проводки та обслуговування.

Крім того, запропонована система реалізована для перегляду журналів записів і статусу системи через Інтернет в режимі реального часу. Але просто відстежувати ці дані недостатньо. Необхідно переконатися, що виконання моніторингу середовища виявляє проблеми, стосовно яких проводиться моніторинг.

Запропоновано додатковий портал веб-моніторингу, що дозволяє контролювати дані датчиків у режимі реального часу за допомогою діаграм які можна переглянути за допомогою web-сервісу.



## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Использование ГИС в экологии [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://homepage.buryatia.ru/rmeic/gis.htm>
2. ГИС и охрана окружающей среды [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.dataplus.ru/win/All\\_Gis/13Ecolog/GIS\\_ECOL.htm](https://www.dataplus.ru/win/All_Gis/13Ecolog/GIS_ECOL.htm)
3. Геоинформационная система поддержки принятия экологически значимых решений на уровне хозяйства [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://loi.sccc.ru/gis/geoeco/use\\_gis\\_eco.htm](http://loi.sccc.ru/gis/geoeco/use_gis_eco.htm)
4. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища. Навчальний посібник. – К.: “Знання”, КОО, 2000. – 254 с.
5. Донской Н.П. Основы экологии и экономика природопользования/ Н.П. Донской, С.А. Донская.– Мн.: УП «Технопринт», 2000. – 308 с.
6. Герасимов И.П. Научные основы современного мониторинга окружающей среды / И.П. Герасимов. - Л.: Гидрометеиздат, 1987. - С.13-25.
7. Горшков М.В. Экологический мониторинг. Учеб. Пособие. – Владивосток: Изд-во ТГЭУ, 2010. - 313 с.
8. Ашихина Т.Я. Экологический мониторинг. – М.: Академический проект, 2005. – 416 с.
9. Афанасьев Ю.А. Мониторинг и методы контроля окружающей среды. Часть 1,2. / Ю.А. Афанасьев, С. А. Фомин. – М.; МНЭПУ, 1998. – 380 с.
10. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. – М.: Гидрометеиздат, 1984. – 560 с.
11. Горелик Д.О. Экологический мониторинг. / Д.О. Горелик, Л.А. Конопелько, Э. Д. Панков. – СПб, 1998. – 592 с.
12. David B. Lindenmayer. Effective Ecological Monitoring. – CSIRO Publishing, 2010. – 184 с.
13. Robert A. Gitzen. Design and Analysis of Long-term Ecological Monitoring Studies / A. Robert, Joshua J. Millsbaugh, Andrew B. Cooper, Daniel S. Licht. – Cambridge University Press, 2012. – 568 с.

14. Моніторинг навколишнього середовища. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ceh.ac.uk/our-science/science-areas/monitoring-observation-systems>
15. Системы экологического мониторингу. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.a-filter.ru>
16. Екологічний моніторинг [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ecology-education.ru/index.php?action=full&id=426>
17. Кожемяко В. П., Тарновський М. Г., Павлов С. В. Схемотехніка сучасного приладобудування. Частина IV. – Вінниця: ВНТУ, 2003. – 136 с.
18. Кожемяко В. П., Павлов С. В., Тарновський М. Г. Оптоелектронна схемотехніка. Навчальний посібник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 189 с.
19. Проекты с использованием контроллера Arduino. — СПб.: БХВ-Петербург, 2014. — 400 с.: ил. — (Электроника)
20. Bas Wijnen, G. C. Anzalone and Joshua M. Pearce, Open-source mobile water quality testing platform. Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development, 4(3) pp. 532–537 (2014). doi:10.2166/washdev.2014.137
21. Дэвид Флэнаган. JavaScript. Подробное руководство, 6е издание. Пер. с англ. – СПб: Символ Плюс, 2012. – 1080 с.
22. Проектування систем моніторингу [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://a-portal.moreprom.ru/files%2Bprint%2B68.html>
23. Схемы адаптивных систем: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: [http://studopedia.ru/2\\_107476\\_shemi-adaptivnih-sistem.html](http://studopedia.ru/2_107476_shemi-adaptivnih-sistem.html)
24. Адаптивність ІС: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: [http://lubbook.net/book\\_270\\_glava\\_27\\_7.4\\_Adaptivn%D1%96st\\_%D0%86S.html](http://lubbook.net/book_270_glava_27_7.4_Adaptivn%D1%96st_%D0%86S.html)
25. Осадчук В.С. Температурні та оптичні мікроелектронні частотні перетворювачі. Монографія / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, В.Г. Вербицький. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2001. - 195с.

