

ORCID: 0000-0001-8573-6022

Я. В. НІКОЛЕНКО

магістрант кафедри фізики, ННІ ІНФОТЕХ,
Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького, Черкаси, Україна,
nikolenkoyarik0@gmail.com

ORCID: 0000-0001-7015-1662

Ю. О. ЛЯШЕНКО

доктор фіз.-мат. наук, професор, ННІ ІНФОТЕХ
Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького, Черкаси, Україна,
lyashenko.yurij@gmail.com

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ВИПАДАННЯ РОСИ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА ESP8266

DOI: 10.31651/2076-5851-2024-68-80

PACS: 07.05.Hd, 07.07.Df, 84.30.Sk
84.40.Ua, 92.60.Qx

У роботі представлено розробку автоматизованої системи контролю випадання роси, яка базується на використанні мікроконтролера ESP8266-01. Система призначена для моніторингу мікрокліматичних параметрів у середовищах із підвищеною вологістю з метою запобігання утворенню конденсату на критичних поверхнях, таких як вікна. Актуальність роботи зумовлена потребою у доступних, енергоефективних рішеннях для контролю вологості та температури в побутових і промислових умовах.

Запропонована система складається з автономного модуля збору даних, блоку обробки інформації та системи керування мікрокліматичними пристроями. Основними компонентами є датчики температури та вологості DHT11, вентилятори для циркуляції повітря, мікроконтролери ESP8266, модулі живлення та керування, а також елементи Пельтьє й нагрівальні елементи. Зібрані дані передаються через локальну Wi-Fi мережу для подальшого аналізу й візуалізації в Android-додатку.

Система реалізована на принципах модульності, з використанням відкритого програмного забезпечення, що забезпечує її гнучкість, масштабованість і доступність для широкого кола користувачів. Результати тестування підтвердили достатньо високу точність роботи сенсорів, стабільність передавання даних, ефективність реагування на зміни умов, а також зручність інтеграції з мобільним застосунком для віддаленого моніторингу.

Ключові слова: автоматизована система, моніторинг мікроклімату, мікроконтролер esp32, датчики, хмарні технології.

1. Вступ

Проблема випадання роси на поверхнях у середовищах з підвищеною вологістю є актуальною в багатьох сферах - від побуту до промисловості та сільського господарства. Конденсація водяної пари може викликати псування матеріалів, сприяти появі грибків і плісняви, а також негативно впливати на теплоізоляційні властивості огорожувальних конструкцій, зокрема вікон та стін. Особливої уваги потребують віконні конструкції та підвіконня, для яких важливий постійний контроль мікрокліматичних умов з метою запобігання утворенню вологи.

На сьогоднішній день більшість існуючих систем кліматичного моніторингу є або надто складними у впровадженні, або дорогими, що обмежує їх доступність для пересічного користувача. Створення компактної автоматизованої системи, здатної прогнозувати та реагувати на появу конденсату, є важливою інженерною задачею.

Завдяки використанню недорогих мікроконтролерів, WiFi-модулів і мобільних застосунків, зокрема для Android, в роботі пропонується ефективне технічне рішення, яке легко адаптується до різних умов експлуатації [1]. Розроблена в межах цієї роботи система є модульною, відкритою для модернізації та використовує програмне забезпечення з відкритим кодом, що забезпечує її гнучкість і доступність. Автоматичний режим керування активними елементами системи реалізований на основі порівняння температури поверхні зі значенням точки роси, що обчислюється за отриманими показниками вологості та температури. Особливістю конструкції є використання двох автономних блоків збору даних, розміщених у верхній і нижній частинах вікна. Це дозволяє відстежувати температурний градієнт по висоті та точніше прогнозувати момент утворення роси. Для підвищення точності вимірювань у конструкції передбачено використання кулера, що пришвидшує досягнення температурної рівноваги датчика з навколишнім середовищем. Проведені експерименти підтвердили позитивний вплив повітряного обдуву на стабільність і точність показників, але також засвідчили потребу в калібруванні швидкості обертання вентилятора для уникнення похибок.

