

**О. М. ЄВСЕЄНКО**

## СИНТЕЗ СИСТЕМИ ВИМІРУ ПАРАМЕТРІВ ПОВІТРЯ У ПРИМІЩЕННЯХ ТОРГОВЕЛЬНОГО ЦЕНТРУ

Розглядається питання побудови системи виміру та моніторингу параметрів повітря приміщень торговельного центру. Збільшення населення планети, видобутку енергоресурсів та шкідливих викидів у атмосферу потребує пошуку рішень, направлених на виявлення та зменшення впливу життєдіяльності людей на навколишнє середовище. Це питання є актуальним тому, що зміни, які наносять шкоду навколишньому середовищу, є незворотними. Одним із варіантів отримання інформації про значення таких шкідливих параметрів є побудова та впровадження систем виміру, які називаються метеостанціями. Існуючі метеостанції призначені для загальних потреб вимірювання температури та вологості середовища. Це обмежує кількість параметрів, які можна виміряти. Визначено основні параметри навколишнього середовища приміщень, які впливають на здоров'я людини, та виявлено, що висока концентрація деяких з них може бути смертельною. Оскільки торговельний центр є місцем великого скупчення людей, то питання правильної роботи системи вентиляції та кондиціонування повітря і виміру його показників є актуальною задачею. Огляд існуючих рішень показав, що основними вимогами, які висуваються до побудови метеостанцій, є ціна, кількість параметрів, що вимірюються, автономність роботи. Здійснено вибір контролера та датчиків для побудови метеостанції. Розроблено структурну схему та схему підключення датчиків. Значне місце в роботі приділено опису алгоритмів, за якими працює система вимірювань параметрів повітря. Протестовано програмну систему з використанням обраного контролера та датчиків. Розроблено візуалізацію для відображення отриманих параметрів мікроклімату торговельного центру. На основі отриманих даних підтверджено можливість проведення вимірів на реальному об'єкті управління.

**Ключові слова:** торговельний центр, метеостанція, автоматизоване керування, апаратно-програмний комплекс, Arduino, терморегулювання

**О. М. YEVSIEENKO**

## SHOPPING MALL AIR PARAMETERS MEASUREMENT SYSTEM SYNTHESIS

The article is devoting to a shopping mall air parameters monitoring system creation. It is stated that increasing energy production, the world's population and harmful emissions into the atmosphere requires identifying solutions for searching and reducing the human activities impact on the environment. This issue is urgent because of the fact that environment harmful changes are irreversible. It is known that one of the options for harmful parameters values obtaining information is the construction and implementation of measurement systems, that are called weather stations. Literature review showed that available weather environment stations of temperature and humidity measuring only for the general purposes are designed. It limits the number of parameters that can be measured. The main parameters of the indoor environment that affect human health have been identified. It has been found that high concentrations of some gases can be dangerous for human health. It is shown that the issue of proper operation of the ventilation and air conditioning system and measuring its performance is an urgent task. The main requirements for the weather stations construction were obtained. Microcontroller and sensors synthesis for the weather station construction is made. The structural scheme and the scheme of connection of sensors are developed. The major attention is paid to the algorithms description that shows how air parameters system measurement works. The software system using the selected controller and sensors has been tested. A visualization of displaying the obtained shopping center air parameters has been developed. Based on received data the possibility of carrying out measurements on real object of management is confirmed.

**Keywords:** shopping mall, weather station, automated control, hardware and software complex, Arduino, thermal control

**Вступ.** Сьогодення характеризується стрімким розвитком промисловості, збільшенням кількості світового населення та значним видобутком корисних копалин. Усе це збільшує навантаження на навколишнє середовище: вичерпуються енергоресурси та збільшуються викиди шкідливих елементів. Тому можна виділити такі основні тенденції для захисту навколишнього середовища: зменшення шкідливих викидів та енергозбереження.

Для діагностування змін у навколишньому середовищі використовуються метеостанції, які створюються для великих і малих об'єктів. Потреба їх використання та побудова обумовлені необхідністю отримання конкретного числового значення параметрів, через те, що їх оцінка за допомогою відчуттів є суб'єктивною. Проте числові параметри вимірів обмежені точністю, діапазонами робочих параметрів та вимірювання.

Виміри, що робляться метеостанціями, направлені на відслідковування змін клімату на планеті. Але вони підходять і для простих випадків: кожна людина може побудувати систему вимірювань показників різних параметрів за допомогою контролера і відповідних датчиків середовища. Тому для вирішення своїх завдань кожен дослідник може

створити власну метеостанцію. Ці завдання визначаються складністю об'єкта, кількістю контрольованих параметрів та поведінкою об'єкта управління.