26. Инфракрасные газоанализаторы: основные принципы работы – электронный ресурс. Режим доступа: [http://www.pozhgazpribor.ru/articles/\\_a12.html](http://www.pozhgazpribor.ru/articles/_a12.html).

27. Зубков И.Л., Соборовер Э.И., Добротин С.А. Оптические химические сенсоры для контроля газовых сред // Материалы IV ВНТК "Методы и средства измерений", часть 1, январь 2002 г. - Н. [Новгород](#): МВВО АТН РФ, 2002. С. 19.

28. Соборовер Э.И., Зубков И.Л. Оптический химический сенсор с тонкопленочным планарным [волноводом](#) для контроля газовых сред // Там же. С. 18.

29. Соборовер Э.И., Гундорин В.В. Исследование сенсорного эффекта в плосковолноводном оптическом химическом газовом сенсоре трехслойной конструкции // Датчики и системы. 2001. № 6. С. 23-28.

**ДОДАТОК А**  
Технічне завдання

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії  
Кафедра обчислювальної техніки

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ОТ  
проф., д.т.н.. Азаров О.Д..

" " 2022 р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**  
на виконання бакалаврської дипломної роботи  
“ Гео-інформаційна система моніторингу забруднення повітря ”  
08-23.БДР.025.00.000 ТЗ

Науковий керівник: к.т.н., доцент каф. ОТ  
\_\_\_\_\_ Кожем'яко А. В.

Студент групи 2КІ-18Б  
\_\_\_\_\_ Байрамян Г. Г.

## 1 Підстава для виконання бакалаврської дипломної роботи (БДР)

1.1 Актуальність розробки полягає у вирішенні потреб чистого повітря яке має важливе значення для нашого власного здоров'я та навколишнього середовища. Турбота про чисте довкілля та здоров'я людей в останні десятиліття привела до суттєвого покращення якості повітря. Однак забруднення існує, особливо у великих містах і навколо них, люди постійно піддаються небезпеці для здоров'я.

### 1.2 Наказ про затвердження теми БДР.

## 2 Мета БДР і призначення розробки

2.1 Мета роботи — підвищення ефективності сучасних геоінформаційних екомоніторингових систем за рахунок застосування датчиків вимірювання забруднення, а також обробку та візуалізацію даних в мережі Інтернет;

2.2 виконання бакалаврського дипломного роботи по створенню геоінформаційних систем та розроблення методу застосування датчиків вимірювання забруднення повітря.

## 3 Вихідні дані для виконання БДР

3.1 Аналіз предметної області;

3.2 Проведення аналізу сучасних засобів, що дозволяють записувати дані із датчиків забруднення та реєструвати їх;

3.3 Розробка інтерфейсу та функціоналу веб-додатку моніторингу.

## 4 Вимоги до виконання БДР

Головна вимога — комп'ютерне моделювання проекту системи та надати рекомендації щодо раціональної організації роботи системи для екологічного моніторингу.

## 5 Етапи БДР та очікувані результати

Етапи роботи та очікувані результати приведено в таблиці етапів БДР.

## 6 Матеріали, що подаються до захисту БДР

До захисту подаються: пояснювальна записка БДР, графічні і ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту БДР на кафедрі, відгук наукового керівника, відгук опонента, протоколи складання державних екзаменів, анотації до БДР українською та іноземною мовами, довідка про відповідність оформлення БДР діючим вимогам.