2. Опис архітектури системи

Запропонована система складається з трьох основних логічних блоків:

- **Портативна, автономна автоматизована система збору даних про параметри температури та вологості.**

Цей модуль призначений для вимірювання кліматичних параметрів без прив'язки до стаціонарного джерела живлення. Його конструкція включає: корпус, що змодельований та надрукований на 3D-принтері; датчик температури та вологості DHT11; 5V кулер (розмір 40×40 мм) для забезпечення циркуляції повітря; мікроконтролер ESP8266-01 з підтримкою WiFi для передавання даних; акумулятор на 3.7V для автономної роботи; DC/DC підвищуючий перетворювач MT3608 (для отримання стабільних 5V); чотири вакуумні присоски для зручного кріплення до скла чи інших поверхонь у вологих умовах.

- **Система обробки даних і керування кліматичними пристроями.**

Цей блок приймає дані від автономного модуля, розраховує точку роси та відповідно активує засоби запобігання конденсату. Основні компоненти: ESP8266-01

для обробки вхідних значень температури та вологості; система циркуляції повітря з кулерами, які працюють разом з елементами Пельтьє для осушення повітря або з нагрівачем на основі ніхромового дроту для підігріву; два 12V кулери для активної вентиляції; елементи Пельтьє для конденсації вологи; нагрівальний елемент з ніхромового дроту, намотаного на ізолятор; повітропровід Г-подібної форми, виготовлений з ПВХ труб; реле для автоматичного керування активними елементами системи.

- **Програмна частина системи.**

Усі блоки пов'язані програмно через мережу WiFi, з можливістю відображення зібраних та оброблених даних у мобільному додатку для Android.

3. Алгоритм роботи системи

Збір даних:

Для збору кліматичних параметрів використовується дві автономні системи, розміщені у верхній та нижній частинах вікна (Рис. 1). Зчитування температури та вологості здійснюється за допомогою датчиків DHT11. Для прискорення адаптації датчика до умов навколишнього середовища перед ним встановлено кулер, що забезпечує циркуляцію повітря та пришвидшує досягнення температурної рівноваги. Такий підхід дозволяє отримати більш точні показники в реальному часі [2].

Розташування двох систем збору - зверху та знизу - дає змогу відстежувати температурний градієнт по висоті вікна. Верхній датчик реєструє температуру теплішого повітря, яке менш схильне до утворення конденсату, тоді як нижній - фіксує умови, де ймовірність випадання роси є найвищою. Порівняння точок роси в обох зонах дозволяє оцінити ефективність роботи системи конвекційної циркуляції та вибрати необхідний режим роботи системи. Дані з датчиків передаються через WiFi кожні 10 секунд, що забезпечує необхідний баланс між частотою оновлення та енергоефективністю системи.

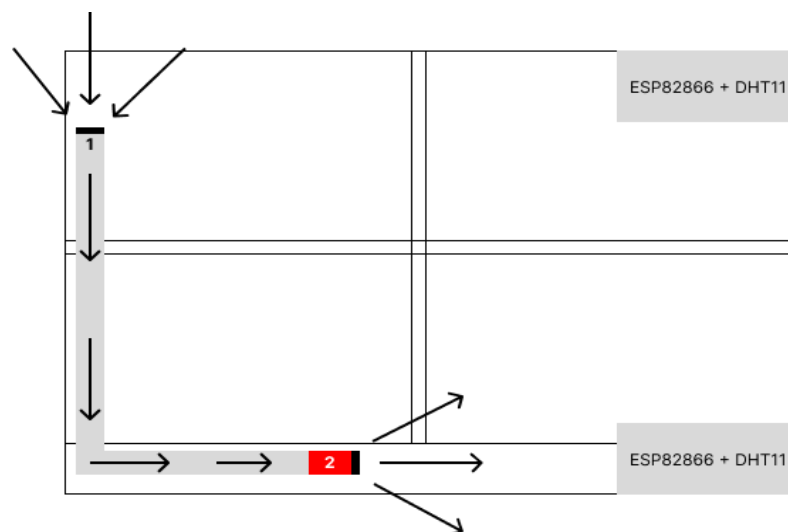


Рис. 1. Система вимірювання температури та вологості у верхній та нижній частині вікна.

Fig. 1. Temperature and humidity monitoring systems at the top and bottom of the window.

Аналіз даних:

Мікропроцесор ESP8266-01 кожні 10 секунд здійснює запити до сенсорів для отримання актуальних значень температури й вологості. На основі цих даних система автоматично обчислює температуру точки роси за відповідною формулою. У разі, якщо виконується умова $T(\text{на склі}) \leq T(\text{точки роси})$ пристрій надсилає сигнал на модуль реле, який активує систему циркуляції повітря (Рис. 2).

