

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
 «КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
 імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
 ПРИЛАДОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
 КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

«На правах рукопису»

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
 _____ В.С. Єременко

“__” _____ 2019р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»
 на тему: «_____ Система аналізу газів _____»

Виконала: студентка II курсу, групи ВВ-81мп
 Мельник О.В.

Науковий керівник
 к.т.н. Морозова М.М.

Консультант з розділу «Розробка стартап-проекту»
 д.е.н., доцент Бояринова К.О.

Рецензент
 к.т.н, доц. Добролюбова М.В.

Засвідчую, що у цій магістерській
 дисертації немає запозичень з праць
 інших авторів без відповідних
 посилань.
 Студентка _____

Київ – 2019 року

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаної літератури із 18 найменувань та додатків. Загальний обсяг роботи становить 103 сторінки. Дисертація містить 28 таблиць та 49 рисунків.

Актуальність теми. Магістерська дисертація присвячена розробці зразка системи для аналізу шкідливих сполук газів (CO , CO_2 , SO_2 , NO , NO_2), які поширюються на тисячі кілометрів від джерела забруднення та становлять потенційну загрозу навколишньому середовищу та живим організмам. Окрім шкідливих сполук, з ціллю нормування викидів, пропонується також визначати за допомогою розроблюваної системи сполуки O_2 і H_2O .

Робота включає також розробку програмного компонента, за допомогою якого можна проводити моніторинг якості повітря, використовуючи отримані дані з газоаналізаторів мобільних лабораторій.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розробка системи аналізу газів (САГ) для моніторингу концентрації викиду шкідливих газів із ціллю забезпечення безпеки та запобігання отруєнь населення. Система буде визначати, чи виміряна концентрація сполук шкідливих газів не перевищує гранично допустимої концентрації (ГДК).

Для досягнення мети було поставлено наступні задачі:

- Провести огляд та аналіз існуючих технічних рішень.
- Обґрунтувати вибрану конструкцію САГ.
- Розробити структурну схему САГ.
- Розробити функціональну схему та алгоритм роботи.
- Провести вибір та розрахунки окремих функційних елементів, а також аналіз похибок окремих модулів.
- Розробити програмний компонент.
- Провести опис організації робіт із використанням розробленої системи та програмного компонента.

Об'єкт дослідження – процес аналізу певних сполук газів, а саме концентрації сполук CO , CO_2 , NO_2 .

Предмет дослідження – рівень концентрації сполук газів та його співвідношення і порівняння з гранично-допустимим рівнем концентрації.

Наукова новизна. Новизна полягає в тому, що програмна реалізація системи аналізу газів здійснена з використанням сучасних технологій розробки програмних продуктів, що забезпечує швидкодію, актуальність системи.

Методи дослідження. У роботі було використано наступні методи: методи математичного моделювання, програмно-алгоритмічного моделювання, статистичного аналізу.

Практичне значення одержаних результатів. Результати досліджень можуть бути використані при проектуванні спеціалізованого обладнання та програмних додатків до нього у сфері екологічного моніторингу.

Публікації:

1. Мельник О.В., Морозова М.М. Назва статті: «Методи газового аналізу: особливості та перспективи» – НАУКОВЕ МИСЛЕННЯ: Збірник статей учасників тридцять другої всеукраїнської практично-пізнавальної конференції «Наукова думка сучасності і майбутнього» (28 жовтня – 5 листопада 2019 р.). – Видавництво НМ. – Дніпро, 2019; Url – <http://naukam.triada.in.ua/> .

2. Мельник О.В., Морозова М.М. Назва статті: «Методи газового аналізу для контролю промислових викидів» – XV Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні» (10 – 11 грудня 2019 р.). – Київ, 2019.

Ключові слова: викиди, газ, газова суміш, газовий аналіз, вимірювання.

ABSTRACT

The master's thesis consists of an introduction, 5 sections, conclusions, a list of used literature (18 sources) and appendices. The total volume of work is 103 pages. The master's thesis contains 28 tables and 49 drawings.

Actuality of theme. The master's thesis is devoted to the development of a sample system for the analysis of harmful compounds of gases (CO, CO₂, SO₂, NO, NO₂), which extend thousands of kilometers from the source of pollution and pose a potential threat to the environment and living organisms. In addition to harmful compounds, for the purpose of emission regulation, it is also proposed to determine O₂ and H₂O compounds using the developed system.

The work also includes the development of a software component that helps to monitor air quality using data obtained from mobile laboratory of gas analyzers.

The purpose and objectives of the study. The purpose of the project is to develop a gas analysis system (SAG) to monitor the concentration of harmful gases in order to ensure safety and prevent population poisoning. The system will determine if the measured concentration of harmful gas compounds does not exceed the maximum permissible concentration (MPC).

To achieve this goal, the following tasks were set:

- Review and analyze existing technical solutions.
- Justify the selected SAG design.
- Develop a structural diagram of the SAG.
- Develop a functional diagram and algorithm of operation.
- Select and calculate individual functional elements, as well as analyze the errors of individual modules.
- Develop a software component.
- Describe the organization of work using the developed system and software component.

The object of study is the process of analyzing certain gas compounds, namely the concentrations of CO, CO₂, NO₂.

The subject of the study is the level of concentration of gas compounds and its ratio and comparison with the maximum permissible concentration level.

Scientific novelty. The novelty is that the software implementation of the gas analysis system is carried out using modern technologies of software development, which ensures the speed and relevance of the system.

Research methods. The following methods were used in the work: methods of mathematical modeling, software-algorithmic modeling, statistical analysis.

The practical significance of the results obtained. Research findings can be used in the design of specialized equipment and software applications for environmental monitoring.

Publications on the topic of the master's thesis:

1. Melnyk O.V, Morozova M.M Article Title: «Methods of Gas Analysis: Features and Perspectives» - SCIENTIFIC OPINION: Collection of articles by participants of the thirty-second All-Ukrainian Practical-Cognitive Conference «Scientific Thought of the Present and Future» (October 28 - November 5, 2019). - NM Publishing House. - Dnipro, 2019; Url - <http://naukam.triada.in.ua/>.

2. Melnyk O.V, Morozova M.M Article Title: «Gas Analysis Methods for Industrial Emissions Control» - XV Scientific and Practical Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists «Efficiency of Engineering Solutions in Instrumentation» (December 10 - 11, 2019). - Kiev, 2019.

Keywords: emissions, gas, gas mixture, gas analysis, measurements.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І СИМВОЛІВ

САГ – Система аналізу газів

ПК – Персональний комп'ютер

ПЗ – Програмне забезпечення

ГДК – Гранично допустима концентрація

УФ - ультрафіолет

ІЧ - інфрачервоне випромінювання

ВОР – волоконно-оптичний розгалужувач

ФД – фотодіод

ООП – об'єктно-орієнтоване програмування

ЗМІСТ

Стор.

Вступ.....	10
1. Огляд і аналіз існуючих технічних рішень.....	12
1.1. Існуючі технічні рішення.....	12
1.1.1. Багатофункціональний газоаналізатор ПГА-М-31.....	12
1.1.2. Газоаналізатор АНКAT-7664 Мікро.....	13
1.1.3. Переносний газоаналізатор ГИАМ-29М-3.....	15
Висновки.....	16
2. Вибір методу газового аналізу для вимірювання концентрації CO, CO ₂ , NO ₂	17
2.1. Огляд існуючих методів газового аналізу для вимірювання концентрації речовин.....	17
2.1.1. Електрохімічний метод.....	18
2.1.2. Оптичний метод.....	19
2.2. Вибір методу газоаналізу для контролю промислових викидів.....	20
Висновки.....	22
3. Розробка інфрачервоного газоаналізатора для вимірювання концентрації CO, CO ₂ , NO ₂	23
3.1. Загальні вимоги до газоаналізатора.	23
3.2. Технічні та метрологічні характеристики.....	24
3.3. Основні функції.....	26
3.3.1. Функції газоаналізатора.....	26
3.3.2. Функції системи аналізу газів.....	26
3.4. Розробка структурної схеми газоаналізатора.....	26
3.5. Принцип роботи газоаналізатора за структурною схемою.....	28
3.6. Розрахунки, що підтверджують роботоздатність і якісні показники газоаналізатора.....	29

3.6.1. Канали вимірювання CO, CO ₂ , NO ₂	30
3.6.1.1. Аналіз градувальних характеристик каналів CO, CO ₂ , NO ₂	33
3.6.2. Канал вимірювання температури.....	36
3.6.3. Канал вимірювання вологості.....	36
3.6.4. Розрахунок коефіцієнтів перетворення.....	37
3.6.4.1. Коефіцієнт перетворення датчика вимірювання температури.....	37
3.6.4.2. Коефіцієнт перетворення датчика вимірювання вологості.....	38
3.6.5. Розрахунок похибок вимірювання.....	37
3.6.5.1. Розрахунок похибок каналів вимірювання концентрації CO, CO ₂ , NO ₂	37
3.6.5.2. Розрахунок похибок вимірювання температури.....	38
3.6.5.3. Розрахунок похибок вимірювання вологості.....	39
3.6.5.4. Розрахунок похибки АЦП.....	39
3.7. Розробка функціональної схеми багатоканального інфрачервоного газоаналізатора, опис алгоритму функціонування.....	39
3.7.1. Опис роботи газоаналізатора за функціональною схемою.....	41
3.7.1.1. Приймач оптичного випромінювання.....	41
3.7.1.2. Волоконно-оптичний розгалужувач.....	45
3.7.1.3. Кювета газоаналізатора.....	46
3.7.1.4. Додаткові елементи ІЧ газоаналізатора.....	47
3.8. Розробка алгоритму роботи інфрачервоного газоаналізатора.....	49
Висновки.....	51
4. Опис програмної реалізації системи аналізу шкідливих викидів газів.....	52
4.1. Огляд засобів реалізації програмної системи.....	52
4.1.1. Microsoft .NET Core та мова C#.....	52
4.1. 2. Середовище розробки Microsoft Visual Studio 2019.....	53
4.1. 3. СКБД Microsoft SQL Server 2012 Express.....	54
4.1.4. Entity Framework Core.....	55

4.1.5. Angular 7 фреймворк та мова програмування TypeScript.....	55
4.1.6. Платформа Node.js.....	56
4.2. Розробка програмного компоненту для моніторингу якості повітря отриманих даних з газоаналізаторів мобільних лабораторій.....	57
4.2.1. Загальний опис системи.....	57
4.2.2. Організація збереження даних.....	60
4.2.3. Розробка API-контролера.....	61
4.2.4. Розробка веб-додатку.....	62
4.2.5. Розробка алгоритму роботи веб-додатку.....	67
4.3. Методика роботи користувача з веб-додатком.....	69
4.3.1. Системні вимоги та налаштування роботи з веб-додатком.....	69
4.3.2. Сценарії роботи користувача.....	71
4.3.2.1. Перегляд вимірювань на заданій локації та заданим вимірювальним параметром в таблиці.....	72
4.3.2.2. Перегляд графіка вимірювань за період часу в заданих умовах.....	72
4.3.2.3. Перегляд деталей вимірювання.....	73
4.3.2.4. Зміна локації та вимірювального параметру для отримання відповідних даних в таблиці.....	75
Висновки.....	76
5. Розробка стартап-проєкту «Система аналізу газів»	77
5.1. Опис ідеї проєкту.....	77
5.2. Технологічний аудит ідеї проєкту.....	80
5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проєкту.....	81
5.4. Розробка ринкової стратегії проєкту.....	91
5.5. Розробка маркетингової програми стартап-проєкту.....	94
5.6. Висновки.....	98
Висновки.....	100
Додаток А.....	102

ВСТУП

Вплив шкідливих викидів газів впливає на здоров'я населення, природу, тварин, оскільки шкідливі викиди поширюються на тисячі кілометрів від джерела забруднення. Таким чином проблема з погіршенням екологічної ситуації стає глобальною.

В сучасному світі у зв'язку з погіршенням екологічної ситуації, а також із частими вибухами небезпечних газів, існує практична необхідність в створенні продуктивних, точних та більш дешевших сенсорів та систем для виявлення і визначення гранично допустимої концентрації канцерогенів.

Основними компонентами викидів промислових підприємств є CO, CO₂, SO₂, NO, NO₂, NO_x, вуглеводні. Крім цих компонентів для нормування викидів часто необхідно також визначати компоненти O₂ і H₂O.

Газовим аналізом називають якісне виявлення і кількісне визначення компонентів газових сумішей, що проводяться за допомогою спеціальних газоаналізаторів або лабораторними методами.

В основному методи газового аналізу ґрунтуються на вимірюванні фізичних властивостей і характеристик середовища (таких як електрична провідність, теплопровідність, оптична щільність, коефіцієнт розсіювання і т.д), значення яких залежать від концентрацій визначених компонентів. Існують вибіркові та невибіркові методи вимірювання. У невибіркових методах проводиться вимірювання властивостей проби (наприклад, щільності або теплопровідності), що залежать від відносного вмісту всіх компонентів проби. Тому такі методи можуть застосовуватися для аналізу бінарних і псевдобінарних газових сумішей, в яких варіюється вміст тільки визначального компонента, а співвідношення концентрацій інших компонентів не змінюється. У вибіркових методах властивість проби, яку вимірюють, залежить переважно від вмісту визначального компонента.

Метою магістерської дисертації є створення технічної документації та створення базового зразка нової системи аналізу газів для моніторингу концентрації

викиду шкідливих газів для забезпечення безпеки та запобігання отруєнь населення.

Система буде визначати, чи виміряна концентрація сполук шкідливих газів не перевищує гранично допустимої концентрації (ГДК).

Вимірюваний параметр – концентрація шкідливих сполук газів CO₂, CO, NO₂.

Для розробки системи аналізу газів було використано: середовище розробки Microsoft Visual Studio для розробки бекенду по роботі з даними на найнижчому рівні, Microsoft Visual Studio Code - для розробки інтерфейсу користувача та Microsoft SQL Server - для розробки реляційної бази даних системи. За допомогою Microsoft Visual Studio можна створювати програмні продукти найрізноманітнішого рівня, від простих консольних програм до складних програмних комплексів як для використання на ком'ютері, так і для мобільних пристроїв.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

1.1. Існуючі технічні рішення.

1.1.1. Багатофункціональний газоаналізатор ПГА-М-31.

Багатофункціональний газоаналізатор ПГА-М-31 [1] (рис. 1.1) - призначений для вимірювання концентрації метану, пропану, суми граничних вуглеводнів Σ (C2 - C8), окису вуглецю, двоокису вуглецю, кисню і сірководню в повітрі.

Область застосування газоаналізатора - контроль повітря робочої зони, виявлення витоків в газопроводах і оповіщення про перевищення встановлених значень гранично допустимих і вибухонебезпечних концентрацій зазначених газів в повітрі, в тому числі на вибухонебезпечних об'єктах.

Для вимірювання концентрації суми аліфатичних граничних вуглеводнів з ряду C2 ... C8, метану, пропану, бутану і гексану використовуються оптичні датчики. Для вимірювання концентрації кисню і токсичних газів використовуються електрохімічні датчики.

Вид кліматичного виконання - УХЛ категорії 1.1 у відповідності до ГОСТ 15150. За стійкістю до впливу атмосферного тиску газоаналізатор відноситься до групи P1 у відповідності до ГОСТ 12997.



Рис. 1.1 – Зовнішній вигляд приладу «Багатофункціональний газоаналізатор ПГА-М-31»

Особливості ПГА-М-31:

- Захищеність від впливу пилу і води газоаналізатор відповідає ступеню захисту IP54 у відповідності до ГОСТ 14254.
- Вміст в контрольованій атмосфері невизначених вуглеводнів - граничних C9 - C10, ненасичених і ароматичних вуглеводнів (сумарно) - не повинна перевищувати 5% від загального вмісту вуглеводнів.
- Газоаналізатор виконано вибухозахищеним з видами вибухозахисту «спеціальний» у відповідності до ГОСТ Р 51330.0 (МЕК 60079-0) і «іскро-безпечне електричне коло» у відповідності до ГОСТ Р 51130.10 (МЕК 60079-11) 5 і має маркування вибухозахисту 1ExibIIAT4X.

1.1.2. Газоаналізатор АНКAT-7664 Мікро.

Газоаналізатор АНКAT-7664 Мікро [2] (рис. 1.2) використовується для вимірювання концентрації паливних газів (Ех), кисню (O_2), окису вуглецю (CO), оксиду вуглецю (CO_2), метану (CH_4), пропану (C_3H_8), сірководню (H_2S), діоксиду сірки (SO_2), діоксиду азоту (NO_2), хлору (Cl_2), хлористого водню (HCl), аміаку (NH_3).

Можливе вимірювання концентрації газів в різних поєднаннях (до 4 компонентів одночасно). Концентрація кожного компонента виводиться на цифровий рідинно-кристалічний дисплей. При виході концентрації із заданих меж (перевищення або зниження) видається роздільна для кожного вимірювального каналу аварійна сигналізація. Коригування меж сигналізації і установка режимів роботи газоаналізатора здійснюється через меню.

У приладі є акумуляторний блок, який здійснює живлення газоаналізатора. У випадку розряду акумуляторів на дисплей виводиться попередження, що супроводжується звуковою сигналізацією.



Рис. 1.2 – Зовнішній вигляд приладу «Газоаналізатор АНКАТ-7664»

Особливості АНКАТ-7664:

- Велика кількість одночасно вимірюваних компонентів;
- Рідкокристалічний дисплей високої яскравості;
- Наявність оптичних каналів вимірювання;
- Великий середній строк роботи без калібрування - більше 6 місяців;
- Можливість збереження результатів вимірювань за 1 рік (інтервал збереження 1 хв.) Або за 2 роки (інтервал збереження 1 година);
- Чутливі елементи встановлені на роз'ємах, чим забезпечується легкість їх заміни;
- Вибухозахист;
- Широкий діапазон робочих температур;
- Наявність USB-порту (mini) для зв'язку з ПК;
- Можливість зарядки акумулятора через USB-порт (mini);
- Наявність світлового і звукового оповіщення;
- Малі розміри і вага;
- Захист від зовнішніх впливів IP54.

1.1.3. Переносний газоаналізатор ГИАМ-29М-3.

Переносний газоаналізатор ГИАМ-29М-3 [3] (рисунок 1.3) використовується для вимірювання складу суміші вихлопних газів: CO, CO₂, O₂, CH, NO в газах судових двигунів. А також для обчислення об'ємного вмісту сукупності оксидів азоту і обчислення об'ємного коефіцієнта надлишку повітря (тільки для ГИАМ-29М-4).

Призначення: ГИАМ-29М можуть бути застосовані для контролю викидів забруднюючих речовин в атмосферу з відпрацьованими газами двигунів внутрішнього згоряння двигунів суден внутрішнього та змішаного плавання та інших двигунів (дизельних) відповідно до ГОСТ- Р 51249 - 99 і ГОСТ52408 - 2005.

Тип - портативний.

Спосіб подачі проби - примусовий.

Принцип роботи - оптичний (CO, CO₂, CH) і електрохімічний (NO, O₂).



Рис. 1.3 – Зовнішній вигляд приладу «ГИАМ-29М-3»

Комплектація ГИАМ-29 М: прилад, забірний зонд, блок живлення змінного струму 220 В, футляр, комплект ЗІП (провід для підключення приладу до персонального комп'ютера; кабель для підключення приладу від бортової мережі, довжиною 5 метрів).

Особливості ГИАМ-29 М:

- Індикація значень на екрані;
- Зберігання в пам'яті двохсот результатів вимірювань, які прив'язані до реального часу;
- Автоматичне контролювання витрати проби;
- Передача даних на ПЕОМ по інтерфейсу USB;
- Самотестування;
- Корекція значень в залежності від зміни атм. тиску;
- Напівавтоматична коригування нульових значень;
- Можливість роботи з приладом СМОГ-1М;
- Підключення принтера СМР - 10 - Е5 М;
- Автономне живлення від акумуляторів протягом 6 годин.

Висновки: Проаналізувавши зібрану інформацію щодо типів газоаналізаторів, вважаємо перспективним напрямком для подальших досліджень створення системи аналізу газів шкідливих викидів, розробку її структурної та функціональної схем, проєктування програмного компонента та алгоритмів роботи системи аналізу газів.

Програмна реалізація системи аналізу газів буде здійснена з використанням сучасних технологій розробки програмних продуктів, що забезпечить швидкодію, актуальність системи, оскільки використання програмного продукту є більш надійним та зручним, ніж використання спеціального обладнання, яке може вийти з ладу.

РОЗДІЛ 2

ВИБІР МЕТОДУ ГАЗОВОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ CO, CO₂, NO₂

2.1. Огляд існуючих методів газового аналізу для вимірювання концентрації речовин.

Оскільки діяльність людини неминує призводити до негативних змін в атмосфері необхідно стежити та контролювати стану атмосферного повітря. Для вирішення цієї проблеми ведуться спостереження за такими речовинами, як оксид вуглецю, діоксид вуглецю, оксиди азоту та інші. Для здійснення контролю викидів шкідливих речовин використовують різні методи газового аналізу.

Газовим аналізом називають якісне виявлення і кількісне визначення компонентів газових сумішей, що проводяться за допомогою спеціальних газоаналізаторів або лабораторними методами. [4].

Прилади, які використовують для газового аналізу дозволяють контролювати та вимірювати граничну допустиму концентрацію (ГДК) газів і газових сумішей.

Для визначення газоподібних речовин у повітрі існує багато різних методів газового аналізу. В загальному випадку методи газового аналізу поділяють на фізичні та хімічні. При застосуванні методу хімічного аналізу відбувається перевірка реакції газів із різними реагентами. Таким чином виявляється основна речовина, або відбувається спалювання газу та спостереження за його поведінкою при горінні. При фізичному аналізі газ нагрівають, стискають, визначають щільність та масу, а результати визначають спеціальними датчиками. Фізичні методи аналізу застосовують частіше, ніж хімічні, оскільки не потрібно спалювати газ або використовувати реактиви. Отже, сучасними методами газоаналізу є в основному автоматичні і фізичні методи. За характером вимірюваного фізичного параметра всі методи аналізу газів поділяють на: механічні, акустичні, теплові, магнітні, оптичні, іонізаційні, мас-спектрометричні, електрохімічні, напівпровідникові.

