

МІЖНАРОДНИЙ ГУМАНІТАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет кібербезпеки, програмної інженерії та комп'ютерних наук
Кафедра комп'ютерної інженерії та інноваційних технологій

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
першого (бакалаврського) рівня

на тему Створення системи метеорологічних спостережень
як елементу сучасного Інтернету речей

Виконав: студент 4 курсу, групи КІ-4
спеціальності
123 Комп'ютерна інженерія

Максим Олександрович Лавровський

Керівник В. І. Тура

Рецензент Т. В. Теремин

МЕДИАКОРПИВ ГУМ ДОВІДКА

кафедри КІПТ про виконану бакалаврську роботу

студента 4 курсу ФКІІ та КІПТ групи КІ-4

Лановського Максима Олександровича

на тему Створення системи метаданих спостережень
за системою сучасного Інтернет-ресурсу

Висновок нормоконтролера пояснювальна записка до кваліфікацій-
ної роботи виконана з керуванням порушеннями доступу та безпеки
визначенням поведінки користувачів та впливом

Нормоконтролер векл. каф КІПТ 29.06.23 І.В. Кейлішнік
(науковий ступінь, вчене звання, посада) (підпис, дата) (і. б. прізвище)

Висновок відповідального за наявність плагіату зім'яно з сертифікатом
ID 1015329056 унікальність роботи підтверджено

Відповідальна особа векл. каф КІПТ 29.06.23 І.В. Кейлішнік
(науковий ступінь, вчене звання, посада) (підпис, дата) (і. б. прізвище)

Попередня експертиза (захист) _____ бакалаврської роботи

(бакалаврської роботи чи магістерської роботи)

студ. Лановський М.О. проведена " 23 " 06 2023 р.
(прізвище і б.)

Висновки Виконана робота відповідає завданням
розробки автоматизованої системи для проведення
метаданих спостережень ресурсів
використання у середовищі "розумної" дружини
у роботі було використано та впроваджено
протокол інтеграції метаданих з
концепції Інтернет-ресурсу
Виконана робота бакалавра
визначає рішення спеціаліста та рекомендації
створення ресурсу в ІК

Члени комісії _____
(підпис) к.т.н., доц. зав. каф КІПТ Савченко І.М.
(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище і б.)
_____ к.т.н., доц. зав. каф КІПТ Шимор'єва Т.І.
(підпис) (науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище і б.)
_____ к.т.н., доц. каф КІПТ Кокош Л.І.
(підпис) (науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище і б.)

МІЖНАРОДНИЙ ГУМАНІТАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Кибербезпеки, програмної інженерії та комп'ютерних наук
Кафедра Комп'ютерної інженерії та інноваційних технологій
Освітньо-кваліфікаційний рівень Бакалавр
Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія²

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

к.т.н., доцент. [Signature] В.І. Гура

27.10.2023 2023 року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА

1 Тема Створення системи метеорологічних спостережень як елементу сучасного Інтернету речей

Затверджена наказом ректора Міжнародного гуманітарного університету

від _____ року № _____

2 Термін виконання роботи _____ 2023 року

3 Вихідні дані до роботи

Вихідними даними є завдання на виконання випускної кваліфікаційної роботи, що передбачає собою проектування та реалізацію програмного пристрою метеостанції для вимірювання, реєстрації та розрахунку таких параметрів: температура, вологість, тиск, температура точки роси. Діапазон вимірювання температури: від -40 °C до +85 °C. Діапазон вимірювання відносної вологості: 0... 100 %. Діапазон вимірювання тиску: від 200 гПа до 1100 гПа. Крім того повинні бути можливість представлення вимірених параметрів у зручному користувацькому інтерфейсі з можливістю віддаленого контролю та використанням вимірених параметрів для керування зовнішніми пристроями.

ТЕО

ІТЗ ЦО

ОП

4 Зміст пояснювальної записки

Вступ.

Аналіз наявних технічних рішень на час побудови системи розумного будинку.

Визначення потреб персональної та автономної мережі.

Визначення вимірюваних метеорологічних величин.

Аналіз і вибір апаратних і програмних компонентів для створення мережі.

Модель взаємодії користувача з системою.

Розроблення схем та алгоритмів.

Створення схематичних мережних спостережень.

Реалізація апаратної частини.

Розроблення програмного забезпечення.

Додаток: Алгоритми та фрагменти коду програм мережі.

Обов'язковий додаток: Копії графічного матеріалу (презентації).

5 Перелік обов'язкового графічного матеріалу (презентації)

Типи пристроїв "розумного" міста та їхній взаємозв'язок.

Комунікація клієнта та сервера при отриманні та ІІЕ.

Комунікація клієнта та сервера при виконанні іле в Socket.

Комунікація клієнта та сервера за моделлю state-pace-архітектури.

Структурна схема розподіленої мережі.

Схеми принципів роботи розподіленої мережі.

Зовнішній вигляд нагору встановленої мережі розподіленої мережі.

Візуалізація зручності плати та з'єднаного мережі розподіленої мережі у візуалізаційній програмі.

Користувачівський інтерфейс створеного вебсайту.

Вигляд сторінки з'єднання мережі розподіленої мережі.

6 Календарний план виконання ВКР

№ п/п	Етапи виконання роботи	Терміни виконання етапів	Примітки
1	Видача завдання до ВКР	24.10.22	Вик <i>[підпис]</i>
2	Аналіз літературних джерел. Визначення галузь застосування	25.11.22	Вик <i>[підпис]</i>
3	Аналітичний огляд наявних рішень.	16.12.22	Вик <i>[підпис]</i>
4	Аналіз і порівняння апаратних та програмних компонентів	06.01.23	Вик <i>[підпис]</i>
5	Визначення моделі взаємодії користувача з інформаційно-аналітичною системою	20.01.23	Вик <i>[підпис]</i>
6	Розроблення структурної та електричної принципової схем	03.02.23	Вик <i>[підпис]</i>
7	Моделювання та візуалізація схем з використанням програмного забезпечення Proteus	17.02.23	Вик <i>[підпис]</i>
8	Навчання налагоджувального станда	10.03.23	Вик <i>[підпис]</i>
9	Створення алгоритму роботи метостанції. Розроблення програмної забезпечення для мікроконтролера	24.03.23	Вик <i>[підпис]</i>
10	Розроблення програмної частини уривку консолі для взаємодії користувача з метостанцією	14.04.23	Вик <i>[підпис]</i>
11	Налагодження та тестування програмно-апаратного комплексу	21.04.23	Вик <i>[підпис]</i>
12	Оформлення пояснювальної записки	05.05.23	Вик <i>[підпис]</i>
13	Попередній захист ВКР	28.04.23	Вик <i>[підпис]</i>
14	Захист ВКР в ДЕК (ДКК)		

7 Консультанти по окремих розділах

Розділ	Консультант (вчена ступінь, вчене звання, посада, ініціали та прізвище, місце роботи)	Дата, підписи	
		Завдання видав	Завдання отримав
ТЕО	немає		
ІТЗ ЦО	немає		
ОП	немає		

8 Підписи

Дата видачі завдання 24.10.22

Керівник *[підпис]* В.І.Гура
(підпис) (Ініціали, прізвище)

Дипломник *Лановський* М.О. Лановський
(підпис) (Ініціали, прізвище)

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АЦП – Аналого-Цифровий Перетворювач
- БЖ – Блок Живлення
- КМОН – Комплементарна структура Метал-Оксид-Напівпровідник
- ОВК – Опалення, Вентиляція та Кондиціонування повітря
- ПЗ – Програмне Забезпечення
- ФАПЧ – Фазове АвтоПідлаштування Частоти
- ЦАП – Цифро-Аналоговий Перетворювач
- ШІМ – Широтно-Імпульсна Модуляція
- 3G – Third Generation
- 4G – Fourth Generation
- AJAX – Asynchronous JavaScript And XML
- API – Application Programming Interface
- ASIC – Application-Specific Integrated Circuit
- CAN – Controller Area Network
- CSS – Cascading Style Sheets
- CSV – Comma-Separated Values
- DOM – Document Object Model
- EEPROM – Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
- GPIO – General-Purpose Input/Output
- GPRS – General Packet Radio Service
- GSM – Global System for Mobile communications
- HTML – HyperText Markup Language
- HTTP – HyperText Transfer Protocol
- I2C – Inter-Integrated Circuit
- I2S – Inter-Integrated circuit Sound
- IoT – Internet of Things
- IP – Internet Protocol

JS – JavaScript
JSON – JavaScript Object Notation
LAN – Local Area Network
LCD – Liquid-Crystal Display
LoRa – Long Range
LPWAN – Low-Power Wide-Area Network
MEMS – MicroElectroMechanical Systems
MQTT – Message Queue Telemetry Transportation
NB-IoT – NarrowBand Internet of Things
NTP – Network Time Protocol
OTA – Over-The-Air
PM – Particulate Matter
POSIX – Portable Operating System Interface
pSRAM – PseudoStatic Random-Access Memory
RH – Relative Humidity
RTC – Real-Time Clock
RTOS – Real-Time Operating System
SD – Secure Digital
SNTP – Simple Network Time Protocol
SPA – Single-Page Application
SPI – Serial Peripheral Interface
SSE – Server-Sent Events
UART – Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
USB – Universal Serial Bus
UTC – Coordinated Universal Time
WDT – WatchDog Timer
XML – Extensible Markup Language

Имя пользователя:
Анна Серединко

ID проверки:
1015684975

Дата проверки:
23.06.2023 19:37:11 EEST

Тип проверки:
Doc vs Internet + Library

Дата отчета:
23.06.2023 20:13:50 EEST

ID пользователя:
100001433

Название файла: !Лановський_Максим_41К1_ВКР_бакалавр

Количество страниц: 108 Количество слов: 22669 Количество символов: 178837 Размер файла: 4.87 MB ID файла: 1015329056

Обнаружены модификации текста (могут влиять на процент совпадений)

89.1% Совпадения

Наибольшее совпадение: 78.6% с источником из Библиотеки (ID файла: 1015177139)

17.6% Источники из Интернета 898

Страница 110

80% Источники из Библиотеки 16

Страница 121

0% Цитат

Исключение цитат выключено

Исключение списка библиографических ссылок выключено

0% Исключений

Нет исключенных источников

Модификации

Обнаружены модификации текста. Подробная информация доступна в онлайн-отчете.

Подозрительное форматирование 17 страниц

РЕЦЕНЗІЯ

на випускню кваліфікаційну роботу Лановського Максима Олеговича
«Створення системи метеорологічних спостережень як елементу сучасного
Інтернету речей»
бакалавра за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»

Технології Інтернету речей активно впроваджуються в різних галузях і використовуються для підвищення ефективності виконуваної роботи. Використання технологій Інтернету речей сприяє цифровій трансформації суспільства і є визнаним механізмом економічного зростання завдяки здатності технологій позитивно впливати на ефективність, результативність, вартість та якість економічної, громадської та особистої діяльності. Тому тема випускної кваліфікаційної роботи бакалавра, автором якої є Лановський М.О., є актуальною.

У рецензованій випускній кваліфікаційній роботі розроблена автоматизована система з телекомунікаційними можливостями для проведення метеорологічних спостережень із подальшою реєстрацією метеорологічних параметрів, які представляються у графічному інтерфейсі користувача. У першому розділі розглянуті поняття «розумного» будинку та метеорологічних спостережень. У другому розділі вказані основні апаратні та програмні компоненти, з яких складається об'єкт розроблення. У останньому розділі описано розроблення налагоджувального стенду проектованої метеорологічної станції та функціональні можливості розробки.

Випускова робота являє собою реальний проект інженерного напрямку. Зміст роботи відповідає темі і робота є закінченим проектом, який доведено до розробки принципних схем розроблюваного пристрою. Елементи наукових досліджень відсутні. Якість оформлення кваліфікаційної роботи відповідає вимогам щодо оформлення.

Як недолік можна відмітити розміщення в додатку неповного програмного коду роботи метеорологічної станції.

В цілому вважаю, що випускова кваліфікаційна робота Лановського М.О. «Створення системи метеорологічних спостережень як елементу сучасного Інтернету речей» написана на рівні, який відповідає випускній кваліфікаційній роботі бакалавра, може бути оцінена оцінкою «відмінно», а її автор гідний присудження кваліфікації бакалавра.

Рецензент

во завідувача кафедри Автоматизованих систем моніторингу навколишнього середовища та інформатики Одеського державного екологічного університету

кандидат технічних наук, доцент

Перелигін Б.В.

травня 2023 року



Перелигін Б.В. завідувач
С.О. [signature]

Ім'я користувача:
Анна Серединко

Дата перевірки:
23.06.2023 19:37:11 EEST

Дата звіту:
29.06.2023 12:12:19 EEST

ID перевірки:
1015684975

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

ID користувача:
100001433

Назва документа: !Лановський_Максим_41КІ_ВКР_бакалавр

Кількість сторінок: 108 Кількість слів: 22669 Кількість символів: 178837 Розмір файлу: 4.87 MB ID файлу: 1015329056

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

12.4% Схожість

Найбільша схожість: 8.98% з Інтернет-джерелом (http://www.sci-notes.mgu.od.ua/archive/v37/37_2022.pdf)

11.5% Джерела з Інтернету 184 Сторінка 110

1.52% Джерела з Бібліотеки 11 Сторінка 113

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

76.7% Вилучень

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 8 слів та 0%)

6.09% Вилучення з Інтернету 714 Сторінка 114

76.7% Вилученого тексту з Бібліотеки 5 Сторінка 122

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Підозріле форматування 17 сторінок



Ім'я користувача:
Дизайн

ID перевірки:
1015522942

Дата перевірки:
09.06.2023 10:58:05 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
09.06.2023 10:59:59 EEST

ID користувача:
100007507

Назва документа: Лановський М.О. 123 КІ диплом

Кількість сторінок: 90 Кількість слів: 18595 Кількість символів: 143124 Розмір файлу: 2.67 MB ID файлу: 1015177139

5.74% Схожість

Найбільша схожість: 0.38% з Інтернет-джерелом (<http://sci-notes.mgu.od.ua/archive/v37/36.pdf>)

5.68% Джерела з Інтернету	718	Сторінка 92
0.21% Джерела з Бібліотеки	15	Сторінка 97

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Міжнародний гуманітарний університет
факультет Кібербезпеки програмної інженерії та комп'ютерних наук
кафедра Комп'ютерної інженерії та інноваційних технологій

ВІДГУК НАУКОВОГО КЕРІВНИКА ПРО РОБОТУ СТУДЕНТА

над кваліфікаційною роботою

ЛАНОВСЬКОГО МАКСИМА ОЛЕГОВИЧА

за темою:

Створення системи метеорологічних спостережень як елементу сучасного Інтернету речей

У випускній кваліфікаційній роботі розглянуті технології Інтернету речей як складової цифрової трансформації суспільства не тільки в Україні, а ще і в світових масштабах, які сприяють подальшому економічному зростанню завдяки сучасним ІТ технологіям.

Вважаю, що тема роботи, спрямована на створення таких систем Інтернету речей, є актуальною.

Випускна кваліфікаційна робота складається із трьох розділів. У першому розділі проводиться огляд концепції розумного будинку та основних пристроїв заміру метеорологічних величин. У другому розділі проаналізовано апаратні та програмні компоненти для створення сучасної метеостанції. Третій розділ присвячений опису реалізації програмно-апаратного комплексу і способів взаємодії з користувачем.

Наведені у роботі результати свідчать про досягнення поставленої мети, та виконаного завдання в повному обсязі.

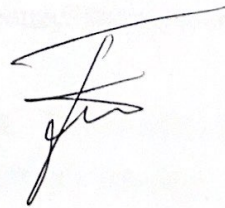
При виконанні кваліфікаційної роботи ст. Лановський Максим Олегович продемонстрував відмінні знання, дуже гарну теоретичну та професійну підготовку, володіння сучасними методами data science та data analytics, а також прийняття оптимальних обґрунтованих рішень в галузі комп'ютерної інженерії.

У процесі виконання КР порушень дисципліни виявлено не було, всі завдання виконувались у встановлені терміни з найвищою якістю.

Матеріали випускної кваліфікаційної роботи викладені чіткою літературною та технічно грамотною мовою. Пояснювальна записка оформлена відповідно до загальноприйнятих правил внутрішнього документообігу МГУ та основних вимог ДСТУ. Графічний матеріал відображає зміст та детальну структуру представленої для захисту роботи.

В цілому вважаю, що кваліфікаційна робота Лановського Максима Олеговича, за темою Створення системи метеорологічних спостережень як елементу сучасного Інтернету речей написана на високому рівні, та відповідає кваліфікаційній роботі бакалавра, а її автор заслуговує присудження кваліфікації бакалавр зі спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія.

Науковий керівник
к.т.н., доцент, завідувач кафедри
Комп'ютерної інженерії
Міжнародного гуманітарного університету



В.І. Гура

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до ВКР бакалавра «Створення системи метеорологічних спостережень як елементу сучасного Інтернету речей» складається із вступу, трьох розділів основної частини з висновками, загальних висновків і рекомендацій, переліку посилань, додатків та має стор., 27 малюнків, 5 таблиць, список джерел із 71 найменуванням.

Об'єкт розроблення – автоматизована система з телекомунікаційними можливостями для проведення метеорологічних спостережень із подальшою реєстрацією метеорологічних параметрів на носій відповідно до завдання.

Мета роботи – аналітичний огляд сучасних домашніх метеорологічних станцій, стислий аналіз їхніх параметрів та розроблення свого рішення за концепцією Інтернету речей.

Враховуючи мету та об'єкт випускної кваліфікаційної роботи, були використані такі **методи наукового дослідження**: методи теоретичного дослідження (абстрагування, аналіз, синтез, порівняння, індукція тощо); програмне моделювання (використовуючи пакет програмного забезпечення Proteus).

У ВКР проведено аналіз використання метеостанції як елементу одного з найпоширеніших галузей сучасного Інтернету речей – «розумного» будинку. Розглянуті поняття та вимоги персональної й автоматичної метеостанцій. Визначені, проаналізовані та порівняні основні пристрої та програмні рішення для побудови метеорологічної станції. Створений продукт є портативним пристроєм, який може підключатися до автономного живлення, характеризується телекомунікаційними можливостями для віддаленого контролю і керування через локальну мережу чи інтернет. Рішення має можливість аналізувати виміряні дані та представляти їх у зручному для користувача вигляді. Передбачається подальше вдосконалення системи.

Результати виконання ВКР бакалавра рекомендується використовувати для досліджень, що проводяться студентами в навчальному процесі та в практичній діяльності фахівців із комп'ютерних систем та мереж.

Ключові слова: ДИСТАНЦІЙНЕ КЕРУВАННЯ, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, МЕТЕОСТАНЦІЯ, МІКРОКОНТРОЛЕР, ПОГОДНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ.

ABSTRACT

Explanatory note to the bachelor's thesis "Development of a meteorological observation system as an element of the modern Internet of Things" consists of an introduction, three sections of the main part with conclusions, general conclusions and recommendations, a list of references, appendices and has pages, 27 figures, 5 tables, a list of sources with 71 titles.

Development object is an automated system for conducting meteorological observations with further registration of meteorological parameters on a data carrier in accordance with the bachelor's degree program.

The aim of this work is an analytical review of modern home weather stations, a brief analysis of their parameters, and the development of a solution based on the concept of the Internet of Things.

Taking into account the purpose and object of the work, the following **scientific research methods** were used: methods of theoretical research (abstraction, analysis, synthesis, comparison, induction, etc.); software modeling (using the Proteus software package).

The research work provides an analysis of the use of a weather station as an element of one of the most common areas of the modern Internet of Things, such as "smart" home. The concepts and requirements of personal and automatic weather stations were considered. The main devices and software solutions for building a meteorological station are identified, analyzed and compared. The resulting product is a portable device that can be connected to an autonomous power supply and is characterized by telecommunication capabilities for remote monitoring and control via a local network or the Internet. The solution has the ability to analyze measured data and present it in a user-friendly form. Further improvements to the system are planned.

The results of the bachelor's thesis are recommended to be used for research conducted by students in the educational process and in the practical activities of specialists in computer systems and networks.

Keywords: INTERNET OF THINGS, MICROCONTROLLER, REMOTE CONTROL, WEATHER OBSERVATIONS, WEATHER STATION.

ЗМІСТ

	Стор.
ЗАВДАННЯ ДО ВКР	3
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	9
РЕФЕРАТ	11
ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ	16
ОПИС АЛЬБОМУ	15
ВСТУП.....	18
1 РОЗГЛЯД ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МЕТЕОСТАНЦІЯХ ЯК ЕЛЕМЕНТАХ «РОЗУМНОГО» БУДИНКУ	23
1.1 Концепція «розумного» будинку	23
1.2 Поняття метеорологічних спостережень. Деякі види метеостанцій	25
1.2.1 Визначення персональної метеостанції.....	26
1.2.2 Визначення автоматичної метеостанції.....	28
1.3 Використання метеорологічної станції в побуті.....	29
1.4 Мікроелектромеханічні системи як спосіб взаємодії із середовищем ...	29
1.5 Основні пристрої метеостанції для заміру метеорологічних величин ...	31
1.5.1 Обладнання для вимірювання температури.....	32
1.5.2 Обладнання для вимірювання тиску.....	35
1.5.3 Обладнання для вимірювання вологості	37
Висновки до першого розділу.....	41
2 АНАЛІЗ І ВИБІР АПАРАТНИХ І ПРОГРАМНИХ КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ	42
2.1 Вибір апаратних компонентів для створення метеостанції.....	42
2.1.1 Підібраний мікроконтролер. Огляд технічних характеристик ...	42
2.1.2 Обраний модуль годинника реального часу	45
2.1.3 Використаний давач температури та вологості.....	46
2.1.4 Обраний давач атмосферного тиску та температури.....	49
2.1.5 Вибраний модуль для підключення карт пам'яті microSD	51
2.1.6 Застосований мережевий модуль з Ethernet-контролером	52

2.2	Обрання програмних складових для побудови комплексного рішення	53
2.2.1	Використання операційної системи реального часу	54
2.2.2	Бібліотека для забезпечення віддаленого оновлення прошивки	57
2.2.3	Програмний компонент для створення Telegram-бота	58
2.2.4	Алгоритм Замбретті. Бібліотека для прогнозу погоди за тиском	60
2.2.5	Програмне рішення для синхронізації RTC за допомогою NTP	61
2.3	Використання моделі вебзастосунку для створення інтерфейсу	62
2.3.2	Серверна частина вебзастосунку в мікроконтролері	67
2.3.3	Клієнтська частина вебзастосунку в браузері	68
	Висновки до другого розділу	71
3	СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ. РЕАЛІЗАЦІЯ АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ. РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	72
3.1	Опис реалізації апаратної частини метеостанції	72
3.2	Алгоритм програми мікроконтролера	75
3.3	Розроблення програмного забезпечення. Використані інструменти	76
3.4	Опис цифрової консолі як способу взаємодії користувача зі станцією	78
	Висновки до третього розділу	82
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ Й РЕКОМЕНДАЦІЇ	83
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	84
	ДОДАТОК А КОПІЯ ДЕМОСТРАЦІЙНИХ КРЕСЛЕНЬ	92
	ДОДАТОК Б АЛГОРИТМ ТА ФРАГМЕНТ ТЕКСТУ ПРОГРАМИ МЕТЕОСТАНЦІЇ	96
	ДОДАТОК В КОПІЯ ПУБЛІКАЦІЙ	98

№ примірника	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	№ примірника	Примітки
1			<i>Документація загальна</i>			
2						
3			<i>Нове розроблення</i>			
4						
5	A4	МГУ 23 0287 03 Р	ПО1. Реферат	2		
6						
7	A4	МГУ 23 0287 03 ТЗ	ПО1. Технічне завдання	2		
8						
9	A4	МГУ 23 0287 03 ПЗ	ПО1. Пояснювальна записка	64		
10						
11	A4	МГУ 23 0287 03 ПП	ПО1. Перелік посилань	7		
12						
13	A4	МГУ 23 0287 03 Д	ПО1. Додатки			
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						

					МГУ 23 0287 03 ОА			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Виконав					ПО1. Опис альбому	Літ.	Аркуш	Аркушів
Керівник				ВКР				
Н. контр.								
Зав. каф.								

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1 ТЕМА ВКР. ГАЛУЗЬ ВИКОРИСТАННЯ

1.1 Тема випускної кваліфікаційної роботи бакалавра. Створення системи метеорологічних спостережень як елементу сучасного Інтернету речей.

1.2 Галузь використання. Розроблена автоматизована система для проведення метеорологічних спостережень розрахована на використання у середовищі «розумного» будинку. Переобладнавши, рішення можливо використовувати у: промисловому моніторингу; будівництві; містах та будинках; агрокомплексах; інтелектуальному транспортуванні; охороні здоров'я.

2 ПІДСТАВА ДЛЯ РОЗРОБЛЕННЯ

Підставою для розроблення системи слугує технічне завдання на випускну кваліфікаційну роботу згідно з навчальним планом.

3 МЕТА ВКР

Основною метою випускної кваліфікаційної роботи є проєктування та реалізація прототипу портативної метеостанції за концепцією Інтернету речей.

4 ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАВДАННЯ

Досягнення викладеної мети передбачає виконання таких завдань:

- аналіз та порівняння характеристик сучасних домашніх метеостанцій;
- аналіз використання метеостанції в повсякденному житті як складової «розумного» будинку;
- огляд типів обладнання для вимірювання метеорологічних величин;

- розроблення апаратно-програмної системи для проведення метеорологічних спостережень та реєстрації отриманих значень;
- створення графічного інтерфейсу користувача для надання зручних інструментів віддаленого контролю та керування рішенням.

5 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

Діапазон вимірювання температури: від -40 °С до +85 °С.

Діапазон вимірювання відносної вологості: від 0 % до 100 %.

Діапазон вимірювання атмосферного тиску: від 300 гПа до 1100 гПа.

Система має обчислювати температуру точки роси. Має бути наявний графічний інтерфейс користувача для представлення виміряних параметрів. Контроль та керування системою має бути дистанційне. Система має підтримувати хоча б один мережевий протокол для можливості взаємодії з іншими системами та/або пристроями.

ВСТУП

Інтернет речей (англ. Internet of Things, IoT) – широко відома та передова тенденція в розвитку сучасних інформаційно-комунікаційних технологій. Існує безліч різних визначень IoT, але загальним для цих визначень є ідея об'єктів («речей») із вбудованими телекомунікаційними можливостями для відстеження, контролю та управління цими об'єктами через локальну мережу чи інтернет. Ця концепція презентує не просто зв'язок різноманітних датчиків та приладів між собою, а щільну інтеграцію реальних речей у віртуальні системи, які здатні вирішувати різноманітні завдання та в яких здійснюється взаємодія та спілкування людей і приладів.

Актуальність теми роботи. На сьогодні рішення, які побудовані за концепцією Internet of Things, застосовуються в багатьох галузях [1–4]:

- інтелектуальне транспортування;
- агрокомплекс;
- охорона довкілля;
- робота державних органів;
- «розумний» будинок;
- «розумне» місто;
- виробничий моніторинг;
- охорона здоров'я тощо.

Багато світових гігантів електронної промисловості (наприклад, Intel, Siemens, Cisco, Google і Samsung) вже інвестували в інфраструктуру Інтернету речей і надають інноваційні послуги та продукти.

Проте IoT – це не далеке майбутнє, доступне лише компаніям та містам виключно розвинених країн. Це реальність, яку нашим компаніям необхідно впроваджувати якнайшвидше, щоби залишатися конкурентними, гнучкими та стійкими до криз.

Станом на березень 2019 року в Україні лише 2 % постачальників обладнання користуються технологіями Internet of Things, а половина навіть не знає про їхні можливості. У нашій країні є виробники пристроїв – у сферах безпеки й

«розумного» будинку – але в основному на ринку представлені продукти закордонних компаній [5,6].

Хоча на ринку IoT з'явилися нові перешкоди, такі як інфляція, воєнні дії на території України та тривалі перебої в постачанні, загальний настрій надалі залишається порівняно позитивним, й очікується, що кількість підключених пристроїв IoT досягне 17,2 мільярда до кінця 2023 року [7].

З огляду на широке поле застосування IoT, важливо сформулювати чітке представлення щодо специфіки його використання в певній галузі. Завдяки цьому можна зосередити подальші дослідження на окремих проблемах у галузях, які нас цікавлять, не відволікаючись на інші. Тому ця робота зосереджена на використанні метеорологічної станції у середовищі «розумного» будинку – одного з найпоширеніших і зростальних галузей Інтернету речей. Використання технологій IoT сприяє впровадженню концепції «розумного» будинку в багатьох країнах. Серед чинників, які приваблюють багатьох людей, виділяються функції безпеки, моніторинг внутрішнього середовища житлового приміщення та автоматичного керування. Але основною рушійною силою у впровадженні автоматизації в смартбудинках є доступність технологічно вдосконалених і компактних рішень [8,9].

