ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «ВБУДОВАНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ВОЛОГОСТІ ДЛЯ ІОТ-РІШЕНЬ»

на здобуття освітнього ступеня бакалавра
зі спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія
(код, найменування спеціальності)
освітньо-професійної програми «Комп'ютерна інженерія»
(назва)

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

_____ *Герман ПРИЩЕПА*
(підпис) *Ім'я, ПРІЗВИЩЕ здобувача*

Виконав: здобувач(ка) вищої освіти гр. КІД-42
Герман ПРИЩЕПА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник: Ярослав ТОРОШАНКО
науковий ступінь, вчене звання Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Рецензент: _____
науковий ступінь, вчене звання Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Київ 2025

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій

Кафедра Комп'ютерної інженерії

Ступінь вищої освіти бакалавр

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Комп'ютерної інженерії
_____ Наталія ЛАЩЕВСЬКА
«_____» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Прищепа Герман Віталійович
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Вбудована система моніторингу температури та вологості для IoT-рішень»
керівник кваліфікаційної роботи: Ярослав ТОРОШАНКО, кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник,
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від «24» лютого 2025р. №56
2. Строк подання кваліфікаційної роботи «05» червня 2025р.
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: науково-технічна література з IoT, специфікації пристроїв Tuya Smart, стандарти Wi-Fi та інших безпровідних протоколів, архітектура хмарних платформ, методи вимірювання температури й вологості, документація з мобільних застосунків і сценаріїв автоматизації.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
    1. Теоретичні основи побудови IoT-систем моніторингу
    2. Реалізація системи моніторингу на базі готових вбудованих рішень
    3. Оцінювання ефективності та перспективи розвитку системи
5. Перелік ілюстративного матеріалу: *презентація*
    1. Мета, об'єкт, предмет дослідження
    2. Актуальність роботи
    3. Засади побудови IoT-систем моніторингу
    4. Архітектура побудованої IoT-системи на основі хмарної платформи
    5. Аналіз обраних мультифункціональних пристроїв зі вбудованим моніторингом мікроклімату
    6. Інтеграція нових пристроїв у мобільному застосунку
    7. Функціональність мобільного додатка Tuya Smart
    8. Механізми візуалізації моніторингу в мобільному додатку
    9. Реалізація додаткового функціоналу керування побутовою технікою

10. Автоматизація системи на основі сценаріїв
11. Масштабування та інтеграція з іншими системами
12. Порівняльний аналіз та кошторис реалізації IoT-системи
13. Висновки
14. Публікації та апробація роботи

6. Дата видачі завдання «24» лютого 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір даних	25.02-19.03.2025	
2	Обробка матеріалу	20.03-02.04.2025	
3	Розробка теоретичної частини	03.04-07.04.2025	
5	Реалізація системи моніторингу на базі готових вбудованих рішень	08.04-27.04.2025	
6	Оцінювання ефективності та перспективи розвитку системи	28.04-11.05.2025	
7	Висновки за результатами аналізу	12.05-15.05.2025	
8	Розробка презентації	16.05-26.05.2025	
9	Передзахист	27.05-29.05.2025	
10	Здача в деканат	30.05-05.06.2025	

Здобувач(ка) вищої освіти _____ Герман ПРИЩЕПА
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Ярослав ТОРОШАНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня бакалавра: 91 стор., 43 рис., 6 табл., 31 джерело.

Мета роботи – мінімізація вартості та спрощення побудови систем моніторингу мікроклімату за рахунок використання методів хмарної обробки даних та вбудованих рішень в екосистемі IoT.

Об'єкт дослідження – процес моніторингу параметрів мікроклімату в умовах розумного середовища із застосуванням вбудованих пристроїв.

Предмет дослідження – технології IoT-інтеграції, хмарні сервіси, засоби візуалізації та автоматизації в екосистемі Tuya.

Короткий зміст роботи: У роботі проаналізовано функціональні можливості вбудованих пристроїв із сенсорами температури та вологості, їхню інтеграцію в хмарну платформу, способи зчитування та обробки даних, а також конфігурацію сценаріїв автоматизації через мобільний додаток Tuya Smart. Розглянуто особливості взаємодії компонентів IoT-системи – сенсорів, шлюзів, хмари та клієнтських інтерфейсів, а також переваги використання безпровідних протоколів (Wi-Fi, ZigBee, BLE).

Робота містить порівняння готових пристроїв із альтернативними підходами, оцінює доцільність їх використання для недорогих IoT-рішень і досліджує потенціал масштабування таких систем. Особливу увагу приділено практичній перевірці можливостей хмарної платформи Tuya, її API, інструментам обробки та візуалізації даних, а також реалізації логіки автоматизованих сценаріїв.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: IOT, МОНІТОРИНГ МІКРОКЛІМАТУ, ХМАРНА ПЛАТФОРМА, TUYA, СЕНСОР ТЕМПЕРАТУРИ, СЦЕНАРІЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ, WI-FI, ВБУДОВАНІ СИСТЕМИ, МОБІЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК, API, ЕКОСИСТЕМА РОЗУМНОГО ДОМУ, ІНТЕГРАЦІЯ.

ABSTRACT

Text part of the qualification work for obtaining a bachelor's degree: 91 pages, 43 figures, 6 tables, 31 sources.

The purpose of the work is to minimize the cost and simplify the construction of microclimate monitoring systems by using cloud data processing methods and embedded solutions in the IoT ecosystem.

The object of the study is the process of monitoring microclimate parameters in a smart environment using embedded devices.

The subject of the study is IoT integration technologies, cloud services, visualization and automation tools in the Tuya ecosystem.

Summary of the work: The paper analyzes the functionality of embedded devices with temperature and humidity sensors, their integration into the cloud platform, methods of reading and processing data, as well as the configuration of automation scenarios via the Tuya Smart mobile application. The features of the interaction of IoT system components - sensors, gateways, cloud and client interfaces, as well as the advantages of using wireless protocols (Wi-Fi, ZigBee, BLE) are considered.

The work contains a comparison of ready-made devices with alternative approaches, assesses the feasibility of their use for inexpensive IoT solutions and explores the potential for scaling such systems. Particular attention is paid to practical testing of the capabilities of the Tuya cloud platform, its API, data processing and visualization tools, as well as the implementation of the logic of automated scenarios.

KEYWORDS: IOT, MICROCLIMATE MONITORING, CLOUD PLATFORM, TUYA, TEMPERATURE SENSOR, AUTOMATION SCENARIOS, WI-FI, EMBEDDED SYSTEMS, MOBILE APPLICATION, API, SMART HOME ECOSYSTEM, INTEGRATION.

ЗМІСТ

ВСТУП..... 9
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ ІОТ-СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ. 10
1.1 Інтернет речей як основа побудови сучасних систем моніторингу..... 10
1.2 Вбудовані сенсори температури та вологості 18
1.3 Технології безпровідної передачі даних у вбудованих IoT-рішеннях 24
1.4 Хмарні сервіси для управління та збору даних з IoT-пристроїв..... 34
1.5 Принципи інтеграції пристроїв в екосистему розумного дому..... 39
РОЗДІЛ 2. РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ НА БАЗІ ГОТОВИХ ВБУДОВАНИХ РІШЕНЬ..... 45
2.1 Аналіз функціональних можливостей вбудованих пристроїв із сенсорами мікроклімату 45
2.2 Побудова архітектури системи моніторингу з використанням хмарної платформи 54
2.3 Конфігурування сценаріїв автоматизації у мобільному застосунку..... 64
2.4 Обробка, зберігання та візуалізація даних у системі моніторингу..... 69
РОЗДІЛ 3. ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ 77
3.1 Переваги та недоліки використання готових вбудованих рішень. 77
3.2 Масштабування IoT-систем та інтеграція в інші цифрові сервіси..... 85
3.3 Узагальнення результатів і напрями подальшого вдосконалення системи..... 92
ВИСНОВКИ..... 99
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……...……..…100
Додаток А. ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (Презентація)……....103

ВСТУП

У епоху цифрової трансформації концепція Інтернету речей (IoT) активно впроваджується в побутові та промислові системи, забезпечуючи новий рівень автоматизації. Завдяки IoT-рішенням можна у реальному часі збирати, передавати та аналізувати дані з численних сенсорів, що особливо важливо для моніторингу таких критичних параметрів, як температура і вологість повітря. Ці показники безпосередньо впливають на комфорт, енергоспоживання, збереження обладнання і навіть безпеку в житлових і комерційних приміщеннях.

Використання вбудованих пристроїв з вбудованими сенсорами та мікроконтролерами дає змогу створювати автономні системи з локальною обробкою сигналів і подальшою передачею даних у хмарні сервіси. Такі системи легко інтегруються у розумні будинки, де керування мікрокліматом, формування графіків, аналітика та сценарії автоматизації виконуються централізовано. Важливим є також вибір бепровідних протоколів (Wi-Fi, ZigBee, BLE), що впливають на енергоспоживання, надійність зв’язку та масштабованість мережі.

Не менш значущим елементом є хмарні платформи, які забезпечують централізовану обробку, зберігання та візуалізацію даних, а також надають інструменти для створення логіки автоматизації та взаємодії з користувачем. Вибір екосистеми має вирішальне значення: підтримка сумісності пристроїв, наявність відкритих API та інтеграція з мобільними додатками визначають гнучкість і зручність користування системою.

У зв’язку з цим особливої уваги заслуговують доступні рішення, які поєднують у собі функціональність керування пристроями (через ІЧ або RF-сигнали) та сенсорний моніторинг. Пристрої на базі Tuya з підтримкою Wi-Fi можуть стати надійною основою для створення дешевих, але функціональних IoT-систем моніторингу, що не вимагають глибокого технічного втручання або складної розробки, дозволяючи водночас будувати масштабовані, адаптивні системи для розумного дому.

РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ IOT-СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ

1.1 Інтернет речей як основа побудови сучасних систем моніторингу

Інтернет речей, або IoT (Internet of Things), — це концепція створення глобальної мережі, що об’єднує фізичні пристрої, оснащені сенсорами, засобами зв’язку та елементарними обчислювальними можливостями, що дає змогу цим пристроям автономно збирати, передавати й аналізувати дані без безпосередньої участі людини. Якщо звичайні цифрові пристрої, як-от смартфони, передбачають взаємодію з користувачем, то IoT-об’єкти функціонують у фоновому режимі, стаючи частиною єдиного розумного середовища, яке реагує на зміни в реальному часі. Концепція інтернету речей виникла ще наприкінці XX століття, проте справжній прорив у її розвитку припав на 2010-ті роки завдяки здешевленню мікроконтролерів, появі недорогих безпровідних модулів зв’язку, таких як Wi-Fi, Zigbee, LoRa та BLE, а також широкому поширенню хмарних технологій, що забезпечили простоту масштабування, централізовану обробку даних і віддалений доступ до пристроїв. Усе це дало змогу перейти від теоретичної моделі до масового впровадження IoT у побуті, промисловості, міському середовищі та агросекторі [1-3].

Класична модель інтернету речей складається з трьох основних компонентів:

— фізичних пристроїв;

— мережі зв’язку;

— платформи обробки даних.

До фізичних пристроїв належать сенсори, виконавчі механізми, контролери — усе, що безпосередньо фіксує параметри довкілля чи взаємодіє з ним. Дані, зібрані цими пристроями, передаються через комунікаційні канали до центральної системи, яка забезпечує зв’язок між елементами та дозволяє їм працювати як єдине ціле. Такий

зв’язок може бути реалізований у межах локальної мережі або через хмару, проте незалежно від способу — ключовою є здатність пристроїв обмінюватися даними та діяти автономно. Завершальним компонентом є обчислювальна платформа, яка може бути представлена у вигляді хмарного сервера або локального шлюзу, що збирає, зберігає, аналізує інформацію та надає користувачу доступ до результатів у зручному форматі. Без узгодженої роботи всіх трьох елементів неможливо реалізувати повноцінну IoT-систему, оскільки тільки їх взаємодія забезпечує автономність, адаптивність і інтелектуальні можливості такої мережі (див. рис. 1.1) [1-2].

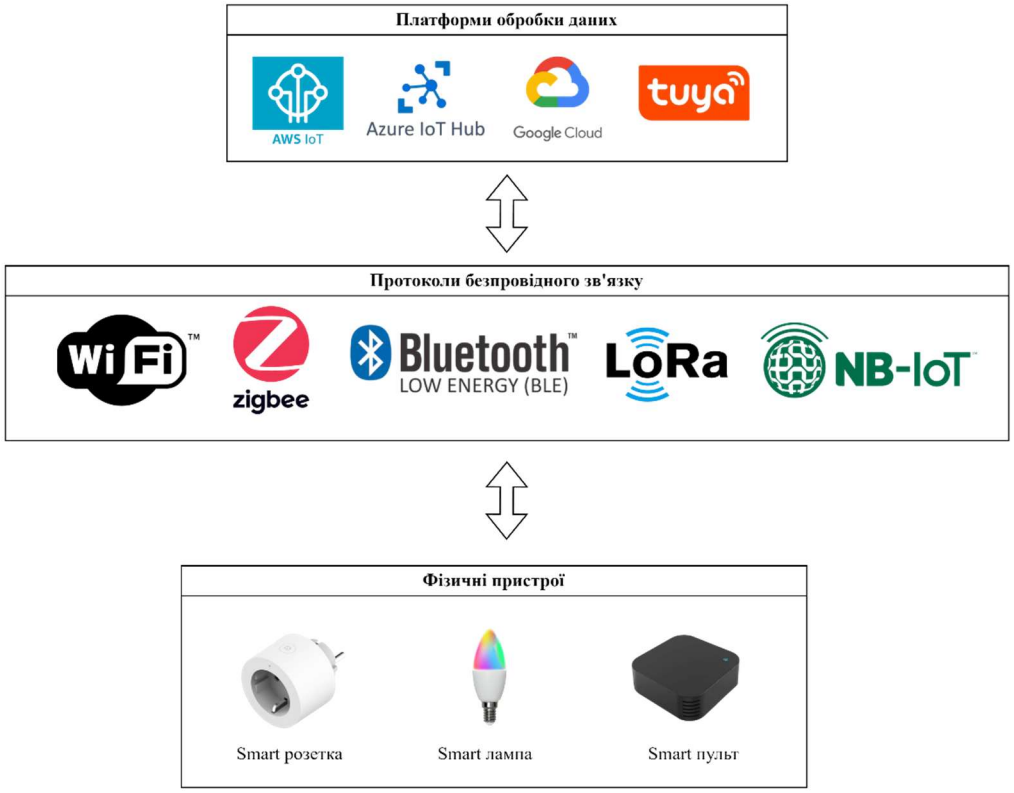


Рисунок 1.1 – Компоненти типової IoT-системи моніторингу

Еволюція та сучасний стан розвитку IoT. Еволюція інтернету речей значно прискорилася протягом останнього десятиліття, коли поєднання технічного прогресу, відкритості платформ і попиту на автоматизацію сприяли масовому розширенню ринку IoT-пристроїв. Якщо до 2010 року IoT був радше теоретичним поняттям із вузьким практичним застосуванням, то нині кількість під’єднаних

пристроїв перевищила 14 мільярдів, і до 2030 року очікується зростання цього показника до 25–30 мільярдів. Поява екосистем на кшталт Tuya Smart, Blynk, Home Assistant, які дозволяють інтегрувати різні пристрої незалежно від виробника, і розвиток стандартизованих протоколів обміну даними сприяли уніфікації IoT-рішень. Водночас поступ відбувався й у сфері енергоефективності: сучасні протоколи зв'язку, зокрема Zigbee, Thread, NB-IoT, розроблені для роботи з мінімальним споживанням енергії, що дозволило використовувати пристрої тривалий час без підзарядки або навіть живити їх від енергії довкілля (див. рис. 1.2) [1-3].

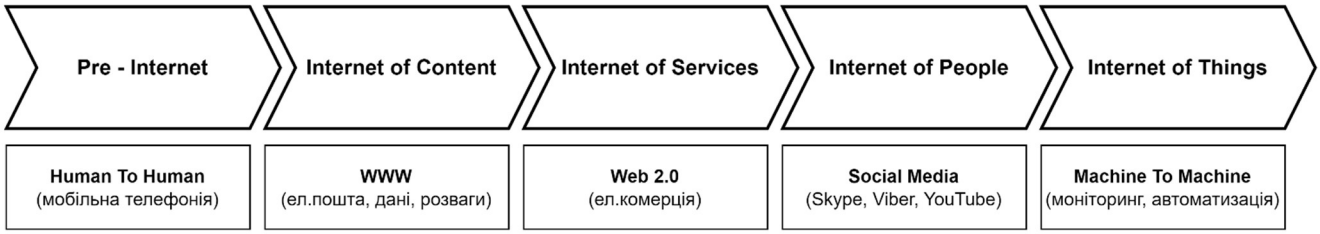


Рисунок 1.2 – Етапи розвитку Інтернету речей

Сучасні IoT-системи охоплюють широкий спектр застосувань:

— автоматизація освітлення, клімат-контроль і охоронні системи (у побуті);
— контроль стану обладнання, технічне обслуговування, облік ресурсів (у промисловості);
— моніторинг трафіку, рівня шуму, якості повітря (у міському середовищі);
— контроль вологості ґрунту, температури, автоматичне зрошення (в аграрному секторі);
— дистанційне спостереження за пацієнтами, носимі медичні пристрої (в охороні здоров'я).

Незважаючи на відносно короткий проміжок активного розвитку, інтернет речей уже сформував окрему галузь у межах інформаційних технологій і продовжує

стрімко розвиватися в напрямку підвищення автономності, безпеки, масштабованості та самонавчання систем на основі аналізу даних [1-3].

IoT у контексті систем моніторингу. Інтернет речей у контексті систем моніторингу розглядається як один із найефективніших напрямів його застосування, оскільки саме збір даних про параметри довкілля — температуру, вологість, тиск, рівень газів, освітленість, рух та інші фізичні показники — є базовим рівнем, з якого починається будь-яка автоматизація чи інтелектуальне керування. Завдяки здешевленню сенсорів, доступності безпровідних модулів та розширенню підтримки IoT-платформ стало можливим створення розподілених систем спостереження, які не потребують постійної участі людини, адже всі процеси збору, передавання, обробки та реагування автоматизовані й винесені у фонову логіку роботи. Порівняно з періодом 10-15-ти річної давності, коли технологія лише починала виходити за межі експериментальних зразків, теперішній рівень розвитку дозволяє без спеціальних технічних знань побудувати повноцінну систему моніторингу для домашніх, промислових чи аграрних потреб, використовуючи готові платформи, як-от Tuya, Blynk або інші подібні рішення, які забезпечують інтуїтивно зрозумілий інтерфейс і налаштування (див. рис. 1.3) [2-3].

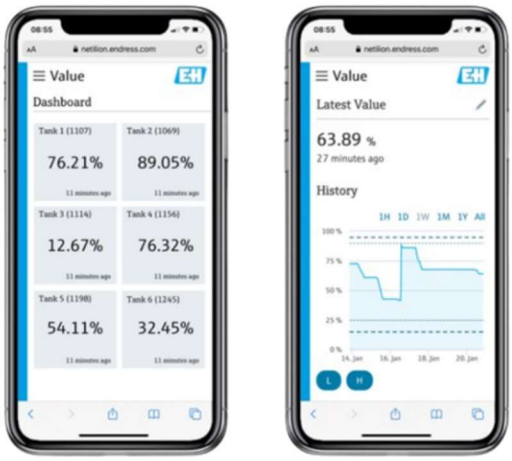


Рисунок 1.3 – Застосування IoT у сучасних системах моніторингу

Розгортання IoT-моніторингових систем базується на трьох визначальних властивостях:

— автономності;

— масштабованості;

— гнучкості.