Останнім часом з'явилося безліч праць, присвячених темі контролю параметрів навколишнього середовища. Це сталося завдяки стрімкому розвитку мікроконтролерної техніки, різноманіттю датчиків та легкості освоєння мови програмування Python для побудови програм на Arduino, створенню концепції інтернету речей. Ця концепція передбачає підключення датчиків вимірювання фізичних величин у єдину мережу. Вона налагоджує взаємодію людей через пристрої та об'єднує пристрої за допомогою інтернету.

Торговельний центр – це складний об'єкт, підтримання параметрів якого є необхідним через унікальність умов та кількість людей, що змінюються протягом доби. Кожен торговельний центр є унікальним. Тому для побудови моделі об'єкта та синтезу енергозберігаючих рішень необхідна інформація про кожен об'єкт окремо. Ідентифікація об'єкта може здійснюватися за рахунок виміру його показників за допомогою метеостанцій.

Наразі на ринку доступні різні метеостанції.

© О. М. Євсєєнко, 2022

Вони відрізняються ціною, кількістю датчиків, комплектацією, програмними засобами. Проте вони є метеостанціями загального призначення і не покривають більшість потреб об'єктів керування. Більш спеціалізовані метеостанції коштують дорожче через унікальність розробки.

Тому для побудови метеостанції для торговельного центру існує потреба у виділенні основних параметрів об'єкта керування, підбору датчиків, синтезу системи моніторингу.

**Аналіз основних досягнень і літератури.** У більшості публікацій використовуються контролери різних фірм: ESP32 [1], Arduino [2–8], NodeMCU [9].

У [1] вказується, що основними компонентами розумної метеостанції є комунікаційна мережа, мікроконтролер, датчики для спостереження та вимірювання параметрів навколишнього середовища. Для віддаленого читання та керування даними використовується програмна платформа Blynk. Застосування цієї платформи є поширеним, зокрема вона використовується у роботах [1, 9]. У [10] концепція інтернету речей використовується в меліпоникультурі, у процесі вирощення бджіл для видобування меду. Проведення вимірів дозволило виділити активність бджіл при конкретній температурі, чого не можливо було б з'ясувати без вимірів.

Розроблена система має бути дешевою, компактною, розрахованою на широкий діапазон вимірювання, тривалий термін використання [11–13] та низьке енергоспоживання [9]. У роботі [7] пропонується використовувати відновлювальні джерела енергії. Для заряду джерела живлення використовується енергія сонячної батареї. Проте для збору показань параметрів торговельного центру ця система не підходить.

У [3] показано, що маючи дані про об'єкт, можна побудувати його модель та прогнозувати його поведінку. Пропонуються два методи для побудови прогнозу стану об'єкта. Проте методика визначення інтервалу прогнозування не наводиться.

Частина публікацій присвячена темі збереження навколишнього середовища та зміни клімату [3, 5, 13]. Моніторинг погоди виконує дуже важливу роль у розумінні кліматичних змін.

Більшість датчиків, доступних для купівлі на ринку, не є метрологічними засобами вимірювань, тому вони мають певні значення похибок, що можуть впливати на об'єктивність отриманих даних. У [9] виміри обраних датчиків порівнюються з інформацією, отриманою з погодних ресурсів. Показано, що відносна похибка вимірювань складає від 1 % до 3 % [9] та від 1 % до 5 % [7], що вважається хорошим показником [9].

У більшості робіт за дійсне одразу береться виміряне значення. Проте, необхідно проводити певну фільтрацію даних, наприклад, брати середнє значення з декількох вимірів, або використовувати інші фільтри: фільтр Калмана, або аперіодичний фільтр.

**Викладення основного матеріалу.** Нормативні документи регламентують правила побудови систем вентиляції та кондиціонування повітря. Ці правила визначають концентрацію та рівень складу повітря для безпечного перебування людини в приміщенні. До параметрів складу повітря, які визначаються цими правилами, відносяться: чадний газ (CO), частинки PM2.5 та PM10, вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>), формальдегід (HCHO), летучі органічні сполуки (TVOC), а також температура, швидкість, вологість повітря та рівень шуму. Для їх вимірювання пропонується апаратне забезпечення, яке складається з датчиків BME280, MH-Z19B, MICS68, M1X8410, MQ7, PMS5003, WSP2110. Підібрані датчики використовуються для вимірювання температури, вологості, тиску, чадного газу, пилу.

