

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Сумський державний університет  
Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра електроніки, загальної та прикладної фізики

«До захисту допущено»

Завідувачка кафедри

\_\_\_\_\_ Лариса ОДНОДВОРЕЦЬ

\_\_\_\_\_ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**на здобуття освітнього ступеня магістр**

зі спеціальності 171 Електроніка освітньо-професійної програми «Електронні інформаційні системи»

на тему: **ПРИСТРІЙ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ  
У ПРИМІЩЕННІ НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ СІМЕЙСТВА ESP**

Здобувача групи ЕП.м-22 Карпіщенко Олександра Олексійовича

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

\_\_\_\_\_ Олександр КАРПІЩЕНКО

Керівник: доцент кафедри електроніки,  
загальної та прикладної фізики,  
к.ф.-м.н., доцент

Юрій ШАБЕЛЬНИК

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
Кафедра електроніки, загальної та прикладної фізики  
Спеціальність 171 – Електроніка, освітня програма  
«Електронні інформаційні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувачка кафедри  
\_\_\_\_\_ Л.В. Одноворець  
«06» листопада 2023 року

**ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

**Карпіщенко Олександра Олексійовича**

1. Тема роботи Пристрій для моніторингу фізичних параметрів у приміщенні на основі мікроконтролерів сімейства ESP

затверджена наказом по університету від «10» листопада 2023 р., № 1260-VI

2. Термін здачі студентом закінченої роботи 12 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи (актуальність, мета):

Розвиток інформаційних технологій та електроніки в останні роки значно прискорився, що дає можливість на якісно новому рівні використовувати усі переваги автоматизації різних процесів. Використання сучасних мікроконтролерів та великої кількості датчиків дозволяє в дистанційному режимі контролювати та коригувати фізичні параметри в будь-якому приміщенні. Це дозволяє зробити перебування працівників в таких приміщеннях більш комфортним та збільшує продуктивність роботи. Важливими параметрами є температура повітря, вологість, рівень шуму та освітленості. Але, як правило, готових рішень, що дозволяли б вимірювати всі фізичні параметри разом, немає. Є велика кількість окремих датчиків, які, об'єднуючи між собою, утворюють розумний дім, що за своєю концепцією став частиною Інтернету речей.

Мета роботи полягала у розробці універсального автономного пристрою для вимірювання фізичних параметрів робочого середовища в офісних та виробничих приміщеннях, таких як температура повітря, вологість, рівень шуму, освітленості.

4. Зміст текстової частини роботи (перелік питань, що належить їх розробити):
1. Розділ 1. Інтернет речей як шлях до дешевих і функціональних вимірювальних пристроїв.
  2. Розділ 2. Аналіз апаратної платформи NodeMCU та інтерфейсів обміну даними.
  3. Розділ 3. Розробка приладу для вимірювання фізичних параметрів робочого середовища.
  4. Висновки.
  5. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу для презентації:

Слайди № 1, 2 – Вступ. Мета та актуальність.

Слайди № 3-4 – Інтернет речей як шлях до дешевих і функціональних вимірювальних пристроїв

Слайди № 5-7 – Аналіз апаратної платформи NodeMCU та інтерфейсів обміну даними.

Слайди № 8-14 – Розробка приладу для вимірювання фізичних параметрів робочого середовища. Таблиці та залежності параметрів

Слайд № 15 – Висновки

6. Дата видачі завдання 06.11.2023 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка про стан виконання роботи
1	Аналіз літературних даних	до 13.11.2023 р.	Вик.
2	Освоєння методики проведення розрахунків і моделювання.	до 27.11.2023 р.	Вик.
3	Підготовка тексту магістерської роботи.	до 12.12.2023 р.	Вик.
4	Попередній захист роботи.	13.12.2023 р., 13 <sup>00</sup> (онлайн)	Вик.
5	Захист роботи в екзаменаційній комісії.	19.12.2023 р. – 20.12.2023 р., 11 <sup>30</sup> (онлайн)	Вик.

Здобувач \_\_\_\_\_

Олександр КАРПІЩЕНКО

Керівник роботи \_\_\_\_\_

Юрій ШАБЕЛЬНИК

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота викладена на 38 сторінках, зокрема, містить 16 рисунків, 7 таблиць, список використаних джерел із 35 найменувань.

Останніми роками відбувається суттєва трансформація виробничих процесів, особливо для офісних працівників. Так, велика частка офісних працівників працює дистанційно. Далеко не всюди є можливість організувати якісні робочі місця та умови праці. З допомогою розробки, яка пропонується в роботі, можна організувати моніторинг та аналіз основних фізичних параметрів приміщення, чи то наукової лабораторії, чи шкільного класу. Застосування таких пристроїв дозволить зробити умови праці більш комфортними, а продуктивність роботи працівників повинна підвищитися.

Мета роботи полягала у розробці проекту універсального автономного пристрою для вимірювання фізичних параметрів робочого середовища в офісних та виробничих приміщеннях таких як температура повітря, вологість, рівень шуму, освітленості.

Під час виконання роботи було використано методи порівняння, експерименту, аналізу. Для апаратної частини – датчики температури, освітленості, вологості і шуму, мікроконтролер ESP8266; для прошивки контролера – програмне забезпечення Arduino IDE, для розробки електричної схеми – EasyIDE.

У результаті проведених наукових досліджень та моделювання було розроблено схему вимірювального приладу; написано програму для мікроконтролера, який працює у взаємодії з датчиками параметрів робочого середовища та фіксує їх значення; розроблено та виготовлено універсальний автономний пристрій для вимірювання параметрів робочого середовища, таких як температура, вологість, освітленість та рівень шуму.

Отримані результати та сам пристрій можна використати при розробці лабораторних та розрахункових робіт з дисципліни «Інтегральна і функціональна мікроелектроніка»

**Ключові слова:** ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ, ДАТЧИК, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, МІКРОКОНТРОЛЕР, РОБОЧЕ СЕРЕДОВИЩЕ.

## ЗМІСТ

<b>РОЗДІЛ 1. ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ ЯК ШЛЯХ ДО ДЕШЕВИХ І ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ</b> .....	6
1.1 Особливості вимірювання фізичних параметрів у приміщенні в автоматичному режимі .....	6
1.2 Інтернет речей як екосистема сучасних технологій .....	8
1.3 Архітектура та виводи мікроконтролерів ESP8266 .....	11
<b>РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ АПАРАТНОЇ ПЛАТФОРМИ NODEMCU ТА ІНТЕРФЕЙСІВ ОБМІНУ ДАНИМИ</b> .....	14
2.1 Модулі на основі мікроконтролерів ESP8266 та ESP32 .....	14
2.2 Протокол I2C .....	17
2.3 WiFi інтерфейс для взаємодії з пристроями відображення інформації .....	20
2.4 Аналоговий вхід та АЦП перетворювач .....	21
<b>РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРИЛАДУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ фізичних ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО СЕРЕДОВИЩА</b> .....	22
3.1 Підбір датчиків для вимірювання фізичних параметрів .....	22
3.2 Розробка схеми та загальної конструкції вимірювального приладу на базі NodeMCU .....	26
3.3 Опис програмного забезпечення .....	29
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	34
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	35

## РОЗДІЛ 1. ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ ЯК ШЛЯХ ДО ДЕШЕВИХ І ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

### 1.1 Особливості вимірювання фізичних параметрів у приміщенні в автоматичному режимі

В Україні вимоги до робочого середовища в офісі регулюються рядом законодавчих та нормативних документів, які включають:

1. Закон України "Про охорону праці" [1]: Цей закон встановлює основні вимоги щодо забезпечення безпеки та охорони здоров'я працівників під час роботи, в тому числі умови робочого середовища.

2. Державні санітарні норми та правила [2]

3. Норми освітлення робочих місць, наприклад, ДСТУ EN 12464-1:2016 Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1. Внутрішні робочі місця [3].

4. Правила пожежної безпеки.

5. Нормативні акти з питань ергономіки.

6. Положення про виробничий контроль за станом охорони праці.

Стан здоров'я та ефективність праці людини значно залежать від мікроклімату оточення, особливо під час робочого процесу. Температура, вологість, швидкість повітряних потоків та випромінювання тепла від нагрітих поверхонь визначають клімат усередині виробничих приміщень. У процесі роботи людина знаходиться у теплообміні з робочим середовищем.

При ідеальних умовах мікроклімату, терморегуляційні механізми в організмі робітника підтримують стабільну температуру тіла (36,6 °C). Кількість тепла, що виробляється організмом, залежить від фізичної активності робітника, а віддача тепла – від умов мікроклімату на робочому місці. При високій температурі повітря, значна частина тепла виводиться через потовиділення, втрачаючи при цьому воду, вітаміни та мінерали, що може призвести до зневоднення та порушення обміну речовин [4].

Вологість повітря має важливий вплив на самопочуття та продуктивність. Висока вологість ускладнює віддачу тепла через випаровування, в той час як низька вологість сприяє ефективнішому тепловідводу, але може спричинити пересихання слизових дихальних шляхів. Для забезпечення прийнятних мікрокліматичних умов на виробництві використовуються механізація важких робіт, системи примусової вентиляції та, за потреби, кондиціонування повітря. Оптимальна відносна вологість для здоров'я складає 40-60%, а максимально допустимий рівень – 75% [5].

У даній роботі акцент робиться на вимірюванні параметрів робочого середовища для офісних та наукових працівників, тому зупинимося більш детально на вимогам саме до таких робочих місць.

