

К.т.н., доцент Павловський В.І., студент Кравченко Л.О.

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**ПОРТАТИВНА КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ
ЯКОСТІ ПОВІТРЯ В ТИМЧАСОВО ОБЛАДНАНИХ
ПРИМІЩЕННЯХ З ВИСОКИМИ ВИМОГАМИ ДО СТАБІЛЬНОСТІ
МІКРОКЛІМАТУ**

Abstract

Volodymyr I. Pavlovskyi, assoc. prof., PhD; Leonid Kravchenko, student
Air quality monitoring system based on Arduino and low-cost sensors

This paper describes the design of a portable and accessible air quality monitoring system developed on the Arduino platform with sensor modules. The system is aimed for usage in temporary medical facilities, burn units, and improvised shelters. The main goal is to provide affordable and open-source hardware and software for volunteers, allowing autonomous operation, basic logging, and optional network connectivity.

Вступ

В умовах повномасштабної війни росії проти України потреба у спеціалізованих лікарняних приміщеннях, зокрема в опікових палатах та тимчасових медичних ізоляторах, постійно зростає [1]. Такі приміщення вимагають контрольованої якості повітря і стабільного мікроклімату, адже чисте повітря і правильний температурно-вологісний режим є критичними для загоєння, профілактики інфекцій та комфорту пацієнтів [2].

Одночасно актуальним є моніторинг повітря в обладнаних та імпровізованих бомбосховищах, де через скупчення людей, обмежену вентиляцію або наслідки обстрілів може швидко погіршуватись екологічна ситуація (пил, дим, підвищений рівень CO₂) [3].

На ринку доступні системи контролю якості повітря, однак вони мають кілька суттєвих обмежень:

- прив'язка до пропрієтарних екосистем та закритого програмного забезпечення, що обмежує можливості повсюдного розгортання;
- висока вартість комерційних рішень.

При цьому, недорогі модулі та пристрої, що є на ринку, дозволяють отримати достатню точність вимірювань показників повітря [4].

У зв'язку з цим актуальним є створення відкритої, дешевої та мобільної системи контролю якості повітря з використанням доступних модулів.

Порівняльні характеристики запропонованої та існуючих систем контролю якості повітря наведено в Таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняння систем контролю якості повітря

Критерій / Система	Ajax LifeQuality	TSI AirAssure (8144 series)	Запропонована система
Сфера застосування	Побут, офіси	Охорона здоров'я	Тимчасові медичні приміщення, опікові палати, укриття
Тип сенсорів	Електро-хімічний CO ₂ , цифрові датчики T/H	Лазерні сенсори часток, NDIR-CO ₂ , газові сенсори (VOC, CO, HCHO), T/H	Лазерний датчик часток, NDIR-CO ₂ , T/H, VOC/CO ₂
Параметри вимірювання	CO ₂ , температура, вологість	PM2.5, PM10, VOCs, CO ₂ , CO, формальдегід, температура, вологість, тиск	PM2.5, PM10, CO ₂ , температура, вологість, VOC/CO
Інтерфейс зв'язок	Jeweller/Wings, мобільний застосунок	Wi-Fi / Ethernet, дашборд, хмарна аналітика	Локальний (LED/звуковий) сигнал, опціонально Wi-Fi або LoRa, можливість передачі даних
Автоматизація	Інтеграція з охоронною системою	Інтеграція з корпоративними /лікарняними системами	Подача сигналу тривоги при перевищенні порогів; можливість віддалених сповіщень
Збереження та аналіз	Історія у застосунку Ajax	Хмарне сховище, звіти, аналітика	Локальне збереження логів у форматі CSV; опціональна передача даних на сервер
Вартість, грн (орієнтовно)	8000	40000	1000 (залежно від конфігурації)

Як видно з Таблиці 1, система Ajax LifeQuality, орієнтована на побутове використання, має обмежений набір параметрів і закриту екосистему, що ускладнює інтеграцію в спеціалізовані сценарії.

Натомість система TSI AirAssure (8144 series) пропонує професійний рівень точності та широкий набір вимірюваних характеристик, однак висока вартість та складність інфраструктури роблять її малодоступною для швидкого розгортання у тимчасових медичних приміщеннях.