Автономність забезпечується можливістю працювати від акумуляторного живлення протягом тривалого часу завдяки оптимізованим алгоритмам передачі даних і сплячим режимам контролерів. Масштабованість проявляється у здатності додавати нові вузли моніторингу до вже існуючої інфраструктури без необхідності капітальної перебудови або перепідключення основних компонентів, а гнучкість виражається у можливості налаштування періодичності вимірів, порогових значень, умов спрацювання тригерів та сценаріїв реагування без фізичного втручання до пристроїв, часто лише через мобільний додаток або вебінтерфейс. Водночас інтеграція з хмарними сервісами забезпечує централізоване збереження історичних даних, побудову графіків, аналітику та візуалізацію показників, а також дозволяє здійснювати моніторинг з будь-якої точки світу без прямого підключення до локальної мережі, адже вся взаємодія відбувається через хмарний сервер, що синхронізує всі пристрої й надає доступ до них через інтернет [2-3].

Хмарна синхронізація є основою для таких функцій, як сповіщення про критичні зміни параметрів, коли система миттєво надсилає повідомлення у вигляді push-нотифікацій, електронної пошти чи інших каналів зв’язку, дозволяючи реагувати в реальному часі без додаткового залучення оператора. Такий підхід дає змогу IoT-системам забезпечувати повноцінний безперервний моніторинг, що у багатьох випадках є єдиною метою їхнього існування, тоді як керування виконавчими механізмами, автоматизація або сценарії на базі цих даних є лише надбудовами, які розширюють потенціал уже зібраної інформації. У загальному випадку IoT і є системою моніторингу, що охоплює від найпростіших однофункціональних сенсорів до складних багатоагентних мереж, пов’язаних між собою через різні протоколи та шлюзи [3].

Технології та протоколи в IoT-системах моніторингу. Усі ці можливості стали доступними завдяки стрімкому розвитку технологій та протоколів, які лежать в основі передачі даних у системах IoT-моніторингу. Вибір конкретної технології зв'язку визначає не лише радіус дії системи, а й її енергоспоживання, швидкість передачі, затримки та здатність до масштабування. Наприклад, Wi-Fi через свою високу пропускну здатність підходить для стаціонарних пристроїв у приміщеннях, де живлення не є проблемою, і потрібна стабільна передача великих обсягів даних. Натомість у сенсорних мережах, де важливіша енергоефективність, часто використовуються протоколи з підтримкою сіткової топології, як-от Zigbee або Thread, що дозволяють пристроям працювати роками від батарейок. Для зовнішнього середовища з великим радіусом покриття підходить LoRaWAN, здатний забезпечувати передачу даних на відстань до 10 км через спеціальні шлюзи, що робить його ефективним для агросектору, екологічного моніторингу або інфраструктурних рішень. Bluetooth Low Energy (BLE) забезпечує мінімальне енергоспоживання, що робить його незамінним для носимих пристроїв, але також використовується й у багатьох IoT-рішеннях. Операторські технології на зразок NB-IoT або LTE-M дозволяють інтегрувати IoT у стільникові мережі, розширюючи його застосування до рішень, де потрібен зв'язок на великій відстані без доступу до локальних шлюзів або Wi-Fi (див. рис. 1.4) [4].



Рисунок 1.4 – Основні протоколи зв'язку в IoT-середовищі

Кожна з наведених технологій обирається на основі специфічних вимог до системи: критичними можуть бути автономність, щільність покриття, тип даних (аналогові, цифрові, імпульсні), потреба в двосторонньому зв'язку або затримки при передаванні, і саме це визначає, яким буде кінцеве рішення. У підсумку,

сучасні системи моніторингу на основі інтернету речей — це не просто набір датчиків, під’єднаних до мережі, а складна взаємодія технологій, протоколів і платформ, які в сукупності забезпечують постійне спостереження, збирання, аналіз та використання інформації для досягнення більш високої ефективності, безпеки й зручності в найрізноманітніших сферах — від побуту до промисловості [4-5].

Роль хмарних платформ та локальних рішень. Для ефективного функціонування сучасних систем моніторингу, як і для більшості IoT-рішень загалом, визначальне значення має не інтерфейс, з яким взаємодіє користувач, а саме бекенд, тобто обчислювальна частина платформи, що відповідає за приймання, обробку, зберігання та передачу даних від пристроїв. Саме вона забезпечує:

— повноцінну інтеграцію сенсорів;

— виправлення даних;

— створення сценаріїв реагування;

— керування всією системою моніторингу через зручний графічний або програмний інтерфейс.

У глобальному контексті великі компанії вже давно перейшли до формату, коли замість виробництва власних пристроїв вони зосереджуються на створенні платформ, до яких сторонні виробники можуть приєднувати свою продукцію, зокрема прикладом є екосистема Tuya, яка надає хмарну інфраструктуру для інтеграції великої кількості пристроїв IoT без потреби створювати власну інфраструктуру або керувати власним сервером. У цьому випадку виробник лише звертається до платформи, отримує інструменти для підключення свого пристрою, інтегрує його в готову екосистему, після чого цей пристрій потрапляє до загального списку сумісних рішень, доступних користувачам, які можуть легко встановити, підключити та використовувати його, навіть не маючи спеціалізованих знань [5-6].

У межах такої моделі сама хмарна платформа отримує перевагу за рахунок постійного розширення екосистеми, а виробники пристроїв – за рахунок доступу до мільйонів потенційних користувачів, адже система вже існує, протестована, стабільна й пропонує велику кількість інтеграцій. І що важливо, навіть

індивідуальні розробники або ентузіасти мають змогу створити власний пристрій, зареєструвати його в системі, під'єднати до Tuya Cloud і розгорнути повноцінну систему моніторингу, не створюючи інфраструктуру з нуля. Проте існує й інший підхід, більш технічно складний, що полягає у створенні локальних рішень на основі відкритих платформ, таких як Home Assistant, OpenHAB або Node-RED, які встановлюються безпосередньо на локальний пристрій, наприклад Raspberry Pi, і працюють автономно без доступу до інтернету (див. рис. 1.5) [4-6].

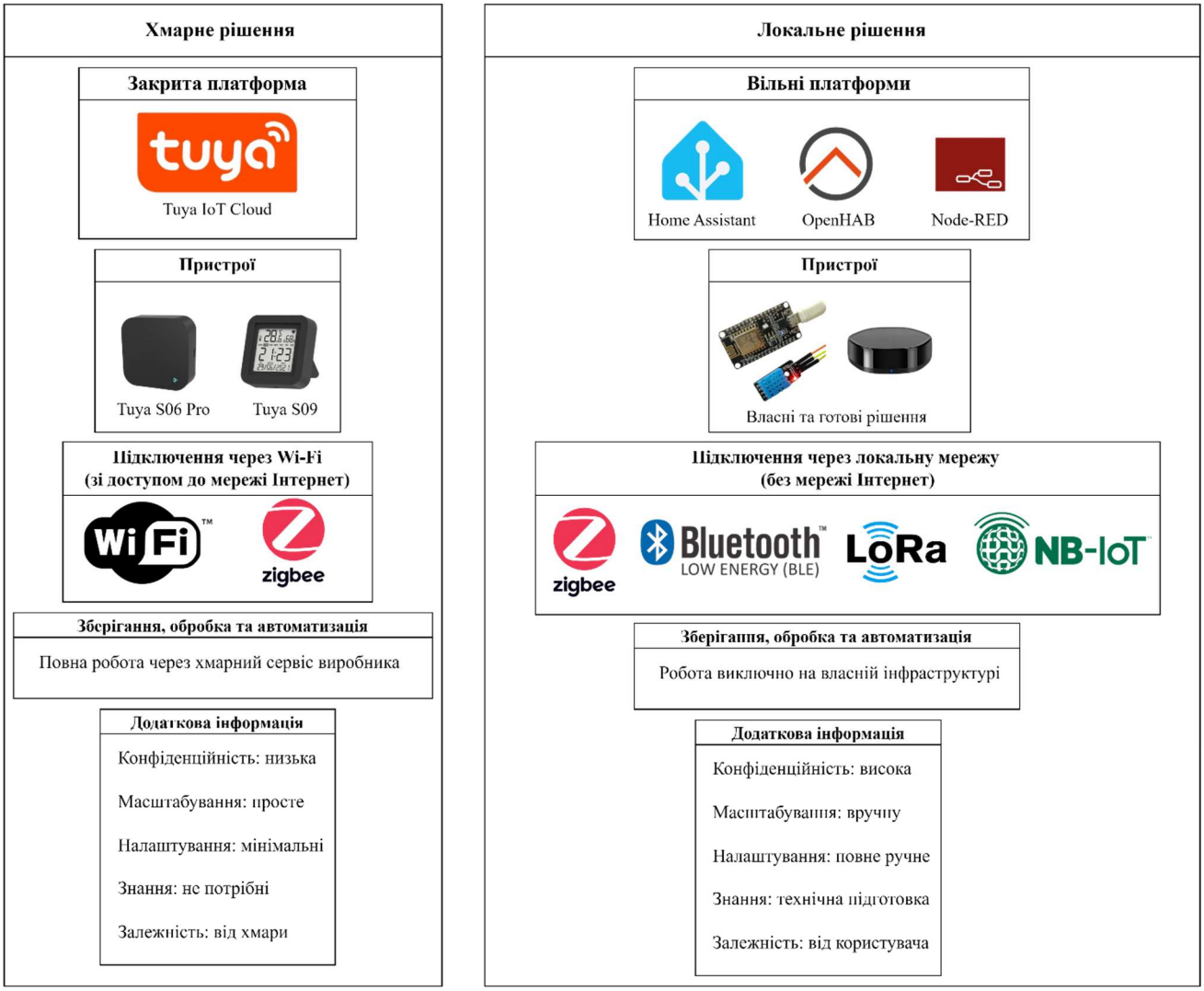


Рисунок 1.5 – Порівняння локальних та хмарних рішень

У таких системах вся відповідальність за конфігурацію, підтримку, безпеку та масштабування лежить на користувачі, адже саме він самостійно налаштовує мережу, інтеграції, логіку, сценарії автоматизації та доступ до даних. У свою чергу,

це дає повний контроль над інформацією, незалежність від сторонніх сервісів, підвищену конфіденційність, а також можливість об’єднувати пристрої з різних екосистем завдяки підтримці широкого переліку API та протоколів. Усе це дозволяє створити універсальну систему, яка не обмежується жодним виробником або єдиною хмарною платформою. Такий підхід часто використовується ентузіастами, інженерами або організаціями з підвищеними вимогами до безпеки та адаптивності, хоча й вимагає значно більше зусиль, знань і технічної підготовки [4-6].