Основною метою кваліфікаційної роботи є проектування та реалізація прототипу портативної метеостанції з можливістю підключення автономного живлення і підтримкою бездротових з'єднань. Оскільки метеостанція вимірює параметри середовища, такі як температура, вологість, тиск, температура точки роси тощо, застосування пристрою не обмежується виключно галуззю метеорології [10–12]. Переобладнавши, запропоноване рішення можна використовувати у:

а) промислового моніторингу – контроль технологічних параметрів (температура носія, вологість приміщення тощо), контроль датчиків та лічильників (води, газу, електрики);

б) будівництві – з наростальним попитом на теплоізоляцію в сучасних будівлях необхідно відстежувати вплив погодних умов на ефективність теплоізоляції;

в) сільськогосподарських підприємствах – моделювання карт температури, вологості ґрунту або повітря, точки роси, тиску, або навіть пожежної активності;

г) містах/будинках – «розумне» місто, «розумний» будинок, інтелектуальна система опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (ОВК), «розумне» освітлення тощо;

д) інформуванні про погодні умови на автомобільних шляхах для водіїв: окрім загальних вимірів можливо вимірювати температуру та стан поверхні дорожнього покриття;

е) охороні здоров'я – моніторинг мікроклімату в приміщенні: температура, вологість, швидкість руху повітря та концентрація шкідливих речовин. Збір останніх параметрів можливо реалізувати в перспективі, доповнивши метеостанцію сенсором якості повітря (наприклад, вимірювачем CO₂) та кількості твердих частинок (PM-давач, від англ. Particulate Matter, PM).

Порівняльне оцінювання присутніх рішень на ринку України. Під час вибору приладу метеостанції покупці враховують такі параметри [13,14]:

- цінова доступність;
- джерело живлення – багато метеостанцій бездротові, працюють від сонячних панелей або акумуляторів, що дає змогу користувачеві розмістити станцію практично в будь-якому місці без підключення до електромережі;
- функціональні можливості – майже всі домашні метеостанції інформують про температуру, опади та вологість, але деякі з них мають додаткові функції, що дають змогу одержувати таку докладну інформацію, як рівень освітлення, фаза місяця, сонячна радіація та ін.;
- віддалений доступ – сучасні метеостанції дають можливість користувачам переглядати вимірювання з будь-якого місця через смартфон, планшет чи персональний комп'ютер;
- наявність інтелектуальних технологій – у пристрої може бути можливість журналювання даних про погоду, оповіщення через соціальні мережі тощо;
- інтеграція в наявні системи – дуже корисно, якщо користувач використовує систему «розумне» місто, або «розумний» будинок з інтелектуальними побутовими приладами. Наприклад, можливо дистанційно увімкнути кондиціонер залежно від температури або вологості в приміщенні.

На основі вищезгаданих параметрів побудована порівняльна таблиця (див. табл. 1) домашніх метеостанцій, доступних на ринку України, включно зі створеним рішенням.

Таблиця 1 – Порівняння параметрів домашніх метеостанцій

Назва	Ціна ¹⁾ , тис. грн	Джерело живлення	Функціональні можливості	Віддалений доступ	Інтелектуальні технології
EA2 BL501 SLIM	0,8	станція та давачі: батарейки AAA	температура	відсутній	відсутні
Technoline WS6462	2,6	станція: блок живлення (БЖ) 5 В або батарейки типу AA; давачі: батарейки типу AA	температура, вологість, тиск, точка роси, прогноз погоди	відсутній	відсутні
La Crosse WS6867B-BLA Wi-Fi	7	станція: БЖ 5 В або батарейки типу AAA; давачі: батарейки типу AA або панель сонячного живлення	температура, вологість, точка роси, прогноз погоди, кількість опадів, швидкість і напрямок вітру	за допомогою окремого додатку; бездротове підключення до роутера	за допомогою окремого додатку: перегляд вимірювань, погодних умов, журнал даних та діаграми
TFA WeatherHub “Observer”	7	станція: БЖ 20 В; давачі: батарейки типу AA	температура, вологість	за допомогою окремого додатку або вебплатформи; дротове підключення до роутера	за допомогою окремого додатку або вебплатформи: перегляд вимірювань та погодних умов, журнал даних та діаграми, сповіщення (push або email), експорт даних
Розроблена метеостанція	0,9 (див. табл. 2 нижче)	станція та давачі: БЖ або портативний зарядний пристрій (5 В)	температура, вологість, тиск, точка роси, прогноз погоди	за допомогою вебдодатку або Telegram-бота; бездротове та дротове підключення до роутера	за допомогою вебдодатку та Telegram-бота: перегляд вимірювань та погодних умов, сповіщення, експорт даних; тільки за допомогою вебдодатку: журнал даних та діаграми

Реалізована в цій роботі метеостанція попри низьку собівартість (див. табл. 2 далі) – без урахування вартості розроблення програмного забезпечення, макетної

¹⁾Ціни округлені в більшу сторону, дані отримані з [71].

плати та з'єднувальних дротів для налагодження – має функціонал на рівні з дорогими професійними рішеннями. На відміну від вказаних моделей, за потреби розроблену станцію можна інтегрувати в наявні інтелектуальні системи, застосувавши протоколи HTTP, Modbus TCP, MQTT і т.ін. [15,16].

Таблиця 2 – Вартість компонентів розробленої метеостанції

Назва товару/послуги	Ціна, дол. США	Ціна, грн ¹⁾
Налагоджувальна плата ESP32 NodeMCU	4	156
Модуль підключення microSD	0,5	19,5
Модуль RTC DS3231 + EEPROM AT24C32	2	78
Модуль W5500 Ethernet	3	117
Модуль із давачем BMP280	0,5	19,5
Модуль із давачем АНТ10	1	39
Виготовлення та доставлення 5 друкованих плат від компанії JLPCB ²⁾	9	351
Корпус для електроніки з ABS-пластику (92 мм x 58 мм x 23 мм) ²⁾	2	78
Загалом	22	858

Досягнення визначеної мети передбачає **виконання таких завдань:**

- проведення аналітичного огляду та порівняння параметрів сучасних домашніх метеорологічних станцій для формування конкурентоспроможного рішення;
- виконання аналізу використання метеостанції у побуті як компонента «розумного» будинку – сфери застосування Інтернету речей;
- огляд різних типів обладнання для заміру метеорологічних параметрів;
- розроблення станції для виконання метеорологічних спостережень та реєстрації отриманих величин;
- створення графічного інтерфейсу користувача для надання зручних інструментів віддаленого контролю та керування метеостанцією.

Підсумовуючи написане вище, можна зробити висновок, що створена метеостанція є універсальною – може бути використана у різних галузях і переобладнана під різні потреби – та економічно доступною розробкою.

¹⁾Для розрахунків використовується курс 1 дол. США = 39 грн.

²⁾У даній роботі готові друковані плати та пластиковий корпус не використовуються, для налагодження розробленого рішення використовується макетна плата зі з'єднувальними дротами.

1 РОЗГЛЯД ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МЕТЕОСТАНЦІЯХ ЯК ЕЛЕМЕНТАХ «РОЗУМНОГО» БУДИНКУ

1.1 Концепція «розумного» будинку

Розроблена у даній кваліфікаційній роботі метеорологічна станція може використовуватись як компонент «розумного» будинку для поєднання з інтелектуальними системами ОВК, «розумного» освітлення та контролю мікроклімату.

У цьому підрозділі розглядаються еволюція, визначення та характеристики, цілі, внесок та складові компоненти «розумного» будинку для чіткого представлення специфіки застосування розроблюваної метеостанції.

Як було зазначено вище, однією з важливих сфер застосування IoT є система «розумний» дім. Але це нова концепція: перша технологія «розумного» будинку під назвою X10 була розроблена в Шотландії в 1975 році. Ця система передавала цифрову інформацію через радіочастотні імпульси по наявній електропроводці будинку. Технологія мала багато проблем: була повільною, абсолютно незашифрованою і ненадійною через втрати сигналу та відсутності завадостійкості.

У міру зростання популярності інтернету в 90-х роках XX сторіччя почало з'являтися все більше інтелектуальних пристроїв, але вони все ще були частиною дорогих систем.

Далі почали з'являтися бездротові технології: Wi-Fi (1997), Z-Wave (1999), 3G (2001), Zigbee (2004), які відкрили нові можливості для систем «розумного» будинку. У цю епоху з'явилося безліч конкуруючих стандартів і ще більше власних, несумісних систем, але вона також ознаменувалася першими кроками до безпеки в «розумному» будинку. Більшість бездротових стандартів підтримували зашифрований зв'язок.

Починаючи з 2010 року, тема «розумного» будинку почала асоціюватися з IoT. Поштовхом до цього стало поширення смартфонів і запуск 4G – технології, яка забезпечувала швидкість інтернету до 60 Мбіт/с у стільникових мережах.

2012-го року був випущений «розумний» світильник Philips Hue, який підтримує мільйони різних кольорів і управляється за допомогою смартфона.

У 2015-2016 роках людський голос почав використовуватися для управління «розумним» будинком. Amazon випустив Amazon Echo (2015), а Google – Google Home (2016). Це «розумні» колонки з голосовим помічником на базі штучного інтелекту (Amazon Alexa або Google Assistant), які розуміють голосові команди та можуть відтворювати музику, відео, дізнаватися новини або виконувати інші дії, інтегруючись у систему домашньої автоматизації.

Поряд із «розумними» колонками та «розумними» світильниками були створені роботи-прибиральники, відеокамери, замки та багато іншого, які допомагають виконувати частину людських повсякденних завдань [17–20].

На сьогодні «розумний» дім – система домашніх пристроїв, яка впроваджує інтелектуальні технології в житлові приміщення. Розумні будинки включають п'ять основних характеристик:

- автоматизація: можливість розміщення автоматичних пристроїв або виконання автоматичних функцій;
- багатофункціональність: можливість виконання різних завдань чи створення різних результатів;
- адаптивність: можливість навчання та прогнозування потреб користувачів;
- інтерактивність: змога забезпечити зв'язок системи з користувачами;
- ефективність: зручне виконання функцій та економія часу чи витрат.

«Розумні» будинки націлені на підвищення рівня комфорту користувачів та полегшення повсякденного життя, раціонального використання ресурсів, надання мешканцям інтелектуального оточення та можливостей дистанційного контролю і керування будинком. Ця система також використовується для охорони здоров'я та домашньої безпеки. Засоби моніторингу приміщень й автоматизованого керування приладами є найпоширенішими компонентами «розумних» будинків. Як частина технології Інтернету речей, ці засоби використовують телекомунікаційні можливості (доступ в інтернет), що і надає змогу користувачеві виконувати віддалений моніторинг і керування будинком [21,22].

Система «розумного» житла містить чотири типи пристроїв [17]:

а) контролер – керівний пристрій, що з'єднує елементи системи один з одним. Найчастіше контролер і шлюз поєднують в один елемент;

б) шлюз – система, котра управляє інтерфейсами користувача й підключенням до системи за допомогою планшета, смартфона або комп'ютера. Використовується для підключення контролера до інтернету;

в) датчики – прилади, які збирають дані внутрішнього та зовнішнього середовища будинку. Дані з давачів постійно збираються та відправляються через локальні мережі на сервери або контролер «розумного» будинку;

г) актуатори – виконавчі пристрої, які безпосередньо виконують команди. Це найчисленніша група, до якої входять «розумні» вимикачі, «розумні» розетки, клапани для труб, сирени, клімат-контролери тощо.

Схематичне зображення зв'язку перелічених вище елементів «розумного» будинку наведено на рис. 1.1.

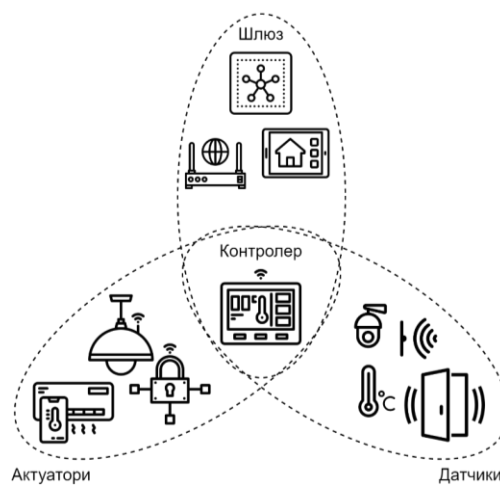


Рисунок 1.1 – Типи пристроїв «розумного» житла та їхній взаємозв'язок

1.2 Поняття метеорологічних спостережень. Деякі види метеостанцій

Як було зазначено вище, моніторинг параметрів навколишнього середовища застосовується в багатьох галузях людської діяльності. А завдяки технологічному прогресу, виконання метеорологічних спостережень стало ще простішим.

Метеорологічні спостереження – це вимірювання кількісних значень метеорологічних величин та їхніх коливань, а також оцінювання якісних характеристик метеорологічних умов. До основних метеорологічних величин належать температура, вологість та тиск повітря, швидкість і напрямок вітру, метеорологічна дальність видимості й т.ін. Зміни погодних умов можна відстежувати та вимірювати з допомогою метеорологічної станції.

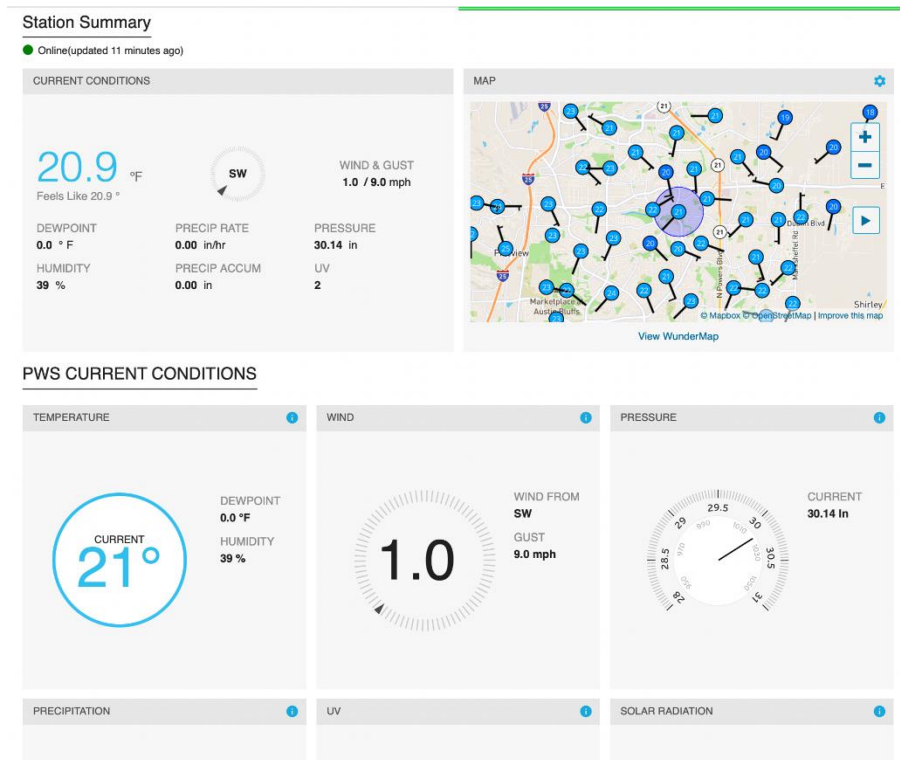
Метеорологічна станція (метеостанція) – установа, у якій цілодобово проводяться регулярні метеорологічні спостереження. Одержані на метеостанціях дані надсилають до метеорологічних центрів. Як правило, кожна метеостанція є науковою одиницею великої мережі станцій [23].

Далі будуть розглянуті поняття персональної та автоматичної метеостанцій, деякі особливості котрих було інтегровано в розроблену в цій роботі метеостанцію.

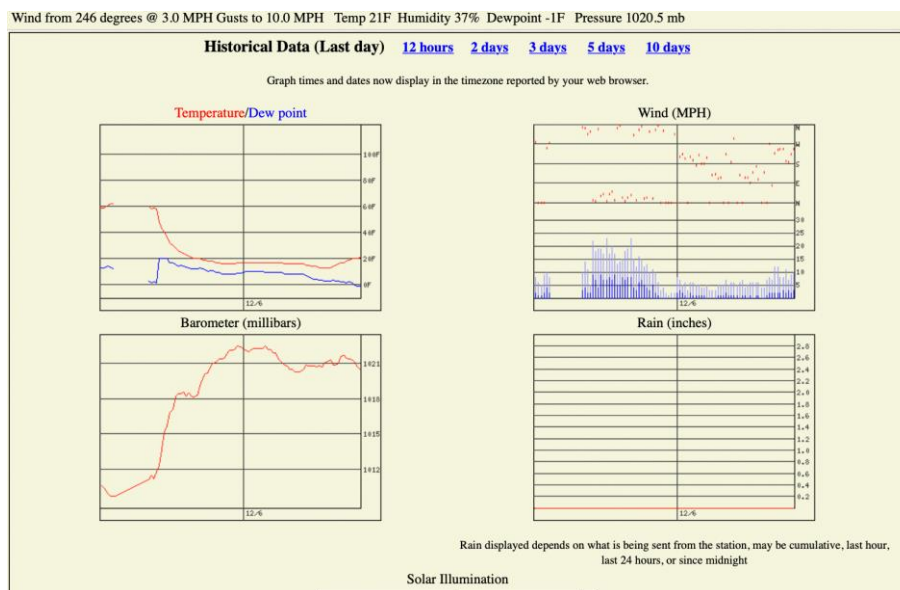
1.2.1 Визначення персональної метеостанції

Персональна метеорологічна станція – це набір приладів для проведення метеорологічних спостережень, який використовується приватною особою чи підприємством. Персональні метеостанції зазвичай включають давачі та цифрову панель – консоль, – яка забезпечує зчитування даних, що збираються станцією. Є можливість підключати ці консолі до персонального комп'ютера, смартфона, або до системи «розумного» будинку, де зібрані дані можуть зображатися, зберігатися та завантажуватися в потрібних для користувача форматах. Сучасні персональні метеостанції нерідко створюються як пристрої Інтернету речей, що потенційно розширює їхні функціональні можливості [24].

Персональні метеостанції можуть використовуватися виключно для особистих цілей, або розповсюджувати результати вимірювань через інтернет для побудови та уточнення моделей прогнозу погоди (наприклад, з допомогою спеціальних сервісів: Weather Underground або Citizen Weather Observer Program) [25,26]. Типове відображення даних метеорологічних станцій Weather Underground та Citizen Weather Observer Program показано на рис. 1.2а і б відповідно.



a



б

Рисунок 1.2 – Фрагмент сторінки отриманих з персональної метеостанції показань на Weather Underground (a) та Citizen Weather Observer Program (б) [27]

Загалом, такі станції характеризуються порівняно низькою вартістю та обмеженими можливостями, на відміну від професійних цифрових станцій. А з іншого боку, останні є надто складними та дорогими для особистого використання.

1.2.2 Визначення автоматичної метеостанції

Автоматична метеорологічна станція – це прилад, який вимірює та реєструє метеорологічні параметри без втручання людини, використовуючи різноманітні датчики [23,28]. Зазвичай містить реєстратор даних, акумуляторну батарею, телеметричні засоби (якщо необхідна дистанційна передача) та метеорологічні датчики.

Реєстратор даних – ключовий елемент автоматичної погодної станції. Його основними функціями є:

- вимірювання: збирання інформації з кожного датчика;
- розрахунки: обробка більшості метеорологічних даних для користувачів, напр., мінімальна, максимальна температура за добу, визначення точки роси та т.і.;
- зберігання: реєстратор зберігає всю інформацію у власній пам'яті, або на зовнішньому накопичувачі, напр., microSD;
- живлення: реєстратор даних керує джерелами живлення автоматичної метеостанції та здійснює моніторинг параметрів акумуляторних батарей;
- зв'язок: використання та конвертація протоколів для зв'язку з віддаленим сервером. Переважно використовують GSM/GPRS, NB-IoT, LoRa, Wi-Fi та Ethernet.

Вибір основного джерела живлення автоматичної метеостанції залежить від особливостей використання. Багато станцій із низьким енергоспоживанням використовують одну або кілька сонячних панелей, з'єднаних паралельно з регулятором напруги й однією або декількома акумуляторними батареями. До сонячних панелей можуть додавати вітрогенератори для забезпечення живлення в період недостатнього сонячного світла. Або просто підключати до місцевої електромережі.

Виміряні станцією параметри можуть бути збережені у вбудованому журналі реєстрації даних для подальшого вилучення або можуть бути передані на віддалене сховище через канал зв'язку.

Використання ефективних акумуляторів, сонячних батарей, вітряних генераторів і енергоефективних бездротових технологій уможливили створення автономних бездротових станцій, не підключених до електричної та дротової телекомунікаційної мережі.

1.3 Використання метеорологічної станції в побуті

Для правильної роботи інтелектуального домашнього обладнання потрібна точна та актуальна інформація про стан погоди або житлових приміщень, тому необхідно встановити різні датчики, що вимірюють параметри середовища:

- температуру;
- відносну вологість;
- точку роси;
- атмосферний тиск;
- силу (швидкість) та напрямок вітру;
- рівень опадів;
- рівень освітленості;
- рівень ультрафіолетового випромінювання тощо.

Окрім спостереження за змінами параметрів та прогнозу погодних умов, система персональної метеостанції дає змогу налаштувати роботу різних інтелектуальних приладів у системі «розумний» дім:

- а) кліматичного обладнання – систем обігріву, кондиціонування та вентиляції;
- б) автоматичних штор, ролетів та жалюзі, системи затінення;
- в) освітлювальних приладів усередині приміщень або присадибній ділянці;
- г) системи автоматичного поливу газонів та грядок і т.ін.

Також за допомогою станції можна досягти значної економії електроенергії завдяки своєчасному відключенню систем опалення, вентиляції та освітлення [18].

1.4 Мікроелектромеханічні системи як спосіб взаємодії із середовищем

Технології та пристрої, що поєднують у собі електронні та механічні компоненти в мікроскопічному масштабі називаються мікроелектромеханічними системами (MEMS). Фізичний вплив на механізм такого пристрою перетворюється на електричний сигнал. Потенціал цих надмалих механізмів був оцінений ще до появи технологій, які б уможливили їхнє створення [29,30].

Нині технології MEMS застосовуються у:

- прецизійних осциляторах із температурною компенсацією, наприклад, електронних годинниках реального часу (англ. Real-Time Clock, RTC);
- акселерометрах у сучасних автомобілях, літальних апаратах і смартфонах;
- гіроскопах для автоматичного балансування гелікоптерів, літаків та дронів;
- мікрофонах у портативних пристроях та елементах «розумного» будинку;
- барометрах, які є елементами мініатюрних метеостанцій та висотомірів;
- струменевих принтерах для нанесення чорнил на папір тощо.

Основні матеріали для виготовлення мікроелектромеханічних систем – це кремній, полімери, метали та кераміка.

Типові розміри мікроелементів лежать у діапазоні від 1 мкм до 100 мкм, тоді як розміри пристроїв MEMS мають розміри від 20 мкм до 1 мм. Хоча є пристрої й більшого розміру (площею понад 1000 кв. мм), оскільки вони складаються з однотипних компонентів, розташованих рядками.

Особливі переваги MEMS-давачів зумовлені технологіями виготовлення. Переважна частина таких давачів виготовляються як і більшість сучасних інтегральних схем, крім цього вони поєднуються з процесами мікрообробки (наприклад, витравлення частин кремнієвої пластини) для реалізації мініатюрних механічних елементів. Виготовлення із застосуванням мікрообробки забезпечує підвищену продуктивність та низьке енергоспоживання в порівнянні з традиційними технологіями в макромасштабі, тоді як схожість із технологією виготовлення мікросхем забезпечує низьку вартість виробництва. Згодом вигідні характеристики пристроїв мініатюрного розміру (низьке енергоспоживання, низька вартість і особливо висока продуктивність) призвели до появи нових напрямів у промисловості останнього десятиліття.

Сучасні MEMS-датчики складаються з чутливого елемента та інтегральної схеми. Остання призначена для подальшої цифрової обробки електричного сигналу датчика. Прикладами цифрової обробки сигналу від чутливого елемента є: температурна компенсація вихідного сигналу тиску; інтерпретація електричного сигналу в послідовний цифровий інтерфейс, наприклад, SPI, I2C і т.ін. [30,31]

Прикладом сучасної MEMS-системи є акустичний сенсор, схематичний вигляд та отримане за допомогою сканувального електронного мікроскопа зображення якого показано на рис. 1.3а і б відповідно.

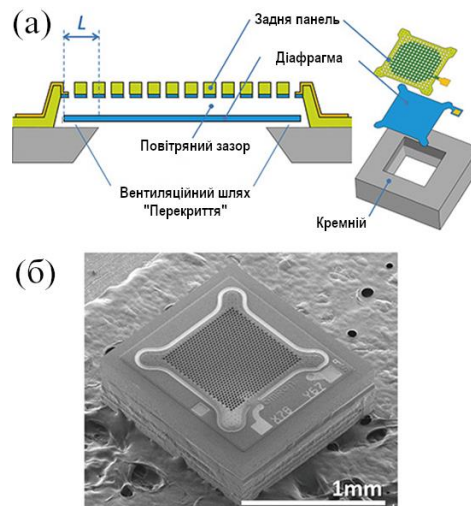


Рисунок 1.3 – Схематичне (а) та отримане за допомогою сканувального електронного мікроскопа (б) зображення мікросхеми MEMS-датчика [32]

1.5 Основні пристрої метеостанції для заміру метеорологічних величин

Типові метеостанції мають такі пристрої:

- термометр для вимірювання температури середовища чи поверхні;
- барометр для вимірювання атмосферного тиску;
- гігрометр для вимірювання вологості;
- анемометр для вимірювання швидкості вітру;
- флюгер для вимірювання напрямку вітру;
- дощомір для вимірювання рідких опадів за певний період.

Складніші станції мають давачі для вимірювання концентрації вуглекислого газу (CO_2), забруднювачів атмосфери (NO_x), концентрації твердих частинок (PM) або ультрафіолетового (УФ) індексу – показника сили ультрафіолетового випромінювання.

Вуглекислий газ вважається одним із показників якості повітря. Високі концентрації CO₂ в приміщенні можуть сприяти виникненню проблем зі здоров'ям людини, зниженню ефективності засвоєння інформації та знижувати працездатність загалом. Вимірювання рівня вуглекислого газу може допомогти визначити зони приміщення або будівлі, які потребують кращої вентиляції та поліпшення якості повітря для уникнення передачі важкого гострого респіраторного синдрому, спричиненого коронавірусом (SARS-CoV-2) [33].

Тверді частинки (PM) є дуже поширеним забруднювачем повітря в більшості країн і мають значний вплив на здоров'я населення. Частинки різного розміру по-різному взаємодіють з організмом людини: якщо великі частинки осідають у верхніх дихальних шляхах, то дрібні можуть потрапляти в альвеоли легень, а дуже дрібні – навіть у кров'яне русло. Відомо, що тверді частинки негативно впливають на дихальну та серцево-судинну системи й можуть спричинити, наприклад, погіршення роботи легень, аритмію. Це може призвести до астми, серцевого нападу або раку легенів. Найбільший ризик існує для вразливих груп населення: людей похилого віку, вагітних жінок та дітей [34].

Мета визначення УФ-індексу – допомога людям ефективно захистити себе від УФ-випромінювання, яке приносить користь здоров'ю в помірних кількостях, але у разі надмірного опромінювання спричиняє сонячні опіки, старіння шкіри, пошкодження очей та збільшує ризик розвитку раку шкіри та меланоми [35].

Завдяки додатковим давачам значно розширюється обсяг корисної інформації як для користувача, так для мешканців населеного пункту, якщо результати вимірювань поширюються через інтернет.

У підрозділі розглянуті деякі пристрої для вимірювання метеорологічних величин, які використовуються у створеній станції: термометр, барометр та гігрометр.

1.5.1 Обладнання для вимірювання температури

Потреба людини в стандартизованому вимірюванні температури виникла в середині XVI століття. Оскільки температура не може бути виміряна безпосередньо,

було розроблено багато методів вимірювання. Переважна частина ґрунтується на вимірюванні інших фізичних властивостей тіл, які змінюються від температури.

Одним із найпоширеніших приладів для вимірювання температури є скляний термометр, що складається зі скляної трубки, заповненої ртуттю, яка змінює об'єм залежно від температури середовища. Але на сьогодні ртутні термометри дедалі частіше замінюються порівняно дешевими та безпечними термометрами опору [36].

Залежно від методики вимірювань термометри поділяються на такі групи:

- контактний – вимірювальний пристрій перебуває в безпосередньому контакті з середовищем, температура якого нас цікавить. Напр., термопара в газі;
- напівконтактний – середовище проходить певну процедуру, яка надає можливість проводити дистанційне спостереження. Напр., термоіндикатори – спеціальні поверхневі покриття, колір яких змінюється залежно від температури;
- неконтактний – середовище спостерігається дистанційно. Наприклад, використовуючи інфрачервоний термометр.