На рис. 2.1 зображено класифікацію методів визначення концентрації.



Рис. 2.1 - Методи визначення та контролю концентрацій газів

Для вимірювання концентрації речовин в повітрі використовують газоаналізатори та газосигналізатори. Розглянемо детальніше декілька основних методів визначення концентрацій газів.

2.1.1. Електрохімічний метод.

Електрохімічний метод газового аналізу, у свою чергу, поділяють на кондуктометричний і кулонометричний. Принцип кондуктометричного методу дії газоаналізаторів полягає в реєстрації зміни електропровідності електроліту, що виникає в результаті його взаємодії з аналізованою газовою сумішшю. Такі газоаналізатори відрізняються високою чутливістю, швидкодією, простотою виконання, портативністю і відносно невисокою ціною. Вагомим недоліком газоаналізаторів, які використовують цей метод, є низька селективність по відношенню до змішаних компонентів та велика залежність від параметрів зовнішнього середовища. Кулонометричний метод дії газоаналізаторів заснований на неперервному автоматичному ти-

труванні аналізованого компонента реагентом, при протіканні електрохімічної реакції на одному з електродів електрохімічної комірки. Сила струму є пропорційною вмісту визначального компонента в аналізованому середовищі. Газоаналізатори, що діють за цим принципом, також характеризуються високою чутливістю, швидкодією, портативністю і відносно невисокою ціною. За своєю селективністю вони перевершують газоаналізатори, які працюють за кондуктометричним принципом. До загальних недоліків електрохімічних газоаналізаторів також можна віднести невеликий міжповірчний інтервал та необхідність періодичної заміни аналітичних складових.

2.1.2. Оптичний метод.

Наступним методом газоаналізу є оптичний метод, який поділяють на абсорбційний (інфрачервоний) і емісійний. Метод абсорбції полягає в здатності речовини поглинати випромінювання в вузьких ділянках спектра. Цей метод відноситься до найбільш чутливих вибіркового методів газоаналізу в ІЧ-області спектра. Газоаналізатори на основі цього методу відрізняються значним різноманіттям і можуть працювати у видимій, УФ- та ІЧ-областях спектра, а також вони мають гарну чутливість та селективність, зазвичай, досить надійні в експлуатації. Однак вимагають більш кваліфікованого персоналу, а їх вартість вища, ніж у електрохімічних газоаналізаторів. В основі дії газоаналізаторів, що працюють за емісійним принципом, лежить вимірювання випромінювання збуджених молекул компонента, який аналізується. У збуджений стан молекули аналізованого компонента можуть бути переведені як за рахунок випромінювання (флуоресцентні газоаналізатори), так і за рахунок хімічних реакцій (хемілюмінесцентні газоаналізатори). Газоаналізатори, які працюють із використанням емісійного принципу вимірювання, в основному, мають ті ж переваги і недоліки, що й абсорбційні. Газоаналізатори, що вимірюють за принципом оптичних методів, відносяться, в більшості випадків, до газоаналізаторів універсального призначення. Дія спеціалізованих оптичних газоаналізаторів (димомірів і пиломірів) заснована або на абсорбційному методі, або на явищі розсіювання світла.

2.2. Вибір методу газоаналізу для контролю промислових викидів.

Для газоаналізу за методом абсорбційної спектроскопії використовується 3 діапазони вимірювань:

- ультрафіолетовий (200-380 нм);
- видимий (380-760 нм) ;
- інфрачервоний (понад 760 нм) .

Для визначення якісних характеристик газу з високою швидкістю можна застосовувати інфрачервоні (ІЧ) газоаналізатори. Газоаналізатори цього типу використовують спеціальні кювети в якості вимірювальних ділянок, де аналіз компонентного складу відповідних газів відбувається завдяки поглинання ними енергії ІЧ-хвиль у певному діапазоні частот [5].

До основних переваг інфрачервоних газоаналізаторів відносять їхню простоту, досить високу швидкість та низьку вартість.

Основними недоліками таких газоаналізаторів є наявність рухомих частин з оптичними фільтрами, низьку чутливість, доволі широку робочу смугу та залежність від температури [5].

Цей метод базується на поглинанні частинками газу світлового випромінювання та фіксування частки поглинутого випромінювання. Кожен газ має свій спектр поглинання випромінювання, максимальне значення випромінювання, яке було поглинуте має різні довжини хвиль, тому можна визначити з досить високою точністю концентрацію відповідного компонента.

Поглинання випромінювання здійснюється за законом Бугера-Ламберта[5], сутність якого полягає в поглинанні електромагнітного випромінювання:

$$\Phi_0 e^{-z\lambda C} = \Phi_0 e^{-D}, \quad (2.1)$$

де Φ_0 – інтенсивність світлового потоку;

Φ – інтенсивність світлового потоку після проходження шару речовини;

$z\lambda$ - коефіцієнт поглинання;

C – концентрація;

I – товщина шару;

D – оптична густина речовини.

Поглинання ІЧ випромінювання залежить від молекулярної структури речовини, енергії хімічних зв'язків у молекулі. Завдяки цьому методу визначення концентрації сполуки речовини можна вирішити чимало різноманітних завдань в хімічній, металургійній та нафтовій промисловостях.

Варто наголосити, що для виведення цього закону не брались до уваги ні природа поглинаючого середовища, ні характер випромінювання, яке поглинається. З цього можна зробити висновок, що цей закон є універсальним і справедливим для всіх абсорбційних спектроскопічних методів.

Спроможністю поглинати інфрачервоне випромінювання володіють гази, в складі молекули яких є два, або більше різноелементних атомів чи іонів (CO , CO_2 , SO_2 , NO , NO_2).

Спектр поглинання ІЧ випромінювання досліджуваних сполук CO , CO_2 , NO_2 зображено на рисунку 2.2

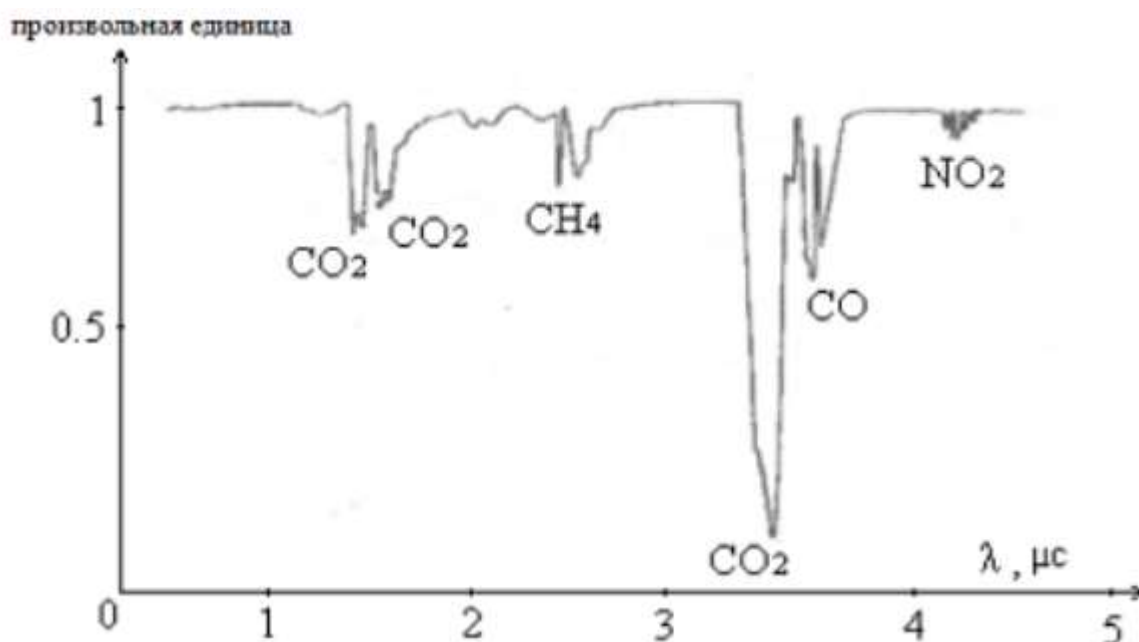


Рис. 2.2 – Спектр поглинання ІЧ випромінювання сполук CO , CO_2 , NO_2

Висновки: Виходячи з вище описаного, для дослідження таких сполук газів, як CO, CO₂, NO₂, потрібно створити газоаналізатор за принципом інфрачервоного методу газоаналізу, який буде вимірювати значення концентрації CO, CO₂, NO₂. Інфрачервоні системи виявлення газу можуть бути як точковими, так і з відкритим оптичним трактом (трасові), мають наступні переваги: високу швидкодію (як правило, час спрацьовування становить 1 ... 3 с); не схильні до отруєння; працюють в інертних атмосферах; відсутні фільтри, які можуть засмічуватися і перешкоджати надходженню газу в вимірювальну камеру.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ІНФРАЧЕРВОНОГО ГАЗОАНАЛІЗАТОРА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ CO, CO₂, NO₂

3.1. Загальні вимоги до газоаналізатора.

До загальних вимог до функціоналу газоаналізатора відносять:

- канали вимірювання концентрації: CO₂, CO, NO₂;
- підтримка EEPROM для запису та зберігання вимірювальної інформації;
- передача вимірних газоаналізатором значень концентрації газів в робочу станцію через USB - інтерфейс для подальшої обробки в системі аналізу вимірювань концентрації газів.

Нормальні умови експлуатації:

- | | |
|---------------------------------|---------------|
| - температура; | +20 °C ± 5 °C |
| - відносна вологість при +25°C; | 60% |
| - атмосферний тиск | 86,0..106 kPa |

Робочі умови:

- | | |
|---------------------------------------|----------------|
| - температура; | -40 °C..+55 °C |
| - відносна вологість при +25 °C; | від 5 до 95 % |
| - атмосферний тиск від 0,5 до 80 kPa. | 0,5..80 kPa. |

Виробнича вібрація:

- | | |
|-------------|--------------------|
| - частота | 10 – 55 Hz |
| - амплітуда | не більше 0,15 mm; |

Газоаналізатори виконані у вибухозахищеному виконанні і можуть експлуатуватися у вибухонебезпечних зонах класу 1 та 2.

Умови зберігання:

- | | |
|--|-------------|
| - температура навколишнього середовища; | +0..+40 °C |
| - відносна вологість при температурі +35 °C; | 80 % |
| - атмосферний тиск. | 84..106 kPa |

Умови транспортування:

- | | |
|---|-------------|
| - температура навколишнього середовища; | -30..+40 °C |
|---|-------------|

- відносна вологість при температурі +25 °С; 95 %
- атмосферний тиск. 70..106,7 kPa

Транспортна тряска:

- кількість ударів за хвилину; 80..120
- максимальне прискорення; 30 m/s²
- тривалість впливу. 1 година

Живлення газоаналізатора здійснюється від вбудованої літій - іон акумуляторної батареї через блок живлення, в якому формується ряд напруги необхідних для роботи електронних пристроїв газоаналізатора.

Струм заряду акумулятора – 3.6А, ємність- 1.8 А/г.

Потужність, споживана приладом при максимальному навантаженні, не перевищує 35 W.

Прилад має захист акумулятора від глибокого розряду, що відключає акумулятор від навантаження при напрузі на його клеммах нижче (10,5+0,2) V.

Кількість каналів вимірювання концентрації: 3

3.2. Технічні та метрологічні характеристики.

В таблиці 3.1 наведено діапазони вимірювання концентрації.

Таблиця 3.1.

Діапазони вимірювання концентрації

Назва газу	Діапазон вимірів, mg/m ³	Похибка вимірювання	Метод виміру компонентів
Діоксид вуглецю CO ₂	0 – 10000	<3%	Інфрачервоний (ІЧ)
Окис вуглецю CO	0 – 1000	<3%	ІЧ
Діоксид азоту NO ₂	0 – 50	<3%	ІЧ

Допустимі рівні концентрації CO₂, CO, NO₂ наведено в таблиці 3.2 [6].

Таблиця 3.2.

Допустимі рівні концентрації

Речовина	Формула	Значення ГДК, mg/m ³	
		Населених пунктів	
		Максимальна разова	Середньодобова
Діоксид вуглецю	CO ₂	1	0.3
Окис вуглецю	CO	5,0	1,0
Діоксид азоту	NO ₂	0,085	0,04

Границі допустимої основної похибки наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3.

Границі допустимої основної похибки

Назва газу	Відносна	Абсолютна, mg/m ³
Діоксид вуглецю CO ₂	±0,1%	±10
Окис вуглецю CO	±0,25%	±5
Діоксид азоту NO ₂	±0,25%	± 0,5

Комунікація газоаналізатора з робочою станцією здійснюється за допомогою USB-інтерфейсу.

Склад газоаналізатора: модуль вимірювальний, дисплей, клавіатура, акумулятор, кабель USB (mini) для подальшої обробки в інтелектуальній системі аналізу газів.

Габаритні розміри (L x H x W), mm:

- Модуль вимірювальний	215x80x32
- Кабель USB (mini)	5x1000x5
- Дисплей	64x128
- Акумулятор.	40x35x30

Вага:

- Модуль вимірювальний;	0,4
- Кабель USB;	0,2
- Акумулятор.	0,3

3.3. Основні функції.

3.3.1. Функції газоаналізатора.

Функціями газоаналізатора є наступні характеристики:

- 3 канали вимірювання концентрації: CO₂, CO, NO₂,
- підтримка EEPROM для запису та зберігання вимірювальної інформації;
- передача вимірних газоаналізатором значень концентрації газів в робочу станцію через USB - інтерфейс для подальшої обробки в системі аналізу вимірювань концентрації газів;

3.3.2. Функції системи аналізу газів.

Функціями системи аналізу газів є:

- відображення отриманих результатів вимірювання, результатів аналізу отриманих значень концентрації газу в системі;
- аналіз отриманих значень концентрації з газоаналізатора, визначення чи ці виміряні значення не перевищують допустимі рівні концентрації;
- сповіщення про перевищення допустимого рівня концентрації.

3.4. Розробка структурної схеми газоаналізатора.

Виходячи з обраного методу газового аналізу було розроблено структурну схему газоаналізатора за принципом роботи, що базується на інфрачервоному

методі аналізу. Газоаналізатор вимірює концентрації CO_2 , CO , NO_2 , а також визначає температуру та вологість повітря завдяки датчикам вимірювання параметрів навколишнього середовища.

Структурну схему газоаналізатора представлено на рис. 3.1.

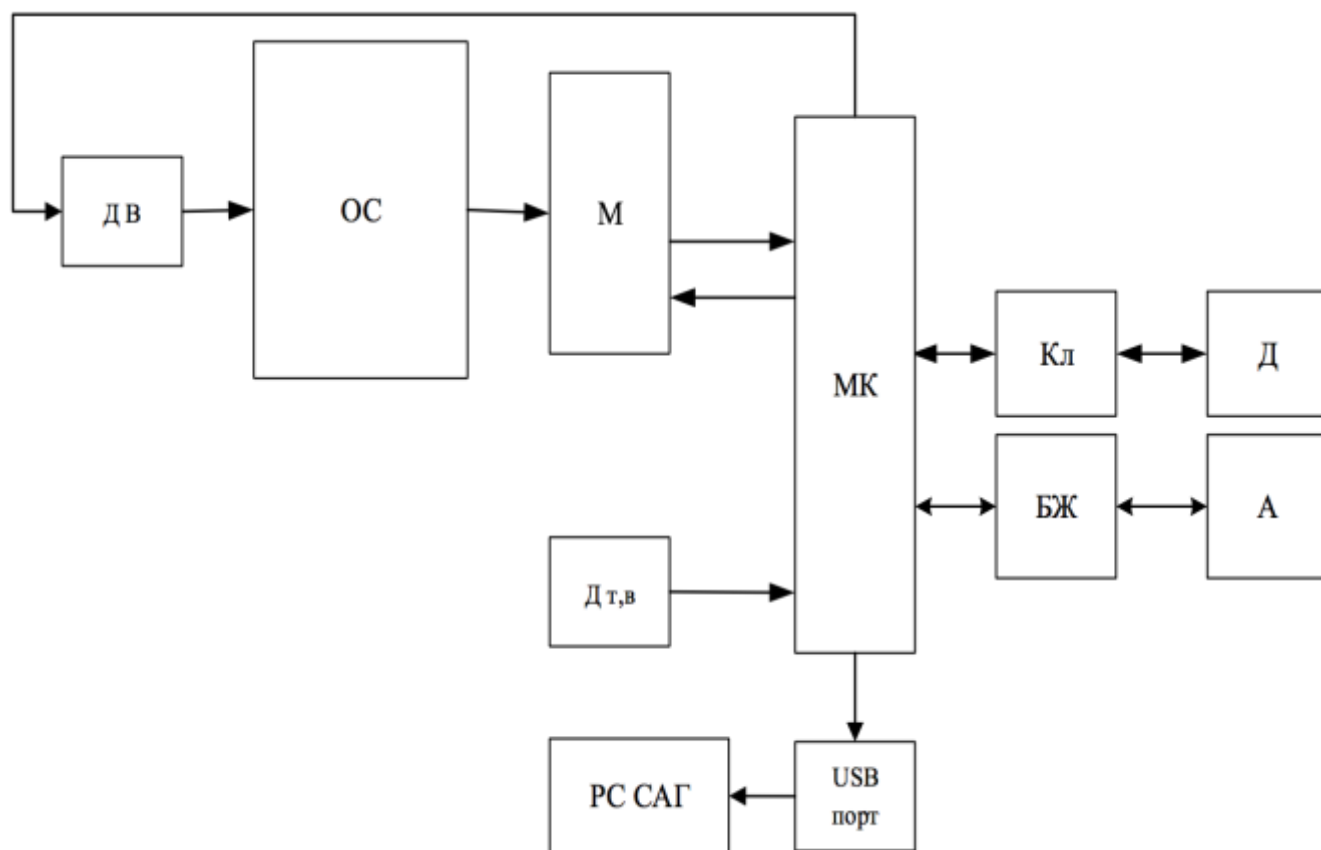


Рис 3.1 – Структурна блок-схема газоаналізатора

На структурній схемі позначено:

ДВ – джерело ІЧ-випромінювання;

ОС – оптична система, до складу якої входять:

- К – кювета вимірювального каналу;
- $\text{П}_{\text{осн}}$ – основний приймач ІЧ-випромінювання;
- $\text{П}_{\text{опр}}$ – опорний приймач ІЧ-випромінювання.

М – мультиплексор;

МК – мікроконтролер, до складу якого входять:

- АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;

- АК – аналоговий комутатор;

- USB – USB контролер.

Д_{т,в} – датчик температури і вологості;

БЖ – блок живлення;

А – акумулятор;

Кл – клавіатура;

Д – світлодіодний дисплей;

USB - порт – передача інформації на РС;

РС САГ – робоча станція, персональний комп'ютер (ПК).

3.5. Принцип роботи газоаналізатора за схемою.

За командою з мікроконтролера вмикається джерело інфрачервоного випромінювання (ДВ) кожного з каналів вимірювання концентрації. Сигнали з каналів надходять в оптичну систему (ОС), яка в свою чергу розподіляє їх на 3 промені. Після проходження вимірювальної ділянки еталонних та вимірювальної кювет каналу вимірювання промінь ІЧ-випромінювання надходить до фотоприймача (П_{осн}). Вмикається мультиплексор (М) завдяки мікроконтролеру (МК) для того, щоб по черзі прийняти сигнали від кожного з каналів вимірювання. Після цих процесів мікроконтролер розраховує концентрації досліджуваних компонентів і вносить поправки на зміну температури, вологості, значення яких вимірюють датчики температури та вологості відповідно. Після потрібних розрахунків, отримані результати отримує користувач через USB 3.0 на робочу станцію (ПК) для подальшого опрацювання.

Обраний метод аналізу газу базується на вимірюванні поглинання інфрачервоної енергії випромінювання газової сполуки, яку аналізують.

Ступінь поглинання інфрачервоної енергії випромінювання залежить від концентрації газової сполуки, яка досліджується в газовій суміші. Кожен газ має свою довжину хвилі поглинання. Структура каналів вимірювання CO₂, CO, NO₂ буде однаковою.

Сучасні багатоканальні недисперсійні ІЧ газоаналізатори використовують однопроменеву (однокуветну) схему завдяки якій можна спростити оптичну схему приладу. Кількість аналітичних каналів залежить від кількості компонентів суміші, яку потрібно аналізувати. Кількість спектральних оптичних каналів більше кількості компонентів аналізу на одиницю. В цьому випадку порівняльний канал є спільним для всіх каналів вимірювання CO_2 , CO , NO_2 .

Каналом вимірювання називається спектральний інтервал в недисперсійному аналізі, який узгоджується зі смугою поглинання компонента суміші, який аналізують.

До складу інфрачервоного газоаналізатора входять наступні основні компоненти: джерела ІЧ випромінювання, оптичні системи, кювети вимірювальних каналів, датчики температури і вологості газу, приймачі ІЧ-випромінювання, мультиплексори, мікроконтролер, пристрій передачі інформації.

Приймачем ІЧ – випромінювання є фотодіод, оскільки він має високу швидкість та фоточутливість. Також до переваг фотодіодів відноситься простота структури та технології виготовлення, мала інерційність та малий опір бази.

Принцип роботи фотодіода полягає у внутрішньому фотоефекті. Фотон, який має достатньо енергії, потрапляє на фотодіод та створює пару носіїв (вільний електрон та позитивно заряджена нанообласть кристала, який набуває достатнього заряду внаслідок генерації) за рахунок збудження електрона виготовленого з матеріалу діода. Якщо в області збіднення напівпровідника відбувається поглинання енергії, то нанообласть кристала рухається до анода, а електрони до катода, завдяки чому виникає фотострум. Фотодіодний струм визначається струмом дрейфу. На виході приймача випромінювання отримують сформований електричний сигнал [7].

3.6. Розрахунки, що підтверджують роботоздатність і якісні показники газоаналізатора.

Для виміру можливих похибок і теоретичного підтвердження правильності роботи спроектованого газоаналізатора проведено ряд розрахунків та було частково підтверджено правдивість розрахованої моделі.

3.6.1. Канали вимірювання CO, CO₂, NO₂.