Натомість у контексті даної роботи розглядається варіант із мінімальним технічним втручанням, орієнтований на використання готового пристрою, який має вбудовані сенсори та базову логіку, інтегрується з хмарною платформою й забезпечує всі необхідні функції моніторингу без розгортання власної інфраструктури. Таким чином, вибір між хмарними платформами та локальними рішеннями залежить передусім від цілей, масштабу, потреби у конфіденційності, рівня доступу до налаштувань, можливості візуалізації, зворотного керування та наявного досвіду, адже кожна з моделей має як свої переваги, так і обмеження.

1.2 Вбудовані сенсори температури та вологості

У контексті функціонування пристроїв, орієнтованих на моніторинг мікрокліматичних умов, особливе значення мають вбудовані сенсори температури та вологості, які фактично виступають електронними модулями, здатними точно вимірювати параметри навколишнього середовища. Завдяки малій фізичній величині та інтегрованості до складу мікроконтролерних систем, побутових пристроїв або розумних хабів, ці сенсори забезпечують надійне отримання даних у реальному часі. Їх активно застосовують у різних сферах — від автоматизації кліматичних систем у будинках до аграрних та промислових рішень, де точність і стабільність показників є критично важливими. Поширення підходів, за яких один

пристрій виконує кілька функцій, дало змогу розробникам інтегрувати сенсори температури та вологості до багатоцільових пристроїв, що дозволяє зменшити загальну кількість електроніки в системі та спростити її структуру, аналогічно до смартфона, що об'єднує камеру, телефон і комп'ютер у єдиному корпусі — багатоцільові рішення дають змогу мінімізувати ресурси, підвищити керованість і зменшити складність налаштування [7-9, 30].

Принципи роботи сенсорів температури. Використання цифрових сенсорів стало можливим завдяки здешевленню компонентів, а також масовому виробництву модулів, що вже містять вбудовані функції компенсації, калібрування та обробки сигналів безпосередньо на рівні мікросхеми. Усе це суттєво вплинуло на спрощення процесу проєктування та розгортання систем моніторингу, що забезпечують не лише вимірювання, а й обробку, збереження та передачу даних. Якщо розглядати принципи роботи сенсорів температури, то в основі можуть бути різні фізичні явища. Наприклад, терморезистивні сенсори, зокрема RTD або термістори, змінюють опір залежно від температури, де класичним прикладом є PT100, що демонструє високу точність, але потребує додаткового аналогового підсилення та перетворення. Іншим варіантом є термоелектричні сенсори, зокрема термопари, які генерують електричну напругу, пропорційну різниці температур на стику двох металів, що дозволяє використовувати їх у складних промислових умовах для моніторингу високих температур. Напівпровідникові сенсори, в основі яких лежить залежність напруги на p-n переходах від температури, активно застосовуються в цифрових рішеннях; прикладами є модулі LM75 або TMP36, які забезпечують цифровий вихід і просту інтеграцію з мікроконтролерами завдяки інтерфейсам I²C, SPI, UART або 1-Wire (див. рис. 1.6) [7, 9].

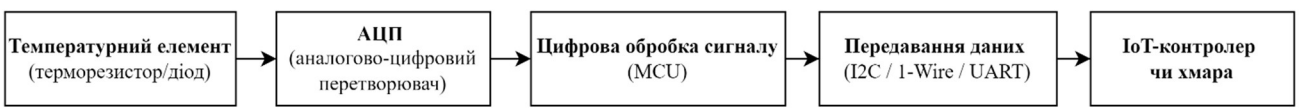


Рисунок 1.6 – Принцип роботи цифрового сенсора температури

Принципи роботи сенсорів вологості. Щодо сенсорів вологості, їх принцип роботи базується на вимірюванні вмісту водяної пари в повітрі, зазвичай у вигляді відносної вологості (%RH), і при цьому виділяють кілька основних типів таких сенсорів. Найбільш поширеними є ємнісні сенсори, які складаються з двох електродів і чутливого діелектричного шару, що змінює свою діелектричну проникність залежно від вологості, що, в свою чергу, впливає на ємність — саме вона виступає вимірюваним параметром. Серед прикладів — DHT22 або HDC1080, які забезпечують достатню точність і простоту інтеграції. Існують також резистивні сенсори, в яких зміна вологості призводить до зміни опору чутливого елемента, але вони менш стабільні в довгостроковому використанні. Психометричні сенсори, засновані на порівнянні температур сухого й вологого термометра, застосовуються переважно в лабораторних або спеціалізованих середовищах через складність реалізації. Найбільш придатними для використання у сучасних розумних пристроях залишаються саме ємнісні сенсори завдяки їхній точності, довговічності, енергоефективності та повній сумісності з цифровими інтерфейсами, що забезпечує зручну роботу в межах вбудованих систем, зокрема тих, що інтегруються до інтернету речей або функціонують як автономні контролери в локальних мережах (див. рис. 1.7) [8, 9].

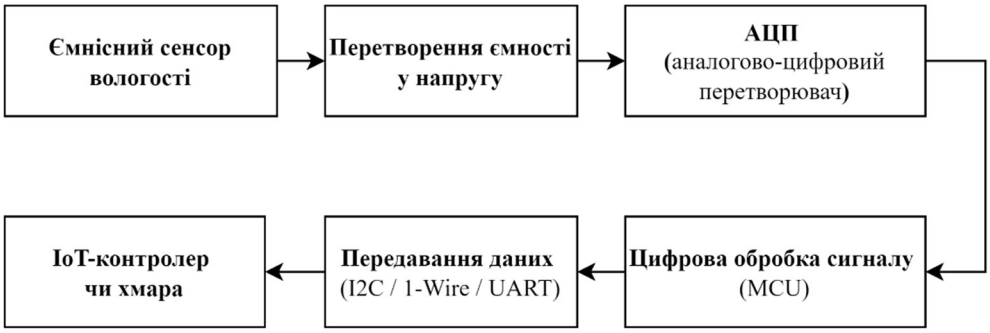


Рисунок 1.7 – Принцип роботи цифрового сенсора вологості

Така універсальність і простота впровадження дає змогу застосовувати сенсори температури та вологості у найрізноманітніших умовах — як у побутових

автоматизованих рішеннях, так і у складних технічних системах із високими вимогами до надійності та точності вимірювання.

Популярні моделі цифрових сенсорів. Серед найпоширеніших рішень для вбудованих систем, де необхідно здійснювати постійний моніторинг температури та вологості, особливе місце займають цифрові сенсори, які поєднують обидві ці функції в одному компактному корпусі. Такі сенсори широко інтегруються в мікроконтролерні платформи типу Arduino, ESP8266, ESP32, STM32 та інші завдяки своїй універсальності, доступності та підтримці стандартних інтерфейсів обміну даними. Серед найпопулярніших моделей, які використовуються в сучасних IoT-рішеннях, можна виділити (див. рис. 1.8):

— DHT11;
— DHT22;
— SHT3x;
— BME280;
— HDC1080.



Рисунок 1.8 – Популярні моделі сенсорів температури та вологості

Модель DHT11 вирізняється низькою вартістю та простотою у використанні, хоча поступається за точністю, особливо у вимірюванні вологості. DHT22, також відомий як AM2302, забезпечує вищу точність та ширший діапазон вимірювання, а моделі типу SHT3x забезпечують ще кращу стабільність показників при використанні інтерфейсу I2C. Сенсор BME280, окрім температури та вологості, дозволяє додатково здійснювати моніторинг атмосферного тиску, що робить його багатофункціональним варіантом для розширених рішень. HDC1080 вирізняється

дуже низьким енергоспоживанням, що важливо для автономних пристроїв (див. табл. 1.1) [7-9].

Таблиця 1.1 – Популярні моделі цифрових сенсорів

Модель	**Інтерфейс**	**Точність температури**	**Точність вологості**	**Переваги**
DHT11	1-Wire	±2°C	±5% RH	Низька ціна, простота
DHT22 (AM2302)	1-Wire	±0.5°C	±2–5% RH	Вища точність, широкі діапазони
SHT3x	I2C	±0.3°C	±2% RH	Висока стабільність
BME280	I2C/SPI	±1°C	±3% RH	Додатково вимірює тиск
HDC1080	I2C	±0.2°C	±2% RH	Дуже низьке енергоспоживання

Інтеграція сенсорів у пристрої. Процес інтеграції таких сенсорів у мікроконтролерні пристрої охоплює низку технічних кроків, серед яких першим завжди є вибір відповідного мікроконтролера з підтримкою необхідного інтерфейсу, такого як I2C, SPI або 1-Wire. Далі здійснюється фізичне підключення сенсора до плати з урахуванням розміщення на достатній відстані від джерел тепла, щоб уникнути спотворення показників, після чого враховується питання живлення: у випадку автономного живлення особливої уваги потребує вибір сенсорів з низьким споживанням енергії та підтримкою режиму сну. Паралельно з апаратною частиною важливо реалізувати програмну підтримку сенсора, для чого зазвичай використовуються надані виробниками бібліотеки, такі як бібліотеки від Adafruit для Arduino, які значно спрощують взаємодію з популярними моделями сенсорів. Після цього зчитані дані можуть передаватися на шлюзи на базі ESP32 або Raspberry Pi, а звідти — далі до хмарних сховищ за допомогою протоколів MQTT або HTTP для подальшого аналізу, збереження або візуалізації (див. рис. 1.9) [8-9].