У повсякденності зазвичай використовують контактні термометри для вимірювання температури повітря або деякої поверхні. Контактні прилади та методи вимірювання за принципом дії розглянуті далі.

Термометри, що базуються на тепловому розширенні рідин та газів. Температура визначається на основі визначення об'єму та/або тиску. Це дає змогу швидко отримати візуальне уявлення про температуру.

Термометри, що базуються на тепловому розширенні твердих тіл. У низці випадків використовується біметалева пластина, виготовлена з двох металів із різними коефіцієнтами лінійного розширення, що згинається в разі нагрівання або охолодження. Діапазон роботи біметалевих датчиків від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+550\text{ }^{\circ}\text{C}$. Основною перевагою датчиків є простота та надійність конструкції, можливість роботи без електричного струму та низька вартість. Недоліки: мають великий розкид характеристик та великий гістерезис перемикання, особливо за низьких температур.

Термометри термоелектричні. Датчиками температури є термопари, в основі роботи яких лежить ефект Зеєбека – явище виникнення електрорушійної сили на кінцях послідовно з'єднаних різнорідних провідників, контакти між якими

розташовуються за різних температур. Термопары мають широкий діапазон вимірювання (від $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+1800\text{ }^{\circ}\text{C}$), стійкі до несприятливих впливів зовнішнього середовища, але вимагають схем посилення сигналу для подальшого оброблення.

Термометри опору. Принцип дії ґрунтується на зміні опору провідника або напівпровідникового приладу зі зміною температури. Опір (напів-)провідника пов'язаний із його температурою, оскільки рух вільних електронів і коливання атомних ґрат безпосередньо залежать від температури. Використовувані типи датчиків температури, які ґрунтуються на зміні електричного опору:

- термістор – напівпровідниковий резистор. Основними перевагами термісторів є їхня низька вартість, висока чутливість, малі розміри та вага, що дає можливість створювати датчики з малим часом відгуку. З недоліків – мають обмежений діапазон вимірюваних температур (від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$), характеризуються значною нелінійністю, тому потрібно використовувати складні методи лінеаризації;

- металічний термометр опору – резистор, виготовлений із металевого дроту або металеві півки на діелектричній підкладці. Найточніший і найпоширеніший тип термометрів опору – платиновий термометр. Зазвичай має діапазон вимірювання від $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+850\text{ }^{\circ}\text{C}$. Платина має стабільну й добре вивчену залежність опору від температури та не окислюється в повітряному середовищі, що забезпечує високу точність і відтворюваність. Основні недоліки: такі резистори коштують дорожче і крихкі, тому часто поміщаються в захищені гільзи, які збільшують час відгуку датчика на різкі температурні зміни.

Термометри напівпровідникові. Виготовляються на основі кристалів напівпровідників із заданою вольт-амперною характеристикою і призначені для вимірювання температури у порівняно вузькому діапазоні від $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Цей тип датчиків працює на принципі зміни характеристик р-п переходу під впливом температури. Відрізняються дешевизною, високою точністю та лінійністю характеристик на всьому діапазоні виміру. Як правило, напівпровідник самостійно не використовується для вимірювання нагріву, а підключається через коло підсилювача та/або інтегрується в цифрові пристрої [37–39].

1.5.2 Обладнання для вимірювання тиску

Барометр – це інструмент, який використовується для вимірювання тиску повітря в певному середовищі. Барометр може застосовуватися як барометричний висотомір. Висотомір часто використовується в походах і призначений для вимірювання висоти над рівнем моря, зіставляючи поточний атмосферний тиск із висотою. Барометр вимірює точні зміни тиску, спричинені погодними умовами, перебуваючи на одному місці.

Атмосферний чи повітряний тиск – сила, що діє на поверхню під дією ваги повітря, притягнутого силою земного тяжіння. Середній атмосферний тиск на поверхні Землі коливається між 940 гПа та 1040 гПа. Середній атмосферний тиск на рівні моря становить 1013 гПа. Тиск повітря зменшується на висоті над рівнем моря і збільшується на висоті нижче за рівень моря.

Крім фактичного тиску, треба також визначати зміну тиску або баричну тенденцію. Барична тенденція – це характер і величина зміни атмосферного тиску за 3 години або інший період часу. Визначення тенденції тиску дає змогу прогнозувати короткострокові зміни погоди (див. пункт 2.2.6 нижче) [36,40].

Вважається, що рідинний барометр був винайдений учнями Галілео Галілея, італійцями Еванджеліста Торрічеллі та Вінченцо Вівіані у XVII столітті. Однак саме Блез Паскаль довів, що атмосферний тиск є наслідком вертикальної ваги повітря в атмосфері. Анероїдний барометр був винайдений у 1844 році французьким ученим Люсьєном Віді. Загалом, тиск та тенденція зміни тиску використовуються в прогнозуванні погоди з кінця XIX століття. У разі використання разом зі спостереженнями за вітром можна робити досить точні короткострокові прогнози [41].

Конструкція барометрів значно еволюціонувала упродовж століть і на сьогодні використовується два основні типи механічних барометрів: рідинні та анероїдні. Крім механічних барометрів, є електронні барометри, причому деякі мініатюрні екземпляри яких можуть бути встановлені у смартфонах і смартгодинниках.

Рідинні барометри. Зазвичай такі барометри являють собою скляну трубку, заповненою робочою рідиною та запаяною з одного кінця. Трубка встановлюється

вертикально, відкритим кінцем униз, у посудину з рідиною. У таких барометрів вага стовпчика рідини (води або ртуті) врівноважується тиском атмосфери. Високий атмосферний тиск змушує рідину підійматися вище в трубці, а низький – навпаки, опуститися нижче. Висота стовпчика рідини є пропорційна тиску, тому тиск вимірюється в міліметрах ртутного стовпа – «мм рт. ст.» або міліметрах водяного стовпа – «мм вод. ст.». Оскільки підвищення температури повітря поблизу приладу знижує щільність використовуваної речовини, шкала відліку висоти мають коригуватися для компенсації цього ефекту. Вважається, що широко використовувані ртутні барометри мають хорошу тривалу стабільність і точність, але нині вони починають однозначно програвати точним і зручнішим для зняття показань електронним барометрам. Також треба зазначити, що хоча ртутні барометри все ще використовуються, але більше не рекомендуються з огляду на Мінаматську конвенцію щодо ртуті – міжнародний договір, спрямований на захист здоров'я людини та довкілля від викидів ртуті та ртутних сполук.

Анероїдні барометри. Такі прилади не використовують рідину для вимірювання тиску. Цей інструмент складається з невеликої пружної гофрованої металеві коробки – вакуумної камери з розрідженим повітрям усередині. На практиці часто використовується кілька вакуумних камер, з'єднаних послідовно для підсумовування переміщень, які утримуються від стиснення сильною пружиною. Анероїдна коробка може виготовлятися з матеріалів (сталь або сплав берилію та міді), які мають такі еластичні властивості, що коробка сама може діяти як пружина. При зниженні атмосферного тиску коробка трохи розширюється, а при підвищенні – стискається. Ці деформації передаються через системи важелів та шарнірів на стрілку, що рухається по шкалі, на якій стоять позначки тиску. Оскільки зі зміною температури змінюються і пружні властивості вакуумної камери, до шкали барометра-анероїда може бути прикріплений термометричний компенсатор, який служить для внесення поправки на температуру. Завдяки портативності цей тип барометра широко поширений в експедиціях і на різних судах. Він також використовується в метеорології, в основному в барографах та радіозондах [36,40].

Цифрові барометри. У барометрах сучасної конструкції використовуються спеціальні перетворювачі, які переводять реакцію давача на зміну тиску в електричні сигнали. Згодом отримані показання обробляються відповідними інтегральними схемами або системами збирання даних із необхідними алгоритмами згладжування. Нині набули широкого поширення й часто використовуються як елементи мініатюрних метеостанцій та висотомірів. У переважній частині таких інструментів використовується пружний елемент, який деформується під дією вимірюваного тиску (як в анероїдах), наприклад, трубчаста пружина, мембрана або сильфон. Розрізняють три універсальні типи перетворювачів тиску [31,36]:

– п'єзорезистивні тензодатчики – найпоширеніший тип, який оснований на п'єзорезистивному ефекті: електричний опір провідників та напівпровідників змінюється залежно від прикладених до них механічних зусиль. Зміна тиску викликає прогин діафрагми, а на тензодавачі виникає відповідна зміна опору. Цей опір перетворюється вимірювальною схемою в електричний вихідний сигнал;

– конденсаторні (зі змінною ємністю) – використовують зміну електричної ємності між діафрагмою й нерухомою пластиною. При зміні відстані під дією прикладеного тиску між вказаними елементами змінюється ємність, яка вимірюється електричною схемою. Зазвичай використовують металеві, керамічні та кремнієві діафрагми й пластини. Цей тип датчиків часто інтегруються в КМОН-технології;

– п'єзоелектричні – ґрунтуються на п'єзоєфекті – виникненні електричних зарядів (т.зв. п'єзоелектрики) на гранях деяких кристалів під час їхньої деформації. У давачах цього типу вимірюється п'єзоелектрика від деформованих під дією тиску кристалів. Дуже чутливі до ударів і вібрації, однак широко використовуються для вимірювання динамічних змін тиску.

1.5.3 Обладнання для вимірювання вологості

Гігрометр – це пристрій, що використовується для вимірювання вологості – кількості водяної пари в повітрі, ґрунті або в закритих приміщеннях. Такі прилади

зазвичай базуються на вимірюванні інших фізичних величин, таких як температура, тиск, маса, механічні або електричні зміни в речовині під дією поглиненої вологи.

У загальному випадку вологість може бути виміряна такими показниками, як абсолютна вологість, точка роси та відносна вологість. Два останні є найбільш розповсюджені. Відносна вологість (англ. Relative Humidity, RH) визначається як відношення кількості водяної пари, що міститься, наприклад, у газі за певних умов, до максимально можливої кількості водяної пари в середовищі за тих самих умов. Точка роси – температура, за якою повітря досягає стану насиченості водяною парою при незмінному тиску й починає конденсуватися в росу або іній, залежно від температури. Ця величина визначається відносною вологістю повітря. Що вища відносна вологість, то ближча точка роси до фактичної температури повітря. Чим нижча відносна вологість, тим нижча точка роси щодо фактичної температури. Якщо відносна вологість становить 100 %, то точка роси збігається з фактичною температурою. Максимальна кількість водяної пари, яка може утримуватися в деякому об'ємі повітря, сильно залежить від температури: холодне повітря може утримувати меншу масу води, а гаряче повітря – більшу. Тому температура може змінювати вологість [28,36].

Визначення вологості та точки роси використовуються для [42,43]:

- моніторингу приміщень або камер зберігання. Допомагає забезпечити належні умови зберігання чутливих до температури виробів, наприклад, книг, творів мистецтва, харчових продуктів, меблів, фармацевтичних препаратів і под.;
- забезпечення комфорту мешканців. Деякі люди відчують труднощі з диханням у досить вологому середовищі, а дуже низька вологість може спричинити дискомфорт, проблеми з диханням та загострювати алергію в людей;
- мінімізації впливу на виробничі процеси. Наприклад, у лакофарбовій промисловості якість нанесення фарби та ін. покриттів може залежати від вологості;
- охорони здоров'я. 21 % з 21,8 мільйона щорічних випадків захворювань на астму пов'язані з вогкістю та пліснявою в житлових приміщеннях. Встановлено, що підвищена вологість та поширеність плісняви негативно впливають на здоров'я,

продуктивність праці, якість роботи, успішність навчання та рівень життя дорослих і дітей тощо.

Найпростіший гігрометр був побудований Леонардо да Вінчі в XV сторіччі. Більш практичну версію приладу винайшов Франческо Фоллі в 1664 році. Сучаснішу версію створив швейцарський ерудит Йоганн Генріх Ламберт у 1755 році. Пізніше, у 1783 році, швейцарський фізик і геолог Орас Бенедикт де Соссюр винайшов перший гігрометр, який використовував людське волосся для вимірювання вологості. Цей прилад використовує людське або тваринне волосся, яке перебуває в натягнутому стані. Волосся гігроскопічне (тобто має властивість утримувати вологу) – його довжина змінюється залежно від вологості, причому ця зміна може підсилюватися механізмом і відбиватися на шкалі використовуваного приладу. Волоссяний гігрометр усе ще використовується в метеорології, проте поступово виводиться з використання [36,44].

Найвідомішим типом гігрометра є психрометр, який у найпростішому випадку складається із сухого і змоченого термометрів. За різницею показів цих термометрів і використання психрометричних таблиць чи діаграм визначають відносну вологість повітря. Психрометр є надійним приладом для вимірювання температури та вологості за додатної температури повітря [36,44].

Сучасні електронні гігрометри використовують точку роси, або зміну електричної ємності чи опору для вимірювання вологості. Далі наведені типи сучасних електронних гігрометрів [36].

Ємнісний. У таких гігрометрах вимірюється вплив вологості на діелектричну проникність полімерного або металооксидного матеріалу. Ємнісні давачі підходять для багатьох застосувань, стійкі до конденсації та тимчасових впливів високих температур, але схильні до забруднення, дрейфу показань і старіння. Ємнісний полімерний гігрометр є найбільш зручним та провідним метеорологічним інструментом, оскільки його легше виробити, обслуговувати та калібрувати.

Резистивні. Ці прилади вимірюють зміну електричного опору матеріалу під впливом вологості. Типовими робочими матеріалами є солі й електропровідні полімери. Резистивні датчики мають меншу чутливість, ніж ємнісні. Властивості

робочого матеріалу також мають тенденцію залежати від температури, що на практиці означає необхідність поєднання пристрою з датчиком температури. Гігрометри опору не дуже часто використовуються в метеорології.

Гігрометр точки роси з охолодженням дзеркалом. Використовується для вимірювання температури, при якій вологе повітря під час охолодження досягає насичення й на спеціальній відполірованій металевій поверхні спостерігається утворення роси (або інею). Ця поверхня охолоджується або нагрівається електричним приладом, що використовує ефект Пельтьє – явище виділення або поглинання тепла на контактах двох провідників за умов проходження через них електричного струму. Зазвичай продукт конденсації розпізнається за допомогою оптичного детектора. Такий гігрометр застосовується під час метеорологічних спостережень і також може використовуватися як робочий та/або порівняльний еталон.

Висновки до першого розділу

У даному розділі розглянуто еволюцію, визначення та характеристики, цілі, внесок та компоненти «розумного» будинку – одного з найбільш поширених і зростаючих галузей застосування Інтернету речей.

Нині «розумний» дім – система домашніх пристроїв, яка впроваджує інтелектуальні технології в житлові приміщення для підвищення рівня комфорту користувачів і полегшення побуту, раціонального використання ресурсів, забезпечення мешканців інтелектуальним середовищем, віддаленим контролем і керуванням будинком, охорони здоров'я та домашньої безпеки.

Для забезпечення належної роботи обладнання смартбудинку та досягнення економії енергоресурсів необхідна точна та актуальна інформація про погоду та житлові приміщення, яку можливо відстежувати та вимірювати завдяки метеорологічній станції.

Метеорологічна станція (метеостанція) – об'єкт, у якому цілодобово проводяться регулярні метеорологічні спостереження. Основними пристроями метеостанції для проведення вимірювань метеорологічних величин – термометр, барометр, гігрометр, анемометр, флюгер, дощомір. Додатково використовуються такі датчики для вимірювання концентрації вуглекислого газу, забруднювачів атмосфери, концентрації твердих частинок або ультрафіолетового індексу. Заміряні параметри яких використовують для запобігання виникненню або розвитку захворювань.

Сучасні метеостанції використовують MEMS-давачі, які складаються з чутливого елемента та інтегральної схеми.

2 АНАЛІЗ І ВИБІР АПАРАТНИХ І ПРОГРАМНИХ КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Щоб досягти найкращих результатів у розробленні проекту метеостанції, потрібно заздалегідь визначитися і продумати вимоги до кінцевого продукту. Створений пристрій має поєднувати в собі функціонал і особливості персональної та автоматичної метеостанцій, використовуватися особою чи підприємством, містити цифрову консоль і розповсюджувати результати вимірювань мережею інтернет. Виріб має бути портативним, мати автономне живлення та можливість використовувати бездротові технології. У даному розділі перелічені основні апаратні та програмні елементи, які використані для побудови кінцевого продукту.

2.1 Вибір апаратних компонентів для створення метеостанції

У підрозділі розглянуті складові елементи апаратної частини створеної метеорологічної станції. Для вимірювання метеорологічних параметрів необхідно застосувати електронні датчики – пристрої для вимірювання певних фізичних величин із подальшим їхнім перетворенням у цифровий сигнал. Для реалізації цифрової панелі та зберігання отриманих даних буде використаний зовнішній накопичувач типу microSD. Також необхідно забезпечити можливість передачі даних бездротовими технологіями. Для обробки інформації з датчиків, а також управління системою, що відповідає за бездротову передачу даних і виконання додаткових користувальницьких завдань, необхідна електронна обчислювальна система – мікроконтролер.

2.1.1 Підібраний мікроконтролер. Огляд технічних характеристик

Список виробників напівпровідникових пристроїв і мікроконтролерів, які вони продають, досить довгий. Тому визначимо найважливіші вимоги для спрощення пошуку необхідного мікроконтролера: розрядність 32 біти, підтримання

бездротового зв'язку та мережевих протоколів, підтримання платформи Arduino та низька вартість. У підсумку мій вибір зупинився на мікроконтролері ESP32 від фірми Espressif Systems. На рис. 2.1 зображено зовнішній вигляд використаної налагоджувальної плати з цим мікроконтролером. На друкованій платі встановлений лінійний стабілізатор напруги AMS1117-3.3 та модуль перетворювача інтерфейсів USB-UART – CP2102. На основній платі розташовується компактний модуль друкованої плати з мікросхемами та іншими компонентами і розглядається як нерозривний вузол. Саме на цій частині міститься ESP32, кварцовий кристал на 40 МГц, чіп флешпам'яті, антена та екранування від електромагнітних випромінювань.



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд налагоджувальної плати з модулем ESP32

Цей пристрій часто використовується для побудови IoT-рішень завдяки таким перевагам: доступна ціна; апаратне підтримання Bluetooth, Wi-Fi та Ethernet; підтримання програмного фреймворку Arduino; інтегроване у фреймворк підтримання багатозадачної операційної системи реального часу FreeRTOS; можливість включення додаткової флешпам'яті та pSRAM; можливість програмування на різних мовах (окрім C/C++ використовуються варіації мов Python, Lua, JavaScript).

Основні технічні характеристики від виробника наведені далі [45].

Напруга: 5...12 В (живлення плати), 3,3 В (живлення/логічні рівні).

Процесори: двоядерний 32-розрядний мікропроцесор Xtensa LX6, що працює на частотах 80...240 МГц; співпроцесор із наднизьким споживанням енергії.

Пам'ять: 320 кБ оперативної пам'яті з можливістю підключення до 8 МБ pSRAM; 448 кБ програмної пам'яті з можливістю підключення флешпам'яті.

Бездротове підключення:

- Wi-Fi (802.11 b/g/n);
- Bluetooth (v4.2 BR/EDR і Bluetooth Low Energy).

Периферійні інтерфейси:

- 12-розрядний АЦП (до 18 каналів);
- 2 ЦАП (8-бітних);
- 10 сенсорних датчиків;
- 4 інтерфейси SPI;
- 2 інтерфейси I2S;
- 2 інтерфейси I2C;
- 3 інтерфейси UART;
- контролер SD;
- інтерфейс канального рівня Ethernet;
- шина CAN 2.0;
- контролер для сигналів інфрачервоного діапазону (до 8 каналів);
- лічильник імпульсів;
- вихід ШІМ для двигунів та світлодіодів;
- датчик ефекту Холла.

На рис. 2.2 наведено функціональну схему мікроконтролера ESP32.

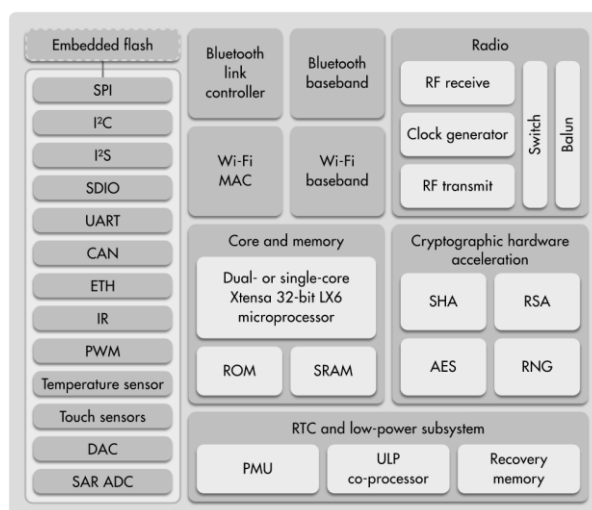


Рисунок 2.2 – Функціональна схема ESP32 [46]

2.1.2 Обраний модуль годинника реального часу

Для збереження даних у хронологічному порядку, для звільнення основного мікроконтролера від задач відліку точного часу та для утримання поточного часу навіть після відключення живлення використовується модуль ZS-042 з RTC DS3231 від компанії Maxim Integrated та постійний запам'ятовувач, що програмується та очищується за допомогою електрики (англ. Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory, EEPROM) AT24C32 від Microchip Technology. Зовнішній вигляд модуля зображено на рис. 2.3.

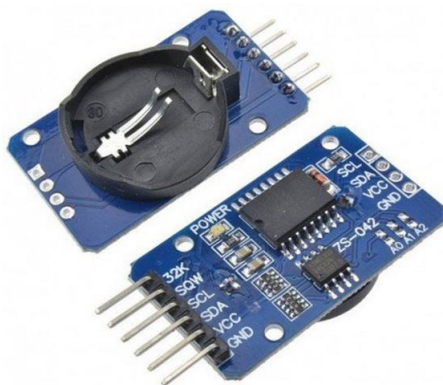


Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд модуля ZS-042 з мікросхемою DS3231

DS3231 – це недорогий та точний годинник реального часу з інтегрованим кварцовим генератором, компенсованим по температурі, і кристалом. Мікросхема здійснює відлік секунд, хвилин, годин, днів, тижнів, місяців та років із компенсацією високосного року до 2100 року. Точність годинника $\pm 3,5$ ppm (або $\pm 1,8$ хвилини щороку) у діапазоні температур від -40 °C до $+85$ °C, для порівняння: вбудований годинник реального часу високої роздільної здатності використаного мікроконтролера має точність ± 10 ppm. Підтримує 12- та 24-годинний формат часу, має два будильники та вихідні сигнали: переривання будильників або програмовані прямокутні сигнали; імпульси частотою 32768 Гц [47]. AT24C32 – енергонезалежна пам'ять типу EEPROM місткістю 32 кбіт.

ZS-042 працює в діапазоні напруги живлення 2,3...5,5 В. Зв'язок із модулем здійснюється за допомогою інтерфейсу I2C. На друкованій платі є місце для літійового акумулятора LIR2032, який виступає резервним джерелом живлення. Для використання батарейки CR2032 замість акумулятора необхідно видалити резистор R5 номіналом 200 Ом для розриву кола підзарядки (див. рис. 2.4).

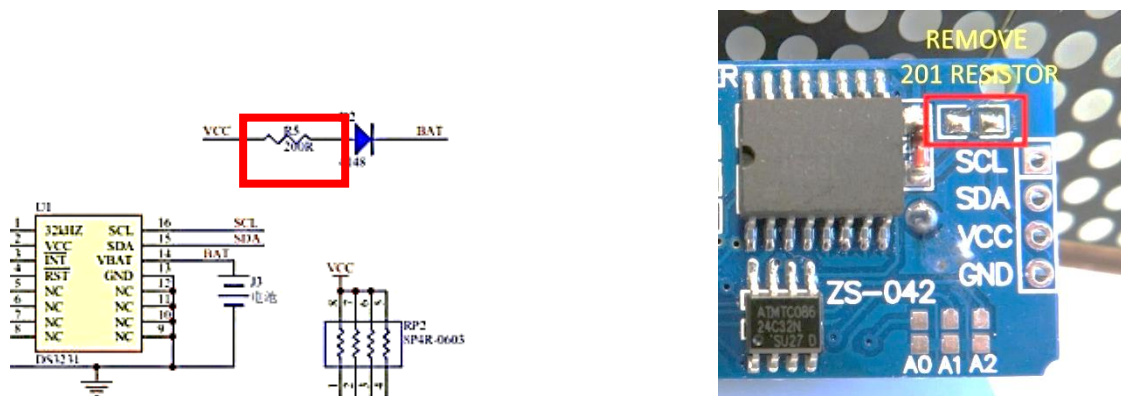


Рисунок 2.4 – Модифікація модуля ZS-042 для роботи від батарейки CR2032

2.1.3 Використаний датчик температури та вологості

Для вимірювання температури та вологості використовується модуль з датчиком АНТ10 від компанії ASAIR. На рис. 2.5 зображено зовнішній вигляд цього модуля. На друкованій платі встановлений стабілізатор напруги з максимальною вхідною напругою менше 7 В та схема перетворювача логічних рівнів.



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд модуля з датчиком АНТ10

АНТ10 являє собою високоточний, повністю відкалібрований комплекс мікросхем датчиків температури та вологості. Він може виводити цифровий сигнал у

форматі послідовної шини даних I2C. Давач може працювати в діапазоні напруги живлення від 1,8 В до 3,3 В, проте рекомендована виробником напруга – 3,3 вольт. Прилад оснащений спеціально розробленою інтегральною схемою, напівпровідниковим чутливим ємнісним елементом вологості на основі MEMS і чутливим до температури елементом на кристалі [48,49]. Характеристики наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики давача АНТ10

Параметр	Значення
Відносна вологість	
Похибка вимірювання, %	див. рис. 2.6а
Крок вимірювання, %	0,024
Діапазон вимірювання, %	0...100
Час реакції, с	8
Температура	
Похибка вимірювання, °С	див. рис. 2.6б
Крок вимірювання, °С	0,01
Діапазон вимірювання, °С	-40...+85
Час реакції, с	5...30
Загальне	
Інтерфейс обміну даними	I2C
Діапазон напруги живлення, В	1,8...3,3

У табл. 2.2 показані технічні характеристики метеостанції La Crosse WS6867B-BLA. Ціну та основні параметри метеостанції вказано у табл. 1 вище.

Таблиця 2.2 – Характеристики метеостанції La Crosse WS6867B-BLA

Параметр	Значення
Відносна вологість	
Похибка вимірювання, %	дані відсутні
Діапазон вимірювання, %	10...99
Час оновлення, с	58
Температура	
Похибка вимірювання, °С	дані відсутні
Діапазон вимірювання, °С	-40...+60
Час оновлення, с	58

На підставі обсягу даних тестування широкого набору датчиків температури та вологості можна вважати, що модуль з датчиком АНТ10 є оптимальним

рішенням за ціною та якістю [49,50]. У перспективі покращення точності та частоти вимірювань цей датчик буде замінено на модель, що має кращі показники.

Залежність похибки вимірювання відносної вологості та температуру від вимірюваної величини вказано на рис. 2.6а та б відповідно.

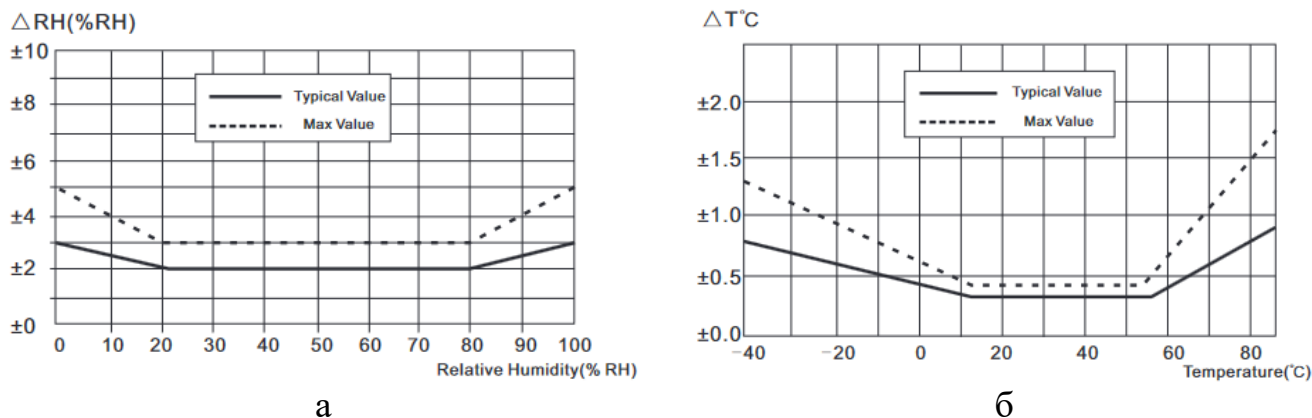


Рисунок 2.6 – Похибки вимірювання відносної вологості (а) та температури (б) залежно від вимірюваної величини датчика АНТ10 [48]

При тривалому перебуванні давача в умовах, що виходять за межі норми, особливо при вологості понад 80 %, може спостерігатися тимчасовий дрейф показань. Датчик повільно повернеться до паспортної точності за нормальних умов експлуатації. Оскільки датчик схильний до розігріву при виконанні вимірювань, частота опитування має бути не менше 8 секунд (див. табл. 2.1 вище).

