

УДК 697.95

**МОНІТОРИНГ ТА КОНТРОЛЬ СТАНУ ПОВІТРЯ В ЛАБОРАТОРІЇ ПО  
МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ****Дорошенко А. Ю., Пилипенко Ю. М.**

Київський національний університет технологій та дизайну

**Мета.** Дослідження проблеми контролю концентрації CO<sub>2</sub> та розробка моделі системи виявлення небезпечних концентрацій вуглекислого газу в приміщеннях дрібних підприємств та майстерень.

**Методика.** У роботі використана методика моніторингу та передачі даних на базі високоінтегрованих рішень для роботи з Wi-Fi.

**Результати.** Проведено дослідження систем моніторингу CO<sub>2</sub> датчиків. Впровадження моделі дозволить поліпшити умови роботи персоналу, а також виявити проблеми в системі вентиляції організації.

**Наукова новизна.** Розроблено робочу модель для моніторингу концентрації CO<sub>2</sub> в невеликих майстернях та виробництвах, яка є гнучкою та фінансово доступною.

**Практична значимість.** Дана модель є простим і економічним рішенням для отримання даних з датчиків через мережу інтернет.

**Ключові слова:** моніторинг, система, контроль, інтернет речі, Arduino IDE, Blynk, ESP-8266

Вуглекислий газ може накопичуватися в приміщеннях. Якщо приміщення не має вентиляційного отвору або вентиляція працює не ефективно, то концентрація вуглекислого газу буде постійно збільшуватися. В якийсь момент в невентильованому приміщенні концентрація вуглекислоти може досягти рівня 5000 ppm і дихати таким повітрям стане небезпечно для життя.

Велике дослідження по визначенню гранично допустимої концентрації вуглекислого газу в приміщеннях провела О. В. Єлісеєва [1]. Найголовнішим висновком є те, що концентрація вуглекислого газу в житлових і громадських приміщеннях не повинна перевищувати 1000 ppm, а середній вміст не повинен перевищувати 500 ppm.

Проблема складності виконуваних заходів щодо визначення концентрації CO<sub>2</sub> стала відома досить давно і на зміну аналоговим методам прийшли цифрові портативні пристрої – газоаналізатори.

Газоаналізатор – це пристрій, призначений для вимірювання якісного і кількісного складу суміші газів. Існує два типи газоаналізаторів: автоматичні і ручні.

Ручні ГА найчастіше використовуються для лабораторних і контрольних аналізів. Робота з подібними пристроями вимагає певних навичок, а процес взяття проби займає

досить тривалий час (5-10 хвилин). Автоматичні газоаналізатори безперервно вимірюють фізико-хімічний або фізичний склад суміші газів.