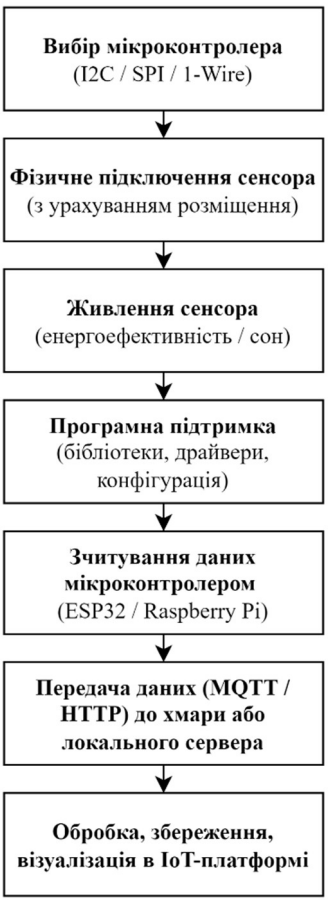


Рисунок 1.9 – Інтеграція сенсора в типову IoT-платформу

У контексті практичного використання ці сенсори застосовуються у величезній кількості сучасних IoT-рішень, починаючи від систем розумного будинку, де вони забезпечують автоматизацію клімату через контроль обігріву, кондиціювання або вентиляції, до аграрних рішень, які використовуються для моніторингу умов вирощування та зберігання сільськогосподарської продукції. Також вони активно впроваджуються в офісних та комерційних приміщеннях для побудови енергоефективних систем контролю мікроклімату, в медичних закладах — для контролю умов зберігання ліків, у серверних кімнатах — для запобігання перегріву обладнання, а також в інших критичних зонах, де необхідна стабільність навколишніх умов [9].

Окремо варто виділити пристрої, які окрім основного функціоналу виконують також функції сенсорів температури та вологості, тобто реалізують мультифункціональність у межах одного компактного блоку. Таким прикладом є

розумні пульти, що інтегруються в екосистему Tuya, які, крім керування пристроями за допомогою ІЧ- або РЧ-сигналів, мають додаткову вбудовану функцію моніторингу температури та вологості в приміщенні. Один із варіантів таких пристроїв, що розглядаються у практичній частині — модель без екрану, інший — з дисплеєм, і обидва варіанти забезпечують не лише централізоване керування побутовою технікою, а й збір екологічних даних, що передаються в додаток через Wi-Fi. Саме така інтеграція додаткових сенсорів у пристрої іншого функціонального призначення дозволяє мінімізувати кількість окремих компонентів у системі, зменшити витрати на побудову IoT-інфраструктури та водночас підвищити гнучкість і функціональність всього розумного середовища [30].

1.3 Технології безпровідної передачі даних у вбудованих IoT-рішеннях

Під час побудови будь-якої вбудованої IoT-системи, зокрема рішень для моніторингу температури та вологості, ключовим аспектом є забезпечення безпровідного зв’язку між сенсорами, мікроконтролерами, шлюзами та хмарними платформами, оскільки саме передача даних визначає ефективність, надійність та енергоефективність усієї архітектури. Вибір тієї чи іншої технології безпровідного зв’язку суттєво впливає не лише на технічні характеристики рішення, а й на його економічну доцільність, тому на початковому етапі проєктування необхідно оцінити всі доступні варіанти, спираючись на параметри, що мають визначальний вплив у контексті автономності, стабільності та масштабованості майбутньої системи. Саме з урахуванням особливостей передачі даних формується структура мережі, обираються модулі зв’язку, розробляється програмна частина й організовується канал взаємодії з хмарними сервісами [10-12].

Основні вимоги до безпровідних протоколів у IoT. Коли мова йде про критерії вибору безпровідних технологій у сфері вбудованих IoT-рішень, насамперед

розглядається рівень енергоспоживання, оскільки саме від нього залежить, наскільки довго пристрій зможе функціонувати автономно без підзарядки, що особливо важливо для датчиків, встановлених у важкодоступних або мобільних середовищах. Наступним критичним параметром є максимальна відстань, на якій може забезпечуватись стабільне з'єднання, адже ефективна робота системи моніторингу передбачає надійний зв'язок навіть при значних просторових розриваннях між вузлами мережі. Також вагомим фактором виступає пропускна здатність, яка визначає, скільки даних можна передати в одиницю часу, і цей показник особливо актуальний у випадках, коли система передає не лише числові значення температури та вологості, але й інші параметри або супровідні повідомлення. До цього додається ще й специфіка підтримуваної топології мережі, яка може бути реалізована у форматі з'єднання точка-точка, зірка, дерево або mesh, причому від вибору конкретної конфігурації залежить не тільки продуктивність мережі, а й її стійкість до відмов окремих вузлів. Додатково необхідно враховувати ступінь відкритості та стандартизації обраного протоколу, тобто наскільки він підтримується промисловістю, чи є відкриті бібліотеки, технічна документація і наскільки легко забезпечити інтеграцію у вже наявну інфраструктуру. Останнім критерієм стає вартість — як самих модулів, так і загалом ліцензування, що особливо важливо при серійному виробництві пристроїв, де навіть незначне подорожчання однієї одиниці множиться на сотні або тисячі виробів [12].

Розуміння цих параметрів дозволяє зважено обрати конкретну технологію зв'язку для реалізації IoT-рішення з урахуванням балансу між споживанням енергії, дальністю дії, вартістю та сумісністю з існуючими платформами, що в результаті забезпечує ефективну й масштабовану систему передачі даних у вбудованих рішеннях.

Безпровідний протокол у IoT – Wi-Fi. Серед безпровідних протоколів, які застосовуються в системах Інтернету речей, одним із найпоширеніших є Wi-Fi, що базується на стандарті IEEE 802.11 і забезпечує високу швидкість передавання даних, простоту інтеграції та швидке з'єднання з Інтернетом через звичайні домашні маршрутизатори. Завдяки своїй масовості він активно використовується

не лише в побутових умовах, але й у реалізації IoT-проєктів, де не потрібно розробляти спеціальні пристрої з нуля. Наявність сумісних модулів ESP8266, ESP32 та їх аналогів дозволяє швидко створювати прототипи або навіть повноцінні пристрої з можливістю оновлення прошивок через хмарні сервіси та підтримкою роботи через стандартні Wi-Fi-мережі, що значно спрощує підключення без потреби у додаткових шлюзах або спеціалізованих контролерах. Проте, незважаючи на свою популярність, Wi-Fi не завжди підходить для IoT через високе енергоспоживання, що унеможливлює довготривалу автономну роботу пристроїв на живленні від батарей. Крім того, є обмеження на кількість одночасно підключених пристроїв та залежність від стабільного покриття, що робить його менш придатним для масштабованих або розподілених рішень, хоча цілком придатним для живлених від мережі пристроїв — таких як відеокамери, розумні розетки, сервери чи інфрачервоні пульти з підтримкою функцій вимірювання температури й вологості (див. рис. 1.10) [10-12].

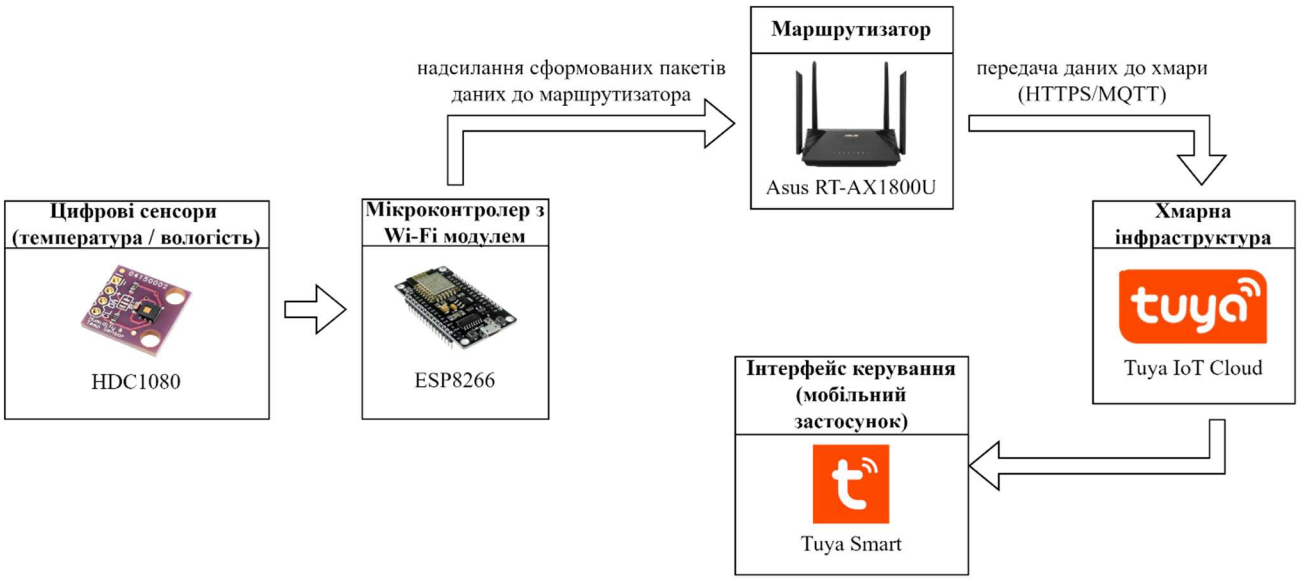


Рисунок 1.10 – Схема роботи IoT-пристрою з Wi-Fi модулем

Безпровідний протокол у IoT – ZigBee. Поряд з Wi-Fi, ZigBee на базі стандарту IEEE 802.15.4 демонструє зовсім інший підхід до побудови мережі, орієнтуючись на мінімальне енергоспоживання, передачу невеликих обсягів даних

і створення розгалужених мереж із підтримкою маршрутизації між вузлами, що дозволяє автоматично розширювати покриття без потреби в потужних передавачах або централізованій інфраструктурі. Завдяки цьому мережа ZigBee не обмежується лише прямим зв’язком із центральним пристроєм, а може самостійно нарощуватися вглиб приміщення, де окремі вузли виступають у ролі повторювачів. Ця особливість дає змогу підключати сотні пристроїв у межах однієї мережі, що робить ZigBee надзвичайно придатним для сценаріїв розумного будинку, промислової автоматизації та екосистеми IoT загалом. Його сумісність із широким спектром виробників, таких як Tuya, Philips Hue, IKEA та багатьох інших, завдяки відкритій специфікації дозволяє легко інтегрувати різноманітні пристрої у єдину інфраструктуру. Однак, через низьку пропускну здатність до 250 Кбіт/с, технологія не підходить для передавання великого потоку даних, наприклад відео, хоч у більшості випадків для сенсорних IoT-завдань цього обсягу цілком достатньо. Додатковою вимогою до побудови мережі є наявність центрального координатора або шлюзу, який підключається до Wi-Fi чи провідної мережі і вже забезпечує зв’язок із усіма ZigBee-пристроями. Без нього функціонування мережі неможливе, що трохи ускладнює розгортання порівняно з Wi-Fi. Окрім цього, функціонування ZigBee в діапазоні 2,4 ГГц робить його вразливим до радіоперешкод, особливо в умовах насиченого безпровідного середовища, де можуть спостерігатися періодичні втрати зв’язку або нестабільність деяких вузлів. Незважаючи на ці обмеження, ZigBee є прикладом класичної реалізації концепції IoT, коли мережа працює автономно, ефективно та масштабовано, тому його активно використовують для побудови систем безпровідних датчиків, освітлення, охоронних систем і навіть промислових рішень, хоч у межах цього дослідження фокус робиться саме на Wi-Fi як на більш універсальному, хоча й енергозатратному варіанті (див. рис. 1.11) [10-12].