Таблиця — Етапи БДР

№ з/п	Назва етапів виконання комплексної бакалаврської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Постановка задачі роботи	08.03.22	розділ 1
2	Характеристика предметної області	09.03-14.03.22	розділ 1
3	Аналіз сучасних засобів екологічного моніторингу	17.03-01.04.22	розділ 1
4	Пошук необхідних технологій для розробки	03.04-09.04.22	розділ 2
5	Розробка структури системи	12.04-16.04.22	розділ 2
6	Моделювання роботи системи	19.04-27.04.22	розділ 2
7	Розробка веб-додатку	01.05-18.05.22	розділ 4
8	Аналіз виконання роботи, висновки, додатки	21.05-25.05.22	Пояснювальна записка
9	Перевірка якості виконання бакалаврського проекту та усунення недоліків	28.05-09.06.22	Пояснювальна записка і презентація

## 7 Порядок контролю виконання та захисту БДР

Виконання етапів графічної та розрахункової документації БДР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист БДР відбувається на засіданні Екзаменаційної комісії, затвердженої наказом ректора.

## 8 Вимоги до оформлювання та порядок виконання БДР

### 8.1 При оформлюванні БДР використовуються:

— ДСТУ 3008: 2015 «Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання»;

— ДСТУ 8302: 2015 «Бібліографічні посилання. Загальні положення та правила складання»;

— ГОСТ 2.104-2006 «Єдина система конструкторської документації. Основні написи»;

— документами на які посилаються у вище вказаних.

8.2 Порядок виконання БДР викладено в «Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:21»