На виході приймача випромінювання утворюється сигнал, який має прямокутну форму. Висота імпульсів дорівнює відповідній енергії випромінювання, яка в свою чергу містить в собі інформацію про об'єкт аналізу та залежить від довжини хвилі та шляху проходження [8]. Сигнал на виході приймача можна представити як на рис. 3.2

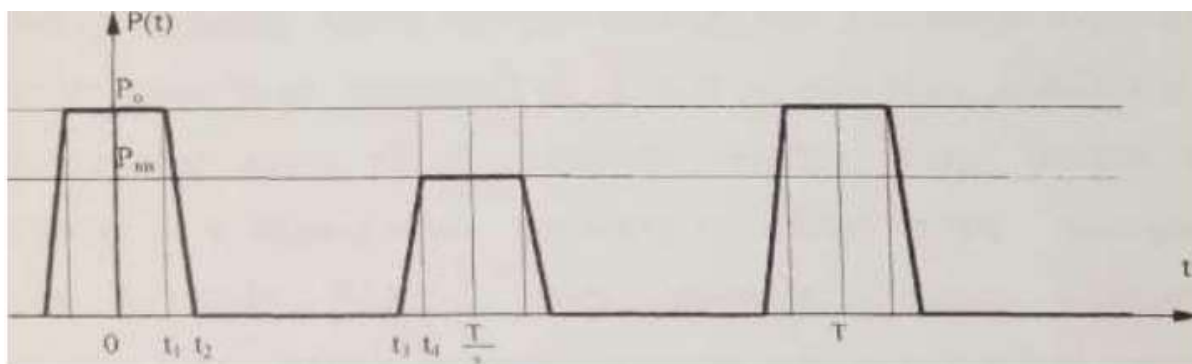


Рис. 3.2 - Вихідний сигнал приймача

де t_1 - фотоприймач закривається з допомогою обтюратора коли проходить аналітичний вимірювальний канал;

t_2 - фотоприймач завершує закриватись з допомогою обтюратора коли проходить аналітичний вимірювальний канал;

t_3 - фотоприймач починає відкриватись з допомогою обтюратора коли проходить аналітичний порівнювальний канал;

t_4 - фотоприймач завершує відкриватись з допомогою обтюратора коли проходить аналітичний порівнювальний канал.

Оскільки рівень вихідного сигналу невеликий, то вимірювання не може бути проведеним на виході приймача випромінювання.

Проте, підсилювати весь імпульс теж не є доцільним, оскільки вимірювальна інформація міститься в різниці висот імпульсів, а саме - опорного та вимірювального. Саме тому в чутливих приладах імпульси знизу повинні бути відрізними на тому ж самому рівні U_1 і тоді потрібно підсилювати тільки ті імпульси, рівень яких є вищим рівня U_1 . В протилежному випадку не є можливим отримання високого підсилення сигналу через обмеження динамічного діапазону каналу підсилення.

Наступним кроком було б вимірювати амплітудне значення напруги, оскільки вся вимірювальна інформація міститься в різниці висот імпульсів. Але через наявність високого рівня шумів та завад виникає значна похибка через те, що тим значенням буде максимальне значення викидів. Тому краще вимірювати середнє (W_{cp}) та ефективне значення (W_x), які значно зменшують вплив шумів. Щоб підвищити точність приладу порівнюються сигнали W_x та W_{cp} , за рахунок віднімання. За цим шляхом забезпечується придушення фонових сигналів в нульовій точці шкали а також вагоме зменшення адитивних похибок газоаналізатора.

Враховуючи проведений аналіз вимірювальний канал повинен виконувати такі операції:

- підсилення корисної частини імпульсу;
- вимірювання СКЗ імпульсів, які мають прямокутну форму;
- визначення різниці вимірювального та порівняльного сигналів;
- перетворення напруги періодичних сигналів в цифровий код;
- обчислення концентрації газової сполуки [8].

Структуру вимірювальних каналів газових сполук CO , CO_2 , NO_2 зображено на рис. 3.3.



Рис. 3.3 - Структура вимірювальних каналів газових сполук CO , CO_2 , NO_2

Ця схема є схемою прямого перетворення. Сигнал від джерела випромінювання надходить в оптичну систему, звідки цей сигнал поступає на вхід мультіплексора. Амплітуда сигналу невелика, складає $200 - 400 \cdot 10^{-6} \text{ V}$. За допомогою мультіплексора виконується масштабне перетворення до рівня близько $0,5 \text{ V}$. Для цього треба задати коефіцієнт передачі $K_1 = 100$. Не варто підсилювати цей імпульс, оскільки підсилювач повинен точно передавати форму прямокутних імпульсів та підсилювати тільки змінну складову імпульсів.

На вхід мікроконтролера (МК) приходить сигнал, який було підсилено, після цього результат вимірювання користувач бачить на екрані дисплею. Якщо імпульс має квадратну форму, то СКЗ дорівнює значенню амплітуди. Коефіцієнт передачі $K_2 = 10$. Вимірявши СКЗ можна зменшити вплив шумів та завад, шляхом визначення амплітуди імпульсів.

У відповідності з обраним алгоритмом аналізу концентрації сполуки CO_2 потрібно виділити різницю двох сигналів: вимірювального і порівняльного. Тоді значно покращуються метрологічні характеристики системи, оскільки зменшуються адитивні похибки газоаналізатора і попередніх пристроїв вимірювального каналу [8].

Оскільки різниця амплітуд імпульсів буде малою ($0,1 \dots 0,5 \text{ V}$), то потрібно їх підсилити ($K_3 = 10$).

Напруга постійного струму на вході АЦП дорівнює концентрації сполуки, яку аналізують. Вже оцифроване значення напруги постійного струму надходить в обчислювальний пристрій для подальшого розрахунку концентрації.

Вираз оцифрованого значення напруги постійного струму на виході АЦП:

$$Y = (X_1 \cdot K_1 \cdot K_2 - X_2 \cdot K_1 \cdot K_2) \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (3.1)$$

де X_1 - сигнал який порівнюється;

X_2 - сигнал який вимірюється;

K_1 - коефіцієнт підсилювача;

K_2 - коефіцієнт перетворювача СКЗ;

K_3 - коефіцієнт визначення різниці;

K_4 - коефіцієнт АЦП.

Після проведення математичних перетворень отримуємо такий вираз:

$$Y = (X_1 - X_2) \cdot K_1 K_2 \cdot K_3 \cdot K_4, \quad (3.2)$$

Завдяки формулі (3.2) можна спростити аналіз коефіцієнта передачі ВК і його похибок.

3.6.1.1. Аналіз градувальних характеристик каналів CO , CO_2 , NO_2 .

Залежність вихідного сигналу каналу вимірювання від концентрації сполуки яку аналізують $y(x)$ від концентрації аналізованого компонента визначають нелінійними функціями поглинання $Z(x)$ або пропускання $T(x)$, моделі яких визначають на градувальній стадії каналів вимірювання за допомогою сумішей для повірки.

Щоб побудувати нелінійну градувальну характеристику $y(x)$ для компонентів, які будемо аналізувати потрібно зробити апроксимацію отриманих емпіричних значень використовуючи нелінійні функціональні залежності.

Для цього обираємо метод апроксимації статичної характеристики (СХ) газоаналітичних перетворювачів, формула якого є наступна:

$$y_0(x, m) = \frac{B}{K_m} \cdot \frac{m}{m-1} \cdot \left[\left(1 + \frac{K_m \cdot x}{m} \right)^{1-m} - 1 \right], \quad (3.3)$$

де x - інформативний параметр;

B, K - параметри апроксимації;

m - показник степеневої функції [8].

Якщо значення показника m змінювати від 0 до 2, то функція апроксимації буде відображати спочатку лінійну функцію СХ $y_a = B x$, ($m \rightarrow 0$), закон квадратного кореня ($m=0,5$), логарифмічний закон ($m=1$), гіперболічний закон ($m=2$) та ін. Апроксимація цієї характеристики виконується за методом найменших квадратів шляхом мінімізації відносного квадратичного відхилення $y(x, B, K, m)$ від $y(x_j)$, тобто цільова функція має вигляд

$$f(K, B, x_j) = \frac{1}{n} \sum_1^n \left(\frac{y_0(x_i) - y(x_j)}{y(x_j)} \right)^2, \quad (3.4)$$

де n – це кількість газової суміші для перевірки, яку було використано для емпіричної побудови залежності $y(x)$.

На рис. 3.4 - 3.6 зображено приклади градуювальних характеристик 3-х аналітичних каналів вимірювання (CO , CO_2 , NO_2) газоаналізатора [8]. Лініями було позначено апроксимації відповідних градуювальних характеристик степеневими функціями за формулою 3.4, а також отримані параметри апроксимуючих функцій B , K , m за методом найменших квадратів. Умовні позначення на схемі є наступним:

y_i - експериментальне значення вихідного сигналу;

d_i - відносна похибка апроксимації в i -ій точці.

На цих рисунках видно, що СХ є нелінійними для всіх аналітичних каналів у вимірювальному діапазоні вимірювання вимірюваних концентрацій конкретних компонентів сполуки, яку аналізують. Особливо нелінійною є характеристика каналу CO_2 .

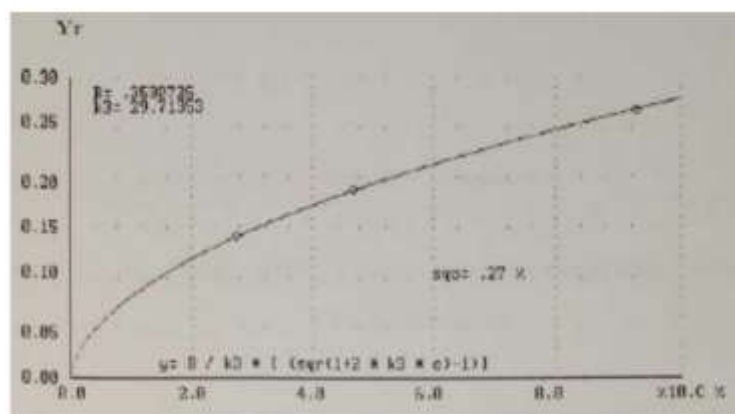


Рисунок 3.4 - Характеристика градуювання каналу CO , а також її апроксимація

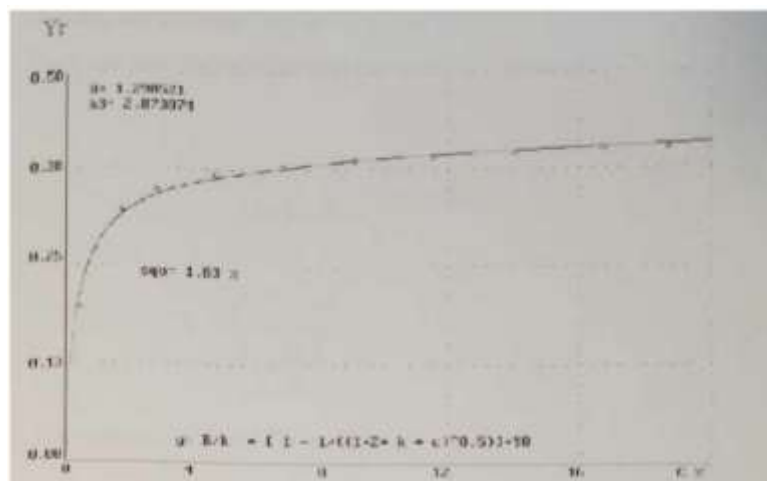


Рисунок 3.5 – Характеристика градування каналу CO₂ та апроксимація

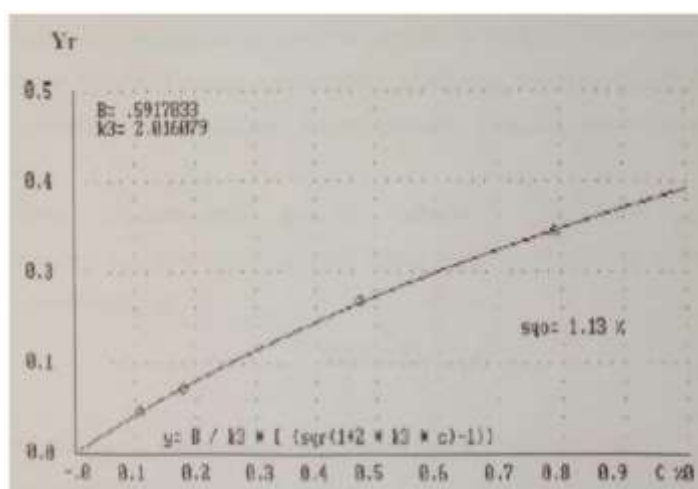


Рисунок 3.6 – Характеристика градування каналу NO₂ та апроксимація

Характеристика градування каналу CO₂ на рис. 3.5 має область зміни значення концентрації CO₂ від 0 до 2%.

З отриманими апроксимованими функціями залежності вихідного сигналу вимірювального каналу від концентрації сполук, над якими проводиться аналіз можна зробити зворотнє перетворення:

$$C = f^{-1}(y), \quad (3.5)$$

де у - оцифроване значення вихідного сигналу ВК за формулою (3.1).

Для каналу CO₂:

$$y = \frac{B}{K} \cdot \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 2 \cdot K \cdot C}} \right), \quad (3.6)$$

де параметрами апроксимуючої функції є B=1,2879, K=2,8645.

Похибка апроксимації дорівнює $\delta = 1,72\%$.

Після проведених арифметичних перетворень одержимо:

$$C = \frac{1}{2 \cdot K \cdot \left(1 - \frac{K \cdot y}{B}\right)^2} - \frac{1}{2K} \quad (3.7)$$

$$C = \frac{\frac{y}{B} - \left(\frac{y}{2B}\right)^2}{\left(1 - \frac{K \cdot y}{B}\right)^2} \quad (3.8)$$

Для каналу CO з апроксимуючими параметрами $B = 0,3601$, $K = 29,6971$.

$$y = \frac{B}{K} \cdot \left(\sqrt{1 + 2 \cdot K \cdot C} - 1\right), \quad (3.9)$$

Похибка апроксимації дорівнює $\delta = 0,26\%$

$$C = \frac{\left(1 + \frac{K \cdot y}{B}\right)^2 - 1}{2 \cdot K} \quad (3.10)$$

$$C = \frac{K \cdot y^2}{2B^2} + \frac{y}{B} \quad (3.11)$$

Для каналу NO₂ функція $C(y)$ аналогічна (3.11), параметри апроксимуючої функції: $B = 0,6012$, $K = 0,0159$. Похибка апроксимації $\delta = 1,2\%$.

3.6.2. Канал вимірювання температури.

Вимірювання температури здійснюється датчиком температури. Функція перетворення датчика:

$$U_d = K \cdot T, \quad (3.12)$$

де U_d - вихідна напруга датчика;

K - коефіцієнт передачі датчика;

T - вимірювана температура;

Рівняння перетворення каналу:

$$N_T = U_d \cdot K_{\Pi} \cdot K_{АЦП}, \quad (3.13)$$

де K_{Π} – коефіцієнт підсилення;

$K_{АЦП}$ - коефіцієнт перетворення АЦП.

Уд - вихідна напруга датчика.

3.6.3. Канал вимірювання вологості.

Рівняння перетворення для структурної схеми, без урахування впливу похибок має наступний вигляд:

$$N_B = R \cdot K_B \cdot K_{АЦП}, \quad (3.14)$$

де R - вимірювана вологість;

K_B - коефіцієнт перетворення датчика вологості.

$K_{АЦП}$ - коефіцієнт перетворення АЦП.

3.6.4. Розрахунок коефіцієнтів перетворення.

3.6.4.1. Коефіцієнт перетворення датчика вимірювання температури.

Вхідний сигнал датчика вимірювання температури має значення 20 °C. Вихідний сигнал датчика має значення 0.5 V.

$$K_T = \frac{X_{вих.}}{X_{вх.}} = \frac{\pm 0,5V}{20C} = 0.025V / ^\circ C \quad (3.15)$$

3.6.4.2. Коефіцієнт перетворення датчика вимірювання вологості.

Вхідний сигнал датчика вимірювання вологості має значення 60%. Вихідний сигнал датчика має значення 0.5 V.

$$K_B = \frac{X_{вих.}}{X_{вх.}} = \frac{\pm 0,5V}{60\%} = 0.0083V / ppt \quad (3.16)$$

3.6.5. Розрахунок похибок вимірювання.

3.6.5.1. Розрахунок похибок каналів вимірювання концентрації CO, CO₂, NO₂

Проаналізувавши отримані рівняння (3.8) і (3.11) робимо висновок, що похибка визначення концентрації вимірювальної сполуки буде визначатись за рахунок похибки апроксимації залежності $U_{БК} = f(C)$ та похибки вимірювання напруги на виході газоаналізатора. Виходячи з характеристик газоаналізатора в табл. 3.1, похибка вимірювання концентрації сполук газів $\delta_c < 3\%$. Тому, розрахунок похибки вимірювання концентрації буде наступним:

$$\delta_c = \delta_y + \delta_a \leq 3\% \quad (3.17)$$

де δ_c - похибка визначення концентрації;

δ_y - похибка вимірювання напруги на виході газоаналізатора;

δ_a - похибка апроксимації.

Використаємо отриманий вираз, щоб знайти допустиму похибку вимірювання для кожного з вимірювальних каналів газоаналізатора.

Для каналу вимірювання CO_2 :

$$\delta_y = 3 - 1,72 = 1,28(\%) . \quad (3.18)$$

Для каналу вимірювання CO :

$$\delta_y = 3 - 0,26 = 2,74(\%) . \quad (3.19)$$

Для каналу вимірювання NO_2 :

$$\delta_y = 3 - 1,2 = 1,8(\%) . \quad (3.20)$$

3.6.5.2. Розрахунок похибок вимірювання температури.

Похибку вимірювання температури оцінюють у відповідності до ГОСТ 8.207-76 [9]. Похибка вимірювання температури газу визначається похибкою засобів вимірювання (ЗВ), яка вказується в паспорті на ЗВ. Зазвичай вказують абсолютну похибку.

Відносна похибка виконання вимірювання температури розраховується за формулою [10]:

$$\delta_t = \frac{\Delta_t \cdot 100}{273 + t} , \quad (3.21)$$

де δ_t - відносна похибка, %;

Δ_t - абсолютна похибка, °C,

t – виміряна температура, °C.

Похибка вимірювання при довірчій ймовірності 0,95 розраховується за формулою [10]:

$$\Delta_t = 1,1 \cdot \sqrt{\Delta_\theta^2} = 0,55, \quad (3.22)$$

де Δ_θ - похибка датчика температури з табл. 3.10.

3.6.5.3. Розрахунок похибок вимірювання вологості.

Похибка датчика вологості за технічними характеристиками в табл. 3.7 складає $d_\theta = 2\%$ ця похибка є випадковою мультиплікативною та має нормальний закон розподілу. Отже, СКО даної похибки при довірчій ймовірності $P = 0,995$ складає:

$$s_{\text{м1}}^2 = \frac{d_\theta}{3}, \quad (3.23)$$

$$s_{\text{м1}}^2 = \frac{0,02}{3} = 0,67\% . \quad (3.24)$$

3.6.5.4. Розрахунок похибки АЦП.

Припускаємо, що АЦП вноситиме похибку $\gamma_{\text{АЦП}} = 0,1\%$. Виходячи з допустимої похибки квантування АЦП, розрахуємо число ступенів квантування та необхідну розрядність АЦП:

$$N = \frac{100}{\gamma_{\text{кв}, \%}} = \frac{100}{0,1} = 1000, \quad (3.25)$$

звідси

$$n = \log_2 N = \log_2 1000 = 9,96 \cong 10 . \quad (3.26)$$

Похибка АЦП становитиме:

$$\gamma_{\text{АЦП}} = \frac{1}{2^n} \cdot 100\% = \frac{1}{1024} \cdot 100\% = 0,098\% \cong 0,1\% . \quad (3.27)$$

3.7. Розробка функціональної схеми багатоканального (CO_2 , CO , NO_2) інфрачервоного газоаналізатора, алгоритму функціонування.

Дану функціональну схему було створено на основі розробленої структурної схеми газоаналізатора та представлено на рис. 3.7.