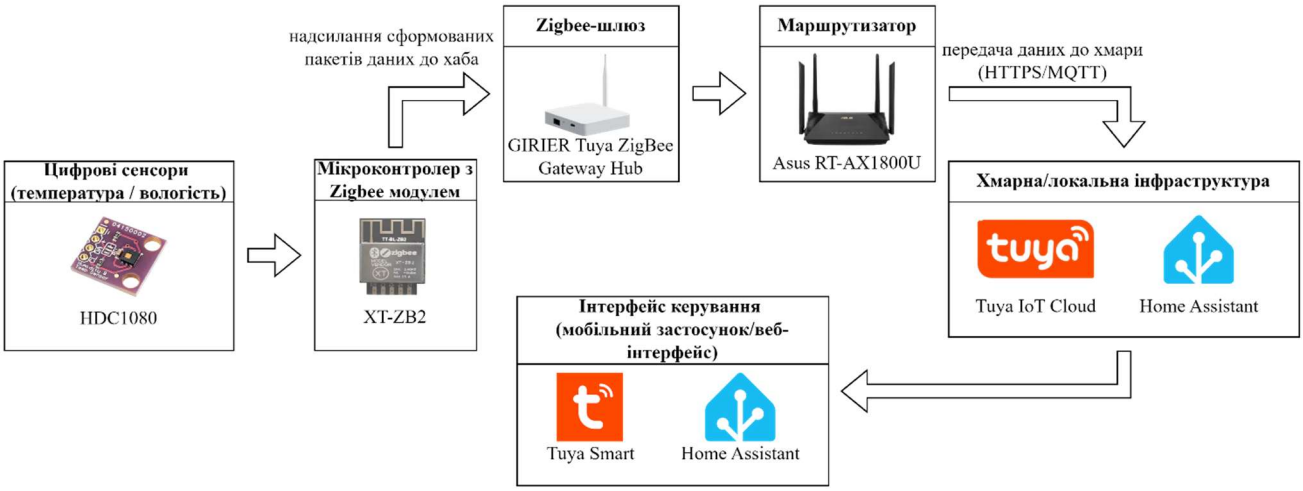


Рисунок 1.11 – Робота IoT-пристрою на базі ZigBee

Безпровідний протокол у IoT – Bluetooth Low Energy (BLE). Ще одним варіантом безпровідного зв'язку, який заслуговує на увагу у контексті IoT-рішень, є Bluetooth Low Energy, скорочено BLE, що є енергоефективним продовженням класичного Bluetooth, спеціально розробленим для носимих пристроїв і сенсорних рішень, де автономна робота є критично важливою. Завдяки наднизькому енергоспоживанню BLE може функціонувати роками на одній батарейці, що робить його незамінним у фітнес-трекерах, розумних годинниках, портативних термометрах і подібних пристроях, які часто обмінюються даними з мобільним телефоном або іншим компаньйоном. Сучасні специфікації Bluetooth 5.0 і 5.2 забезпечують розширену дальність дії, підвищену швидкість передачі та часткову підтримку створення сіткових структур, хоча на практиці технологія залишається менш стабільною порівняно з Wi-Fi або ZigBee. Суттєвим обмеженням BLE є неможливість побудови великих мереж, обмежена кількість одночасних підключень до одного пристрою та потреба у зовнішньому шлюзі або комбінованому мультишлюзі (наприклад, ZigBee + Bluetooth), який забезпечить взаємодію з глобальною мережею через Wi-Fi або Ethernet, що необхідно, оскільки сам BLE не призначений для прямого підключення до Інтернету і виконує лише роль протоколу обміну всередині локального оточення. Хоча BLE не призначався для масштабного IoT, він все ж застосовується у сенсорах температури та вологості, локальних трекерах, розумних браслетах, проте значно поступається ZigBee у

стабільності, масштабованості та зручності побудови повноцінних IoT-мереж, тому при виборі технології для реалізації розгалужених інтелектуальних систем Bluetooth варто розглядати лише для конкретних сценаріїв, пов'язаних з носимими або мобільними пристроями, де важлива мінімальна енерговитрата й проста інтеграція зі смартфоном (див. рис. 1.12) [10-12].

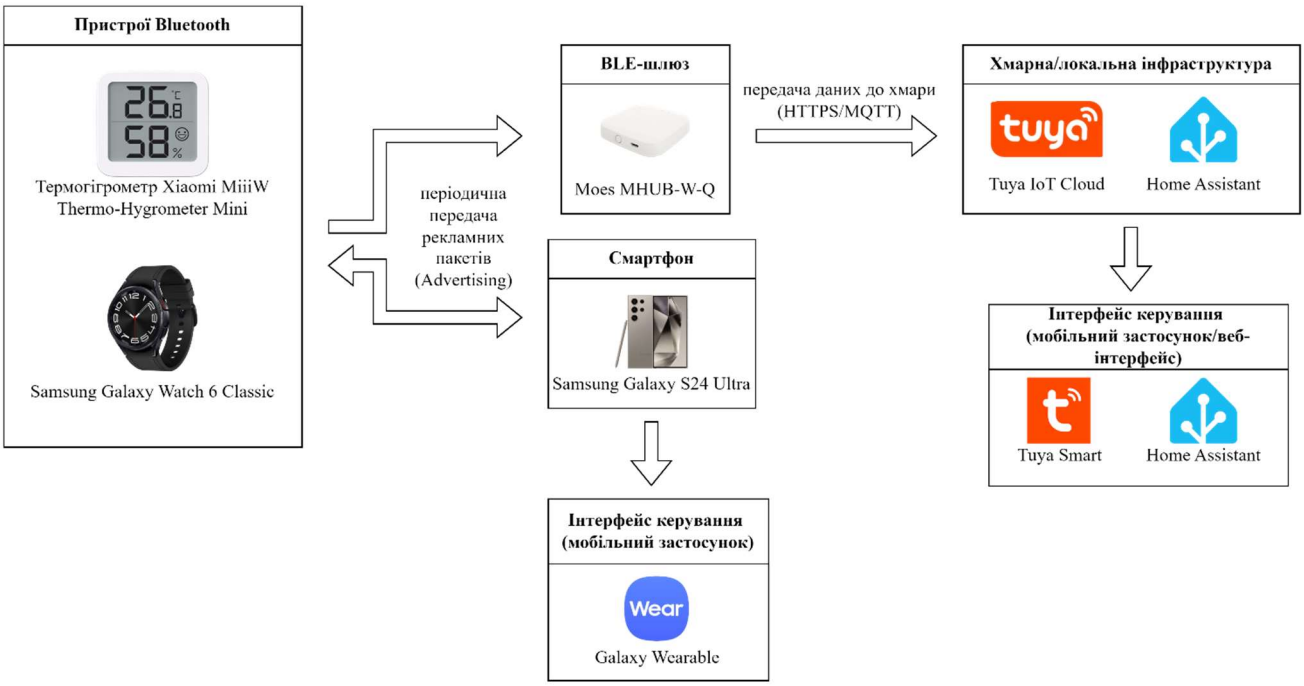


Рисунок 1.12 – Структура BLE-з'єднання в IoT-системі

Безпровідний протокол у IoT – інші технології. У межах розгортання систем Інтернету речей доцільно розглядати не лише традиційні безпровідні протоколи, а й низку інших технологій, які або створювалися спеціально для IoT, або пристосувалися до нього в процесі еволюції цифрових мереж. Серед них особливо виділяються рішення з великим радіусом дії і мінімальним енергоспоживанням, що дозволяє ефективно працювати в умовах сільської місцевості або у віддалених зонах, де інші мережі недоступні або економічно невиправдані. Прикладом такої технології є LoRaWAN, яка оптимізована для передачі невеликих обсягів даних зі швидкістю до 50 кбіт/с і великими часовими інтервалами між передаваннями, що дозволяє пристроям функціонувати протягом тривалого періоду без потреби в частій зарядці. Водночас побудова LoRaWAN-мережі потребує спеціалізованої

інфраструктури, зокрема шлюзів, і може бути досить дорогою, що обмежує її застосування здебільшого сферами, де потрібне широке покриття і автономна робота пристроїв, як-от у сільському господарстві, моніторингу довкілля чи компонентах розумного міста [10-11].

Поряд із LoRaWAN існує NB-IoT або Narrowband IoT — стандарт, орієнтований на використання інфраструктури мобільного зв'язку з низьким енергоспоживанням. Його перевагою є можливість інтеграції в уже наявні базові станції операторів мобільного зв'язку, що спрощує реалізацію систем і забезпечує стабільне з'єднання навіть у складних умовах міського середовища або під землею. Однак така технологія вимагає наявності SIM-карти, а отже, і постійної абонентської плати, оскільки доступ до мережі реалізується через комерційних провайдерів. Цей чинник може стати стримуючим для масштабного розгортання у випадках, коли вартість має критичне значення або коли система має бути повністю незалежною від зовнішніх провайдерів [11-12].