Таким чином, виникає потреба у проміжному рішенні – відкритій і доступній системі, яка забезпечує критично необхідний набір вимірювань при значно нижчій вартості системи.

Постановка задачі

Суть задачі полягає в розробці портативної, доступної та модульної системи контролю якості повітря, що:

- складається з поширених, недорогих модулів та компонентів (датчики CO₂, PM2.5, температури, вологості, VOC);
- реалізується на мікроконтролерній платформі Arduino з прошивкою на C++;
- має просту апаратну конструкцію, яку можуть зібрати та налаштувати волонтери без спеціалізованої підготовки;
- забезпечує мінімальний, але достатній набір вимірювань для практичного контролю;
- підтримує локальні сценарії роботи (автономно від батареї або від мережі 230 В з можливістю збереження логів);
- має опціональне підключення до мережевих інструментів (Wi-Fi/LoRa/mesh) для централізованого моніторингу;
- оснащується простим інтерфейсом оповіщення (сигналізація, LED, мобільні повідомлення);
- є відкритою по апаратній і програмній частинах (open-hardware/open-software).

Термінологія

PM2.5/PM10 – тверді частки у повітрі діаметром відповідно до 2.5 та 10 мкм.

CO₂ – вуглекислий газ, основний показник вентиляції приміщень.

VOC – леткі органічні сполуки, показник забрудненості повітря.

LoRa – протокол бездротової передачі даних на великі відстані з низьким енергоспоживанням.

Опис системи та алгоритму роботи

Загальна структура системи контролю якості повітря зображена на рис. 1.

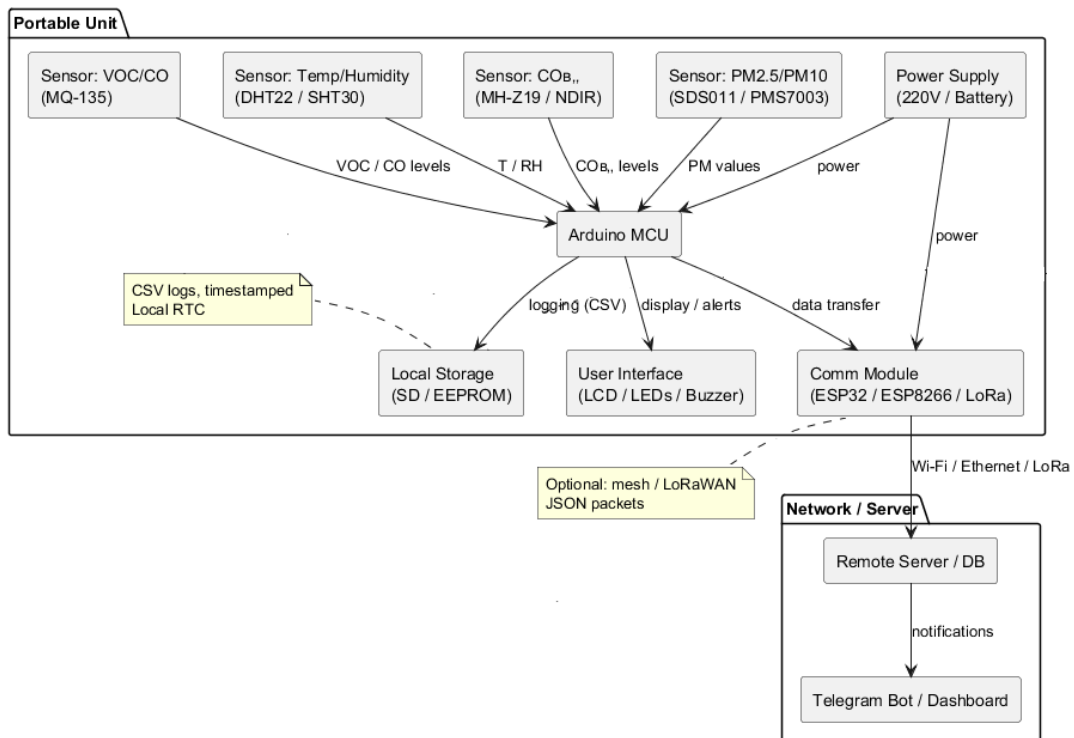


Рис.1. Структура системи контролю якості повітря

Система включає наступні модулі:

1. Мікроконтролер Arduino – виконує зчитування даних із сенсорів, їх обробку та формування логів.
2. Сенсорні модулі – широкодоступні датчики:
 - лазерний датчик PM2.5/PM10 (наприклад, SDS011, PMS7003);
 - датчик CO₂ (MH-Z19, аналогічний NDIR);
 - датчики температури та вологості (DHT22, SHT30);
 - додатково – датчик VOC/CO (наприклад, ZP16).
3. Комунікаційний модуль – Wi-Fi (ESP8266/ESP32) або LoRa для мережевого підключення.
4. Інтерфейс користувача – світлодіоди індикації, звуковий сигналізатор.
5. Підсистема живлення – робота від батареї або адаптера 220 В.

Алгоритм роботи системи:

1. Періодичне зчитування показників сенсорів (циклічно, з інтервалом 1-60 с);
2. Попередня фільтрація та усереднення даних для зменшення шуму;
3. Збереження логів у локальну пам'ять у форматі CSV;
4. Порівняння з граничними порогоми;
5. У випадку перевищення – подання сигналу тривоги (LED/звуковий/повідомлення);

6. При підключенні до мережі – передача даних на сервер або у Telegram-бот.

Усі наведені в якості прикладів датчики мають діапазони живлення, що допускають використання напруги 5В для живлення усіх модулів, що дозволяє спростити блок живлення.

Доцільним виглядає використання DIP перемикача для вимкнення непотрібних на даний час модулів (наприклад-дисплей, модуль зв'язку тощо) для зниження споживання.

Датчик часток PMS7003 обрано за результатами дослідження [5] за малу різницю вимірювань між окремими виробами (Рис. 2) і високу точність вимірювань.

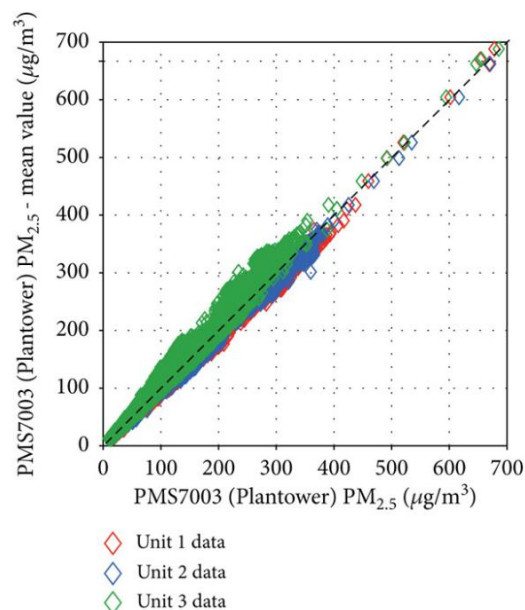


Рис. 2. Розкид показань окремих модулів PMS7003

Висновки

В роботі запропонована портативна система контролю якості повітря на базі Arduino та недорогих сенсорних модулів. Система здатна забезпечити моніторинг базових параметрів (PM_{2.5}, PM₁₀, CO₂, температура, вологість, VOC) та може бути зібрана з недорогих елементів волонтерами без спеціалізованої підготовки.

Запропоноване рішення є відкритим за апаратною і програмною частинами, що дозволяє легко поширювати його та адаптувати до різних сценаріїв (опікові палати, укриття, тимчасові медичні приміщення). Наступним кроком є виготовлення прототипу, тестування у реальних умовах і підготовка інструкцій.

Література

1. The Lancet, 2023 Russia's invasion of Ukraine: an attack on health
2. Rowan MP, Cancio LC, Elster EA et al. — Burn wound healing and treatment: review (Burns, review, 2015)
3. Zalakeviciute R., et al. — War impact on air quality: evidence from Ukraine (Sustainability / MDPI), 2022
4. PubMed, 2018 Applications of low-cost sensing technologies for air quality monitoring and exposure assessment: How far have they gone?
5. Evaluation of Low-Cost Sensors for Ambient PM_{2.5} Monitoring - Modzel, P., і співавт., Journal of Sensors, 2018.