Згідно з роботою [51] температура точки роси обчислюється за формулою:

$$T_d(T, RH) = T_n \frac{\ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{mT}{T_n + T}}{m - \left(\ln\left(\frac{RH}{100}\right) + \frac{mT}{T_n + T}\right)}, \quad (2.1)$$

де T_d – температура точки роси, °C;

T – фактична температура, °C;

RH – фактична відносна вологість повітря, %;

$m = 17,62$ – підібрана константа для формули Магнуса-Тетенса [51];

$T_n = 243,21$ – підібрана константа для формули Магнуса-Тетенса [51], °C.

Використані константи передбачають максимальну похибку у $\pm 0,35$ °C для діапазону від -45 °C до 60 °C. Формула буде використовуватися у розрахунках на клієнтській частині вебзастосування для зменшення навантаження серверної частини.

2.1.4 Обраний датчик атмосферного тиску та температури

Важливим елементом для короткострокового прогнозу погоди є барометр, в якості якого використовується модуль вимірювання атмосферного тиску з датчиком BMP280 від компанії Bosch Sensortec. Зовнішній вигляд зображено на рис. 2.7.

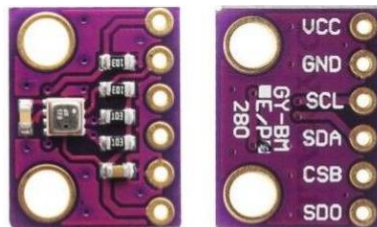


Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд модуля з датчиком BMP280

BMP280 – це низьковартісний, енергоефективний і високоточний сенсорний комплекс, який вимірює абсолютний атмосферний тиск і температуру повітря. Передача даних здійснюється за допомогою цифрових інтерфейсів I2C або SPI. Внутрішня частота передискретизації вимірювання тиску або температури може бути обрана між 1-, 2-, 4-, 8- або 16-кратною передискретизацією. У поєднанні з деякими налаштуваннями згладжувального фільтра, датчик може бути запрограмований досить гнучко, щоб адаптуватися і до вимог експлуатації, і до вимог енергоспоживання. Датчик має такі режими живлення [52]:

- сплячий. Вимірювання не проводяться, енергоспоживання мінімальне;
- нормальний. У цьому режимі датчик циклічно переходить з періоду вимірювання до періоду очікування. Цей режим рекомендується під час використання вбудованого згладжувального фільтра;

– примусовий. Датчик виконує одне вимірювання за запитом, після чого повертається в сплячий режим. Цей режим рекомендується для застосувань, які вимагають низької частоти дискретизації або синхронізації від керівного вузла.

Технічні характеристики BMP280 наведено у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики датчика BMP280

Параметр	Значення
Абсолютний тиск	
Похибка вимірювання, гПа	~±1
Крок вимірювання, гПа	0,0016
Діапазон вимірювання, гПа	300...1100
Поправка на температурний коефіцієнт, Па/К	±1,5
Температура	
Похибка вимірювання, °С	±1
Крок вимірювання, °С	0,01
Діапазон вимірювання, °С	-40...+85
Загальне	
Інтерфейс обміну даними	I2C, SPI
Середній час вимірювання, мс	5,5
Діапазон напруги живлення, В	1,71...3,6
Середнє споживання струму (при дискретизації 1 Гц), мкА	2,74

На рис. 2.8 наведено рекомендовані параметри та вихідні характеристики датчика від виробника залежно від цілей застосування, починаючи від навігації в приміщенні та закінчуючи спостереженням за погодою.

Use case	Mode	Over-sampling setting	osrs_p	osrs_t	IIR filter coeff. (see 3.3.3)	I _{DD} [µA] (see 3.7)	ODR [Hz] (see 3.8.2)	RMS Noise [cm] (see 3.5)
handheld device low-power (e.g. Android)	Normal	Ultra high resolution	×16	×2	4	247	10.0	4.0
handheld device dynamic (e.g. Android)	Normal	Standard resolution	×4	×1	16	577	83.3	2.4
Weather monitoring (lowest power)	Forced	Ultra low power	×1	×1	Off	0.14	1/60	26.4
Elevator / floor change detection	Normal	Standard resolution	×4	×1	4	50.9	7.3	6.4
Drop detection	Normal	Low power	×2	×1	Off	509	125	20.8
Indoor navigation	Normal	Ultra high resolution	×16	×2	16	650	26.3	1.6

Рисунок 2.8 – Рекомендовані параметри та вихідні характеристики датчика BMP280 від виробника залежно від цілей використання [52]

2.1.5 Вибраний модуль для підключення карт пам'яті microSD

Карта пам'яті Secure Digital використовується для зберігання інформації в багатьох портативних електронних пристроях: смартфонах, фотоапаратах і т.ін. У нашому випадку SD-карта буде використовуватися для реєстрації показань та зберігання файлів вебсервера: CSV, HTML, JS і CSS – котрий буде слугувати консоллю. На рис. 2.9 показано зовнішній вигляд модуля для підключення карт SD.

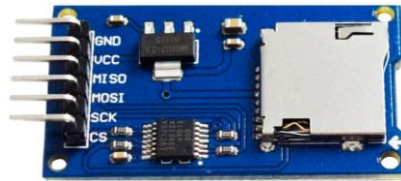


Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд модуля для підключення карт microSD

Поряд з тримачем карти SD, на друкованій платі знаходяться: стабілізатор напруги 3,3 В та мікросхема узгодження логічних рівнів. Модуль розрахований на взаємодію з картою за допомогою шини SPI. Більшість сучасних мікроконтролерів мають апаратну реалізацію цієї шини, тому можуть підключатися до SD-карти, що працює в режимі SPI і забезпечує енергонезалежне зберігання гігабайтів даних.

Специфікація SD визначає три розміри: Standard; miniSD; microSD – останній є оптимальним типом носія інформації для сучасних малих і портативних електронних пристроїв. Лінійка SD представлена п'ятьма сімействами карток:

- стандартної місткості (англ. Secure Digital Standard Capacity, SDSC);
- великої місткості (англ. Secure Digital High Capacity, SDHC);
- розширеної місткості (англ. Secure Digital eXtended Capacity, SDXC);
- надвеликої місткості (англ. Secure Digital Ultra Capacity, SDUC);
- Secure Digital Input/Output (SDIO), поєднує функції введення/виведення зі зберіганням даних. Такі пристрої можуть використовувати гніздо SD для підтримання різних приймачів, мережевих інтерфейсів, зчитувачів, цифрових камер, але більшого поширення набуло підключення пристроїв вводу-виводу до USB.

2.1.6 Застосований мережевий модуль з Ethernet-контролером

Коли справа доходить до Інтернету речей, бездротове з'єднання (Wi-Fi) отримує найбільшу увагу за гнучкість і можливість користувачам вільно пересуватися у просторі. Але не варто нехтувати дротовим підключенням, яке забезпечує меншу затримку та більш надійне й захищене з'єднання [53].

Для роботи з фізичним рівнем Ethernet було обрано мікросхему W5500 від компанії WIZnet. Ця мікросхема являє собою Ethernet-контролер фізичного та канального рівнів з апаратно реалізованим стеком TCP/IP, який забезпечує легке підключення мікроконтролерів до мережі за допомогою шини SPI. Зовнішній вигляд модуля Ethernet з даним чіпом зображено на рис. 2.10.

Використовуючи W5500 можливо реалізувати обмін даними по Ethernet шляхом написання простої програми для роботи з сокетом – програмним інтерфейсом для відправлення та отримання даних мережею. Одночасно можна використовувати до 8 незалежних апаратних сокетів. Для зниження енергоспоживання в W5500 передбачена функція Wake-on-LAN і режим енергоощадження. Варто зазначити, що чіп не підтримує функцію Auto MDI-X.



Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд модуля Ethernet з мікросхемою W5500

Далі наведені основні технічні характеристики [54].

Напруга: 3,3/5 В (живлення та логічні рівні).

Пам'ять: 2 буфери передачі та приймання даних по 16 кБ.

Дротове підключення: 10Base-T/100Base-TX Ethernet з автоузгодженням швидкості (10 або 100 Мбіт/с) та режиму (напів- чи повнодуплексний).

Фактична мережева ефективність: до 15 Мбіт/с.

Апаратне підтримання мережевих протоколів: TCP; UDP; ICMP; IPv4 (не підтримує IP-фрагментацію); ARP; IGMP; PPPoE.

Функціональну схему W5500 наведено на рис. 2.11.

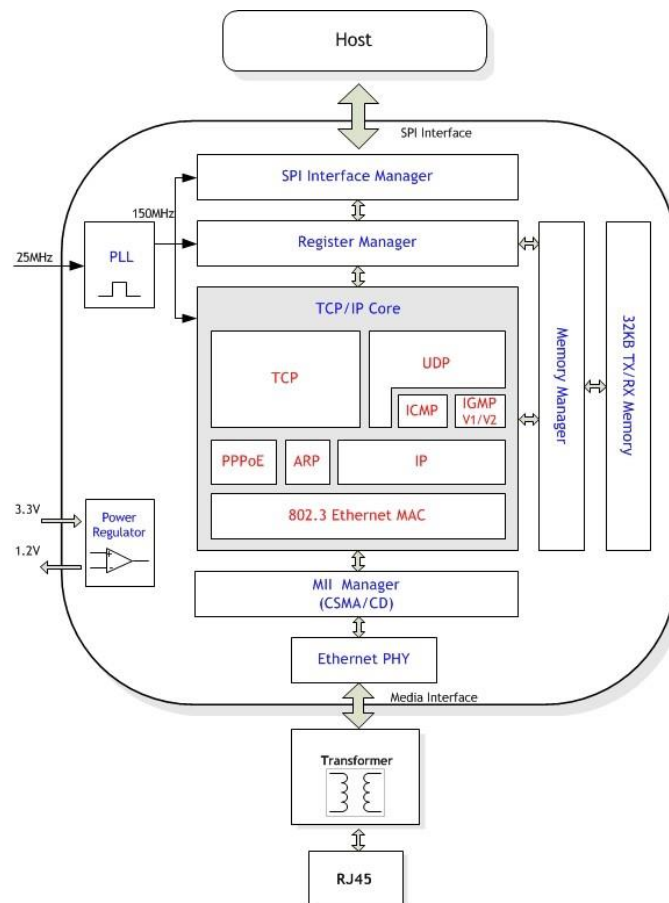


Рисунок 2.11 – Функціональна схема W5500 [54]

2.2 Обрання програмних складових для побудови комплексного рішення

У даному підрозділі розглянуті застосовані фреймворки (готові до використання комплекси програмних рішень, що задають правила створення структури проєкту) та бібліотеки (збірка готових об'єктів чи підпрограм, які можна викликати з основної програми) програмної частини метеорологічної станції.

Даний проєкт базуватиметься на фреймворку Arduino-ESP32, який створює зручне, попередньо налаштоване оточення для програміста, вирішуючи за нього безліч поширених, несуттєвих та рутинних завдань. Використання цього фреймворку не тільки спрощує роботу, але й інтегрує парадигми розроблення та проектування екосистеми Arduino. Цю екосистему вигідно вирізняє багатий набір бібліотек для: керування різноманітними рідкокристалічними дисплеями, кроковими двигунами; зчитування показників датчиків і т.п. Крім цього, Arduino-ESP32 – це програмна обгортка навколо Espressif Internet Development Framework (ESP-IDF) – офіційного фреймворку для розроблення програмного забезпечення для систем на кристалі компанії Espressif Systems.

Для зняття показань з обраних датчиків будуть використані відповідні бібліотеки: Adafruit ANTX0 та Adafruit BMP280. Комунікація з датчиками буде виконуватися за допомогою шини I2C.

Стандартною для карт SD є файлові системи архітектури FAT, що дозволяє використовувати ці карти на більшості пристроїв із сумісним зчитувачем SD. Тому під час створення програмного забезпечення метеорологічної станції була застосована бібліотека SdFat, яка підтримує файлові системи FAT16, FAT32 й exFAT. Ця бібліотека надає зручні методи та драйвери для легкої комунікації з картами SD. Підтримує кодовані в UTF-8 довгі імена файлів, одночасні операції з декількома картками, керування шляхами та каталогами як у Microsoft Windows, синхронізовані з RTC часові мітки створення/редагування файлів і багато іншого. Має технічну документацію та приклади проєктів, які відображають наявний функціонал.

2.2.1 Використання операційної системи реального часу

Як було зазначено раніше (див. пункт 2.1.1 вище), використаний ESP32 побудований із потужного 32-розрядного мікропроцесора, який складається з двох ядер: протокольного (CPU0) та прикладного (CPU1).

Протокольне ядро (CPU0) використовується для запуску стеків різних комунікаційних протоколів (Wi-Fi, Bluetooth, Ethernet і под.). Прикладне ядро (CPU1)

призначене для виконання прикладних програм користувача, відокремлених від мережевого рівня. Офіційний фреймворк ESP-IDF застосовує операційну систему реального часу FreeRTOS для раціонального використання можливостей мікроконтролера та управління численними вбудованими периферійними компонентами.

Операційна система реального часу (англ. Real-Time Operating System, RTOS) надає змогу розробникам програм створювати додатки для мікроконтролерів, які виконують певні завдання у критично визначених часових обмеженнях. Ідеальна RTOS має передбачувану поведінку при всіх сценаріях навантаження, включно з одночасними перериваннями і виконанням потоків. У цьому сенсі персональні комп'ютери з операційними системами загального призначення (англ. General Purpose Operating Systems, GPOS; наприклад, Linux, Microsoft Windows, або Mac OS) не є передбачуваними. Їхня робота може допускати випадкові затримки, що може призвести до уповільнення реакції програм на дії користувача на непередбачуваний період часу. Програми, написані для мікроконтролерів, мають укладатися у жорсткі часові рамки, наприклад, під час запуску свічки запалювання, керування медичним пристроєм для збереження життя людини, а також запуск двигунів на супутнику в точний час для утримання його на орбіті. Однак, GPOS, на противагу RTOS, має більш досконалий функціонал: драйвери пристроїв, розширене управління пам'яттю та обліковими записами користувачів і т.д. – тому використовують більше ресурсів, що недоречно в апаратно обмежених мікроконтролерах.

Більшість процесорів можуть виконувати тільки одну задачу в один момент часу. Однак за допомогою швидкого перемикання між задачами досягається ефект паралельного виконання всіх задач. На рис. 2.12а далі зображено істинно паралельне виконання трьох задач. Натомість у реальному процесорі під час роботи RTOS виконання задач має періодичний характер: кожна задача виконується певний час, після чого процесор перемикається на наступну задачу, що показано на рис. 2.12б далі.

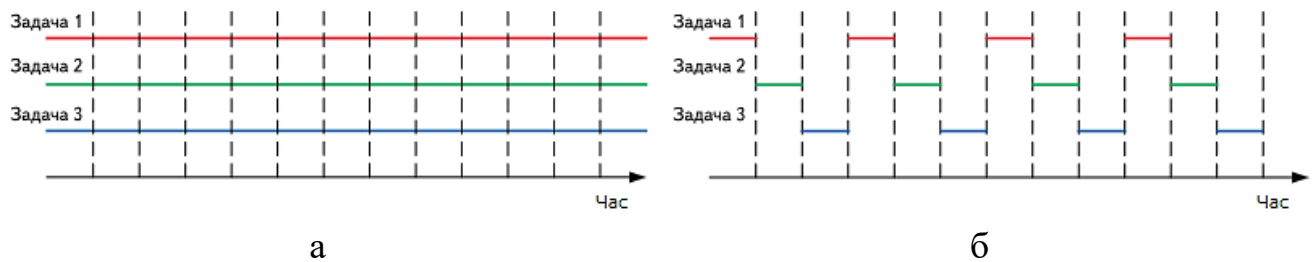


Рисунок 2.12 – Істинно паралельне виконання задач (а) та фактичний розподіл процесорного часу між кількома задачами (б) [55]

FreeRTOS – це популярна багатозадачна операційна система реального часу для вбудованих систем. Ядро FreeRTOS було розроблено Річардом Баррі приблизно 2003 року, а пізніше розвивалося і підтримувалося його компанією – Real Time Engineers Ltd. У 2017 році фірма передала управління проектом FreeRTOS компанії Amazon Web Services.

FreeRTOS частіше розглядають як бібліотеку керування задачами, а не як операційну систему, хоча вона надає інтерфейс командного рядка та абстракцію системи вводу/виводу. Основні характеристики FreeRTOS [55]:

- планувальник FreeRTOS, підтримує три типи багатозадачності: витісняючу; кооперативну; гібридну. Витісняюча багатозадачність дозволяє операційній системі переривати задачі, кооперативна багатозадачність передбачає, що задачі самостійно передають керування процесором, а гібридна – поєднує ці два підходи;
- розмір ядра FreeRTOS становить усього 5...10 кБ, залежно від типу платформи та налаштувань ядра;
- підтримує задачі та співпрограми. Останні спеціально створені для мікроконтролерів з малим обсягом оперативної пам'яті;
- можливість відстежувати факт переповнення стеку;
- немає програмних обмежень на кількість одночасно виконуваних задач або кількість пріоритетів задач;
- розвинені засоби синхронізації: черги; семафори; м'ютекси та под.;
- немає обмежень у використанні пріоритетів: декілька задач можуть мати однаковий пріоритет;

- поставляється з налагодженими прикладами проєктів для кожної платформи та для кожного середовища розроблення;
- вичерпна технічна документація, яку можна отримати на офіційному сайті.

2.2.2 Бібліотека для забезпечення віддаленого оновлення прошивки

Цифрове обладнання, котрим ми користуємося щодня, приречене стати неактуальним, вразливим або застарілим через стрімкий розвиток новітніх технологій. Важливим чинником конкурентоспроможності для компаній, які надають цифрові пристрої чи послуги, є час виходу на ринок. Чим швидше конкурент розробляє та інтегрує свій продукт, тим більша ймовірність того, що він домінуватиме на ринку. Така конкуренція здатна викликати критичні загрози безпеки через недостатнє тестування та стислі терміни розроблення. Багато пристроїв, які підключені до інтернету, мають певні вразливості, які можуть бути використані зловмисниками [56,57].

Аби встигати за розвитком технологічного середовища, додавати необхідний функціонал та вирішувати більшість вразливостей, потрібно або переходити на новіші пристрої, які оснащені найновішими технологіями, або оновлювати прошивку пристрою. Останнє є значно економічно вигіднішим і простішим рішенням у порівнянні з заміною обладнання.

Вбудована програма (або прошивка), у порівнянні з простим програмним забезпеченням, завжди пов'язана з низьким рівнем операцій у пристрої, без якого пристрій буде абсолютно нефункціональним. Більшість пристроїв, якими ми користуємося, містять вбудоване програмне забезпечення: побутова та персональна техніка, комп'ютери та комп'ютерні периферійні пристрої, автомобілі, мережеве обладнання і багато іншого. Прикладом вбудованої програми є BIOS (від англ. Basic Input/Output System), що зберігається у мікросхемі постійної пам'яті або флеш-пам'яті. Виконує початкову ініціалізацію машини та тестування апаратних компонентів після подачі живлення.

Фактично є декілька способів оновлення прошивки пристроїв [56]:

- фізична заміна інтегральної схеми з прошивкою – якщо використовується мікросхема пам'яті тільки для читання;
- дротове перепрограмування (наприклад, через спеціальний інтерфейс);
- бездротове оновлення, «по повітрю» (від англ. Over-The-Air, OTA). Важливою особливістю OTA є те, що оновлення надсилається з єдиного центрального вузла всім користувачам.

Задля забезпечення механізму оновлення «по повітрю» та мережею загалом, у даному проєкті використана бібліотека AsyncElegantOTA. Її особливості:

- ґрунтується на бібліотеці ESPAsyncWebServer (див. пункт 2.3.2 нижче);
- надає можливість оновлювати не тільки прошивку, але й файли на файловій системі мікроконтролера;
- надає зручний інтерфейс для завантаження оновлень з докладним відображенням статусу та прогресу;
- підтримує запит авторизації для захисту від несанкціонованого доступу.

2.2.3 Програмний компонент для створення Telegram-бота

Telegram – це всесвітньо доступний безплатний, багатоплатформний, зашифрований, хмарний і централізований сервіс, який надає можливість користувачам надсилати та отримувати повідомлення, здійснювати дзвінки, обмінюватися фото-, відео-, аудіо- та іншими файлами. Telegram – один із найпопулярніших соціальних додатків в Україні [58].

Telegram пропонує платформу стороннім розробникам для реалізації ботів. Боти – акаунти в Telegram, керовані програмами. Вони можуть взаємодіяти з користувачами, відправляючи повідомлення, відповідаючи на згадування, їх можна запрошувати в групи, інтегрувати з іншими додатками та т.ін. Боти також можуть приймати онлайн-платежі. Для реалізації можливостей зчитування стану обладнання та показників датчиків із подальшим посиленням даних користувачеві за

допомогою мікроконтролера, використаємо бібліотеку FastBot. У даному програмному компоненті реалізовані всі найпотрібніші інструменти та методи:

- надсилання/видалення/редагування повідомлень у чатах, групах і каналах;
- закріплення/відкріплення повідомлень;
- форматування повідомлень мовами розмітки Markdown або HTML;
- відправлення наліпок та розкодування повідомлень формату Unicode;
- змінювання назви та опису чату;
- виведення звичайного або вбудованого в інтерфейс програми меню;
- синхронізації годинника реального часу від сервера Telegram;
- оновлення вбудованої програми через чат;
- передачі з пам'яті в чат або завантаження в пам'ять файлів із чату тощо.

Приклад інтерфейсу для взаємодії з ботом Telegram показано на рис. 2.13. API Telegram пропонує багато різних інструментів для створення гнучких інтерфейсів: команди, які підсвічуються в повідомленнях і можуть бути обрані зі списку після введення «/»; віртуальні клавіатури, які замінюють клавіатуру користувача із задалегідь визначеними варіантами відповідей; кнопки, які відображаються поруч із повідомленнями від бота тощо.

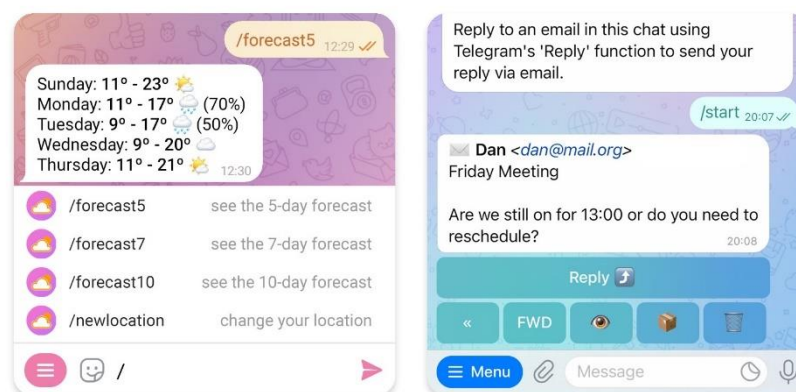


Рисунок 2.13 – Приклад інтерфейсів деяких ботів Telegram з командами, віртуальною клавіатурою та спеціальними кнопками

2.2.4 Алгоритм Замбретті. Бібліотека для прогнозу погоди за тиском

Важливою характеристикою атмосфери є атмосферний тиск, який визначає напрямок вітру та погодні умови на всій земній кулі. Однак атмосферний тиск не є рівномірним по всій планеті. Нормальний діапазон атмосферного тиску Землі становить від 970 гПа до 1050 гПа. Ці відмінності є результатом існування циклонів та антициклонів, які зумовлені неоднаковим нагріванням земної поверхні та силою градієнта тиску.

Циклон – це зона низького тиску. Вітер постійно прямує із зони підвищеного тиску до зон пониженого. Зазвичай спричиняють хмари, опади та інші турбулентні погодні явища. Антициклон – зона високого атмосферного тиску. Характеризується ясным небом, безхмарною погодою зі слабкими вітрами. Досліджуючи циклони та антициклони, спеціалісти можуть краще прогнозувати погоду для застосування у повсякденному житті, навігації, судноплаванні та інших видах діяльності. Але для прогнозування погоди важливе значення не тільки абсолютного атмосферного тиску, а і барична тенденція (див. пункт 1.5.2 вище) [59].

Одним з відомих алгоритмів короткострокового передбачення погоди є алгоритм Замбретті. Ґрунтується на інструменті, розробленому Негретті та Замброю в 1915 році для прогнозування місцевої погоди. Алгоритм є емпіричним і створений для північної півкулі, а точніше для Великобританії. Прогноз розраховується на основі чотирьох параметрів: значення тиску на рівні моря; баричної тенденції; напрямку вітру; поточного сезону. Останні два параметри мають слабкий вплив на передбачення. Результатом роботи алгоритму є одне з 26 прогнозних тверджень: від А – «Чудова, ясна погода», до Z – «Штормова погода, опади» [60]. На рис. 2.14 далі показано зовнішній вигляд цього інструменту для прогнозування.



Рисунок 2.14 – Зовнішній вигляд інструменту для прогнозування погоди [60]

Використаємо бібліотеку Forecaster для прогнозу погоди по атмосферному тиску. Основні можливості: визначення короткострокового погодного передбачення за алгоритмом Замбретті; приймає тиск, температуру, висоту над рівнем моря, поточний місяць року (для отримання сезону) кожні пів години та виводить числове значення-результат у діапазоні від 0 до 10, де 0 – ясна погода, а 10 – злива, шторм; визначення барометричної тенденції методом лінеаризації.

2.2.5 Програмне рішення для синхронізації RTC за допомогою NTP

ESP32 має два апаратних таймери для збереження системного та реального часу, які обнуляються після вимкнення живлення. Разом із цим, мікроконтролер містить низку комунікаційних функцій, які вимагають відстеження часу для повноцінного функціонування. Багато мережових інтерфейсів та протоколів очікують точну відмітку часу.

Для розв'язання питання обліку часу навіть за відсутності живлення ESP32 був використаний модуль з мікросхемою годинника реального часу DS3231 (див. пункт 2.1.2 вище). Але потрібно мати на увазі, що цей RTC недостатньо надійний: він схильний до дрейфу часу, що може призвести до відмови пристрою в обслуговуванні в мережі, наприклад, через часову недійсність сертифіката. Тому ми

використаємо Simple Network Time Protocol (SNTP) для синхронізації годинників реального та системного часу з більш точним джерелом часу.

Simple Network Time Protocol – мережевий протокол для синхронізації годинників між комп'ютерними системами через мережі передачі даних. Використовується у вбудованих системах і пристроях, які не потребують високої точності. Є спрощеною реалізацією протоколу Network Time Protocol, який призначений для синхронізації мережевих приладів із точністю до кількох мілісекунд за всесвітнім координованим часом (англ. Coordinated Universal Time, UTC). SNTP надає попередження про наближення переходу на високосний рік, але ніякої інформації щодо місцевих часових поясів або переходу на літній/зимовий час не передає [61].

Фреймворк ESP-IDF (див. підрозділ 2.2 вище) містить бібліотеки, які надають добре задокументовані методи для роботи з часом за стандартом POSIX (англ. Portable Operating System Interface). Також вони забезпечують інструменти для синхронізації часу по SNTP, роботи з часовими поясами, правилами переходу на літній або зимовий час та підтримують 64-розрядний тип даних часу.

2.3 Використання моделі вебзастосунку для створення інтерфейсу

У цьому підрозділі визначені: інтерфейс побудованої метеостанції для взаємодії з кінцевим споживачем та застосовані рішення для ефективного використання наявного апаратного забезпечення без зменшення комфорту користувача.

Розмаїття вбудованих систем включає рішення як взагалі без інтерфейсу, так і складні графічні інтерфейси користувача, що нагадують сучасні операційні системи. Прості системи на мікроконтролерах можуть використовувати кнопки, світлодіоди, графічні або символні рідкокристалічні дисплеї з простою системою меню. Досконаліші пристрої використовують графічний екран із сенсорним управлінням або сенсорні клавіші біля екрана [62].