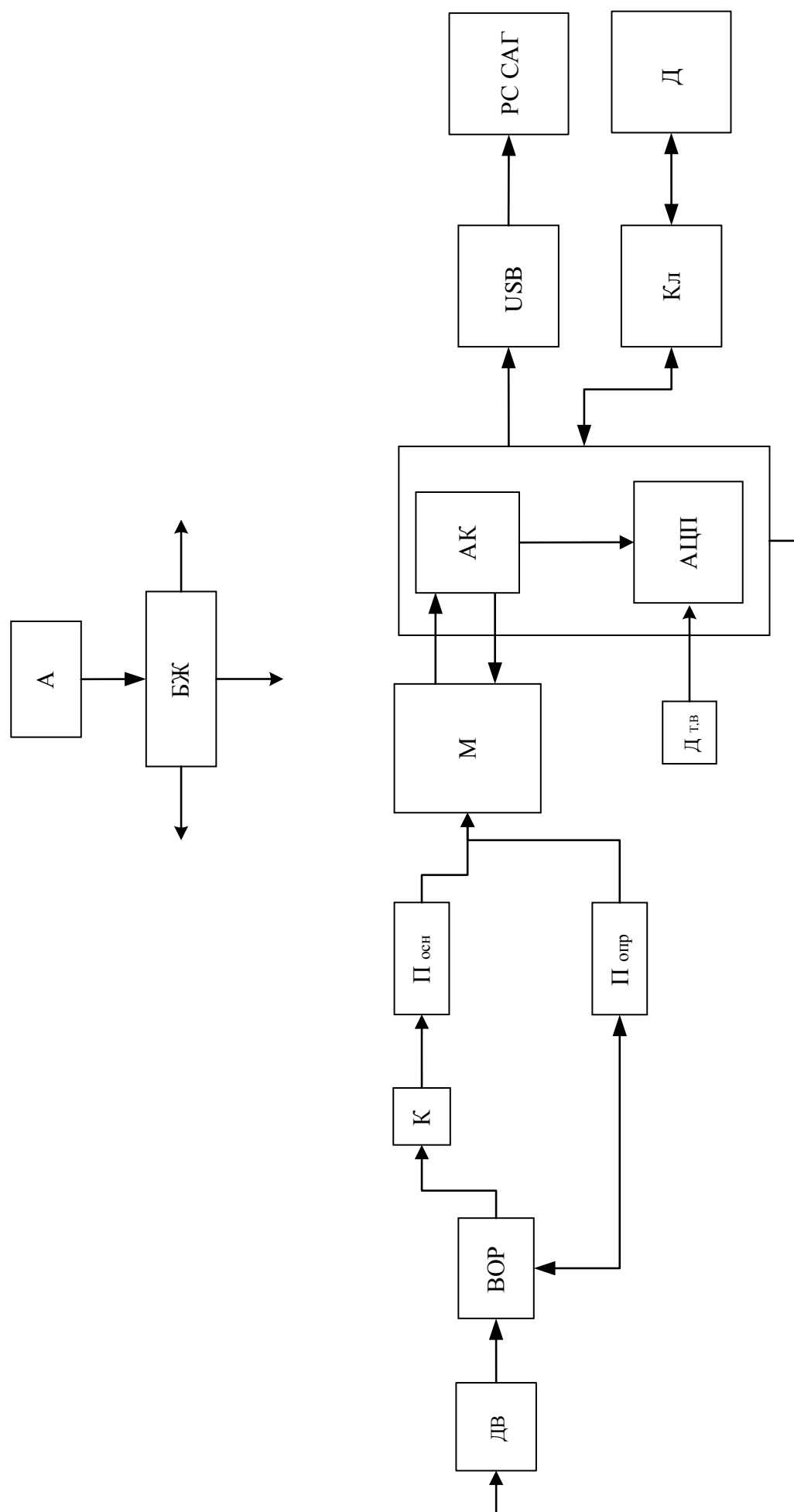


Рис. 3.7 – Функціональна схема інфрачервоного газоаналізатора

3.7.1. Опис роботи функціональної схеми

Випромінення від джерела випромінювання проходить через волоконно-оптичний розгалужувач (ВОР), де випромінення розділяється на два потоки. Перший потік випромінення проходить через кювету газу (К), після чого реєструється на основному приймачі оптичного випромінення (фотоприймач $P_{осн}$). Другий потік реєструється в опорному фотоприймачі ($P_{опр}$). Сигнали на виході основного та опорного фотоприймачів надходять до підсилювача – мультиплексора (М). Після підсилення ці сигнали отримує аналоговий компаратор (АК), де здійснюється компенсація дрейфу джерела випромінювання, і потім цей сигнал надходить в аналогово-цифровий перетворювач (АЦП), який входить до складу мікроконтролера. Отриманий сигнал з АЦП мікроконтролер опрацьовує та розраховує значення концентрації. Вимірюються також параметри температури та вологості через датчики, які підключаються до МК. Результат вимірювання відображається на екрані приладу, а також результат можна передати на ПК через USB інтерфейс. Живлення джерела випромінювання (ДВ), мікроконтролера, мультиплексора здійснюється завдяки акумуляторній батареї (А).

3.7.1.1. Приймач оптичного випромінювання.

В якості приймачів оптичного випромінення в основному використовують фотоелектричні приймачі, які застосовують для того, щоб визначити випромінювання УФ та ІЧ в областях спектру. Фотоелектричні приймачі розділяють на фотоелементи та фотоелектронні множники з зовнішнім фотоелементом. Для реєстрування випромінювання в інфрачервоній області спектру застосовують фотоелектричні приймачі з внутрішнім фотоелементом. Замість цих приймачів використовують фотоопір PbS з чутливістю в області $<4 \text{ мкм}$ або InSb з чутливістю в області $\leq 7 \text{ мкм}$. Для більш далекої інфрачервоної області (до 14 мкм) вже використовуються детектори типу PbSnTe або HgCdTe для охолодження до криогенних температур (близько 196 K).

Для даного проектування в якості приймача оптичного випромінювання було обрано фотодіод PD-440-0/1.4. Для того, щоб уникнути дрейфу нуля, опорним приймачем було обрано цей самий приймач. Розглянемо технічні характеристики

приймача (фотодіод PD-440-0/1.4) в табл. 3.4 та 3.5. Залежність чутливості фотодіоду представлено на рис. 3.8.

Табл. 3.4

Загальні характеристики фотодіоду

Найменування	Позначення	Значення	Одиниця вимірювання
Активна площа	A	1.2	mm ²
Температурний коефіцієнт від I _D	T _C (I _D)	7.0	%/K
Робочий температурний діапазон	T _{amb}	-40....+125	°C
Температура зберігання	T _{stg}	-40....+125	°C
Кут прийому при 50% S _λ	Φ	50	градус
Спектральний діапазон	λ	190...570	nm

Табл. 3.5

Оптичні та електричні характеристики фотодіоду

Найменування	Умови перевірки	Позначення	Min	Звичайне	Max	Одиниця вимірювання
Напруга пробою	I _R =10 мсА	V _R	5			V

Продовження табл. 3.5

Тіньовий струм	$V_R = 5 \text{ V}$	I_D		10	30	pA
Пікова чутливість	$V_R = 0 \text{ V}$	λ_p		440		nA
Чутливість на λ_p	$V_R = 0 \text{ V}$	S_λ		0.17		A/W
Границя визначення при 1%	$V_R = 0 \text{ V}$	$\lambda_{\min},$ λ_{\max}	190		570	nm
Спектральна ширина при 50%	$V_R = 0 \text{ V}$	$\Delta\lambda_{0.6}$		180		nm
Опір шунтування	$V_R = 10 \text{ V}$	R_{SH}	150	200		GΩ
Шум від потужності	$\lambda = 400 \text{ nm}$	NEP		$1.1 \cdot 10^{-14}$		W / \sqrt{Hz}
Питома здатність виявлення	$\lambda = 400 \text{ nm}$	D^*		$1.0 \cdot 10^{12}$		$cm \cdot \sqrt{Hz} \cdot W^{-1}$
Ємність переходу	$V_R = 0 \text{ V}$	C_j		300		pF
Час перемикання ($R_L = 50 \text{ Ω}$)	$V_R = 5 \text{ V}$	t_r, t_f		1/20		ns
Фотопотік при $\lambda = 400 \text{ nm}$	$V_R = 0 \text{ V}$ $E_e = 1$ mW/cm^2	I_{Ph}		1.55		mA

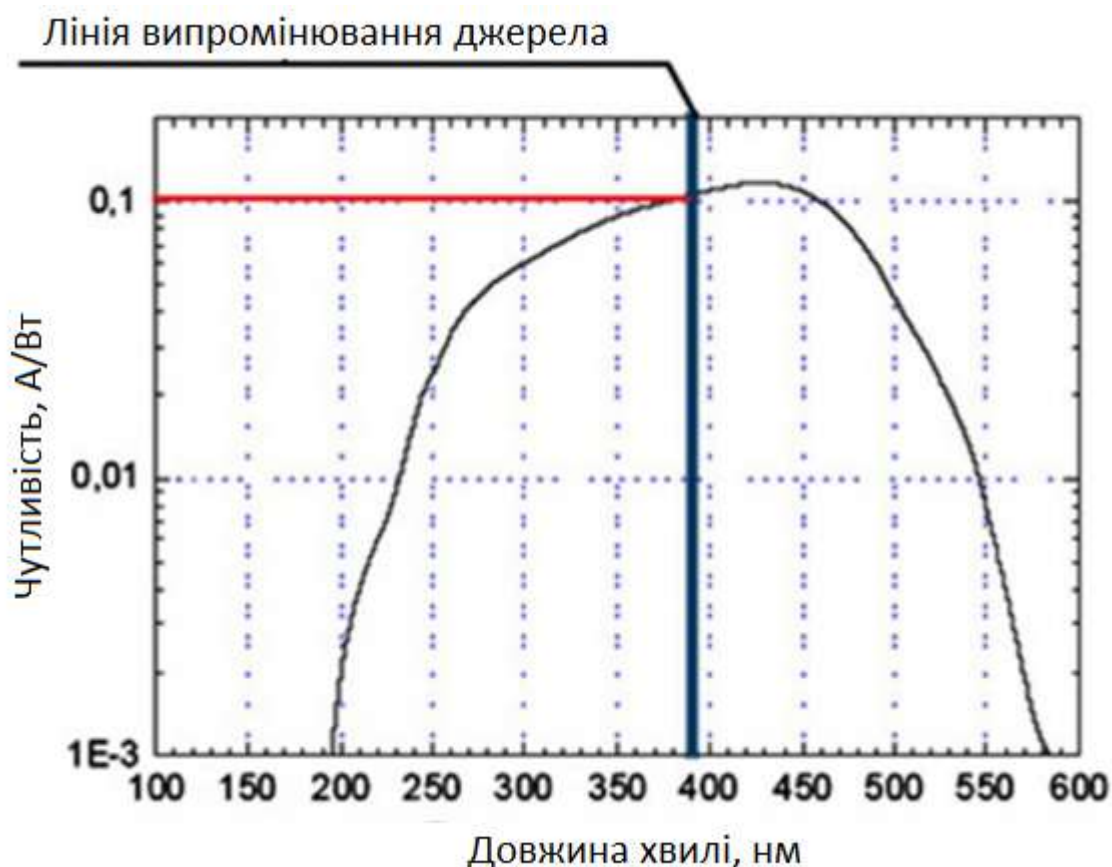


Рис. 3.8 - Залежність чутливості фотодіоду від довжини випромінювання

Прилади які застосовують провідність р-п - переходу називають фотодіодами (ФД). Режими роботи фотодіодів поділяють на фотогальванічний (опромінення бази фотодіода, що викликає електрорушійну силу) та фотодіодний (при опроміненні бази до фотодіоду подається зворотня напруга, яка його живить, через що з'являється зворотній струм неосновних носіїв).

Переваги та недоліки використання фотогальванічного (ФГ) та фотодіодного (ФД) режиму роботи приведено в табл. 3.6.

Табл. 3.6

Переваги та недоліки фотогальванічного та фотодіодного режиму роботи

Режим	Переваги	Недоліки
ФГ	1. Джерело живлення не потрібно. 2. Малі власні шуми. 3. Велика спроможність виявлення.	1. Притаманна нелінійна залежність сигналу від потоку випромінювання (логарифмічна). 2. Потрібно використовувати підсилювальний такт з низькоомним входом через малий внутрішній опір. 3. В порівнянні з ФД режимом чутливість напруги більше ніж в два рази нижча.
ФД	1. Більш висока чутливість напруги. 2. Ширший спектральний діапазон роботи. 3. Володіє лінійною залежністю вихідного сигналу в широкому діапазоні опромінення. 4. В порівнянні з ФГ режимом найбільший коефіцієнт підсилення у підсилюючого такту.	1. Необхідність в джерелі живлення. 2. В порівнянні з ФГ режимом без охолодження має більш низьку спроможність виявлення.

Виходячи з цих порівняльних характеристик можна зробити висновок, що більш вдалим вибором став би фотодіодний режим роботи.

3.7.1.2. Волоконно-оптичного розгалужувач.

Волоконно-оптичний розгалужувач (сплітер) – це пристрій який розділяє оптичну енергію на хвиеводні та надає можливість працювати з декількома пристроями з одного волокна. ВОР виготовлений з волокна FIBER-50-UV, в якого

спектральний діапазон від 300 до 1100 nm, довжина розгалужувача не більше 15 см, завдяки чому можна значно зменшити втрати випромінювання від джерела ІЧ випромінювання. Розгалужувачем є джгут, який поділяється на дві частини та має відполіровані кінці.

3.7.1.3. Кювета газоаналізатора.

Кювета газоаналізатора являє собою трубку з нержавіючої сталі, діаметр якої складає 6.10 mm, довжина - 150 mm (див. рис. 3.9 , позначення 1).

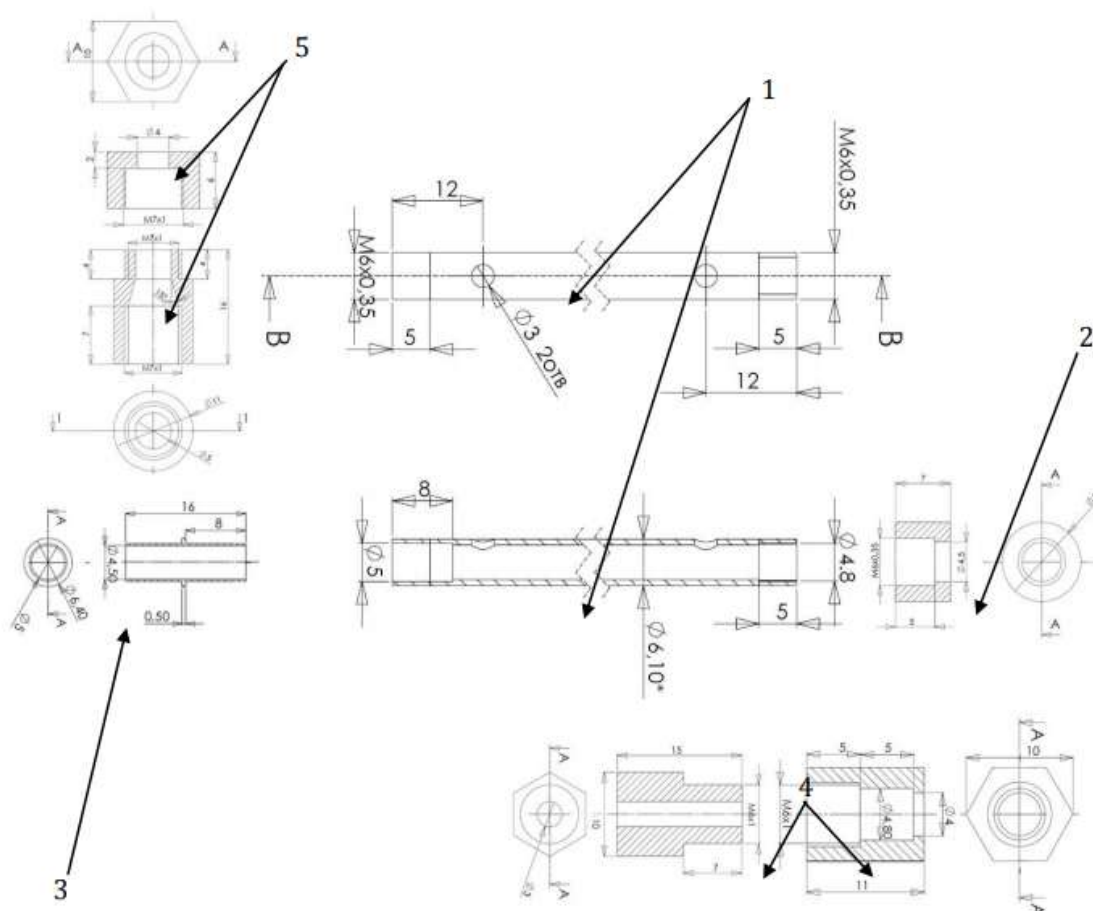


Рис. 3.9 - Кювета газоаналізатора

На одному з кінців кювети є різьба куди прикріплюється фотодіод (див. рис. 3.9, позначення 2), в середині гайки є фторопластова прокладка, яка забезпечує геометричність тракту.

На другий кінець кювети встановлюється втулка з оптоволоконном, для того, щоб подати газ і щоб він міг вийти з кювету через спеціальний отвір (див. рис. 3.9, позначення 3).

Для опорного каналу використовується втулка, на одному кінці якої фотодіод, а з протилежної – оптоволоконно (див. рис. 3.9, позначення 4).

Для об'єднання оптоволоконна з випромінюючим діодом використовується гайка та втулка, представлені на рис. 3.9 (позначення 5).

Зменшення втрат випромінювання від джерела до приймача забезпечується завдяки сучасних компонентів в кюветі, використовується геометрична оправа для монтажу фотодіоду та випромінюючого діоду. На рис. 3.10 зображено кювету ІЧ газоаналізатора.

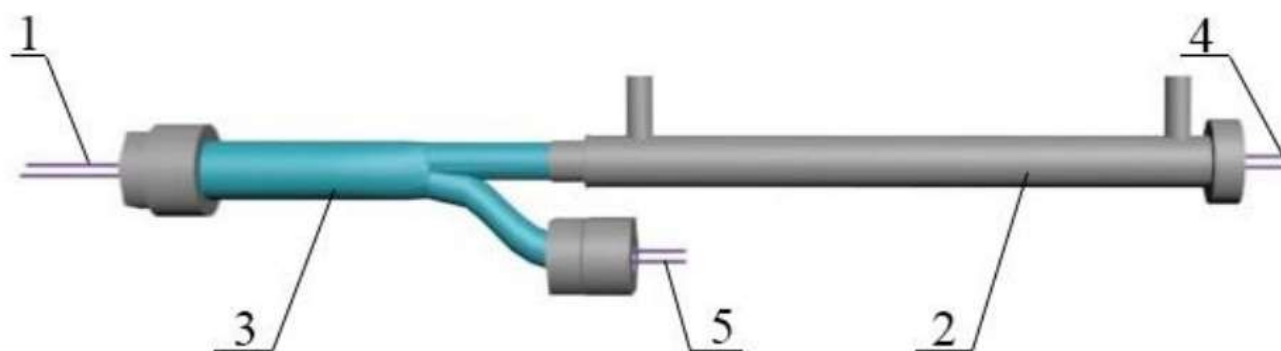


Рис. 3. 10 – 3 D модель кювети газоаналізатора. 1 – випромінюючий діод, 2 – кювета, 3 – оптоволоконний розгалужувач, 4 – основний приймач опромінення, 5 – опорний приймач опромінення

3.7.1.4. Додаткові елементи ІЧ газоаналізатора.

Додатковими елементами даного газоаналізатора ж наступні:

- елементи газоповітряної схеми (насос, з'єднувальні трубки, клапани, трійники, фільтри, ротаметри, втулки).
- елементи електронної схеми (мікроконтролер, провідники, мультиплексор, АЦП, АК, БЖ, Кл, Д).

В табл. 3.7 описані характеристики обраних елементів.

Табл. 3.7

Характеристики додаткових компонентів газоаналізатора

№ п/п	Тип елемента	Марка	Основні характеристики
1	Насос	Thomas 11700	1. Витрата повітря 4,3 l/min; 2. Мотор – вібраційний, арматурний; 3. Потужність 4.5 W; 4. Розрідження 8.3 mm Hg.
2	З'єднувальні трубки	PTEE	1. Внутрішній діаметр тефлонової трубки 4,8 mm. 2. Зовнішній діаметр 6,4 mm.
3	Клапани	Bio-Chem 100T3MP12-62	Трьохходовий клапан, який має тефлонове покриття пневмотракта.
4	Трійники	TRS 8-8-8	1. Виготовлено з тефлону. 2. Діаметр 8 mm.
5	Мікро-контролер	ATmega32U4 8-bit	1. Високопродуктивний, малопотужний 8-ми бітний. 2. Flash-пам'ять програмного забезпечення 32 Kb. 3. SRAM 2,5 Kb. 4. EEPROM 1 Kb. 5. USB 3.0 модуль. 6. 12-ти канальний. 7. 10-ти розрядний АЦП. 8. Компаратор напруги. 9. Пропускна здатність до 1 MIPS на 1 MHz.

Продовження табл. 3.7

6	Фільтр	БиГУР GB-702	Фільтр очистки від пилу.
7	Мульти-плексор	ЛА-УН16	1. Вхідний опір не менше 100 Ом. 2. Коефіцієнт підсилення поканально 1, 10, 100. 3. Максимальна вхідна напруга ± 100 kHz. 4. Мультиплексор 8x2.
8	Робоча станція		Звичайний ПК, ноутбук.
9	Датчик температури	АМ2302В	Абсолютна похибка вимірювання $\pm 0,5$ °C
10	Датчик вологості	АМ2302В	Абсолютна похибка вимірювання $\pm 2\%$

3.8. Розробка алгоритму роботи інфрачервоного газоаналізатора.

Відповідно до функціональної схеми було розроблено алгоритм функціонування інфрачервоного газоаналізатора, який представлено на рис. 3.11.

При увімкненні прилад перемикає клапан, щоб взяти атмосферне повітря, таким чином виконується продування кювети від газу, який там раніше знаходився.

Після продувки порівнюються сигнали з опорного приймача випромінювання U_{opr} та основного $U_{осн}$, при цьому напруга з опорного приймача не повинна перевищувати певне значення (більше 10%). Якщо було встановлено, що різниця більше заданої, то процес зупиниться, та виведеться на екрані повідомлення (Помилка 1), що для продовження роботи приладу потрібно прочистити кювету від бруду.

Якщо між сигналами немає різниці, то наступним кроком буде перевірка на герметичність - чи газ не витікає з газового тракту. Якщо витікає, то процес зупиняється, і виводиться повідомлення на екран про необхідність герметичності газового тракту.