Ще однією сучасною технологією, що все активніше входить у сферу IoT, є Thread — відкритий безпровідний протокол на базі IEEE 802.15.4, сумісний зі стандартом Matter, який покликаний забезпечити інтероперабельність пристроїв різних брендів. На відміну від закритих екосистем, де пристрої часто сумісні лише в межах одного виробника, Thread орієнтований на створення єдиної об'єднаної мережі, яка дозволяє легко поєднувати компоненти від різних вендорів. Технологія найбільше підходить для розумного будинку нового покоління, де потрібна масштабованість, безпека, автономність і взаємодія великої кількості пристроїв, хоча її масове впровадження в сучасних умовах ще обмежене через відносну новизну та незначне поширення в деяких регіонах [10].

Вибір технології для IoT-моніторингу температури та вологості. У процесі вибору протоколу для системи моніторингу температури та вологості важливо враховувати конкретні умови використання. Так, для середовищ із постійним живленням та існуючою Wi-Fi-інфраструктурою найзручнішим варіантом залишається Wi-Fi, попри його відносно високе енергоспоживання. Він ідеально підходить для домашніх умов або офісів, де система не потребує десятків або

сотень сенсорів, а сама мережа не перевантажена трафіком. У таких випадках зручно інтегрувати готові пристрої, які легко підключаються до вже наявної мережі, що суттєво спрощує розгортання системи і знижує витрати на інфраструктуру. Однак масштабування такої мережі може призвести до проблем зі стабільністю, тому Wi-Fi доцільний лише для обмеженої кількості підключень [10, 12].

У розрізі рішень для енергоефективних розподілених систем із великою кількістю сенсорів, що розташовані у відносно закритих приміщеннях, ZigBee виглядає оптимальнішим варіантом. Його енергоефективність, наявність підтримки великої кількості вузлів у межах одного кластеру, можливість самовідновлення мережі, а також підтримка безпровідної передачі в умовах невеликого радіуса дії — все це робить його майже обов'язковим у сфері розумного будинку та автоматизації. Значна частина сучасних систем побудована саме на ZigBee через його гнучкість та відкриту специфікацію, і багато користувачів уже або впровадили його у своїх системах, або розглядають для цього в найближчому майбутньому [11-12].

Для мобільних або портативних рішень Bluetooth Low Energy (BLE) залишається незамінним, особливо у форматі зчитування локальних даних через смартфон або носимі пристрої на кшталт фітнес-браслетів і смарт-годинників. Він забезпечує мінімальне енергоспоживання при короткочасному обміні даними, однак має обмеження в покритті й кількості одночасно активних підключень, що робить його менш придатним для складних IoT-мереж [10-11].

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика безпровідних технологій зв’язку для IoT-рішень

Параметр	**Wi-Fi (802.11)**	**ZigBee (802.15.4)**	**BLE (Bluetooth Low Energy)**	**LoRaWAN**	**NB-IoT**
Енергоспоживання	Високе	Низьке	Дуже низьке	Дуже низьке	Низьке
Дальність дії	~50 м (у приміщенні)	~10–100 м (з mesh)	~10–50 м	До 15 км (залежно від умов)	До 10 км (залежно від покриття)
Пропускна здатність	Висока (до 100+ Мбіт/с)	До 250 кбіт/с	До 2 Мбіт/с	До 50 кбіт/с	До 250 кбіт/с
Топологія мережі	Зірка	Mesh / Зірка	Зірка / частково Mesh (BLE 5.0+)	Зірка (через шлюзи)	Зірка (через мобільну мережу)
Інтеграція з Інтернетом	Пряма	Через шлюз	Через шлюз або смартфон	Через шлюз	Через мобільну інфраструктуру
Сумісність та відкритість	Висока, масове поширення	Висока, відкритий стандарт	Висока, підтримується більшістю ОС	Середня, потребує спеціального стека	Середня, залежить від оператора

Продовження таблиці 1.2 – Порівняльна характеристика безпровідних технологій зв’язку для IoT-рішень

Параметр	**Wi-Fi (802.11)**	**ZigBee (802.15.4)**	**BLE (Bluetooth Low Energy)**	**LoRaWAN**	**NB-IoT**
Масштабованість	Обмежена кількістю клієнтів	Висока (до сотень пристроїв у mesh)	Обмежена (до 7–20 підключень)	Висока	Висока
Вартість реалізації	Низька (модулі ESP8266/ESP32)	Середня (потрібен шлюз)	Низька	Висока (шлюзи + ліцензії)	Середня / висока (залежить від оператора)
Типові застосування	Розетки, камери, пульти	Освітлення, датчики, сигналізація	Фітнес-гаджети, трекери, браслети	Сільське господарство, міські мережі	Промисловість, розумне місто

Серед усього розмаїття протоколів (див. табл. 2.2), попри очевидні переваги ZigBee, найбільш вживаним залишається Wi-Fi — саме через простоту інтеграції, широке розповсюдження і вже наявну інфраструктуру в більшості осель та офісів. У більшості випадків користувачі не мають на меті розгортати масштабовану IoT-систему, а хочуть інтегрувати кілька пристроїв у вже існуючу Wi-Fi-мережу без зайвих витрат і налаштувань. Саме тому Wi-Fi обирається для реалізації конкретного проєкту, зважаючи на те, що використовувані пристрої живляться від зовнішньої електромережі і не мають потреби в автономній роботі. Кількість

пристроїв у межах системи буде обмеженою, що виключає перевантаження маршрутизатора і дозволяє забезпечити стабільну роботу мережі без додаткових інвестицій у інфраструктуру. Проте, якщо розглядати ситуацію з перспективою масштабування або у випадку автономних систем, найкращим вибором залишається ZigBee [10-12].

1.4 Хмарні сервіси для управління та збору даних з IoT-пристроїв

Інтернет речей у сучасному розумінні практично неможливо уявити без залучення хмарних технологій, адже саме хмара забезпечує централізований збір, обробку, зберігання даних та налагоджену взаємодію між пристроями, користувачами та сторонніми сервісами, реалізуючи функціональну повноту того IoT-середовища, яке використовується сьогодні. Хмарна платформа виступає посередником між фізичними IoT-пристроями та кінцевими користувачами, надаючи змогу віддалено керувати різними сенсорами, контролерами, пультами й одночасно аналізувати отриману інформацію в реальному часі, що значно розширює потенціал управління, підвищує зручність експлуатації систем і загалом забезпечує гнучкість у побудові масштабованих рішень. Попри можливість існування IoT-систем у локальному середовищі, саме хмарні сервіси надають простіший механізм інтеграції, більш широкий набір інструментів для збирання, опрацювання, візуалізації даних і гнучке налаштування сценаріїв роботи, що робить їх практично невід’ємною складовою будь-якого повноцінного IoT-рішення [13-15].

Архітектура хмарного управління IoT-пристроями. З архітектурної точки зору, хмарна система управління IoT-пристроями зазвичай поділяється на декілька логічних рівнів, кожен з яких виконує специфічну функцію та забезпечує послідовну передачу даних і взаємодію пристроїв з хмарою та кінцевими додатками. Першим рівнем є рівень пристрою, який охоплює фізичні сенсори,

контролери й інші компоненти, оснащені модулями безпровідного зв'язку, такими як Wi-Fi, Zigbee або Bluetooth Low Energy, що забезпечує первинне зчитування даних, наприклад температури чи вологості, та їх передачу на вищі рівні. Наступним виступає транспортний рівень, на якому відбувається передача даних через інтернет за допомогою таких протоколів як MQTT, HTTP, CoAP чи WebSocket, при цьому обов'язковим є використання захищених каналів типу TLS або SSL, аби унеможливити втручання третіх сторін у передавання чутливої інформації. Далі йде хмарний рівень, який функціонує як центральний вузол для зберігання, обробки, аналітики, фільтрації та нормалізації даних, дозволяючи створювати інформаційні панелі, візуалізувати інформацію, здійснювати контроль і автоматизацію дій відповідно до заданих сценаріїв. Завершальним компонентом архітектури є користувацький рівень, який представлений мобільними або веб-застосунками, через які відбувається взаємодія з IoT-системою, включно з переглядом показників, зміною налаштувань, створенням сценаріїв типу «якщо-то», інтеграцією з голосовими помічниками на зразок Google Assistant, Alexa або Siri, що забезпечує зручний доступ до функціоналу системи з будь-якої точки (див. рис. 1.13) [14-15, 31].