Сучасні вбудовані комплекси можуть підтримувати операційну систему реального часу, апаратну реалізацію стеку TCP/IP, інтерфейс Ethernet і навіть використовуватися як вебсервери. Такий підхід розширює можливості мікроконтролерів,

дозволяє уникнути витрат на дисплей і створювати насиченіший інтерфейс користувача. Окрім цього, якщо пристрій необхідно буде розташувати поза приміщенням, наявний дисплей має бути максимально стійким до зовнішніх чинників (вологість, низькі/високі температури), бути досить яскравим і великим, щоб у сонячну погоду було можливим розрізнення індикації на відстані. Це суттєво збільшує ціну за подібний інтерфейс для людини. Тому вдалою альтернативою є застосування сервера з протоколом передачі гіпертекстових документів (англ. HyperText Transfer Protocol, HTTP), наприклад, на IP-камері або маршрутизаторі. У цьому випадку користувальницький інтерфейс є вебсторінкою, яка може містити не тільки текст, але й малюнки, посилання, фотографії, відео та аудіо. Крім того, використання вебсторінок замість традиційних кнопок і дисплеїв знижує вартість розроблення та підвищує комфорт користування. Інтерфейс такого типу відображається у веббраузері на пристрої, який підключений до мережі інтернет або до мережі з мікроконтролером [62,63].

Основним елементом вебсторінки є текстовий файл, написаний мовою розмітки гіпертексту (англ. HyperText Markup Language, HTML), який структуровано описує зміст сторінки та має посилання на інші вебресурси або різні розділи відкритої вебсторінки – гіперпосилання. Документ HTML може включати файли каскадних таблиць стилів (англ. Cascading Style Sheets, CSS) для опису вигляду та компонування вмісту вебсторінки. Документ також може містити програми JavaScript або WebAssembly, які виконуються веббраузером для додавання динамічної поведінки сторінці. Сторінки з динамічною поведінкою можуть функціонувати як прикладне програмне забезпечення – так звані вебзастосунки [64].

Вебзастосунок або вебдодаток – застосунок з архітектурою «клієнт-сервер», де клієнт взаємодіє з вебсервером за допомогою браузера. Логіка вебзастосунку розподілена між сервером і клієнтом, а зберігання даних переважно здійснюється на сервері. Обмін інформацією здійснюється мережею інтернет або в межах локальної мережі. Вміст сторінки вебдодатка може генеруватися як на стороні сервера, так і на стороні клієнта [62–65].

Для розроблення вебдодатка для ESP32 потрібно застосувати деякі методи та підходи, що допоможуть ефективно використовувати обмежене апаратне забезпечення мікроконтролерної системи. Оскільки нинішні веббраузери працюють на порівняно потужних електронно-обчислювальних машинах, то процес генерації всієї сторінки можна змістити з серверної частини на клієнтську (див. пункт 2.3.3 нижче).

Одним із підходів до побудови інтерфейсів вебзастосунків, у яких необхідна активна взаємодія з користувачем, є AJAX (англ. Asynchronous JavaScript And XML). За допомогою AJAX вебзастосунки за запитом клієнта можуть надсилати та отримувати дані з сервера асинхронно, не втручаючись у відображення та поведінку наявної сторінки. Тобто цей підхід дозволяє вебсторінкам динамічно змінювати вміст без необхідності перезавантаження всієї сторінки, що зменшує дані, що надсилаються сервером. Це особливо важливо в ситуації, коли сервер має менше ресурсів, ніж клієнт. На практиці для передачі даних зазвичай використовують JSON (англ. JavaScript Object Notation) замість XML (англ. Extensible Markup Language). XML – мова розмітки й формат файлів для зберігання, передачі та реконструкції довільних даних. JSON – відкритий стандартний формат файлів і формат обміну даними, який використовує зрозумілий людині текст для зберігання і передачі структурованих даних. Перевагою JSON перед XML є те, що формат допускає складні структури, займає менше місця і безпосередньо інтерпретується JavaScript в об'єкти [63,66]. Порівняння форматів XML та JSON зображено на рис. 2.15.

```
11 -      "logLines": [{
12 -         "time": 37.84491729736328,
13 -         "state": 0,
14 -         "action": 1,
15 -         "playerPosition": {
16 -             "x": 24.560218811035158,
17 -             "y": -8.940696716308594e-8,
18 -             "z": 3.3498525619506838
19 -         },
20 -         "cameraRotation": {
21 -             "x": 0.24549755454063416,
22 -             "y": 0.017123013734817506,
23 -             "z": 0.031348951160907748,
24 -             "w": -0.9687389135360718
25 -         }
26 -     }
27 - }
28 - }
```

```
11 - </sector>
12 - <logLines>
13 -   <time>37.84491729736328</time>
14 -   <state>0</state>
15 -   <action>1</action>
16 -   <playerPosition>
17 -     <x>24.560218811035156</x>
18 -     <y>-8.940696716308594e-8</y>
19 -     <z>3.3498525619506836</z>
20 -   </playerPosition>
21 -   <cameraRotation>
22 -     <x>0.24549755454063416</x>
23 -     <y>0.017123013734817505</y>
24 -     <z>0.031348951160907745</z>
25 -     <w>-0.9687389135360718</w>
26 -   </cameraRotation>
27 - </logLines>
28 - </sector>
```

Рисунок 2.15 – Порівняння файлів формату JSON (зліва) та XML (справа)

Використовуючи тільки AJAX, клієнт мусить періодично опитувати сервер задля отримання нових даних (див. рис. 2.16а). Якщо нових даних немає, від сервера повертається порожня відповідь. Оскільки статистична більшість відповідей є порожніми, то відбувається перевантаження трафіку, що зменшує ефективність роботи сервера. Для запобігання зниженню продуктивності сервера ми використаємо Server-Sent Events (SSE). Це технологія односпрямованого асинхронного передавання даних від сервера до клієнта через початково встановлене HTTP-з'єднання (див. рис. 2.16б). Використовуються для надсилання повідомлень оновлення інформації або безперервних потоків даних браузеру за допомогою JavaScript. Важливі можливості SSE: містять ідентифікатори для кожної події, що дозволяє розпізнавати та хронологічно впорядкувати їх; дозволяють користувачам автоматично відновлювати з'єднання після втрати зв'язку. Ці можливості надзвичайно корисні, оскільки клієнтські пристрої можуть отримати всі втрачені дані від сервера одразу ж після відновлення зв'язку [67].

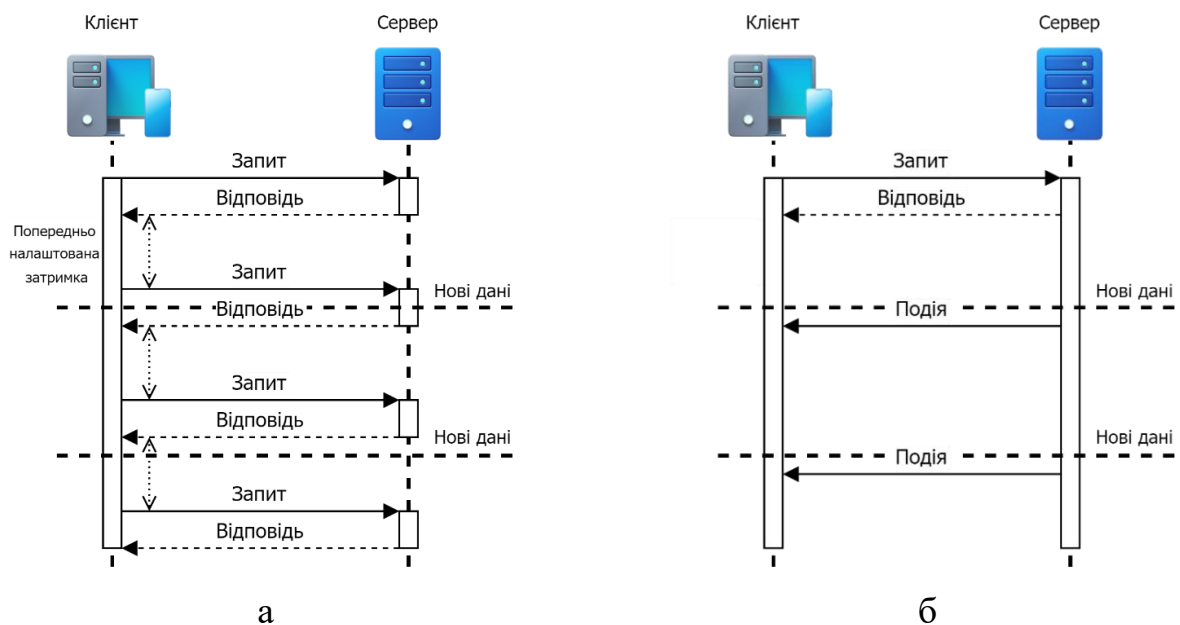


Рисунок 2.16 – Комунікація клієнта та сервера при опитуванні (а) та SSE (б)

Однак технологія Server-Sent Events також має свої недоліки: має обмеження на максимальну кількість відкритих з'єднань: шість з'єднань в одному браузері, можна передавати тільки текстові дані та передача здійснюється в одному

напрямку – від сервера до клієнта. Одним з рішень для уникнення обмежень HTTP-з'єднання та SSE надалі є використання WebSocket. Технологія надає протокол для забезпечення двостороннього повнодуплексного зв'язку – означає, що як сервер, так і клієнт може надсилати повідомлення в будь-який час без необхідності попереднього запиту (див. рис. 2.16 і рис. 2.17). За допомогою цього протоколу можливо передавати не тільки текстові, а й двійкові дані. Основними перевагами WebSocket є [68,69]:

- підвищення ефективності – після оновлення початкового HTTP-з'єднання клієнт і сервер взаємодіють через це постійне TCP-з'єднання протягом усього життєвого циклу WebSocket-з'єднання;

- зменшення трафіку та затримок – WebSocket тримає єдине постійне з'єднання відкритим, усуваючи проблеми затримки, які виникають при використанні парадигми HTTP-запитів/відповідей.

Але цей протокол має свої недоліки: вимагає стабільної роботи на рівні TCP для підтримання з'єднань; вимагає від сервера відстежувати кожне окреме з'єднання WebSocket і зберігати інформацію про стан кожного клієнта; не відновлює автоматично зв'язок при розриві з'єднання.

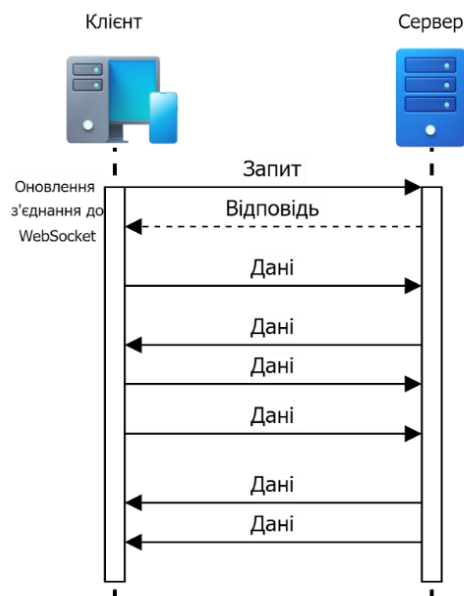


Рисунок 2.17 – Комунікація клієнта та сервера при використанні WebSocket

2.3.2 Серверна частина вебзастосунку в мікроконтролері

Переваги інтеграції вебсервера в мікроконтролер можна узагальнити так:

- користувачі можуть взаємодіяти з приладами за допомогою поширених пристроїв, які містять веббраузер: комп'ютери, мобільні телефони, планшети і т.ін.;
- функції браузера різних пристроїв повинні виконуватися незалежно від операційної системи клієнта, тому вебдодаток створюється один раз для довільно обраної платформи. Однак, різна реалізація специфікацій в браузерах може викликати проблеми при розробленні;
- виробники можуть підтримувати програмні продукти протягом усього життєвого циклу шляхом дистанційного оновлення програмного забезпечення, що скорочує витрати на технічне обслуговування (див. пункт 2.2.2 вище);
- апаратні витрати на інтерфейс користувача можуть бути усунені, а зручніші для користувача елементи інтерфейсу можуть бути швидко впроваджені;
- управління та моніторинг можна здійснювати з будь-якої точки світу за допомогою мережі інтернет.

Вебсервери, що працюють на звичайних комп'ютерах із накопичувачами, використовують файлову систему для отримання запитуваного файлу. Для забезпечення подібної функціональності у розробці використовується зовнішня SD-карта з файловою системою FAT32 (див. пункт 2.1.5 та підрозділ 2.2 вище).

Для отримання вищезгаданих можливостей вебсервера використаємо бібліотеку ESPAsyncWebServer, яка має такі особливості:

- асинхронна модель роботи – сервер може одночасно обробляти більше одного з'єднання (використовує функціонал FreeRTOS, див. пункт 2.2.1 вище);
- виклик запрограмованих методів відбувається одразу після того, як запит буде оброблений сервером і готовий до відправки;
- після вирушення відповіді, яка виконується у фоновому режимі, сервер одразу готовий обробляти інші запити;
- програма сервера автоматично закриває з'єднання і звільняє ресурси;
- підтримує HTTP автентифікацію: базову та дайджест (за замовчуванням);

- має простий у використанні прикладний програмний інтерфейс (англ. Application Programming Interface, API) та документацію до нього;
- підтримує можливість посилання фрагментованої відповіді клієнту;
- підтримує WebSocket та Server-Sent Events (див. підрозділ 2.3 вище);
- надає простий механізм шаблонів для обробки та фільтрації запитів та генерації відповідей;
- має методи передачі статичних даних (наприклад, файли SD-картки) з кешуванням, датою і часом останньої зміни ресурсу (див. підрозділ 2.2 вище) і т.ін.

Продуктивність обробки або генерації JSON може бути критично важливою для серверних застосунків, вбудованих систем або будь-яких інших додатків, що вимагають обробки великих за розміром або кількістю JSON файлів. Тому для обробки відповідей сервера Telegram (див. пункт 2.2.3 вище), AJAX-запитів від клієнта (див. підрозділ 2.3 вище) та генерації файлів у форматі JSON буде використана бібліотека RapidJSON. Вона підтримує Unicode та є оптимальнішою за набором функцій, швидкістю виконання, обсягом використовуваної пам'яті та розміром коду у порівнянні з іншими бібліотеками [70].

2.3.3 Клієнтська частина вебзастосунку в браузері

Щоб змістити навантаження з серверної частини (мікроконтролера) на клієнтську (веббраузер), побудуємо клієнтську частину за моделлю односторінкового застосунку (англ. Single-page application, SPA). SPA – це вебдодаток, який складається з однієї HTML-сторінки, яка динамічно переписується оновленими даними з вебсервера під час взаємодії з користувачем. SPA переміщує логіку з сервера до клієнта, а роль вебсервера перетворюється на API для доступу до даних або на вебслужбу для взаємодії між пристроями. З цієї причини односторінкові додатки у своїй суті базуються на AJAX. Деякі SPA можуть виконуватися локально: користувачі завантажують ресурси SPA з сервера і запускають додаток із локального сховища даних пристрою, не потребуючи постійного зв'язку з сервером. Якщо SPA передбачає зберігання та оновлення даних, використовується вебсховище

браузера [65]. На рис. 2.18 наведено діаграму послідовності комунікації клієнта та сервера за моделлю односторінкового застосунку.

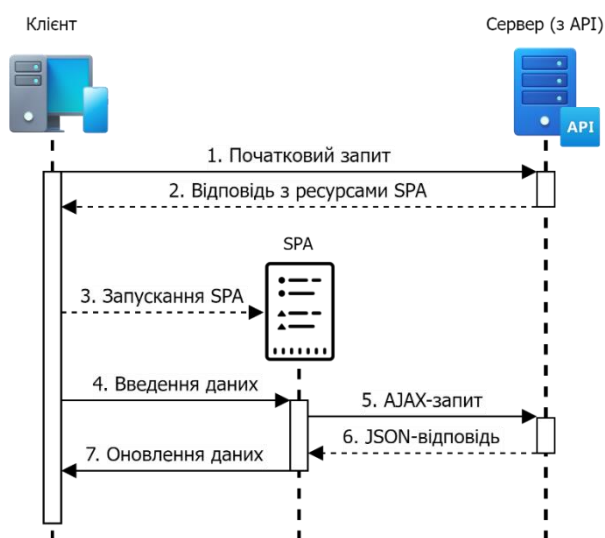


Рисунок 2.18 – Комунікація клієнта та сервера за моделлю single-page application

Задля створення SPA використаємо сучасний фреймворк із відкритим вихідним кодом – Vue.js. Особливості цього фреймворку :

- використовує віртуальну об'єктну модель документа (англ. Document Object Model, DOM) – копію реального HTML DOM, де елементи HTML є об'єктами JavaScript. Віртуальний DOM відображається в браузері як звичайна вебсторінка, що допомагає підвищити швидкість роботи, оскільки не вимагає перемальовування всіх елементів;

- виконує двостороннє зв'язування даних – це допомагає маніпулювати або присвоювати значення атрибутам HTML, змінювати стиль та призначати класи. Vue.js гарантує, що будь-які зміни, зроблені у інтерфейсі користувача, передаються на сервер, а зміни, зроблені на сервері, відображаються в інтерфейсі;

- застосовує шаблони – HTML-шаблони пов'язують DOM з даними екземпляра Vue.js, який інтегрує шаблони у функції відображення віртуальної DOM;

- відстежує залежності компонентів під час візуалізації – це дозволяє програмі завчасно визначити, які компоненти потребують оновлення відображення при зміні даних, а які – ні;

– легко опанувати – однією з причин популярності Vue.js є те, що він дуже простий у вивченні, що економить багато часу під час розроблення;

– має високу швидкодію та малий розмір коду.

Також ми скористаємося Vuetify. Це повноцінний фреймворк, який базується на Vue.js і відповідає специфікації Material Design. Метою розроблення є надання розробникам інструментів для створення насиченого та цікавого дизайну й комфортного досвіду користувача. Vuetify підтримує всі сучасні браузері, надає сотні розроблених компонентів зі специфікації Material Design і є простим у вивченні.

Material Design – принципи дизайну сайтів, програмного забезпечення і застосунків, а також правила дизайну інтерфейсів для операційної системи Android від компанії Google. Ідея дизайну полягає в інтерфейсі, поведінка і вигляд якого наслідують правила поведінки та вигляду паперових карток у реальному житті.

Далі наведені додані до вищезгаданих програмних компонентів бібліотеки.

Axios – надає HTTP-клієнт на основі об'єкта Promise з JavaScript, який може генерувати HTTP-запити та перетворювати JSON-дані в об'єкти, що спрощує реалізацію AJAX. Підтримує кешування для зменшення навантаження на сервер;

Vue I18n – для реалізації інтернаціоналізації – процесу планування та впровадження продуктів і послуг так, щоб їх можна було легко адаптувати до конкретних місцевих мов і культур (цей процес називається локалізацією). Це дає змогу людям із різних країн легко користуватися додатком у вибраній ними локалізації (наприклад, українською або англійською мовою);

Vue Router – надає змогу програмно переходити зі сторінки на сторінку на стороні клієнта (без запиту до сервера) з синхронізацією URL-адреси та інші просунуті методи: розподіл прав за рівнями доступу; анімацію переходів між сторінками; «ліниве» завантаження необхідних сторінок тощо;

Vueх – шаблон управління станом та бібліотека. Надає централізоване сховище для всіх даних додатку, з правилами, які гарантують, що стан даних може бути змінений лише у передбачуваний спосіб.

Висновки до другого розділу

У другому розділі перелічені та проаналізовані складові елементи апаратної та програмної частин розроблюваної станції.

Апаратна частина. Для обробки інформації з датчиків та управління системою був використаний мікроконтролер ESP32 від компанії Espressif Systems. Це рішення часто використовується завдяки доступній ціні, апаратному підтриманню мережевих технологій, програмному підтриманню фреймворку Arduino. Для збереження даних у хронологічному порядку та звільнення основного мікроконтролера від задач точного відліку часу використовується годинник реального часу DS3231 від компанії Maxim Integrated. Для вимірювання метеорологічних параметрів із подальшим їхнім перетворенням у цифровий сигнал були застосовані такі електронні датчики: АНТ10 від компанії ASAIR (температура та відносна вологість), BMP280 від компанії Bosch Sensortec (атмосферний тиск та температура). Для реєстрації метеорологічних показань та зберігання файлів вебсервера, який слугує цифровою консоллю, використаний зовнішній накопичувач типу microSD. Для використання всіх мережевих можливостей мікроконтролера та забезпечення більш надійного й захищеного з'єднання з меншою затримкою використаний Ethernet-контролер W5500 від компанії WIZnet.

Програмна частина. Прошивка метеостанції базується на Arduino-ESP32, який ґрунтується на офіційному фреймворку компанії Espressif Systems, який застосовує операційну систему реального часу FreeRTOS. Для зняття показань з датчиків використані бібліотеки від компанії Adafruit. Для швидкого обміну даними з карткою SD застосована бібліотека SdFat, яка підтримує файлові системи сімейства FAT. Задля забезпечення механізму оновлення «по повітрю» у даному проєкті використана бібліотека AsyncElegantOTA. Для реалізації взаємодії користувача з метеостанцією через Telegram-бота використано бібліотеку FastBot. Для прогнозу погоди по атмосферному тиску використана бібліотека Forecaster. Для інтеграції вебсервера у мікроконтролер використано бібліотеку ESPAsyncWebServer. Для зміщення навантаження з серверної частини на клієнтську використана модель SPA.

3 СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ. РЕАЛІЗАЦІЯ АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ. РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Опис реалізації апаратної частини метеостанції

Структурна схема системи метеорологічних спостережень (див. рис. 3.1 далі) була розроблена з використанням обраних у розділі 2 технологій і компонентів. Система спроектована таким способом, щоб її можна було легко масштабувати, налаштовувати та розширювати. Вона базується на потужному мікроконтролері ESP32, який виконує роль центрального вузла і керує всією системою. До вузла підключена група датчиків: АНТ10 (температура та відносна вологість) та BMP280 (атмосферний тиск та температура) – які вимірюють параметри середовища, перетворюють їх у цифровий сигнал та передають шиною I2C. До цієї ж шини підключений годинник реального часу DS3231, який виконує незалежний від центрального вузла відлік поточних дати та часу. За допомогою першої шини SPI мікроконтролер керує файловою системою на підключеній карті формату microSD. До другої шини SPI приєднаний мережевий модуль з чіпом W5500, який надає інтерфейс Fast Ethernet. Це доповнює гнучкі бездротові інтерфейси мікроконтролера (Wi-Fi та Bluetooth) надійним дротовим з'єднанням та дозволяє використовувати створене рішення як шлюз. Мережеві інтерфейси надають користувачеві можливість віддалено керувати пристроєм.

Електричну принципову схему модульної метеостанції зображено на рис. 3.2 далі. Схема побудована за допомогою програмного забезпечення Proteus. Кінцевий пристрій розрахований на живлення від джерела постійного струму напругою 5 В. Тому можна використовувати або блок живлення для дротового встановлення, або акумуляторні батареї для бездротового. На схемі (див. рис. 3.2 далі) наведено підключення електричних виводів основного вузла – налагоджувальної плати з мікроконтролером ESP32 – до підлеглих модулів.

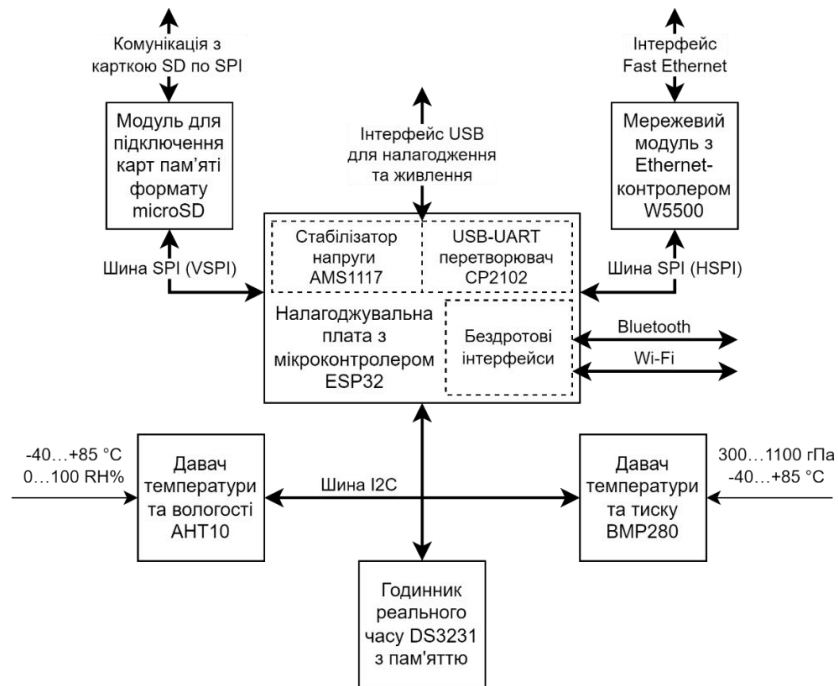


Рисунок 3.1 – Структурна схема розробленої метеостанції

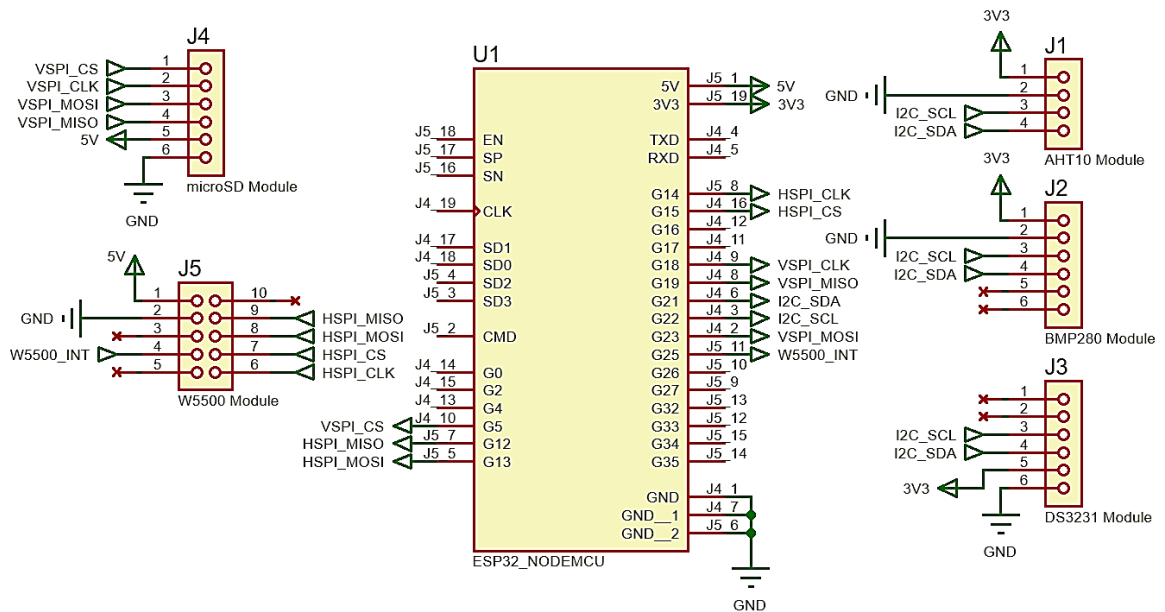


Рисунок 3.2 – Електрична принципова схема розробленої метеостанції

Використаний ESP32 налаштований на роботу від внутрішнього тактового генератора з фазовим автопідлаштуванням частоти (ФАПЧ), який визначений як джерело тактової частоти процесора. Аби зменшити енергоспоживання, тактова частота процесора програмно встановлена на частоту 80 МГц. Спираючись на документацію, частота периферійної шини, від якої працюють використані SPI та I2C,

визначається джерелом тактового генератора процесора. Оскільки джерелом є ФАПЧ, то частота периферійної шини також буде підтримуватися на частоті 80 МГц, що варто враховувати під час роботи з підлеглими модулями.

Для зневадження системи, що розробляється, був побудований налагоджувальний стенд із використанням модулів, БЖ, макетної плати та з'єднувальних дротів. На рис. 3.3 показано зовнішній вигляд налагоджувального стенда.

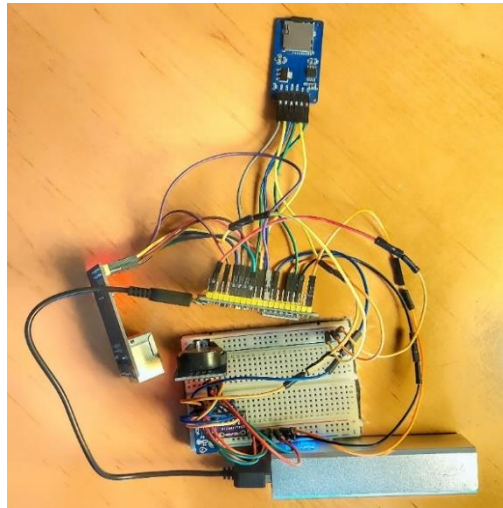


Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд налагоджувального стенда розроблюваної метеостанції

З використанням системи побудови друкованих плат та візуалізатора Proteus були отримані візуалізації зовнішнього вигляду стенда (див. рис. 3.4).