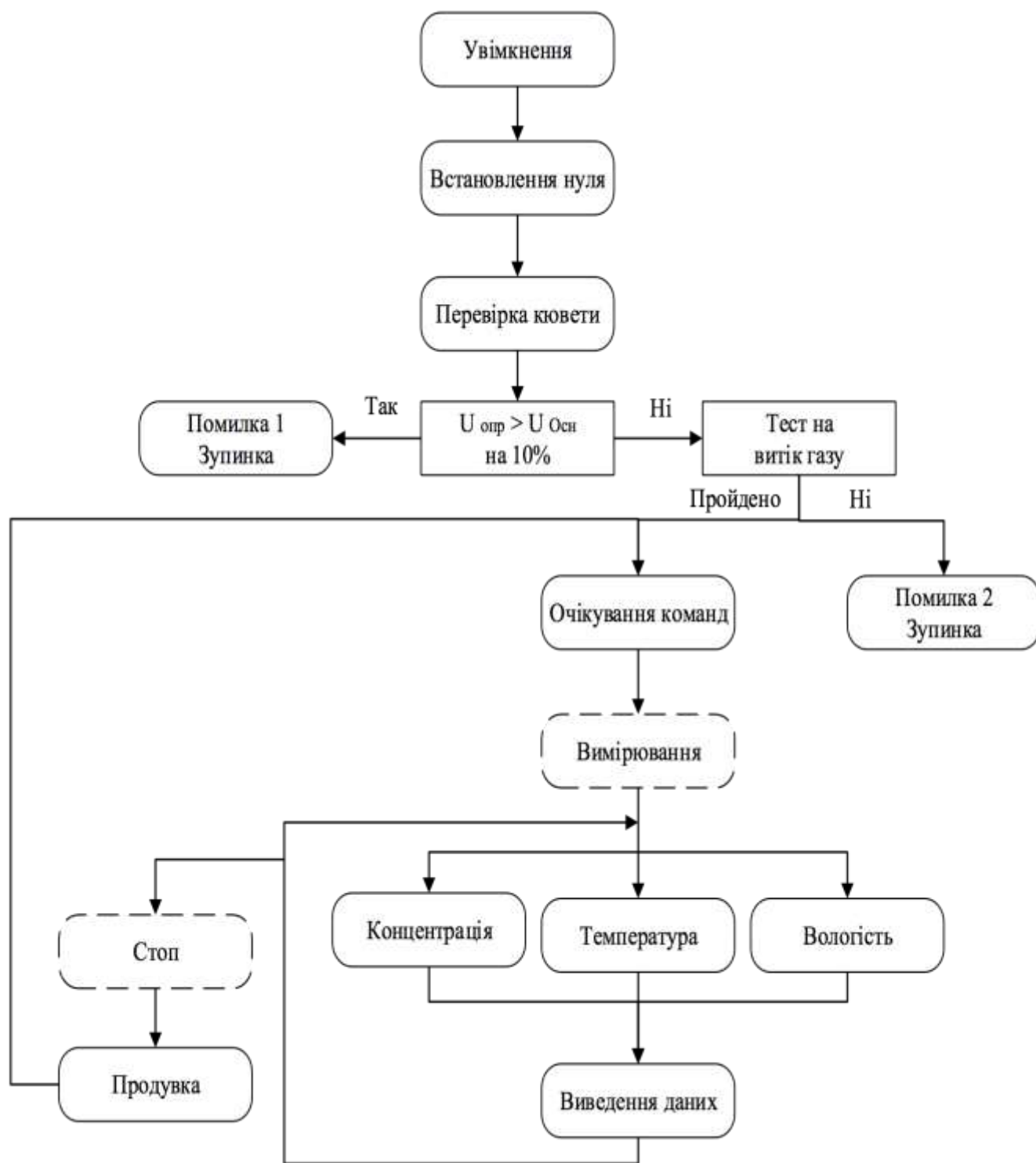


Рис. 3.11 – Алгоритм роботи ІЧ газоаналізатора

У разі успішного проходження тесту, далі настає режим очікування команд від користувача. На початку вимірювання зчитуються значення з мікроконтролера, який передає значення, отримані від приймача (після проходження аналогового компаратора).

Результати проведених вимірювань користувач бачить на екрані приладу, при цьому ці виміряні значення записуються та зберігаються в файлі. Увесь цикл продовжується, поки користувач не натисне кнопку зупинки, після чого прилад перемкне клапан на атмосферне повітря, щоб прочистити кювету від газу, і тоді прилад перейде в режим очікування команд від користувача.

Висновки: в цьому розділі було розроблено структурну, функціональну схеми, алгоритм роботи газоаналізатора, принцип роботи якого базується на інфрачервоному методі аналізу. Після проведення аналізу елементної бази було підібрано оптимальні складові, які є необхідними для забезпечення хороших технічних характеристик ІЧ газоаналізатора.

РОЗДІЛ 4

ОПИС ПРОГРАМНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ ГАЗІВ

4.1. Огляд засобів реалізації програмної системи.

Одним із найважливіших завдань при розробці програмних продуктів є вибір таких засобів, які б полегшили роботу програміста, надавши всі необхідні інструменти для реалізації поставленого завдання, і дали б змогу отримати результат, який повністю задовольняє користувача. Тому при створенні програмної системи було обрано наступне:

- інтегроване середовище розробки Microsoft Visual Studio 2019;
- мова програмування C sharp;
- програмна технологія .NET Core 2;
- база даних Microsoft SQL Server 2017 Express;
- програмна технологія доступу до даних Entity Framework Core;
- мова програмування TypeScript;
- фреймворк Angular 7;
- платформа Node.js;
- відкриті дані по вимірам концентрацій газів та параметрів навколишнього середовища з сайту <https://air.kyivsmartcity.com>.

4.1.1. Microsoft .NET Core та мова C#.

Microsoft.NET Core — програмна технологія, створена компанією Microsoft як платформа для створення широкого спектру програмного забезпечення: від звичайних програм до web-програм. Ця технологія є наступною версією Microsoft.NET Framework, але спрямованою на кросплатформеність та використання нових технологій без старого коду на відміну від Microsoft.NET Framework, що дозволяє розробляти більш швидше та компактніше програмне забезпечення [11].

Платформа. NET Core — це вже не інтегрований компонент Windows, на відміну від Microsoft.NET Framework, цей програмний комплекс потрібно встановлювати окремо. Посилання на його завантаження можна знайти на веб-сайті Microsoft <https://dotnet.microsoft.com/download>. Ця нова технологія підтримує створення та виконання нового покоління додатків і web-служб XML.

Двома основними компонентами платформи. NET Core є загальномовне середовище виконання (CLR) і бібліотека класів. NET Core.

Середовище CLR керує пам'яттю, виконанням потоків, виконанням коду, перевіркою безпеки коду, компіляцією та іншими системними службами.

Інший основний компонент платформи. NET Core, бібліотека класів — це об'єктно-орієнтована колекція типів, яку використовують для розробки веб-додатків.

C# — об'єктно-орієнтована мова програмування з строгою статичною системою типізації для платформи .NET Core., яка підтримує поліморфізм, перевантаження операторів, вказівники на функції — члени класів, атрибути, події, властивості, винятки, коментарі у форматі XML [12].

4.1.2. Середовище розробки Microsoft Visual Studio 2019.

Microsoft Visual Studio 2019 (рис. 4.1) – це інтегроване середовище розробки програмного забезпечення, завдяки якому можна створювати веб-сайти, веб-додатки, а також консольні застосунки, застосунки з графічним інтерфейсом з підтримкою технології Windows Forms.

Інтегроване середовище Visual Studio 2019 включає в себе редактор коду з підтримкою технології IntelliSense і можливістю найпростішого рефакторінг-коду. Вбудований налагоджувач може працювати як налагоджувач рівня коду, так і як налагоджувач машинного рівня.

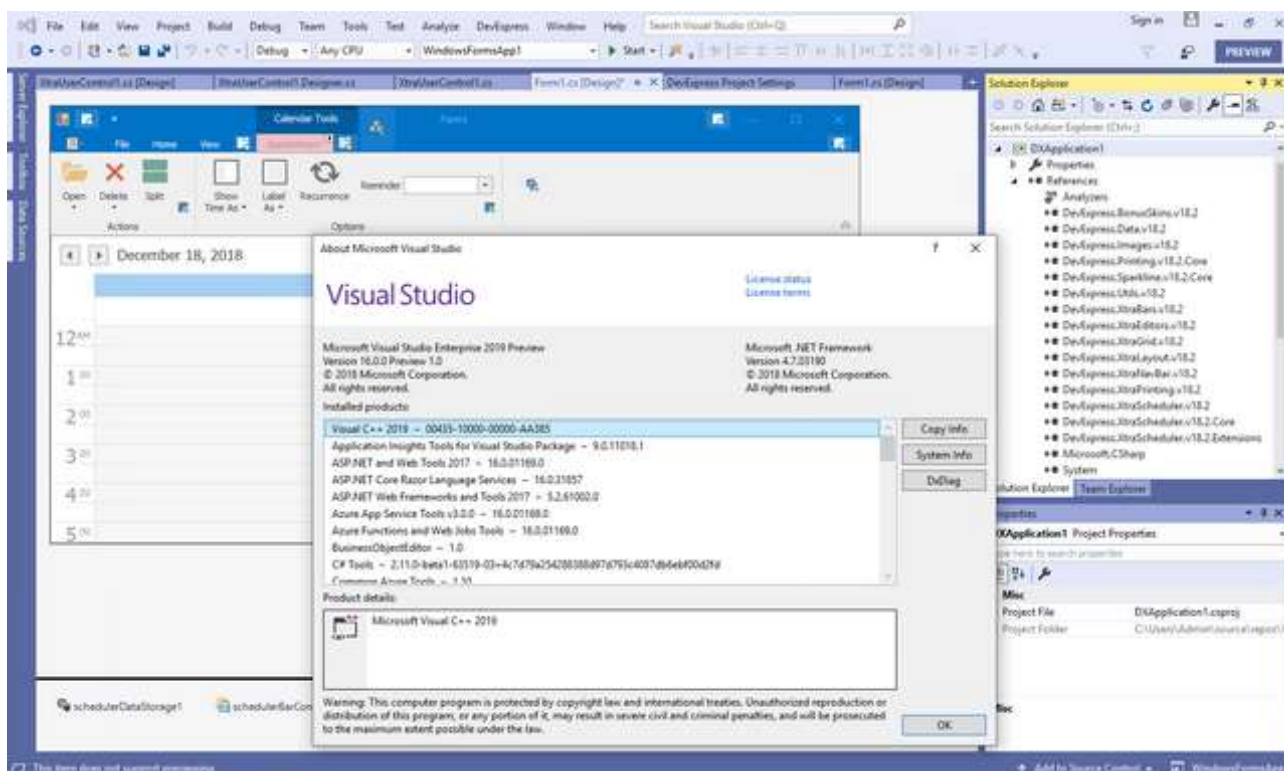


Рис. 4.1 — Інтегроване середовище розробки Visual Studio 2019

4.1.3. СКБД Microsoft SQL Server 2012 Express

Microsoft SQL Server 2012 Express — це платформа баз даних, основою якої є Microsoft SQL Server. SQL Server Express полегшує розробку керованих даними додатків з широкими можливостями, забезпечує поліпшену безпеку сховищ і швидке розгортання.

Мова запитів SQL є стандартною мовою для роботи з реляційними базами даних і в даний час підтримується всіма продуктами, представленими на ринку. SQL відрізняється від інших традиційних алгоритмічних мов програмування. Мовою SQL можна просто вказати, що потрібно робити, а саме виконанням деяких операцій займається система керування базами даних (СКБД). СКБД сприймається як «чорна скринька», і все що відбувається усередині СКБД, користувача не повинно стосуватися. Його має цікавити лише внесення до бази даних необхідних змін і отримання правильних відповідей на запити [13].

Система керування базами даних MS SQL Server Express Edition є вільно поширюваною версією SQL Server. У цій версії відсутні графічні інструменти адміністрування, і вона має певні технічні обмеження: підтримує лише один процесор, допускає максимальний розмір бази даних — 4 Гбайти, обсяг адресованої пам'яті — 1 Гбайт.

Для взаємодії з базою даних можна використовувати технологію ADO.NET. ADO.NET — це набір бібліотек, які поставляються з Microsoft .NET Framework, і призначені для взаємодії з різними сховищами даних з .NET-застосунків. Бібліотеки ADO.NET включають класи приєднання до джерела даних, виконання запитів і обробки їхніх результатів. Крім того, ADO.NET можна використовувати як надійний, ієрархічно організований, відокремлений кеш даних для автономної роботи з даними.

4.1.4. Entity Framework Core.

Entity Framework — це спеціальна об'єктно-орієнтована технологія на базі фреймворку .NET Core для роботи з даними [14]. Використовуючи засоби ADO.NET можна створювати підключення, команди та інші об'єкти для того, щоб можна було взаємодіяти з базами даних, проте Entity Framework Core має більш високий рівень абстракції, завдяки чому може абстрагуватися від самої бази даних та опрацьовувати дані незалежно від типу сховища. Якщо на фізичному рівні ми керуємо таблицями, індексами, первинними і зовнішніми ключами, то рівні концепції Entity Framework ми оперуємо самими об'єктами.

Основною концепцією Entity Framework є сутність (entity). Сутністю є набір даних, пов'язаних з конкретним об'єктом. Тому використовуючи технологію Entity Framework ми працюємо не з таблицями, а з об'єктами та їх даними.

4.1.5. Angular 7 фреймворк та мова програмування TypeScript.

Angular представляє собою front-end фреймворк від компанії Google, який застосовується для створення клієнтських додатків. Основним призначенням цього фреймворку все ж є розробка SPA-рішень (Single Page Application), тобто односто-

рінкових додатків [15]. Angular – це не нова версія AngularJS, а принципово новий фреймворк, який був повністю перероблений командою розробників Angular Team в Google.

Основна різниця між Angular та AngularJS:

- завдяки інтегрованому Angular CLI з'явилась можливість створювати новий додаток за командою «ng new [app name]»;
- змінений синтаксис написання коду, прив'язка даних;
- основну частину функціональності було перенесено в модулі, які можна підключати;
- для розробки проектів з використанням нової версії фреймворку Angular використовується мова програмування TypeScript від компанії Microsoft.

TypeScript – це мова програмування для розробки веб-додатків, яка розширює можливості JavaScript та компілює код TypeScript в JavaScript, з яким працюють веб-браузери для роботи веб-сайтів, веб-додатків.

Перевагами TypeScript над JavaScript є наступні:

- статична типізація;
- підтримка використання повноцінних класів (як в традиційних об'єктно-орієнтованих мовах);
- підтримка підключення модулів [16].

Завдяки таким змінам підвищилась швидкість розробки та й сама швидкодія програм, редагування коду, можливість уникнення дублікації коду за рахунок повторного використання написаного коду, полегшився пошук помилок при розробці програмного забезпечення та на етапі компіляції.

4.1.6. Платформа Node.js.

Node.js – це середовище для виконання коду на мові програмування JavaScript. Node.js побудовано з використанням рушія V8 веб-браузера Chrome (виводить вміст на екран згідно з форматуванням), який надає можливість транслювати виклики на мові JavaScript в машинний код. Перш за все призначений для створення серверних застосунків на мові JavaScript, але також є проекти, де ця мо-

ва програмування використовувалась для програмування мікроконтролерів, написання десктопних застосунків.

Якщо раніше JavaScript використовувався для того, щоб опрацювати якісь дані у веб-браузері користувача, то зараз завдяки Node.js з'явилась можливість виконувати скріпти написані на JavaScript, для того, щоб надсилати назад результат їх виконання.

Node.js має наступні властивості:

- асинхронна модель виконання запитів;
- неблокуючий ввід/вивід;
- система модулів CommonJS;
- рушій JavaScript Google V8 [17].

Для того, щоб займатися розробкою веб-застосунків під Node.js вистачить й стандартного текстового редактора, хоча зазвичай розробники використовують більш серйозні редактори, такі як Atom, Sublime, Visual Studio Code, або середовища розробки, які підтримують роботу з Node.js.

4.2. Розробка програмного компоненту для моніторингу якості повітря отриманих даних з газоаналізаторів мобільних лабораторій.

4.2.1. Загальний опис системи.

Створена програмна система є проєктом Microsoft Visual Studio 2019.

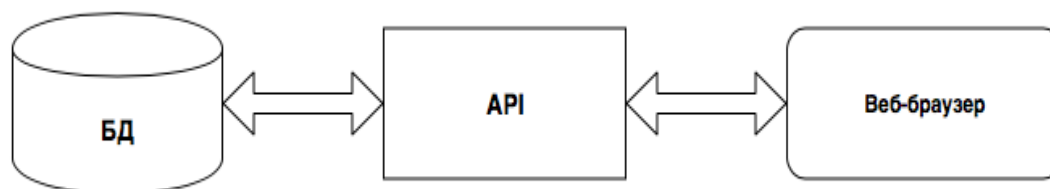


Рис. 4.2 — Архітектура програмної системи

При реалізації задачі розробки і створення системи обробки та зберігання вимірів газоаналізатора використано клієнт-серверну архітектуру (рис. 4.2).

Як видно із поданої схеми архітектури програмної системи, розроблене програмне забезпечення, як веб-додаток з використанням технології Angular 7, встановлює з'єднання із .NET Framework Core API - сервером, який в свою чергу з'єднується з Microsoft SQL Server Express, де зберігається розроблена база даних.

Компонент .NET Framework Core через ADO.NET взаємодіє із сховищами даних в .NET-застосунках.

Використання такої архітектури забезпечує перенесення серверної частини без втрати даних та сприяє збільшенню кількості користувачів, оскільки для роботи з системою потрібно буде лише відкрити веб-сайт на клієнтському комп'ютері.



Рис. 4.3 — Фрагмент сценарію запуску і роботи системи

На рис. 4.3 подано фрагмент сценарію запуску і роботи системи. Як видно зі схеми, робота системи беруть участь три сутності.

У випадку успішного запуску API-сервера веб-браузер матиме змогу виконувати запити на завантаження даних. Відповідь з сервера буде повертатися до веб-браузера, який обробить результат і відобразить його на екрані. А сама служба працює з базою даних.

Для реалізації системи з необхідною функціональністю було розроблено спеціальні класи (рис. 4.4).

У класі `GasGbProvider` описано методи (їх є 17), які використовувалися при розробці клієнтського додатку. Вони виконують дві функції: доступ до бази даних (додавання до таблиць нової інформації, відбір інформації, редагування інформації в таблицях, вилучення інформації з таблиць) і забезпечення роботи кількох користувачів одночасно.

Наприклад, при додаванні інформації до бази даних використовуються функції: `UpdateSensors` — оновлення сенсорів, `UpdateDevices` — оновлення пристроїв, `UpdateMeasurements` — оновлення вимірів, `GetSensors` — список сенсорів, `GetDevices` — список пристроїв із сенсорами, `GetrelatedMeasurements` — список вимірів, пов'язаних з виміром з вказаним ідентифікатором, `GetMeasurements` — отримує список вимірів по вказаному фільтру.

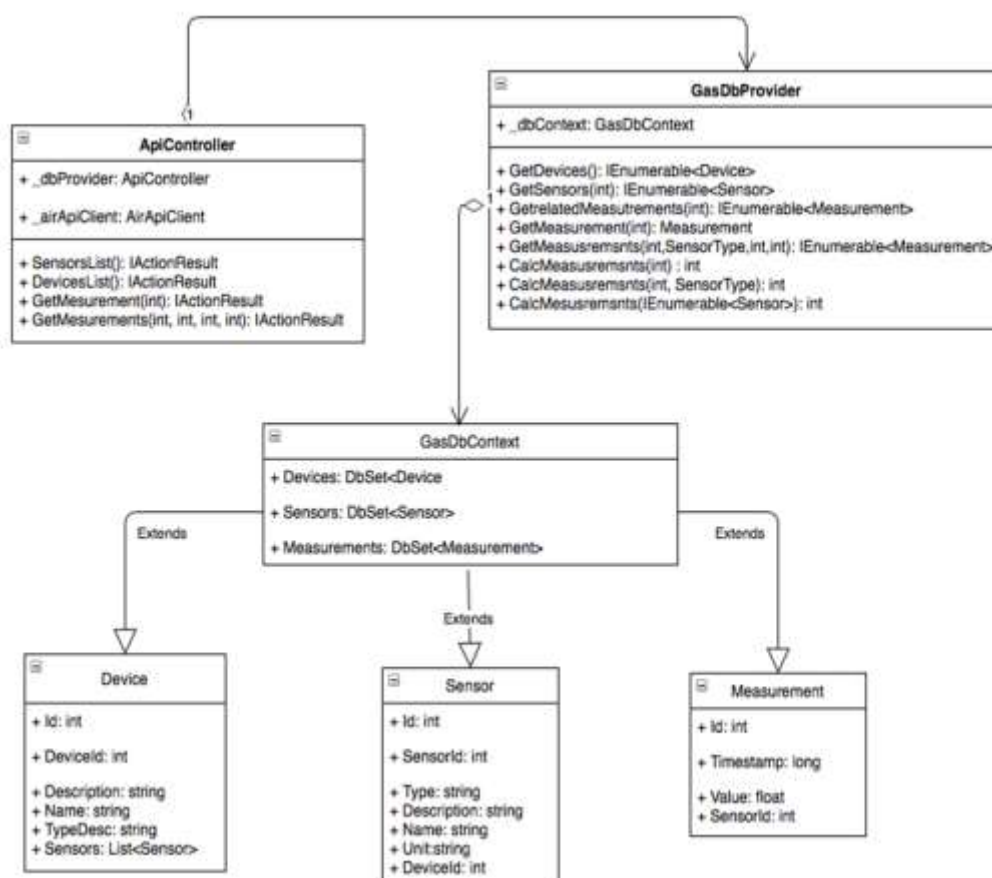


Рис. 4.4 — Загальна діаграма класів системи

У класі GasDbContext описано контекст бази даних. Measurement, Sensor, Device — класи що використовуються при роботі MS Sql та Entity Framework. ApiController — це головний клас, який власне і забезпечує роботу бек-енд частини системи для того, щоб потім клієнтський додаток міг оперувати даними, які приходять з API-сервера.

В ньому використовуються одразу декілька класів-сервісів, які застосовуються таким чином, щоб виконувати чітке, поставлене бізнес-завдання, наприклад, зчитати виміри і при цьому завантажити значення сенсорів та пристроїв, що відносяться до даного виміру.

4.2.2. Організація збереження даних.

Уся інформація системи зберігається в базі даних MS SQL. Концептуальну схему бази даних, розробленої в даному проєкті, подано на рис. 4.5.

База даних містить 3 таблиці. В цих таблицях зберігається взаємопов'язана інформація.



Рис. 4.5 — Концептуальна схема бази даних

Інформація про пристрої із сенсорами і датчиками зберігається в таблиці «Devices» (рис. 4.6): «deviceId» — ідентифікатор пристрою, «description» — опис пристрою, «name» — назва пристрою.


Devices	
 Id	
DeviceId	
Description	
Name	
TypeDesc	
Unit	

Рис. 4.6 — Структура таблиці Devices

Інформація про сенсори і датчиками зберігається в таблиці «Sensors» (рис. 4.7): «sensorId» — ідентифікатор датчика, «deviceId» — ідентифікатор пристрою, «description» — опис датчика, «name» — назва датчика, «type» — тип датчика, «unit» — одиниці виміру датчика, «description» — опис датчика.


Sensors	
 Id	
SensorId	
Type	
Description	
Name	
Unit	
DeviceId	

Рис. 4.7 — Структура таблиці Sensors

4.2.3. Розробка API-контролера.