## ДОДАТОК Б

## Система екологічного моніторингу в режимі реального часу

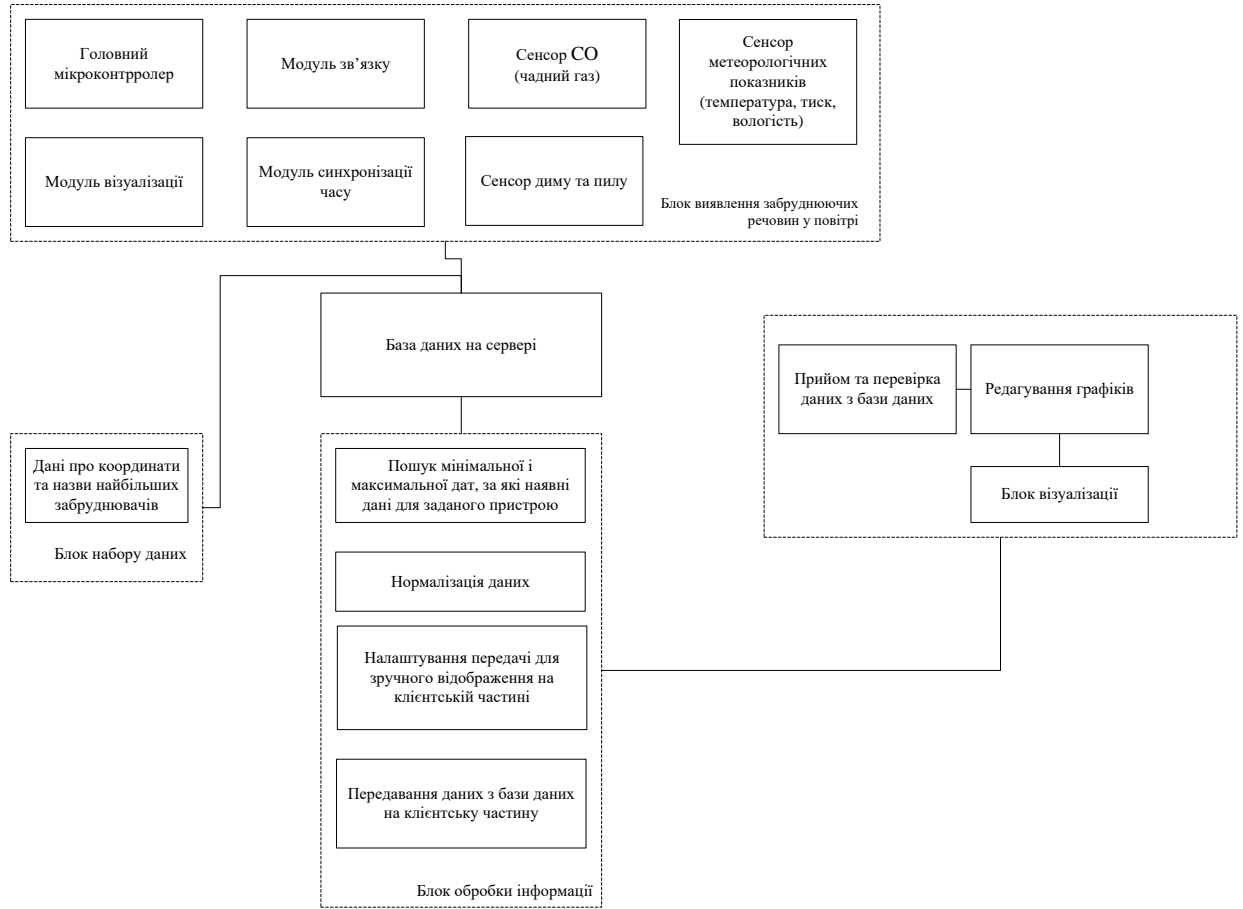


Рисунок Б.1 — система екологічного моніторингу в режимі реального часу



**ДОДАТОК В**

Схема електрична принципова пристрою екологічного моніторингу в режимі реального часу