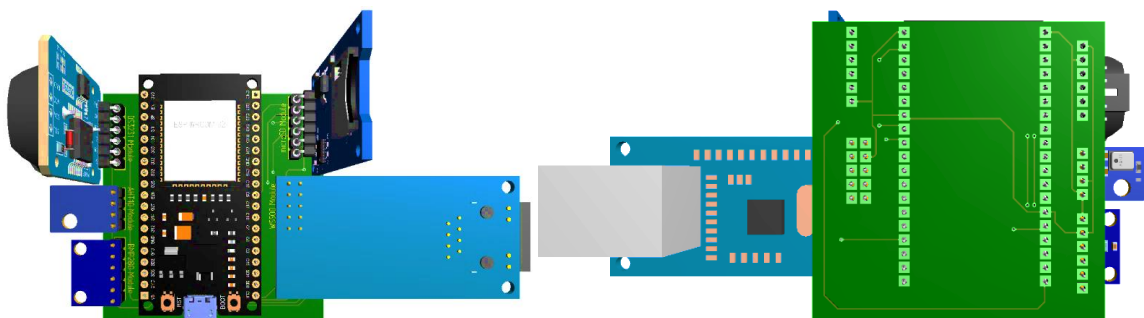


Рисунок 3.4 – Візуалізації друкованої плати та зібраного стенда загалом у 3D-візуалізаторі Proteus

3.2 Алгоритм програми мікроконтролера

Основні функції, які мають виконуватися створеним рішенням:

- керування підлеглими пристроями;
- вимірювання, обчислення та оброблення метеорологічних параметрів;
- реєстрація та збереження отриманих даних на носій інформації. Реєстрація вимірювань супроводжуються інформацією про час і дату вимірювання;
- надання користувачеві або службі інструментів віддаленого контролю та керування станцією через вебінтерфейс та Telegram-бота.

Ці операції здійснюються згідно з розробленим у роботі алгоритмом програмного забезпечення мікроконтролера (див. рис. Б.1). Для відновлення роботи системи після непередбачуваної несправності, внаслідок якої програма порушує звичну послідовність виконання, використовуються сторожові таймери (англ. Watchdog timer, WDT). ESP32 має три сторожові таймери: по одному в кожному з двох ядер (називаються Main System WDT) і один у модулі з наднизьким енергоспоживанням, який залишається увімкненим у режимі глибокого сну (називається RTC WDT). Тільки RTC WDT може викликати скидання всього пристрою [45].

Алгоритм складається з 5 підпрограм та 3 задач під керуванням FreeRTOS.

Підпрограма «Setup» (див. лістинг Б.1) виконує ініціалізацію всіх компонентів програми метеостанції після подачі живлення або скидання. Серед виконуваних дій є: ініціалізація порту UART; створення семафорів (примітивів синхронізації процесів та потоків) для контролю доступу до картки SD; умовний виклик інших підпрограм та створення задач FreeRTOS для окремих під'єднаних модулів; прив'язування часу RTC до часу змін у файлової системі; ініціалізація давачів; ініціалізація Telegram-бота та подальший перехід у нескінченний цикл.

Підпрограма «SDHelper.init» ініціює файлову систему FAT32 на підключеній картці microSD і, при успішному проведенні операції, визначає тип та обсяг пам'яті.

Підпрограма «NetworkManager.init» проводить читання файлу конфігурації мережевих інтерфейсів, який знаходиться на картці SD, після чого вмикає дозволені модулі та встановлює зчитані налаштування (адреси, паролі, доменні імена).

Підпрограма «RTCHelper.init» також читає файл конфігурації для отримання часової зони та літнього часу з подальшим створенням задачі синхронізації годинника реального часу з NTP-сервером зі вказаною періодичністю.

Підпрограма «AsyncWebServerHelper.init» виконує ініціалізацію вебсервера: створення вебсторінок для конфігурації пристрою, для FOTA і для SPA; створення JSON-відповіді з поточними показаннями датчиків; створення кешованої відповіді під час запиту статичних елементів сторінки з карти пам'яті; створення відповіді «Не знайдено» під час запиту відсутніх на карті пам'яті файлів.

Задача «readSensors» виконує періодичне зчитування показань усіх датчиків і роботу з прапорами подій FreeRTOS для взаємодії з задачею «storeReadings».

Задача «storeReadings» очікує прапор готовності від задачі «readSensors» і, за наявності цього прапора, виконує запис усереднених даних із відміткою поточного часу. Після успішного запису виконується підняття прапора успішного запису.

Задача «forecastZambretti» виконує математичне обчислення (передбачення погоди) по алгоритму Замбретті за вказаною висотою над рівнем моря, збираючи кожні пів години поточні метеорологічні показники.

3.3 Розроблення програмного забезпечення. Використані інструменти

Для розроблення програмного забезпечення був використаний редактор коду Visual Studio Code. При створенні прошивки для мікроконтролера було використане середовище розроблення PlatformIO. Програма для мікроконтролера написана на мові програмування C++. Розроблення клієнтської частини вебзастосунку передбачало використання мови JavaScript та фреймворку Vue.js (див. пункт 2.3.3 вище). Робота клієнтської частини описана далі (див підрозділ 3.4 нижче).

Visual Studio Code – відомий редактор коду з відкритим вихідним кодом, розроблений компанією Microsoft. Він підтримує широкий спектр мов програмування і пропонує низку функцій для редагування коду, налагодження та контролю версій.

PlatformIO – це інтегроване середовище розроблення для вбудованих систем від українських розробників, яке підтримує низку мікроконтролерів, макетних плат

та фреймворків, серед яких є потрібний для розроблення Arduino-ESP32. Це середовище надає інструменти для полегшення процесу розроблення. Зокрема, воно надає єдиний інтерфейс для керування бібліотеками, налагоджувальними платами та фреймворками, що спрощує керування проєктами. Завдяки підтриманню PlatformIO багатьох модулів та мікросхем налагодження розробники отримують змогу переглядати виконуваний код, встановлювати точки зупинки та перевіряти змінні, щоб виявляти та виправляти помилки.

Використовуючи розширення PlatformIO для Visual Studio Code можна легко створювати та керувати проєктами, які ґрунтуються на Arduino-ESP32 (див. підрозділ 2.2 вище). Цей фреймворк включає низку функцій для взаємодії з різними апаратними та програмними компонентами мікроконтролера ESP32: Wi-Fi, OTA, SPI, HTTP, I2C, UART, АЦП тощо. Окрім цього, програмний модуль містить безліч прикладів і документацію. Це допомагає зменшити кількість коду, необхідного для виконання різних завдань, що робить розроблення швидшим та ефективнішим.

При роботі з FreeRTOS (див. пункт 2.2.1 вище) на ESP32 необхідно використовувати асинхронні та не блокувальні методи, щоб забезпечити належну швидкість системи та паралельне виконання низки задач. Основні причини:

- оптимізація використання ресурсів. Більшість мікроконтролерів мають обмежені ресурси (наприклад, пам'ять та обчислювальна потужність). Тому використання бібліотек із синхронними або блокувальними методами може спричинити довготривале блокування ресурсів, які очікує інша задача, що призводить до зниження продуктивності та зменшення стабільності системи;

- підтримання багатозадачності. У більшості застосувань Інтернету речей мікроконтролер виконує декілька задач одночасно, зокрема: оброблює дані з датчиків, взаємодіє з іншими пристроями мережею й виконує оновлення прошивки. Асинхронні та не блокувальні методи дають можливість мікроконтролеру виконувати задачі, не зупиняючи основний потік програми, забезпечуючи більш адаптивний інтерфейс користувача та оптимальне використання системних ресурсів;

- масштабованість. Асинхронні методи програмування можуть допомогти поліпшити масштабованість системи, дозволяючи легко додавати нові задачі та

виконувати запити без значної шкоди для продуктивності. Це особливо важливо коли, наприклад, необхідно обробляти велику кількість одночасних з'єднань.

3.4 Опис цифрової консолі як способу взаємодії користувача зі станцією

Як було зазначено у підрозділі 2.3 вище, використання вебсервера дозволяє заощадити на дисплеї та пристроях вводу інформації, отримуючи більш інтерактивний і зручний інтерфейс користувача, який відображатиметься у браузері сучасних пристроїв за умови підключення до мережі.

Модель взаємодії користувача з метеорологічною станцією (див. рис. 2.18 вище) складається з трьох елементів: клієнта, сервера та вебзастосунку – останні два утворюють консоль для взаємодії з метеостанцією. Зібрані станцією дані обробляються та зберігаються локально на карті пам'яті формату microSD. За HTTP запитом основний мікроконтролер відправляє файли вебсервера за допомогою доступних мережевих інтерфейсів (Wi-Fi або Ethernet) до браузерного клієнта, а останній запускає SPA. Далі через цей застосунок клієнт отримує базу даних вимірювань з сервера та візуалізує графіки залежності метеорологічних величин від часу.

На рис. 3.5 далі зображено зовнішній вигляд користувацького інтерфейсу вебдодатка створеного рішення.

На першому знімку екрана (див. рис. 3.5а далі) відображена основна оглядова сторінка з динамічним фоном, який змінюється залежно від місцевого часу. На цій сторінці вказані поточні метеорологічні параметри, які були виміряні метеостанцією, є елементи налаштування локалізації (українська або англійська мова) та зміни колірної гами («темна» або «світла» тема).

На другому знімку екрана (див. рис. 3.5б далі) показана сторінка діаграм, на якій можна обрати дату та побачити графіки зміни таких параметрів середовища з відміткою використаного датчика: температура, вологість, тиск та температура точки роси – у режимі реального часу. Завдяки можливості перегляду графіків вимірювань за останню добу можна, наприклад, проаналізувати якість роботи системи опалення, зволоження або якість теплоізоляції за останні години. Ділянка

обраного графіка може зручно змінюватися виділенням часової області з попереднім переглядом показань за добу.

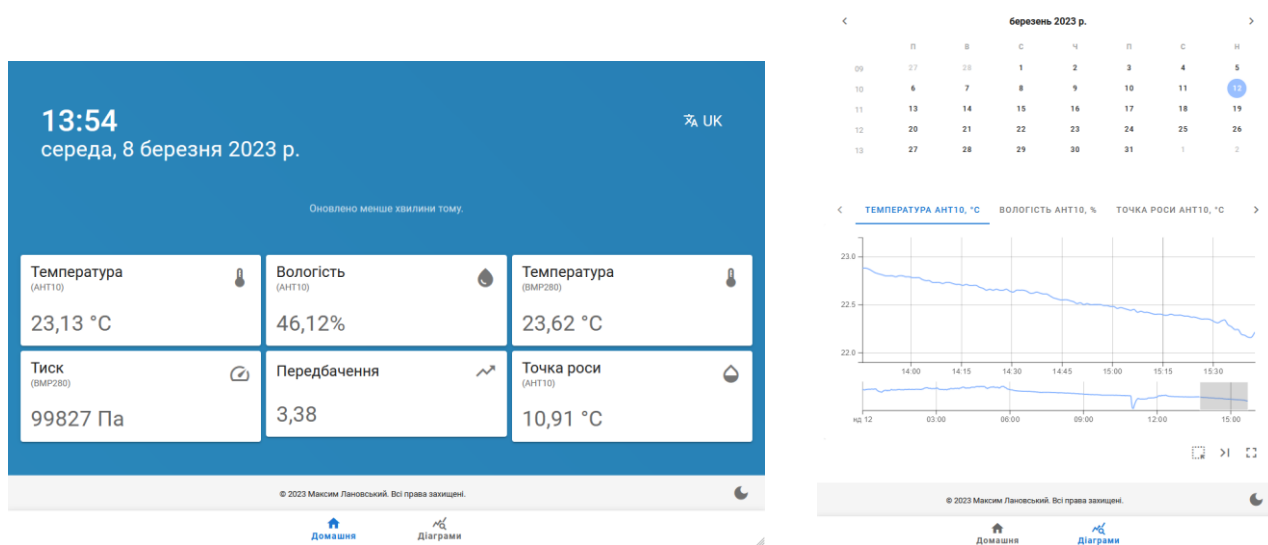


Рисунок 3.5 – Інтерфейс користувача створеного вебдодатка:

- а) оглядова сторінка з поточними метеорологічними параметрами;
- б) сторінка вибору діаграм за датою для перегляду змін параметрів за часом

Окрім цього, у створеній системі передбачені функції дайджест автентифікації та авторизації користувачів із фільтрацією IP-адрес при виконанні потенційно небезпечних дій: оновлення «по повітрю» та зміни налаштувань метеостанції.

Дайджест автентифікація – метод автентифікації, що використовує HTTP та застосовує криптографічні хеш-функцію та нонс (випадкове число, яке використовується під час криптографічного зв'язку лише один раз), щоб захистити пароль перед відправленням через мережу і запобігти атакам повторного відтворення.

Фреймворк ESP-IDF (див. підрозділ 2.2 вище) надає методи оновлення прошивки «по повітрю», що дуже корисно, коли пристрої розташовуються у віддалених або важкодоступних місцях. Однією з важливих особливостей OTA-оновлень на ESP32 є можливість розбиття вбудованої флешпам'яті на розділи. ESP-IDF надає можливість створювати «розділи додатків», які можливо використовувати для зберігання різних версій прошивки. Це дає змогу легко повернутися до попередньої

версії, якщо оновлення не завершилося успіхом або спричинило проблеми у роботі пристрою. А завдяки бібліотеці AsyncElegantOTA (див. пункт 2.2.2 вище) був створений вебінтерфейс для завантаження оновлень з відображенням статусу та прогресу.

Під час процесу оновлення «по повітрю» нова версія прошивки зазвичай завантажується в окремий розділ окремо від поточної прошивки. Після завершення завантаження прошивки ESP32 перевіряє цілісність нової версії й перемикається на неї за умови успішного проходження процесу перевірки. У іншому випадку ESP32 перемикається на розділ із попередньою версією прошивки.

Під час первинного налаштування метеостанція створює точку доступу Wi-Fi та, при підключенні до дротової мережі, використовує інтерфейс Ethernet зі спробою отримати динамічний IP. Після успішної ініціалізації хоча б одного мережевого інтерфейсу, станція ініціює вебсервер, за допомогою якого необхідно додати налаштування метеостанції.

Сторінку зміни налаштувань системи показано на рис. 3.6 далі. Налаштування категоризовані у дві вкладки: «Мережа» і «Час». У першій вкладці можна змінити параметри мережевих інтерфейсів і вказати кілька точок доступу з пароллями для підключення до них. У другій вкладці вказується адреса NTP-сервера, інтервал синхронізації по NTP і часовий пояс із переходом на літній час. Останній параметр виражається спеціальним рядком у форматі POSIX timezones.

Як було зазначено вище, асинхронний обмін даними між клієнтом та сервером через вебзастосунок відбувається за допомогою технології AJAX. Це зменшує навантаження на мережу та сервер, що є особливо важливим у нашому випадку, оскільки розраховано, що сервер має менше обчислювальних ресурсів, ніж клієнт.

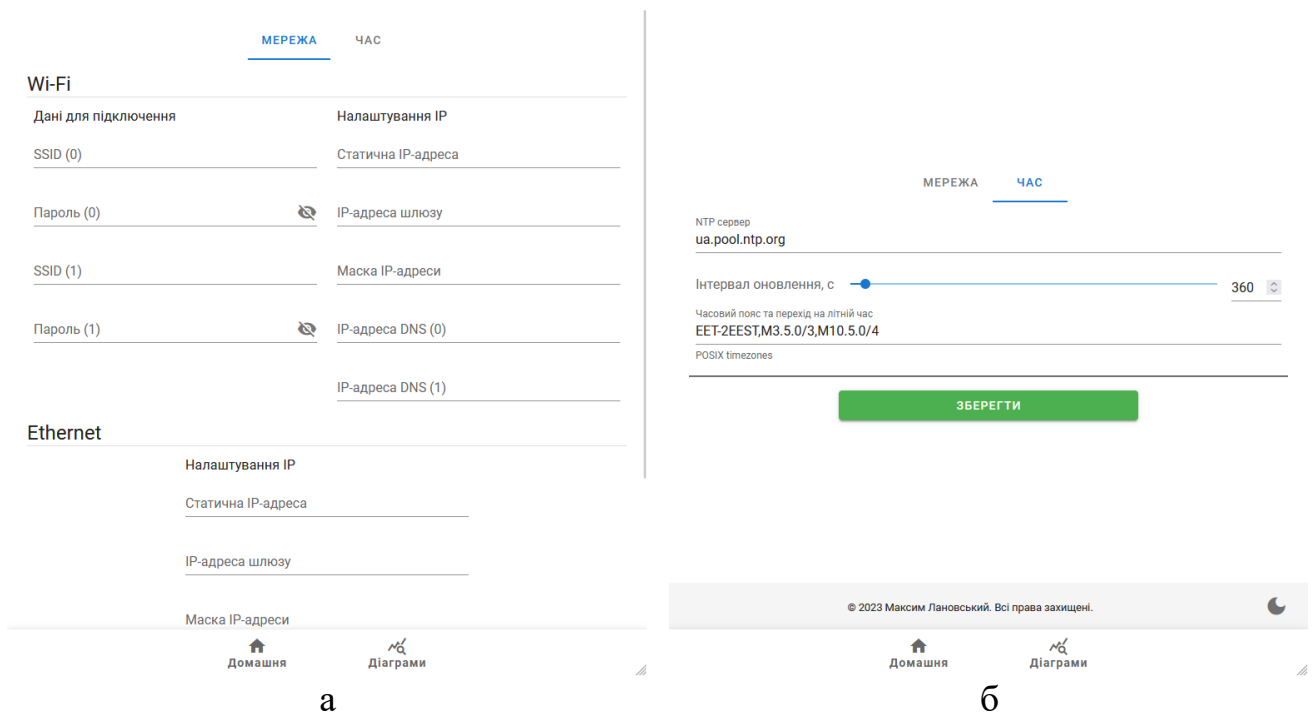


Рисунок 3.6 – Вигляд сторінки зміни налаштувань метеостанції:

- а) вкладка «Мережа» з параметрами мережевих інтерфейсів;
- б) вкладка «Час» із налаштуваннями NTP-сервера та часового поясу

Згідно з працею [63], робота вебдодатка з AJAX складається з двох фаз: фази завантаження і фази роботи.

Фаза завантаження. Впродовж цієї фази додаток завантажує необхідні файли: HTML, CSS, JS – разом з іншими додатковими ресурсами (наприклад, зображеннями або таблицями), які потрібні для роботи додатка. Після завантаження додаток може почати ініціалізацію своїх компонентів і підготовку до запитів до вебсервера за допомогою AJAX.

Фаза роботи. Під час цієї фази вебзастосунок використовує AJAX, виступаючи своєрідним інтерфейсом між клієнтом і сервером, динамічно оновлюючи вміст сторінки без повного перезавантаження. У цей етап може входити отримання даних із сервера, посилання даних із форми або виконання інших типів обробки на стороні сервера. Коли користувач взаємодіє з подібним додатком, його інтерфейс оновлюється в режимі реального часу.

Висновки до третього розділу

Я успішно спроектував за допомогою програмного забезпечення Proteus метеорологічну станцію та побудував налагоджувальний стенд для зневадження та демонстрації функціональних можливостей. Кінцевий пристрій розрахований на живлення від джерела постійного струму напругою 5 В, тому можна використовувати або блок живлення, або акумуляторні батареї.

Я розробив алгоритм програми метеостанції, який виконує такі функції: керування підлеглими пристроями; вимірювання, обчислення та оброблення метеорологічних параметрів; реєстрація та збереження отриманих даних на носій інформації; надання користувачеві або службі інструментів віддаленого контролю та керування станцією через вебінтерфейс та Telegram-бота.

Використовуючи Visual Studio Code з розширенням PlatformIO, я отримав потужне та гнучке середовище розроблення коду для вбудовуваних систем із можливістю використання фреймворку Arduino-ESP32 – корисним інструментом, який надає широкий діапазон заздалегідь написаних функцій для ESP32.

Для розроблення клієнтської частини вебзастосунку, який переглядається за допомогою браузера сучасних пристроїв, і надання зручного користувальницького інтерфейсу я застосував фреймворк Vue.js. За допомогою вебзастосунку користувач має змогу: оглядати поточні метеорологічні параметри; налаштовувати локалізацію (українська або англійська мова); змінювати колірну гаму («темна» або «світла» тема); переглядати графіки змін параметрів середовища у режимі реального часу; безпечно віддалено оновлювати прошивку (з можливістю повернення до попередньої версії); змінювати налаштування метеостанції після успішної авторизації.

Робота створеного вебдодатка з AJAX складається з двох фаз: фази завантаження (створення структурної моделі додатка) і фази роботи (надання динамічного й адаптивного інтерфейсу користувача).

Поєднання потужного редактора коду з платформами та плагінами допомогло мені швидко та ефективно створити якісний та надійний код. Усі використані інструменти, фреймворки, бібліотеки та плагіни є вільно доступними.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ Й РЕКОМЕНДАЦІЇ

У результаті виконання ВКР бакалавра була досягнута основна мета роботи – розроблена портативна метеостанція з автономним живленням та бездротовим з'єднанням. Вона виконує метеорологічні спостереження та реєструє отримані дані на SD-картку. Також були вирішені поставлені задачі: виконаний аналітичний огляд та порівняння параметрів сучасних домашніх метеостанцій; проаналізоване використання метеостанції у побуті як складової «розумного» будинку; розглянуті різні типи обладнання для вимірювання метеорологічних параметрів; створений графічний інтерфейс користувача, який надає зручні інструменти віддаленого контролю та керування метеостанцією.

Застосування створеної метеорологічної станції не обмежується метеорологічною галуззю: метеостанція може бути переобладнана під інші потреби. Створене рішення вимірює та реєструє температуру, вологість, тиск від різних датчиків, обчислює температуру точки роси та надає сучасний вебінтерфейс. Автор роботи вважає це універсальною та економічно доступною (див. табл. 1) розробкою.

Наявність застарілих мікросхем на модулях та активне використання бездротового зв'язку призводило до швидкого розрядження батареї. Для вирішення цих проблем планується використання енергоефективної елементної бази.

У майбутньому передбачається подальше вдосконалення пристрою: зменшення енергоспоживання апаратними та програмними способами (наприклад, використавши мікроконтролер, який підтримує LPWAN або IEEE 802.15.4, приєднавши більш енергоефективні датчики, збільшивши часовий інтервал вимірювань та зменшивши потужність телекомунікаційних модулів); реалізація можливості легкого додавання зовнішніх модульних датчиків (наприклад, датчиків PM, CO₂ і т.д.); збільшення кількості підтримуваних протоколів для взаємодії з іншими системами.

Заплановано покращення кодової бази програми мікроконтролера і вебзастосування для покращення користувацького досвіду та зменшення навантаження на систему метеорологічних спостережень.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Yang H., Lee W., Lee H. IoT Smart Home Adoption: The Importance of Proper Level Automation // Journal of Sensors. Hindawi Limited, 2018. Вип. 2018. С. 1-11.
2. Vermesan O., Friess P. Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems. River Publishers, 2013. 364 с.
3. Самойленко М.Ю. Принципи застосування технології Інтернет речей у сучасному світі техніки // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2020. Вип. 31 (70), № 6 Частина 1. С. 142-148.
4. Albany M. et al. A review: Secure Internet of thing System for Smart Houses // Procedia Computer Science. Elsevier, 2022. Вип. 201, № С. С. 437-444.
5. Чому зараз — найкращий час для інтернету речей | Na chasi. URL: <https://nachasi.com/tech/2021/06/29/internet-of-things/> (дата звернення: 22.08.2022).
6. Топ-3 отрасли, в которых будет развиваться Интернет вещей - новости Украины, Технологии - LIGA.net. URL: <https://tech.liga.net/technology/article/top-3-otrasli-v-kotoryh-budet-razvivatsya-internet-veschey> (дата звернення: 22.08.2022).
7. Number of connected IoT devices growing 18% to 14.4 billion globally. URL: <https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices/> (дата звернення: 11.01.2023).
8. Luor T. et al. Exploring the critical quality attributes and models of smart homes // Maturitas. Elsevier, 2015. Вип. 82, № 4. С. 377-386.
9. Nacer A., Marhic B., Delahoche L. Smart Home, Smart HEMS, Smart heating: An overview of the latest products and trends // 2017 6th International Conference on Systems and Control (ICSC). IEEE, 2017. С. 90-95.
10. Уривський Л.О. et al. Дослідження і розробка рішень Інтернету речей широкого застосування // Sciences of Europe. Praha, Czech Republic: Global Science Center LP, 2019. Вип. 1, № 36. С. 39-54.
11. Altayeva A.B., Omarov B.S., Cho Y.I. Intelligent Microclimate Control System Based on IoT // The International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems. Korean Institute of Intelligent Systems, 2016. Вип. 16, № 4. С. 254-261.

12. Abdalgader K., al Ajmi R., Saini D.K. IoT-based system to measure thermal insulation efficiency // *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. Springer, 2020. С. 1-14.

13. The Best Home Weather Stations of 2022 - Tested by Bob Vila. URL: <https://www.bobvila.com/articles/best-home-weather-station/> (дата звернення: 25.08.2022).

14. Рейтинг ТОП-5 лучших бытовых цифровых метеостанций 2020-2021: сравнение, цены, плюсы и минусы. URL: <https://tech-choice.net/bytovye-cifrovye-meteostancii/> (дата звернення: 25.08.2022).

15. Bellido-Outeirino F.J. et al. M2M home data interoperable management system based on MQTT // *2017 IEEE 7th International Conference on Consumer Electronics - Berlin (ICCE-Berlin)*. IEEE, 2017. Вып. 2017-September. С. 200-202.

16. Xiao Z. Application of Modbus / TCP Protocol in Smart Home // *Proceedings of the 2nd International Conference on Mechatronics Engineering and Information Technology (ICMEIT 2017)*. Paris, France: Atlantis Press, 2017. С. 399-402.

17. Robles R.J., Kim T.-H. A Review on Security in Smart Home Development // *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2010. Вып. 15. С. 13-22.

18. Karimi R. et al. Smart Built Environment Including Smart Home, Smart Building and Smart City: Definitions and Applied Technologies // *Advances and Technologies in Building Construction and Structural Analysis*. IntechOpen, 2021.

19. How our homes became smart: The history of home automation. URL: <https://www.deccanchronicle.com/technology/in-other-news/120119/how-our-homes-became-smart-the-history-of-home-automation.html> (дата звернення: 02.09.2022).

20. The Definitive History Of Smart Home Devices - Smart Home Point. URL: <https://www.smarthomepoint.com/history/> (дата звернення: 02.09.2022).

21. Alam M.R., Reaz M.B.I., Ali M.A.M. A Review of Smart Homes—Past, Present, and Future // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*. 2012. Вып. 42, № 6. С. 1190-1203.

22. Ricquebourg V. et al. The Smart Home Concept : our immediate future // 2006 1ST IEEE International Conference on E-Learning in Industrial Electronics. IEEE, 2006. С. 23-28.

23. Галік О.І. Метеорологічні прилади і методи спостережень. Практикум: Навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2008. 134 с.

24. Vos L.W. et al. Quality Control for Crowdsourced Personal Weather Stations to Enable Operational Rainfall Monitoring // Geophysical Research Letters. John Wiley & Sons, Ltd, 2019. Вип. 46, № 15. С. 8820-8829.

25. PWS Network Overview | Weather Underground. URL: <https://www.wunderground.com/pws/overview> (дата звернення: 31.08.2022).

26. Bell S., Cornford D., Bastin L. How good are citizen weather stations? Addressing a biased opinion // Weather. John Wiley and Sons Ltd, 2015. Вип. 70, № 3. С. 75-84.

27. Citizen Weather Observers. URL: <https://www.weatherhawks.com/citizen-weather-observers/> (дата звернення: 24.02.2023).

28. ДСТУ 3992-2000 Кліматологія. Терміни та визначення основних понять. Чинний від 31.10.2000 р. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2000. 45 с.

29. McEuen P.L. Small Machines // Daedalus. MIT Press, 2012. Вип. 141, № 3. С. 35-44.

30. Bogue R. MEMS sensors: past, present and future // Sensor Review. 2007. Вип. 27, № 1. С. 7-13.

31. Bolanakis D.E. MEMS Barometers Toward Vertical Position Detection // MEMS Barometers Toward Vertical Position Detection. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2017. 145 с.

32. Tadashi I. et al. Study and development of low-noise MEMS acoustic sensors // OMRON TECHNICS. 2019. Вип. 50, № 012. С. 7.

33. Umeda A. et al. Recent Insights into the Measurement of Carbon Dioxide Concentrations for Clinical Practice in Respiratory Medicine // Sensors (Basel). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 2021. Вип. 21, № 16.

34. Blanco A., Kirešová S., Guzan M. Determining the Correlation between Particulate Matter PM10 and Meteorological Factors // Eng 2022, Vol. 3, Pages 343-363. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2022. Вип. 3, № 3. С. 343-363.

35. Fioletov V., Kerr J.B., Fergusson A. The UV Index: Definition, Distribution and Factors Affecting It // Canadian Journal of Public Health. 2010. Вип. 101, № 4. С. 15-19.