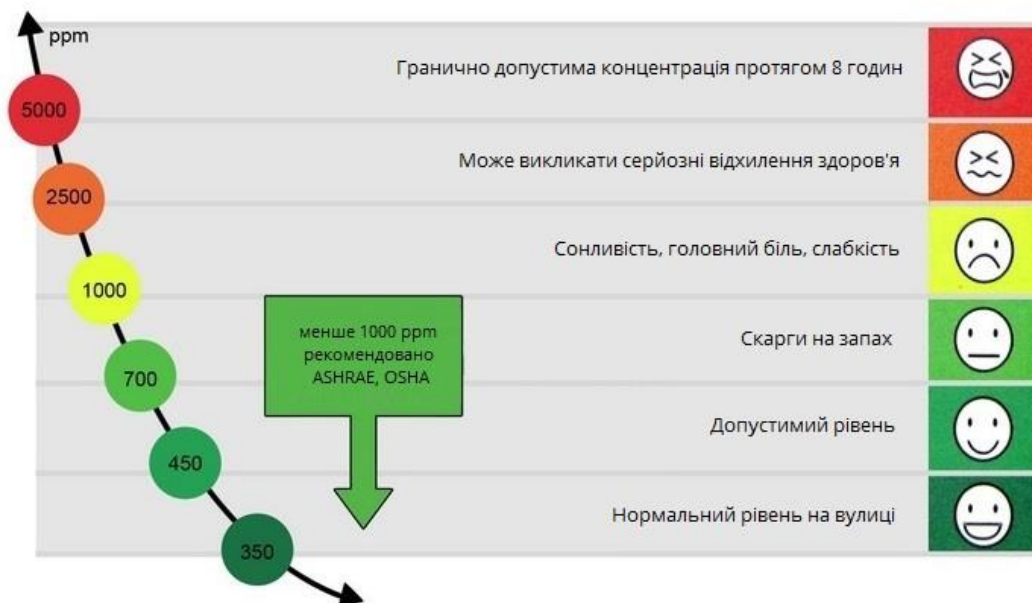


Рис. 1. Залежність концентрації вуглекислого газу і його впливу на здоров'я

Існує 3 типи газоаналізаторів:

1. Хімічні (об'ємно-манометричні) – засновані на фізичних методах аналізу з допоміжною хімічною реакцією, за допомогою якої і визначається обсяг газової суміші.

2. Фізико-хімічні – засновані на фізичних методах аналізу з допоміжними фізико-хімічними процесами, а саме:

2.1. Термохімічні процеси – проводиться вимірювання теплового ефекту реакції каталітичного горіння / окислення газу.

2.2. Електрохімічні процеси – можна визначити концентрацію газу в суміші за значенням електричної провідності розчину, який поглинув цей газ.

2.3. Фотоіонізаційні процеси – вимірюється сила струму, який викликаний іонізацією молекул газу фотонами, випромінюваними УФ лампами.

2.4. Фотоколориметричні процеси – концентрація вимірюється за допомогою зміни кольору окремих речовин, при їх реакції з необхідним компонентом газової суміші.

3. Фізичні – засновані тільки на фізичних методах аналізу.

3.1. Термокондуктометричні газоаналізатори – засновані на вимірі теплопровідності газів.

3.2. Денсиметричні – засновані на вимірі щільності газів.

3.3. Магнітні – визначають в основному тільки концентрацію кисню, володіють більшою магнітною сприйнятливістю.

3.4. Оптичні – засновані на вимірі оптичної щільності газової суміші.

#### **Постановка завдання**

Проводячи відбір портативних газоаналізаторів, які могли б підійти для оснащення приміщень, головним критерієм була вартість і простота в управлінні.

Наприклад, газоаналізатор вуглекислого газу Testo 440 (32 528,37 грн.) за всіма технічними параметрами значно краще багатьох інших аналогічних приладів. Але установка газоаналізаторів такого порядку не виправдана, в силу своєї високої вартості.

Інший приклад – Venetech GM8802(3 834 грн.). Цей пристрій має більш скромний набір технічних характеристик, але він, безсумнівно, більше підходить для побутового використання.

Були проаналізовані інші пристрої з детектування вуглекислого газу. Вартість пропонованих пристроїв варіювалася від 2000 грн і вище, що є найбільшим мінусом більшості для них.

Для організації цілісної стійкої системи з моніторингу вмісту CO<sub>2</sub> в повітрі необхідні прилади, що не тільки адекватно реєструють концентрацію, але і привабливі за ціною – щоб установкою подібного інформаційного комплексу зацікавилися якомога більше підприємств.

Отже, для системи аналізу вмісту CO<sub>2</sub> в повітрі визначальними параметрами є:

- низьке енергоспоживання;
- стабільність роботи;
- зручність використання;
- гнучкість і економічність
- економічна доступність

Розробка дешевої автоматизованої системи виявлення небезпечних концентрацій CO<sub>2</sub> саме в приміщеннях дрібних підприємств, дасть можливість виявляти проблеми в системі вентиляції приміщень і запобігати перевищенню норми концентрації CO<sub>2</sub>.

#### **Результати досліджень**

Коли іде мова про автоматизацію відслідковування стану повітря, використання традиційних дротових систем передачі даних є недоцільним з економічних причин. В

цьому випадку застосування бездротових рішень є найбільш прийнятним варіантом – в результаті значно знижується вартість впровадження системи.

Тож вирішено було зібрати модель, яка дозволить слідкувати за показниками датчиків зі свого смартфона чи комп'ютера, підключеного до мережі інтернет, створивши бездротову мережу на базі технології Wi-Fi.

В рамках роботи був відвіданий майстер-клас від embedded-інженера компанії Blynk Володимира Шиманського «Особливості ESP8266 та робота з ним в Arduino IDE», який відбувся 2 листопада 2018 року в майстерні HackLab в Києві.

Після дослідження документації, наявних рішень та матеріалів майстер-класу було вирішено взяти мікроконтролер ESP8266 як основну платформу з під'єднаним до нього датчиком CO<sub>2</sub>.

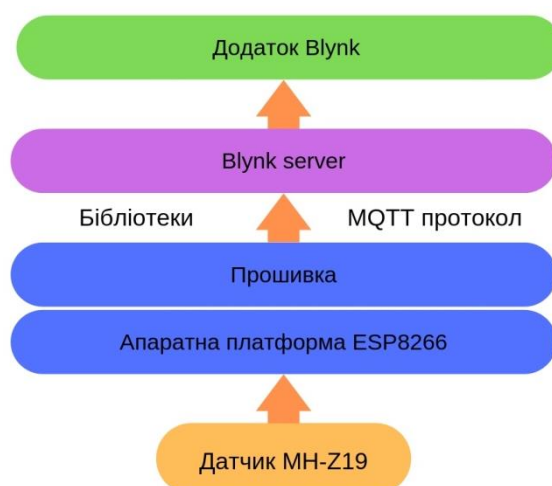


Рис. 2. Схема побудованої моделі

Мікроконтролер ESP8266 – це SoC (від англ. System-on-a-chip) – електронна схема, яка вміщує функціональні складові цілого пристрою. Це повний і самодостатній модуль Wi-Fi для мережевих рішень, що дозволяє застосовувати його без зовнішнього контролеру [2, 3].

Характеристики мікроконтролера ESP8266:

- процесор: одноядерний Tensilica LX106 з частотою до 160 MHz;;
- підтримувані стандарти Wi-Fi: 802.11 b / g / n;
- підтримувані типи шифрування WEP, WPA, WPA2;
- підтримувані режими роботи: Клієнт(STA), Точка доступу(AP), Клієнт + Точка доступу(STA+AP);

- інтерфейси: 1 ADC, I2C, UART, SPI, PWM;
- живлення 3,0 ... 3,6 В. Споживання до 200 мА в режимі передачі, 60 мА в режимі прийому. Режим зниженого споживання зі збереженням з'єднання з точкою доступу ~ 1 мА.

Основне застосування ESP8266 полягає в управлінні різноманітними приладами через бездротові мережі.

В даній моделі підключення нашого контролера до сервера та клієнтів (наприклад смартфона) реалізується за допомогою протоколу MQTT.

#### Протокол MQTT.

Спрощений мережевий протокол, що працює на TCP/IP. Протокол підключення типу машина до машини (m2m) має модель публікація/підписка [4].

Передача інформації здійснюється наступним чином.

1. Перший клієнт (клієнт1) (ESP866) підключається до брокера (MQTT брокер компанії Blynk), який виступає посередником в обміні даними.
2. Другий клієнт (клієнт2) (в нашому випадку – смартфон) повідомляє брокеру про те, що його цікавить певна тема.
3. Коли клієнт1 публікує повідомлення, брокер пересилає повідомлення підписаному клієнту 2.

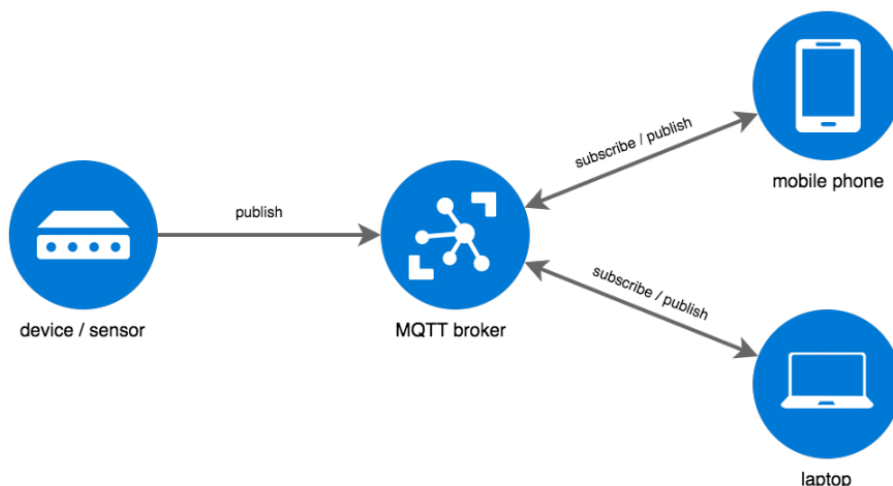


Рис. 3. Схема підключення пристроїв до MQTT брокера

#### Сервіс віддаленого керування Blynk.

Для віддаленого керування мікроконтролером використовується додаток Blynk, сервіс, що має iOS і Android програми для управління мікроконтролерами.

У платформі є три основні компоненти:

BlynkApp – дозволяє створювати індивідуальні інтерфейси для проектів за допомогою різних віджетів, які надаються безкоштовно.

Blynk Server – відповідальний за всі комунікації між смартфоном і апаратним забезпеченням. Додатковим плюсом є те, що сервер працює на Java і має відкритий вихідний код. Тож його можна запустити і локально при потребі.

Blynk Libraries – наявні бібліотеки для всіх популярних апаратних платформ (спілкування з сервером і обробка команд) [5].



Рис. 4. Модульний інтерфейс керування в додатку Blynk

Додаток дуже гнучкий і дозволяє зібрати під кожен проект індивідуальну приладову панель та відразу будувати графіки, візуалізуючи отримані від контролера дані.

#### Датчик MH-Z19.

Взято MH-Z19 – датчик CO<sub>2</sub>, який не вимагає специфічної напруги або високої потужності і може передавати дані через UART (англ. Universal asynchronous receiver/transmitter – універсальний асинхронний приймач/передавач) і PWM (модуляція за тривалістю імпульсів). Згідно з документацією сенсора потрібно близько трьох хвилин, щоб вийти на робочий режим. Сенсор реагує на зміну концентрації CO<sub>2</sub> з затримкою близько хвилини.

Програмування мікроконтролера в середовищі Arduino IDE.

Програмування ESP8266 відбувалося за допомогою мікроконтролера Arduino UNO (підключеної як USB-ttl (транзистор-транзисторна логіка) конвертор) та середовища програмування Arduino IDE.

Зразок коду для моніторингу показників датчику [6].

```
#define BLYNK_PRINT Serial
#include<ESP8266WiFi.h>
#include<BlynkSimpleEsp8266.h>
#include<SimpleTimer.h>
#include<Wire.h>
#include<SoftwareSerial.h>;
// MH-Z19:
// D6 - TX, D7 - RX
#define CO2_TX D6
#define CO2_RX D7
SoftwareSerial co2Serial(CO2_TX, CO2_RX);
charauth[] = ""; // Ваш автентифікаційний код Blynk
SimpleTimertimer;

voidsetup()
{
  Serial.begin(9600); //Статус з'єднання в моніторі порта
  Blynk.begin(auth, "", ""); //Введіть SSID та пароль
  // Виклик функції щосекунди
  timer.setInterval(1000L, sendUptime);

  co2Serial.begin(9600);
  co2Serial.flush();
}
int readCO2()
{
  bytcmd[9] = {0xFF, 0x01, 0x86, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x79};
  charresponse[9];
  co2Serial.write(cmd, 9); //request PPM CO2
  co2Serial.readBytes(response, 9);
  bytcrccrc = 0;

  for (int i = 1; i < 8; i++)
  {
    crc += response[i];
  }
  crc = 255 - crc;
  crc++;
  if (response[8] != crc)
  {
    Serial.println("Помилка даних crc з CO2 сенсора!");
  }
}
```

```
return -1;
}
if (response[0] != 0xFF)
{
Serial.println("Помилковий початковий байт з CO2 сенсора!");
return -1;
}
if (response[1] != 0x86)
{
Serial.println("Помилкова команда з CO2 сенсора!");
return -1;
}
intresponseHigh = (int) response[2];
intresponseLow = (int) response[3];
intppm = (256 * responseHigh) + responseLow;
returnppm;
}

voidsendUptime()
{
float co2_ppm = co2Serial.readCO2();
Blynk.virtualWrite(1, co2_ppm); // використання технології віртуальних пінів –
//розробки сервісу Blynk
}
voidloop()
{
Blynk.run();
timer.run();
}
```

### Трафік

Для створення адекватної моделі потрібно дізнатися характеристики трафіку, що генерується пристроями, які підключаються до сенсорної мережі.

Робота модуля була протестована в двох режимах роботи: фоновому та передачі даних датчика. На рис. 5 та 6 показаний процес обміну даними між пристроєм і хмарним сервером у фоновому режимі.

Нижче представлені дані роботи у фоновому режимі. Варто відзначити, що близько 70% пакетів мали розмір не більше 80 байт.

- Кількість пакетів: 168
- Максимальний розмір пакета, байт: 608
- Мінімальний розмір пакета, байт: 64



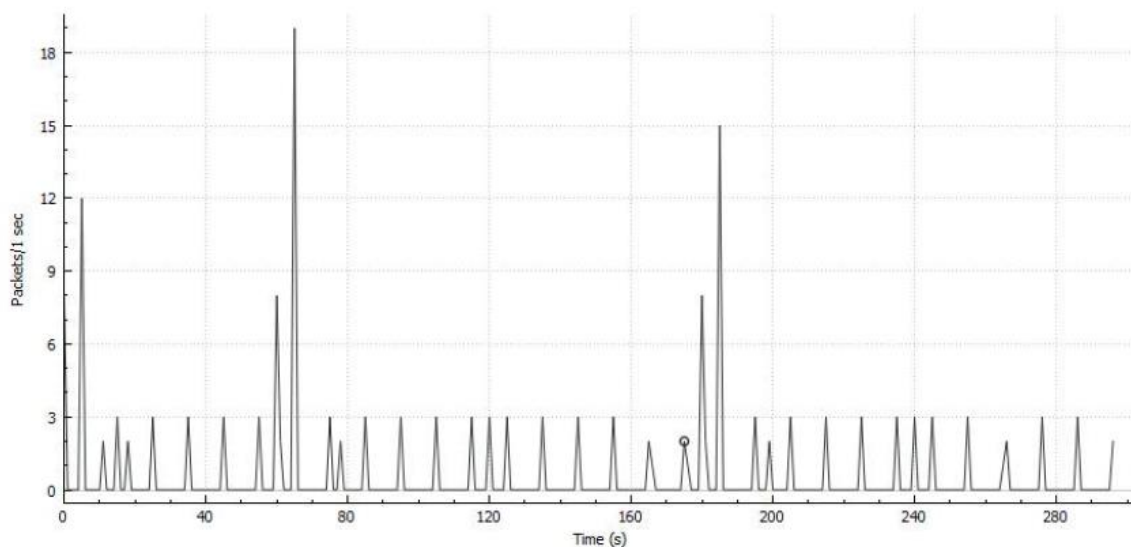


Рис. 5. Передача даних у фоновому режимі

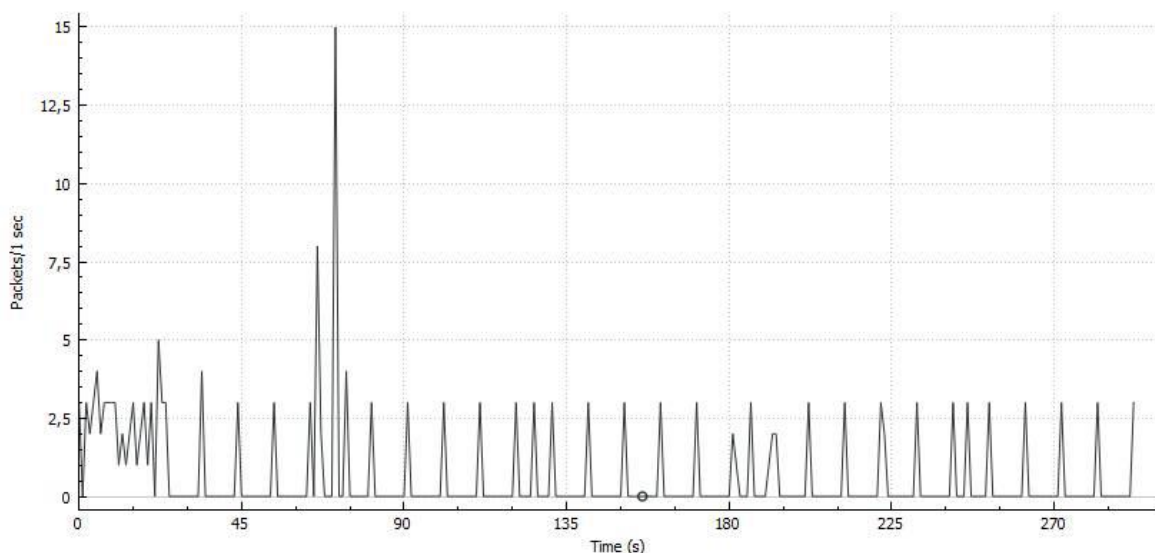


Рис. 6. Передача даних датчика

При відправці даних датчика користувачеві на сервер характеристики Blynk змінюються незначно.

- Кількість пакетів: 180
- Максимальний розмір пакета, байт: 608
- Мінімальний розмір пакета, байт: 64

В роботі досліджені загальні ознаки трафіку пристроїв, використовуваних при створенні бездротових мереж. Так, близько 80% пакетів, переданих між пристроєм і сервером, має розмір менше 80 байт. Для даної моделі можна вважати задовільними

отримані показники, що підтверджено її стабільною роботою під час досліджень.

Робоча модель має великий потенціал до розширення. Це може бути як збільшення кількості мікроконтролерів, які спілкуються із сервером так і розширення в рамках одного пристрою, адже датчики в даній моделі є абстрактним уявленням більш складних приладів.

### **Висновки**

Досліджувався процес вимірювання концентрації CO<sub>2</sub> у приміщенні і розроблено модель пристрою, яка дозволяє після детектування, сповіщати про стан повітря по бездротовому каналу. На розробленій моделі були проведені тести, які доводять працездатність моделі віддаленого моніторингу.

Загалом використання віддаленого програмного забезпечення показало себе ефективно. До того ж додатковою позитивною стороною віддаленого сервісу є зниження витрат на систему моніторингу в цілому.

### **Список використаних джерел**

1. Елисеєва О. В. К обоснованию ПДК двуокси углерода в воздухе. / О. В. Елисеєва // Гигиена и санитария. – 1964. – № 8.
2. COOLRF. ESP8266: Что внутри «народного wi-fi»? Блог компанії COOLRF [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://habrahabr.ru/company/coolrf/blog/238443/>
3. Матеріали з сайту світової спільноти ESP8266 «Everything ESP8266» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.esp8266.com/index.php>
4. Використання MQTT протоколу. Принцип роботи та налаштування. Кошмак Є. С., Поліщук І. А. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», «Молодий вчений». – № 5 (57) травень, 2018 р.
5. Офіційна документація проекту Blynk [Електронний ресурс]. Режим доступу: [docs.blynk.cc](https://docs.blynk.cc)

### **References**

1. Yeliseyeva O.V. (1964). *K obosnovaniyu PDK dnuokisi ugleroda v vozdukhe* [To justify the maximum permissible concentration of carbon dioxide in the air] *Gigiyena i sanitariya* – Hygiene and Sanitation, № 8 [in Russian].
2. COOLRF. ESP8266: *Chto vnutry «narodnoho wi-fi»? Blog kompaniyi COOLRF*. Retrieved from: <https://habrahabr.ru/company/coolrf/blog/238443/> [in Russian].
3. Materials from the ESP8266 «Everything ESP8266» world communitysite. Retrieved from: <https://www.esp8266.com/index.php> [in English].
4. Use of the MQTT protocol. Principle of operation and setting. Koshmak Y.S., Polishchuk I.A. National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” «Molodyy vchenyy» № 5 (57) May, 2018 [in Ukrainian].
5. Blynk official guide. Retrieved from: [docs.blynk.cc](https://docs.blynk.cc) [in English].

6. Офіційна документація проекту Arduino [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.arduino.ru>
6. *Oficijna dokumentacija projektu Arduino* [Arduino Project Official Documentation]. Retrieved from: <http://www.arduino.ru> [in Russian].

**Doroshenko Andrii**

[andriiydoroshenko@gmail.com](mailto:andriiydoroshenko@gmail.com)

Kyiv National University of  
Technologies and Design

**Pylypenko Yurii**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4093-7298>

[Py120453@gmail.com](mailto:Py120453@gmail.com)

Kyiv National University of  
Technologies and Design

### **Мониторинг и контроль состояния воздуха в лаборатории по сети интернет**

**Дорошенко А. Ю., Пилипенко Ю. Н.**

Киевский национальный университет технологий и дизайна

**Цель.** Исследование проблемы контроля концентрации CO<sub>2</sub> и разработка модели системы выявления опасных концентраций углекислого газа в помещениях мелких предприятий и мастерских.

**Методика.** В работе использована методика мониторинга и передачи данных на базе высоко интегрированных решений для работы с Wi-Fi.

**Результаты.** Проведено исследование систем мониторинга CO<sub>2</sub> датчиков. Внедрение модели позволит улучшить условия работы персонала, а также выявить проблемы в системе вентиляции организации.

**Научная новизна.** Разработана рабочая модель для мониторинга концентрации CO<sub>2</sub> в небольших мастерских и производствах, которая является гибкой и финансово доступной.

**Практическая значимость.** Данная модель является простым и экономичным решением для получения данных с датчиков через сеть интернет.

**Ключевые слова:** мониторинг, система, контроль, интернет вещи, Arduino IDE, Blynk, ESP-8266

### **Monitoring and control of air condition in the laboratory via the Internet**

**Doroshenko A. Yu., Pylypenko Yu. M.**

Kiev National University of Technology and Design

**Purpose.** Investigating the problem of controlling the concentration of CO<sub>2</sub> and developing a model system for detecting dangerous concentrations of carbon dioxide in the premises of small enterprises and workshops.

**Methodology.** The work uses the method of monitoring and data transmission based on highly integrated solutions for working with Wi-Fi.

**Findings.** A study was conducted on the monitoring systems for CO<sub>2</sub> sensors. The introduction of the model will improve the working conditions of staff, as well as identify problems in the organization's ventilation system.

**Originality.** A working model has been developed for monitoring CO<sub>2</sub> concentrations in small workshops and industries, which is flexible and financially affordable.

**Practical value.** This model a simple and economical solution for obtaining data from sensors via the Internet.

**Keywords:** monitoring, system, control, internet of things, Arduino IDE, BLYNK, ESP-8266