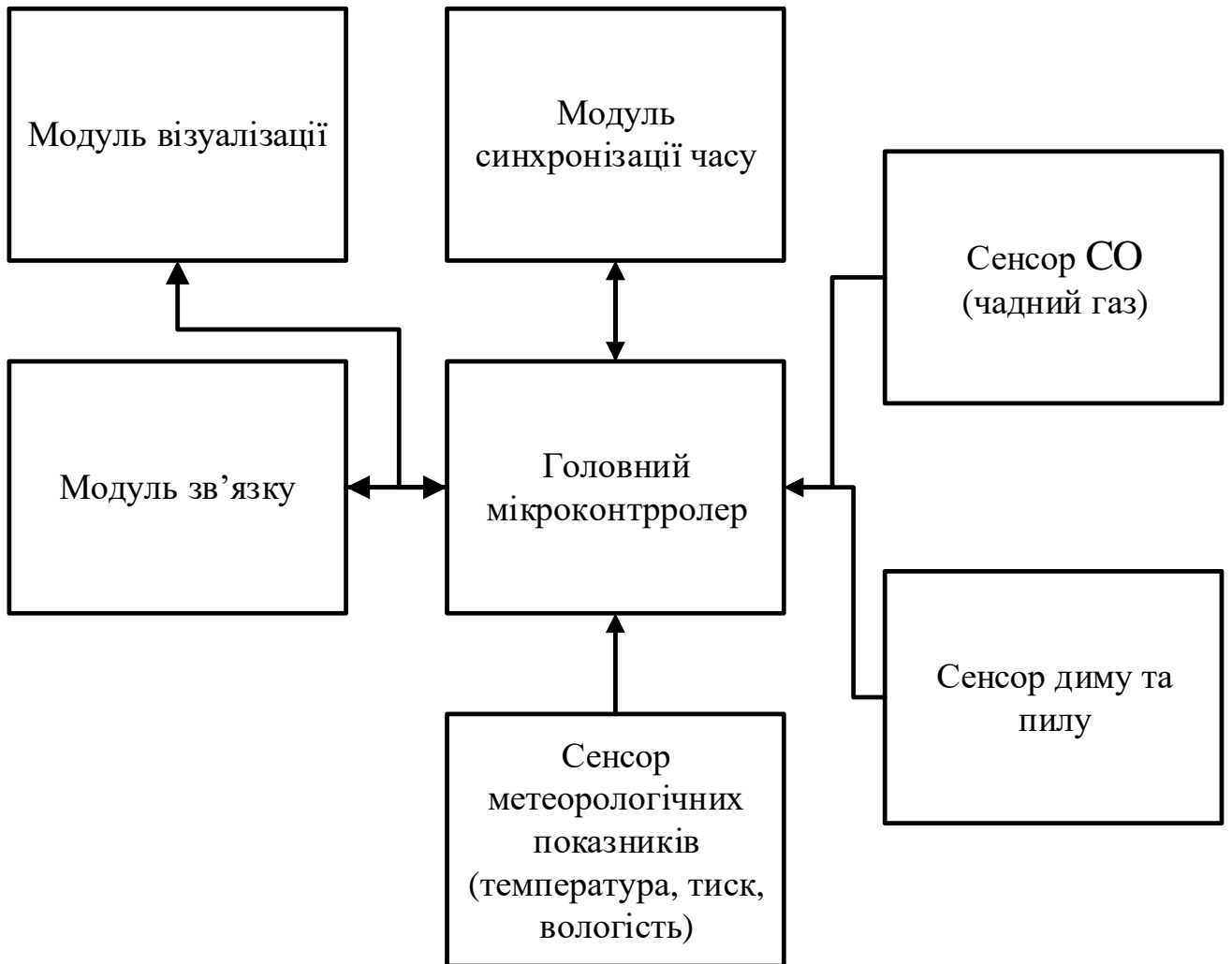


Рисунок В.1 — Схема електрична принципова пристрою екологічного моніторингу в режимі реального часу