36. World Meteorological Organization. Guide to Instruments and Methods of Observation (WMO-No. 8) // Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. 2018 Edition. Geneva, Switzerland: WMO, 2018. Вип. I, № 8.

37. Різак В.М., Різак І.М., Рудавський Е.Я. Кріогенна фізика і техніка. Київ: Наукова думка, 2006. 512 с.

38. Измерение температуры | Analog Devices. URL: <https://www.analog.com/ru/applications/technology/precision-sensor-interface/temperature-sensing.html> (дата звернення: 05.09.2022).

39. Childs P.R.N., Greenwood J.R., Long C.A. Review of temperature measurement // Review of Scientific Instruments. American Institute of Physics, 2000. Вип. 71, № 8. С. 2959-2978.

40. Шевченко О.Г., Сніжко С.І., Круківська А.В. Практикум з метеорології та кліматології. Київ: ФОП Маслаков, 2018. 117 с.

41. Knowles Middleton W.E. A Brief History of the Barometer // Journal of the Royal Astronomical Society of Canada. 1944. Вип. 38. С. 41-64.

42. Erhardt D., Mecklenburg M. Relative humidity re-examined // Studies in Conservation. Routledge, 1994. Вип. 39, № sup2. С. 32-38.

43. Cedeño-Laurent J.G. et al. Building Evidence for Health: Green Buildings, Current Science, and Future Challenges // Annual Review of Public Health. 2018. Вип. 39, № 1. С. 291-308.

44. The History of the Hygrometer. URL: <https://www.thoughtco.com/history-of-the-hygrometer-1991669> (дата звернення: 19.10.2022).

45. ESP32 Wi-Fi & Bluetooth MCU I Espressif Systems. URL: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32> (дата звернення: 04.01.2023).

46. The Internet of Things with ESP32. URL: <http://esp32.net/> (дата звернення: 05.01.2023).

47. DS3231 Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal | Analog Devices. URL: <https://www.analog.com/en/products/ds3231.html#product-overview> (дата звернення: 05.01.2023).

48. АНТ10 Integrated temperature and humidity sensor-Sensor-Temperature and Humidity-Guangzhou Aosong Electronic Co., Ltd. URL: <http://www.aosong.com/en/products-40.html> (дата звернення: 04.09.2022).

49. Датчики температуры и влажности для Arduino | kotyara12.ru. URL: https://kotyara12.ru/pubs/iot/th_sensors/ (дата звернення: 04.09.2022).

50. Test i2c humidity sensors - Arduino - WIKI. URL: <https://wiki.liutyi.info/display/ARDUINO/Test+i2c+humidity+sensors> (дата звернення: 04.09.2022).

51. Humidity at a Glance. Most Relevant Equations with Sample Code. // Sensirion AG, Switzerland. 2021. URL: <https://www.sensirion.com> (дата звернення: 20.03.2023).

52. Pressure Sensor BMP280 | Bosch Sensortec. URL: <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/pressure-sensors/bmp280/> (дата звернення: 05.01.2023).

53. Grigorik I. High Performance Browser Networking. O'Reilly Media, 2013. 398 с.

54. W5500 | WIZnet Co., Ltd.. URL: <https://www.wiznet.io/product-item/w5500/> (дата звернення: 07.01.2023).

55. Курниц А. FreeRTOS - операционная система для микроконтроллеров // Компоненты и Технологии. Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Файнстрит», 2011. № 8 (121).

56. el Jaouhari S., Bouvet E. Secure firmware Over-The-Air updates for IoT: Survey, challenges, and discussions // Internet of Things. Elsevier, 2022. Вип. 18. С. 100508.

57. Cui A., Costello M., Stolfo S.J. When Firmware Modifications Attack: A Case Study of Embedded Exploitation. 2013.

58. Why Telegram became the go-to app for Ukrainians – despite being rife with Russian disinformation. URL: <https://theconversation.com/why-telegram-became-the-go-to-app-for-ukrainians-despite-being-rife-with-russian-disinformation-179560> (дата звернення: 12.01.2023).

59. Air Pressure and How It Affects the Weather. URL: <https://www.thoughtco.com/low-and-high-pressure-1434434> (дата звернення: 13.01.2023).

60. Zambretti Algorithm for Weather Forecasting - SAS Support Communities. URL: <https://communities.sas.com/t5/Streaming-Analytics/Zambretti-Algorithm-for-Weather-Forecasting/td-p/679487> (дата звернення: 13.01.2023).

61. Mills D.L. Computer Network Time Synchronization: The Network Time Protocol. CRC Press, 2006. 304 с.

62. Can Filibeli M., Ozkasap O., Reha Civanlar M. Embedded web server-based home appliance networks // Journal of Network and Computer Applications. 2007. Вип. 30, № 2. С. 499-514.

63. Duquennoy S., Grimaud G., Vandewalle J.-J. Smews: Smart and Mobile Embedded Web Server // IMIS 2009 - International Workshop on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing. 2009.

64. What is a Web Application?. URL: <https://www.stackpath.com/edge-academy/what-is-a-web-application/> (дата звернення: 17.01.2023).

65. Web Application Architecture: Choosing the Right Type in 2023. URL: <https://mobidev.biz/blog/web-application-architecture-types> (дата звернення: 20.01.2023).

66. JSON. URL: <https://www.json.org/json-uk.html> (дата звернення: 17.01.2023).

67. Torre L.D. la et al. Using Server-Sent Events for Event-Based Control in Networked Control Systems // IFAC-PapersOnLine. Elsevier B.V., 2019. Вип. 52, № 9. С. 298-305.

68. Soewito B. et al. Websocket to Support Real Time Smart Home Applications // Procedia Comput Sci. Elsevier, 2019. Вип. 157. С. 560-566.

69. Skvorc D., Horvat M., Srblic S. Performance evaluation of WebSocket protocol for implementation of full-duplex web streams // 2014 37th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO 2014 - Proceedings. IEEE Computer Society, 2014. С. 1003-1008.

70. GitHub - miloyip/nativejson-benchmark: C/C++ JSON parser/generator benchmark. URL: <https://github.com/miloyip/nativejson-benchmark> (дата звернення: 19.01.2023).

71. Метеостанції - купити метеостанцію в Києві (Україна): ціна, продаж | ROZETKA. URL: https://bt.rozetka.com.ua/ua/miniweather_stations/c80183/ (дата звернення: 27.08.2022).

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А Копія демонстраційних креслень

СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЯК ЕЛЕМЕНТУ СУЧАСНОГО ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Лановський Максим Олегович
студент IV курсу спеціальності
123 «Комп'ютерна інженерія»

Гура Володимир Ігоревич
керівник роботи, к.т.н., доцент,
завідувач кафедри комп'ютерної
інженерії та інноваційних технологій

**INTERNET
of
THINGS**

2

Мета роботи

Проектування та реалізація прототипу портативної метеостанції за концепцією Інтернету речей

Актуальність

На сьогодні рішення Internet of Things застосовуються в багатьох галузях: – інтелектуальне транспортування; – агрокомплекс; – охорона довкілля; – робота державних органів; – «розумний» будинок; – «розумне» місто; – виробничий моніторинг; – охорона здоров'я тощо. Використання технологій Інтернету речей сприяє цифровій трансформації бізнесу.

Формулювання завдання

- аналіз та порівняння характеристик сучасних домашніх метеостанцій
- аналіз використання метеостанції як складової «розумного» будинку
- розроблення апаратно-програмної системи для проведення метеорологічних спостережень та реєстрації отриманих значень
- створення графічного інтерфейсу користувача для надання зручних інструментів віддаленого контролю та керування системою

Об'єкт розроблення

Автоматизована система з телекомунікаційними можливостями для проведення метеорологічних спостережень із подальшою реєстрацією метеорологічних параметрів на інформаційний носій

3

Аналіз та порівняння характеристик сучасних домашніх метеостанцій

Модель	Ціна (тис. грн)
EA2 BL501 SLIM	0,8
Technoline WS6462	0,9
La Crosse WS6867B-BLA Wi-Fi	2,6
TFA WeatherHub "Observer"	7

Назва	Функціональні можливості	Дисплей	Віддалений доступ	Інтелектуальні технології
EA2 BL501 SLIM	температура	монохромний рідкокристалльний (станція)	відсутній	відсутні
Розроблена метеостанція	температура, вологість, тиск, точна роси, прогноз погоди	відсутній	за допомогою вебдодатку або Telegram-бота; бездротове та дротове підключення до роутера	за допомогою вебдодатку та Telegram-бота: перегляд вимірювань та погодних умов, сповіщення, експорт даних; тільки за допомогою вебдодатку: журнал даних та діаграми
Technoline WS6462	температура, вологість, тиск, точна роси, прогноз погоди	кольоровий рідкокристалльний (станція)	відсутній	відсутні
La Crosse WS6867B-BLA Wi-Fi	температура, вологість, точна роси, проливні погоди, кількість опадів, швидкість і напрямки вітру	кольоровий рідкокристалльний (станція)	за допомогою окремого додатку; бездротове підключення до роутера	за допомогою окремого додатку: перегляд вимірювань, погодних умов, журнал даних та діаграми
TFA WeatherHub "Observer"	температура, вологість	монохромний рідкокристалльний (давачі)	за допомогою окремого додатку або вебплатформи; дротове підключення до роутера	за допомогою окремого додатку або вебплатформи: перегляд вимірювань та погодних умов, журнал даних та діаграми, сповіщення (push або email), експорт даних

4

Аналіз використання метеостанції як складової «розумного» будинку

«Розумне» житло – одне з найпоширеніших і зростаючих галузей Інтернету речей.

«Розумні» будинки націлені на підвищення рівня комфорту користувачів та полегшення повсякденного життя, раціонального використання ресурсів, надання мешканцям інтелектуального оточення та можливостей дистанційного контролю і керування будинком. Також використовуються для охорони здоров'я та домашньої безпеки.

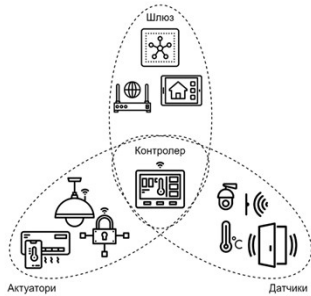
Житло

Орієнтовна економічна цінність впровадження Інтернету речей до 2030 року¹, впорядковано за галуззю, млрд дол. США

¹ Джерело: Where and how to capture accelerating IoT value | McKinsey.
URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/iot-value-set-to-accelerate-through-2030-where-and-how-to-capture-it/#>

Аналіз використання метеостанції як складової «розумного» будинку

5

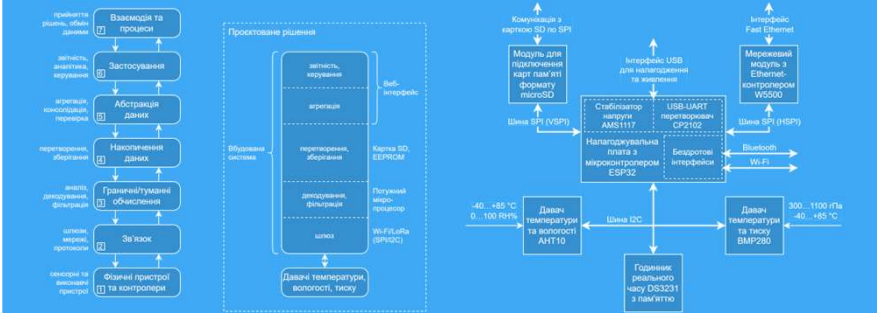


Типи пристроїв «розумного» житла та їхній взаємозв'язок

- Чотири основні типи пристроїв:
- контролер – керівний пристрій, що з'єднує елементи системи один з одним
 - шлюз – система, котра управляє інтерфейсами користувача й підключенням до системи за допомогою смартфона, комп'ютера тощо
 - датчики – прилади, які збирають дані внутрішнього/зовнішнього середовища будинку
 - актуатори – виконавчі пристрої, які безпосередньо виконують команди (вимикачі, розетки, клапани, сирени тощо)

Розроблення апаратно-програмної системи

6

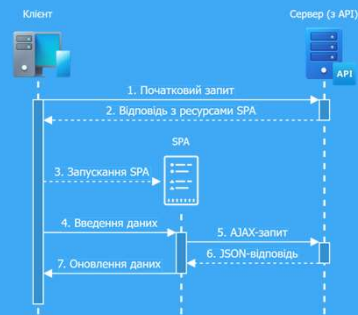


Семирівнева модель Інтернету речей (зліва) та рівні роботи проектованої системи (справа)

Структурна схема пристрою

Створення графічного інтерфейсу користувача

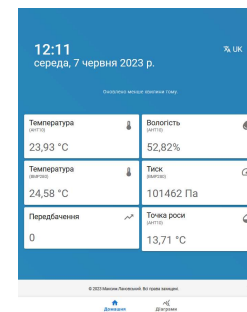
7



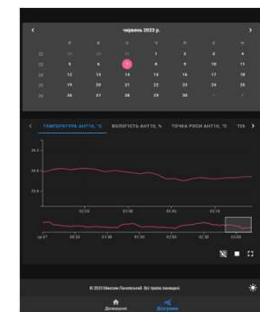
Комунікація клієнта та сервера за моделлю single-page application

Створення графічного інтерфейсу користувача

8



а



б

- Інтерфейс користувача створеного вебдодатка:
- а) оглядова сторінка з поточними метеорологічними параметрами
 - б) сторінка вибору діаграм за датою для перегляду змін параметрів за часом

Створення графічного інтерфейсу користувача

9



а



б

Вигляд сторінки зміни налаштувань метеостанції:
а) вкладка «Мережа» з параметрами мережевих інтерфейсів
б) вкладка «Час» із налаштуваннями NTP-сервера та часового поясу

Змінімо майбутнє разом!

10



Дякую за увагу!

Лановський Максим Олегович
студент IV курсу спеціальності
123 «Комп'ютерна інженерія»

ДОДАТОК Б

Алгоритм та фрагмент тексту програми метеостанції

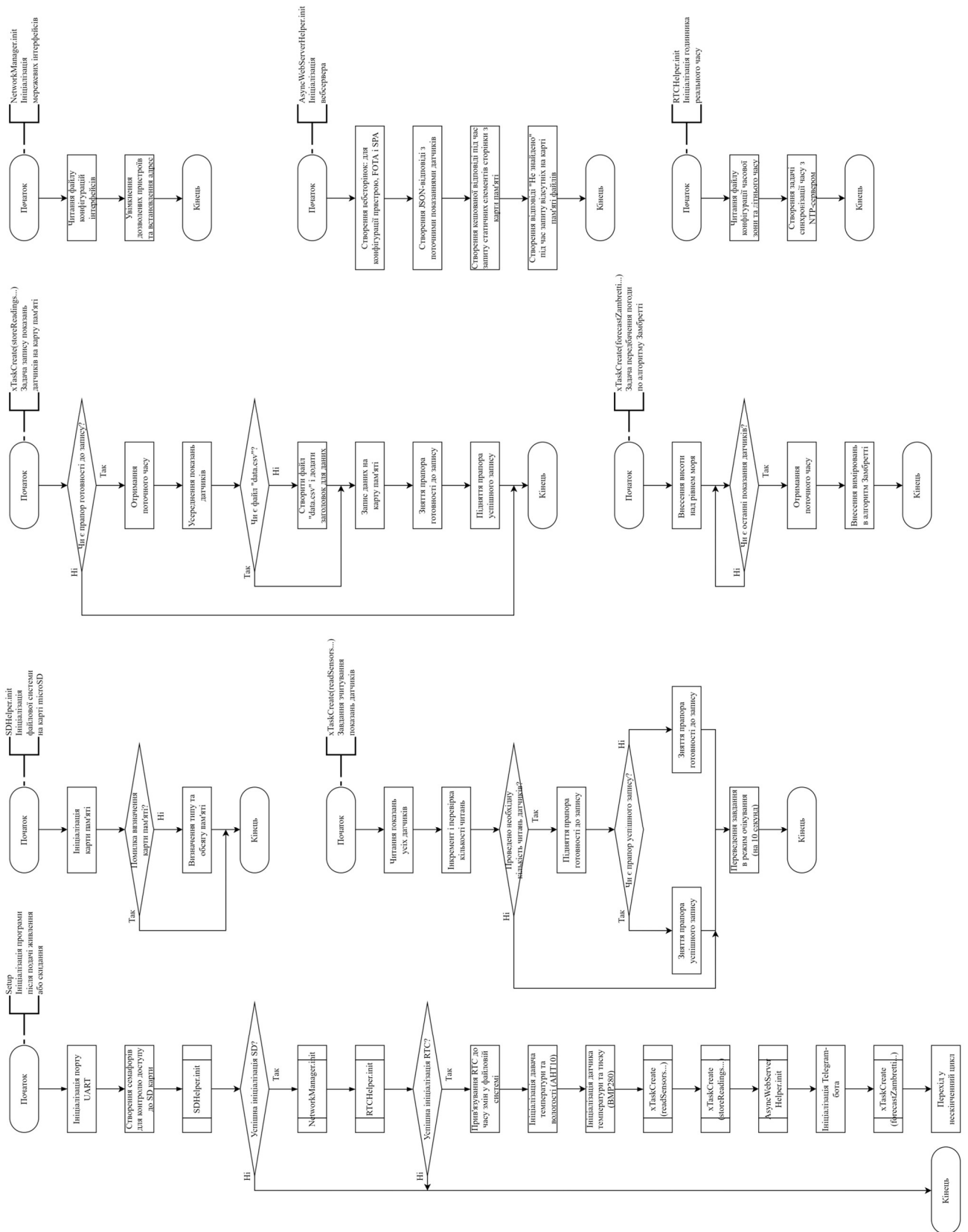


Рисунок Б.1 – Блок-схема алгоритму програми метеостанції

Лістинг Б.1 – Фрагмент тексту підпрограми «Setup» метеостанції

```
...
// оголошення функції ініціалізації
void setup() {
    // ініціалізація послідовного порту для налагодження
    Serial.begin(115200);
    Serial.setDebugOutput(ENABLE_DEBUG_DECODE);
    Serial.println("\nInitializing ESP32 modules...");
    // ініціалізація семафорів для взаємодії з SD карткою
    SDLockResource = xSemaphoreCreateMutex();
    SDLockRW = xSemaphoreCreateMutex();
    // ініціалізація модулів: SD, RTC, мережеві інтерфейси тощо
    if (!SDHelper.init(&filesystem)) {
        setup_status |= ESP_SETUP_SD_CARD_FAIL;
    } else {
        NetworkManager.init(filesystem);
    }
    if (!RTCHelper.init(filesystem)) {
        setup_status |= ESP_SETUP_RTC_FAIL;
    } else {
        FsDateTime::setCallback(getDateTimeRTC);
    }
    if (!AHT10Helper.init()) {
        setup_status |= ESP_SETUP_AHT10_FAIL;
    }
    if (!BMP280Helper.init()) {
        setup_status |= ESP_SETUP_BMP280_FAIL;
    }
    Serial.print("Initialized status: 0x");
    Serial.println(setup_status, HEX);
    ...
    // виклик функцій для створення додаткових задач FreeRTOS
    // оновлення значень давачів
    initSensorUpdater();
    // ініціалізація вебсервера
    initWebServer();
    asyncServer.begin();
    // ініціалізація Telegram-бота
    initTelegramBot();
    msgTemplate.reserve(TELEGRAM_MSG_MAX_SIZE);
    // ініціалізація моделі передбачення погоди
    initForecasterTask();
}
...
```

ДОДАТОК В Копія публікацій

М. О. Лановський
студент IV курсу спеціальності 123 – Комп'ютерна інженерія
факультету кібербезпеки, програмної інженерії та комп'ютерних наук
Міжнародний гуманітарний університет
Науковий керівник: В. І. Гура
кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри комп'ютерних наук та інноваційних технологій
факультету кібербезпеки, програмної інженерії та комп'ютерних наук
Міжнародний гуманітарний університет
м. Одеса, Україна

ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ДЛЯ ПОЛІПШЕННЯ ЕНЕРГООЩАДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У БУДІВЛЯХ

Анотація. У статті окреслене поняття Інтернету речей, висвітлені структура, переваги та приклади реалізації системи «розумної» будівлі. Проведений аналіз використання технологій Інтернету речей для досягнення енергетичної ефективності та збереження довкілля.

Ключові слова: енергоефективність, енергоменеджмент, цифровізація, автоматизація, Інтернет речей, розумний будинок.

Актуальність теми. Інтернет речей (Internet of Things або IoT) активно впроваджується в різних галузях: від промисловості та транспортування до охорони здоров'я, агрокомплексів та будівництва «розумних» будинків та міст. Технології IoT можна використовувати для підвищення енергоефективності, збільшення частки відновлюваної енергії та зменшення впливу на довкілля. Споживання енергії та збереження довкілля – це ті галузі, що мають багато відкритих питань, які бурхливо обговорюються у всьому світі [1–3]. Якщо врахувати постійне підвищення цін на енергоносії, то створення енергоефективних споруд та систем в Україні – це не просто модна тенденція чи примха, а необхідність часу. Наша країна робить кроки у вищезгаданому напрямку: 2021 року був прийнятий Закон України «Про енергетичну ефективність», який визначає механізми, цілі та вимоги щодо зменшення споживання енергії будівлями [4].

Згідно зі схваленою Кабінетом Міністрів «Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 роки» [5], «цифровізація є визнаним механізмом економічного зростання завдяки здатності технологій позитивно впливати на ефективність, результативність, вартість та якість економічної, громадської та особистої діяльності». Тому метою даної роботи є аналіз засобів та методів досягнення енергетичної ефективності та збереження довкілля з допомогою цифрових технологій Інтернету речей.

Формулювання завдання. У рамках цієї статті необхідно виконати такі завдання: – окреслити поняття та принципи Інтернету речей; – висвітлити структуру та переваги «розумної» будівлі; – схарактеризувати застосування технологій Інтернету речей на прикладі систем опалення будівлі.

Концепція Інтернету речей – популярна та передова тенденція в розвитку сучасних інформаційно-комунікаційних технологій, яка здатна серйозно вплинути на розвиток сучасного суспільства, оскільки надає змогу багатьом процесам відбуватися без участі людини [1,6].

Щоби зрозуміти термін «Інтернет речей», потрібно спочатку схарактеризувати складові поняття: «інтернет» та «речі». Інтернет революціонізував комунікації, надаючи змогу різним комп'ютерним мережам у всьому світі об'єднатися для обслуговування мільярдів користувачів, використовуючи стандартний набір протоколів для швидкої, надійної та безпечної передачі інформації. До цієї глобальної мережі почали підключати «речі» – будь-які фізичні об'єкти, які можна розрізнити в реальному світі. Такі об'єкти включають не тільки електронні пристрої, наприклад, смартфони, персональні комп'ютери, але і предмети, які не вважаються електронними – їжа, одяг, меблі, деталі, обладнання та т.ін. [1] До цих предметів додають малогабаритні комп'ютери з телекомунікаційними можливостями, сенсори, що

збирають різноманітні дані, й актуатори для впливу на середовище. Зменшення розміру, споживання енергії та економічних витрат на виготовлення обладнання, зумовлене науково-технічним прогресом за останні десятиліття, дало нагоду виробляти мініатюрні та недорогі цифрові прилади, які активно використовуються в Інтернеті речей [7]. Але концепція IoT являє собою не просто мережевий зв'язок різноманітних датчиків та пристроїв, а щільну інтеграцію реальних речей у віртуальні системи, які здатні вирішувати різноманітні завдання та в яких здійснюється взаємодія людей і приладів. Прикладами таких завдань є підвищення ефективності праці, полегшення повсякденного життя, заощадження енергії, створення цифрової моделі фізичного об'єкта чи процесу («цифрового двійника») і под. [2,3,6].

Міністерство розвитку громад та територій України спільно з Німецьким товариством міжнародного співробітництва у 2018 році створили звіт «Система енергоефективності в Україні», який показує, що наша держава споживає майже 52 млн тонн нафтового еквівалента (тне). Найбільшим споживачем енергії є побутовий сектор – 17,6 млн тне, що складає ~35 % споживання країни [8].

Однією з поширених галузей використання Інтернету речей є «розумна» будівля – будинок, оснащений датчиками та системами керування з можливостями автоматизації, зв'язку й аналітики. Ці системи об'єднуються у єдину інфраструктуру, генерують та опрацьовують великі обсяги даних задля інтелектуального контролю та управління будівлею, підвищення надійності та продуктивності, заощадження енергії та ресурсів і, що більш важливо, забезпечення комфортного, гнучкого та безпечного середовища для мешканців. Тобто, на відміну від «розумного» будинку, у якому об'єднані в мережу окремі житлові приміщення, термін «розумна» будівля означає цифровізацію будівлі (наприклад, навчального закладу, офісу, лікарні, житлового комплексу тощо) загалом [3,9,10].

Згідно з роботою [11], «розумні» будівлі складаються з трьох основних систем інтелектуального контролю та керування: а) інформаційна система. Отримує дані від систем збору даних, агрегує їх, надає інструменти звітності та візуалізації для розуміння тенденцій, що дає змогу робити висновки про продуктивність і приймати цілеспрямовані рішення; б) система аналізу. Виконує подальший аналіз для виявлення конкретних проблем, на які можуть неявно вказувати зібрані дані. У рамках цієї системи зазвичай використовується моделювання для забезпечення можливостей своєчасного виявлення та діагностики несправностей; в) система управління. Підключається та керує в будівлі обладнанням, наприклад, системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря та системи освітлення, використовуючи програмовані розклади й умови для зміни заданих значень та інших параметрів. Складові структури «розумного» будинку зображені на рис. 1.



Рис. 1. Структура «розумної» будівлі

Переваги «розумної» будівлі можуть бути узагальнені в такий спосіб [3,12]: – скорочення витрат: завдяки системам «розумної» будівлі можна суттєво знизити споживання енергії та ресурсів, що також

зменшує викиди CO₂, позитивно впливаючи на довкілля. Це вигідно як для мешканців, так і власників будівель; – безпека: відеоспостереження, виявлення пожежі, витoku газу, використання систем самодіагностики та можливість оповіщення, коли обладнання виходить із ладу або його продуктивність починає знижуватися; – комфорт мешканців: «розумні» будинки вивчають поведінку та вподобання користувачів і прагнуть максимізувати їхній комфорт; – охорона здоров'я: у всіх рішеннях «розумних» будівель здоров'я мешканців має найвищий пріоритет, тому забезпечується підтримання, наприклад, відповідної температури, параметрів стану повітря та інтенсивності освітлення; – економія часу: автоматизація щоденних процедур може значно заощадити час; – надання підтримки: «розумні» будівлі можуть покращити якість життя людей похилого віку та інвалідів, забезпечуючи безпечне та комфортне середовище.

Приклади застосування технологій IoT у будівлях наведені в роботі [3]: – створення інтелектуального шаблону для будівництва енергоефективних будівель із сенсорно-орієнтованою архітектурою; – інтеграція системи моніторингу та управління будівлею (СМУБ), яка збирає дані, контролює та збільшує енергетичну ефективність, що допомагає термомодернізації для відповідності сучасним енергетичним вимогам, та забезпечує дистанційний та безперервний нагляд за всіма технічними системами.

Майже 70 % житла в Україні було збудовано у 1946-1990 рр. з застосуванням низьких стандартів енергоефективності, що призводить до надмірного споживання енергії навіть після модернізації джерел тепла. У такому випадку потрібно виконувати термомодернізацію самої будівлі, оскільки більша частина тепла втрачається саме через стіни та вікна [8].

Зупинимось на СМУБ для вже побудованих будівель. Автори роботи [3] пропонують використовувати «розумні» термостати на базі IoT для запобігання неефективної роботи системи опалення, що призводить до додаткових витрат на енергоносії та викидів забруднювальних речовин у довкілля. Такі термостати можуть впливати на систему ОВК будівлі та контролювати температуру в приміщенні, оскільки вони можуть зображати тепловий стан кожної кімнати. На основі цих даних СМУБ може розробляти теплові моделі відповідно до енергоефективності та комфорту мешканців. Іншим рішенням може бути використання датчиків присутності в кожній кімнаті, щоби зменшити нагрівання незайнятих кімнат, але зберегти задану температуру в потрібних.