Запуск циркуляційної системи:

Повітря циркулює в Г-подібному повітропроводі з ПВХ. Забір повітря здійснюється з верхньої частини вікна. Далі, згідно з алгоритмом, вмикається нагрівальний елемент (ТЕН) для підвищення температури повітря. Якщо протягом 15 хвилин температура не змінюється, система переходить у режим осушення: ТЕН вимикається та активується елемент Пельтьє для зниження вологості та запобігання утворенню конденсату.

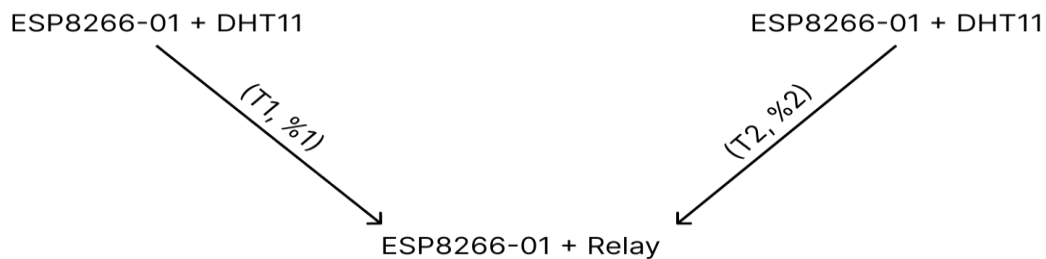


Рис. 2. Опис взаємодії ESP8266 в локальній мережі.

Fig. 2. Description of ESP8266 interaction within a local network.

4. Опис роботи системи контролю випадання роси

Якщо поточна температура знаходиться в межах ± 0.5 °C від точки роси, то надсилається сигнал на реле для активації тена, що підігріває повітря. Якщо протягом 15 хвилин різниця між температурою та точкою роси не зростає щонайменше на 0.5 °C, тен вимикається, а замість нього вмикається елемент Пельтьє.

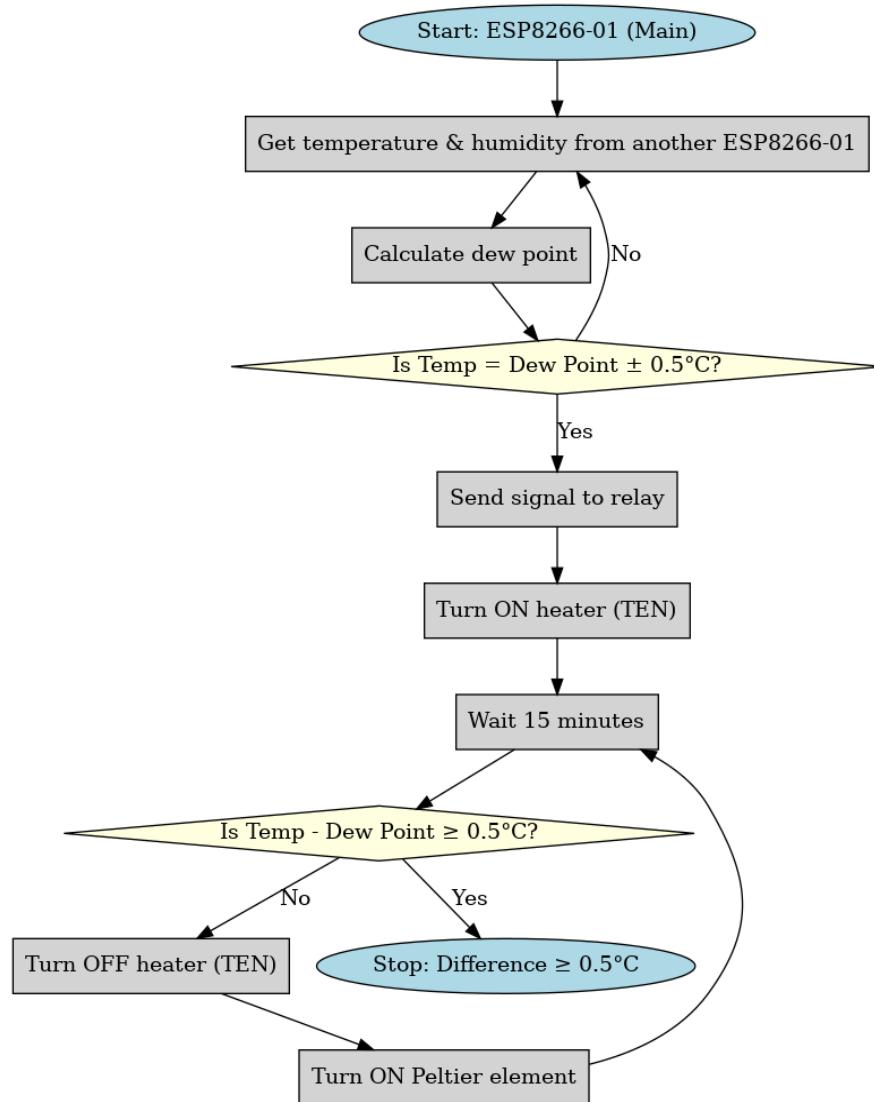


Рис. 3. Блок-схема роботи системи контролю мікроклімату.

Fig. 3. Block diagram of the microclimate control system.

Такий режим роботи зберігається доти, поки різниця між температурою та точкою роси не перевищує 0.5°C . На Рис. 3 представлена блок-схема функціонування системи контролю утворення роси.

5. Принципова схема автономної автоматизованої системи збору даних температури та вологості.

Основна ідея розробленої системи збору даних є її портативність та компактність. Принципова схема (на основі[3]) зображена на (Рис. 4).

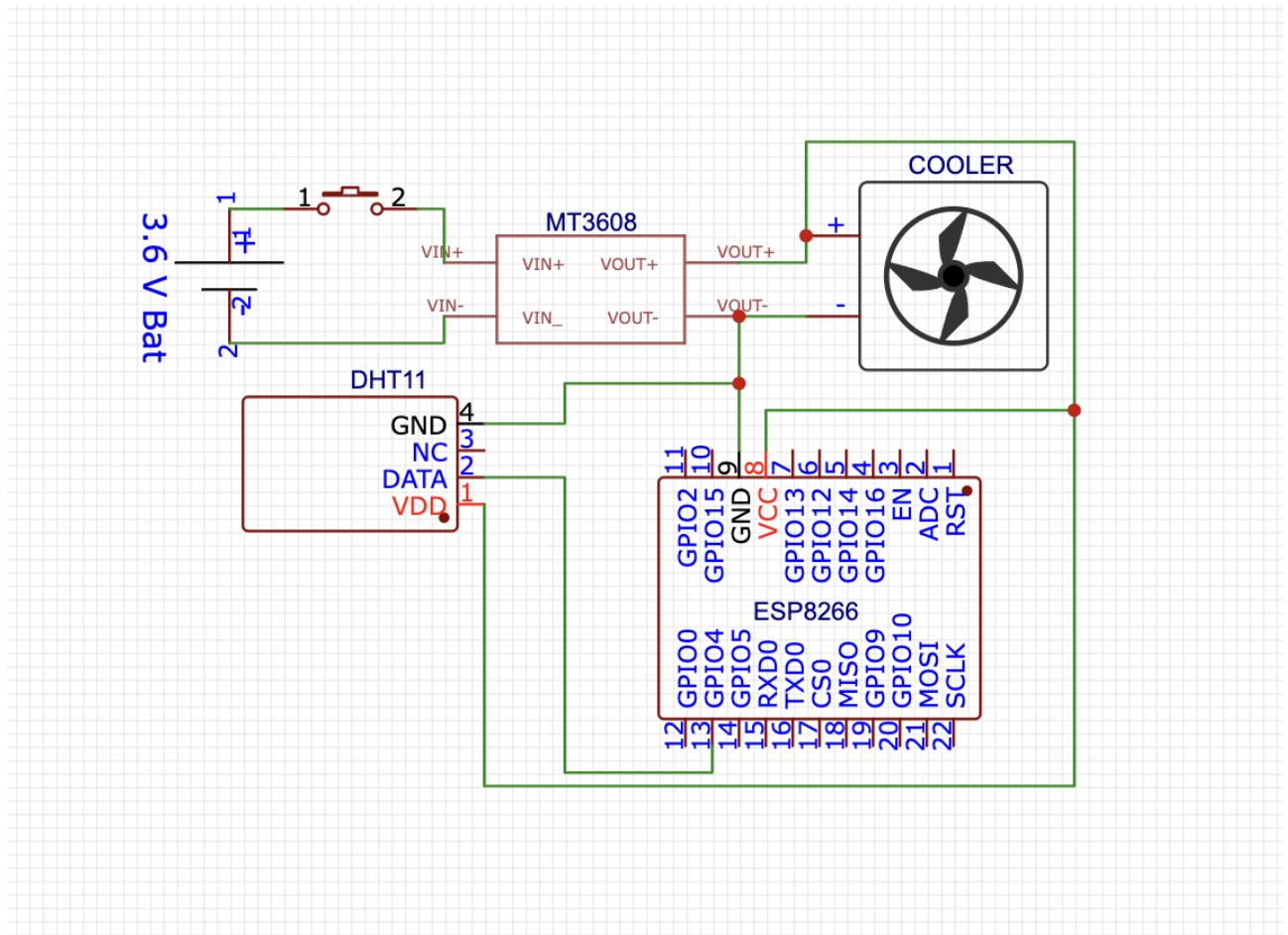


Рис. 4. Принципова схема системи збору даних.

Fig. 4. Schematic diagram of the data collection system.

У ролі джерела живлення використовується акумулятор з параметрами 3.6V та ємністю 0.6Ah, що забезпечує автономну роботу системи. Оскільки робоча напруга схеми становить 5V, застосовується підвищуючий DC-DC перетворювач типу MT3608. Керування всіма процесами здійснюється за допомогою мікроконтролера ESP8266-01, основними перевагами якого є низьке енергоспоживання (у діапазоні 1.8–3.6V, з піковим струмом до 220 мА) та наявність вбудованого Wi-Fi модуля [4]. Це дає змогу використовувати ESP8266-01 у різних режимах:

STA - підключення до Wi-Fi мережі з можливістю передавання та приймання даних;

AP - робота в режимі точки доступу з підключенням до 8 пристроїв одночасно.

Для вимірювання температури та вологості застосовується модуль DHT11. У схемі також передбачено використання вентилятора (кулера), який забезпечує постійну циркуляцію повітря через датчик, що дозволяє точніше реєструвати значення температури та вологості. Однак підхід із застосуванням вентилятора не є універсальним. Серед його переваг можна відзначити: швидке стабілізування показників, що зчитуються з датчика; мінімальна затримка при зміні температури навколишнього середовища. До недоліків належать: необхідність додаткового

калібрування системи, зокрема швидкості обертання вентилятора, оскільки надто інтенсивний потік повітря може негативно впливати на точність вимірювань. Для вивчення впливу обдуву на результати вимірювань було проведено серію експериментів, у яких порівнювалися показники двох однакових модулів DHT11 - з циркуляцією повітря через датчик та без циркуляції - в умовах приміщення з температурою 25 °C і відносною вологістю 50 %. Результати експериментів наведено в Таблиці 1.

Таблиця 1. Залежність температури та вологості від швидкості обертання кулера

Table 1. Dependence of temperature and humidity on fan rotation speed.

Швидкість кулера (RPM)	Температура (°C)	Вологість (%)
0	25	50
600	24.5	47.5
1200	24	45
1800	23.5	43.5
2400	23	41
3000	22.5	39.5

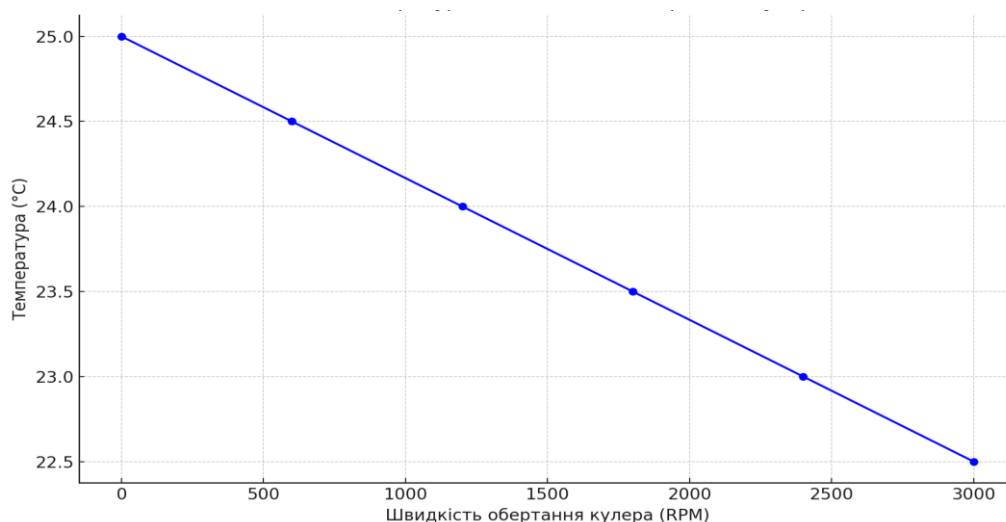


Рис. 5. Залежність температури від швидкості обдуву кулером датчика.

Fig. 5. Dependence of temperature on the airflow speed from the fan directed at the sensor.

Аналіз експериментальних даних показав, що зі збільшенням швидкості обертання кулера отримані з датчика DHT11 значення температури та вологості не відповідають її дійсним значенням. Базуючись на цьому, оптимальним значенням обертів кулера є ≤ 600 RPM (Rounds per minute) (див.Рис. 5).

Для написання коду і прошивання ESP8266-01 використовували середовище Arduino IDE. Скетч ESP8266-01 для керування циркуляційною системою і системою контролю мікроклімату має вигляд:

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <DHT.h>
#include <ArduinoJson.h>

#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

const char* ssid = "wifi_ssid";
const char* password = "wifi_password";

IPAddress local_IP(192, 168, 1, 101);
IPAddress gateway(192, 168, 1, 1);
IPAddress subnet(255, 255, 255, 0);

const char* serverUrl = "http://192.168.1.103:80";

void setup() {
    Serial.begin(115200);

    if (!WiFi.config(local_IP, gateway, subnet)) {
        Serial.println("Failed to configure static IP");
    }

    WiFi.begin(ssid, password);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(1000);
        Serial.println("Connecting to WiFi...");
    }
    Serial.println("Connected!");
    dht.begin();
}

void loop() {
    float temperature = dht.readTemperature();
    float humidity = dht.readHumidity();

    if (isnan(temperature) || isnan(humidity)) {
        Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
        return;
    }
}
```



```

}

StaticJsonDocument<200> jsonDoc;
jsonDoc["temperature"] = temperature;
jsonDoc["humidity"] = humidity;

String jsonString;
serializeJson(jsonDoc, jsonString);

WiFiClient client;
if (client.connect("192.168.1.103", 80)) { // IP ESP3
  client.println("POST /data HTTP/1.1");
  client.println("Host: 192.168.1.103");
  client.println("Content-Type: application/json");
  client.print("Content-Length: ");
  client.println(jsonString.length());
  client.println();
  client.print(jsonString);
}
client.stop();

delay(10000);
}

```

Корпус для системи було виготовлено за допомогою 3D-друку. Проектування компонентів здійснювалося з використанням онлайн-сервісу TinkerCAD - безкоштовного інструменту для створення тривимірних моделей, що дозволяє експортувати готові моделі у форматі .stl, який є сумісним із більшістю 3D-принтерів [5]. Виготовлений корпус зображено на (Рис. 6).

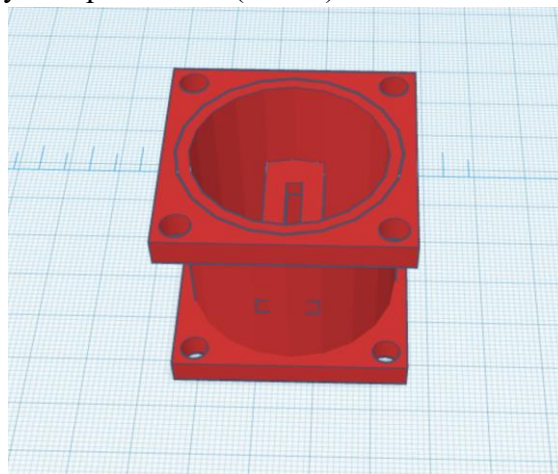


Рис. 6. 3Д модель корпусу системи збору даних.
Fig. 6. 3D model of the data collection system enclosure.

Також на корпусі були змонтовані 4 вакуумні присоски для легкого і надійного кріплення на скло (Рис. 7)

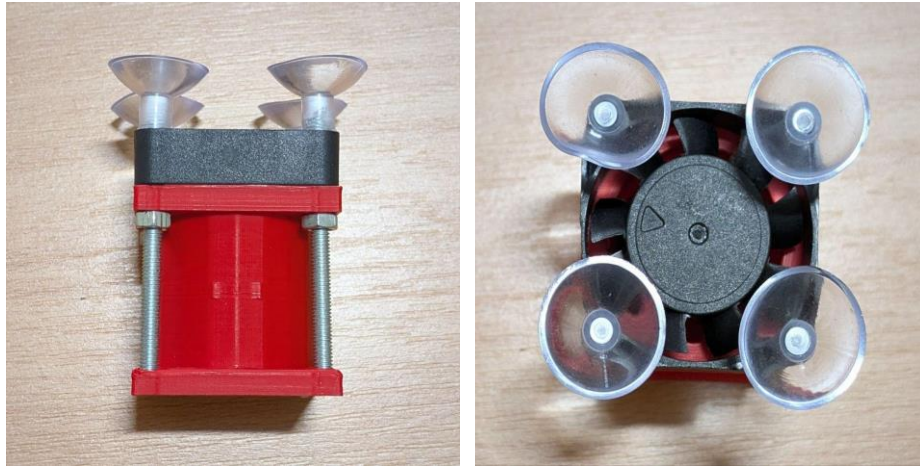


Рис. 7. Система збору значень температури та вологості.

Fig. 7. Temperature and humidity data acquisition system.

6. Результати режимів роботи

Було проведено серію з п'яти експериментів, кожен тривалістю по 20 хвилин, з метою оцінки ефективності роботи системи керування мікрокліматом. У кожному експерименті застосовувалися різні методи контролю параметрів середовища:

- лише циркуляція повітря для вирівнювання температури та вологості між верхньою та нижньою частинами вікна;
- циркуляція повітря у поєднанні з увімкненим теном для підігріву;
- циркуляція повітря з активованим елементом Пельтьє для зниження вологості.

Результати експериментів:

Циркуляція повітря без нагріву та осушення:

Початкові показники: верхня частина вікна - 16.1 °C, 47%; нижня частина - 15.7 °C, 47%.

Через 18 хв роботи системи температура стабілізувалась на рівні 15.9 °C при незмінній вологості 47%.

Різниця між точками роси знизу до і після роботи становила **0.18 °C**.

Циркуляція з увімкненим теном:

Початкові параметри знизу - 15.7 °C, 47%.

Через 18 хв температура зросла до 17.4 °C, вологість залишилася незмінною.

Різниця між точками роси до та після роботи - **0.55 °C**.

Циркуляція з увімкненим елементом Пельтьє:

Початкові значення знизу - 15.7 °C, 47%.

Через 18 хв температура залишилася на тому ж рівні, однак вологість знизилась до 43%.

Різниця між точками роси до та після - 0.94 °C.

Висновки

Розроблено автоматизовану систему для контролю утворення роси на поверхнях у вологих середовищах. Спроековано та виготовлено автономні пристрої для вимірювання температури та вологості на скляних поверхнях, які фіксуються за допомогою вакуумних приліплювачів. Пристрої базуються на Wi-Fi модулі ESP8266-01 та модулі DHT11. Система синхронізується з домашньою мережею та дозволяє отримувати поточні значення температури, вологості та точки роси через смартфон.

Для керування мікрокліматом розроблена система циркуляції повітря, оснащена нагрівальним елементом для підвищення температури та елементом Пельтьє для зменшення вологості.

Також було проведено серію експериментів для оцінки впливу швидкості обертання вентилятора на точність вимірювання температури та вологості. Результати показали, що зі збільшенням швидкості обертання кулера значення температури та вологості знижуються лінійно в межах допустимої похибки. Найоптимальнішим режимом виявилась швидкість обертання кулера не більше 600 об/хв. Крім того, було виконано серію досліджень ефективності роботи системи контролю утворення роси на віконному склі. У результаті встановлено, що при використанні лише циркуляції повітря різниця між початковим та кінцевим значенням точки роси становила 0.18 °C. При увімкненому електротені ця різниця зростала до 0.55 °C. Найвищу ефективність показав режим з увімкненим елементом Пельтьє, де різниця температур точки роси досягла 0.94 °C.

Отже, підсумовуючи результати експериментів, можна зробити висновок, що найефективнішим способом регулювання мікроклімату є осушення повітря за допомогою елемента Пельтьє.

Список використаної літератури:

1. Плющ А. Г. Система автоматичного керування та моніторингу клімату приватного будинку / А. Г. Плющ // *Master's thesis, Сумський державний університет*. – 2023. Режим доступу: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/93790>
2. Лубко Д. Методологія проектування Arduino в якості Web-client та Web-server з використанням датчика DHT11 та їх порівняльна характеристика / Д. Лубко, Ю. Литвин // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: *Нові рішення у сучасних технологіях*. – 2017. – Том. 32, №1254. – С. 62-67. Режим доступу: <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2017.32.10>
3. Guide to 1-Wire Communication [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.maximintegrated.com/en/design/technical-documents/tutorials/1/1796.html>.
4. Gupta, S. Internet of Things: Robotic and Drone Technology / S. Gupta // *MRIIRS, Faridabad, Haryana, India*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1201/9781003181613-11>

5. Kelly, J. F. (2014). 3D Modeling and Printing with Tinkercad: Create and Print Your Own 3D Models. Que Publishing. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: ISBN: 9780133798135

References

1. Pliushch, A. H. (2023). Automatic climate control and monitoring system for a private house (Master's thesis, Sumy State University). Retrieved from <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/93790>
2. Lubko, D., & Lytvyn, Y. (2017). Methodology for designing Arduino as a Web-client and Web-server using the DHT11 sensor and their comparative characteristics. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New Solutions in Modern Technologies, (32 (1254)), 62–67. Retrieved from <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2017.32.10>
3. Guide to 1-Wire Communication [Electronic resource]. – Available at: <https://www.maximintegrated.com/en/design/technical-documents/tutorials/1/1796.html>
4. Gupta, S. Internet of Things: Robotic and Drone Technology / S. Gupta // MRIIRS, Faridabad, Haryana, India. [Electronic resource]. – Available at: <https://doi.org/10.1201/9781003181613-11>
5. Kelly, J. F. (2014). 3D Modeling and Printing with Tinkercad: Create and Print Your Own 3D Models. Que Publishing. [Electronic resource]. – Available at: ISBN: 9780133798135.

YA. V. NIKOLENKO

Magistr of Physics Department,

Educational-Scientific Institute of Informational and Educational Technologies
The Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Cherkasy, Ukraine,
nikolenkoyarik0@gmail.com

YU. O. LYASHENKO

Doctor of physical and mathematical sciences, Professor of the Department of
Physics,
The Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Cherkasy, Ukraine,
urico@ukr.net

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED DEW CONTROL SYSTEM BASED ON THE ESP8266 MICROCONTROLLER.

DOI: 10.31651/2076-5851-2024-68-80

PACS: 07.05.Hd, 07.07.Df, 84.30.Sk
84.40.Ua, 92.60.Qx

This paper presents the development of an automated dew formation control system based on the ESP8266-01 microcontroller. The system is designed to monitor microclimatic parameters in high-humidity environments to prevent condensation on critical surfaces such as windows. The relevance of this work is driven by the need for affordable, energy-efficient solutions for controlling humidity and temperature in domestic and industrial settings.

The proposed system consists of an autonomous data acquisition module, a data processing unit, and a microclimate control system. The main components include DHT11 temperature and humidity sensors, fans for air circulation, ESP8266 microcontrollers, power

and control modules, as well as Peltier elements and heating elements. The collected data is transmitted via a local Wi-Fi network for further analysis and visualization in an Android application.

A distinctive feature of the design is the use of two autonomous data acquisition blocks placed at the top and bottom of the window. This allows for monitoring the temperature gradient along the height and more accurately predicting the point of dew formation. The automatic control mode for the system's active elements is implemented based on comparing the surface temperature with the calculated dew point, determined from the collected humidity and temperature data.

To improve measurement accuracy, the design includes a fan that accelerates the sensor's adaptation to the surrounding environment. Experimental results confirmed the positive impact of air circulation on the stability and accuracy of the readings, but also highlighted the need for calibration of the fan speed to avoid errors.

The system is implemented based on modular principles, using open-source software, ensuring flexibility, scalability, and accessibility for a wide range of users. Test results confirmed the high accuracy of the sensor operation, stable data transmission, effective response to environmental changes, and ease of integration with a mobile application for remote monitoring.

Keywords: automated system, microclimate monitoring, ESP32 microcontroller, sensors, cloud technologies.

Одержано редакцією 20.10.2024

Прийнято до друку 25.11.2024