## ДОДАТОК Г

### Структурна схема системи

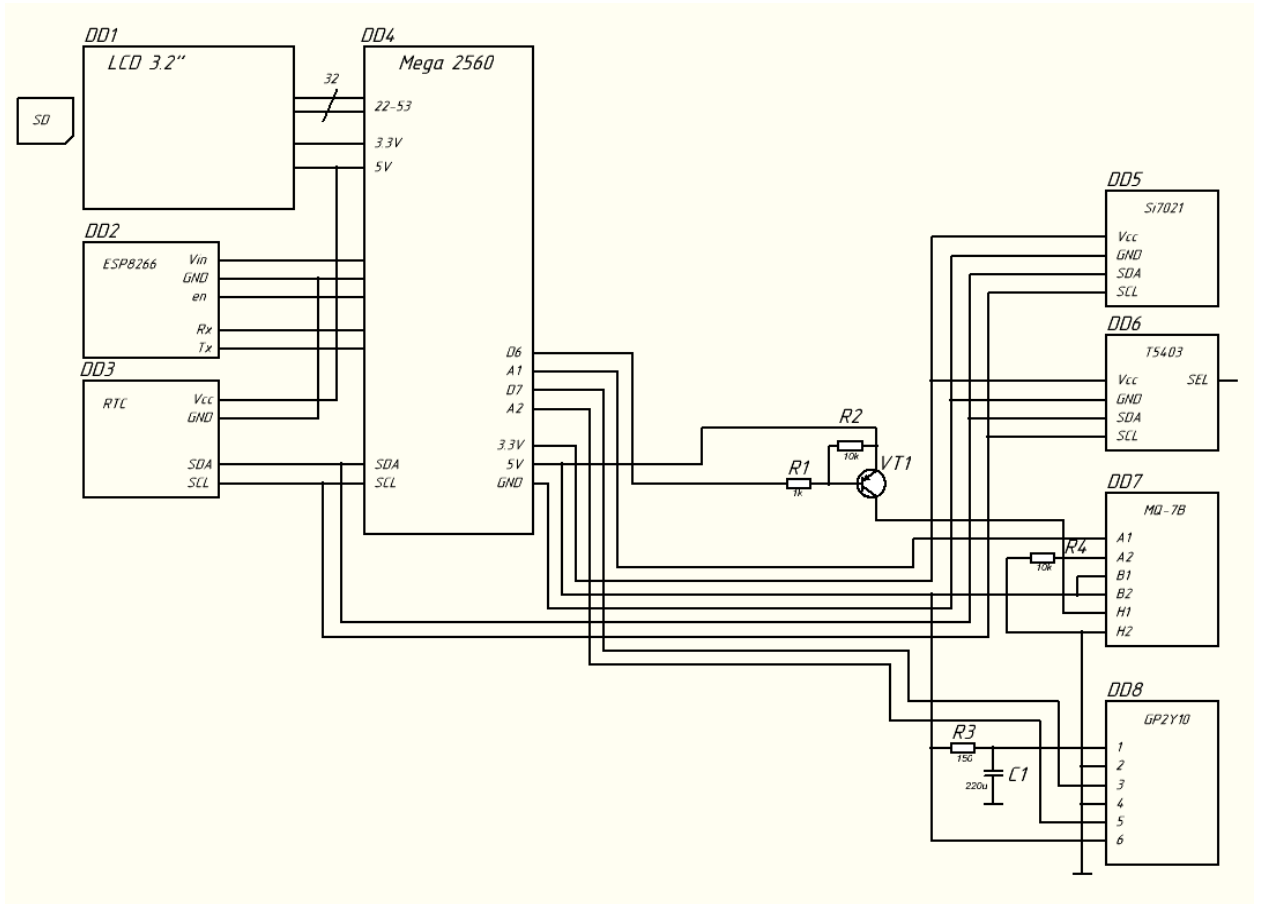


Рисунок Г.1 — Структурна схема системи

**ДОДАТОК Д**  
Лістинг програми

```
#define VERSION 002
#define DELTATIME 1000
//!!debug!! TSAMP = 150
#define TSAMP 150
#define TSAMPF 150.0
#define DATLEN 5
#define RESPE 2
#define RESPA 3

#define SENSOR_ID "UA-KR-0001"

#include <Arduino.h>
//#include <Time.h>

#include <SD.h>
#include <SPI.h>
#include <ArduinoJson.h>
#include <stdint.h>

#include "graph.h"
#include "sensors.h"

#include "RTCLib.h"

/*=====*/
=====*/
```

```

// these are the only external variables used by the graph function
// it's a flag to draw the coordinate system only on the first call to the Graph()
function
// and will minimize flicker
// also create some variables to store the old x and y, if you draw 2 graphs on the
same display
// you will need to store ox and oy per each display
boolean display1 = true;
boolean update1 = true;

double ox = -999, oy = -999; // Force them to be off screen

/*=====
=====*/

TFT_HX8357 tft = TFT_HX8357();
SI7021 si7021;
//T5403 barometer(MODE_I2C);
RTC_DS1307 rtc;

const int chipSelect = 53;

uint16_t sensorsError = 0;
uint8_t nsamp = 1, iter = 0;
unsigned long currentTime, prevTime;
unsigned long dt = DELTATIME;
DateTime timeOfFirstRead;
uint8_t reset_counter;

double buffer_A[96],buffer_B[96];

```

```
int indx = 0;

void setup() {

//Reset pins init
reset_counter = 0;
digitalWrite(RESP_E,HIGH);
pinMode(RESP_E,OUTPUT);
digitalWrite(RESP_A,HIGH);
pinMode(RESP_A,OUTPUT);

//Serial init
Serial.begin(9600);
Serial.println("Serial OK");
Serial3.begin(115200);
Serial3.setTimeout(150);

//Display initialization
tft.init();
tft.setRotation(1);
tft.setCursor(0, 0, 2);
tft.fillScreen(TFT_BLACK);
tft.setTextSize(1);
tft.setTextColor(TFT_WHITE,TFT_BLACK);

//Sensors init
sensorsError = sensorsInit(tft);
//barometer.begin();
delay(10);
si7021.setHumidityRes(12);
```

```

delay(100);
//tft.setCursor(0, 110, 2);
if (! rtc.begin()) {
tft.println("Couldn't find RTC");
} else {
tft.println("RTC OK");
}

delay(200);

//SDCARD INITIALIZATION
String                               dataString                               =
"#time(HH:MM:SS),\tCO(ppm),\tdust(mg/m3),\ttemp(degC),\tpres(Pa),\thum(%)";
bool sderror = false;
if (!SD.begin(chipSelect)) {
tft.println("SD ERROR");
sderror = true;
} else {
SD.remove("datalog.txt");
File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
dataFile.println(dataString);
dataFile.close();

File wifiFile = SD.open("WIFI.TXT");
if (wifiFile) {
while (wifiFile.available()) {
Serial3.write(wifiFile.read());
}
}

Serial3.println();

```

```
wifiFile.close();
} else {
tft.println("error opening WIFI.TXT");
}

tft.println("SD OK");
}

delay(2);

//Time sync
tft.print("TIME SYNC: ");

bool time_rcvd = false;
bool cond = false;
String sync_time;
StaticJsonBuffer<200> jsBuff;
uint32_t timer_rcv = 0;
uint32_t timer_rcv_esp = 0;

do{
time_rcvd = false;
while(!time_rcvd){
if(Serial3.available()){
sync_time = Serial3.readStringUntil('\n');
time_rcvd = true;
}else{
delayMicroseconds(500);
timer_rcv_esp++;
if(timer_rcv_esp > 10000) time_rcvd = true;
```

```

}
}

JsonObject& stime_jo = jsBuff.parseObject(sync_time);
cond = stime_jo.success();
if (!cond) {
tft.print("x");
tft.print(sync_time);
delayMicroseconds(500);
}else{
tft.println("OK");
unsigned long epoch = stime_jo["epoch"];
tft.println(epoch);
rtc.adjust(DateTime(epoch));
}
if(timer_rcv > 300000){
tft.println("SYNC TIME OUT");
cond = true;
}else{
timer_rcv++;
}
}while(!cond);
//sample input: date = "Dec 26 2009", time = "12:34:56"
//rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));

//Clear screen
tft.setCursor(0, 0, 2);
tft.fillScreen(TFT_BLACK);
}

```



```

Reading accumRead;
Reading data[DATLEN];
Reading singleRead;
String jsonTime;

void loop() {
  DateTime now;
  now = rtc.now();

  currentTime = millis();

  if (currentTime - prevTime > dt){

    prevTime = currentTime;
    nsamp>=TSAMP? nsamp=1 : nsamp++;
    /*
    if (!(nsamp % 3)){
      now = rtc.now();
    }
    */

    //Display some data
    tft.setCursor(0, 0, 2);
    tft.println(getTimeString(now));
    tft.println(getTimeString(timeOfFirstRead));

    singleRead = getSensorsReadings(nsamp);
    tft.fillRect(0,2*16,140,5*16,TFT_BLACK);
    displayInfo(tft, singleRead, 0);

    tft.fillRect(0,7*16,140,2*16,TFT_BLACK);

```

```

tft.print("[sample]: ");
tft.println(nsamp);
tft.print("[time]: ");
jsonTime = getTimeJ(timeOfFirstRead);
tft.println(jsonTime);

accumRead.mono = accumRead.mono + singleRead.mono;
accumRead.dust = accumRead.dust + singleRead.dust;
accumRead.temp = accumRead.temp + singleRead.temp;
accumRead.pres = accumRead.pres + singleRead.pres;
accumRead.hum = accumRead.hum + singleRead.hum;

if (nsamp >= TSAMP){
//averaging and storing to data[i];
//float denom = (float)TSAMP;
timeOfFirstRead = rtc.now();
jsonTime = getTimeJ(timeOfFirstRead);

accumRead.mono = accumRead.mono / TSAMPF;
accumRead.dust = accumRead.dust / TSAMPF;
accumRead.temp = accumRead.temp / TSAMPF;
accumRead.pres = accumRead.pres / TSAMPF;
accumRead.hum = accumRead.hum / TSAMPF;

// graph =====
if(indx<96){
buffer_A[indx] = accumRead.temp;
buffer_B[indx] = accumRead.dust;
indx++;
}else{

```

```

for(int i=0;i<95;i++){
buffer_A[i] = buffer_A[i+1];
buffer_B[i] = buffer_B[i+1];
}
buffer_A[95] = accumRead.temp;
buffer_B[95] = accumRead.dust;
}

```

```

double x,y,xll,xlh;
int gx=175,gy=95,w=295,h=90;

```

```
tft.fillRect(140,0,340,230,TFT_BLACK);
```

```

double tmp_ind;
tmp_ind = (96-indx)*2.5;
xll = -240 + tmp_ind;
xlh = tmp_ind;

```

```

update1 = true;
for (int i=0;i<96;i++) {
//y = sin(i);
x = -240 + (96-indx + i)*2.5;
Trace(tft, x, buffer_A[i], 1, gx, gy, w, h, xll, xlh, 60, -10, 40, 10, "temp", "t", "",
update1, YELLOW);
}

```

```

update1 = true;
for (int i=0;i<96;i++) {
//y = sin(i);

```

```

x = -240 + (96-indx + i)*2.5;
Trace(tft, x, buffer_B[i], 1, gx, gy+115, w, h, xll, xlh, 60, 0, 0.6, 0.1, "dust", "t", "",
update1, YELLOW);
}
// end graph =====

String dataString = genDatalog(now, accumRead);
String temp = genFilename(now);

char filename[16]="20160101.csv";
temp.toCharArray(filename,sizeof(filename));
File dataFile = SD.open(filename, FILE_WRITE);
dataFile.println(dataString);
dataFile.close();

//json generating
StaticJsonBuffer<1400> jsonBuffer;
JsonObject& root = jsonBuffer.createObject();
root["_id"] = SENSOR_ID;
JsonObject& data_j = root.createNestedObject("data");
JsonObject& date_j = data_j.createNestedObject("date");
date_j["date"] = getDateJ(timeOfFirstRead);
date_j["time"] = jsonTime;

JsonObject& read_j = data_j.createNestedObject("readings");

read_j["mono"] = double_with_n_digits(accumRead.mono, 1);
read_j["dust"] = double_with_n_digits(accumRead.dust, 3);
read_j["temp"] = double_with_n_digits(accumRead.temp, 2);
read_j["pres"] = (uint32_t)accumRead.pres;

```

```
read_j["hum"] = double_with_n_digits(accumRead.hum, 2);
```

```
root["err"] = sensorsError;
```

```
tft.fillRect(0,16*16,480,4*16,TFT_BLACK);
```

```
root.printTo(Serial3);
```

```
Serial3.println();
```

```
iter = 0;
```

```
accumRead.mono = 0.0;
```

```
accumRead.dust = 0.0;
```

```
accumRead.temp = 0.0;
```

```
accumRead.pres = 0.0;
```

```
accumRead.hum = 0.0;
```

```
if (reset_counter > 71){
```

```
digitalWrite(RESPPE,LOW);
```

```
tft.println("RESET!");
```

```
delay(1000);
```

```
digitalWrite(RESPA,LOW);
```

```
}else{
```

```
reset_counter++;
```

```
}
```

```
}
```

```
tft.setCursor(0, 16*16, 2);
```

```
String temps = Serial3.readString();
```

```
tft.println(temps);
```

```
}
```

```
}
```

