

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Навчально-науковий інститут інженерії та інформаційних технологій
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра комп'ютерної інженерії та електромеханіки
(повна назва кафедри)

ДИПЛОМНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

на тему

СИСТЕМА ВІДДАЛЕНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ

Виконав: студент групи БЗКІск(н)-20

спеціальності 123 «Комп'ютерна
інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

Черняков В. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник д.т.н., доц. Стаценко В. В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Київ 2023

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Інститут інженерії та інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерної інженерії та електромеханіки

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Освітня програма «Комп'ютерні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КІЕМ

_____ проф. Злотенко Б.М.

“ _____ ” _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Чернякову Віталію Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дипломної бакалаврської роботи **Система віддаленого визначення якості повітря**

Науковий керівник роботи Стаценко Володимир Володимировч,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Д.Т.Н., доцент

затверджені наказом вищого навчального закладу від 08. 11 .2022 № 224-уч.

2. Строк подання студентом роботи червня 2023 року

3. Вихідні дані до дипломної бакалаврської роботи: прилад для віддаленого визначення якості повітря; навчальна та методична література; державні та міжнародні стандарти.

4. Зміст дипломної бакалаврської роботи (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Проаналізувати існуючу проблему з визначенням якості повітря. 2. Описати розробку приладу, розробити схему електричну принципіальну, описати принцип роботи приладу. 3. Провести розрахунки технічних параметрів приладу.

5. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Стаценко В. В. д.т.н., доц.		
2	Стаценко В. В. д.т.н., доц.		
3	Стаценко В. В. д.т.н., доц.		

6. Дата видачі завдання 01.02.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної бакалаврської роботи	Терміни виконання етапів	Примітка про виконання
1	Вступ	16.03.2023	
2	Розділ 1. Аналітичний огляд методів та засобів визначення якості повітря.	23.03.2023	
3	Розділ 2. Огляд конструкції приладу та підбір складових.	15.04.2023	
4	Розділ 3. Розрахунково-програмна частина.	27.04.2023	
5	Висновки	10.05.2023	
6	Оформлення дипломної бакалаврської роботи (чистовий варіант)	20.05.2023	
7	Здача дипломної бакалаврської роботи на кафедрі для рецензування (за 14 днів до захисту)	02.06.2023	
8	Перевірка кваліфікаційної роботи на наявність текстових співпадінь та помилок (за 10 днів до захисту)	07.06.2023	
9	Подання дипломної бакалаврської роботи на затвердження завідувачу кафедри (за 7 днів до захисту)	12.06.2023	

Студент

_____ **Черняков В. В.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Науковий керівник роботи

_____ **Стаценко В. В.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент

_____ (підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

**Черняков В.В. Система віддаленого визначення якості повітря–
Рукопис.**

Дипломна бакалаврська робота за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія, освітньою програмою «Комп'ютерні системи та мережі». – Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, 2023 рік.

Дипломну бакалаврську роботу присвячено вирішенню важливої технічної проблеми, а саме: розробці системи віддаленого визначення якості повітря, встановлення до складу якої входять: мікроконтролер, датчики якості повітря, бездротова мережі Wi-Fi, енергонезалежна пам'ять EEPROM.

Запропонований пристрій дозволяє керувати системою вентиляції приміщення, при перевищенні рівня забрудненості повітря. Передача даних та сигналів керування здійснюється через бездротову мережу. Прилад може здійснювати вимірювання параметрів, що впливають на якість повітря, використовуватися для вимірювання вмісту газів які можуть споживатися у побуті. У якості основного вимірювального пристрою був обраний датчик якості повітря MQ-135, який працює на базі програмованої системи Arduino. У роботі розглянута актуальність проблеми, досліджено методи її вирішення та розроблено прилад визначення якості повітря.

Ключові слова: якість повітря, датчики вимірювання якості повітря, мікроконтролер, оптимізація, автономність.

ABSTRACT

Cherniakov V.V. The system of remote determination of air quality – Manuscript.

Bachelor's thesis in the specialty 123 Computer Engineering, educational program «Computer Systems and Networks». - Kyiv National University of Technology and Design, Kyiv, 2023.

The bachelor thesis is devoted to the solution of an important technical problem, namely: the development of a system for remote determination of air quality, the installation of which includes: a microcontroller, air quality sensors, wireless Wi-Fi network, non-volatile EEPROM memory.

The proposed device allows you to control the ventilation system of the room when the level of air pollution is exceeded. Data and control signals are transmitted via a wireless network. The device can measure parameters that affect air quality, be used to measure the content of gases that can be consumed in everyday life. The MQ-135 air quality sensor, which works on the basis of the Arduino programmable system, was chosen as the main measuring device. The paper examines the relevance of the problem, investigates methods of solving it, and develops a device for determining air quality.

Keywords: air quality, air quality measurement sensors, microcontroller, optimization, autonomy.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ	13
1.1. Поняття якості повітря	13
1.2. Поняття забруднення, його види та наслідки.....	15
1.3. Удосконалені методи визначення якості повітря	19
1.4 Сучасні датчики визначення якості повітря.....	30
1.5 Моніторинг якості повітря в Україні	35
Висновки до розділу 1.....	37
РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЇ ПРИЛАДУ ТА ПІДБІР СКЛАДОВИХ	38
2.1 Система віддаленого визначення якості повітря	38
2.2 Платформа Arduino.....	40
2.2.1 Датчик якості повітря MQ-135	46
2.2.2 Модуль пам'яті EEPROM	50
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНКОВО-ПРОГРАМНА ЧАСТИНА	54
3.1 Розрахунок додаткових параметрів приладу.....	54
3.2 Блок схема та алгоритм програми керування Arduino	58
3.3 Код керування Arduino	60
ВИСНОВКИ	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	65

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

A–Амperi, одиниця вимірювання струму.

ВООЗ–Всесвітня організація охорони здоров'я.

B–Вольты, одиниця вимірювання напруги.

ГХП–ЗМ–Газоаналізатор хімічний переносний.

Гц–Герци, одиниця вимірювання частоти.

ЛОС–Леткі органічні сполуки.

Мм–Міліметр.

Ом–Оми, одиниця вимірювання опору, позначається Ω .

AQI–Індекс якості повітря.

bps– bits per second, швидкість передачі даних, біт в секунду.

°C –Градуси Цельсія.

CO– Монооксид вуглецю.

CO₂– Вуглекислий газ.

CH₄–Метан.

C₆ H₆–Бензол.

EEPROM–Electrically Erasable Programmable Read Only Memory,
енергонезалежний пристрій пам'яті.

°F–Градуси Фаренгейта.

HCHO–Формальдегід.

H₂S –Сірководень.

LCD- Liquid crystal display, рідкокристалічний дисплей.

NH₃ –Аміак.

NO₂– Оксид азоту.

O₃–Озон.

PM2.5– Particulate matter, дрібнодисперсні тверді частки розміром 2.5 мікрон.

PM10- Particulate matter, дрібнодисперсні тверді частки розміром 10 мікрон.

PPB– Parts per billion, частин на мільярд.

PPM– Parts per million, частин на мільйон .

SO₂–Діоксид сірки.

VOC– Volatile organic compounds, леткі органічні сполуки.

802.11 b/g/n–Набір стандартів зв'язку для бездротової локальної мережевої зони.

ВСТУП

Актуальність роботи. Питання якості повітря гостро стоїть у світі вже більше ста років, проте офіційна система моніторингу якості повітря була створена разом з першими стандартами для оцінки рівня забруднення повітря лише в 1950-х роках 20-го століття.

Проблеми та питання забруднення та очистки повітря постають у світі щодня все частіше, особливо з початком промислової революції, з появою заводів, фабрик, електростанцій, автомобілів з двигуном внутрішнього згорання, особливо актуальна ця проблема для міст з великими об'ємами промисловості.

Одним із варіантів вирішення цієї проблеми було створення у 1970-х роках всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) для координації міжнародних зусиль з оцінки та покращення якості повітря. Спочатку такі впровадження були направлені на контроль якості повітря у промислових зонах та районах для боротьби з забрудненням довколишнього середовища, але сьогодні контроль якості повітря це просто необхідність у всьому світі, і зараз багато країн мають свої національні програми моніторингу якості повітря, а також вживають заходів для скорочення викидів забруднюючих речовин в атмосферу.

Разом з розвитком технологій стало можливим отримувати більш точні результати вимірювання якості повітря, з'являлося та з'являється все більше датчиків та систем контролю повітря, які стають не тільки більш доступними але й мобільнішими, через актуальність проблеми сьогодні вже існують прилади які контролюють якість повітря не тільки на промисловому рівні але й на побутовому, впритул до того що такі прилади можна носити з собою у кишені і завжди знати рівень якості повітря, а деякі з цих приладів навіть здатні аналізувати та інформувати якими саме елементами та речовинами забруднене повітря, наприклад:

- PM2.5 –показник наявності у повітрі твердих частинок (пил і т.п.), розміром менше 2.5 мікрон (0.0025 мм). Сюди відноситься вуличний пил,

продукти горіння (наприклад, сажа від старих дизельних автомобілів), частки сигаретного диму тощо.

- НСНО – зведений показник частинок сполук формальдегіду. Це важливий параметр, оскільки перевищення концентрації формальдегіду шкідливе як для людини, так і для тварин.

- CO₂ – індекс вмісту вуглекислого газу в повітрі.

- TVOC – показник який відображає індекс наявності ЛОС (Летких органічних сполук, VOC) в навколишньому повітрі. Зазвичай значення TVOC збільшується, якщо поруч знаходиться джерело, причиною збільшення TVOC може стати, наприклад, дим від цигарок, приготування їжі на кухні, побутові та будівельні аерозолі, розчинники, фарби, побутовий газ та інша летюча хімія.

Ринок приладів та систем для контролю якості повітря дуже насичений та різноманітний, можна знайти для власного користування будь який в залежності від ціни, можливостей, розміру, діапазону вимірювання тощо.

Проте дуже мало приладів які б могли віддалено інформувати користувача про якість повітря а при небезпечному рівні забруднення негайно про це сповіщати або навіть самостійно намагатися очистити повітря, та зберігати отриману інформацію на протязі деякого часу, тому є раціональним розробка системи віддаленого визначення якості повітря на базі Arduino Uno, яка матиме можливості моніторингу у повітрі широкого спектру речовин, передачі та зберігання отриманих результатів сканування через бездротову мережу на протязі певного часу та вивід цієї інформації на екран приладу за бажанням користувача.

Метою роботи є розробка системи віддаленого визначення якості повітря яка матиме можливість моніторингу у повітрі TVOC елементів але буде більш економічно вигідною та з більш якісними експлуатаційними характеристиками за аналоги, шляхом застосування у приладі, автоматичної системи вентиляції повітря з програмним керуванням.

Для досягнення поставленої мети у роботі було вирішено такі **завдання**:

- проведено аналітичний огляд сучасних методів та систем визначення якості повітря.
- Розглянуто види та принцип роботи датчиків та систем визначення якості повітря.
- Представлені деякі приклади систем визначення якості повітря які існують на ринку.
- Розроблено схему електричну принципіальну приладу.
- Написана програма для керування пристроєм.

Об'єкт дослідження — система віддаленого визначення якості повітря.

Предмет дослідження — розробка пристрою для визначення якості повітря з можливістю отримання даних по бездротовій мережі, та автономною роботою.

Методи досліджень. Базою дослідження стали основні положення автоматизації матеріалознавства, вимірювальної техніки та програмування.

Інформаційною базою досліджень є навчальна та методична література, державні та міжнародні стандарти, а також відкриті джерела Internet.

Практичне значення отриманих результатів. У роботі запропоновано технічне рішення по розробці системи віддаленого визначення якості повітря, а саме, спрощення конструкції та здешевлення приладу, підвищення його надійності при збереженні високої точності вимірювань.

Структура та обсяг роботи. Дипломна робота бакалавра складається зі вступу, 3-х розділів та висновків до них, загальних висновків та списку використаних джерел. Основний текст роботи викладений на 46 сторінках, містить 22 рисунка 10 таблиць, 1 графік, список джерел з найменувань. Загальний обсяг роботи, складає 66 аркушів.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ

1.1. Поняття якості повітря

Рівень комфорту перебування людини у приміщенні залежить від багатьох чинників, включаючи стан якості повітря.

Зі збільшенням викидів вихлопних газів та шкідливих речовин в навколишнє середовище, а також зі скороченням зелених насаджень на вулицях міст, якість повітря у приміщеннях погіршується. Якщо при цьому для оздоблення квартир та офісів використовуються дешеві, неекологічні матеріали, це може спричинити дискомфорт, погане самопочуття а й інколи вплинути на здоров'я людей, які перебувають у таких приміщеннях.

Для контролю якості повітря створено нормативні документи, в яких регламентовано, які показники повинні бути у повітрі в приміщеннях різного призначення. Дотримуючись цих норм, можна забезпечити комфортні умови проживання чи роботи та не спровокувати розвиток захворювань дихальних шляхів.

Для отримання об'єктивної інформації про характеристики повітря у приміщеннях використовуються спеціальні прилади – датчики якості повітря (датчики забрудненості повітря).

Датчик якості повітря (air quality sensor) фіксує наявність у навколишньому повітрі шкідливих речовин, в залежності від типу речовин підбирається різний тип датчиків. Принцип його дії побудований на зміні електричних властивостей окремих матеріалів (оксид вольфраму, оксид олова) при контакті зі шкідливими газами.