API-контролер [18] в .Net Core це звичайний клас, який наслідує спеціальний клас, який позначає класи як ті, що містять API-методи, методи — Controller (рис. 4.8).

```

1 public class HomeController : Controller
2 {
3     private readonly ILogger<HomeController> _logger;

```

Рис. 4.8 — Приклад оголошення API-контролера

Щоб створити API-метод, потрібно створити публічний метод (рис. 4.9). За допомогою атрибутів [HttpGet] , [HttpPost].

```

1  [HttpGet]
2  public IActionResult Buy(int? id)
3  {
4      if (id == null) return RedirectToAction("Index");
5      ViewBag.PhoneId = id;
6      return View();
7  }
8  [HttpPost]
9  public string Buy(Order order)
10 {
11     db.Orders.Add(order);
12     // сохраняем в бд все изменения
13     db.SaveChanges();
14     return "Спасибо, " + order.User + ", за покупку!";
15 }

```

Рис. 4.9 - Приклад оголошення API-методу

4.2.4. Розробка веб-додатку.

Для того, щоб клієнтський додаток отримував дані з бази даних, необхідно підключитись до API-сервера, вказавши адресу, за якою цей сервер знаходиться (рис. 4.10).

```

1  import { DataContext } from '../data-context.base';
2
3  export class MeasurementDataContext extends DataContext {
4      ... getBaseUrl(): string {
5          ... return 'http://127.0.0.1:4444';
6          ... }
7      }
8

```

Рис. 4.10 – Підключення клієнтського додатку до API-сервера

Після цього можна реалізувати отримання даних з підключеного API-сервера, встановивши URL-адреси кінцевих точок (рис. 4.11).

```

packages > @g-a-s-shared > shared > src > app > data-contexts > measurementData > TS measurementData.apiUrls.ts > ...
1  import { SensorType } from 'packages/@g-a-s-features/control-panel/src/app/models/sensor-types.enum';
2
3  export const MeasurementDataApiUrls = {
4    measurement: {
5      main: 'api/measurement',
6      getMeasurementById(measurementId: number): string {
7        return `${this.main}/${measurementId}`;
8      }
9    },
10   measurements: {
11     main: 'api/measurements',
12     getMeasurementResults(deviceId: number, sensorType: SensorType) {
13       return `${this.main}?deviceId=${deviceId}&sensorType=${sensorType}`;
14     }
15   },
16   sensors: {
17     main: 'api/sensors'
18   },
19   devices: {
20     main: 'api/devices'
21   },
22   measurementsbytype: {
23     getMeasurementResultsBySensorType(sensorType: SensorType) {
24       return `${this.main}/${sensorType}`;
25     }
26   }
27 };
28

```

Рис 4.11 – URL-адреси для отримання даних з підключеного API-сервера

Щоб отримати результати цих запитів, потрібно створити методи, які звертаючись через URL-адреси до сервера, будуть забирати звідти потрібні клієнту дані.

Розглянемо приклади основних методів отримання даних для роботи даного клієнтського додатку:

1. Метод отримання даних до одного вимірювання приладом (рис. 4.12). Цей метод повертає дані до одного об'єкту типу Measurement, модель якого представлено на рис. 4.13:

```

public getMeasurementById(id: number): Observable<Measurement> {
  return this.context.get<Measurement>[MeasurementDataApiUrls.measurement.getMeasurementById(id)];
}

```

Рис. 4.12 - Метод отримання даних до одного вимірювання приладом

```

export class Measurement {
  ... id: number;
  ... timestamp: string;
  ... value: number;
  ... sensorId: number;
  ... sensorType: SensorType;
  ... deviceId: number;
  ... deviceName: string;
  ... unit: string = null;
  ... name: string = null;
  ... relatedMeasurements: Measurement[] = [];
}

```

Рис. 4.13 – Модель значень до одного вимірювання

2. Метод отримання масиву об'єктів по типу Device (рис. 4.14). Результатом цього запитує масив даних про вимірювальний прилад, модель якого приведено на рис. 4.15.

```

public getListOfDevices(): Observable<Device[]> {
  ... return this.context.getList<Device>([
  ... MeasurementDataApiUrls.devices.main
  ... ]);
}

```

Рис. 4.14 - Метод отримання масиву об'єктів Device

```

export class Device {
  ... id: number;
  ... deviceId: number;
  ... description: string;
  ... name: string;
  ... typeDesc: string;
  ... unit: string = null;
  ... sensors: Sensor[] = null;
}

```

Рис. 4.15 – Модель об'єкту Device

3. Метод отримання масиву об'єктів по типу Sensor (рис. 4.16). Результатом цього запитує масив даних про датчик, модель якого зображено на рис. 4.17.


```

public getListOfSensors(): Observable<Sensor[]> {
    return this.context.getList<Sensor>(
        MeasurementDataApiUrls.sensors.main
    );
}

```

Рис. 4.16 - Метод отримання масиву об'єктів Sensor

```

export class Sensor {
    id: number;
    sensorId: number;
    deviceId: number;
    name: string;
    type: string;
    unit: string;
    sensorType: SensorType;
}

```

Рис. 4.17 – Модель об'єкту Device

4. Метод отримання масиву об'єктів по типу MeasurementResult (рис. 4.18). Результатом виконання цього запиту є масив виконаних вимірювань до конкретного типу вимірювальної величини.

```

public getMeasurementResultsBySensorType(sensorType: SensorType) {
    return this.context.getList<MeasurementResults>(
        MeasurementDataApiUrls.measurementsbytype.getMeasurementResultsBySensorType(sensorType)
    );
}

```

Рис. 4.18 - Метод отримання масиву об'єктів MeasurementResult

Для створення інтерфейсу користувача було сформовано такий шаблон html-розмітки (рис. 4.19) з підключенням компонентів Kendo UI Angular, а саме:

- Grid (таблиця);
- Dialog Container директива (модальне вікно);
- Drop-down-list – (input елемент, в якого є опції).

```

control-panel.component.html X
packages > @g-a-s-features > control-panel > src > app > control-panel.component.html > div
1 <div class="control-panel_noselect">
2   <div class="control-panel_header">
3     <span class="control-panel_header_text">Моніторинг якості повітря з використанням отриманих даних з газоаналізаторів мобільних
4     лабораторій</span>
5     <button (click)="showInfo()" class="button">Статистика Вимірювання</button>
6   </div>
7   <div class="control-panel_content">
8     <div class="control-panel_content_selection-panel">
9       <div class="control-panel_content_selection-panel_item">
10      <kendo-dropdownlist ...
16      </kendo-dropdownlist>
17    </div>
18    <div class="control-panel_content_selection-panel_item">
19      <kendo-dropdownlist ...
25      </kendo-dropdownlist>
26    </div>
27  </div>
28 </div>
29 <div class="control-panel_content_grid">
30   <div class="control-panel_content_grid_text">Вимірювання: {{_currentSensor?.name}} на локації "{{_currentDevice?.description}}"</div>
31
32   <kendo-grid ...
59   </kendo-grid>
60 </div>
61 </div>
62 <div kendoDialogContainer></div>

```

Рис. 4.19 – HTML-розмітка інтерфейсу користувача

Розглянемо детальніше основні структурні елементи інтерфейсу. Верхня частина складається з назви програмного компоненту та кнопки «Статистика вимірювання», на клік якої відкриється модальне вікно з графіком залежності вимірюваної величини протягом періоду, коли ці значення були виміряні в заданих умовах, а саме: вибране місце, де проводились вимірювання, та вибраний досліджуваний параметр (концентрація сполуки, температура, атмосферний тиск, вологість) (рис. 4.20).

В основній області контенту є таблиця з виміряними значеннями та два контролери зверху, за допомогою яких можна вибирати локацію та досліджуваний параметр. Після вибору цих значень, в таблицю завантажаться дані, як відповідають заданим умовам (рис. 4.21).



Рис. 4.20 – Статистика виміряних значень СО на локації «Солом'янський район – Севастопільська площа»

Моніторинг якості повітря з використанням отриманих даних з газоаналізаторів мобільних лабораторій

Солом'янський район - Севастопільська площа

Чадний газ (CO)

Вимірювання: Чадний газ (CO) на локації "Солом'янський район - Севастопільська площа"

Дата вимірювання	Вимірюване значення	Детальніше
Fri, 31 May 2019 07:00:00 GMT	1.8	Детальніше
Mon, 03 Jun 2019 07:00:00 GMT	2.9	Детальніше
Tue, 04 Jun 2019 07:00:00 GMT	12.1	Детальніше
Wed, 05 Jun 2019 07:00:00 GMT	2	Детальніше
Thu, 06 Jun 2019 07:00:00 GMT	3.5	Детальніше
Fri, 07 Jun 2019 07:00:00 GMT	0.6	Детальніше
Sat, 08 Jun 2019 07:00:00 GMT	3.8	Детальніше

Рис. 4.21 – Головна панель. Таблиця вимірювань при виборі вимірювального параметру СО на локації «Солом'янський район – Севастопільська площа».

4.2.5. Розробка алгоритму роботи веб-додатку.

Алгоритм роботи створеного веб-додатку зображено на рис. 4.22.

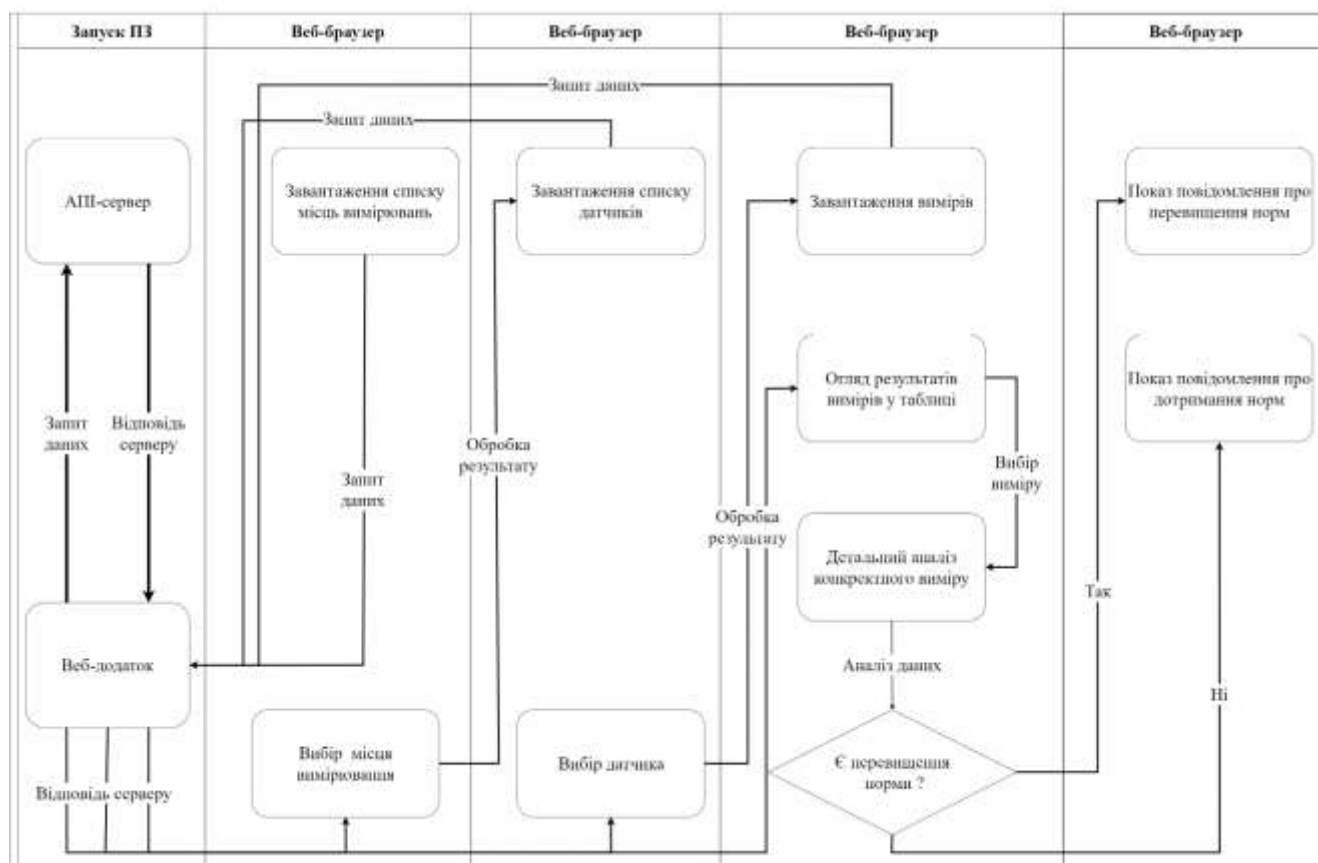


Рис. 4.22 – Алгоритм роботи веб-додатку

Після запуску АПІ-сервера та веб-додатку, останній надсилає запити на отримання даних з сервера. Сервер, в свою чергу, надсилає у відповідь дані, на які було надіслано запити. Цими даними є інформація про місця вимірювань та датчики, які там використовувались для здійснення вимірювання на тих локаціях.

Отримавши необхідні дані користувач може здійснювати вибір місця вимірювання, а також вибір вимірюваної величини (вибір датчика). При кожному новому зробленому виборі з цих двох параметрів, на АПІ-сервер надсилається новий запит для отримання актуальних даних, після чого з сервера веб-додаток отримає результати з надісланого запиту, які завантажаться в таблицю вимірювань.

Далі користувач має наступні варіанти:

- вибрати будь-яке вимірювання з списку результатів вимірювання та переглянути деталі стосовно нього;
- переглянути результати вимірювання обраного датчика за обраною локацією протягом якогось періоду часу в графічному вигляді.

При виборі вимірювання визначається, чи виміряне значення не перевищує норми. Якщо виміряне значення норму не перевищило, то користувач побачить повідомлення, що норму не перевищено. В протилежному випадку, з'явиться повідомлення, що виміряна величина перевищила норму.

4.3. Методика роботи користувача з веб-додатком.

4.3.1. Системні вимоги та налаштування роботи з веб-додатком.

Для використання розробленої програмної системи персональний комп'ютер повинен мати процесор Intel ® Core™ 2 / 2 Quad / Pentium ® / Celeron ® / Xeon™ з тактовою частотою не нижче 2 GHz, на комп'ютері повинна бути встановлена операційна система Windows 10, Windows 8, Windows 7. На жорсткому диску для серверного додатку необхідно 3 Гб вільного простору на диску, це зумовлено тим, що максимальний розмір бази даних в MS SQL, яка використовується в програмі становить саме 1Гб.

Також потрібно враховувати розмір самої програми - не менше 300 Мб, що з часом може змінитись. Процес встановлення програми являє собою просте копіювання папки з програмою в користувацьку папку. А щодо клієнтського застосунку, то тут вимоги до процесорних ресурсів та ситуація аналогічна серверній частині системи. Для роботи веб-додатку на сервері потрібно мати встановленим програмний пакет Node.js, тому дисковий простір для клієнтської програми повинен бути не менше 500Мб.

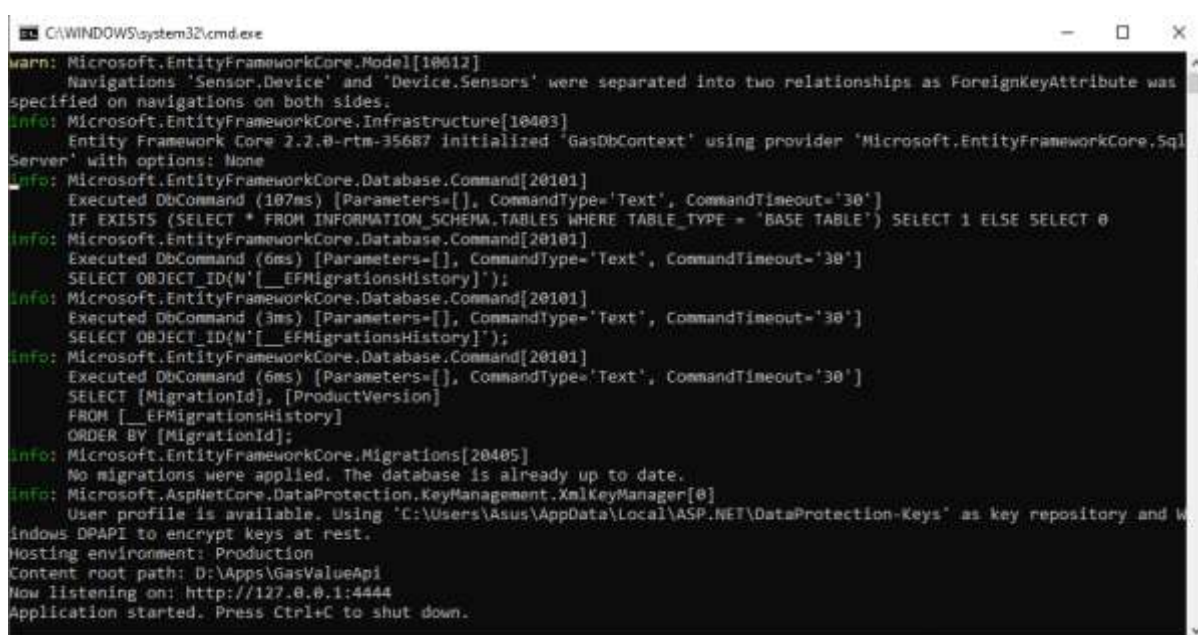
Щоб розпочати роботу із програмною системою, користувачеві потрібно просто відкрити в його улюбленому веб-браузері даний веб-сайт, а щодо серверної частини, то тут необхідно встановити або оновити .NET Framework до версії .Net Framework Core 2.0, а також потрібна операційна система Windows 7, 8 або 10.

Вибір операційних систем обумовлений тим, що для старших операційних системи від Microsoft немає .Net Framework Core 2.0. Для роботи програмної системи потрібне постійне Інтернет-з'єднання або з'єднання по локальній мережі.

Для налаштування веб-сервера, що є API-сервером, потрібно налаштувати розміщення файлу бази даних в конфігураційному файлі (рис. 4.23) та виконати файл запуску (рис. 4.24).

```
{
  "airApi": {
    "apiUri": "https://air.jl5.work//data"
  },
  "gasDbContext": {
    "dsn": "Data Source=.\SQLExpress;Integrated
Security=true;AttachDbFileName=D:\\Apps\\GasValueApi\\Release\\
Data\\gasmesr.mdf;Integrated Security=true;User Instance=true;"
  },
}
```