Висновки. Проведено аналіз засобів та методів досягнення енергетичної ефективності та збереження довкілля з використанням Інтернету речей. Визначено, що найкраще рішення щодо впровадження IoT для зниження енергоспоживання в будівлях та збереження довкілля не завжди можна знайти. Це пов'язано з тим, що кожне застосування залежить від цілей використання, розташування, застосованих під час будівництва стандартів енергоефективності та характеристик будівлі. Але в будь-якому разі Інтернет речей може стати потужним інструментом для: моніторингу та підвищення ефективності споживання енергії та ресурсів у житлових, комерційних та ін. будівлях, що зменшить викид шкідливих речовин у довкілля; реалізації державної політики щодо енергетичної ефективності для стимуляції формування екологічної відповідальності громадян України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Madakam S., Ramaswamy R., Tripathi S. Internet of Things (IoT): A Literature Review // Journal of Computer and Communications. Scientific Research Publishing, Inc, 2015. Вип. 03, № 05. С. 164–173.
2. Уривський Л.О. et al. Дослідження і розробка рішень Інтернету речей широкого застосування // Sciences of Europe. Global Science Center LP, 2019. Вип. 1, № 36. С. 39–54.
3. Metallidou C.K., Psannis K.E., Egyptiadou E.A. Energy Efficiency in Smart Buildings: IoT Approaches // IEEE Access. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. Вип. 8. С. 63679–63699.
4. Мінрегіон вперше в Україні встановив мінімальні вимоги до енергоефективності будівель – Мінрегіон. URL: <https://www.minregion.gov.ua/press/news/minregion-vpershe-v-ukrayini-vstanovyv-minimalni-vymogy-do-energoefektyvnosti-budivel/> (дата звернення: 05.10.2022).
5. Про схвалення Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 роки та затвердження плану заходів щодо її реалізації | від 17.01.2018 № 67-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/67-2018-%D1%80#Text> (дата звернення: 10.10.2022).
6. Жураковський Б.Ю., Зенів І.О. Технології інтернету речей. Навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 271 с.
7. Fleisch E. What is the Internet of Things? : An Economic Perspective // Economics, Management, and Financial Markets. New York, NY: Addleton Academic Publishers, 2010. Вип. 5, № 2. С. 125–157.
8. Мінрегіон спільно з GIZ підготували звіт «Система енергоефективності в Україні» – Мінрегіон. URL: <https://www.minregion.gov.ua/press/news/minregion-spilno-z-giz-pidgotuvali-zvit-sistema-energoefektivnosti-v-ukrayini/> (дата звернення: 09.10.2022).

9. King J., Perry C. Smart buildings: Using smart technology to save energy in existing buildings. American Council for an Energy-Efficient Economy Washington, DC, USA, 2017.
10. Karimi R. et al. Smart Built Environment Including Smart Home, Smart Building and Smart City: Definitions and Applied Technologies // Advances and Technologies in Building Construction and Structural Analysis. IntechOpen, 2021.
11. The three types of smart building systems: the way forward for practitioners and vendors | by Joseph Aamidor | Medium. URL: <https://medium.com/@jaamidor/the-three-types-of-smart-building-systems-the-way-forward-for-practitioners-and-vendors-bccdf9d005f4> (дата звернення: 08.10.2022).
12. Batov E.I. The distinctive features of «smart» buildings // Procedia Eng. Elsevier Ltd, 2015. Вип. 111. С. 103–107.

M. Lanovskyi. Implementation of Internet of Things to improve energy-saving technologies in buildings. – Article.

Summary. In this paper, the author defines the concept of the Internet of Things and specifies the structure, benefits, and examples of implementation of the smart building system. The usage of Internet of Things technologies to achieve energy efficiency and environmental protection was analyzed.

Key words: energy efficiency, energy management, digitalization, automation, Internet of Things, smart building.

УДК (004.94+004.67)

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5682/2022/37/36>

Т. Д. Чернова

*студентка IV курсу спеціальності 123 – Комп'ютерна інженерія
факультету кібербезпеки програмної інженерії та комп'ютерних наук
Міжнародний гуманітарний університет
м. Одеса, Україна*

Д. І. Власенко

*студент IV курсу спеціальності 123 – Комп'ютерна інженерія
факультету кібербезпеки програмної інженерії та комп'ютерних наук
Міжнародний гуманітарний університет
Науковий керівник: ***В. І. Гура***
кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри комп'ютерних наук та інноваційних технологій
факультету кібербезпеки, програмної інженерії та комп'ютерних наук
Міжнародний гуманітарний університет
м. Одеса, Україна*

ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ВИВЧЕННІ ПРИРОДИ ЧОРНИХ ДІР

Анотація. Звернення до проблеми дослідження моделювання природи виникнення чорних дір зумовлене сучасними тенденціями у вивченні космології. Розглядаються питання про фізику чорних дір, а також можливість моделювання з використанням сучасних суперкомп'ютерних технологій. Ставляться завдання аналізувати можливості сучасних суперкомп'ютерів для вирішення завдань для пошуку первинних чорних дір. Увага сконцентрована на можливості отримання реальних фотографій чорних дір.

Ключові слова: чорна діра, горизонт подій, суперкомп'ютери, гравітаційні хвилі, моделювання, симуляція.

Актуальність теми. Для вивчення природи чорних дір слід розібратися в їх структурі і поведінці, а також ознайомитися з моделюванням фізичних процесів, завдяки яким астрономи проводять ретельне моделювання на суперкомп'ютерах, яке допомагає розібратися в багатьох питаннях шляхом проведення симуляції.

I. Katerynenko. Organization of distance education in mathematics. – Article.

Summary. The article is devoted to the organization of distance education in mathematics at the modern stage. The peculiarities of its introduction into the educational process are formulated. The opportunities opened up by distance learning for all participants of the educational process, platforms for implementing the idea of distance learning are presented.

Key words: distance learning, online communication, video conference, synchronous and asynchronous interaction, blog, e-mail, chat, forum, Google Classroom platform, Zoom platform, Moodle platform.

УДК 004.5/004.7+551.5

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5682/2023/38/41>

М. О. Лановський

студент IV курсу спеціальності 123 – Комп'ютерна інженерія
факультету кібербезпеки, програмної інженерії та комп'ютерних наук
Міжнародний гуманітарний університет

Науковий керівник: **В. І. Гура**

кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри комп'ютерних наук та інноваційних технологій
Міжнародний гуманітарний університет
м. Одеса, Україна

РОЗГЛЯД ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ НА ПРИКЛАДІ СИСТЕМИ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Анотація. У статті розглянуто використану еталонну модель Інтернету речей, описано спроектовану апаратну частину універсальної системи реєстрації метеорологічних параметрів та створений вебінтерфейс користувача.

Ключові слова: Інтернет речей, метеостанція, дистанційне керування, граничні обчислення, вебдодаток.

Актуальність теми. Розвиток і поширення технологій Інтернету речей уможливили створення автоматизованих систем збору метеорологічних даних. Такі системи реєструють потрібні показники середовища та надають можливість віддаленого моніторингу та керування у режимі реального часу, наприклад, за допомогою спеціального застосунку для смартфона. Системи дистанційного моніторингу, які використовують технології Інтернету речей, довели свою ефективність у метеорологічних спостереженнях, особливо в регіонах з екстремальними погодними умовами – ураганами, торнадо та повенями [1–3].

Метою роботи є розгляд особливостей використання технологій Інтернету речей на прикладі створеного автором універсального програмно-апаратного комплексу для вимірювання метеорологічних параметрів: температура, відносна вологість, атмосферний тиск – й обчислення температури точки роси. Інтерфейсом користувача для віддаленого контролю та керування являє собою розроблений автором односторінковий додаток, взаємодіяти з яким можливо за допомогою будь-яких сучасних пристроїв із веббраузером без необхідності підключення до інтернету. Універсальність полягає в можливості переобладнання та використання комплексу не лише в галузі метеорології або домашньої автоматизації, але й у промисловому моніторингу, агрокомплексах, транспортуванні, охороні здоров'я тощо.

Для досягнення мети потрібно вирішити такі **завдання**: – розглянути використану еталонну модель Інтернету речей; – описати спроектовану апаратну частину системи метеорологічних спостережень; – описати створений інтерфейс взаємодії користувача з розробленими рішеннями через веббраузер.

Перед початком проектування потрібно обрати певну еталонну модель для подальшого розроблення та вдосконалення рішення Інтернету речей. Було проаналізовано різні моделі й архітектури Internet of

Things [2; 4–6]. Зважаючи на високий рівень складності та тенденції розвитку концепції IoT, для побудови системи було обрано семирівневу модель.

7-рівнева модель Інтернету речей опублікована компанією Cisco у 2014 році та складається з таких рівнів: «фізичні пристрої та контролери», на якому знаходяться різноманітні пристрої, датчики та контролери, які відповідають за управління обладнанням; «зв'язок» визначає мережеву апаратуру та протоколи зв'язку; «граничні/туманні обчислення» надає можливість здійснювати декодування, фільтрацію, впорядкування та аналіз даних із пристроїв; «накопичення даних» виконує перетворення «даних в русі» (дані, що генеруються пристроями та передаються мережею) в «дані у спокої» (дані, які містяться у доступному сховищі) та зберігає їх для подальшої обробки; «абстракція даних» – рівень, на якому виконується агрегування, консолідація та інші маніпуляції з даними; «застосування» надає користувачам доступ до потрібних даних, інтерпретує їх у необхідному вигляді та надає інструменти управління, інтелектуального аналізу та звітності; «взаємодія та процеси» (іноді «інтеграція з бізнесом» [4]) – середовище взаємодії суб'єктів із системою, які приймають рішення і виконують дії на підставі зібраних даних.

З огляду на вимогу щодо контролю та керування пристроєм без підключення до інтернету, створюване рішення базується на рівні «граничних обчислень». Система виконує роль шлюзу і має деякі функціональні можливості вищих рівнів: перетворення, зберігання даних та надання користувачеві інструментів керування та звітності – і використовується як децентралізований компонент системи обробки та зберігання даних. Це усуває необхідність постійного підключення до, наприклад, центрального сервера через інтернет, передбачає локальне збереження й аналіз даних, а також розподіляє логіку роботи між пристроями. Таким способом зменшується навантаження на мережу і час реакції на запити користувача, що збільшує масштабованість та адаптивність IoT-системи. Основними недоліками цієї моделі є збільшена складність загальної структури мережі та обмеженість обчислювальних потужностей граничних вузлів [3; 4; 7]. Але у даному застосуванні вони можуть бути частково усунені.

Використану семирівневу модель Інтернету речей та рівні, на яких працює проєктоване рішення, зображено на рис. 1.

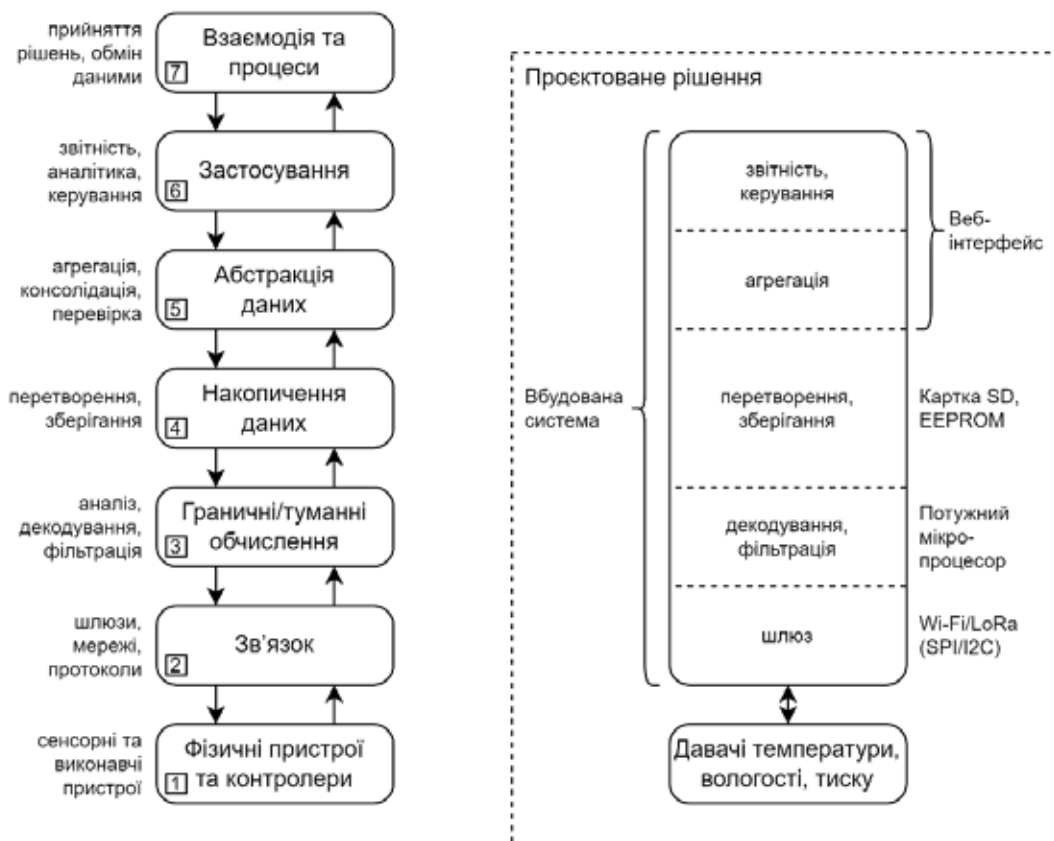


Рис. 1. Семирівнева модель Інтернету речей (зліва) та рівні роботи проєктованої системи (справа)

У результаті аналітичного огляду та порівняння компонентів автор обрав такі компоненти для створення пристрою: налагоджувальна плата з мікроконтролером ESP32 від фірми Espressif Systems, який часто використовується для побудови IoT-рішень; модуль для підключення картки пам'яті microSD; модуль з годинником реального часу DS3231 від Maxim Integrated для утримання поточного часу навіть після відключення живлення; модуль вимірювання атмосферного тиску з датчиком BMP280 від компанії Bosch Sensortec; модуль вимірювання температури та вологості з датчиком AHT10 від компанії ASAIR.

Структурну та електричну схеми, які створені відповідно до моделі (див. рис. 1) та використовують вказані вище компоненти, наведено на рис. 2 і 3.

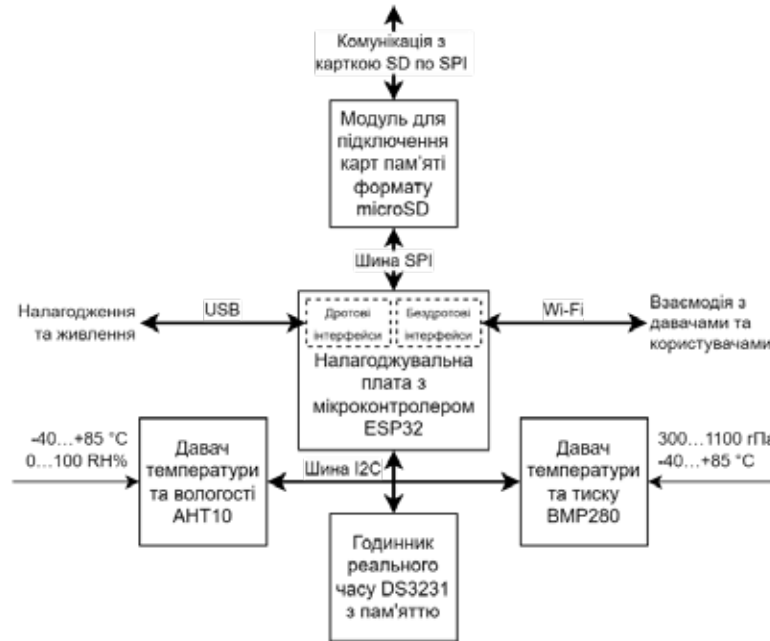


Рис. 2. Структурна схема пристрою

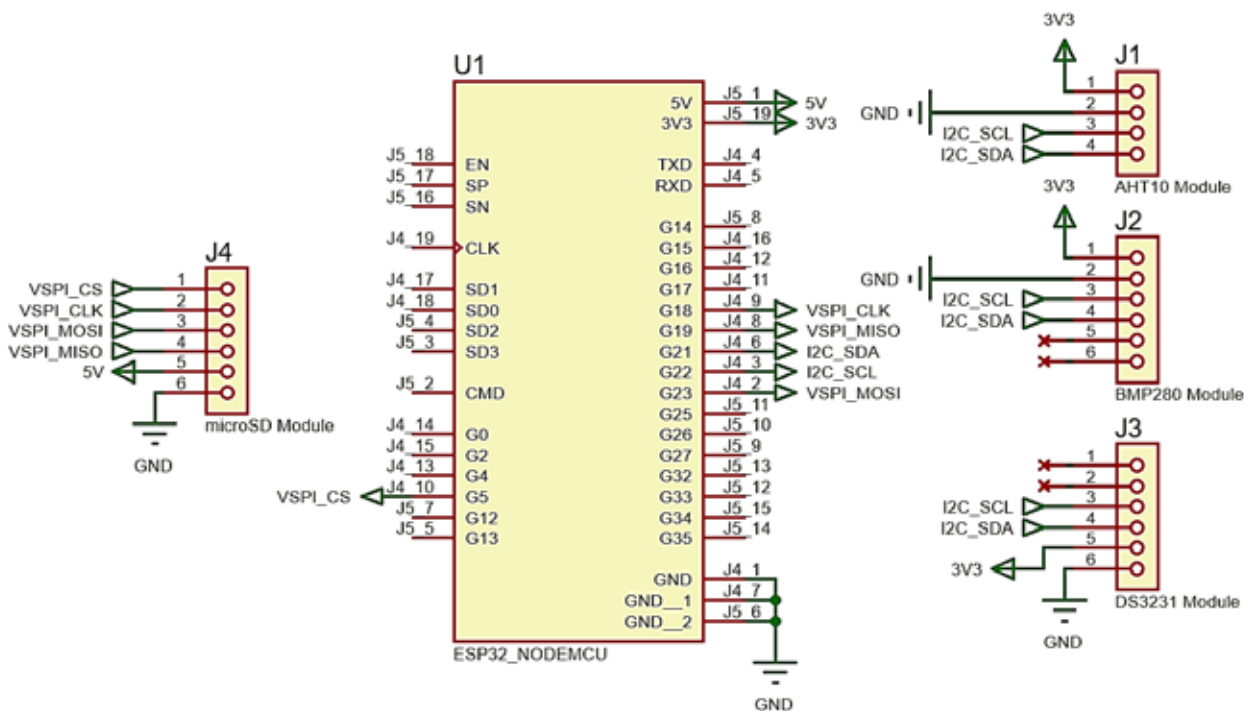


Рис. 3. Електрична принципова схема пристрою

Розроблене IoT-рішення використовує мікроконтролер ESP32, який виконує роль шлюзу і керує всією системою. До шлюзу підключені датчики, які вимірюють параметри середовища: АНТ10 та BMP280 – і перетворюють їх у цифровий сигнал для подальшої передачі шиною I2C. До цієї ж шини підключений годинник реального часу DS3231, який виконує незалежний від центрального вузла відлік поточних дати та часу і живиться від батарейки CR2032. За допомогою шини SPI мікроконтролер керує файловою системою на підключеній картці формату microSD, де зберігаються зареєстровані вимірювання та вебінтерфейс. Пристрій розрахований на живлення від джерела постійного струму напругою 5 В.

Використаний мікроконтролер підтримує стек TCP/IP і має мережевий інтерфейс Wi-Fi, тому може використовуватися як вебсервер. У такому випадку інтерфейс являє собою відправлену сервером вебсторінку, яка може містити не тільки текст, але й програми JavaScript, малюнки, посилання, фотографії, відео та аудіо. Використання цього вебінтерфейсу замість традиційних кнопок і дисплеїв знижує вартість розроблення апаратної частини та підвищує зручність користування. Такий інтерфейс відображається у веббраузері, наприклад, смартфона користувача за умови підключення до мережі з мікроконтролером [8].

Вебзастосунок – вебсторінки з програмами JavaScript, які можуть функціонувати як прикладне програмне забезпечення. Мають архітектуру «клієнт-сервер», де клієнт взаємодіє з вебсервером за допомогою браузера. Найчастіше логіка вебзастосунку розподілена між сервером і клієнтом, а зберігання даних здійснюється переважно на сервері [8]. Але, попри обмежену обчислювальну потужність мікроконтролера, потрібно застосувати деякі методи та підходи для ефективного використання наявних ресурсів. Оскільки нинішні веббраузери працюють на порівняно потужних електронно-обчислювальних машинах, то процес генерації всієї сторінки можна змістити з сервера на браузер. Для цього автор побудував клієнтську частину за моделлю односторінкового застосунку (single-page application, SPA) – вебдодатку, який складається з однієї сторінки, що динамічно переписується за допомогою JavaScript оновленими даними з вебсервера під час взаємодії з користувачем. Створений SPA переносить логіку з сервера до клієнта, а вебсервер на мікроконтролері перетворюється на суто прикладний інтерфейс доступу до даних. На рис. 4 наведено діаграму послідовності комунікації клієнта та сервера за моделлю односторінкового застосунку.



Рис. 4. Комунікація клієнта та сервера за моделлю single-page application

За HTTP запитом мікроконтролер надсилає файли вебзастосунку за допомогою Wi-Fi до браузерного клієнта, а останній запускає SPA після отримання. Далі через цей додаток клієнт отримує базу даних вимірювань з сервера та, наприклад, візуалізує графіки залежності метеорологічних величин від часу.

На рис. 5 зображено зовнішній вигляд інтерфейсу користувача у створеному вебдодатку, який побудовано з використанням сучасних фреймворків із відкритим вихідним кодом – Vue.js і Vuetify. Вебінтерфейс

складається з двох сторінок. На першому знімку екрана (див. рис. 5а) показано основну оглядову сторінку з динамічним фоном, який змінюється залежно від місцевого часу. Ця сторінка містить поточні виміряні та розраховані метеорологічні параметри, а також елементи вибору локалізації (українська або англійська мова) та зміни колірної гами («темна» або «світла» тема). На другому знімку екрана (див. рис. 5б) показано сторінку діаграм, на якій можна вказати дату та побачити графіки зміни таких метеорологічних параметрів із відміткою використаного датчика: температура, вологість, тиск та температура точки роси – у режимі реального часу. Можливість перегляду графіків вимірювань за останню добу надає можливість, наприклад, проаналізувати якість роботи системи опалення, зволоження або якість теплоізоляції за останні години.

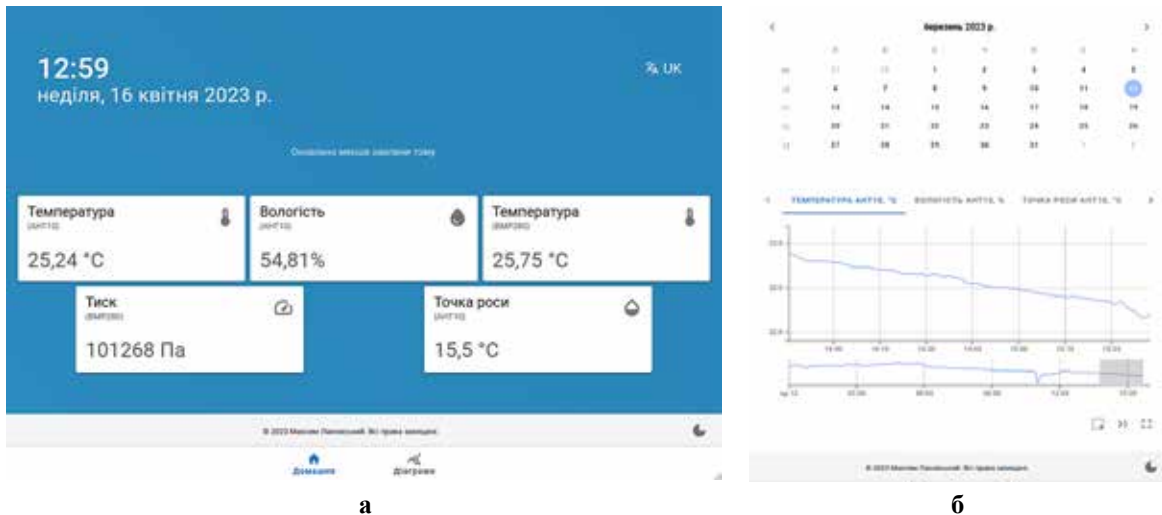


Рис. 5. Зовнішній вигляд інтерфейсу користувача у вебдодатку:
 а) оглядова сторінка з поточними метеорологічними параметрами;
 б) сторінка вибору діаграм за датою для перегляду змін параметрів

Висновки. У роботі розглянуто особливості використання технологій Інтернету речей на прикладі створеного автором універсального програмно-апаратного комплексу для вимірювання, розрахунку та реєстрації метеорологічних параметрів, який може бути використаний у різних галузях та переобладнаний необхідними інтерфейсами та/або датчиками. Описано апаратну частину, до якої входять: мікроконтролер ESP32 з інтегрованим мережевим інтерфейсом; давач температури та відносної вологості АНТ10; датчик атмосферного тиску та температури BMP280; модуль з годинником реального часу DS3231; модуль для підключення картки пам'яті формату microSD, на якій зберігаються зібрані станцією дані та файли вебзастосунку. Описано односторінковий додаток як інтерфейс для взаємодії користувача з пристроєм. Він надає можливість змістити обчислювальне навантаження зі сторони сервера (мікроконтролера) на сторону клієнта (веббраузера). Цей тип інтерфейсу може відобразитися у веббраузері будь-якого сучасного пристрою, якщо останній підключений до мережі з мікроконтролером.

ЛІТЕРАТУРА

1. Vermesan O., Friess P. Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems. River Publishers, 2013. 364 с.
2. Самойленко М.Ю. Принципи застосування технології Інтернет речей у сучасному світі техніки. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2020. Вип. 31 (70). № 6 Частина 1. С. 142–148.
3. Ioannou K. et al. Low-Cost Automatic Weather Stations in the Internet of Things. *Information*. 2021. Vol. 12. P. 146.; *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*. 2021. Вип. 12, № 4. С. 146.
4. Santos M.G. dos et al. Internet of Things Architectures: A Comparative Study. *ArXiv*. 2020.
5. Guth J. et al. Comparison of IoT platform architectures: A field study based on a reference architecture. *2016 Cloudification of the Internet of Things (CIoT)*. IEEE, 2016. С. 1–6.
6. Жураковський Б.Ю., Зенів І.О. Технології інтернету речей : навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 271 с.

7. Arnold L. et al. A Taxonomy of Industrial IoT Platforms' Architectural Features. *Lecture Notes in Information Systems and Organisation*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. 2021. Вип. 48 LNISO. С. 404–421.
8. Duquennoy S., Grimaud G., Vandewalle J.-J. Smews: Smart and Mobile Embedded Web Server. IMIS 2009 – International Workshop on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing. 2009.

M. Lanovskyi. Consideration of IoT technologies usage specifics on the meteorological observation system case study. – Article.

Summary. The article considers the used Internet of Things reference model. The author describes designed hardware of the versatile meteorological parameters recording system and the user web interface.

Key words: Internet of Things, weather station, remote control, edge computing, web application.

УДК 330.341.1:332.1(477):001.891

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5682/2023/38/42>

Н. П. Мельниченко

кандидат технічних наук,

доцент кафедри гірничих машин та обладнання

Криворізький національний університет

м. Кривий Ріг, Дніпропетровська область, Україна

ІНФОРМАЦІЙНІ КОМПЕТЕНТНОСТІ В ТЕХНІЧНІЙ ОСВІТІ

Анотація. Стаття призначена для висвітлення проблем технічної освіти, що виникли у сучасних умовах та роздуми, щодо їх розв'язання.

Ключові слова: технічна освіта, наука, інженер, активізація навчального процесу, інформаційні компетентності.

Становлення нових соціально-економічних і політичних відносин в українському суспільстві зумовили необхідність перегляду вимог до організації та реалізації технічної освіти, оскільки успішність намічених в Україні перетворень великою мірою залежить від того, як відповідають вимогам суспільства набуті знання молодих фахівців. Сьогодні перед вищою школою стоїть завдання побудови системи освіти таким чином щоб підготувати з молоді людини фахівця та закласти в нього розуміння необхідності навчатись, самовдосконалюватись протягом всього життя.

Відмінною рисою кваліфікованого спеціаліста є вміння грамотно та професійно вирішувати поставлені завдання. Для досягнення необхідних результатів основні завдання сучасного науково-технічного прогресу потребують докорінного покращення, на основі інформаційних технологій, фундаментальної та професійної підготовки студентів вузів. У зв'язку із цим важливо досягнути балансу фундаментальної та професійної підготовки з метою досягнення найбільшої ефективності навчального процесу у період підготовки інженерно-технічних працівників

Досягти більш високого рівня знань, також дозволяє впровадження в навчання інженерно-комп'ютерних комунікацій. Тільки вміння працювати з використання комп'ютера не дасть бажаних результатів. Необхідне поєднання використання базових знань та комп'ютерних технологій. Це дозволить розвивати логічне мислення студента, вміння висловлювати свої думки, моделювати ситуацію та знаходити більш ефективні рішення.

Мета статті привернути увагу до проблеми підготовки і фахівців, адаптованих до сучасних умов суспільства та орієнтованих на розвиток економіки України.

В останні роки велику зацікавленість, як спосіб досягнення нової якісної освіти науково – педагогічних працівників, як гуманітарної так і технічної освіти викликає компетентнісний підхід. Він визначає напрямок зміни освітнього процесу та його пріоритети.

В сучасних умовах компетентності, якими повинен володіти здобувач вищої освіти включають у робочі програми дисциплін. Серед них виділять: