

**ДОДАТОК А****Код програми**

## Повний код прошивки МК

```

#include <WiFi.h>
#include <WiFiClientSecure.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <DHT.h>

#define DHTPIN 16
#define DHTTYPE DHT22
#define MQ2PIN 34

const char* ssid = "Wokwi-GUEST";
const char* password = "";

const char* mqtt_server = "9813d476b2c6412da20337b36a2e3c95.s1.eu.hivemq.cloud";
const int mqtt_port = 8883;
const char* mqtt_user = "Sterben624";
const char* mqtt_pass = "WaffenSS624";

const char* topic_temperature = "diploma2025/temperature";
const char* topic_humidity = "diploma2025/humidity";
const char* topic_gas = "diploma2025/gas";

WiFiClientSecure wifiClient;
PubSubClient client(wifiClient);
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

unsigned long lastSendTime = 0;
const unsigned long sendInterval = 1000;

#define MQ2_RL_KOHM      5.0
#define MQ2_VC           5.0
#define MQ2_ADC_REF     3.3
#define MQ2_ADC_RES     4095.0
#define MQ2_CLEAN_AIR_FACTOR 9.83

float LPGCurve[3] = {2.3, 0.21, -0.47};

float mq2_R0 = 10.0;
bool mq2_calibrated = false;

void connectWiFi() {
  WiFi.begin(ssid, password);
  Serial.print("Connecting to WiFi");
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.print(".");
    delay(500);
  }
  Serial.println(" connected");
}

void reconnectMQTT() {

```

```

while (!client.connected()) {
  Serial.print("Connecting to MQTT...");
  String clientId = "ESP32-";
  clientId += String(random(0xffff), HEX);
  if (client.connect(clientId.c_str(), mqtt_user, mqtt_pass)) {
    Serial.println("connected");
  } else {
    Serial.print("failed, rc=");
    Serial.print(client.state());
    Serial.println(" try again in 5 seconds");
    delay(5000);
  }
}
}

float mq2_getRs(int adcValue) {
  float vrl = (adcValue * MQ2_ADC_REF) / MQ2_ADC_RES;
  if (vrl <= 0.0) {
    return 1e6;
  }
  float rs = MQ2_RL_KOHM * (MQ2_VC - vrl) / vrl;
  return rs;
}

void mq2_calibrate() {
  Serial.println("Calibrating MQ-2...");
  float rsSum = 0.0;
  const int samples = 50;
  for (int i = 0; i < samples; i++) {
    int adc = analogRead(MQ2PIN);
    float rs = mq2_getRs(adc);
    rsSum += rs;
    delay(100);
  }
  float rsAvg = rsSum / samples;
  mq2_R0 = rsAvg / MQ2_CLEAN_AIR_FACTOR;
  mq2_calibrated = true;
  Serial.print("MQ-2 R0 = ");
  Serial.print(mq2_R0, 2);
  Serial.println(" kOhm");
}

float mq2_getLPG_ppm(int adcValue) {
  if (!mq2_calibrated) {
    return -1;
  }
  float rs = mq2_getRs(adcValue);
  float rs_ro = rs / mq2_R0;
  float logRSR0 = log10(rs_ro);
  float logPPM = (logRSR0 - LPGCurve[1]) / LPGCurve[2] + LPGCurve[0];
  float ppm = pow(10, logPPM);
  return ppm;
}

```

```

}

void publishSensorData() {
  float temperature = dht.readTemperature();
  float humidity = dht.readHumidity();
  int gasRaw = analogRead(MQ2PIN);
  float gasPPM = mq2_getLPG_ppm(gasRaw);

  Serial.print("Raw=");
  Serial.print(gasRaw);
  Serial.print(" LPG=");
  Serial.print(gasPPM);
  Serial.println(" ppm");

  if (!isnan(temperature)) {
    String tempStr = String(temperature, 2);
    client.publish(topic_temperature, tempStr.c_str(), true);
  }

  if (!isnan(humidity)) {
    String humStr = String(humidity, 2);
    client.publish(topic_humidity, humStr.c_str(), true);
  }

  if (gasPPM >= 0) {
    String gasStr = String(gasPPM, 0);
    client.publish(topic_gas, gasStr.c_str(), true);
  }
}

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  dht.begin();
  pinMode(MQ2PIN, INPUT);
  connectWiFi();
  wifiClient.setInsecure();
  client.setServer(mqtt_server, mqtt_port);
  mq2_calibrate();
}

void loop() {
  if (!client.connected()) {
    reconnectMQTT();
  }
  client.loop();
  unsigned long currentTime = millis();
  if (currentTime - lastSendTime >= sendInterval) {
    lastSendTime = currentTime;
    publishSensorData();
  }
}
}

```

## Модель SensorReading

```
namespace SensorMonitor.Models
{
    public class SensorReading
    {
        public long Id { get; set; }
        public string SensorType { get; set; } = string.Empty;
        public decimal Value { get; set; }
        public DateTime Timestamp { get; set; }
    }
}
```

## Модель User

```
namespace SensorMonitor.Models
{
    public class User
    {
        public int Id { get; set; }
        public string Username { get; set; } = string.Empty;
        public string PasswordHash { get; set; } = string.Empty;
        public DateTime CreatedAt { get; set; }
    }
}
```

## MQTT сервис

```
using MQTTnet;
using MQTTnet.Client;
using SensorMonitor.Models;
using SensorMonitor.Data;
using System.Text;
using System.Globalization;

namespace SensorMonitor.Services
{
    public class MqttService
    {
        private IMqttClient? _mqttClient;
        public event Action<SensorReading>? OnDataReceived;
        public event Action<string>? OnStatusChanged;

        public async Task ConnectAsync()
        {
            try
            {
                var factory = new MqttFactory();
                _mqttClient = factory.CreateMqttClient();

                var options = new MqttClientOptionsBuilder()
```

8883)

```

        .WithTcpServer("9813d476b2c6412da20337b36a2e3c95.s1.eu.hivemq.cloud",
        .WithClientId($"WPF_Client_{Guid.NewGuid()}")
        .WithCredentials("admin", "Admin123")
        .WithTls(new MqttClientOptionsBuilderTlsParameters
        {
            UseTls = true,
            AllowUntrustedCertificates = true,
            IgnoreCertificateChainErrors = true,
            IgnoreCertificateRevocationErrors = true
        })
        .WithCleanSession()
        .Build();

        _mqttClient.ApplicationMessageReceivedAsync += OnMessageReceived;

        await _mqttClient.ConnectAsync(options);
        OnStatusChanged?.Invoke("Підключено до MQTT");

        // Підписка на топіки
        await _mqttClient.SubscribeAsync("diploma2025/temperature");
        await _mqttClient.SubscribeAsync("diploma2025/humidity");
        await _mqttClient.SubscribeAsync("diploma2025/gas");
    }
    catch (Exception ex)
    {
        OnStatusChanged?.Invoke($"Помилка: {ex.Message}");
    }
}

private Task OnMessageReceived(MqttApplicationMessageReceivedEventArgs e)
{
    try
    {
        var topic = e.ApplicationMessage.Topic;
        var payload = Encoding.UTF8.GetString(e.ApplicationMessage.PayloadSegment);
        OnStatusChanged?.Invoke($"Отримано: {topic} = {payload}");

        if (decimal.TryParse(payload, NumberStyles.Any, CultureInfo.InvariantCulture,
            out var value))
        {
            var sensorType = topic switch
            {
                "diploma2025/temperature" => "Temperature",
                "diploma2025/humidity" => "Humidity",
                "diploma2025/gas" => "Gas",
                _ => "Unknown"
            };
            var reading = new SensorReading
            {

```

```

        SensorType = sensorType,
        Value = value,
        Timestamp = DateTime.Now
    };

    // Зберігаємо в БД
    SaveToDatabase(reading);

    // Повіdomляємо UI
    OnDataReceived?.Invoke(reading);

    OnStatusChanged?.Invoke($"Оброблено: {sensorType} = {value}");
    }
    else
    {
        OnStatusChanged?.Invoke($"Не вдалося розпарсити: {payload}");
    }
}
catch (Exception ex)
{
    OnStatusChanged?.Invoke($"Помилка обробки: {ex.Message}");
}

return Task.CompletedTask;
}

private void SaveToDatabase(SensorReading reading)
{
    try
    {
        using var db = new SensorDbContext();
        db.SensorReadings.Add(reading);
        db.SaveChanges();
    }
    catch (Exception ex)
    {
        OnStatusChanged?.Invoke($"Помилка БД: {ex.Message}");
    }
}

public async Task DisconnectAsync()
{
    if (_mqttClient != null && _mqttClient.IsConnected)
    {
        await _mqttClient.DisconnectAsync();
        OnStatusChanged?.Invoke("Відключено");
    }
}
}
}
}
}

```

## **ДОДАТОК Б**

Апробація результатів кваліфікаційної роботи

Міністерство освіти і науки України



**NURE**

Харківський національний університет  
радіоелектроніки

## **ЗБІРНИК**

**студентських наукових статей**

«Автоматизація та приладобудування»

«Automation and Development of Electronic Devices»

**ADED-2025**

(Випуск 2)

[електронне видання]



<http://nure.ua/department/kafedra-komp-yuterno-integrovanih-tehnologiy-avtomatizatsiyi-ta-mehatroniki-kitam>



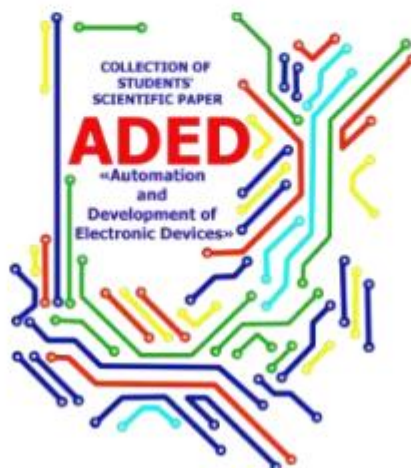
<http://itez.zntu.edu.ua/>



<http://kafea.kdu.edu.ua>

Харків 2025

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки  
кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки  
(КІТАР)



**ЗБІРНИК**  
студентських наукових статей  
«Автоматизація та приладобудування»  
«Automation and Development of Electronic Devices»  
**ADED-2025**  
(Випуск 2)  
[електронне видання]

Харків 2025

<b>Головий редактор</b>	<b>Невлюдов Ігор Шакирович</b> , доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.
<b>Редакційна колегія:</b>	<p><b>Филипенко Олександр Іванович</b>, доктор технічних наук, професор, декан факультету Автоматики та комп'ютеризованих технологій, Харківського національного університету радіоелектроніки.</p> <p><b>Цимбал Олександр Михайлович</b>, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.</p> <p><b>Андрусевич Анатолій Олександрович</b>, доктор технічних наук, професор, начальник Криворізького коледжу національного авіаційного університету</p> <p><b>Косенко Віктор Васильович</b>, доктор технічних наук, професор, зам. директора Державного підприємства «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості».</p> <p><b>Замірець Микола Васильович</b>, доктор технічних наук, професор, директор Державного підприємства Науково-дослідного технологічного інституту приладобудування.</p> <p><b>Свищ Володимир Митрофанович</b>, доктор технічних наук, професор, радник директора Державне науково-виробниче підприємство «Об'єднання Комунар».</p> <p><b>Фомовська Олена Владиславівна</b>, кандидат технічних наук, доцент завідувач кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.</p> <p><b>Кухаренко Дмитро Володимирович</b>, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського</p> <p><b>Демська Наталія Павлівна</b>, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.</p> <p><b>Фурманова Наталія Іванівна</b>, кандидат технічних наук, доцент, декан факультета Радіоелектроніки і телекомунікацій, Національного університету «Запорізька політехніка».</p>
<b>Відповідальний редактор:</b>	<b>Євссєв Владислав В'ячеславович</b> , доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.

Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2025) [Електронний ресурс] : збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки ; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2025. – Вип. 2. – 207с.

Collection of Students' Scientific Paper «Automation and Development Of Electronic Devices» ADED-2025 Part 2 (Key infrastructure 2025) - Kharkiv/ The Editorial.: Nevlyudov I.Sh. (head), that all. Kharkiv: Kind of Kharkiv National University of Radio Electronics [electronic edition], 2025. – 207p with.

Рекомендовано рішенням  
Науково-технічної ради  
Харківського національного  
університету радіоелектроніки  
протокол №6 від 29.11.2018

Рекомендовано рішенням Вченої ради  
факультету Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
Харківського національного  
університету радіоелектроніки  
протокол № 4 від 21 листопада 2025

Збірник містить наукові статті здобувачів першого (бакалаврського), другого (магістерського) рівнів вищої освіти кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР) Харківського національного університету радіоелектроніки, кафедри Інформаційних технологій електронних засобів (ІТЕД) Запорізького національного технічного університету та кафедри Електронних апаратів (ЕА) Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського які навчаються за спеціальностями: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка; 172 Телекомунікації та радіотехніка, 171 Електроніка та 163 Біомедична інженерія. Статті надані в авторській редакції.

©ХНУРЕ, 2025 рік

## ЗМІСТ

<i>Карпович Б.О.</i> Імпульсно-доплерівська селекція в системах автоматичного керування та робототехніці .....	7
<i>Рожко А.Р., Бондаренко С.В.</i> Підвищення точності систем автоматичного регулювання шляхом корекції динаміки спостерігача стану .....	12
<i>Бондаренко С.В., Рожко А.Р.</i> Аналіз методів синтезу оптимальних регуляторів для систем із параметричними збуреннями .....	17
<i>Кобець Д.С., Кравченко С.О.</i> Синтез адаптивних систем із прогнозуючим законом керування .....	21
<i>Кравченко С.О., Кобець Д.С.</i> Застосування принципу інваріантності для компенсації зовнішніх збурень у системах автоматичного регулювання .....	25
<i>Коваленко О.А., Бондаренко С.В.</i> Вплив нелінійних характеристик виконавчих механізмів на динамічні властивості систем автоматичного регулювання та методи їх компенсації .....	29
<i>Lisovskiy A.</i> Comparative Analysis of the Vulnerability of Large Language Models to Prompt Injections .....	34
<i>Шевченко О.</i> Аналіз методів визначення положення безпілотного наземного мобільного робота на карті місцевості .....	41
<i>Андреев А. С.</i> Особливості використання LLM в аналізі даних .....	46
<i>Гайдук І.М.</i> Система управління роботизованим маніпулятором на основі розпізнавання жестів руки .....	53
<i>Счевський А. Д.</i> Дослідження ефективності систем навігації SLAM, VSLAM та LDS для автономних мобільних роботів у складських приміщеннях .....	56
<i>Колбаса О. Р.</i> CRM-система як інструмент інтеграції відділу продажів та виробництва: від зменшення циклу замовлення до підвищення лояльності клієнтів .....	63
<i>Конєва А. І.</i> Особливості обробки зображень на виробництві .....	69
<i>Котенко В.А.</i> Аналіз технологій та перспектив розвитку гібридних мобільних роботів .....	76
<i>Кривчун Р.В.</i> Комп'ютерне моделювання та його роль у сучасному роботизованому виробництві ....	81
<i>Левченко К.О.</i> Методи кольорового сортування за допомогою контурного виділення звичайною оптичною камерою у видимому спектрі сировини на конвеєрних виробництвах .....	87
<i>Мамін В.А.</i> Інтелектуальні системи керування квадрокоптерами: аналіз функціональних аспектів та перспективи розвитку .....	92
<i>Маруніч Р.В.</i>	95

Аналіз сучасних систем контролю доступу та перспективи їх розвитку .....	
<i>Маслов І.В.</i>	
Вплив структури заповнення на термостійкість виробів FFF/FDM-друку .....	101
<i>Мироненко Н.М.</i>	
Аналіз систем автоматизації виявлення дефектів литих пластикових виробів з використанням технології комп'ютерного зору .....	109
<i>Проценко Д.Є.</i>	
Аналіз роботи з штучними інтелектами .....	106
<i>Рябовол Д.А.</i>	
Мінімізація людського фактору в промисловій автоматизації засобами інтелектуальних систем підтримки рішень .....	120
<i>Пара І.І.</i>	
Аналіз систем керування FPV дронів з використанням нейронних мереж .....	126
<i>Гайдук І.М.</i>	
Аналіз особливостей розробки системи управління роботизованим маніпулятором на основі розпізнавання жестів руки .....	130
<i>Коваленко І.С.</i>	
Вдосконалення системи керування безпілотним мобільним роботом з використанням резервування та дублювання основних функцій .....	135
<i>Мороз М.В.</i>	
Аналіз сучасних систем моніторингу виробничих параметрів .....	142
<i>Головчанський М.О.</i>	
Роль штучного інтелекту у віртуальних симуляціях для автономного управління дронами .....	147
<i>Сухомлінова Д. А.</i>	
Дрони та метавесвіт: віртуальні середовища як полігон для безпілотних технологій ...	155
<i>Фесенко А. О.</i>	
Аналіз характеристик параметрів навколишнього середовища у виробничих приміщеннях .....	164
<i>Чередніченко Т.О.</i>	
Захист даних у системах автоматичного відстеження робочого часу .....	171
<i>Шаталюк Р.Р.</i>	
Використання інтелектуальної аналітики даних у системах моніторингу вентиляційних процесів литейних установок .....	177
<i>Шаталюк Р.Р.</i>	
Застосування візуальних середовищ Node-Red та Grafana для побудови панелей моніторингу технологічних процесів .....	182
<i>Шевченко А. Д.</i>	
Штучний інтелект та машинне навчання в робототехніці .....	188
<i>Воловік А.В.</i>	
Калібрування камери модуля визначення положення виконавчого елемента робота ....	194
<i>Ярош-Іванов М.В.</i>	
Пошук об'єкта за кольором в системі технічного зору .....	201

УДК 519.81

## АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ВИРОБНИЧИХ ПАРАМЕТРІВ

**Мороз М. В.**

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: maksym.moroz@nure.ua

**Анотація:** У статті проведено огляд та аналіз сучасних апаратно-програмних систем моніторингу виробничих параметрів, призначених для контролю температури, вологості та інших характеристик середовища. Розглянуто приклади комерційних рішень, зокрема Testo, SenseCAP і SONOFF, визначено їхні переваги та недоліки. Проаналізовано апаратні платформи Arduino UNO та ESP32, а також протоколи передавання даних UART, ІС та MQTT. Визначено, що більшість наявних систем мають обмеження щодо автономності, гнучкості та локального збереження інформації. Обґрунтовано доцільність створення власного програмно-апаратного комплексу моніторингу з використанням ESP32, MQTT і локальної бази даних SQL Server.

**Ключові слова:** моніторинг, автоматизація, виробничі параметри, ESP32, MQTT, датчики, база даних.

## ANALYSIS OF MODERN PRODUCTION PARAMETER MONITORING SYSTEMS

**M. Moroz**

Kharkiv Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av, 14

E-mail: maksym.moroz@nure.ua

**Abstract:** The article reviews and analyses modern hardware and software systems for monitoring production parameters designed to control temperature, humidity and other environmental characteristics. Examples of commercial solutions, including Testo, SenseCAP and SONOFF, are considered, and their advantages and disadvantages are identified. The Arduino UNO and ESP32 hardware platforms, as well as the UART, I<sup>2</sup>C and MQTT data transfer protocols, are analysed. It is determined that most existing systems have limitations in terms of autonomy, flexibility and local information storage. The feasibility of creating a proprietary software and hardware monitoring complex using ESP32, MQTT, and a local SQL Server database is justified.

**Keywords:** monitoring, automation, production parameters, ESP32, MQTT, sensors, database.

Сучасні тенденції розвитку промисловості передбачають активне впровадження цифрових технологій для підвищення ефективності виробничих процесів, зменшення людського фактору та забезпечення стабільної якості продукції. Одним із ключових напрямів цієї цифрової трансформації є автоматизація контролю середовища, у якому відбуваються технологічні операції. Постійний моніторинг таких параметрів, як температура, вологість, тиск чи рівень вібрації, дозволяє не лише підтримувати оптимальні умови, а й своєчасно виявляти відхилення, що можуть призвести до збоїв або зниження ефективності виробництва. У цьому контексті значного поширення набули різноманітні апаратно-програмні комплекси моніторингу параметрів середовища, проте більшість з них мають суттєві обмеження або надлишкову складність для малих і середніх підприємств.

На ринку присутня велика кількість комерційних систем, призначених для вимірювання та контролю параметрів навколишнього середовища. Одним із прикладів є пристрій Testo 608-

H1/H2, який забезпечує вимірювання температури та вологості з високою точністю та надійністю. Ці прилади прості у використанні, проте не мають можливості передачі даних на комп'ютер або сервер, а також не зберігають історію вимірювань, що обмежує їх застосування у виробничих системах.



Рисунок 1 – Термогігрометр Testo 608-H2

Інше рішення — SenseCAP S2103 — побудоване на основі бездротової технології LoRaWAN, що дозволяє здійснювати передачу даних на великі відстані з мінімальним енергоспоживанням. Пристрій має захист корпусу IP66 і може працювати автономно до десяти років, однак для його використання необхідна розвинена мережа шлюзів і серверів LoRaWAN, що підвищує складність і вартість впровадження.



Рисунок 2 – Датчик SenseCAP S2103 з підтримкою LoRaWAN

Третім прикладом є система SONOFF TH Elite, яка поєднує можливості моніторингу температури та вологості з функціями дистанційного керування обладнанням. Її основною перевагою є інтеграція з мобільними застосунками через хмарний сервіс eWeLink, проте така залежність від інтернет-з'єднання створює ризики втрати даних та обмежує автономність.



Рисунок 3 – Розумний перемикач SONOFF TH Elite з LCD-дисплеєм

Порівняльний аналіз цих систем свідчить, що наявні рішення здебільшого орієнтовані або на побутове використання, або на великі промислові комплекси з високим бюджетом. Для більшості підприємств малого та середнього рівня залишаються актуальними проблеми доступності, автономності, локального збереження даних та можливості інтеграції з власним програмним забезпеченням. Саме тому виникає потреба у створенні універсальної системи моніторингу, що поєднує доступність компонентів, простоту реалізації та гнучкість у використанні.

Таблиця 1.1 – Порівняння характеристик мікроконтролерних платформ

Характеристика	Arduino UNO	ESP32
Мікроконтролер	ATmega328P	Xtensa LX6 (dual-core)
Тактова частота	16 МГц	до 240 МГц
Flash-пам'ять	32 КБ	4 МБ
Оперативна пам'ять (SRAM)	2 КБ	520 КБ
Цифрові входи-виходи	14	34
Аналогові входи	6 (10-біт АЦП)	18 (12-біт АЦП)
ШІМ виходи	6	16
Вбудований Wi-Fi	Ні	Так (802.11 b/g/n)
Вбудований Bluetooth	Ні	Так (Classic + BLE)
Напруга живлення	5 В	3,3 В
Напруга входів-виходів	5 В	3,3 В
Інтерфейси	UART, SPI, I2C, USB	UART, SPI, I2C, USB, CAN
Середовище програмування	Arduino IDE	Arduino IDE, ESP-IDF
Споживання енергії	~50 мА	80-240 мА (активний режим)
Можливість багатозадачності	Обмежена	FreeRTOS (підтримка багатопотоковості)

У межах дослідження було розглянуто технічні платформи, що можуть бути використані для побудови подібних систем. Порівняння мікроконтролерів Arduino UNO та ESP32 показало, що останній має значно більшу обчислювальну потужність, більший обсяг пам'яті, підтримку бездротових технологій Wi-Fi та Bluetooth, а також можливість роботи з сучасними протоколами обміну даними. Arduino UNO залишається зручним для навчальних і простих проєктів, але для промислових рішень потребує додаткових модулів, що знижує економічну

доцільність. Таким чином, ESP32 визначено як оптимальну платформу для побудови систем моніторингу виробничих параметрів.

Аналіз протоколів передавання даних також показав, що найкраще підходить MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) — легкий телеметричний протокол, розроблений спеціально для IoT-систем. Його ключовими перевагами є мінімальне споживання трафіку, висока стабільність з'єднання навіть у нестійких мережах і зручна архітектура «публікація-підписка». Завдяки цьому обмін даними між контролером, брокером і клієнтським застосунком відбувається у реальному часі без перевантаження мережі.

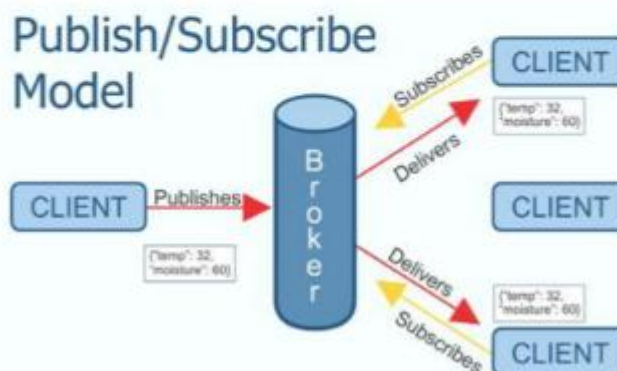


Рисунок 4 – Архітектура системи моніторингу виробничих параметрів із використанням протоколу MQTT

Водночас виявлено низку типових недоліків у сучасних комерційних рішеннях. Серед них — залежність від хмарних платформ, які зберігають дані на сторонніх серверах, що створює ризики втрати або витіку інформації; висока вартість промислових систем, що унеможливує їх впровадження на малих підприємствах; обмежена інтеграція із зовнішніми базами даних і програмним забезпеченням; неможливість локального доступу до історії вимірювань у більшості побутових пристроїв. Усе це підкреслює необхідність створення відкритої, локальної та гнучкої системи, яка може працювати без підключення до Інтернету та водночас забезпечувати зручну візуалізацію й збереження даних.

Для усунення цих недоліків розроблено власну програмно-апаратну систему моніторингу виробничих параметрів, яка реалізує принципи автономності, відкритості та масштабованості. Її апаратна частина складається з мікроконтролера ESP32 і набору датчиків, що вимірюють температуру, вологість і тиск. Дані передаються через MQTT-брокер до десктопного застосунку, розробленого у середовищі C# WPF, який зберігає інформацію у локальній базі даних SQL Server. Програмна частина забезпечує відображення поточних значень сенсорів, побудову графіків і перегляд архівів. Реалізовано також режим симуляції, що дозволяє тестувати роботу системи без фізичних сенсорів.

Система демонструє стабільність роботи, швидку реакцію на зміну параметрів і можливість розширення функціональності шляхом підключення нових типів датчиків. На відміну від хмарних рішень, розроблене програмне забезпечення не потребує інтернет-з'єднання, що робить його придатним для використання у виробничих умовах із обмеженим доступом до мережі. Завдяки локальній базі даних користувач має повний контроль над інформацією, може здійснювати аналітику, формувати звіти та експортувати результати у зручному форматі.

Розроблена система може використовуватись не лише у промисловості, а й у навчальних закладах як демонстраційний стенд для ознайомлення студентів із принципами побудови IoT-рішень. Вона поєднує простоту апаратної частини з функціональністю промислового програмного забезпечення, що робить її універсальним інструментом для досліджень та практичного застосування.

Підсумовуючи, можна зазначити, що проведений аналіз сучасних систем моніторингу виробничих параметрів підтвердив наявність суттєвих обмежень у комерційних рішеннях та обґрунтував потребу у створенні власного доступного й автономного комплексу. Запропонована система на базі ESP32, MQTT та SQL Server відповідає вимогам надійності, зручності використання і безпеки даних. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на інтеграцію системи з вебінтерфейсом, розширення набору сенсорів і реалізацію віддаленого адміністрування через локальну мережу.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Системи і датчики для контролю параметрів зовнішнього середовища. URL: <https://xreferat.com/38/2286-1-sistemi-datchiki-dlya-kontrolyu-parametr-v-zovn-shn-ogo-seredovisha.html>.
2. Датчики технологічних параметрів. URL: <https://helpiks.org/8-85172.html>.
3. SCADA система / DIGITAP. URL: <https://digitap.com.ua/scada-systema-shho-cze-take/>.
4. Інтернет речей у промисловості: як це працює? Kyivstar Business Hub. URL: <https://hub.kyivstar.ua/articles/internet-rechej-u-promislovosti-yak-cze-praczuje>.
5. Впровадження системи нагляду SCADA zenon – вигоди для кожної галузі / Quantum. URL: <https://quantum-int.com/news/vprovadzheniya-sistemi-naglyadu-scada-zenon-vigodi-dlya-kozhnoyi-galuzi/>.
6. Порівняння датчиків DHT11, DHT22 та BME280: характеристики, приклади коду та вибір. URL: <https://myproject.com.ua/porivniannia-datchykiv-temperatury-ta-volohosti-dht11-vs-dht22-vs-bme280.html>.
7. Мікроконтролери. URL: <https://e-lab.com.ua/microcontrollers.html>.
8. ESP32 проти Arduino: Який мікроконтролер ви повинні вибрати?. URL: <https://ua.allelcoelec.com/blog/ESP32-vs-Arduino-Which-Microcontroller-Should-You-Choose.html>.
9. Bluetooth JDY-31 і Arduino. URL: <https://kit.alexgyver.ru/tutorials/bluetooth-jdy31/>.
10. MQTT Version 5.0 Protocol Specification. – OASIS Standard, 2020.
11. Berman D., Kurniawan A. Internet of Things with ESP32: Build IoT Applications Using ESP32 and MQTT. – Apress, 2021.
12. Цифровий гігрометр testo 608-H2, термогігрометр. URL: <https://www.testo.kiev.ua/ua/testo-608-n2.html>.
13. SenseCAP S2103 – Датчик CO2, температури та вологості – LoRaWAN. URL: <https://magazin-apelsin.net/ua/p1868453927-sensecap-s2103-datchik.html>.
14. Розумний перемикач температури та вологості TH Elite. URL: <https://homesmart.com.ua/ru/rozumniy-peremykach-temperatury-ta-volohosti-th-elite/>.

**Науковий керівник:** *Олександр Михайлович Цимбал, професор кафедри КІТАР, доктор технічних наук Харківського національного університету радіоелектроніки.*

**ДОДАТОК В**  
Демонстраційний матеріал