Рис. 4.23 — Шлях розміщення файлу бази даних



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
warn: Microsoft.EntityFrameworkCore.Model[10612]
  Navigations 'Sensor.Device' and 'Device.Sensors' were separated into two relationships as ForeignKeyAttribute was
specified on navigations on both sides.
info: Microsoft.EntityFrameworkCore.Infrastructure[10403]
  Entity Framework Core 2.2.0-rtm-35687 initialized 'GasDbContext' using provider 'Microsoft.EntityFrameworkCore.Sql
Server' with options: None
info: Microsoft.EntityFrameworkCore.Database.Command[20101]
  Executed DbCommand (107ms) [Parameters=[], CommandType='Text', CommandTimeout='30']
  IF EXISTS (SELECT * FROM INFORMATION_SCHEMA.TABLES WHERE TABLE_TYPE = 'BASE TABLE') SELECT 1 ELSE SELECT 0
info: Microsoft.EntityFrameworkCore.Database.Command[20101]
  Executed DbCommand (6ms) [Parameters=[], CommandType='Text', CommandTimeout='30']
  SELECT OBJECT_ID(N'[_EFMigrationsHistory]');
info: Microsoft.EntityFrameworkCore.Database.Command[20101]
  Executed DbCommand (3ms) [Parameters=[], CommandType='Text', CommandTimeout='30']
  SELECT OBJECT_ID(N'[_EFMigrationsHistory]');
info: Microsoft.EntityFrameworkCore.Database.Command[20101]
  Executed DbCommand (6ms) [Parameters=[], CommandType='Text', CommandTimeout='30']
  SELECT [MigrationId], [ProductVersion]
  FROM [_EFMigrationsHistory]
  ORDER BY [MigrationId];
info: Microsoft.EntityFrameworkCore.Migrations[20405]
  No migrations were applied. The database is already up to date.
info: Microsoft.AspNetCore.DataProtection.KeyManagement.XmlKeyManager[0]
  User profile is available. Using 'C:\Users\Asus\AppData\Local\ASP.NET\DataProtection-Keys' as key repository and W
indows DPAPI to encrypt keys at rest.
Hosting environment: Production
Content root path: D:\Apps\GasValueApi
Now listening on: http://127.0.0.1:4444
Application started. Press Ctrl+C to shut down.
```

Рис. 4.24 — Знімок екрану запущеного застосунку

Після успішного підключення до API-сервера, наступним кроком є запуск клієнтського застосунку. Для цього потрібно встановити засіб для створення веб-застосунків Microsoft Visual Studio Code, відкрити папку під назвою «gas-analysis-system» та в терміналі виконати команду «ng serve» (рис. 4.25), завдяки якій виконується запуск Angular 7 додатку.

4. Зміна локації та вимірювального параметру для отримання відповідних даних в таблиці.

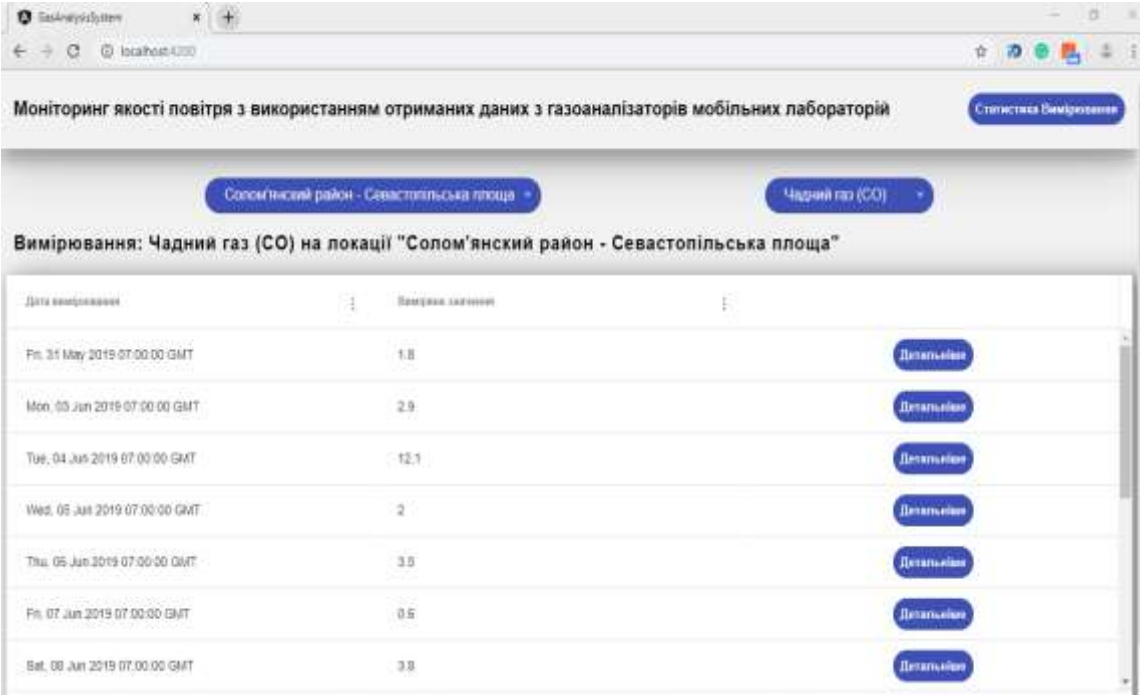
4.3.2. 1. Перегляд вимірювань на заданій локації та заданим вимірювальним параметром (за замовчуванням) в таблиці.

Після запуску проекту у веб-браузері на <http://localhost:4200>, користувач бачить головну панель веб-додатку (рис. 4.27).

За замовчуванням було встановлено такі параметри, за якими фільтрується список вимірювань в таблиці:

1. Локація вимірювання – «Солом'янський район – Севастопільська площа»;
2. Вимірювальний параметр – концентрація чадного газу (CO).

В результаті, застосувавши ці параметри фільтрації, було сформовано список даних, який зображено на рис. 4.27.



Дата вимірювання	Вимірювання значення	
Fri, 31 May 2019 07:00:00 GMT	1.8	Детальніше
Mon, 03 Jun 2019 07:00:00 GMT	2.9	Детальніше
Tue, 04 Jun 2019 07:00:00 GMT	12.1	Детальніше
Wed, 05 Jun 2019 07:00:00 GMT	2	Детальніше
Thu, 06 Jun 2019 07:00:00 GMT	3.5	Детальніше
Fri, 07 Jun 2019 07:00:00 GMT	0.5	Детальніше
Sat, 08 Jun 2019 07:00:00 GMT	3.9	Детальніше

Рис. 4.27 — Головна панель веб-додатку. Відфільтрований список даних

4.3.2.2. Перегляд графіка вимірювань за період часу в заданих умовах.

Керуючись раніше визначеними даними, користувач може переглянути графік вимірювань концентрації протягом періоду часу, коли виконувались виміри даного параметру. Такий графік представлено на рис. 4.28.

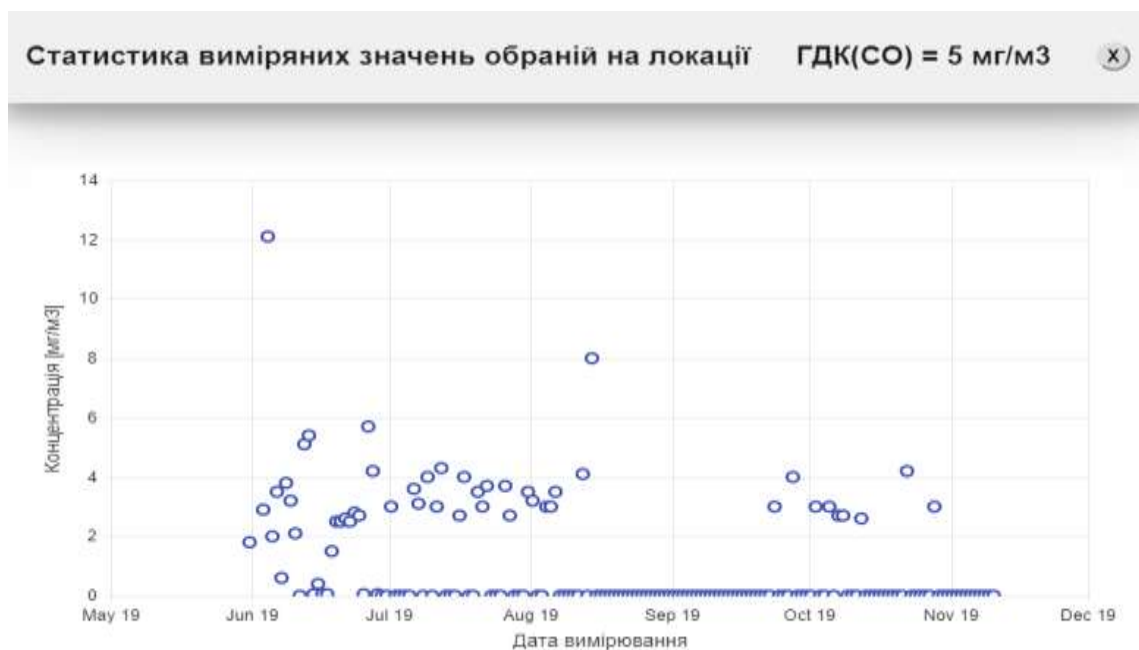


Рис. 4.28 — Вимірювання концентрації CO на вибраній локації протягом часу

Проаналізувавши даний графік візуально можна помітити, що при ГДК (CO)= 5 мг/м³ (табл. 3.2) деякі з вимірів перевищують норму.

4.3.2.3. Перегляд деталей вимірювання.

Щоб дізнатись більше інформації про будь-яке вимірювання в таблиці, користувачу потрібно натиснути на кнопку «Детальніше», внаслідок чого відкриється вікно з деталями щодо вибраного вимірювання в списку.

Основним призначенням цього компоненту є надання розширеної інформації про вимірювання. Зокрема, перевіряється, чи виміряне значення концентрації не перевищило максимальну разову ГДК.

Якщо виміряне значення концентрації обраного елемента зі списку не перевищує значення максимальної разової ГДК, то користувач побачить повідомлення, що концентрація не перевищує значення ГДК (рис. 4.29).

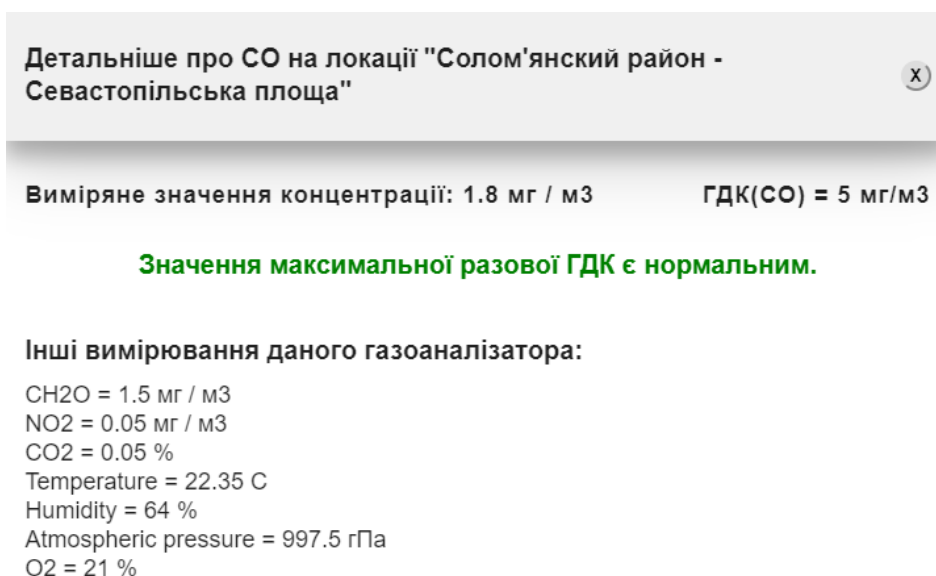


Рис. 4.29 — Інформація про обраний елемент зі списку. ГДК не перевищено

В іншому випадку, якщо виміряне значення концентрації обраного елемента зі списку все ж перевищує значення максимальної разової ГДК, то користувач побачить повідомлення, що концентрація перевищує значення ГДК, а також - пораду (рис. 4.30).

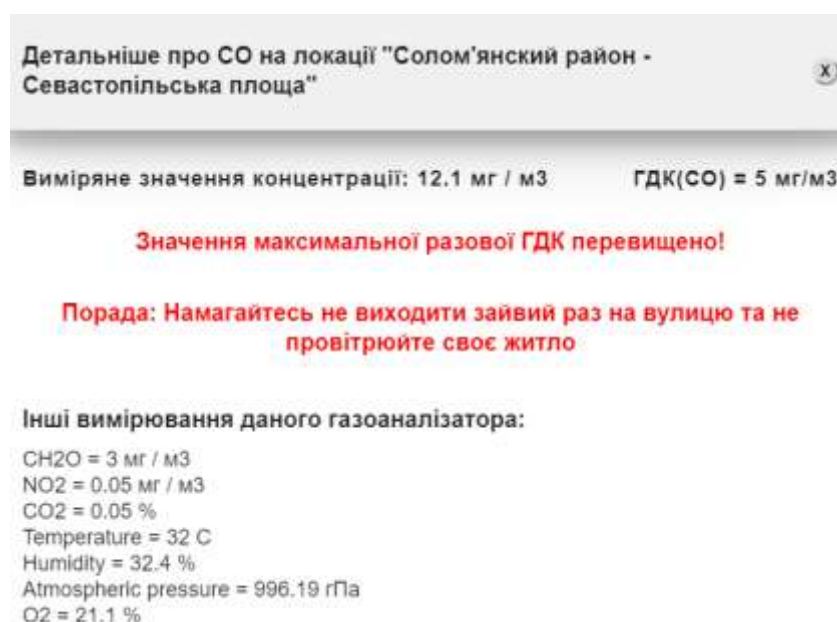
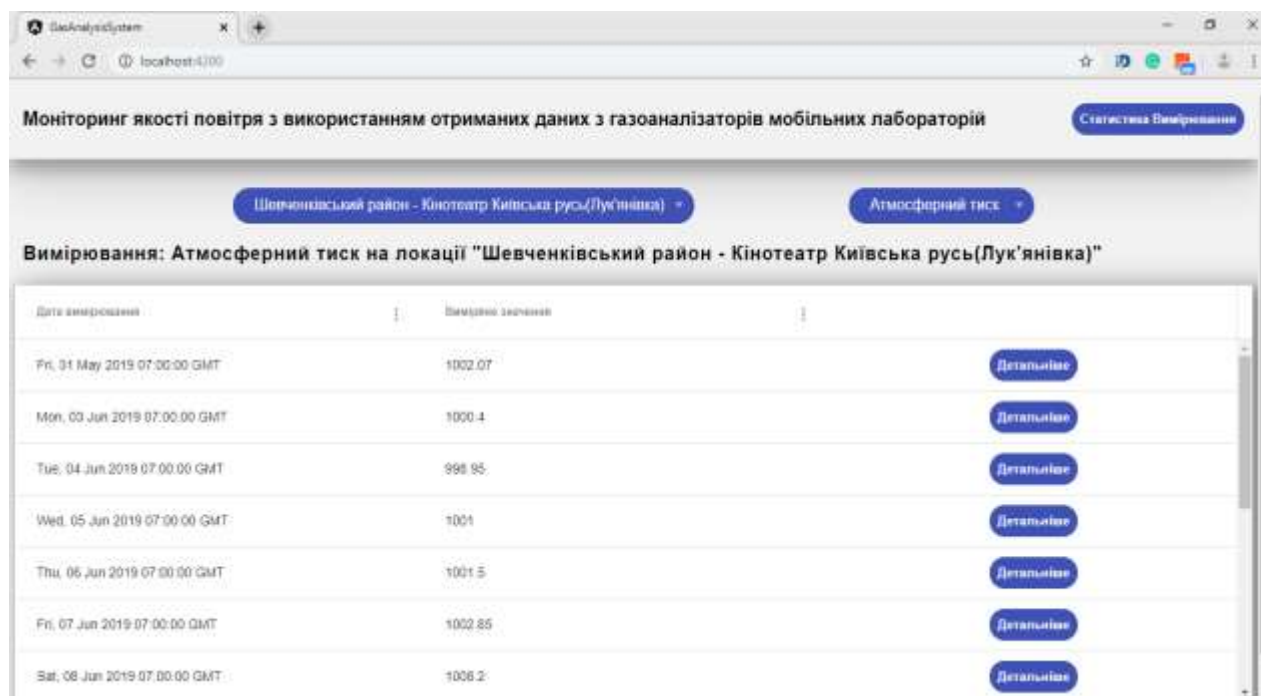


Рис. 4.30 — Інформація про обраний елемент з списку. ГДК перевищено

4.3.2.4. Зміна локації та вимірювального параметру для отримання відповідних даних в таблиці.

При зміні локації та вимірювального параметру, система розпізнає, що відбулись якісь зміни, та оновить таблицю зі значеннями, які підходять за заданими параметрами.

Розглянемо сценарій вибору атмосферного тиску в якості виміряного значення та вибору локації «Шевченківський район - Кінотеатр «Київська русь» (Лук'янівка)». На рис. 4.31 зображено відфільтрований за цими параметрами список даних.



The screenshot shows a web browser window with the URL 'localhost:4300'. The page title is 'Моніторинг якості повітря з використанням отриманих даних з газоаналізаторів мобільних лабораторій'. There are two dropdown menus: one for location ('Шевченківський район - Кінотеатр Київська русь(Лук'янівка)') and one for parameter ('Атмосферний тиск'). Below these, the text 'Вимірювання: Атмосферний тиск на локації "Шевченківський район - Кінотеатр Київська русь(Лук'янівка)"' is displayed. A table with two columns, 'Дата вимірювання' and 'Виміряне значення', shows a list of measurements from May 31 to June 8, 2019. Each row has a 'Детальніше' button.

Дата вимірювання	Виміряне значення	Детальніше
Fri, 31 May 2019 07:00:00 GMT	1002.07	Детальніше
Mon, 03 Jun 2019 07:00:00 GMT	1000.4	Детальніше
Tue, 04 Jun 2019 07:00:00 GMT	998.95	Детальніше
Wed, 05 Jun 2019 07:00:00 GMT	1001	Детальніше
Thu, 06 Jun 2019 07:00:00 GMT	1001.5	Детальніше
Fri, 07 Jun 2019 07:00:00 GMT	1002.85	Детальніше
Sat, 08 Jun 2019 07:00:00 GMT	1008.2	Детальніше

Рис. 4.31 - Головна панель веб-додатку. Відфільтрований список даних

Після встановлення цих параметрів завдяки графіку вимірювань атмосферного тиску протягом періоду часу, коли виконувались виміри даного параметру, можна прослідкувати за зміною атмосферного тиску, побачити: коли значення тиску було занадто високе.

Графік вимірювання атмосферного тиску протягом часу представлено на рис. 4.32.



Рис. 4.32 — Виміряні значення атмосферного тиску на вибраній локації протягом періоду часу

Висновки: в цьому розділі було виконано огляд існуючих технологій для вирішення завдання по розробці програмного компоненту системи аналізу газів. Завдяки вищезгаданим технологіям можна створювати програмні продукти клієнт-серверного типу з використанням розподілених баз даних, що дозволяє створювати високоефективні програмні продукти. Результатом даного розділу є створений програмний компонент. За допомогою інтерфейсу цього веб-додатку можна виконувати моніторинг якості повітря з використанням отриманих даних з газоаналізаторів мобільних лабораторій.

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ «СИСТЕМА АНАЛІЗУ ГАЗІВ»

5.1. Опис ідеї проєкту

В попередніх розділах ми вияснили необхідність в розробці системи аналізу газів. Дана розробка призначена для контролю концентрації викиду промислових шкідливих газів для забезпечення безпеки та запобігання отруєнь населення.

Ідея проєкту полягає у створенні системи, яка буде аналізувати інформацію отриману з приладу газоаналізатора визначаючи чи виміряна концентрація сполук шкідливих газів не перевищує ця допустимих рівнів та, у разі перевищення, сповіщати користувача про можливу небезпеку, що уточнено наведено в табл. 5.1.

У табл. 5.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 5.1.

Опис ідеї стартап- проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка системи аналізу інформації отриманої з приладу газоаналізатора для контролю викиду промислових шкідливих газів	Екологічний моніторинг	Контроль якості навколишнього повітря без постійного втручання людини.
		Оскільки це програмний продукт, не потрібно закуповувати великогабаритне обладнання для контролю.
		Використання сучасних технологій для розробки системи, що дає можливість використовувати систему як з ПК, так і з портативним ПК.

Отже, пропонується новий програмний додаток, за допомогою якого можна проаналізувати виміряні газоаналізатором значення концентрації газових сполук та визначати, чи не було перевищено гранично допустимі рівні концентрації сполук газів, у разі перевищення система виконує звукове та візуальне сповіщення.

Перейдемо до аналізу потенційних техніко-економічних переваг ідеї в порівнянні з пропозиціями від конкурентів:

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

– визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;

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

– проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають:

- а) гірші значення (W, слабкі);
- б) аналогічні (N, нейтральні) значення;
- в) кращі значення (S, сильні) (табл. 5.2).

Таблиця 5.2.

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко- економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W	N	S
		Мій проект	Конкурент1 Автоматич- ний газоана- лізатор	Конкурент2 Сенсорний селективний газоаналіза- тор			

Продовження таблиці 5.2

1	Витрата електроенергії при використанні	Низька	Низька	Низька	-	+	-
2.	Функціональність програмного інтерфейсу	Має мало функцій, зручний та зрозумілий	Має мало функцій, складний у використанні	Має мало функцій	-	-	+
3.	Мобільність	Компактний	Компактний	Компактний	-	+	-
4.	Простота конструкції	Проста конструкція	Складна конструкція	Складна конструкція	-	-	+
5.	Показники надійності системи	Високий рівень надійності	Досить надійний	Досить надійний	-	-	+
6.	Сповіщення про небезпеку	Голосове та візуальне (сповіщення на екрані)	Голосове	Візуальне	-	-	+
7.	Передача даних в систему	Підтримує USB 3.0	Підтримує USB 2.0	Підтримує USB 2.0	-	-	+
8	Торгова марка	Немає	Є	Є	+	-	-

Висновок: з описаних в табл. 5.2 техніко-економічних характеристик ідей товару можна зробити висновок, що продукт є конкурентоспроможним. Даний проєкт по всім техніко-економічним характеристикам є аналогічним конкурентам, або ж навіть кращим за них. Немає необхідності у додатковому навчанні користувачів для роботи з програмним додатком, оскільки інтерфейс простий та зрозумілий.

5.2. Технологічний аудит ідеї проєкту.

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології (мов програмування, інструментів для розробки, платформ та фреймворків), за допомогою якої можна реалізувати ідею створення програмного додатку. Наявними є деякі обмеження знань та навичок розробника проєкту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проєкту передбачає аналіз складових які вказані в табл. 5.3.

Таблиця 5.3.

Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№ п/п	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Розробка структурної схеми	Використання ПК та програм для розробки	Наявна технологія	Доступна
2.	Розробка алгоритмів ПЗ	Використання ПК та програм для розробки	Наявна технологія	Доступна
3.	Розробка програмного забезпечення	<u>Front-end:</u> засіб для створення веб-застосунків Microsoft Visual Studio Code, фреймворк Angular 7, платформа Node.js. <u>База даних:</u> Microsoft SQL Server 2012, SQL Server Management Studio. <u>Back-end:</u> середовище розробки Microsoft Visual Studio Community 2019, платформа .Net Core 2.0 , інструмент для розробки .NET Core SDK 2.2.401, програмне забезпечення ASP.NET Core 2.2.6.	Наявні технології	Доступні

Згідно з наведеною інформацією можна стверджувати, що технологічна

складова для реалізації ідеї проєкту доступна. Проаналізувавши усі можливі варіанти мов програмування та технологій можна зробити висновок, що для реалізації фронт-енд частини проєкту найбільше підходить фреймворк Angular 7 з мовою програмування Type Script, для бек-енд частини – платформа .Net Core 2.0 та мова програмування C#, а для частини бази даних було обрано — систему керування реляційними базами даних Microsoft SQL Server 2017.

5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту.

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

Це дозволяє оцінити ризики на які можна натрапити протягом розробки проєкту, зробити план стосовно розвитку проєкту, враховуючи ситуацію на ринку та оцінити потреби потенційних клієнтів. Також це допоможе зрозуміти чи варто вкладатися в цей проєкт. Проаналізувавши можливості ринку можна добре представити проєкт перед інвесторами.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл. 5.4).

Таблиця 5.4.

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1.	Кількість головних гравців, од	2
2.	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	100 000
3.	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Вимоги до ГОСТУ

Продовження табл.5.4

5	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Економічні обмеження: витрати на рекламу для потенційних інвесторів. Адміністративні обмеження: умови ліцензування виду діяльності.
6.	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	60%

Якщо проаналізувати табл. 5.4 можна зробити висновок, що безперечно стартап є рентабельним та швидко окупиться. Обмеження для входу є, проте вони є незначними: основними витратами є реклама, а єдиним адміністративним обмеженням - отримання відповідної ліцензії.

Тому, можна зробити висновок, що дана розробка є досить привабливою для інвестицій. Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.5).

Таблиця 5.5.

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Необхідність контролю промислових шкідливих викидів з використанням сучасних технологій.	Екологічні досліджувальні центри	Особливості експлуатації, рентабельність.	Зрозумілий, простий інтерфейс; Сучасна технологія контролю промислових шкідливих викидів; Швидкодія; Оптимальне співвідношення ціни та якості.
		Заводи		
		Промислові підприємства		

Виходячи з описаної потреби споживачів можна зробити висновок, що стартап-проект цю потребу задовольняє. Основними споживачами є екологічні досліджувальні центри, заводи, промислові підприємства, оскільки для даних цільових сегментів ринку ця система допоможе зменшити витрати на закупівлю громіздкого обладнання, що сприятливо впливатиме на їх фінансове становище.

При застосуванні даної технології існують певні загрози. (таблиця 5.6).

Таблиця 5.6.

Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Фактор попиту	Не просто точно оцінити темпи зростання ринку.	Зменшення собівартості зробить можливі збитки незначними.
2.	Фактор збуту	Посередниками можуть бути національні тендери, на які не просто потрапити.	Сертифікація продукту за міжнародними стандартами допоможе збільшити привабливість товару для національних тендерів.
3.	Науково-технічний фактор	Ймовірність виникнення неполадок у роботі програмного додатку.	Підтримка, усунення неполадок та оновлення програмного продукту.
4.	Фактор конкуренції	Популярна міжнародна марка, яку використовують для вирішення даної проблеми.	Використання програмного продукту набагато зручніше ніж використання спеціального обладнання, яке може виходити з ладу.
5.	Нові технології	Застарілість товару.	Вдосконалення системи, шляхом розширення функціоналу. Впровадження новіших технологій.

Розробники, які займаються втіленням цього проєкту готові до всіх можливих зовнішніх загроз з якими можна стикнутись, оскільки заздалегідь були враховано ризики та прийнято рішення, завдяки яким можна впоратися з цими проблемами або уникнути взагалі.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 5.7).

Таблиця 5.7.

Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Фактор попиту	Не просто точно оцінити темпи зростання ринку	Оптимізація системи без збільшення інвестицій в проєкт.
2.	Фактор збуту	Можливість впровадження використання системи через національну закупівлю	Сертифікація продукту за міжнародними стандартами допоможе збільшити привабливість товару для національних тендерів
3.	Науково-технічний фактор	Реалізація проєкту з використанням актуальних технологій.	Використання системи в більшості заводів, промислових підприємств та ЕДЦ.
4.	Фактор конкуренції	Конкретних конкурентів нема, хіба що товари замітники.	Оптимізація системи без збільшення інвестицій в проєкт.
5.	Нові технології	Покращення основних характеристик програмного продукту	Підвищення попиту, підвищення ціни.

Виходячи з таблиці 5.7 можна зробити висновок, що найбільший вплив з факторів можливостей мають фактор збуту на ринку та нових технологій, оскільки покращення та оновлення продукції зазвичай зацікавлює нових клієнтів та може посприяти збільшенню попиту на продукт та збільшити кількість проданого товару.

Наступним кроком після аналізу попиту на ринку є аналіз пропозиції, де визначаються загальні риси конкуренції на ринку (табл. 5.8).

Таблиця 5.8.

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції: монополістична конкуренція	Кожна фірма представляє на ринку свій товар як він є унікальним. Поява нових конкурентів є невеликою проблемою. Перевага надається рекламі, брендам (торговим знакам, маркам).	Проблем з конкурентами при вході товару на ринок, але потрібно інвестувати в рекламу продукту.
2. Рівень конкурентної боротьби: національний	Конкуренція виникає між компаніями в межах країни.	Програмний інтерфейс виконаний державною мовою.
3. Галузева ознака: внутрішньогалузева	Конкурентна боротьба між підприємствами лише в конкретній галузі.	Формування вартості продукту на ринку.
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Конкуренція між товарами одного і того ж виду.	Хороші результати роботи програмного продукту.

Продовження табл. 5.8

5. За характером конкурентних переваг: нецінова	Через боротьбу за споживача між товаровиробниками вдосконалюється якість продукції, шляхом використання актуальних технологій та, як наслідок, зростають монопольні надприбутки.	Хороші результати роботи програмного продукту.
6. За інтенсивністю: не марочна	Марки можуть бути присутніми на ринку, проте, роль торгової марки невелика.	Немає впливу

Як висновок щодо аналізу конкуренції можна сказати, що запропонований напрямок щодо реалізації методу показує високу конкурентоспроможність.

Середовищем конкуренції є монополістична конкуренція національного рівня, внутрішньогалузева, товарно-видова, не марочна.

Найбільш небезпечними є товарно-видова та нецінова конкуренція. Були визначені потрібні дії для компанії, щоб бути конкурентоспроможною.

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

Таблиця 5.9.

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
------------------	---------------------------	-----------------------	---------------	---------	------------------

	Прямах конкурентів не існує	Просто завоювати даний ринок	Проект є самостійним та не залежить від постачальників	Попит на продукт залежить від клієнтів, необхідність підтримки додатку	Марки конкурентів
Висновки	В компанії досить сильна позиція, оскільки вона є єдиним постачальником цього програмного продукту	Конкурентом може стати будь-яка ІТ-компанія, яка вирішить займатись розробкою ПЗ цього напрямку.	Програмний продукт розміщено на сервері. Хостинг сайту можна змінити, тому вплив постачальників незначний.	Слабка сторона компанії пряма залежність від потреб клієнтів.	Популярні марки можуть мати значно вищу ціну, хоч й асортимент функціоналу менший.

Виходячи з результатів аналізу Таблиці 5.9 можна зробити висновок, що в даного проєкту є всі шанси потрапити на ринок, оскільки конкуренція не є великою, а також даний проєкт відрізняється від існуючих аналогів вирішення поставленої проблеми.

Взявши за основу проведений аналіз конкуренції в табл. 5.9 з врахуванням характеристик ідеї продукту наведених в табл. 5.2, а також вимог споживачів до товару з табл. 5.5 з факторами маркетингового середовища в табл. 5.6-5.7 визначається та обґрунтовується перелік основних факторів конкурентоспроможності. Аналіз цих факторів формується в табл. 5.10.

Таблиця 5.10.

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проєктів значущим)
1.	Відсутність прямої конкуренції	Оскільки пряма конкуренція відсутня, то даний продукт може претендувати на державні закупівлі, та контролювати ринком, доки не придуть інші.
2.	Незалежність від постачальників	Завдяки незалежності від постачальників у компанії є повний контроль над збутом продукту.
3.	Невелика ціна	Невелика ціна надає перевагу на ринку.
4.	Впровадження нових технологій	Впровадження нових технологій дає змогу конкурувати з товарами замінниками
5.	Залежність від клієнтів	Проблематично проаналізувати поведінку ринку у даній галузі, оскільки є залежність від клієнтів.

Таблиця 5.11.

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Системи аналізу газів»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з системою аналізу газів						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Відсутність прямої конкуренції	17		+					
2.	Незалежність від постачальників	17				+			
3.	Невелика ціна	15						+	
4.	Впровадження нових технологій	14					+		
5.	Залежність від клієнтів	15			+				

З табл. 5.10 та 5.11 можна зробити висновок, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають хороший вагомий внесок при впровадженні нової системи аналізу газів. Основною перевагою та головним досягненням є невелика ціна на товар, незалежність від постачальників та його впровадження нових технологій.

Фінальним етапом аналізу можливостей впровадження проєкту є SWOT-аналіз (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 5.12) на основі визначених основних загроз на ринку та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл. 5.11).

Перелік загроз на ринку та ринкових можливостей складається враховуючи аналіз факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Загрози та можливості ринку є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не мають реалізації на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: при зниженні доходів потенційних клієнтів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз для збільшення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза).

Таблиця 5.12.

SWOT- аналіз стартап-проєкту

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Невелика ціна 2. Впровадження нових технологій 3. Незалежність від постачальників 4. Відсутність прямої конкуренції 	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Залежність від клієнта
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Можливість впровадження використання системи через національну закупівлю. 2. Зростання ринку. 3. Реалізація проєкту з використан- 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Проблематично проаналізувати поведінку ринку у даній галузі, оскільки є залежність від клієнтів. 2. Посередниками можуть бути національні тендери, на які не просто потрапи-

ням актуальних технологій.	ти.	Продовження табл. 5.12
4. Конкретних конкурентів нема, хіба що товари замітники.	3. Ймовірність виникнення неполадок у роботі програмного додатку.	
5. Покращення основних характеристик програмного продукту	4. Популярна міжнародна марка, яку використовують для вирішення даної проблеми.	
	5. Застарілість товару.	

Керуючись результатами в табл. 5.12 можна зробити висновок, що сильними сторонами продукту є: невелика ціна, впровадження нових технологій, незалежність від постачальників та відсутність прямої конкуренції, а слабка – залежність від потреби клієнта.

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проєкту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проєкти конкурентів, що можуть теж потрапити на ринок (див. табл. 5.9, аналіз потенційних конкурентів). Альтернативи ринкового впровадження на основі SWOT-аналізу приведено в табл. 5.13.

Таблиця 5.13.

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	1 місяць
2.	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Низька	8 місяців
3.	Стратегія виходу з ринку	Висока	2 місяці

Керуючись описаними вище альтернативами обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.

5.4. Розробка ринкової стратегії проєкту.

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

Таблиця 5.14.

Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Екологічні досліджувальні центри	Готові	Високий	Наявні	Легко
2.	Заводи	Готові	Високий	Наявні	Легко
3.	Промислові під- приємства	Готові	Високий	Наявні	Легко
Які цільові групи обрано: Екологічні досліджувальні центри(ЕДС), заводи, підприємства.					

За отриманими результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільову групу приватні підприємства. Тому, компанія зосереджується на одному сегменті – вона обирає стратегію концентрованого маркетингу.

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

Таблиця 5.15.

Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Концентрований маркетинг	Унікальність проекту, зручність інтерфейсу, якість та невелика ціна.	Стратегія спеціалізації

По табл. 5.15 ми бачимо, що за основну стратегію було обрано стратегію концентрації – зосередження на одному споживчому сегменті.

В якості базової стратегії розвитку обрано стратегію концентрації – зосередження на одному споживчому сегменті. Керуючись цим критерієм було обрано як базову стратегію розвитку- стратегію спеціалізації, так як ми маємо справу з невеликою часткою ринку.

За альтернативну стратегію було обрано стратегію нейтралізації загроз ринку сильними сторонами стартапу, оскільки вона найшвидша у виконанні.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.16).

Таблиця 5.16.

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирали існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*

	Так	Буде шукати нових, забирати існуючих у конкурентів	Буде, з покращенням характеристик	Стратегія заняття конкурентної ніші
--	-----	--	-----------------------------------	-------------------------------------

В якості конкурентної поведінки обрано стратегію заняття конкурентної ніші, оскільки в якості цільового ринку компанія обирає невелику кількість ринкового сегменту. Ця конкурентна стратегія є похідною стратегією від базової стратегії компанії концентрації.

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

Таблиця 5.17.

Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	Постійне покращення програмного додатку та технічна підтримка клієнтів	Стратегія спеціалізації	Унікальність проекту зручність інтерфейсу, якість та невелика ціна	Унікальність, зручність інтерфейсу, якість та невелика ціна

2.	Простота у використанні	На основі специфічних відчутних характеристик	Запусти та аналізуй	Економія часу, просто передай дані з газоаналізатора на ПК і запустивши систему встанови чи не є шкідливою виміряна концентрація газу.
3.	Невелика ціна	На невеликій ціні	Вартість 5 000 грн	Не переплачуєте за обладнання

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

5.5. Розробка маркетингової програми стартап-проєкту.

Першим кроком для розробки маркетингової програми є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 5.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Табл. 5.18.

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Швидке отримання результату	Швидка робота системи	Отримання результату менше ніж за 1 секунду.
2	Зменшення впливу людини на роботу системи	Мінімальний вплив оператора	Не всі дані потрібно вводити вручну.
3	Невелика ціна	Невелика ціна	Вартість 5 000 грн.

Ключові переваги концепції потенційного товару мають три основних вимоги та реалізуються у запропонованій системі аналізу газів, то ж, перевагами товару є: швидке отримання результату, зменшення впливу людини на роботу системи, невелика ціна.

Таблиця 5.19

Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Споживач отримує готовий продукт. Його можна експлуатувати без подальшої обробки		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Немає строку давності	Нм	Тх
	2. Зрозумілий інтерфейс для користувача	Нм	Тх
	3. Сповіщення, коли концентрація газу за межами норми.	Нм	Тх
	4. Компактність (веб-додаток не займає місця, відкрити за посиланням)	М	Тл
	5.Дешевизна (низька ціна на товар)	М	Е
	6. Якість	М	Тх
	Якість: стандарти, нормативи, тощо		
	Пакування: веб-додаток		
Марка: нова, не має переваг.			
III. Товар із підкріпленням	До продажу: технічна підтримка веб-додатку до 5 років		
	Після продажу: після укладання договору повне обслуговування та оновлення продукту, додаткові консультації по експлуатації.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Патентування технології, новітні технології шифрування та захисту даних			

Маємо модель програмного додатку, на меті якого є аналіз отриманих виміряних значень концентрації сполук газів. Веб додаток є довговічним, досить деше-

вим, якісним, компактним, швидкодіючим та зручним у використанні. До продажу: технічна підтримка веб-додатку до 5 років. Після продажу: після укладання договору повне обслуговування та оновлення продукту, додаткові консультації по експлуатації. Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 5.20).

Таблиця 5.20

Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	від 10 000₴	-	Від 50 000₴	1000-5000₴

Встановлюємо верхню та нижню межі ціни на товар 1000 та 5000 грн, щоб зробити товар не тільки конкурентоздатним, а також щоб використати це як перевагу товару. Встановлювати ціну нижче 3000 грн не є досить вигідним рішенням, але навіть і з цією ціною затрати повністю окупаються.

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 5.21):

- проведення збуту використовуючи власні сили або залучаючи сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір та обґрунтування виду посередників.

Було обрано вид збуту з першого і другого рівня, що включає в себе як посилкову торгівлю, так і оптові й роздрібні продажі товару. Основними функціями, які мають виконуватися це встановлення контактів із споживачами та підтримка їх, дослідницька робота зі збору маркетингової інформації.

Таблиця 5.21.

Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Нема потреби за- купувувати про- грамний додаток багато раз, якщо ви хочете обладнати лабораторію. Мож- на той самий про- грамний продукт встановити на різні ПК.	Встановлення контактів із споживачами та під- тримка їх. Дослідницька робота зі збору маркетингової інформації.	Канали першого і другого рів- ня: 1.Ми(розроб ник програ- ми); 2.Розповсюд жувач нашої продукції	1.Знижки; 2.Реклама; 3.Договір на дострокове ко- ристування нашими розро- бками 4. Збут серед ЕДС, заводів, підприємств.

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції мар- кетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціо- нування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 5.22).

Таблиця 5.22.

Концепція маркетингових комунікацій

№ п/ п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комуні- кацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиці- онування	Завдання рекламного повідомлен- ня	Концепція рекламного звернення
--------------	---------------------------------------	--	--	------------------------------------	--------------------------------

1	Промислові підприємці, науковці.	1. Електронна пошта. 2. Публікації. 3. Формальні та неформальні канали комунікацій.	1. Невелика ціна; 2. Швидкодія; 3. Сумісність з ОС Windows vista/7/8/10;	Інформування споживачів; Розвиток попиту; Стимул продажу	Контент-маркетинг; Публікації
---	----------------------------------	---	--	--	----------------------------------

Основною задачею рекламної компанії є інформування, що дана розробка існує, її ефективність та інші хороші характеристики.

Результатом пункту 5 є ринкова (маркетингова) програма, до складу якого входить концепція товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей встановлення ціни, враховуючи потреби потенційних клієнтів, ідеї конкурентів, стан ринку та динаміку його розвитку, в межах якого буде впроваджено проект, та обрану альтернативу поведінки на ринку.

5.6. Висновки.

Узагальнюючи проведений аналіз стартап проекту можна зробити висновок, що розробка цього проекту повністю обумовлена потребою в ньому, оскільки, враховуючи техніко-економічні характеристики, результат роботи програмного додатку є схожим до результату аналогічних вирішень завдання, або ж навіть краще.

Вартість даної системи в декілька раз нижча ніж вартість аналогів, вартість необхідного додаткового ПЗ, технологій для розробки, техніки однакові (стандартна ліцензія Microsoft, середня мінімальна вартість ноутбуку), запускається перейшовши за посиланням в будь-якому встановленому веб-браузері, не потребує особливих навиків у користувача, тому не має необхідності у додатковому навчанні. Проект має високий відсоток окупності 60%.

Сильними сторонами проекту є: невелика ціна, впровадження нових технологій, незалежність від постачальників та відсутність прямої конкуренції, а слабкими – залежність від потреби клієнта, непросто точно визначити темпи розвитку ринку. Варіантами можливих покращень системи аналізу газів є розширення функціональності, сертифікація продукту за міжнародними стандартами допоможе збільшити привабливість товару для національних тендерів, зростання попиту на товар, підвищення ціни, залучення іноземних інвесторів для удосконалення системи або для створення інших проектів.

В якості альтернативної стратегії була обрана стратегію нейтралізації ринкових загроз за рахунок сильних сторін стартапу. За базову стратегію розвитку було прийнято стратегію концентрації, яка полягає в зосередженні на одному споживчому сегменті.

Для поведінки з конкурентами було обрано стратегію заняття конкурентної ніші, тому що головною особливістю цієї стратегії є малий розмір ринкового сегменту.

Таким чином, можна вважати, що система аналізу газів є рентабельною та вигідною для інвестицій.

ВИСНОВКИ

У магістерській дисертації створено базовий зразок системи аналізу газів для контролю концентрації викиду шкідливих газів (CO , CO_2 , NO_2). Система покликана забезпечити безпеку та запобігання отруєнь людей. Завдяки роботі системи аналізу газів буде прийматися рішення щодо того, чи є шкідливою виміряна концентрація сполук шкідливих газів.

Проведено огляд сучасних засобів вимірювання концентрації сполук шкідливих газів. На основі огляду методів газоаналізу обрано метод інфрачервоного випромінювання.

Система аналізу газів (САГ) містить у своєму складі наступні елементи: робочу станцію, операційну систему, веб-додаток, монітор, засоби вводу, базу даних.

Відповідно до архітектури, газоаналізатор повинен забезпечувати:

- вимірювання концентрації сполук шкідливих газів;
- зберігати виміряні значення в EEPROM;
- виводити на екран результати вимірювання;
- введення даних за допомогою клавіатури;
- зв'язок з САГ та передачу даних через USB.

Основними галузями застосування САГ є хімічна промисловість та машинобудування. Окрім цих галузей, САГ може використовуватись при екологічному моніторингу, для дослідження стану навколишнього середовища, контролю викиду шкідливих сполук газів в атмосферу на заводах, виробничих підприємствах.

САГ призначена для обробки значень концентрації газів, виміряних газоаналізатором, для отримання інформації щодо перевищення або не перевищення цими значеннями допустимих рівнів концентрації.

У ході виконання даної роботи було розроблено альтернативне програмне забезпечення для аналізу газів із використанням сучасних технологій та підходів до реалізації, що якісно вирізняється від існуючих аналогів.

Для цього було застосовано нові засоби зберігання даних — Microsoft SQL Server. А для забезпечення роботи з даними було розроблено спеціальний додаток

з використанням найновішого .Net Core 2 та найбільш оптимальних способів роботи з ним. Також було створено веб-додаток з використанням технологій для розробки веб-застосунків — Angular 7, що покликане забезпечити зручнішу роботу з додатком, полегшити доступ до програмного забезпечення, а також мінімізувати системні вимоги до роботи з даним програмним забезпеченням. Веб-додаток якісно вирізняється на фоні іншого існуючого програмного забезпечення, де потрібно використовувати спеціалізоване, громіздке, часто – платне програмне забезпечення для зчитування даних з пристрою. Також було обґрунтовано використання описаних вище підходів та засобів, які обрано для розробки даного програмного комплексу.

Щодо теоритичного обґрунтування, то в даній магістерській дисертації наведено математичні розрахунки та пояснення, що підтверджують необхідну точність вимірювань, у вигляді розрахунків похибок та порівняльних таблиць. Було обґрунтовано також і фінансову вигоду від використання даного програмного забезпечення.

Додаток А

Перелік використаних джерел

1. МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГАЗОАНАЛИЗАТОР ПГА-М-31 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://granat-e.ru/pga-m-31.html>.
2. Газоанализатор АНКАТ-7664Микро [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.kipkomplekt.ru/text/ankat7664micro.php>.
3. Газоанализатор ГИАМ-29М-3 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.kipia.info/gazoanalizatoryi-kontrolya-vyibrosov-dvigatelye-vnutrennego-sgoraniya-%28avtomobilnyie%29/giam-29m-3-perenosnoy-gazoanalizator-dlya-sudovyih-dvigatelye/>.
4. Мельник О. В. МЕТОДИ ГАЗОВОГО АНАЛІЗУ: ОСОБЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ [Електронний ресурс] / О. В. Мельник, М. М. Морозова – Режим доступу до ресурсу: <http://naukam.triada.in.ua/index.php/konferentsiji/63-tridtsyat-druga-vseukrajinska-praktichno-piznavalna-internet-konferentsiya/800-metodi-gazovogo-analizu-osoblivosti-ta-perspektivi>.
5. СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО СТВОРЕННЯ ІНФРАЧЕРВОНИХ ГАЗОАНАЛІЗАТОРІВ ДЛЯ АНАЛІЗУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/1424/3/1749p.pdf>.
6. ГРАНИЧНО ДОПУСТИМІ КОНЦЕНТРАЦІЇ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.mcl.kiev.ua/wp-content/uploads/2017/10/OBRV-2017.pdf>.
7. Фотодіод [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%B4%D1%96%D0%BE%D0%B4>.
8. Канали вимірювання CO, CO₂, NO₂. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://ela.kpi.ua/jspui/bitstream/123456789/26967/1/Shtiforuk_magistr.pdf.

9. ГОСТ 8.207-76 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://docs.cntd.ru/document/1200004520>.

10. Метрология и теплотехнические измерения [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.energyed.ru/res/Discipline/Auto/Metzad1.pdf>.

11. Язык C# и платформа .NET Core [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://metanit.com/sharp/tutorial/1.1.php>

12. C Sharp [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/C_Sharp.

13. Мова SQL. Введення [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://ript.com.ua/library/metod/program/skbd/movaSQL.pdf>.

14. Введение в Entity Framework Core [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://metanit.com/sharp/entityframeworkcore/1.1.php>

15. Angular [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [https://uk.wikipdia.org/wiki/Aguar_\(%D1%84%D1%80%D0%B5%D0%B9%D0%BC%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%BA\)](https://uk.wikipdia.org/wiki/Aguar_(%D1%84%D1%80%D0%B5%D0%B9%D0%BC%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%BA)).

16. TypeScript [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/TypeScript>.

17. Node.js [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Node.js>.

18. Контроллеры и их действия [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://metanit.com/sharp/aspnet5/5.1.php>.