Характер об'єкта, який досліджується, визначає діапазон робочих температур обладнання, яке має використовуватися. Фізичні властивості приміщення торговельного центру встановлюють вимоги до діапазону температур вимірювання, що має бути від 5 °C до 40 °C, а вологість – від 0 % до 90 %. Це дає змогу підібрати датчики у більш вузькому робочому діапазоні, які є дешевшими.

Виміряні значення отримуються за допомогою контролера Arduino Uno. Він виводить їх на LCD-дисплей, логує на SD-карту та передає у хмарне середовище за допомогою Wi-Fi передавача ESP8266. Для отримання значення поточного часу використовується модуль RTC-DS1307.

Далі наводиться опис підбраного обладнання:

- MicroSD адаптер з MicroSD-картою

SD-карта використовується для зберігання показників датчиків у локальному сховищі. Логування відбувається із заданим періодом, щоб зберегти дані, якщо зник зв'язок із сервером. Воно відбувається у форматі дата, час, показники датчиків (табл. 1).

Файл використовує поточну дату для створення файлу та має ім'я у форматі DD-MM-YY-HH-MM-SS\_№.csv, де DD – день, MM – місяць, YY – рік, HH – година, MM – хвилина, SS – секунда, № – число від 1 з номером вимірювання за поточний день.

Структуроване збереження файлів вимірювань пропонується реалізовувати наступним чином. Файл з вимірюваннями зберігати в папці з іменем поточного дня, яка знаходиться в папці з іменем поточного місяця, розташованій у папці з поточним роком. Якщо

Таблиця 1 – Зріз даних з лог-файлу

DATE	TIME	T (°C)	H (%)	CO2 (ppm)	NH3 (ppm)	CO (ppm)
04-05-22	11:02:07	29.53	66.33	340	4	23
04-05-22	11:03:07	29.54	66.35	342	4	24
04-05-22	11:04:07	29.55	66.34	341	4	24
04-05-22	11:05:07	29.56	66.33	343	4	24

якоїсь з цих папок не існує, то вона створюється перед створенням файлу вимірювань.

Недоліком збереження даних у локальному сховищі є те, що він обмежений за об'ємом. Збільшення об'єму потребує використання сховища більшої ємності. Це вимагає придбання пам'яті більшого об'єму, що є затратним. Тому необхідно використовувати хмарне середовище та додаток, який уміє зчитувати дані з сервера.

- Годинник реального часу DS1302

Годинник використовується для заповнення інформації з метою логування дати та часу виміру. Поточні дата та час виводяться на дисплей. Після подачі живлення виконується порівняння поточних дати та часу з датою та часом, які зчитані з сервера часу. Якщо показники годинника реального часу відрізняються від серверних показників, то показання DS1302 корегуються. Якщо відсутній зв'язок із сервером, то показники не корегуються, і у вимірюваннях використовуються поточні дата та час.

- LCD дисплей LCD1602

Дисплей використовується для відображення інформації. Зовнішній вигляд дисплею наведено на рис. 1. На дисплеї в реальному часі відображаються поточні виміряні значення датчиків, стан з'єднання з інтернетом через Wi-Fi модуль. Поточні час та дата позначаються у правому верхньому куті екрана. На дисплеї є віртуальні кнопки початку проведення вимірів. Після натискання ця кнопка змінюється на червону з написом «STOP».



Рис. 1. LCD-дисплей з поточною інформацією про вологість

Також починається відлік часу, який пройшов з початку вимірювань. На дисплеї є можливість вибору параметра для його відображення на графіку.

За допомогою дисплею також задається інтервал архівації параметрів та вибір режиму вимірювань: вимірювати протягом заданого часу (режим таймер), або увесь час до зупину програми користувачем (режим секундомір).

- Wi-Fi модуль ESP8266

ESP8266 – це пристрій для організації бездротового підключення до локальної мережі. Для його використання необхідно провести налаштування, обрати локальну мережу та ввести пароль. Підключення модуля до контролера здійснюється через послідовний порт. Якщо мережа має доступ до інтернету, дані передаються на сервер даних для зберігання та відображення в мобільному додатку, або в браузері.

- Барометр BME280

Датчик дозволяє проводити виміри атмосферного тиску. Також до його складу входять датчики виміру температури та вологості. BME280 буде розташову-

ватись усередині корпусу приладу, тому ці датчики будуть показувати температуру і вологість приладу. Датчик має точність вимірювання температури від 0.5 °C до 1 °C, точність вимірювання вологості на рівні 3 %, точність вимірювання тиску на рівні 1 гПа при діапазоні вимірювань від 300 гПа до 1100 гПа.