Робочі приміщення, де використовуються персональні комп'ютери, повинні бути укомплектовані системами для обігріву, кондиціонування повітря або забезпечені системою припливно-витяжної вентиляції. На робочих станціях у таких приміщеннях необхідно підтримувати оптимальні рівні мікрокліматичних параметрів, таких як температура, відносна вологість та циркуляція повітря, у відповідності до Державних санітарних норм ДСН 3.3.6.042-99.

Таблиця 1.1 – Оптимальні параметри мікроклімату робочого приміщення [2]

Пора року	Категорія робіт	Температура повітря, °С	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодна	легка-1 а	22-24	40-60	0,1
	легка-1 б	21-23	40-60	0,1
Тепла	легка-1 а	23-25	40-60	0,1
	легка-1 б	22-24	40-60	0,2

У приміщеннях, де розміщені персональні комп'ютери, необхідно забезпечити як природне, так і штучне освітлення, відповідно до норм ДСТУ EN 12464-1:2016 [3]. Природне освітлення повинно надходити через вікна, орієнтовані на північ або північний схід, і гарантувати коефіцієнт природної

освітленості (КПО) не менше 1,5. Штучне освітлення повинно бути забезпечене системою рівномірного загального освітлення. У випадках, коли робота ведеться переважно з паперовими документами, можливе використання комбінованої системи освітлення, яка включає як загальне, так і місцеве освітлення. Освітленість на робочому столі в місці розміщення документів має бути 300-500 лк. Якщо необхідну освітленість неможливо досягти лише за рахунок загального освітлення, дозволяється використовувати місцеве освітлення, при цьому уникаючи створення відблисків на екрані комп'ютера, де рівень освітленості не повинен перевищувати 300 лк.

Гранично дозволений рівень шуму закріплений у Державних санітарних нормах допустимих рівнів шуму в приміщеннях житлових та громадських будинків і на території житлової забудови [2].

Допустимі рівні звуку в приміщеннях визначаються за рівнем звукового тиску постійного шуму (дБА) та критеріями шуму (NC).

Для офісів та приміщень, обладнаних персональними комп'ютерами або технікою для бізнесу допустимий рівень шуму цілодобово - 50 дБА, а максимальний - 65 дБА. [2]

Враховуючи те, що комфортні умови на робочому місці сприяють підвищенню продуктивності праці співробітників, питання контролю параметрів мікроклімату є досить важливим. Як видно із вимог, оптимальні параметри робочого середовища знаходяться у досить вузьких межах. Через це дуже бажано забезпечити їх автоматизований контроль, щоб оперативно реагувати на відхилення та своєчасно вносити корективи.

## **1.2 Інтернет речей як екосистема сучасних технологій**

Сімейство мікроконтролерів ESP, яким присвячено дану роботу, є ключовим елементом для створення широкої гами приладів та пристроїв для Інтернету речей (IoT). Цей напрям розвитку електронних пристроїв є відносно новим, але вже встиг стати популярним та має певну історію. Розглянемо витоки інтернету речей та основні етапи його розвитку.



Інтернет речей (IP, англ. Internet of Things, IoT) – концепція мережевої структури, яка включає у себе взаємопов'язане фізичне обладнання з вмонтованими сенсорами, а також програмне забезпечення, що робить можливим автоматичний обмін та передачу даних між фізичним світом та комп'ютерними системами за допомогою стандартних комунікаційних протоколів. Крім сенсорів, ця мережа може включати виконавчі механізми, інтегровані у фізичні об'єкти та з'єднані через провідні або бездротові мережі. Ці взаємопов'язані компоненти здатні здійснювати зчитування і активацію, мають функції програмування та ідентифікації, а також дозволяють зменшити потребу в людському втручанні завдяки використанню розумних інтерфейсів [6, 7].

У 1990 році Джон Ромки, один із розробників TCP/IP протоколу, з'єднав свій тостер з Інтернетом, дозволивши керувати його роботою на відстані. Цей тостер став першим у світі пристроєм, інтегрованим у «інтернет речей». Між 2008 та 2009 роками (точна дата невідома), за даними аналітиків з Cisco, кількість гаджетів, підключених до Інтернету, перевершила загальну кількість людей на планеті [8].

Термін «Інтернет речей» вперше було застосовано у 1999 році Кевіном Ештоном, одним з трьох засновників Центру автоматичної ідентифікації Массачусетського університету. З того часу було створено безліч пристроїв, здатних підключатися до Мережі: кухонні прилади, телевізори, кондиціонери, котельні, промислове обладнання, транспортні та складські системи, вендингові автомати та ін. [9].

Вплив Інтернету речей на промисловість та виробничі процеси є значним. Автоматизація виробництва стала однією з головних сфер, де IoT виявляє свої переваги. Через використання IoT-обладнання, як-от роботи, сенсори та контролери, багато виробничих операцій можуть бути автоматизовані, що сприяє підвищенню точності, швидкості та продуктивності виконання завдань.

Окрім автоматизації, IoT також сприяє реалізації концепції передбачувального обслуговування виробничих установок. Завдяки збору та аналізу даних із різноманітних датчиків, системи на базі IoT здатні прогнозувати

необхідність в обслуговуванні або ремонті устаткування, що дозволяє заздалегідь запобігти збоям у роботі та зупинкам на виробництві [8]

В основі Інтернету речей лежать такі технології [7]:

- 1) засоби ідентифікації для однозначного визначення пристрою;
- 2) засоби вимірювання – різного роду датчики для вимірювання параметрів навколишнього середовища та середовища роботи пристроїв чи встановлення параметрів технологічних процесів;
- 3) засоби передачі даних;
- 4) засоби обробки даних – обчислювальні системи, які отримують інформацію за датчиків та видають команди на виконавчі пристрою;
- 5) виконавчі пристрої.

В Інтернеті речей застосовуються різноманітні техніки передавання даних, такі як Wi-Fi, Bluetooth, Ethernet, різні стандарти мобільного зв'язку (3G, 4G, 5G) та LPWAN (мережа широкого охоплення з низьким енергоспоживанням). Вибір конкретного методу залежить від потреб у пропускну́й спроможності, радіусі дії та енергоефективності IoT-пристроїв.

Аналіз методів передачі даних у контексті дальності, пропускну́й спроможності та енергоспоживання [10].

1. Wi-Fi: цей метод ідеально підходить для мереж з коротким радіусом дії та високою пропускну́й спроможністю. Може покривати дистанції до 100 метрів із високою пропускну́й спроможністю, але водночас витрачає більше енергії порівняно з альтернативними методами.

2. Bluetooth забезпечує енергоефективність та коротку дальність дії, досягаючи 100 метрів. Цей метод підходить для пристроїв з низькими вимогами до пропускну́й спроможності та короткої відстані взаємодії.

3. Ethernet забезпечує стабільну та надійну передачу даних з високою пропускну́й спроможністю завдяки дротовому з'єднанню. Однак, вони обмежені фізичними необхідністю прокладання фізичної лінії зв'язку, що може бути складною задачею у впровадженні великих IoT-мереж.

4. Мобільні мережі стандартів 3G, 4G та 5G, пропонують широкий радіус дії та порівняно високу пропускну спроможність, проте вони можуть потребувати більшого енергоспоживання та витрат на підключення.

5. LPWAN: технології LPWAN, такі як LoRaWAN та Sigfox, розроблені спеціально для IoT-пристроїв, яким потрібне низьке споживання енергії, далеке розташування та обмежена пропускну спроможність. Вони забезпечують покриття на відстані від кількох до десятків кілометрів, але мають меншу пропускну спроможність порівняно з іншими методами [8].

### **1.3 Архітектура та виводи мікроконтролерів ESP8266**

Мікроконтролер ESP8266MOD інтегрує процесор Tensilica L106 32-біт RISC, який досягає надзвичайно низького споживання енергії та має максимальну тактову частоту 160 МГц. Операційна система реального часу (RTOS) та стек Wi-Fi дозволяють використовувати близько 80% обчислювальної потужності для програмування та розробки користувацьких додатків [11].

ESP8266 використовує 32-бітний процесор з 16-бітними інструкціями. Він має архітектуру Гарварда, що в основному означає, що пам'ять для інструкцій та пам'ять даних є повністю окремими [12].

ESP8266 має вбудовану програмну постійну пам'ять (ROM), яка включає деякі бібліотеки та завантажувач першого етапу. Всі інші коди мають зберігатися в зовнішній серійній флеш-пам'яті (забезпечує лише серійний доступ до даних - замість адресації окремих байтів, користувач читає або записує великі суміжні групи байтів у серійному адресному просторі) [15].

Залежно від модифікації ESP8266, кількість доступної флеш-пам'яті може варіюватися. Як і будь-який інший мікроконтролер, ESP8266 має набір універсальних ввідів/виводів (GPIO), які можна використовувати для керування зовнішніми сенсорами.

ESP8266 має 17 пінів GPIO, але використовувати можна лише 11 (з 17 пінів, 6 використовуються для зв'язку з чіпом флеш-пам'яті на борту). Він також має

аналоговий вхід (для перетворення рівня напруги в цифрове значення, яке можна зберегти та обробити в ESP8266) (рис. 1.1).

Також він має WIFI-інтерфейс, який може як використовуватися для підключення до внутрішньої мережі, так і якості точки доступу. З його допомогою можна створити веб-сервер [13].

Ще однією перевагою ESP8266 є те, що його можна програмувати як будь-який інший мікроконтролер, і зокрема як будь-який Arduino [14].