Усі датчики якості повітря вимірюють забрудненість відносно індексу якості повітря.

AQI – air quality index – індекс якості повітря, аббревіатура яка використовується у всіх світових екологічних державних органах для інформування громадян про рівень забруднення повітря та прогнозування подальшого забруднення. У разі збільшення рівня забруднення на великий

відсоток, суспільство отримує значний вплив на здоров'я. Різні країни мають свій власний індекс якості повітря, що відповідає національним стандартам. Деякі з них Air Quality Health Index (Канада), Air Pollution Index - Індекс забруднення (Малайзія), Загальний показник забруднення Pollutant Standards Index - індекс забруднення, складається із восьми основних забруднювачів. Концентрації цих забруднюючих речовин які показані на рис.1.2 в атмосферному повітрі вимірюються через мережу станцій моніторингу атмосферного повітря, розташованих навколо Сінгапуру. Середньостатистичні рівні якості повітря наведені на рис.1.1. Всі ці країни поєднує одне, бажання знати рівень забруднення повітря та його вплив на здоров'я населення, що дає змогу попередити багато захворювань та змога збільшити тривалість життя.

Категорії індексу якості повітря								
Категорія AQI (Діапазон)	PM ₁₀ (24год)	PM _{2.5} (24год)	NO ₂ (24год)	O ₃ (8год)	CO (8год)	SO ₂ (24год)	NH ₃ (24год)	Pb (24год)
Хороший (0-50)	0-50	0-30	0-40	0-50	0-1.0	0-40	0-200	0-0.5
Задовільний (51-100)	51-100	31-60	41-80	51-100	1.1-2.0	41-80	201-400	0.5-1.0
Помірно забруднений (101-200)	101-250	61-90	81-180	101-168	2.1-10	81-380	401-800	1.1-2.0
Високий (201-300)	251-350	91-120	181-280	169-208	10-17	381-800	801-1200	2.1-3.0
Дуже високий (301-400)	351-430	121-250	281-400	209-748	17-34	801-1600	1200-1800	3.1-3.5
Небезпечний (401-500)	430+	250+	400+	748+	34+	1600+	1800+	3.5+

Рис.1.1. Категорії індексу якості повітря

PSI	Описові характеристики	Загальні наслідки для здоров'я
0-50	Добрий	Немає
51-100	Задовільний	Немає або незначні
101-200	Шкідливий	Кожна людина може почати відчувати вплив забруднення на її здоров'я
201-300	Дуже шкідливий	Все населення, відчуватиме вплив забруднення на здоров'я.
301+	Небезпечний	Можуть виникнути більш серйозні наслідки для здоров'я

Рис.1.2. Характеристики загального показника забруднення повітря Pollutant Standards Index

Якість повітря (англ. air quality) — термін, що використовується для опису фізичних хімічних, та біологічних характеристик повітря з метою визначення його придатності для живих організмів за певний період часу без шкоди для її здоров'я або (за іншими критеріями) для нормального росту та розвитку тварин та рослин. Кількісними показниками якості повітря є характер і концентрація забруднення в співвідношенні до повного об'єму повітря. Оцінюється за стандартами, які залежать від країни та характеру місцевості.

1.2. Поняття забруднення, його види та наслідки

Забруднення - внесення в навколишнє середовище або виникнення в ньому нових, зазвичай не характерних фізичних чинників, хімічних і біологічних речовин, які шкодять природним екосистемам, людині, та довкіллю.

За розміром територій які охоплює забруднення, поділяють на:

- Локальні забруднення, характерні для міст, районів видобутку тих або інших корисних копалин, великих промислових підприємств, тваринницьких комплексів та ін.;
- Регіональні забруднення охоплюють значні території й акваторії, що підлягають впливу великих промислових районів;
- Глобальні забруднення найчастіше викликаються атмосферними викидами, поширюються на великі відстані від місця свого виникнення і створюють несприятливий вплив на великі регіони, а іноді і на всю планету;

За джерелами забруднення є шість основних хімічних сполук, за якими слідкують переважна більшість країн: діоксид сірки (SO_2), тверді частки (PM_{10}), дрібні тверді частки ($PM_{2.5}$), діоксид азоту (NO_2), оксид вуглецю (CO) і озону (O_3). Формальдегід – ще один забруднювач, який не увійшов в основний список, але є актуальним.

- Промислові:

Наприклад

SO_2 (оксид сірки) – безбарвний газ із різким запахом, утворюється при спалюванні викопних видів палива (вугілля та нафти) або плавленні мінеральних руд, що містять сірку;

NO_2 (оксид азоту) – газ, який зазвичай виділяється при спалюванні палива на транспорті та в промисловості;

- Транспортні:

CO (окис вуглецю) – безбарвний токсичний газ, без запаху і смаку, що утворюється при неповному згорянні вуглецевих видів палива, таких як деревина, бензин, деревне вугілля, природний газ і гас.

- Сільськогосподарські:

Продукти життєдіяльності худоби такі як CH_4 (метан) та NH_3 (аміак), спалювання сільськогосподарських відходів. Викиди метану сприяють утворенню озону, що спричиняє астму та інші респіраторні захворювання;

- Побутові, такі як CO_2 (двоокис вуглецю) який утворюється в процесі дихання людини або під час життєдіяльності кімнатних рослин.

Сьогодні існують багато методів для визначення та контролю забруднення в атмосфері, такі як: біоіндикаційні методи, фізико-хімічні методи, метод визначення забруднення повітря по снігу, експрес-методи визначення вмісту в повітрі вуглекислого та сірчистого газів тощо, в залежності від виду та типу забруднення.

Види методів контролю якості повітря:

- Біоіндикаційні методи – це методи, засновані на спостереженні за складом, чисельністю та станом видів-індикаторів в атмосферному повітрі які, переважно засновані на спостереженні реакцій рослин.
- Фізико-хімічні методи - методи, засновані на залежності фізичних властивостей речовин від їх природи, причому аналітичний сигнал є

величиною фізичної властивості, функціонально пов'язану з концентрацією або масою компонента що визначається.

Найбільш поширеними з них є : абсорбційний метод спектрального аналізу, полум'яно-іонізаційний, флуоресцентний, електрохімічний, радіометричний, полум'яно-фотометричний, гравіметричний та багато інших.

- Метод ультрафіолетової флуоресценції використовується у приладах для контролю SO_2 та H_2S .
- Полум'яно-іонізаційний метод використовується для вимірювання сумарної концентрації вуглеводнів різних класів.
- Метод визначення вуглекислого газу у повітрі є: об'ємний метод – вмісту CO_2 , визначається за допомогою газоаналізаторів Холдена (рис.1.3), Кудрявцева, Калмикова; титрометричні методи Суботіна-Нагорського та Гесса – титрованим розчином їдкою барію поглинається вуглекислий газ з певного об'єму повітря, і по різниці титрів розчину барію до та після поглинання вуглекислого газу визначають його кількість.
- Метод Егрива – реакція з хромотроповою кислотою .При нагріванні розведеного водного розчину формальдегіду з хромотроповою кислотою (1,8 дигідроксинафталіну 3,6 дисульфокислотою) за наявності міцної сірчаної кислоти розчин набуває фіолетового забарвлення, за інтенсивністю якою судять про кількість формальдегіду.
- Флуоресцентний метод визначення SO_2 : метод ґрунтується на поглинанні молекулою SO_2 , ультрафіолетового випромінювання та збудженні цієї молекули на одній частоті ν_1 з подальшим випромінюванням флуоресценції на другій частоті ν_2 .

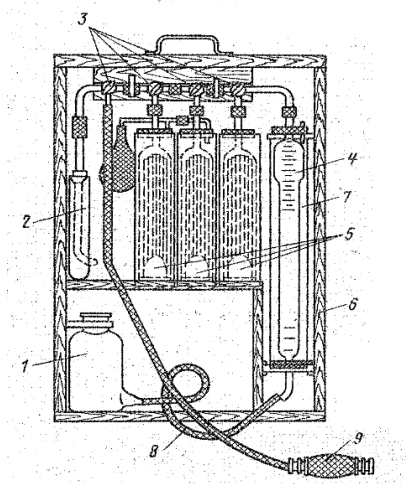


Рис.1.3. Газоаналізатор Холдена ГХП-3М

1.Зрівняльна посудина 2.Посудина-фільтр, 3.Трьохходовий кран,4.Бюретка з вимірювальною шкалою, 5.Поглиналильні бюретки, 6.Дерев'яний футляр, 7.Посудина з дистильованою водою, 8.З'єднувальна трубка, 9.Груша.

Газоаналізатор «ГХП-3М» - це переносний прилад, який використовується для аналізу складу газових сумішей. Він широко застосовується в різних сферах, включаючи промисловість, медицину, наукові дослідження та навколишнє середовище.

Принцип роботи газоаналізатора «ГХП-3М» ґрунтується на технології газового хроматографа. Газова суміш піддається розподілу на складові компоненти за допомогою колонки, зазвичай заповненої пористим матеріалом або смолами. Компоненти поділяються на основі їх спорідненості до стаціонарної фази та швидкості їх пересування через колонку.

Після поділу компоненти проходять через детектор, який реєструє та вимірює їх концентрацію. Для газоаналізатора «ГХП-3М» можуть використовуватися різні типи детекторів, такі як детектор теплопровідності (ТПД), фламоіонізаційний детектор (ФІД) або електродний детектор (ЕД), залежно від необхідних характеристик і цілей аналізу.

1.3. Удосконалені методи визначення якості повітря

Одним з сучасних методів визначення якості повітря є датчик якості повітря, перші датчики якості атмосферного повітря з'явилися у середині 20-го століття. Одним із ранніх датчиків був індикатор забруднення повітря, розроблений у 1930-х роках американським хіміком Річардом Молінарім. Цей датчик використовувався для вимірювання кількості двоокису сірки у повітрі.

Появі датчиків якості повітря передували й інші методи визначення якості, такі як газоаналізатори та інші методи, які варіювалися в залежності від того, які забруднювачі потрібно було виміряти і якою була доступна технологія.

Одним із перших способів вимірювання якості повітря було візуальне спостереження. Наприклад, у містах, де повітря було сильно забруднене, помітно було, що дим і сажа виходять із труб і завісами висять над містом. Це дозволяло оцінити рівень забруднення повітря. Також використовувалися методи хімічного аналізу повітря. Наприклад, в середині 19 століття був розроблений метод визначення кількості диму в повітрі, що ґрунтувався на вимірі кількості частинок диму у повітрі, що осідають на скляній пластинці. Цей метод використовувався з метою оцінки якості повітря у містах. Крім того, вимірювання якості повітря проводилося шляхом вимірювання рівня концентрації певних забруднювачів, таких як дим, гази та пари за допомогою хімічних індикаторів, які змінювали колір при контакті із забрудненим повітрям. Цей метод був простим та недорогим, але не дуже точним. Ще одним варіантом визначення якості, був метод який використовував метеорологічні дані та дані про захворювання людей, щоб оцінити якість повітря. Наприклад, якщо протягом кількох днів було помічено збільшення кількості захворювань на дихальні шляхи, це могло вказувати на погіршення якості повітря. Але ці методи були дуже точними і давали лише приблизне уявлення про якість повітря. Поява перших газоаналізаторів а за ними й датчиків якості повітря дозволило значно покращити та уточнити вимірювання.

Наступним, більш удосконаленим методом ніж візуальне спостереження або хімічний аналіз, є винахід газоаналізаторів.

Газоаналізатор – контрольно-вимірювальний пристрій, призначений для вимірювання складу та кількості концентрацій одного газу, що вимірюється, або групи вимірюваних газів і парів у газоповітряній суміші.

Газоаналізатор можна вважати одним з типів датчиків якості повітря, так як його функція полягає у вимірі вмісту різних газів у повітрі та визначенні їх концентрації. Ці дані використовуються для оцінки якості повітря в певному місці та часі, а також для виявлення та контролю забруднювачів, таких як чадний газ, діоксид сірки, діоксид азоту, озон та інші. Однак, важливо відзначити, що газоаналізатори часто орієнтовані на певні типи газів, і не завжди можуть бути корисними у вимірі інших параметрів повітря, таких як температура, вологість, частинки і т.д. Таким чином, залежно від цілей вимірювання та конкретних вимог до контролю якості повітря, може знадобитися використання кількох типів датчиків та інструментів.

Перші газоаналізатори були простими пристроями, які включали судини для змішування повітря з хімічними реагентами, реакційні камери та індикатори, які показували результати аналізу. Вони могли бути досить громіздкими та вимагали уважної роботи оператора.

Один із перших газоаналізаторів був створений у 1802 році, Жозефом Луї Гей-Люссаком, цей прилад використовував трубку з рідиною, яка змінювала свій об'єм залежно від кількості газу, що проходить через неї. Він використовувався для визначення об'ємних часток газових сумішей, включаючи повітря, гази згоряння та інші гази.

Гей-Люссак використовував бюксен-апарат (подовжену скляну посудину, що має криву форму), який був заповнений газом, що вивчається, і занурений у воду. При нагріванні газ розширюється і його об'єм збільшується, що призводить до витіснення частини води з бюксена в прилеглу посудину. Вимірявши обсяг витісненої води та знаючи обсяг бюксена та початковий обсяг газу, можна визначити об'ємну частку газу в суміші.