- Датчик вимірювання рівня вуглекислого газу MH-Z19B

Цей датчик проводить вимірювання рівня вуглекислого газу в діапазоні від 0 ppm до 5000 ppm з точністю 50 ppm  $\pm$  3 % від результату вимірювань. Цей діапазон покриває потреби в отриманні даних, тому що згідно з вимогами вентиляції провітрювання має розпочинатися при перевищенні рівня вуглекислого газу значення 500 ppm. Інформація про поточний рівень параметра визначається за значенням тривалості імпульсу ШІМ-сигналу, який генерує датчик.

- Датчик вимірювання рівня чадного газу, нітрогену, аміаку MICS 6814

Цей датчик проводить вимірювання рівня чадного газу в діапазоні від 1 ppm до 1000 ppm, нітрогену в діапазоні від 0.05 ppm до 10 ppm, аміаку в діапазоні від 1 ppm до 500 ppm. Окрім вимірювання цих параметрів, здійснюється вимір рівня етанолу (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH), гідрогену (H<sub>2</sub>), пропану (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), ізо-бутану (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), що обумовлює високу вартість цього датчика.

- Датчик рівня кисню M1X8410

Виміри тиску проводяться в діапазоні від 0 % до 25 %. Цей датчик має досить тривалий час виміру параметра, що може досягати 10 секунд.

- Датчик чадного газу MQ7

Як альтернатива датчику MICS 6814 рівень чадного газу можна отримати, використовуючи датчик MQ7. Він має ширший діапазон вимірювань від 10 ppm до 10000 ppm та меншу ціну. Натомість не вмє визначати інші параметри середовища.

- Датчик виміру кількості часток мікродисперсного середовища PMS5003

Датчик реагує на частки розміром від 0.3 мкм до 10 мкм, що відносяться до трьох параметрів: PM<sub>1.0</sub> (від 0.3 мкм до 1 мкм), PM<sub>2.5</sub> (від 1 мкм до 2.5 мкм), PM<sub>10</sub> (від 2.5 мкм до 10 мкм). Використовуючи послідовний інтерфейс, можна отримати інформацію про вміст цих часток у повітрі для кожного параметра окремо.

- Датчик формальдегіду Grove HCHO Sensor

Датчик дозволяє виявити формальдегід у повітрі з концентрацією до 1 ppm. Також за допомогою датчика можливо виявити деякі концентрації бензолу, толуолу.

- Датчик вологості та температур DHT22

Цей датчик дозволяє вимірювати вологість у діапазоні від 0 % до 100 % з роздільною здатністю  $\pm$  1 %. Його додатковою особливістю є можливість виміру температури в діапазоні від мінус 40°C до плюс 80 °C з роздільною здатністю  $\pm$  0.1 °C. Якщо є потреба збільшити точність вимірювань, то можна використовувати датчик температури DS18B20 з роздільною здатністю  $\pm$  0.0625 °C. Перевагою

використання DHT22 є можливість його винесення на відстань до 20 метрів від контролера.

**Синтез схем підключення.** Вимірювані параметри та датчики представлені у вигляді структурної схеми (рис. 2).

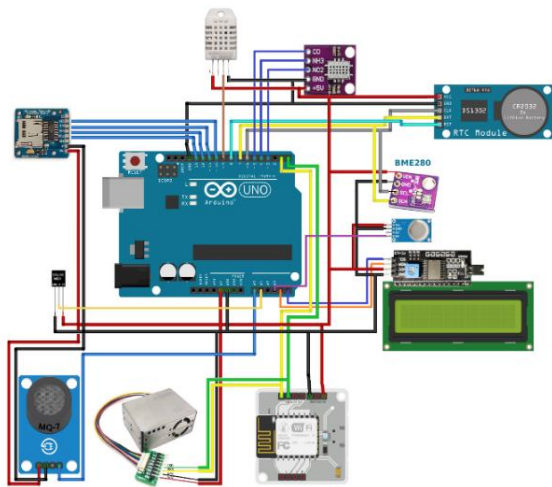


Рис. 3. Схема підключення обраних компонентів

Використавши інформацію про розташування та призначення виводів, розроблено схему підключення (рис. 3).

Для підключення датчиків використовується послідовний інтерфейс із застосуванням універсального синхронно-асинхронного передавача (UART). Джерелом живлення є модуль батареї на плюс 5 В. Аналогові виходи датчиків підключено до аналогових входів контролера. Підключення до LCD-дисплея, годинника поточного часу, датчика тиску здійснюється за допомогою I2C інтерфейсу, а з датчиками

рівня вуглекислого газу, чадного газу, аміаку – за допомогою UART. На рис. 4 наведено макет зібраної системи.