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд мікроконтролера ESP8266MOD [14]

Специфікації ESP8266 [16, 17]:

- Підтримка протоколів Wi-Fi 802.11 b / g / n
- Wi-Fi Direct (P2P), soft-AP
- Вбудований стек TCP / IP
- Вбудований комутатор TR, LNA, підсилювач потужності та мережевий адаптер
- Вбудований PLL, регулятори та система управління живленням
- Вихідна потужність +19.5 dBm в режимі 802.11b
- Програмна пам'ять: 1 МБ
- SDIO 2.0, SPI, UART
- STBC, 1x1 MIMO, 2x1 MIMO
- Пробудження та відправка пакетів: до 22 мс
- Споживання у режимі очікування до 1.0 мВт (DTIM3)

– Розміри: 24.5x14 мм

Підключення [18]:

– Vcc - джерело живлення, +3.3V (максимум 3.6V)

– GND - спільний заземлювач

– TXD - передача даних (рівень 3.3V)

– RXD - приймач даних (рівень 3.3V)

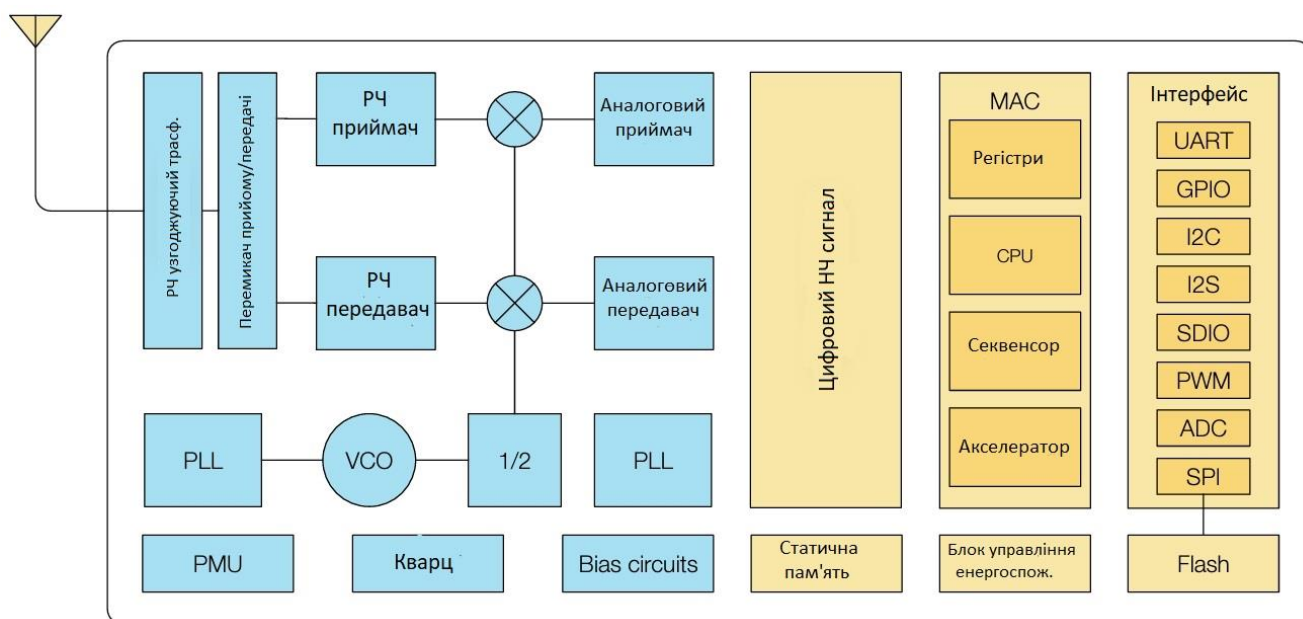
– CH\_PD - вимкнення модуля (низький рівень активний, для включення модуля надіслати Vcc)

– GPIO0 - універсальний пін 0

– GPIO2 - універсальний пін 2 (синій LED, низький рівень - включено)

– RST - скидання модуля (низький рівень активний)

–



1.2 – Функціональна діаграма мікроконтролера ESP8266 (адаптовано з [19])

Водночас слід мати на увазі, що різні виробники можуть змінювати параметри модуля, такі як кількість пінів та форм-фактор корпусу. Функціональну діаграму представлено на рис. 1.2.

## РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ АПАРАТНОЇ ПЛАТФОРМИ NODEMCU ТА ІНТЕРФЕЙСІВ ОБМІНУ ДАНИМИ

### 2.1 Модулі на основі мікроконтролерів ESP8266 та ESP32

На базі мікроконтролерів ESP8266 створено широку лінійку плат розробника та плат розширення, що значно спрощують їх використання та прошивку, зокрема містять стабілізатори живлення та інтерфейси UART / GPIO передачі даних для зручного програмування через USB порт із середовища Arduino IDE.

Зупинимося більш докладно на окремих різновидах. Почнемо з плати WiFi NodeMCU V2 ESP8266 (CP2102). Саме таку плату було використано для виготовлення приладу для вимірювання параметрів робочого середовища, який докладно розглянуто у третьому розділі.

NodeMCU (Amica) - це розробницька плата на базі чипа ESP8266 (версія ESP12E), яка є модулем UART-WiFi з ультра низьким споживанням. Цей чіп було спроектовано для пристроїв зі світу інтернету речей, а ця плата дозволяє спростити розробку, оскільки вона вже має USB-підключення, регулятор живлення та всі виводи чіпа виведені на гребінки зі стандартним кроком 2.54 мм, що дозволяє вставити її в макетну плату та створити прототип навіть без паяльника. Крім того, плата поставляється з прошивкою NodeMCU, що дозволяє програмувати її за допомогою мови Lua або за допомогою Arduino IDE [20].

Характеристики [15]:

- WiFi стандарту 802.11 b / g / n
- Підтримка STA / AP / STA + AP режимів
- Вбудований стек протоколів TCP / IP з підтримкою численних клієнтських підключень (до 5)
- D0 - D8, SD1 - SD3: можуть використовуватися як GPIO, PWM, ІС і т.д.
- Струм на виході: 15 мА
- AD0: 1 вихід АЦП
- Живлення: 4.5 - 9 В (10 В максимум), 5В живлення від USB з наданням відладочного інтерфейсу

- Споживання: обмін даними: 70 мА (200 мА максимум), очікування: < 200 мкА

- Швидкість передачі: 110 - 460800 б/сек
- Підтримка UART / GPIO інтерфейсів передачі даних
- Перепрошивка з хмари або через USB
- Відстань між контактними пінами: 23 мм
- Розміри плати: 48x26 мм
- Діапазон робочих температур: -40 - +125 град.С
- Маса: 18 г

Практично аналогічними характеристиками володіє модуль Wi-Fi NodeMCU V3 ESP8266 (iFT232-s16). По суті єдиною його відмінністю від попереднього варіанту є дещо інший формфактор, що дозволяє використовувати його з платами розширення і у результаті отримувати готовий пристрій взагалі без пайки (рис. 2.1)



Рисунок 2.1 – Модуль Wi-Fi NodeMCU V3 ESP8266 (iFT232-s16) з'єднаний із платою розширення [20]

Досить цікавим поєднанням є Wi-Fi модуль з високопродуктивним мікроконтролером ESP32, відеокамерою OV2640, роз'ємом під micro-SD карту пам'яті та додатковою оперативною пам'яттю 4 МБайта. Комбінація всіх перелічених компонентів на платі розмірами 27 x 39 мм дозволяє створювати

портативні пристрої для охоронних систем, систем відеоспостереження та систем «розумний дім» (рис. 2.2) [21].



Рисунок 2.2 – Wi-Fi модуль з високопродуктивним мікроконтролером ESP32, відеокамерою OV2640 [21]

Характеристики [8, 21]:

Контролер: ESP32, 2 ядра, 32-біт

Робоча частота процесора: 240 МГц / 600 DMIPS

Оперативна пам'ять:

Вбудована: 520 КБайт

Зовнішня: 4 МБайта

Підтримувані інтерфейси: UART/SPI/I2C/PWM/ADC/DAC

Вбудований Lwip і FreeRTOS

Підтримка STA/AP/STA + AP Робочий режим

Підтримка Smart Config/AirKiss розподіленої мережі

Напруга живлення: 5В

Модуль камери: OV2640 (у комплекті)

Роздільна здатність камери: 2 Мп

Підтримка камер: OV2640 та OV7670

Зберігання даних: micro-SD

Розмір: 27 × 39 мм

Вага: 10 г



## 2.2 Протокол I2C

I2C — це система послідовного передавання даних, створена компанією Philips на початку 1980-х років. Її розробили як простий спосіб внутрішнього зв'язку для управління електронікою. Ця шина використовується для підключення периферійних компонентів з низькою швидкістю до материнських плат, вбудованих систем та мобільних телефонів. Назва "I2C" є скороченням від "Inter-Integrated Circuit" [8].

I2C технологія використовує два лінії з двосторонньою передачею даних, які підключені до джерела живлення і контролюються за допомогою відкритих колекторів або відкритих стоків. Ці лінії включають: лінію передачі даних (SDA) та лінію тактування (SCL). Зазвичай вони працюють на напругах +5 В або +3,3 В, хоча можливе використання інших напруг.

Традиційна адресація в I2C передбачає 7-бітовий простір адрес з 16 зарезервованими адресами, що залишає 112 доступних адрес для підключення периферійних пристроїв до одного шини.

Стандартна швидкість передачі даних в I2C становить 100 кбіт/с, з можливістю зниження до 10 кбіт/с для пристроїв з нижчою швидкістю. Важливо зазначити, що стандарт дозволяє призупинення тактування для взаємодії з повільними пристроями.

Оновлення стандарту в 1992 році розширило можливості I2C, додавши 10-бітну адресацію, що дозволило підключати ще більше пристроїв на одну шину, а також збільшило максимальну швидкість передачі до 400 кбіт/с. Це збільшило кількість доступних адрес до 1008. Максимальна кількість пристроїв, які можна підключити до однієї шини, обмежена ємністю шини, яка не повинна перевищувати 400 пФ [8].

У загальному вигляді процес обміну по шині від моменту формування стану СТАРТ до стану СТОП можна проілюструвати наступним рисунком 2.3.

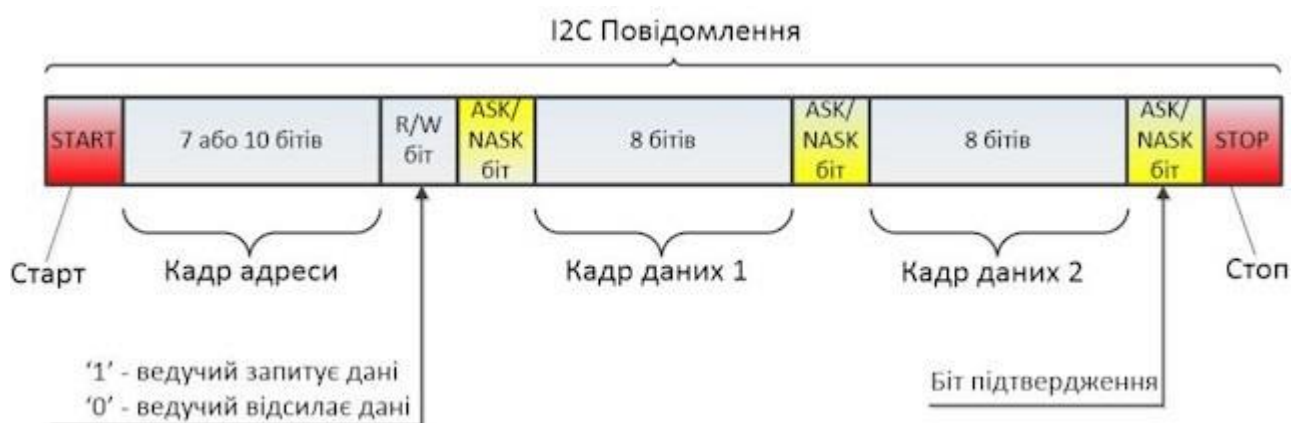


Рисунок 2.3 – Процес обміну даними по шині I2C [22]

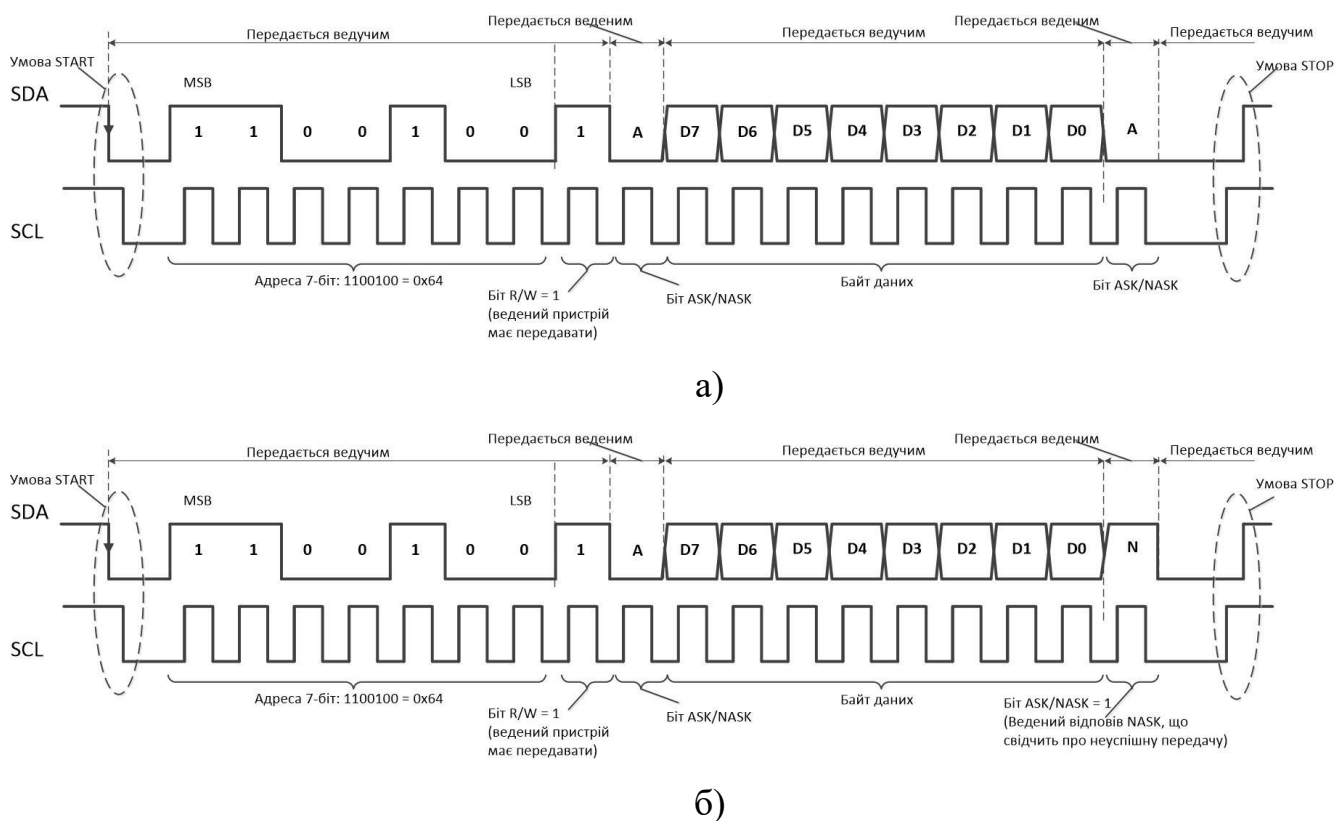


Рисунок 2.4 – Передача байта запису I2C а) успішна, б) не успішна [22]

Дані поміщаються на лінію даних SDA у момент, коли рівень сигналу на SCL є низьким, а зчитування даних відбувається, коли рівень SCL стає високим (рис. 2.4).

Ведучий (Master) пристрій ініціює зв'язок, генеруючи сигнал старту, після чого він передає унікальну 7-бітну адресу веденого (slave) пристрою, починаючи

зі старшого біту (MSB). Восьмий біт, який ідеться відразу після стартового біта R/W, визначає, чи повинен ведений пристрій тепер отримувати (0) або передавати дані (1). Після цього ведений пристрій відправляє біт підтвердження ACK, що підтверджує отримання попереднього байта. Далі передаючий пристрій (ведучий чи ведений, залежно від стану біта R/W) передає байт даних, починаючи з MSB. По завершенні передачі байта, приймаюча сторона (незалежно від того, ведучий чи ведений) відправляє біт підтвердження ACK. Цей 9-бітний цикл повторюється для передачі додаткових байтів даних, якщо це необхідно [23].

Іноді швидкість, з якою контролер передає дані, може бути вищою, ніж здатність периферійного пристрою обробляти або надавати ці дані. Це може статися, наприклад, якщо периферійний пристрій ще не завершив операцію, таку як аналого-цифрове перетворення, або якщо попередня операція ще не була завершена.

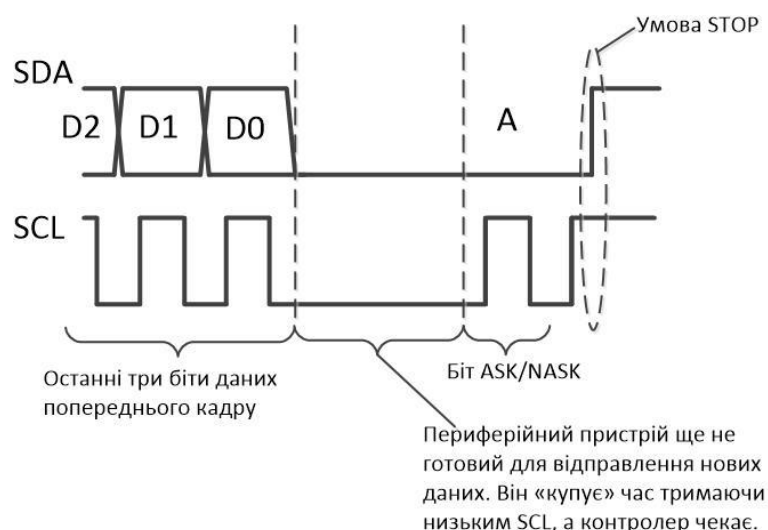


Рисунок 2.5 – Розтягування тактування [22]

У таких випадках деякі периферійні пристрої можуть застосовувати процедуру, відому як «розтягнення тактового сигналу» (Clock Stretching). Це відбувається, коли периферійний пристрій утримує низький рівень сигналу на лінії SCL навіть після того, як контролер припиняє подачу сигналу (рис. 2.5). Така дія дозволяє периферійному пристрою здобути додатковий час для завершення обробки даних.

### 2.3 WiFi інтерфейс для взаємодії з пристроями відображення інформації

Загальний огляд стандартів Wi-Fi (бездротового зв'язку) 802.11b, 802.11g і 802.11n надає розуміння їхніх основних характеристик і можливостей. Варто зазначити, що технічні характеристики можуть варіюватися в залежності від конкретних реалій експлуатації та використання обладнання конкретних виробників (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Порівняння характеристик b/g/n стандартів WiFi (складено за даними [24, 25, 26])

Параметр	WiFi 802.11b	WiFi 802.11g	WiFi 802.11n
Швидкість передачі даних, Мбіт/с	До 11	До 54	До 600
Частотний діапазон, ГГц	2,4	2,4	2,4 та/або 5
Дальність дії	Найменша серед аналогів	Середня, покращена порівняно з 802.11b	Значно покращена завдяки технології MIMO
Сумісність	Зворотна сумісність з 802.11g/n	Зворотна сумісність з 802.11b/n	Зворотна сумісність з 802.11a/b/g
Особливості	Був одним з перших стандартів Wi-Fi, відомий своєю простотою та доступністю	Забезпечує вищу швидкість передачі даних та покращену дальність порівняно з 802.11b	Технологія MIMO дозволяє використовувати кілька антен для покращення якості зв'язку, а також можливість використання і 40 МГц, і 20 МГц каналів, що поліпшує пропускну здатність

Ці стандарти демонструють розвиток технології бездротової передачі у часі. Найбільш сучасним із перелічених є стандарт 802.11 n, прийнятий у вересні 2009

року. Тобто, за мірками електронної техніки, дана версія WiFi є досить застарілою. У той же час, для роботи пристроїв класу IoT така швидкість передачі даних є більш ніж достатньою.

У межах модуля NodeMCU V2 на базі мікроконтролера ESP8266 ЦшАш модуль здатен працювати, як у режимі «клієнта», тобто приєднуватися до існуючої мережі WiFi, так і у режимі «точки доступу», тобто забезпечувати можливість підключення до себе інших пристроїв.

Завдяки бездротовому інтерфейсу пристрої на базі ESP8266 дуже легко поєднати один із одним та із загальною мережею і забезпечити обмін та надання інформації з пристроїв у режимі реального часу.

#### **2.4 Аналоговий вхід та АЦП перетворювач**

Модуль ESP8266 оснащений лише одним каналом аналого-цифрового перетворювача (ADC0), який має роздільну здатність 10 біт. Діапазон вимірюваної напруги становить від 0 до 1 Вольта.

Важливо відзначити, що на платі NodeMCU може бути встановлений резистивний дільник напруги. У такому випадку вхід плати (A0) може приймати значення від 0 до 3.3 Вольта. Одночасно з входом A0 на багатьох платах NodeMCU може також бути активний прямий вхід АЦП з діапазоном вхідних напруг від 0 до 1 Вольта.

При вимірюванні напруги за допомогою ADC отримуємо значення в діапазоні від 0 до 1023. Якщо отримане значення дорівнює 1024, це свідчить про те, що напруга на вході ESP8266 рівна або перевищує максимально допустиме значення (1 Вольт).

Аналогово-цифровий перетворювач може працювати в одному з двох режимів: режим `adc.INIT_ADC`, який вимірює напругу на вході ADC0 (A0), та режим `adc.INIT_VDD33`, що вимірює системну напругу (system voltage). Режим вибирається за допомогою команди `adc.force_init_mode(mode_value)` [27].

## РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРИЛАДУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО СЕРЕДОВИЩА

### 3.1 Підбір датчиків для вимірювання фізичних параметрів

Для реалізації можливості вимірювання фізичних параметрів робочого середовища, а саме освітленості, температури, вологості та рівня шуму слід визначитися із датчиками.

На сьогоднішній день на ринку представлено велику кількість периферійних пристроїв, що здатні працювати з мікроконтролерами та обмінюватися з ними даними через один зі стандартних інтерфейсів.

Розглянемо датчики температури та вологості DHT 11 та АНТ 20. Обидва варіанти доступні у продажу у вигляді модулів, що мають необхідні допоміжні компоненти для стабільного функціонування – резистори та конденсатори – і можуть безпосередньо підключатися до мікроконтролера. Крім того, датчики відкалібровано виробником і подальшого налагодження вони не потребують.

У таблиці 3.1 подано порівняльну характеристику обох датчиків.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика комбінованих датчиків температури та вологості (складено за даними [23, 28, 29])

Параметр	DHT 11	АНТ 20
Робоча напруга, В	3,5..5,5	2,0..5,5
Робочий струм (вимірювання), мкА	300	23
Робочий струм (режим очікування), мкА	60	0,25
Вихід	Цифровий однопровідний	I2C інтерфейс
Діапазон температур, °С	0..+50	-40..+85
Точність вимірювання температури, °С	±1	±0,3
Діапазон вологості, %	20..90	0..100
Точність вимірювання вологості, %	±5	±2
Габаритні розміри, мм	20*25	10*15

Як бачимо із порівняльної таблиці, модуль датчика АНТ 20 абсолютно за усіма параметрами перевершує DHT 11 за умови співставної вартості та доступності для покупки. Отже, вибір комплексного датчика температури та вологості є очевидним на користь АНТ 20

АНТ20 оснащений новорозробленим чіпом ASIC, покращеним елементом вимірювання вологості на основі напівпровідникових MEMS та стандартним елементом вимірювання температури на чіпі. В результаті продуктивність нового покоління датчиків температури та вологості значно покращилася, або навіть перевершила попередні, з більшою стабільністю в суворих умовах. Завдяки вдосконаленню та мініатюризації датчика, його вартісно-ефективний показник вищий, і, в кінцевому підсумку, всі пристрої отримують користь від передового енергозберігаючого режиму роботи [23].

Загальний вигляд модуля датчиків температури та вологості наведено на рисунку 3.1.

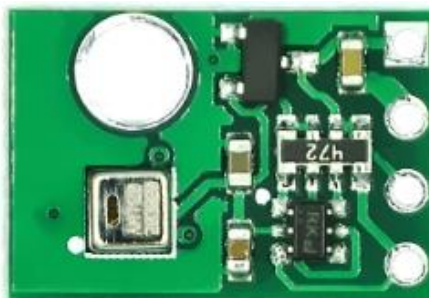


Рисунок 3.1 – Датчик АНТ 20 [30]

Розглянемо альтернативні варіанти моделей з датчиками освітлення. До порівняння візьмемо VEMML7700 та BH1750FVI.

Як бачимо із таблиці 3.2, технічні характеристики обох аналізованих модулів датчиків освітлення знаходяться на приблизно однаковому рівні. Проте модуль BH1750FVI укомплектовано захисним ковпачком, що виконує також функцію розсіювання світла та підвищує точність усереднених показань датчика. У нашій роботі ми буде використовувати саме цей модуль, його загальний вид представлено на рисунку 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняльна характеристика модулів датчиків освітлення.  
(складено за даними [18, 31, 32])

Параметр	VEML7700	BH1750FVI
Робоча напруга, В	2,5..3,6	2,4..3,6
Робоча температура використання, °С	-25..+85	-40..+85
Діапазон вимірювання, Лк	0..120000	0..100000
Точність вимірювання	±20	±20
Вихід	I2C інтерфейс	I2C інтерфейс
Потужність споживання в режимі вимірювання, мкА	45	120
Потужність споживання в режимі очікування, мкА	0,5	1,0
Герометричні розміри модуля, мм	16*16	18*18 (без захисного ковпачка)



Рисунок 3.2 – Датчик освітленості BH1750FVI [33]

Для вимірювання рівня шуму можна використати електретний мікрофон з аналоговим виходом. Завдяки подальшій обробці вихідного сигналу у мікроконтролері можна визначати рівень шуму. На відміну від двох раніше розглянутих модулів, модуль мікрофону слід калібрувати для отримання точних показань.

Спираючись на дані, наведені у таблиці 3.3, робимо висновок про доцільність використання модуля Max9814 через наявність у його складі модуля підсилення, що дозволить з більшою точністю фіксувати середній рівень шуму на робочому місці.



Таблиця 3.3 – Порівняльна характеристика мікрофонних модулів (складено за даними [16, 33])

Параметр	Max4466	Max9814
Робоча напруга, В	2,4..5,5	2,7..5,5
Робоча температура використання, °С	-40..+85	-40..+85
Звукові частоти, Гц	20...20000	20...20000
Контроль підсилення	-	автоматичний
Вихід	аналоговий	аналоговий
Вихідна напруга	0,3..0,7 Vжив	0,3..0,7 Vжив
Потужність споживання, мкА	60	50
Потужність споживання в режимі очікування, мкА	0,05	0,1
Герометричні розміри модуля, мм	18*13	24*13

Даний модуль мікрофонного підсилювача є кроком вперед у порівнянні з іншими, оскільки в ньому вбудований автоматичний контроль підсилення (AGC). AGC у підсилювачі означає, що близькі "гучні" звуки будуть зменшені, щоб вони не перевантажували та не "зрізали" підсилювач, а тихі звуки, що знаходяться далеко, будуть підсилені. Цей підсилювач чудово підходить, коли ви хочете записувати або виявляти звук в умовах, де рівні змінюються, і ви не хочете постійно налаштовувати посилення підсилювача [36].



Рисунок 3.3 – Мікрофонний модуль [35]

### 3.2 Розробка схеми та загальної конструкції вимірювального приладу на базі NodeMCU

Створення приладу для вимірювання фізичних параметрів середовища у середині приміщення передбачає поєднання у єдине ціле мікроконтролера, у нашому випадку NodeMCU V1.0, набору датчиків для вимірювання освітленості, шуму, температури та вологості, а також джерела живлення. Вибір датчиків нами було описано у пункті 3.1.

Принципову електричну схему приладу наведено на рисунку 3.4.

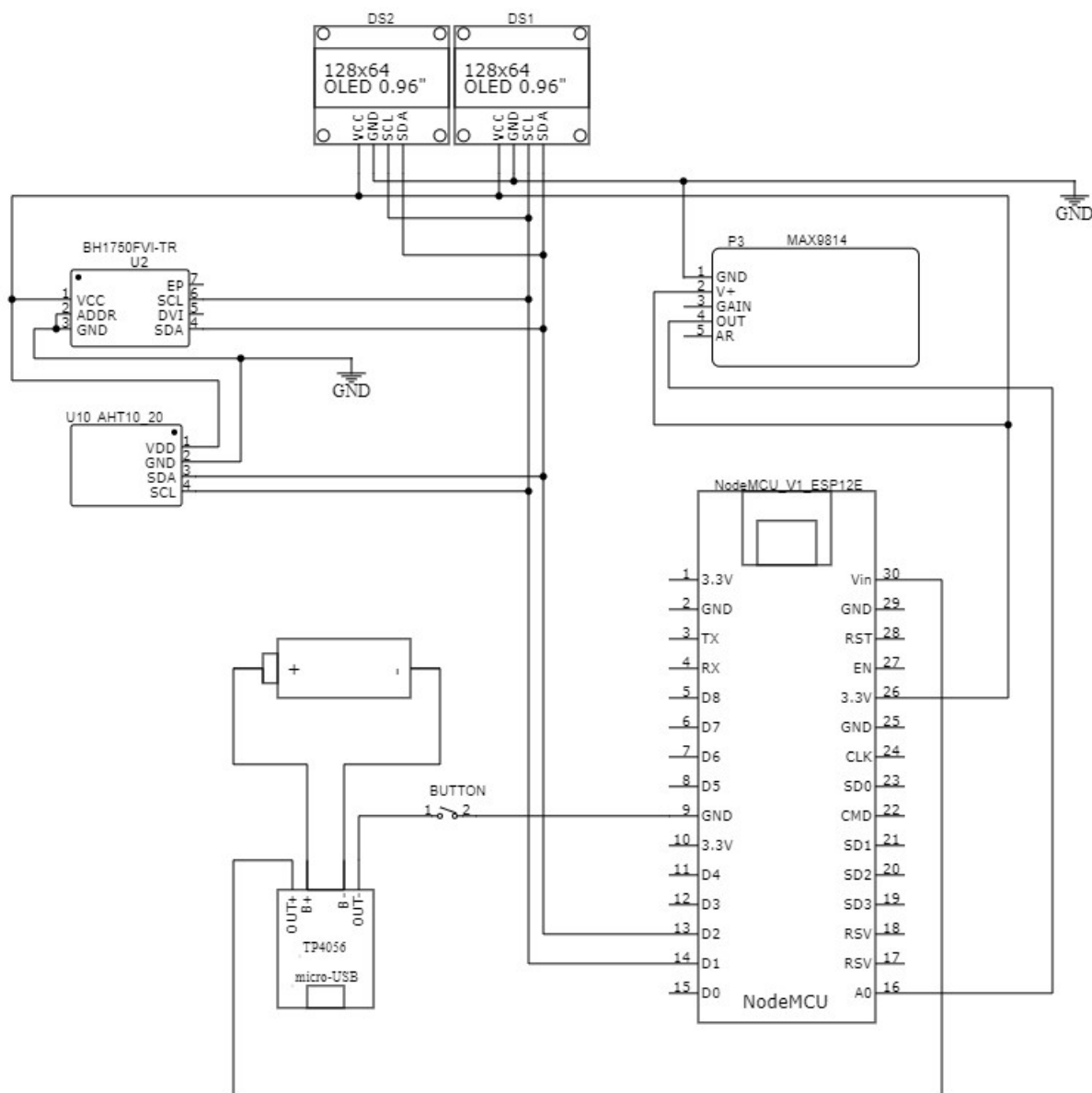


Рисунок 3.4 – Принципова електрична схема приладу для вимірювання фізичних параметрів

Живлення приладу відбувається від одного акумулятору типу 18650 номінальною напругою 3,7 В. Оскільки усі компоненти системи здатні працювати від напруги не менше 3,3 В, то такий вибір джерела живлення є цілком виправданим.

Для заряджання акумулятора використано зарядний модуль на базі мікросхеми TP4056, який контролює струм заряду та від'єднує заряджений акумулятор від мережі.

Як видно зі схеми (рис. 3.5), прилад включає у себе мікроконтролер NodeMCU, який відповідає за всі обчислювальні процеси та здатність приладу під'єднуватися до WiFi мережі, двох рідкокристалічних дисплеї (DS1 та DS2), що демонструють значення вимірюваних параметрів, а також трьох модулів датчиків: освітленості (U2), температури та вологості (U10), шуму (P3).

Дисплеї та усі перелічені датчики, окрім датчику шуму, взаємодіють із мікроконтролером за протоколом I2C, який дозволяє використовувати цифровий сигнал без необхідності його перетворення та використовувати двопровідну схему для передачі даних, що одночасно забезпечує надійність та простоту інтеграції. Усі перелічені пристрої поєднано у єдину шину даних.

З огляду на особливості вимірювання такого параметру, як шум, фактично було застосовано електретний мікрофон, підключений до аналогового входу мікроконтролера. За допомогою програмного забезпечення пікові значення його сигналу інтегруються та усереднюються, що дозволяє досить точно визначати рівень шуму у приміщенні та ігнорувати одиничні значні відхилення від загального рівня.

Увімкнення та вимкнення приладу виконуються за допомогою кнопки з фіксацією.

Для збирання приладу було використано перелічені вище компоненти. Збірку виконано із застосуванням навісного монтажу та з'єднання елементів джгутами проводів. У якості основи використано пластиковий корпус.

Кріплення елементів приладу виконано за допомогою пластикових елементів та клею.

Загальний вигляд працюючого приладу показано на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 – Загальний вигляд приладу

Внутрішню будову наведено на рисунку 3.6.

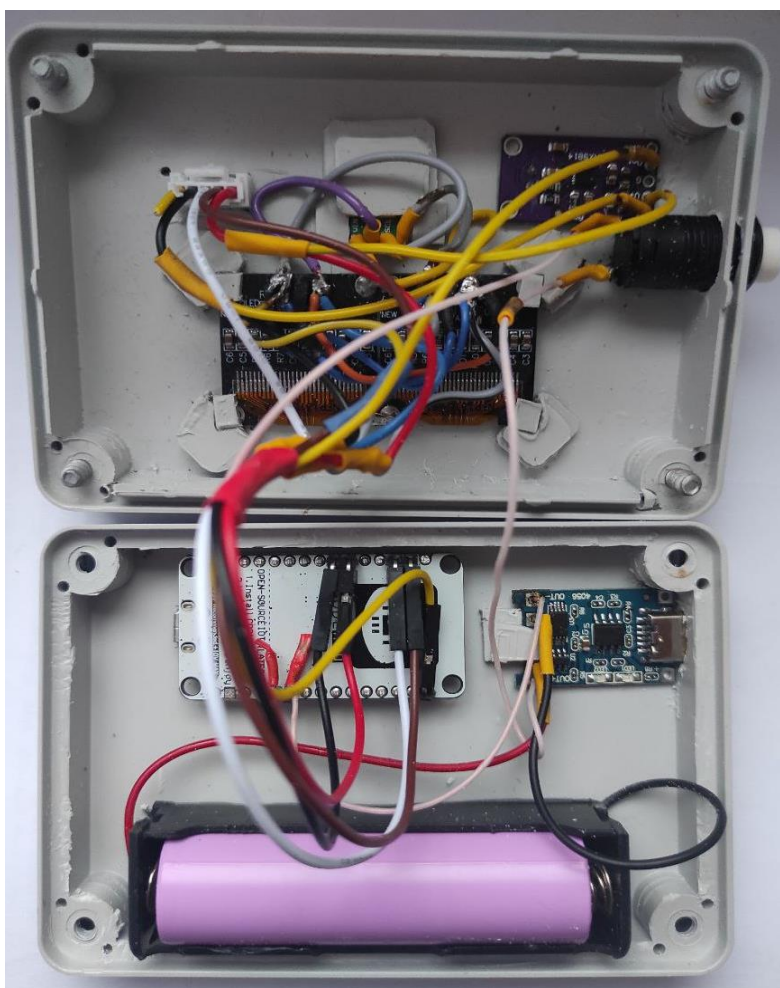


Рисунок 3.6 – Внутрішня будова приладу

### 3.3 Опис програмного забезпечення

Для написання програми мікроконтролера, її компіляції та завантаження скетча у мікроконтролер було використано середовище розробки Arduino IDE.

Програма по суті своїй являє лінійний алгоритм, що передбачає послідовне зчитування сигналів з датчиків, їхнє усереднення та виведення на екрани та через веб інтерфейс. Усереднення даних виконується із застосуванням циклів. У якості лічильника використовується вбудована функція `millis`, яка повертає час роботи приладу із моменту увімкнення в мс.

Алгоритм роботи програмного забезпечення представлено на рисунку 3.7.

Для взаємодії з периферійними пристроями застосовано ряд бібліотек. Перелік бібліотек та їхнє призначення наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Перелік використаних бібліотек та їхнє призначення

№	Назва бібліотеки	Призначення
1	Wire.h	Виведення значень змінних у послідовний порт для відладки програми
2	Adafruit_GFX.h	Взаємодія з рідкокристалічними дисплеями
3	Adafruit_SSD1306.h	Взаємодія з рідкокристалічними дисплеями
4	BH1750FVI.h	Взаємодія з датчиком освітленості
5	Adafruit_AHTX0.h	Взаємодія з датчиками температури та вологості
6	ESP8266WiFi.h	Активація та функціонування WiFi модуля мікроконтролера
7	ESP8266WebServerSecure.h	Функціонування веб сервера

Залежно від програми завантаженої у мікроконтролер, доступними є 2 режими роботи приладу, точніше два варіанти взаємодії із ним через WiFi з'єднання.

1. Підключення до локальної мережі з використанням ім'я точки доступу та паролю (слід прописати безпосередньо у скетчі). У такому разі підключення є можливим з будь-якого пристрою даної локальної мережі.
2. Робота мікроконтролера у якості WiFi точки доступу. У цьому випадку для зчитування результатів вимірювання слід приєднатися безпосередньо

до мікроконтролера. В обох випадках для доступу до веб серверу слід ввести стандартну адресу 192.168.4.1.

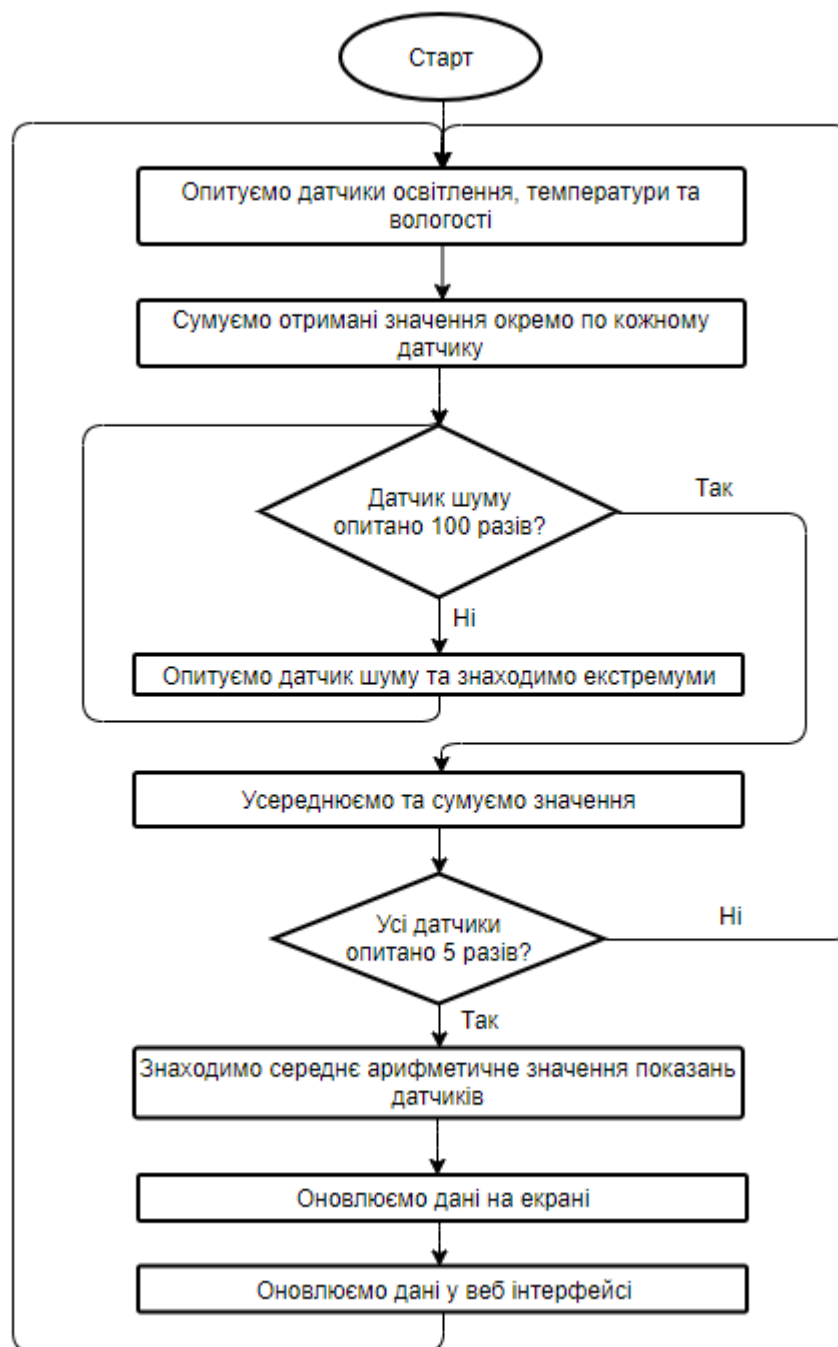


Рисунок 3.7 – Алгоритм роботи програми

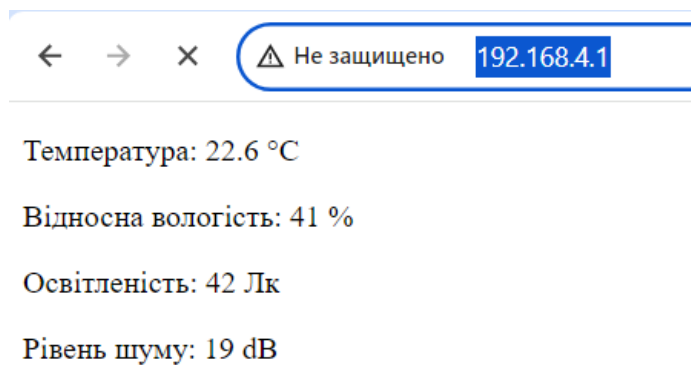


Рисунок 3.8 – Відображення результатів вимірювання у вебінтерфейсі  
Нижче наведено фрагменти лістингу коду програми.

```

.....
// функція для публікації результатів вимірювання у веб інтерфейсі
void handleRoot() {
    String message = "<!DOCTYPE html><html><head><title>Parameters Data</title>"
        "<meta charset=\"UTF-8\">"
        "<meta http-equiv=\"refresh\" content=\"1\"></head><body>"
        "<p>Температура: ";
    message += String(temperature, 1);
    message += " °C</p><p>Відносна вологість: ";
    message += roundedHumidityValue;
    message += "%</p><p>Освітленість: ";
    message += String(light, 0);
    message += " Лк</p><p>Рівень шуму: ";
    message += String(20 + (noiseAverage / i - 130) * 0.097, 0);
    message += " dB</p></body></html>";
    server.send(200, "text/html; charset=UTF-8", message);
}
.....
void loop() {
    unsigned long currentMillis = millis();

    if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
        previousMillis = currentMillis;

```

```

sensors_event_t humidityEvent, tempEvent;
aht.getEvent(&humidityEvent, &tempEvent);
lux = LightSensor.GetLightIntensity();
temperature = temperature + tempEvent.temperature;
humidityValue = humidityValue + humidityEvent.relative_humidity;
light = light + lux;
for (int k = 0; k < 101; k++) {
    noize = analogRead (noizePin);
    if (noize > noizeMax) {
        noizeMax = noize;
    }
    if (noize < noizeMin) {
        noizeMin = noize;
    }
    delay (10);
}
noizeAverage = noizeAverage + (noizeMax - noizeMin);
i++;

```

Таблиця 3.5 – Результати вимірювання фізичних параметрів робочого середовища

Час	Температура, °С	Відносна вологість, %	Рівень освітленості, Лк	Рівень шуму, ДБ
8:00	22,1	41	20	20
8:30	22,2	41	22	20
9:00	22,3	40	25	55
9:30	22,3	40	28	45
10:00	22,3	39	36	30
10:30	22,2	39	72	34
11:00	22	40	80	75
11:30	22,1	41	80	25
12:00	22	41	80	40
12:30	21,9	42	45	64
13:00	22	42	40	39
13:30	22,1	41	25	55
14:00	22,1	41	80	45



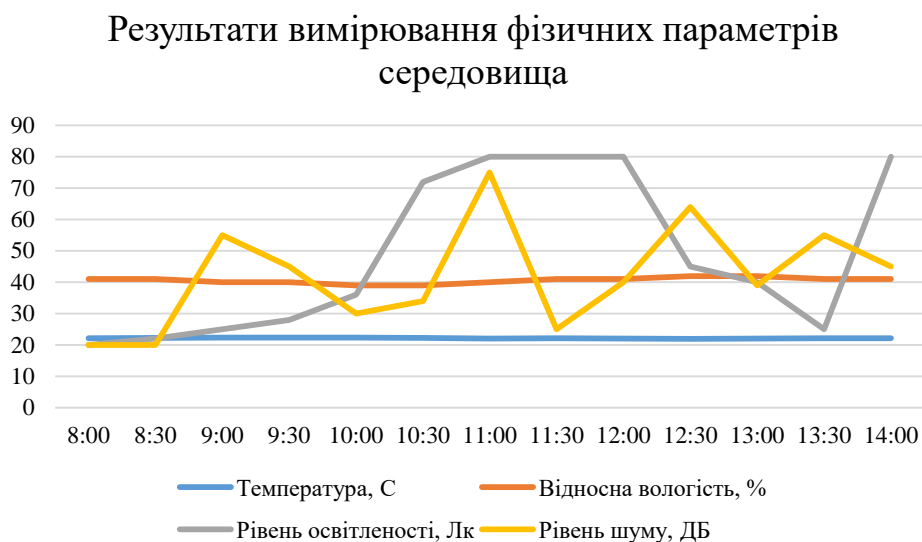


Рисунок 3.9 – Діаграма вимірних значень фізичних параметрів у приміщенні

За допомогою розробленого приладу було проведено вимірювання фізичних параметрів робочого середовища (температури, вологості, рівня шуму та освітленості) протягом 6 годин з інтервалом у 30 хвилин. Отримані результати представлені у таблиці 3.5 та на рисунку 3.9.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи одержано такі результати:

1. Обґрунтовано важливість моніторингу параметрів робочого середовища та можливість здійснення такого моніторингу з використанням пристроїв класу Інтернету речей.
2. Досліджено характеристики електронних компонентів для створення пристрою моніторингу параметрів робочого середовища, що включають датчики температури, вологості, освітленості, шуму, а також мікроконтролер ESP8266 для обробки та публікації цих даних.
3. Електрична схема вимірювального пристрою має модульну конструкцію та мінімальну кількість з'єднувальних дротів. Компоненти схеми працюють за протоколом I2C. Підключення контролера до мережі відбувається через Wi-Fi.
4. Розроблено та виготовлено універсальний автономний прилад для вимірювання фізичних параметрів робочого середовища, таких як температура, вологість, освітленість та рівень шуму, який працює автономно від акумулятора та може за необхідності підзаряджатися через стандартний інтерфейс USB Type-C. Споживана потужність приладу становить 0,13 Вт.
5. Було проведене контрольне вимірювання фізичних параметрів в робочому приміщенні (температури, вологості, рівня шуму та освітленості) протягом 6 годин з інтервалом у 30 хвилин.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про охорону праці: Закон України від 14.10.1992. Редакція № 2849-IX від 13.12.2022. Постійна адреса: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>
2. Про затвердження Державних санітарних норм допустимих рівнів шуму в приміщеннях житлових та громадських будинків і на території житлової забудови. Наказ міністерства охорони здоров'я №463 від 22.02.2019. Постійна адреса: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0281-19#Text>
3. ДСТУ EN 12464-1:2016 Світло та освітлення. Освітлення робочих місць.
4. Мікроклімат виробничих приміщень, вплив параметрів мікроклімату на організм людини [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://oppb.com.ua/news/mikroklimat-vyrobnychyh-prymishchen-vplyv-parametriv-mikroklimatu-na-organizm-lyudyny> (Дата доступу: 08.11.2023 р.).
5. Мікроклімат та його вплив на працездатність людини [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://consumerhm.gov.ua/956-mikroklimat-ta-jogo-vplyv-na-pratsezdatsnist-lyudini> (Дата доступу: 10.11.2023 р.).
6. Андрощук Г. О. Інтелектуальна власність у системі Інтернету речей: економіко-правовий аспект / Геннадій Андрощук // Теорія і практика інтелектуальної власності : науково-практичний журнал. - 2017. - № 6. - С. 68-78.
7. Mesquita J., Guimarães D., Pereira C., Santos F., Almeida L. Assessing the ESP8266 WiFi module for the Internet of Things // 2018 IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Turin, Italy. – 2018. – P. 784-791.
8. Schwartz Marco. ESP8266 Internet of Things Cookbook / Packt Publishing Ltd. – 2017. – 268 p.
9. Internet of Things, IoT [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/internet-veschej-internet-of-things-iot> (Дата доступу: 16.12.2023 р.).
10. Інтернет речей (IoT) – що це таке і як працює, суть, технології і приклади. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://termin.in.ua/internet-rechey-iot/#Evolucia\\_Internetu\\_recej](https://termin.in.ua/internet-rechey-iot/#Evolucia_Internetu_recej) (Дата доступу: 06.12.2023 р.).

11. ESP 8266 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266> (Дата доступа: 06.12.2023 г.).
12. Mehta Manan. ESP 8266: A Breakthrough in Wireless Sensor Networks and Internet of things. // International Journal of Electronics and Communication Engineering & Technology, 6(8). – 2015. – P. 7-11.
13. Patnaikuni Patnai, Dinkar R. A Comparative Study of Arduino, Raspberry Pi and ESP8266 as IoT Development Board. // International Journal of Advanced Research in Computer Science. – 2017. – Vol. – P. 2350-2352.
14. ESP8266 architecture and Arduino GUI [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://annefou.github.io/IoT\\_introduction/02-ESP8266/index.html](https://annefou.github.io/IoT_introduction/02-ESP8266/index.html) (Дата доступа: 07.12.2023 г.).
15. Moduł WiFi ESP-12E ESP8266 Black - 11 GPIO, ADC, PCB antena [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://botland.com.pl/moduly-wifi-esp8266/5463-modul-wifi-esp-12e-esp8266-black-11-gpio-adc-pcb-antena-5904422300616.html?cd=18298825651&ad=&kd=&gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQiA4NWrBhD-ARIsAFCKwWvNiP05Z6IHvNxR6UjxfI1PlmlXSXFLwdp2aqjk0sqiCuJSpHb-ZscaAtG\\_EALw\\_wcB](https://botland.com.pl/moduly-wifi-esp8266/5463-modul-wifi-esp-12e-esp8266-black-11-gpio-adc-pcb-antena-5904422300616.html?cd=18298825651&ad=&kd=&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA4NWrBhD-ARIsAFCKwWvNiP05Z6IHvNxR6UjxfI1PlmlXSXFLwdp2aqjk0sqiCuJSpHb-ZscaAtG_EALw_wcB) (Дата доступа: 07.12.2023 г.).
16. Kodali R.K., Mahesh K.S., Low cost ambient monitoring using ESP8266 // 2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I), Greater Noida, India. – 2016, P. 779-782.
17. Kothari Jubin Dipakkumar. Garbage Level Monitoring Device Using Internet of Things with ESP8266. // International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering, 7(6). – 2018. – P. 2995-2998.
18. Srivastava P., Bajaj M., Rana A.S. IOT based controlling of hybrid energy system using ESP8266. // 2018 IEEMA Engineer Infinite Conference (eTechNXT), New Delhi, India. – 2018. – P. 1-5.
19. ESP8266EX datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf) (Дата доступа: 08.12.2023 г.).

20. WiFi Плата NodeMCU V2 ESP8266 (CP2102) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/ru/prod1495-wifi-plata-nodemcu-v2-esp8266-cp2102> (Дата доступу: 07.12.2023 р.).

21. Модуль Wi-Fi ESP32-CAM з камерою 2MP [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/ru/prod3458-modul-wi-fi-esp32-s-kameroi-2mp> (Дата доступу: 04.12.2023 р.).

22. I2C інтерфейс [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://itmaster.biz.ua/directory/standarts/i2c.html> (Дата доступу: 08.12.2023 р.).

23. Saha S., Majumdar A., Data centre temperature monitoring with ESP8266 based Wireless Sensor Network and cloud based dashboard with real time alert system // 2017 Devices for Integrated Circuit (DevIC), Kalyani, India. – 2017. – P. 307-310.

24. Базові положення стандарту Wi-Fi 4 (IEEE 802.11n) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://help.keenetic.com/hc/ru/articles/213968809-%D0%91%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5-%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F-%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%B0-Wi-Fi-4-IEEE-802-11n-> (Дата доступу: 05.12.2023 р.).

25. Технологія 802.11n у питаннях та відповідях [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.tp-link.com/uk-ua/support/faq/229/> (Дата доступу: 1.12.2023 р.).

26. Tuan Tran M. A., Le T. N., Vo T. P. Smart-Config Wifi Technology Using ESP8266 for Low-Cost Wireless Sensor Networks // 2018 International Conference on Advanced Computing and Applications (ACOMP), Ho Chi Minh City, Vietnam. – 2018, P. 22-28.

27. Wan Z., Song Y., Cao Z., Environment Dynamic Monitoring and Remote Control of Greenhouse with ESP8266 NodeMCU // IEEE 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC), Chengdu, China. – 2019. – P. 377-382.

28. Модуль датчика температури та вологості DHT11 для ESP8266 ESP-01 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://diyshop.com.ua/ua/modul-datchika-temperature-i-vlazhnosti-dht11-dlya-esp8266-esp-01> (Дата доступу: 09.12.2023 р.).

29. АНТ20 Temperature & Humidity Sensor and ESP8266 example using the Arduino IDE [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.esp8266learning.com/aht20-temperature-humidity-sensor-and-esp8266-example-using-the-arduino-ide.php> (Дата доступу: 09.12.2023 р.).

30. АНТ20 I2C temperature and humidity sensor module high-precision humidity sensor probe DHT11 АНТ10 upgraded version for arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.aliexpress.com/item/1005002105209365.html?spm=a2g0o.order\\_list.order\\_list\\_main.192.24311802WGuV1j](https://www.aliexpress.com/item/1005002105209365.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.192.24311802WGuV1j) (Дата доступу: 09.12.2023 р.).

31. BH1750 – Ambient Light Sensor [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://components101.com/sensors/bh1750-ambient-light-sensor> (Дата доступу: 09.12.2023 р.).

32. BH1750FVI Datasheet [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://datasheetspdf.com/datasheet/BH1750FVI.html> (Дата доступу: 10.12.2023 р.).

33. Low-Cost, Micropower, SC70/SOT23-8, Microphone Preamplifiers with Complete Shutdown [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/MAX4465-MAX4469.pdf> (Дата доступу: 07.12.2023 р.).

34. Parida D., Behera A., Naik J.K., Pattanaik S., Nanda R.S. Real-time Environment Monitoring System using ESP8266 and ThingSpeak on Internet of Things Platform. // 2019 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICCS), Madurai, India. – 2019. – P. 225-229.

35. Sound Sensor Module Sound Control Sensor MAX4466 MAX9814 Switch Detection Whistle Switch Microphone Amplifier For Arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.aliexpress.com/item/1005003767663287.html?spm=a2g0o.order\\_list.order\\_list\\_main.61.24311802WGuV1j](https://www.aliexpress.com/item/1005003767663287.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.61.24311802WGuV1j) (Дата доступу: 07.12.2023 р.).