Цей метод вимірювання об'ємних часток газів став широко використовувється в хімічних лабораторіях і промисловості на протязі багатьох років, і він залишається важливим методом аналізу газових сумішей до сьогодні.

У 1844 році німецьким хіміком Юстусом фон Лібіхом був виготовлений більш досконалий газоаналізатор. Це був простий пристрій, який використовувався для визначення вмісту вуглекислого газу в повітрі. Він складався зі скляної палички, на кінці якої був тонкий металевий дріт із покриттям з крейди, принцип роботи був таким що дріт нагрівався до червоного жару, а потім вступав у контакт з повітрям, яке аналізувалося. Якщо у повітрі була присутність вуглекислого газу, то він реагував з крейдою, утворюючи кальцій-карбонат, що призводило до утворення білого осаду на дроті.

У 1854 році англійський фізик Джон Тіндаль розробив прилад, який назвав «газовим аналізатором», і який дозволяв вимірювати вміст кисню та вуглекислого газу у повітрі. Він також створив інші прилади, які дозволяли вимірювати вміст інших газів та твердих частинок пилу завдяки відкриттю у 1800-х роках ефекту названого на честь вченого, який називався «Ефектом Тіндаля», цей ефект полягає у тому що при проходженні променів світла через середовище, що містить суміш найдрібніших твердих частинок - наприклад, повітря в якому міститься пил або дим, колоїдні розчини, мутне скло - ефект розсіювання зменшується по мірі зміни спектрального забарвлення променю від фіолетово-синього до жовто-червоної частини спектру. Якщо ж пропустити через мутне середовище біле, наприклад сонячне, світло, яке містить повний кольоровий спектр, то світло в синій частині спектру частково розсіється, тоді як інтенсивність зелено-жовто червоної частини світла залишиться практично незмінною.

У 1908 році німецький інженер Вальтер Неллер розробив газоаналізатор, який міг вимірювати вміст кисню, вуглекислого газу та газових домішок у повітрі. Газоаналізатор Вальтера Неллера мав дуже простий вигляд, складався із металевого корпусу в якому були розташовані електронні компоненти і датчик для аналізу газової суміші, працює на основі принципу зміни електричної

провідності газової суміші при її взаємодії з нагрітим проводом. Провід, нагрітий до певної температури, занурений у газову суміш, і вимірюється зміна електричного опору, яка залежить від складу газової суміші.

Цей прилад знайшов застосування у різних галузях, таких як промисловість, медицина, екологія, газова та нафтова промисловість тощо. Він може бути використаний для вимірювання концентрації окремих газів, таких як кисень, вуглекислий газ, азот, а також для вимірювання загальної концентрації газів у суміші.

Деякі моделі газоаналізаторів Вальтера Неллера мають індикатори для відображення результатів аналізу газової суміші, а також можливість збереження даних для подальшого аналізу та обробки. Загалом, зовнішній вигляд газоаналізатора Вальтера Неллера може відрізнитися залежно від моделі та виробника, проте принцип роботи у всіх моделей залишається приблизно однаковим.

З того часу газоаналізатори стали все більш точними та різноманітними, і сьогодні використовуються в багатьох областях, таких як промисловість, медицина, наука та охорона навколишнього середовища.

Наступним етапом розвитку приладів для визначення якості повітря стала розробка датчиків якості повітря.

Перші датчики якості повітря було створено у середині 20-го століття. Вони були великими та складними пристроями, які вимагали кваліфікованого персоналу для встановлення та налаштування. Вони включали різні типи датчиків, таких як датчики температури, вологості, тиску і газоаналізатори, які використовувалися для вимірювання концентрації різних газів у повітрі.

Один із перших датчиків якості повітря був розроблений у 1956 році американською компанією «Американський стандарт». Він називався «Electronic Air Cleaner» та був пристроєм, який використовувався в системах кондиціонування повітря для очищення від пилу та інших забруднювачів. Пристрій включав електростатичний фільтр, який притягував частинки забруднювачів і вловлював їх.

Датчик був розроблений для вимірювання концентрації забруднюючих речовин у повітрі приміщення, таких як вуглекислий газ, оксиди азоту, оксиди сірки та інші шкідливі речовини, які можуть негативно вплинути на здоров'я людей. Він складався з датчика, який дозволяв вимірювати концентрацію шкідливих речовин, та системи управління, яка могла автоматично регулювати роботу системи кондиціонування повітря для підтримки оптимальної якості повітря у приміщенні.

Зовні датчик «Electronic Air Cleaner» виглядав як компактний прилад з декількома індикаторами і регуляторами на передній панелі. Вимірювальний елемент розташовувався всередині приладу та був з'єднаний із системою управління. Для вимірювання концентрації забруднюючих речовин, датчик використовував електрохімічний принцип. Кожен із індикаторів на передній панелі вказував на концентрацію певної шкідливої речовини у повітрі. У разі перевищення допустимих меж забруднення індикатори перемикалися на відповідне попередження. Система управління датчиком була здатна автоматично регулювати роботу системи кондиціонування повітря, щоб підтримувати оптимальну якість повітря у приміщенні.

Також одним із перших датчиків визначення якості повітря став датчик компанії «Beckman Instruments» розроблений у 1968 році, який мав назву «Model 9160 Portable Air Pollution Analyzer» цей датчик був один із перших датчиків, які використовувалися для моніторингу забруднення повітря всередині приміщень та на відкритому повітрі. Він був портативним приладом, розміром приблизно з пачку цигарок, мав металевий корпус, зазвичай круглої форми, з кількома отворами на передній панелі для впуску повітря, на передній панелі також був індикатор, який показував рівень забруднення повітря. Зазвичай індикатор був виконаний у вигляді шкали з кольоровим маркуванням, яке дозволяло користувачеві легко визначити рівень забруднення повітря.

Для використання датчика якості повітря Beckman Instruments «Model 9160», користувач повинен був включити прилад і помістити його в місце, де потрібно виміряти рівень забруднення повітря. Протягом кількох хвилин датчик

займався збиранням даних, після чого на індикаторі відображався рівень забруднення повітря.

Принцип роботи цього датчика працював на основі хімічної реакції, яка відбувалася між забрудненим повітрям та хімічними реагентами, що знаходилися всередині приладу. Кожен реагент був специфічний для окремого виду забруднення повітря, наприклад, оксидів азоту чи вуглекислого газу. При контакті із забрудненим повітрям реагенти реагували, змінювали свою хімічну структуру та змінювали колір.

Датчик вимірював рівень забруднення повітря з урахуванням ступеня зміни кольору реагенту. Зазвичай датчик мав колірну шкалу, де були вказані різні рівні забруднення повітря, які відповідали різним кольорам.

Наприклад, якщо датчик показував зелений колір, повітря було вважалось чистим. Якщо колір приладу змінювався на жовтий, помаранчевий чи червоний, це вказувало на збільшення рівня забруднення повітря.

Хоча датчик компанії Beckman Instruments був простим, він забезпечував досить точні вимірювання рівня забруднення повітря та використовувався у різних галузях, включаючи промисловість, медицину та наукові дослідження. Він також послужив відправною точкою для створення більш сучасних та технологічно передових датчиків якості повітря, які використовуються сьогодні.

Компанія Beckman Instruments має на своєму рахунку дуже багато розроблених пристроїв пов'язаних з визначенням та очищенням повітря. Серед таких пристроїв такі моделі як:

- Beckman C2 Oxygen Analyzer.
- Beckman Model 908 Oxidants Analyzer.
- Beckman Model 6800 Air Quality.

Beckman C2 Oxygen Analyzer (аналізатор кисню)

Цей прилад який зображений на рис.1.4, був розроблений для вимірювання вмісту кисню в газах.



Рис.1.4. Beckman C2 Oxygen Analyzer

Він працював на основі електрохімічного принципу і використовував електроліт, електроди, анод та катод які були покриті каталізаторами, які викликали електрохімічну реакцію при контакті з киснем. При проходженні газу через електрохімічний осередок, кисень реагує з каталізатором на катоді, утворюючи іони кисню. Ці іони кисню переміщуються через електроліт до анода, де вони реагують з каталізатором, утворюючи молекулярний кисень і генерують електричний струм. Цей струм пропорційний вмісту кисню у газі. Прилад обробляє сигнал від електрохімічного осередку, конвертує його у відповідний відсоток вмісту кисню та відображає його на дисплеї. Beckman C2 Oxygen Analyzer дозволяє вимірювати концентрацію кисню в діапазоні від 0% до 100% з точністю до 1%. Основні технічні характеристики наведені у таблиці 1.1. Основні елементи приладу наведені на рис.1.5.

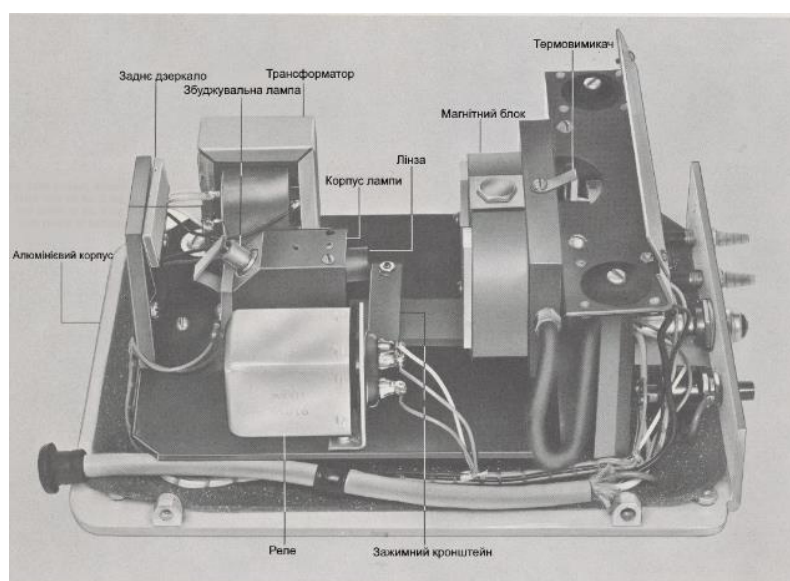


Рис.1.5. Основні елементи Beckman C2 Oxygen Analyzer

Таблиця 1.1 Основні характеристики приладу

Точність	$\pm 1\%$ від повної шкали
Відтворюваність	$\pm 0.5\%$ від повної шкали
Чутливість	$\pm 0.1\%$ від повної шкали
Зчитування	промінь світла на шкалі прямого зчитування 11,43 см
Діапазони	0-75% кисню або 0-570 мм парціального тиску (з мінімальним діапазоном 5% або 40 мм) 75-100% кисню або 570-760 мм парціального тиску (з 15% кисню або 120 мм парціального тиску мінімального діапазону)
Умови зразка	зразок газу не повинен містити твердих частинок або рідин при температурах від 10°C до 40°C
Вимога до потужності	115В або 230В, 50-60Гц, 0.5А

Beckman Model 908 Oxidants Analyzer

Прилад зображений на рис.1.6., розроблений компанією Beckman Instruments для вимірювання вмісту окислювачів в атмосферних газах, для використання в атмосферних дослідженнях і контролі якості повітря, таких як вимірювання вмісту озону в атмосфері.

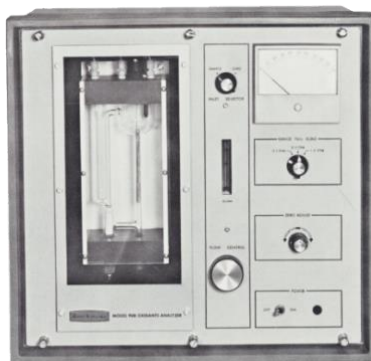


Рис.1.6. Beckman Model 908 Oxidants Analyzer

Працював на основі хімічної реакції між окислювачем (наприклад, озоном) та реагентом, який змінює свій колір залежно від кількості окислювача в газовій суміші. Газова суміш, що містить окислювач, надходить у аналізатор через вхідний клапан і проходить через реактивну колонку, наповнену реагентом. Реагент в колонці змінює свій колір при реакції з окислювачем, і зміна кольору вимірюється приладом.

Принцип динамічного йодиметричного титрування використовується для досягнення надійних вимірювань у діапазоні від двох ppb до одного ppm.

Методика виражає концентрацію окислювача в ppm озонowego еквіваленту, що можна порівняти з методикою КІ з нейтральним буфером. Аналізатор використовує комірку детектора, що містить вугільний анод і платиновий катод. Електроди занурені в нейтральний буферний галогенний електроліт, що містить йодид калію. Коли навколишнє повітря вдихається через комірку детектора та проходить через електроліт, окислювач, що міститься в зразку, хімічно реагує з йодидом, присутнім в електроліті, з утворенням молекулярного йоду. Цей йод транспортується до катода, де, діючи як деполяризатор, зазнаючи відновлення, дозволяє електричному струму протікати між анодом і катодом. Beckman Model 908 Oxidants Analyzer використовував різні реагенти для вимірювання різних окислювачів, таких як озон, перекис водню та інші. Після закінчення вимірювання результати відображалися на індикаторі на передній панелі приладу. Основні технічні характеристики та специфікації наведені у таблицях 1.2, 1.3.

Таблиця 1.2 Специфікація

Концентрація 1 частка на мільйон кожного з перерахованих типових речовин вказуватиме на наступні максимальні помилки сигналу в зчитуванні окислювача:	
SO ₂ (оксид сірки)	0.10 ppm
H ₂ S (сірководень)	0.10 ppm
Тіоли(меркаптани)	0.10 ppm
Органічні сульфідиди	0.10 ppm
NH ₃ (аміак)	0.1 ppm

Таблиця 1.3 Основні характеристики приладу

Діапазони	0-0,2, 0-0,5, 0-1,0 частин на мільйон O ₃ (озон) еквівалентно повної шкали
Мінімальна межа для виявлення	Від 4 частин на мільярд до 100 частин на мільярд , залежно від налаштування концентрації та діапазону.
Час реакції	90% повної шкали менш ніж за 10 хвилин
Максимальна чутливість	0,2 ppm від повної шкали
Точність	±5% від повної шкали
Повторюваність	±4% від повної шкали
Стабільність	±4% від повної шкали за 24 години
Вихідні параметри	Лінійний сигнал амплітудою 0-10мВ, 0-100мВ, 0-1В вольт постійного струму, сумісний з будь-яким стандартним потенціометричним реєстратором
Вимога до потужності	115В, 50-60Гц.

Beckman Model 6800 Air Quality

Використовувався для моніторингу якості повітря всередині приміщень. Прилад зображений на рис.1.7., дозволяв вимірювати вміст різних газів у повітрі, таких як кисень, діоксид вуглецю, озон, діоксид сірки та інші. Таким чином, прилад дозволяв контролювати забруднення повітря всередині приміщень та визначати, чи відповідає якість повітря встановленим нормам та вимогам безпеки.



Рис.1.7. Beckman Model 6800 Air Quality

Принцип роботи приладу Beckman Model 6800 Air Quality ґрунтується на використанні електрохімічних сенсорів для вимірювання вмісту певних газів у повітрі. Наприклад, для вимірювання концентрації кисню в повітрі використовувався електрохімічний сенсор із діафрагмою з перманганату барію. Для вимірювання вмісту діоксиду вуглецю використовувався електрохімічний сенсор, що містить амперметричний електрод та катод. Для вимірювання концентрації озону у повітрі використовувався електрохімічний сенсор на основі гальваностатичного осередку з двома електродами.

Крім того, у Beckman Model 6800 Air Quality можна було використовувати інші типи сенсорів залежно від потреб і вимог конкретного вимірювання. Наприклад, прилад міг бути оснащений сенсором для вимірювання вмісту сірки діоксиду або азотних оксидів у повітрі. Усередині приладу розташовуються електрохімічні сенсори, кожен із яких реагує певний газ. При вході газової суміші в пристрій через вхідний клапан, кожен газ проходить через відповідний електрохімічний сенсор. Усередині сенсора відбувається хімічна реакція між газом та електродом, яка викликає появу електричного сигналу. Цей сигнал потім вимірюється а аналізується для визначення концентрації газу в повітрі.

Таблиця 1.4 показує діапазони концентрації у повітрі та хімічні сполуки які вимірює прилад.

Таблиця 1.4 Специфікація

Концентрація 1 частка на мільйон кожного з перерахованих типових речовин вказуватиме на наступні максимальні помилки сигналу в зчитуванні окислювача:	
SO ₂ (оксид сірки)	Від 0 до 5 ppm
O ₂ (кисень)	в діапазоні від 0 до 25%
CO ₂ (вуглекислий газ)	Від 0 до 5000 ppm
NO _x (оксид азоту)	Від 0 до 5 ppm
O ₃ (озон)	Від 0 до 0.5 ppm

1.4 Сучасні датчики визначення якості повітря

Сучасні датчики якості повітря поділяються на:

- Лазерні датчики: використовують лазерний промінь, щоб вимірювати кількість дрібних частинок повітря.

Наприклад датчик Nova PM SDS011 на рис.1.8.



Рис.1.8. Лазерний датчик якості повітря Nova PM SDS011

- Електрохімічні датчики: використовуються для вимірювання концентрації газів у повітрі. Усередині датчика знаходяться електроди, які реагують з газами та створюють електричний сигнал, який може бути перетворений на цифрові дані.
- Фотометричні датчики: вимірюють кількість світла, яке проходить через повітря, щоб визначити кількість забруднювачів у ньому.
- Термічні датчики: вимірюють температуру повітря, щоб визначити наявність забруднювачів, оскільки можуть підвищити температуру повітря.
- Датчики опадів: використовуються для вимірювання кількості опадів, таких як дощ або сніг, які можуть видаляти забруднювачі з повітря.
- Датчики CO₂: вимірюють рівень вуглекислого газу в повітрі, який може вказувати на неефективну вентиляцію приміщення або високу концентрацію людей.
- Датчики VOC: вимірюють кількість летких органічних сполук (ЛОС) у повітрі, які можуть бути викликані хімічними

речовинами, що використовуються у побутових та промислових процесах.

- Датчики азоту: використовуються для вимірювання концентрації оксидів азоту, які можуть бути спричинені автомобільним рухом та іншими джерелами забруднення повітря.
- Датчики пилу: вимірюють кількість дрібних частинок у повітрі, які можуть включати забруднювачі, такі як дим, пил і т.д.

Перелік технічних можливостей сучасних датчиків якості повітря:

- Наявність сенсорів для різних забруднень, для вимірювання широкого спектру забруднюючих речовин, включаючи формальдегід, леткі органічні сполуки (ЛОС), важкі метали тощо.
- Бездротова і мережева інтеграція: багато сучасних датчиків мають можливість бездротового зв'язку, такий як Wi-Fi або Bluetooth, що дозволяє передавати дані в реальному часі на смартфони, планшети або комп'ютери.
- Автоматичне калібрування та самодіагностика: деякі сучасні датчики мають функцію автоматичного калібрування, яка дозволяє підтримувати високу точність вимірювань протягом тривалого часу.
- Візуалізація даних: серед датчиків які представлені на ринку, існують ті які мають інтуїтивно зрозумілі дисплеї або мобільні програми, які дозволяють користувачеві наочно відстежувати дані про якість повітря в реальному часі та аналізувати їх на основі графіків та діаграм.

Перелік деяких сучасних систем визначення якості повітря представлених на ринку.

AirVisual Node

Портативний прилад зображений на рис.1.9, для визначення якості повітря, який відображає поточні концентрації твердих частинок (PM) та вуглекислого газу (CO₂) на світлодіодному екрані та телефоні завдяки наявності бездротової мережі Wi-Fi. Крім того, пристрій з'єднаний з більш широкою мережею моніторів яких налічує приблизно 8000 у всьому світі які відслідковують якість повітря у реальному часі.

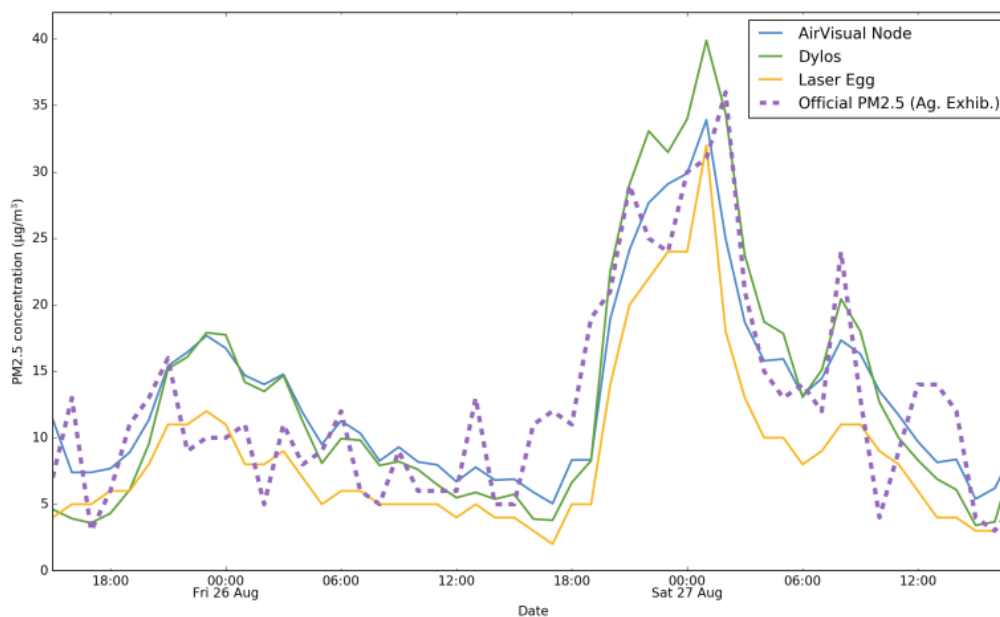
Порівняльна характеристика по відношенню до інших датчиків показана на графіку 1.1.



Рис.1.9. AirVisual Node

Деякі технічні характеристики системи AirVisual Node:

- Відображає рівні PM_{2,5} та CO₂(від 400 ppm до 10 000 ppm) у режимі реального часу, поєднуючи лазерну технологію та штучний інтелект. Також вимірює температуру (-10°C – +40°C) та вологість (0-100%) повітря.
- За допомогою розширеної аналітики він надає докладні дані про 6 основних забруднювачів для більш ніж 8000 місць у більш ніж 35 країнах.
- Датчик частинок: PM_{2,5} (0,3 мкм – 2,5 мкм), PM₁₀, контроль потоку повітря, механізм захисту від пилу.
- Бездротовий зв'язок: 802.11 v/g/n 2,4 ГГц, налаштовується безпосередньо з пристрою або мобільного додатка.



Графік 1.1. Порівняльна характеристика якості повітря за деякий час декількох приладів визначення якості повітря

На графіку 1.1 [10], показано рівень забрудненості частками пилу P.M2.5 на протязі 24-х годин, які проаналізували декілька приладів визначення якості повітря, синім кольором позначено прилад AirVisual Node, зеленим Dylos, жовтим Laser Egg, фіолетовим пунктиром позначено графік рівня забруднення P.M2.5, згідно офіційних даних екологічних установ за серпень.

Із недоліків це відсутність отримання даних із глобальної мережі про якість повітря на території України, відсутність можливості звукового сповіщення користувача про перевищення рівня забрудненості повітря та відсутність можливості автономного очищення або вентиляції повітря.

Наступним приладом представлених на ринку є Awaair 2nd Edition

Цей прилад є другим поколінням системи визначення якості повітря від компанії «Awaair», в основному його призначення це відстеження дрібного пилу який підпадає в категорію забруднювачів, відому як PM2.5. Згідно з Awaair, надмірна дія цих дрібних частинок пилу, може призвести до проблем зі здоров'ям, таким як запалення дихальних шляхів, рак, хвороби серця та вроджені

дефекти. Вони утворюються в результаті спалювання викопного палива, приготування їжі, куріння, спалювання свічок та розпалювання відкритого вогню.

Принцип роботи Awair 2nd Edition ґрунтується на використанні різних датчиків, які вимірюють різні параметри якості повітря. Ці параметри можуть включати концентрацію ЛОС (летких органічних летких сполук), вуглекислого газу, температуру, вологість та рівень пилу у повітрі.

Датчики Awair 2nd Edition регулярно збирають дані про стан повітря та передають їх на підключений пристрій, такий як смартфон або планшет, через бездротове з'єднання (зазвичай Wi-Fi або Bluetooth). За допомогою спеціальної програми користувач може відстежувати та аналізувати дані про якість повітря в реальному часі, а також отримувати повідомлення про будь-які аномалії або проблеми, пов'язані з повітрям у приміщенні.

Однією із особливостей пристрою представленого на рис.1.10, це наявність можливості з'єднання з іншими системами, такими як «Google Assistant».



Рис.1.10. Awair 2nd Edition

Деякі технічні характеристики системи Awair 2nd Edition:

- PM2.5: від 0 до 1,000 мкг/м³ ±15 мкг/м³.
- Вимірювання температури: від -40 до 125 °C (від -40 до 257 °F).
- Вимірювання вологості: від 0 до 100%.
- Вимірювання світла: від 0,96 до 640000 lux.
- Лос частки: від 0-60,000 ppm ±10%.
- CO₂: від 400 до 5, 000 ppm ± 75ppm або 10%.
- Інтерфейс бездротової мережі Wi-Fi 802.11 b/g/n 2.4 GHz.

- Інтерфейс бездротового зв'язку Bluetooth 4.1.
- Площа вимірювання до 93 м².

1.5 Моніторинг якості повітря в Україні

Моніторинг концентрації забруднюючих речовин у повітрі міст України є завданням Українського гідрометеорологічного центру, який є підрозділом Державної служби з надзвичайних ситуацій у складі Міністерства внутрішніх справ. Основним методом визначення концентрацій забруднювачів є відбір проб повітря на стаціонарних постах спостереження. Кількість постів залежить від розміру міста та особливості структури промисловості. Вона може коливатись від одного поста для міст з населенням, меншим за 50 тисяч мешканців, до двадцяти постів для міст-мільйонників. У 2016 році в країні було 129 постів у 39 містах. Найбільша кількість яка налічувалась, 16 постів— у Києві, 10 постів — у Харкові, 8 — в Одесі, 6 — у Дніпрі. Великі промислові центри— Запоріжжя, Кривий Ріг, Маріуполь — мали по п'ять постів спостереження, у той час як для більшості обласних центрів їх кількість не перевищувала чотирьох. Відбір проб проводиться на визначених часових проміжках(строках) відповідно до однієї з чотирьох програм спостережень: повної, неповної, скороченої чи добової,добова програма передбачає неперервні спостереження.

Необхідність регулярно вимірювати концентрації пилу, діоксиду азоту свинцю та його неорганічних сполук, діоксиду сірки, оксиду вуглецю, радіоактивних речовин та формальдегіду є обов'язковою . Інші речовини можуть бути додані до програми спостережень за рішенням органів місцевого самоврядування, враховуючи особливості екологічної ситуації.

Перелік деяких постів моніторингу якості повітря по місту Києву представлені на рис.1.11.

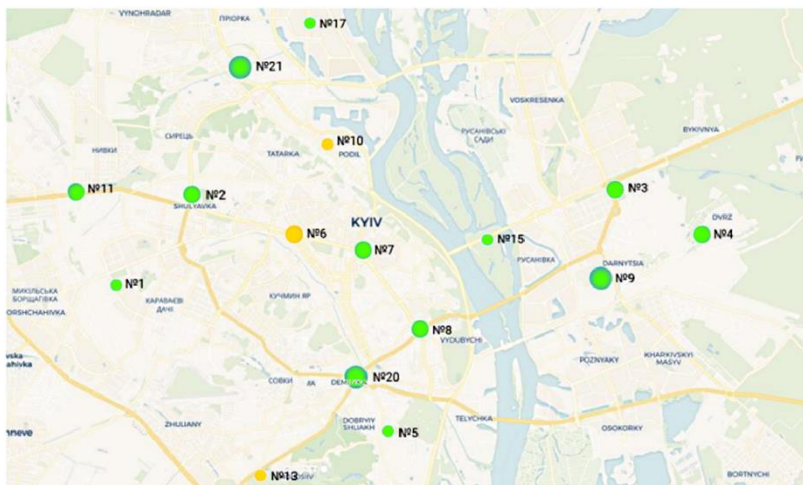


Рис.1.11.Мережа моніторингу якості атмосферного повітря по місту Києву (зеленим позначено пости, на яких ведеться спостереження чотири рази на добу, жовтим – двічі рази на добу)

Основним недоліком є те що в Україні, дані з моніторингу не є загальнодоступними так як відсутня нормативно-правова база щодо інформування населення про якість атмосферного повітря. Доступ до них регулюється відповідно до законодавства про доступ до публічної інформації. У Києві, наприклад, деякі відомості про концентрації забруднюючих речовин публікує Центральна геофізична обсерваторія. Однак, ці дані не є повними і зберігаються на сайті лише протягом кількох днів. У багатьох інших містах відсутнє навіть таке інформування.

Підводячи підсумки основної частини, можна зробити висновок про поставлене завдання при розробці системи видаленого визначення якості повітря у виборі в якості основного елемента вимірювання якості повітря-датчика MQ-135, який дозволить вимірювати небезпечні гази в побутових умовах.

Висновки до розділу 1

1. Розглянута актуальність та методи вирішення проблеми.
2. Описано поняття якості повітря та поняття забруднення, види забруднень.
3. Наведені приклади методів визначення якості повітря.
4. Описано поняття газоаналізатору, призначення та принцип його роботи.
5. Наведені приклади сучасних систем визначення якості повітря, їх призначення, принцип роботи та наведені основні технічні характеристики.
6. Обрано датчик MQ-135 в якості основного елемента вимірювання якості повітря.

РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЇ ПРИЛАДУ ТА ПІДБІР СКЛАДОВИХ

2.1 Система віддаленого визначення якості повітря

Пристрій для віддаленого визначення якості повітря був розроблений на основі системи Arduino Uno з програмованим мікроконтролером ATmega328 з застосуванням в схемі датчика якості повітря MQ-135, принцип роботи пристрою буде описаний далі у розділі, структурна схема зображена на рисунку 2.1.

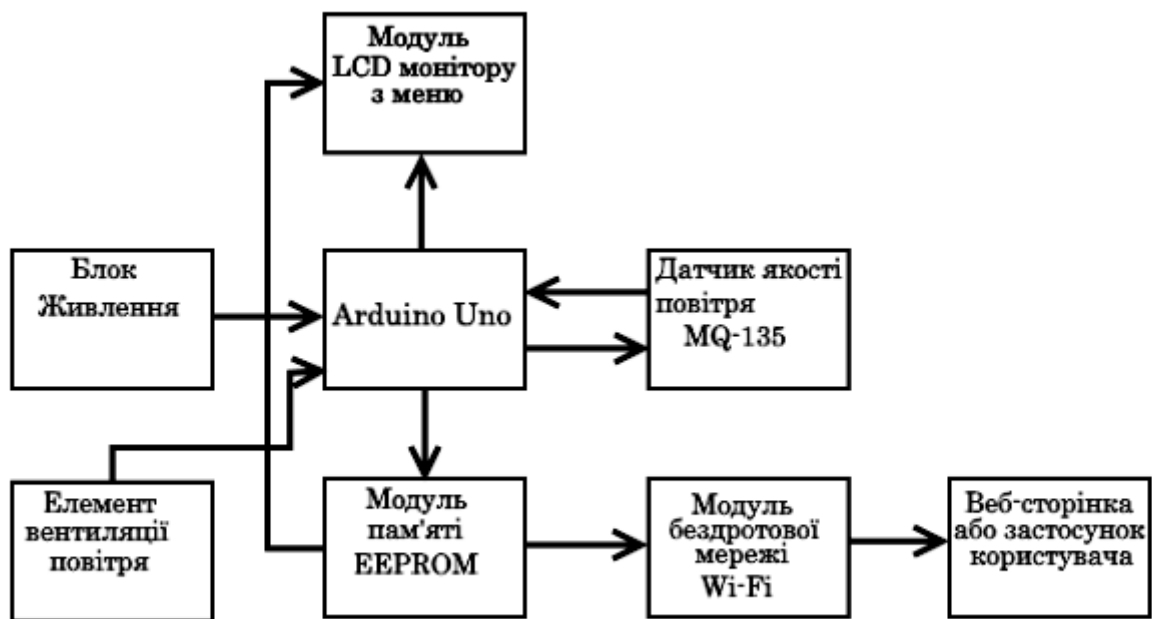


Рис.2.1. Структурна схема системи віддаленого визначення якості повітря

Основними вимогами до приладу є:

- Мобільність.
- Автономність .
- Можливість вимірювання концентрації у повітрі декількох типів забруднювачів .
- Інформативність.
- Простий та зрозумілий інтерфейс користувача.
- Можливість зберігання результатів вимірів на протязі часу.

На початку розробки системи віддаленого визначення якості повітря була поставлена задача в підборі складових елементів приладу відповідно до основних вимог. Пристрій для віддаленого визначення якості повітря складається з:

- Програмованої платформи Arduino Uno з мікроконтролером.
- Датчика якості повітря MQ-135.
- Енергонезалежного модуля пам'яті EEPROM.
- Модуля бездротової мережі Wi-Fi.
- LCD дисплея з енкодером для користування меню.
- Елементу вентиляції повітря.
- Блоку живлення.

Основний принцип роботи приладу полягає в тому що, моніторинг кількості органічних забруднювачів (TVOC елементів) у повітрі здійснюється за допомогою модуля датчика MQ-135. Він дозволяє визначати кількість таких елементів як C_6H_6 , NH_3 , NO_x , CO_2 та інші. Інформація від MQ-135 зчитується мікроконтролером AtMega 328, що входить до складу платформи Arduino. Перетворення сигналів MQ-135 в цифрову форму здійснюється за допомогою аналого-цифрового перетворювача, що входить до складу AtMega 328. Отримані дані порівнюються з припустимими значеннями концентрації шкідливих речовин. Інформація про поточний стан повітря зберігається у вбудованому модулі пам'яті та виводиться на LCD дисплей. Можливість віддаленого контролю забезпечується за рахунок підключення мікроконтролера через Wi-Fi до мережі Інтернет. Для цього використовується мікросхема ESP8266, яка дозволяє підключатись через бездротовий інтерфейс Wi-Fi 802.11 b / g / n на частоті 2,4 ГГц. Таким чином, сервер може опитувати практично не обмежену кількість датчиків та формувати мапу з інформацією щодо якості повітря. Блок живлення забезпечує формування постійної напруги +5В для забезпечення роботи мікросхем. У випадку встановлення системи в приміщенні, вона дозволяє здійснювати керування пристроями вентиляції.

2.2 Платформа Arduino

Arduino – це електронна платформа – пристрій на основі мікроконтролера з власною пам'яттю та наявністю на платі цифрових, аналогових входів та виходів в залежності від класу та призначення плати, з необмеженою можливістю циклів перезапису програмного коду в залежності від потреб користувача.

Платформа Arduino складається з:

- Текстолітової основи – плати.
- Мікроконтролера в залежності від моделі плати, наприклад: ATmega328P, ATmega2560, ATmega32U4, ESP8266, ARM Cortex-M0 та ін.
- Мікросхема CH340 або ATmega16U2.
- Цифрових входів та виходів.
- Аналогових входів та виходів
- USB роз'єму.
- Роз'єму живлення.
- Виходів живлення.

Приклад плати Arduino представлений на рис.2.2.

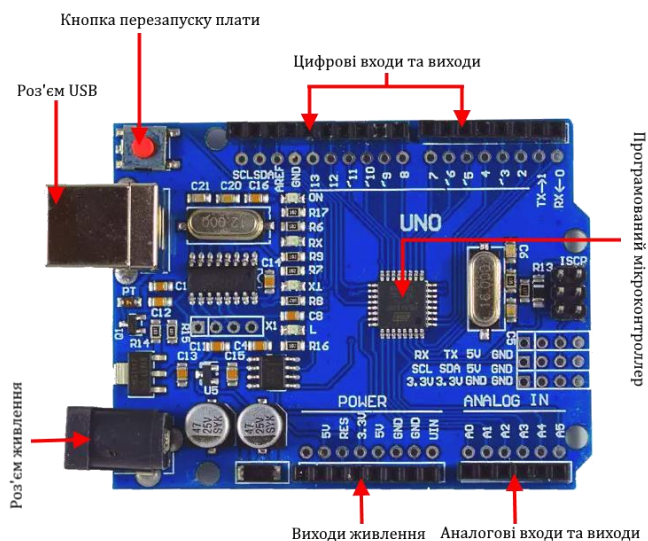


Рис.2.2. Плата Arduino UNO

ATmega328P – це мікроконтролер(зображений на рис.2.3.), який використовується на платі Arduino Uno і багатьох інших моделях Arduino. Він є одним з найпоширеніших і популярних мікроконтролерів, що використовуються

в Arduino. ATmega328P має велику кількість цифрових та аналогових входів/виходів, вбудовану пам'ять для зберігання програмного коду та даних, а також вбудовані периферійні пристрої, такі як таймери, засоби зв'язку та інші. Мікроконтролер має можливість працювати від напруги 1.8В, що робить його енергоефективним і підходящим для багатьох проектів.

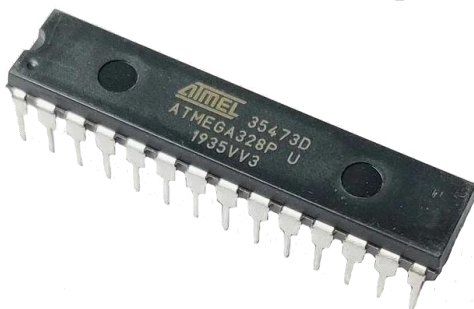


Рис.2.3. Мікроконтролер ATmega328P

Технічні характеристики мікроконтролера:

- Тактова частота: 0 – 20 МГц.
- Об'єм Flash-пам'яті: 32 кб.
- Об'єм SRAM-пам'яті: 2 кб.
- Об'єм EEPROM-пам'яті: 1 кб.
- Напруга живлення: 1,8 - 5,5 В.
- Споживаний струм у режимі роботи: 0,2 мА.
- Споживаний струм у режимі сну: 0,75 мкА.
- Загальна кількість портів: 23.

Переваги ATmega328P порівняно з іншими мікроконтролерами:

- Популярність, ATmega328P є одним з найбільш популярних мікроконтролерів. Це означає, що для нього доступні багато ресурсів, документації, прикладів коду та підтримки спільноти. Це полегшує розробку проектів і отримання допомоги в разі потреби.
- Легкість використання: ATmega328P має простий і зрозумілий для багатьох інтерфейс, що робить його легким у використанні, особливо для початківців.
- Велика кількість входів/виходів.

- Наявність периферійних пристроїв: має вбудовані периферійні пристрої, такі як таймери, засоби зв'язку (наприклад, UART, SPI, I2C) і аналого-цифровий перетворювач (ADC).
- Енергоефективність.

Порівняльна характеристика зображена у табл.2.1.

Таблиця 2.1 Порівняльна характеристика ATmega328P

Плата Arduino	Мікроконтроллер	Рабочее напряжение [В]	Цифровые входы/выходы	Выходы с ШИМ	Аналоговые входы/выходы	Максимальный ток с пина ввода-вывода [мА]	Flash-память [КБ]	ОЗУ [КБ]	EEPROM-память [КБ]	Тактовая частота [МГц]	Габариты [мм]	USB-разъем
Uno	Atmega328	5	14	6	6	40	32	2	1	16	69×53	USB A-B
Leonardo	ATmega32u4	5	20	7	12	40	32	2.5	1	16	75×53	micro-USB
Nano	ATmega328	5	14	6	8	40	32	2	1	16	18×45	mini-USB
Mega	ATmega2560	5	54	14	16	40	256	8	4	16	102×53	USB A-B
Due	Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 CPU	3.3	54	12	12	800	512	96	×	84	102×53	micro-USB
Mini	ATmega328	5	14	6	6	40	32	2	1	16	30×18	USB-Serial
Micro	ATmega32u4	5	20	7	12	40	32	2.5	1	16	48×18	micro-USB
M0	Atmel SAMD21	3.3	20	12	6	7	256	32	×	48	69×53	micro-USB
LilyPad	ATmega328p	2.7 - 5.5	20	6	6	40	32	2	1	8	∅ 50	USB-Serial

CH340 – це USB перетворювач, який забезпечує комунікацію між пристроями, підключеними через USB-порт та комп'ютером. Він виконує функцію перетворення даних з формату USB на формат серійного інтерфейсу (найчастіше UART) і навпаки.

UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) – це стандартний послідовний комунікаційний інтерфейс, який використовується для передачі даних між пристроями. Він забезпечує асинхронну передачу даних, біт за бітом між відправником та приймачем.

UART працює на основі двох провідників: один для передачі даних (TX – Transmit) та один для прийому даних (RX – Receive). Дані передаються побітово в послідовному форматі, де кожен біт супроводжується стартовим та стоповим бітами для синхронізації передачі.

CH340 широко застосовується у різних електронних пристроях, включаючи плати Arduino та інші мікроконтролерні платформи. Вона дозволяє підключати ці пристрої до комп'ютера через USB-порт для програмування та взаємодії з ними. Мікросхема забезпечує стабільну та швидку передачу даних між комп'ютером та пристроєм, підтримуючи різні швидкості передачі та протоколи комунікації, такі як UART, SPI та I2C.

SPI (Serial Peripheral Interface) – синхронний послідовний комунікаційний інтерфейс, який використовується для обміну даними між мікроконтролерами та іншими периферійними пристроями. Він дозволяє передавати дані між майстром (зазвичай мікроконтролером) та одним або декількома підлеглими пристроями (периферійними пристроями) у напівдуплексному режимі.

Принцип роботи SPI інтерфейсу засновується на застосуванні чотирьох сигналів:

- SCK (Serial Clock) – сигнал тактової частоти, що генерується майстром, який визначає швидкість передачі даних.
- MOSI (Master Output Slave Input) – сигнал передачі даних від майстра до підлеглому пристрою.
- MISO (Master Input Slave Output) – сигнал передачі даних від підлеглому пристрою до майстра.
- SS (Slave Select) – сигнал вибору підлеглому пристрою, який використовується для активації конкретного пристрою на шині.

SPI підтримує повний дуплексний обмін даними, що означає, що майстер та підлеглі пристрої можуть одночасно передавати та приймати дані. Він також підтримує різні режими передачі даних, такі як режими частотного поділу та фазової затримки, які можуть бути налаштовані відповідно до вимог програми.

SPI широко застосовується для зв'язку з різними периферійними пристроями, такими як дисплеї, сенсори, пам'ять, контролери мережі та інші. Він забезпечує швидку та ефективну передачу даних між мікроконтролером та периферійними пристроями, роблячи його популярним інтерфейсом у багатьох електронних додатках.

I2C (Inter-Integrated Circuit) – це послідовний комунікаційний інтерфейс, який використовується для зв'язку між мікроконтролерами та іншими пристроями, такими як сенсори, EEPROM, дисплеї та інші периферійні пристрої.

I2C працює на основі майстер-підлеглої архітектури, де мікроконтролер (майстер) контролює зв'язок з одним або декількома підлеглими пристроями. Майстер та підлеглі пристрої можуть передавати дані один одному через загальні

SDA та SCL лінії. Вони також можуть використовувати адресацію для вибору конкретного пристрою, з яким вони хочуть взаємодіяти.

I2C використовує два провідники для комунікації:

- SDA (Serial Data) – лінія передачі даних між пристроями.
- SCL (Serial Clock) – лінія тактової частоти, що використовується для синхронізації передачі даних між пристроями.

Переваги I2C включають низьку кількість провідників, можливість підключення кількох пристроїв до однієї шини, підтримку різних швидкостей передачі даних та можливість роботи з різними типами пристроїв (наприклад, майстер, так і підлеглий).

Переваги мікросхеми CH340 у порівнянні з ATmega16U2 включають:

- Вартість: Мікросхема CH340 зазвичай доступніша за ціною, що може знизити вартість виробництва Arduino-сумісних плат.
- Драйвери: Драйвери для мікросхеми CH340 широко доступні та підтримуються різними операційними системами, включаючи Windows, macOS та Linux. У той час як для ATmega16U2 можуть знадобитися додаткові драйвери, особливо для нових версій операційних систем.
- Компактність: Мікросхема CH340 має менший розмір, що дозволяє заощадити місце на платі Arduino.

У результаті вибір між CH340 і ATmega16U2 залежить від конкретних вимог і переваг виробника Arduino-сумісних плат, а також доступності і ціни кожної мікросхеми.

Основні технічні характеристики CH340

- USB-COM перехідник з рівнями TTL/CMOS та лініями: TxD, RxD.
- Підтримувані інтерфейси: RS232, RS485, RS422.
- Підтримка USB 2.0.
- Діапазон швидкості передачі від 50bps до 2Mbps.
- Живлення 5В або 3,3В.

Принцип роботи плати Arduino заснований на програмному управлінні мікроконтролером, взаємодії з периферійними пристроями та виконанні завдань відповідно до завантаженої програми.

Основні етапи роботи плати Arduino:

- Написання програми: користувач створює програму на комп'ютері за допомогою середовища розробки програмного забезпечення Arduino або іншого сумісного середовища. Програма складається з інструкцій, які визначають бажану поведінку Arduino.
- Завантаження програми: користувач завантажує програму на плату Arduino за допомогою USB-підключення. Програма записується у вбудовану флеш-пам'ять мікроконтролера.
- Виконання програми: після завантаження плати Arduino можна відключити від комп'ютера і підключити до джерела живлення. Мікроконтролер починає виконувати програму, послідовно виконуючи вказівки, описані в коді.
- Взаємодія з периферійними пристроями, Arduino може взаємодіяти з різними периферійними пристроями, такими як датчики, дисплеї, мотори та інші. Він використовує різні комунікаційні інтерфейси, такі як цифрові та аналогові входи/виходи, UART, I2C, SPI, для отримання та надсилання даних.
- Обробка даних: мікроконтролер Arduino виконує інструкції програми, обробляючи дані з периферійних пристроїв та приймаючи рішення відповідно до логіки програми. Наприклад, він може зчитувати дані з датчика і на основі них керувати двигуном або відображати інформацію на дисплеї.
- Циклічне виконання програми, Arduino виконує програму в циклі, повторюючи його виконання знову і знову. Це дозволяє Arduino реагувати на зміни зовнішніх умов, оновлювати дані та підтримувати актуальний стан системи.

2.2.1 Датчик якості повітря MQ-135

Датчик якості повітря - це пристрій, призначений для вимірювання різних параметрів та складових повітря з метою визначення рівня забруднення або певних хімічних складових. Він використовується для моніторингу та контролю якості повітря всередині приміщень, на вулиці, у промислових зонах чи інших місцях.

Датчики якості повітря можуть вимірювати різні параметри, включаючи:

- Концентрацію забруднюючих речовин: датчики можуть вимірювати рівні таких речовин, як пил, дим, газы, токсичні речовини та інші забруднювачі, які можуть бути присутніми у повітрі.
- Температуру та вологість: деякі датчики також можуть вимірювати температуру та вологість повітря, оскільки ці параметри можуть впливати на комфортність та якість повітря.
- Рівень CO₂: вимірювання вмісту вуглекислого газу у повітрі може бути важливим для оцінки якості вентиляції та виявлення можливої недостатньої циркуляції повітря.
- Рівень VOC: Деякі датчики можуть вимірювати рівень летких органічних сполук (ЛОС).
- Рівень радону: Датчики можуть також вимірювати рівень радону, радіоактивного газу, який може бути у повітрі та є потенційною загрозою для здоров'я.

При розробці приладу було прийняте рішення про застосування датчика якості повітря MQ-135 який працює сумісно з платформою Arduino. Це газовий датчик, який використовується для виявлення та вимірювання концентрації певних газів у повітрі. Він широко застосовується для контролю якості повітря та виявлення різних шкідливих газів. Даний датчик був обраний для застосування у приладі через свою доступність, популярність та характеристикам які задовольняють основні вимоги до приладу, такі як наявність моніторингу декількох різних типів забруднювачів. Приклад датчика якості повітря представлений на рис.2.4.



Рис.2.4. Датчик якості повітря MQ-135

Датчик MQ-135 складається з наступних компонентів:

- Сенсорний елемент: основним елементом датчика є сенсорний модуль, який містить напівпровідниковий матеріал, зазвичай це оксид олова (SnO_2). Цей матеріал має чутливість до певних газів і змінює свою електричну провідність при контакті з ними.
- Датчик MQ-135 також має вбудований нагрівальний елемент, який служить для підтримки оптимальної робочої температури сенсорного елемента. Це важливо для забезпечення стабільності та точності вимірювань.
- Корпус: датчик зазвичай має корпус, який захищає його внутрішні компоненти від зовнішніх впливів та забезпечує зручне монтажне та підключення до інших пристроїв.
- Електроніка та виводи: для роботи датчика необхідна електроніка, що включає підсилювальний блок, схему обробки сигналів та з'єднувальні виводи. Це дозволяє підключати датчик до мікроконтролера або іншого пристрою обробки отриманих даних.

Принцип роботи датчика MQ-135 ґрунтується на його хімічній реакції з газами які вимірюються. Датчик містить напівпровідниковий матеріал, такий як оксид олова (SnO_2), який має високу чутливість до певних газів, наприклад, аміаку (NH_3), діоксиду вуглецю (CO_2), бензолу (C_6H_6) та інших шкідливих газів. Коли шкідливі гази є в повітрі, вони взаємодіють з поверхнею напівпровідникового матеріалу датчика, що призводить до зміни його електричної провідності. Конкретні гази викликають певні хімічні реакції на

поверхні матеріалу, що призводить до зміни електричних властивостей матеріалу, таких як опір.

Датчик MQ-135 зазвичай підключається до відповідної електронної схеми та мікроконтролера, в нашому випадку це платформа Arduino, для вимірювання та обробки сигналу. Зміна електричної провідності матеріалу датчика перетворюється на відповідний сигнал напруги або струму, який може бути виміряний та інтерпретований для визначення концентрації газів у повітрі.

Схема електрична-принципова обраного датчика показана на рис.2.5.

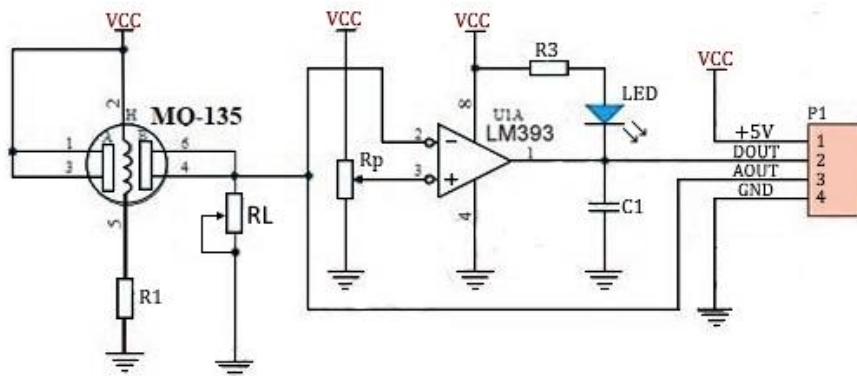


Рис.2.5. Схема електрична-принципальна датчика MQ-135.

Переваги використання датчика якості повітря:

- Широкий спектр виявлення газів: датчик виявляє та вимірює кілька різних газів.
- Висока чутливість: датчик має високу чутливість до цільових газів, що дозволяє виявляти навіть низькі концентрації цих газів у повітрі.
- Простота використання, він легко підключається до мікроконтролерів або інших пристроїв за допомогою простого аналогового інтерфейсу. Це робить його доступним для широкого кола розробників, для застосування його у системах контролю якості повітря.
- Низька вартість: MQ-135 є відносно недорогим датчиком, що робить його доступним для використання у різних проектах. Що дозволяє створювати більш доступні та економічно ефективні системи моніторингу якості повітря.

Технічні характеристики датчика якості повітря представлені у таблицях 2.2, 2.3, 2.4.

Таблиця 2.2 Стандартний робочий стан

Символ	Назва параметра	Технічні параметри
V_C	напруга кола	5В ±1%
V_H	напруга нагріву	5В ±1%
R_L	опір навантажень	опціонально
R_H	опір нагрівача	33Ω ±5%
P_H	потужність нагрівача	менше 800мВт

Таблиця 2.3 Умови використання

Символ	Назва параметра	Технічні параметри
T_{ao}	температура використання	від -10°C до 45 °C
T_{ao}	температура зберігання	від -20°C до 70°C
R_H	відносна вологість	менше 95% відносної вологості
O_2	концентрація кисню	21% (при стандартних умовах) Концентрація кисню може вплинути на чутливість

Таблиця 2.4 Характеристика чутливості

Символ	Назва параметра	Технічні параметри	Зауваження
R_S	діапазон опору чутливості	Від 30 кОм до 200 кОм	Обсяг визначення концентрації: 10ppm-300ppm NH ₃ 10ppm-1000ppm бензол 10 ppm-300 ppm алкоголь
α (200/50) NH ₃	концентрація швидкість нахилу	≤0.65	
Стандартні умови виявлення	температура:20 °C ±2 вологість:65%±5%	V_C : 5В±0.1 V_H :5В±0.1	
Час попереднього нагріву	Більше 24 годин		

На рис.2.6 показана характеристика MQ-135, чутливості концентрації повітря для кількох газів при температурі повітря 20°C, вологості 65%, опорі навантаження 20кОм, концентрації кисню 21%.

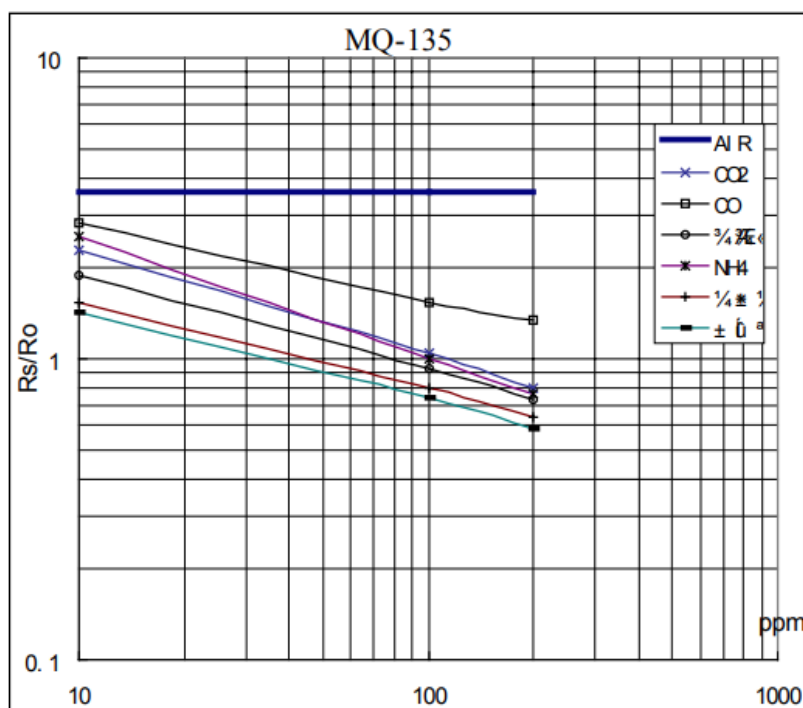


Рис.2.6. Діаграма опору датчика якості повітря при концентрації різних типів газу

Особливістю використання даного датчика якості повітря є те що перед початком застосування необхідно прогріти датчик протягом 24 годин, після чого відкалібрувати на свіжому повітрі.

2.2.2 Модуль пам'яті EEPROM

Модуль пам'яті EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) – це електронний пристрій представлений на рис.2.7, який використовується для зберігання невеликого обсягу даних у постійній пам'яті. EEPROM дозволяє записувати та стирати дані електрично, без необхідності використання зовнішнього джерела живлення.



Рис.2.7. Модуль пам'яті EEPROM

Принцип роботи модуля пам'яті EEPROM, засновано на використанні флеш-пам'яті та електричного заряду. Кожна комірка пам'яті EEPROM являє собою невеликий конденсатор, який може бути заряджений або розряджений.

Заряд в комірці пам'яті має логічне значення (зазвичай 0 або 1), яке можна прочитати або записати.

Для запису даних у пам'ять EEPROM, наприклад, мікроконтролер або інший пристрій подає напругу на відповідну комірку пам'яті. Це заряджає або розряджає конденсатор, змінюючи стан комірки. Запис даних може відбуватися як по одному осередку так і пакетами, залежно від специфікацій модуля пам'яті EEPROM.

Переваги модуля пам'яті EEPROM включають:

- Незворотне зберігання даних, дані зберігаються навіть після вимкнення живлення.
- Швидкий доступ до даних, читання та запис відбуваються швидко і без механічних рухомих частин.
- Маленький об'єм та низьке енергоспоживання, модулі EEPROM зазвичай мають компактний розмір та низьке енергоспоживання.

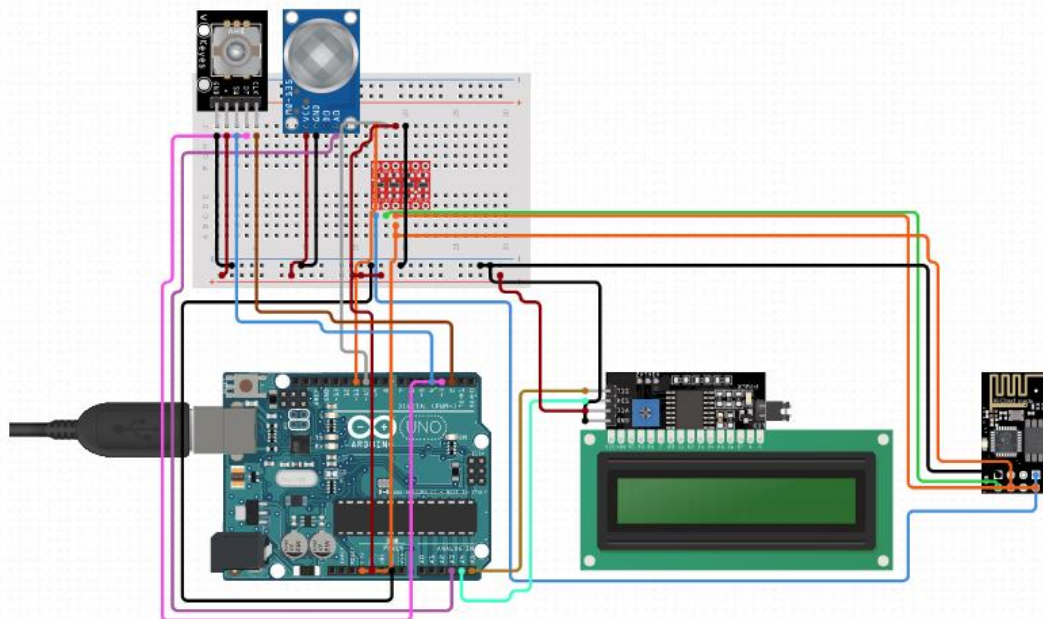


Рис.2.9. Схема підключення складових до Arduino

На рис.2.9 показана схема підключення комплектуючих частин с яких складається система віддаленого визначення якості повітря.

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНКОВО-ПРОГРАМНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок додаткових параметрів приладу

Для отримання більших відомостей про можливість системи віддаленого визначення якості повітря потрібно провести розрахунки таких параметрів як:

- Індекс якості повітря AQI в приміщенні за проміжок часу.
- Швидкість вентиляції.
- Абсолютна та відносна похибка.
- Потужність приладу.

Спочатку розрахуємо індекс якості повітря в приміщенні за 24 години.

Дано:

- $S=18\text{м}^2$
- Рівень $\text{CO}_2=550\text{ppm}$ (в табл.3.1)
- Рівень $\text{NH}_3=200\text{ppm}$ (в табл.3.1)

1) Визначимо індекс якості повітря для вуглекислого газу за 24 години:

$$\text{AQI} = \frac{(C - C_{\text{low}})}{(C_{\text{high}} - C_{\text{low}}) * (I_{\text{high}} - I_{\text{low}}) + 10}$$

AQI – індекс якості повітря;

C – вимірювана концентрація забруднювача;

C_{low} і C_{high} – нижній та верхній пороги концентрації забруднювача;

I_{low} і I_{high} – нижня та верхня межа індексу якості повітря;

$$\text{AQI} = \frac{(550 - 200)}{(2000 - 200) * (500 - 10) + 10} = \frac{350}{1800 * 490 + 10} = \frac{150}{882010} = 4$$

AQI=4(в табл.3.1)

2) Визначимо індекс якості повітря для аміаку за 24 години:

$$\text{AQI} = \frac{(C - C_{\text{low}})}{(C_{\text{high}} - C_{\text{low}}) * (I_{\text{high}} - I_{\text{low}}) + 10}$$

$$AQI = \frac{(200 - 100)}{(1000 - 100) * (500 - 10) + 10} = \frac{100}{1800 * 490 + 10} = \frac{100}{441010} = 2.3$$

AQI=2.3(в табл.3.1)

Таблиця 3.1 Індекс якості повітря для вуглекислого газу та аміаку.

AQI	CO ₂ (за 24 години)	NH ₃ (за 24 години)
Хороший (10-50)	0-200	0-100
Задовільний (51-100)	201-400	101-200
Помірно забруднений (101-200)	401-800	201-400
Високий (201-300)	801-1200	401-600
Дуже високий (301-400)	1200-1800	601-900
Небезпечний (401-500)	1800+	900+

3)Вирахуємо об'єм приміщення яке аналізується:

$$V = A * B * H = 4.5 * 4 * 4 = 72\text{м}^3$$

A-довжина приміщення;

B-ширина приміщення;

H-висота приміщення;

4) Розрахуємо об'єм повітря який може перемістити приміщення за 1 год об'ємом 73м³:

$$L = V * v$$

Дані для V(об'єм) та v(швидкість) беремо з таблиці 3.2

Наприклад, при використанні каналів 100x150 мм при швидкості 3 м/с витрата повітря становитиме 162 м³/год

$$V=72\text{м}^3$$

$v = 3 \text{ м/с}$ при використанні вентиляційного каналу розміром $100 \times 150 \text{ мм}$

$$L = 72 * 3 = 216 \text{ м}^3$$

Об'єм повітря яке може переміщуватись з приміщення об'ємом 72 м^3 за 1 годину складає $V = 216 \text{ м}^3$

Таблиця 3.2 Розхід повітря приміщення відносно повітропроводу

Ширина x висота, мм	Росхід повітря в м ³ /год при швидкості в м/сек							
	1	2	3	4	5	6	7	8
100x150	54	108	162	216	270	324	378	432
100x200	72	144	216	288	360	432	504	576
150x150	81	162	243	324	405	468	567	648
150x200	108	216	324	432	540	648	756	864
150x250	135	270	405	540	675	810	945	1080
200x200	144	288	432	576	720	864	1008	1152
200x250	180	360	540	720	900	1080	1260	1440
200x300	216	432	648	864	1080	1296	1512	1728
250x250	225	450	675	900	1125	1350	1575	1800
250x300	270	540	810	1080	1350	1620	1890	2160
200x400	288	576	864	1152	1140	1728	2016	2304
300x300	324	648	972	1296	1620	1944	2268	2592
250x400	360	720	1080	1440	1800	2160	2520	2880
300x400	432	864	1296	1728	2160	2592	3024	3456
250x500	450	900	1360	1800	2250	2700	3150	3600
300x500	540	1080	1620	2160	2700	3240	3780	4320

5) Необхідно визначити площу перерізу повітроводів, встановлених у систему вентиляції. Вона обчислюється за такою формулою:

$$S = \pi r^2 = \frac{\pi * D^2}{4}$$

S – площа перерізу повітроводу;

π – число «пі», математична константа, що дорівнює 3,14;

r- радіус перерізу повітроводу;

D - діаметр перерізу повітроводу;

Припустимо, що діаметр повітроводу круглої форми дорівнює 140 мм, підставляємо його у формулу і отримуємо:

$$S = \pi r^2 = \frac{3.14 * (0.14 * 2)^2}{4} = 0.219 \text{ м}^2$$

б) Знаючи площу перерізу та витрату, можемо обчислити швидкість.

Формула розрахунку швидкості повітряного потоку:

$$V = \frac{L}{3600 * S}$$

V – швидкість повітряного потоку, (м/с);

L - витрата повітря, (м³/ год);

S — площа перерізу повітряних каналів (повітропроводів) (м²);

Отримаємо:

$$V = \frac{216}{3600 * 0.219} = \frac{216}{788.4} = 0.274 \text{ м/с}$$

7) Розрахуємо абсолютну похибку датчика якості повітря:

$$\Delta X = X - X_d$$

ΔX – абсолютна похибка;

X – величина яка вимірюється;

X_d – дійсна величина ;

$$\Delta X = 550 - 600$$

Похибка для датчика MQ-135, $\Delta X = 50 \text{ ppm}$

8) Розрахуємо відносну похибку датчика якості повітря:

$$\delta = \frac{\Delta X}{X_d} * 100\% = \frac{50}{600} * 100\% = 8\%.$$

Відносна похибка для датчика якості повітря дорівнює 8%.

9) Розрахуємо потужність системи віддаленого визначення якості повітря:

$$P = U * I = 5 * 0.67 = 3.35 \text{ Вт}$$

3.2 Блок схема та алгоритм програми керування Arduino

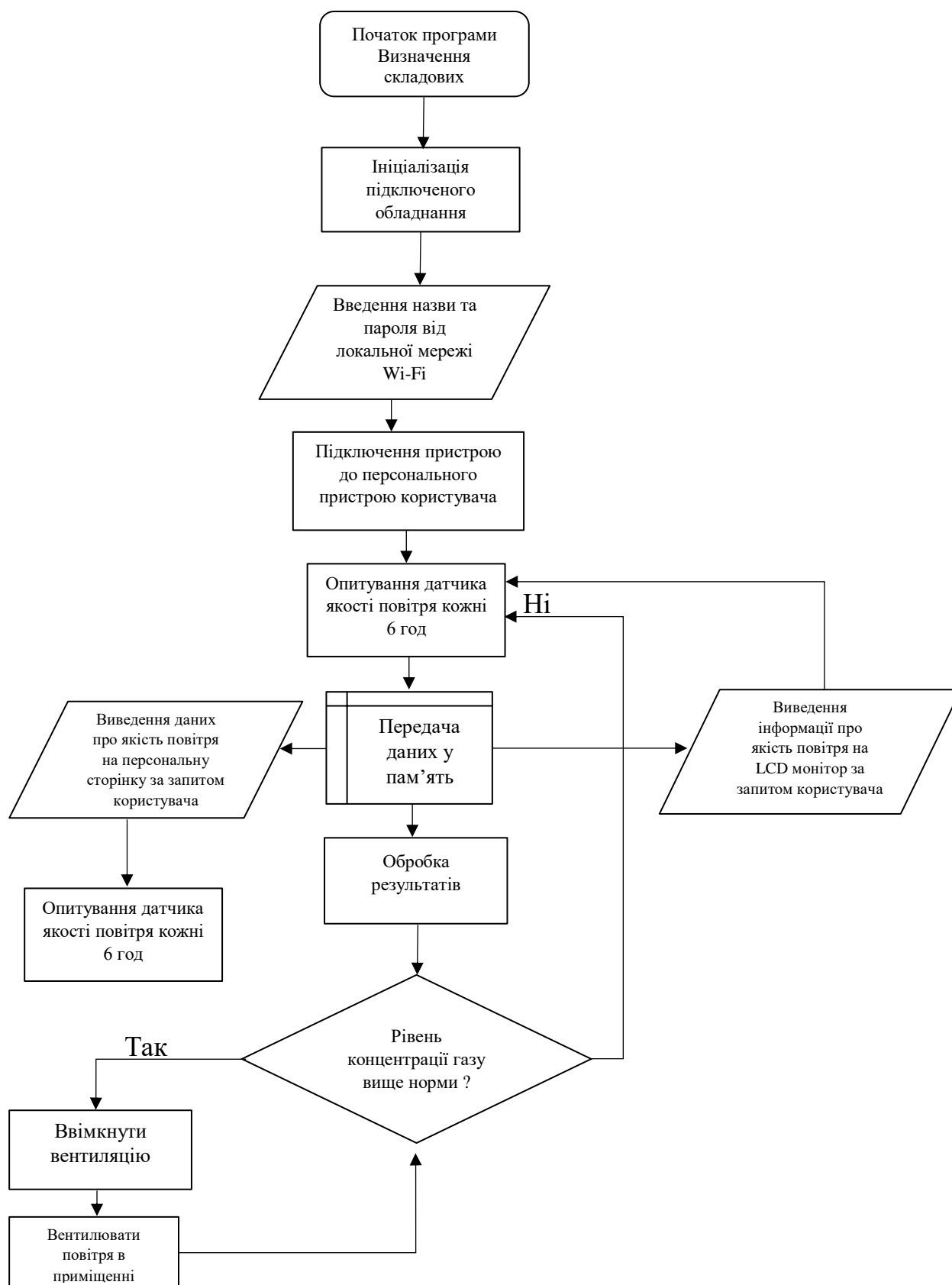


Рис.3.1. Блок схема алгоритму роботи програми керування Arduino

Робота програми та приладу в цілому, починається з ініціалізації системи та завантаження програми яка зберігається у пам'яті пристрою, надалі програма ініціює підключені до приладу–пристрої, такі як: LCD екран, модуль бездротової мережі Wi-Fi, модуль пам'яті, за допомогою команди «`#include`». Після завантаження системи та ініціалізації пристроїв, програма виконує команди по керуванню датчиком якості повітря та збору даних, оброблює отримані дані, якщо рівень концентрації забруднення відповідає нормам якості які вказані у програмі тоді виконується наступна команда, якщо ж якість концентрації забруднення вище вказаного рівня, тоді пристрій вмикає вентиляцію для зменшення концентрації забруднення. Незалежно від отриманих результатів, програма відправляє їх у модуль пам'яті за допомогою команди та змінної «`float airQuality`», надалі є декілька можливих варіантів роботи пристрою:

1. Користувач може дізнатися дані про якість повітря через персональний комп'ютер на сторінці користувача.
2. Користувач може дізнатися дані про якість повітря через меню на LCD дисплеї.

Якщо користувач хоче дізнатися про якість повітря через персональний комп'ютер, тоді програма починає алгоритм зв'язку між пристроєм та комп'ютером, після чого користувач має змогу отримати результати аналізів про якість повітря завдяки команді «`void sendToServer(float data)`», яку виконує програма. Або користувач має можливість дізнатися про якість повітря через меню на екрані LCD, в цей момент програма виконує команду з виводу даних із модуля пам'яті на екран.

3.3 Код керування Arduino

```

#include "Arduino.h"
#include "ESP8266.h"
#include "LiquidCrystal_PCF8574.h"
#include "Encoder.h"
#include "Button.h"
// Визначення пінів
#define WIFI_PIN_TX 11
#define WIFI_PIN_RX 10
#define MQ135_5V_PIN_AOUT A3
#define ROTARYENCL_PIN_CLK 2
#define ROTARYENCL_PIN_D 3
#define ROTARYENCL_PIN_S1
//Глобальні змінні та визначення
// =====
//vvvvvvvvvvvvvВВЕДІТЬ НАЛАШТУВАННЯ ВАШОЇ МЕРЕЖІ WI-FI vvvvvvvvv
//
const char *SSID = "WIFI-SSID"; // Введіть назву Вашої мережі
const char *PASSWORD = "PASSWORD»; // Введіть пароль від мережі Wi-Fi
//
// =====
char* const host = "www.google.com";
int hostPort = 80;
#define LCD_ADDRESS 0x3F
//#define LCD_ADDRESS 0x27
// Define LCD characteristics
#define LCD_ROWS 2
#define LCD_COLUMNS 16
#define SCROLL_DELAY 150
#define BACKLIGHT 255
long rotaryEncIOldPosition = 0;
// Ініціалізація об'єкта
ESP8266 wifi(WIFI_PIN_RX,WIFI_PIN_TX);
LiquidCrystal_PCF8574 lcdI2C;
Encoder rotaryEncI(ROTARYENCL_PIN_D,ROTARYENCL_PIN_CLK);
Button rotaryEncIButton(ROTARYENCL_PIN_S1);
// Визначаємо змінні для тестового меню
const int timeout = 10000; //define timeout of 10 sec
char menuOption = 0;
long time0;

```

```

const int MQ_PIN = A3;
const float RL_VALUE = 5.0;
void loop() {
    // Зчитування даних з модуля пам'яті
    float airQuality = readFloatFromEEPROM(0);
    // Відправка даних через Wi-Fi
    sendToServer(airQuality);
    delay(5000); // Задержка 5 секунд
}
float readAirQuality() {
    int sensorValue = analogRead(MQ_PIN);
    float voltage = sensorValue * (5.0 / 1023.0);
    float ratio = voltage / 5.0;
    float resistance = (5.0 - voltage) / voltage * RL_VALUE;
    float airQuality = 1000 / resistance;
    return airQuality;
}
void setup()
{
    // Застосовуємо послідовний монітор для перегляду друкованих повідомлень
    Serial.begin(9600);
    while (!Serial); // Чекаємо підключення послідовного порту. Потрібен для рідного USB
Serial.println("start");
    wifi.init(SSID, PASSWORD);
    // Ініціюємо рідкокристалічний дисплей
    lcdI2C.begin(LCD_COLUMNS, LCD_ROWS, LCD_ADDRESS, BACKLIGHT);
    rotaryEncIButton.init();
    pinMode(ROTARYENCL_PIN_S1, INPUT_PULLUP);
    menuOption = menu();
}
void loop()
{
    if(menuOption == '1') {
        // ESP8266-01 - Wifi Module - Test Code
        //Send request for www.google.com at port 80
        wifi.httpGet(host, hostPort);
        char* wifiBuf = wifi.getBuffer();
        //for(int i=0; i< 250 ; i++)
        // Serial.print(wifiBuf[i]);
        char *wifiDateIdx = strstr (wifiBuf, "Date");
        for (int i = 0; wifiDateIdx[i] != '\n' ; i++)
            Serial.print(wifiDateIdx[i]);
    }
}

```

```

}
else if(menuOption == '2') {
// LCD 16x2 I2C - Test Code
//Рідкокристалічний дисплей відображає зображення за вашим вибором
lcdI2C.clear();
lcdI2C.print(" Circuito.io ");
lcdI2C.selectLine(2);
lcdI2C.print(" Rocks! ");
delay(1000);
}
else if(menuOption == '3')
{
}
else if(menuOption == '4') {
long rotaryEncI newPosition = rotaryEncI.read();
bool rotaryEncIButtonVal = rotaryEncIButton.onPress();
if (rotaryEncI newPosition != rotaryEncIOldPosition || rotaryEncIButtonVal) {
rotaryEncIOldPosition = rotaryEncI newPosition;
Serial.print(F("Pos: "));
Serial.print(rotaryEncI newPosition);
Serial.print(F("\tButton: "));
Serial.println(rotaryEncIButtonVal);
}
}
if (millis() - time0 > timeout)
{
menuOption = menu();
}
}
// Функція меню для вибору компонентів для перевірки
char menu()
{
Serial.println(F("\nWhich component would you like to test?"));
Serial.println(F("(1) ESP8266-01 - Wifi Module"));
Serial.println(F("(2) LCD 16x2 I2C"));
Serial.println(F("(3) Hazardous Gas Sensor - MQ-135"));
Serial.println(F("(4) Rotary Encoder Module"));
Serial.println(F("(menu) send anything else or press on board reset button\n"));
while (!Serial.available());
}
Wire.begin();
// Запис даних в модуль пам'яті AT24C256

```

```
float airQuality = readAirQuality();
int address = 0; // Адреса початку запису данх
writeFloatToEEPROM(address, airQuality);
}
void loop() {
    // Зчитування даних із модуля пам'яті
    float airQuality = readFloatFromEEPROM(0);
    // Відправка даних на комп'ютер через Wi-Fi
    sendToServer(airQuality);
    delay(5000); // Затримка 5 секунд
}
    return c;
}
}
}
```

ВИСНОВКИ

1. У дипломній роботі розроблено систему віддаленого визначення якості повітря яка дозволяє аналізувати повітря на наявність шкідливих газів щоб запобігти шкоду здоров'ю живим організмам.
2. Розроблено схему електричну принципіальну, пристрою визначення якості повітря, яка відповідає вимогам компактності та мобільності.
3. Застосування у схемі модульних датчиків та контролерів дозволило знизити її вартість.
4. Пристрій інтегрується у систему вентиляції повітря, що надає змогу приладу контролювати якість повітря.
5. Написано програму для мікроконтролера, що забезпечує отримання даних про якість повітря з датчика, зчитування та запис результатів у модуль пам'яті, передачу даних користувачеві через бездротову мережу Wi-Fi.
6. Прилад здійснює опитування датчика якості повітря кожні 6 годин, та зберігає результати вимірювань в пам'ять, об'ємом 256кб.

Недоліками приладу є відсутність даних про температуру та вологість повітря, що дозволяє підвищити точність результатів датчика, а також відсутність можливості аналізу повітря на наявність частин пилу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Боголюбов В. М. Моніторинг довкілля: підр. для студ. вищих навч. закладів. [2-ге вид.], —перероб. та доп./ Боголюбов В. М., Клименко М. О., Мокін В. Б. — Вінниця: ВНТУ, 2010. — 232 с.
2. Abhishek Tiwary. Air Pollution: Measurement, Modelling And Mitigation [4th edition], /Abhishek Tiwary, Ian Williams. — 2018. — 696с.
3. Kathleen Hess-Kosa. Indoor Air Quality: Sampling Methodologies / —2002. — 320с.
4. Roy M. Harrison. Handbook of Air Pollution Analysis / —2011. — 656с.
5. Simon Monk. Programming Arduino Next Steps: Going Further with Sketches [2nd edition], — 2017. — 272 с.
6. Beckman C2 Oxygen Analyzer [Електронний ресурс]
Режим доступу до ресурсу : <https://digital.sciencehistory.org/works/9880vr88p>
7. Beckman Model 908 Oxidants Analyzer [Електронний ресурс]
Режим доступу до ресурсу : <https://digital.sciencehistory.org/works/n583xv33m>
8. Beckman Model 6800 Air Quality [Електронний ресурс]
Режим доступу до ресурсу : <https://digital.sciencehistory.org/works/474299142>
9. AirVisual Node [Електронний ресурс]
Режим доступу до ресурсу: <https://myecohub.com/product/air-visual-node-all-in-one-air-quality-monitor/>
Режим доступу до ресурсу: <https://smartairfilters.com/in/en/product/air-visual-node-air-quality-monitor/>
10. Arduino Uno programming platform [Електронний ресурс]
Режим доступу до ресурсу: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno>
11. MQ-135 GAS SENSOR [Електронний ресурс]
Режим доступу до ресурсу: <https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/Gas/SNS-MQ135/resources/SNS-MQ135.pdf>
12. AT24C256 EEPROM's [Електронний ресурс]

Режим доступа до ресурсу: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/doc0670.pdf>