**Синтез програмної системи.** Програма працює наступним чином. Після подачі живлення на контролер іде встановлення з'єднання з Wi-Fi модулем та перевірка обміну даних з дисплеєм. Якщо дисплей не підключено, або є несправність, засвічується червоний світлодіод на контролері.



Рис. 4. Зібраний макет для тестування програми

Далі йде опитування усіх датчиків, які мають бути присутні в системі, вичитуються поточні дані та

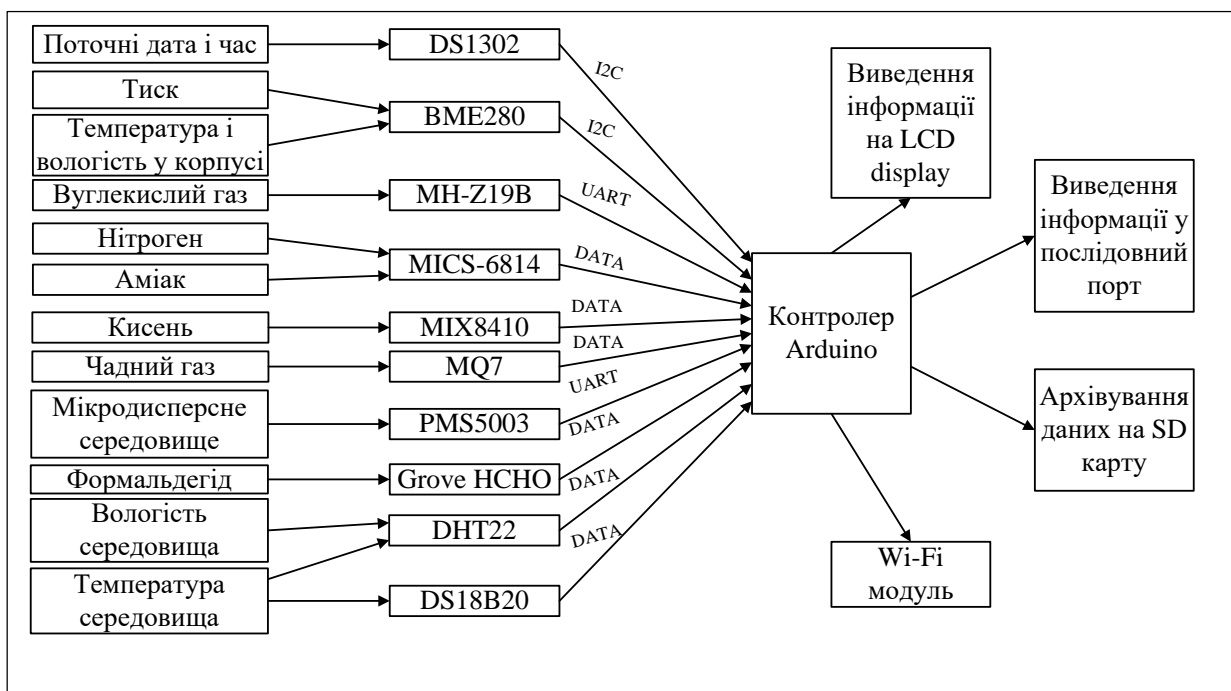


Рис. 2. Структурна схема контролю показників повітря в торговельному центрі

час. Якщо з датчиками встановлено з'єднання, то йде вичитування їхніх показань та відображення на дисплеї. Якщо усі датчики знайдено в системі, то йде їх опитування з періодом, що дорівнює 5 секундам. Ці дані в реальному часі виводяться на дисплей та передаються в мобільний додаток.

Якщо немає з'єднання з інтернетом, то дані виводяться тільки на дисплей. Якщо немає зв'язку з дисплеєм, то дані передаються в мобільний додаток. Якщо відсутні або несправні обидва компоненти, то опитування датчиків не відбувається. Це свідчить про несправність системи, про що сповіщається підсвічуванням червоного світлодіода.

У користувача є можливість вибору режиму вимірювання: секундомір та таймер. Режим обирається в мобільному додатку, або з дисплею. Для початку вимірювань користувач повинен натиснути віртуальну кнопку «Старт». Після цього на SD-карті створюється файл з інформацією про поточні вимірювання. Дані у файл записуються з періодом, що дорівнює п'яти секундам.

Загальний опис алгоритмів ініціалізації та виміру показників повітря наведено на рис. 5 та на рис. 6. Користувач зупиняє запис до файлу натисканням віртуальної кнопки «Стоп». Якщо під час роботи отримані некоректні дані, або немає зв'язку з одним із датчиків, то це значення не виводиться.

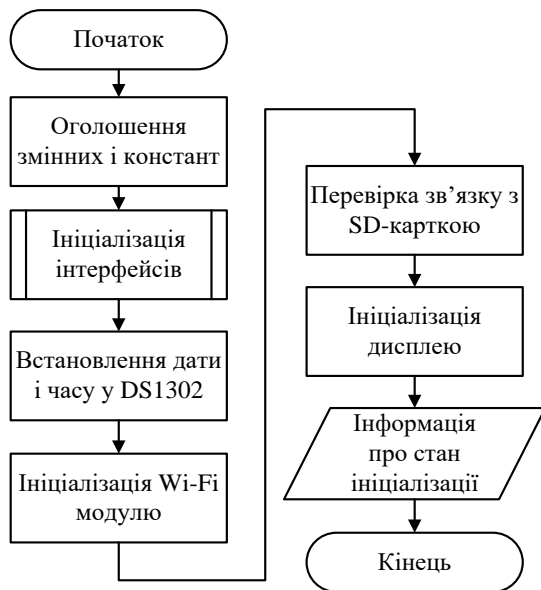


Рис. 5. Блок-схема алгоритму ініціалізації програми

На місці показань цього датчика на дисплеї виводиться червоний хрестик, а лог-файл заповнюється порожнім значенням.

Тестування розробленої системи моніторингу виконано за допомогою отримання та обробки даних з COM-порту (рис. 7) та мобільного застосунку (рис. 8). Дані з COM-порту отримуються при підключенні контролера до комп'ютера. Проте, у більшості випадків використання комп'ютера на об'єктах неможливе через тривалість часу проведення вимірів. Також таке з'єднання обумовлюється довжиною дротового вико-

ристання інтерфейсу RS232, який обмежується двома метрами.

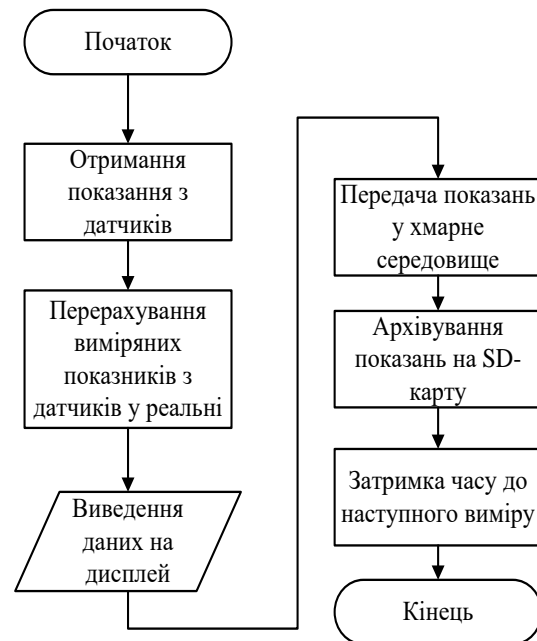


Рис. 6. Блок-схема алгоритму одного циклу виміру параметрів

DATE	TIME	T (°C)	H(%)	CO2(ppm)	NH3(ppm)	CO(ppm)
04-05-22	11:02:07	29.53	66.33	340	4	23
04-05-22	11:03:07	29.43	66.35	342	4	24
04-05-22	11:04:07	29.45	66.34	341	4	24
04-05-22	11:05:07	29.48	66.33	343	4	24
04-05-22	11:06:07	29.50	66.34	342	4	24
04-05-22	11:07:07	29.51	66.40	344	4	24
04-05-22	11:08:07	29.51	66.37	342	4	23
04-05-22	11:09:07	29.52	66.35	342	4	23

Рис. 7. Тестування системи за допомогою отримання даних з COM-порту

Проведене тестування (рис. 8) системи підтвердило її працездатність та можливість використання для отримання показів реального об'єкта.



Рис. 8. Тестування системи за допомогою мобільного додатку

Проведено порівняння значень, вимірених за допомогою розробленої системи, зі значеннями, отриманими з еталонних датчиків. Порівняння показань температури показало похибку вимірювань на рівні  $\pm 0.6$  °C, а вологості – на рівні  $\pm 1.5$  %.

**Висновки.** Дослідження присвячене розробці апаратно-програмного комплексу ідентифікації параметрів повітря торговельного центру. Проведений огляд засвідчив наявність великої кількості праць, присвячених вимірюванню фізичних параметрів навколишнього середовища, натомість підтвердив необхідність створення власної метеостанції для отримання параметрів повітря в приміщеннях торговельного центру. Підібране обладнання для створення метеостанції дозволило отримувати значення п'ятнадцяти показників повітря. Використання контролера Arduino та мови програмування Python скоротило час написання коду програми та побудови апаратної системи.

Програма обробки побудована таким чином, що дані вимірювань можуть бути збережені на SD-карті, або передані на сервер у базу даних. Дані з сервера використовуються для відображення в мобільному застосунку, або в браузері. Розроблена система показала високу надійність, якщо під час проведення вимірювань відбуваються якісь проблеми з роботою SD-карти, з підключенням до інтернету, або з роботою дисплея.

Порівняння показань розробленої системи з еталонними вимірюваннями підтвердило, що вона може застосовуватися для ідентифікації параметрів торговельного центру.

#### Список літератури

- Kreculj M. D., Nikolić V., Sajic J. L., Dihovični D., Kovačević N. R. The IoT Weather Station Model. *Science and Higher Education in Function of Sustainable Development – SED 2021: 12th International Scientific Conference Science and Higher Education in Function of Sustainable Development, Užice, Serbia, 8/10/21*. URL: <http://www.vpts.edu.rs/sed/fajlovi/inf/14.pdf> (дата звернення: 20.03.2022).
- Dhungana B., Sharma M., Shrestha R. Digital Portable Weather Station Monitoring System Using Arduino Uno. *Semiconductor Science and Information Devices*. 2021. Vol. 3, issue 1. P. 33–40.
- Mestre G., Ruano A., Duarte H., Silva S., Khosravani H., Pesteh S., Ferreira P. M., Horta R. An Intelligent Weather Station. *Sensors*. 2015. Vol. 15 (12). P. 31005–31022. DOI:10.3390/s151229841.
- Adepoju T. M., Oladele M. O., Kasali A. A., Fabiyyi G. J. Development of a Low-Cost Arduino-Based Weather Station. *FUOYE Journal of Engineering and Technology (FUOYEJET)*. 2020. Vol. 5, issue 2. P. 69–73.
- Hussein Z. K., Hadi H. J., Abdul-Mutaleb M. R., Mezaal Y. S. Low cost smart weather station using Arduino and ZigBee. *TELKOMNIKA Telecommunication, Computing, Electronics and Control*. 2020. Vol. 18, no. 1. P. 282–288. DOI: 10.12928/TELKOMNIKA.v18i1.12784.
- Essiane S. N., Essama B. G. O. Development of a micro weather station using Arduino and Internet of Things. *Physics Education*. 2022. Vol. 57, issue 1. P. 1–11. DOI: 10.1088/1361-6552/ac2670.
- Hawkinson S. J., Madhumitha M., Raj A. S. Weather station update using renewable energy source. *Journal of Xidian University*. 2020. Vol. 14, issue 5. P. 4782–4792. DOI: 10.37896/jxu14.5/527.
- Gheorghie A. C., Stoica C. I. Wireless weather station using arduino mega and arduino nano. *Scientific Bulletin of the Electrical Engineering Faculty*. 2021, no. 1, pp. 35–38. DOI: 10.2478/sbeef-2021-0008.
- Shahadat A. S. B., Ayon S. I., Khatun M. R. Efficient IoT based Weather Station. *2020 IEEE International Women in Engineering (WIE) Conference on Electrical and Computer Engineering (WIECON-ECE)*. Bangladesh, 2021, pp. 227–230. DOI: 10.1109/WIECON-ECE52138.2020.9398041.
- Yunus M. A., Ibrahim S., Kaman K. K., Anuar N. H. K., Othman N., Majid M. A., Muhamad N. A. Internet of Things (IoT) Application in Meliponiculture. *International Journal of Integrated Engineering – Special Issue on Electrical Electronic Engineering*. 2017, vol. 9, no. 4, pp. 57–63.
- Haavashja T., Nylander, P. Puhakka L. A compact road weather station. *30th International Baltic Road Conference (IBRC 2021)*. Riga, Latvia, 2021. P. 1–6. DOI:10.1088/1757-899X/1202/1/012037.
- Suparta W., Warsita A., Ircham I. A low-cost development of automatic weather station based on Arduino for monitoring precipitable water vapor. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*. 2021. Vol. 24, no. 21. P. 744–753. DOI: 10.11591/ijeecs.v24.i2.pp744-753.
- Aziz S., Hesham N., Elfiky D. *Design and implement a real time weather station using Arduino and lab-View*. Cairo: NARSS, 2021. 2 p. (Preprint. National Authority for Remote Sensing and Space Science).

#### References (transliterated)

- Kreculj M. D., Nikolić V., Sajic J. L., Dihovični D., Kovačević N. R. The IoT Weather Station Model. *Science and Higher Education in Function of Sustainable Development – SED 2021: 12th International Scientific Conference Science and Higher Education in Function of Sustainable Development, Užice, Serbia, 8/10/21*. Available at: <http://www.vpts.edu.rs/sed/fajlovi/inf/14.pdf> (accessed 20.03.2022).
- Dhungana B., Sharma M., Shrestha R. Digital Portable Weather Station Monitoring System Using Arduino Uno. *Semiconductor Science and Information Devices*. 2021, vol. 3, issue, 1, pp. 33–40.
- Mestre G., Ruano A., Duarte H., Silva S., Khosravani H., Pesteh S., Ferreira P. M., Horta R. An Intelligent Weather Station. *Sensors*. 2015, vol. 15 (12), pp. 31005–31022. DOI:10.3390/s151229841.
- Adepoju T. M., Oladele M. O., Kasali A. A., Fabiyyi G. J. Development of a Low-Cost Arduino-Based Weather Station. *FUOYE Journal of Engineering and Technology (FUOYEJET)*. 2020, vol. 5, issue 2, pp. 69–73.
- Hussein Z. K., Hadi H. J., Abdul-Mutaleb M. R., Mezaal Y. S. Low cost smart weather station using Arduino and ZigBee. *TELKOMNIKA Telecommunication, Computing, Electronics and Control*. 2020, vol. 18, no. 1, pp. 282–288. DOI: 10.12928/TELKOMNIKA.v18i1.12784.
- Essiane S. N., Essama B. G. O. Development of a micro weather station using Arduino and Internet of Things. *Physics Education*. 2022, vol. 57, issue 1, pp. 1–11. DOI: 10.1088/1361-6552/ac2670.
- Hawkinson S. J., Madhumitha M., Raj A. S. Weather station update using renewable energy source. *Journal of Xidian University*. 2020, vol. 14, issue 5, pp. 4782–4792. DOI: 10.37896/jxu14.5/527.
- Gheorghie A. C., Stoica C. I. Wireless weather station using arduino mega and arduino nano. *Scientific Bulletin of the Electrical Engineering Faculty*. 2021, no. 1, pp. 35–38. DOI: 10.2478/sbeef-2021-0008.
- Shahadat A. S. B., Ayon S. I., Khatun M. R. Efficient IoT based Weather Station. *2020 IEEE International Women in Engineering (WIE) Conference on Electrical and Computer Engineering (WIECON-ECE)*. Bangladesh, 2021, pp. 227–230. DOI: 10.1109/WIECON-ECE52138.2020.9398041.
- Yunus M. A., Ibrahim S., Kaman K. K., Anuar N. H. K., Othman N., Majid M. A., Muhamad N. A. Internet of Things (IoT) Application in Meliponiculture. *International Journal of Integrated Engineering – Special Issue on Electrical Electronic Engineering*. 2017, vol. 9, no. 4, pp. 57–63.
- Haavashja T., Nylander, P. Puhakka L. A compact road weather station. *30th International Baltic Road Conference (IBRC 2021)*. Riga, Latvia, 2021, pp. 1–6. DOI:10.1088/1757-899X/1202/1/012037.
- Suparta W., Warsita A., Ircham I. A low-cost development of automatic weather station based on Arduino for monitoring precipitable water vapor. *Indonesian Journal of Electrical*

*Engineering and Computer Sciences*. 2021, vol. 24, no. 21, pp. 744–753. DOI: 10.11591/ijeecs.v24.i2.pp744-753.

2021. 2 p. (Preprint. National Authority for Remote Sensing and Space Science).

13. Aziz S., Hesham N., Elfiky D. *Design and implement a real time weather station using Arduino and lab-View*. Cairo, NARSS Publ.,

Надійшла (received) 07.05.2022

*Відомості про автора / About the Author*

**Євсеєнко Олег Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри автоматизації та управління в технічних системах; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5432-1211>; e mail: olegyvseienko@gmail.com

**Yevseienko Oleh Mykolaiovych** – Candidate of Technical Sciences (PhD), Docent, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Associate Professor at the Department of automation and control in technical systems; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5432-1211>; e mail: olegyvseienko@gmail.com