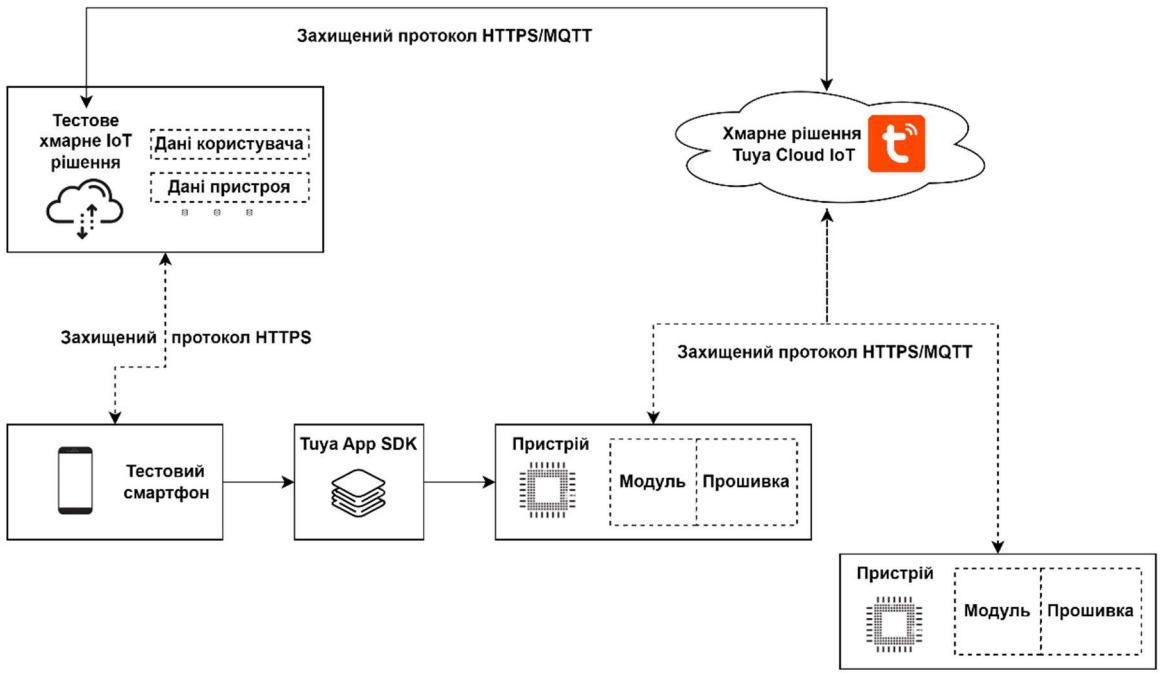


Рисунок 1.13 – Загальна схема архітектури хмарної IoT-платформи

Функціональні можливості сучасних IoT-хмар. Функціональні можливості сучасних хмарних платформ для IoT перетворилися на повноцінні середовища, здатні не лише зберігати та передавати інформацію, але й активно керувати пристроями, забезпечувати автоматизацію та аналітику, що значно розширює сферу їх застосування. Насамперед функціональність охоплює реєстрацію пристроїв із присвоєнням унікального ідентифікатора та подальшою авторизацією в системі, що дозволяє фіксувати конкретні сенсори та контролювати їх індивідуально. Наступним важливим етапом є зберігання та обробка отриманих даних, що передбачає накопичення історичних значень, побудову графіків і загалом формування повного огляду роботи системи. Після цього реалізується керування пристроями, зокрема їх ввімкнення, вимкнення, зміна параметрів та контроль стану. Розширення можливостей включає налаштування автоматизації за допомогою розкладів або тригерів, що дозволяє уникнути ручного втручання у щоденне керування. Додатково хмари можуть надсилати сповіщення або тривоги у разі перевищення критичних порогів, наприклад через push-повідомлення у мобільний застосунок, якщо увімкнене відповідне сповіщення. Однією з найцінніших функцій є підтримка API та SDK, що забезпечує відкритість платформи до інтеграцій з іншими системами або розробки кастомних інтерфейсів для керування. Також доступне багаторівневе керування доступом з ролями, що дозволяє, наприклад, додати ще одного користувача до пристрою з обмеженими правами, надаючи можливість керувати обладнанням, не змінюючи при цьому глобальних налаштувань. Нарешті, сучасні хмарні сервіси активно впроваджують аналітику та машинне навчання, що відкриває нові горизонти у прогнозуванні тенденцій, виявленні аномалій та загальному покращенні надійності та точності рішень, створюючи умови для самонавчальних адаптивних систем [13-14].

Порівняння популярних хмарних платформ для IoT. Серед усіх компонентів, що забезпечують функціонування сучасної IoT-інфраструктури, хмарні платформи займають центральне місце, адже саме вони реалізують механізми централізованого управління, збору, зберігання та обробки даних, а також забезпечують гнучку взаємодію між пристроями, користувацькими інтерфейсами

та зовнішніми службами. При порівнянні найпоширеніших хмарних рішень перш за все варто відзначити платформу Tuya IoT, яка є найбільш популярною серед рішень для масового виробництва розумних пристроїв і яка вже була розглянута в рамках прикладу з температурно-вологісними сенсорами. Вона передбачає інтеграцію через застосунок Tuya Smart, що підтримує:

— візуальний редактор сценаріїв;

— оновлення прошивок;

— можливості керування різноманітними пристроями;

— взаємодію з локальними шлюзами бренду.

Окрім Tuya, популярністю серед розробників-ентузіастів користується Blynk – платформа, орієнтована на невеликі DIY-проекти та малий бізнес із підтримкою широкого спектра пристроїв, включаючи ESP32, Arduino та Raspberry Pi. Її безкоштовна версія дозволяє будувати прототипи, реалізовувати базову автоматизацію та налаштовувати локальний сервер. Іншою альтернативою є ThingsBoard – потужне open-source рішення, що дозволяє розгортання як у хмарі, так і локально, з підтримкою основних IoT-протоколів, rule engine для автоматизації, розширеними дешбордами та можливістю використання у промисловому середовищі [13, 15].

Окрему групу складають корпоративні рішення, як-от AWS IoT або Azure IoT, що орієнтовані на масштабовані інфраструктури з глибокою аналітикою, машинним навчанням та широким спектром сервісів для інтеграції в корпоративні інформаційні системи, проте їх використання пов’язане з підвищеною складністю налаштування та оплатою за використання обчислювальних ресурсів, зберігання та мережевий трафік. Залежно від обраної хмарної платформи формується не лише модель архітектури IoT-рішення, а й визначається рівень доступних функціональних можливостей, масштабованість і рівень безпеки. Навіть при використанні одного й того ж протоколу – наприклад, MQTT – функціональність може суттєво відрізнятися залежно від підтримки "rule engine", сценаріїв автоматизації, рівня деталізації даних чи форм інтеграції (див. табл. 1.3) [13, 15].

Таблиця 1.3 – Порівняння популярних хмарних платформ для IoT

Платформа	**Тип доступу**	**Протоколи**	**Підтримка OTA**	**Налаштування автоматизації**	**Публічне API**
Tuya IoT	SaaS, моб. додаток	MQTT, HTTP	Так	Так (умови, сценарії)	Так
Blynk	SaaS/локальний	HTTP, MQTT	Обмежено	Так	Так
ThingsBoard	Open-source	MQTT, CoAP	Так	Rule Engine	Так
AWS IoT	Комерційний	MQTT, HTTP	Так	Lambda, Rules	Так

Можливості та інтеграція через API хмарних платформ. Серед важливих параметрів вибору платформи є доступність відкритого API, який дозволяє здійснювати інтеграцію з іншими сервісами, зчитувати показники в реальному часі, змінювати параметри роботи пристрою, оновлювати прошивку та запускати певні сцени чи сценарії, у тому числі через сторонні сервіси автоматизації на кшталт IFTTT, Node-RED або OpenHAB. Так, наприклад, API платформи Tuya дозволяє отримувати список пристроїв, зчитувати останні значення сенсорів, вмикати та вимикати режими роботи, активувати автоматизовані сцени тощо. Всі запити, як правило, реалізуються через REST або GraphQL інтерфейси з підтримкою автентифікації, включно з OAuth2 та JWT, а для MQTT-рішень – через сертифікати або токени. У випадку відкритих рішень, як-от ThingsBoard або Home Assistant, можлива реалізація повноцінної двосторонньої комунікації у реальному часі, що відкриває широкі можливості для адаптації під будь-які проєктні вимоги [13-15].

У підсумку, хмарні сервіси не лише забезпечують централізований контроль, зберігання, обробку та передачу даних, а й створюють середовище для реалізації масштабованих та взаємопов’язаних рішень з використанням автоматизації, аналітики та зовнішніх інтеграцій. Вибір конкретної хмарної платформи напряму

залежить від масштабу проєкту, цільового середовища використання, вимог до безпеки, підтримки протоколів та готовності до кастомізації, тому для споживчих рішень логічним варіантом є Tuya IoT, яка підтримує широкий спектр готових пристроїв та проста в налаштуванні, тоді як для промислових або дослідницьких завдань доцільніше звертатися до ThingsBoard або Azure IoT, де надається більша свобода розробнику і гнучкіша адаптація під галузеві вимоги [13-15].

1.5 Принципи інтеграції пристроїв в екосистему розумного дому

Інтеграція пристроїв для моніторингу температури та вологості, як і будь-яких інших елементів розумного дому, відбувається не ізольовано, а в межах побудови цілісної екосистеми, яка спрямована на забезпечення зручності, безпеки та енергоефективності в повсякденному житті. Така інтеграція включає не лише фізичне підключення сенсорів чи виконавчих пристроїв до мережі, але й передбачає:

— взаємодію;

— централізоване керування;

— автоматизацію;

— аналітику;

— реагування в режимі реального часу.

Дана інтеграція формує основу сучасного підходу до організації інтелектуального простору. У межах концепції розумного будинку функціонування пристроїв базується на принципах розподілених інтелектуальних систем, де сенсори, контролери, реле, камери та інші елементи з’єднуються між собою за допомогою хмарного середовища або локального шлюзу, створюючи єдину інтегровану систему. Таке об’єднання дозволяє здійснювати централізоване керування усіма компонентами через мобільні додатки, голосових асистентів або

веб-інтерфейс, забезпечуючи користувача повним контролем незалежно від фізичного розташування [16-17].

Архітектура екосистеми розумного дому. Архітектура екосистеми розумного дому включає кілька основних складових, серед яких першою є периферійний рівень — пристрої, що безпосередньо взаємодіють із навколишнім середовищем: сенсори, вимикачі, реле, розетки, камери, датчики руху, температури, вологості та інші. Далі слідує мережевий рівень, що охоплює комунікаційні протоколи типу Wi-Fi, Zigbee, Bluetooth, Z-Wave, LoRa та інші, які забезпечують передачу даних між пристроями та центральними контролерами. Нарешті, ключовим елементом виступає рівень управління, що об'єднує всі компоненти системи в єдине логічне середовище. Через застосунки типу Tuya Smart, Google Home, Alexa чи Apple HomeKit, або ж через локальні сервери на базі Home Assistant, OpenHAB чи Node-RED, система отримує можливість повноцінного функціонування з налаштуванням сценаріїв, аналітикою, журналюванням подій і зворотним зв'язком. Особливої уваги заслуговують гібридні варіанти, де поєднується локальне керування з можливістю доступу до хмарного функціоналу, що забезпечує баланс між автономністю, безпекою та гнучкістю. У разі використання локального шлюзу пристрої можуть працювати навіть без постійного інтернет-з'єднання, проте для налаштування та супроводу такої конфігурації потрібні базові технічні знання та досвід (див. рис. 1.14) [12-13, 16-17].

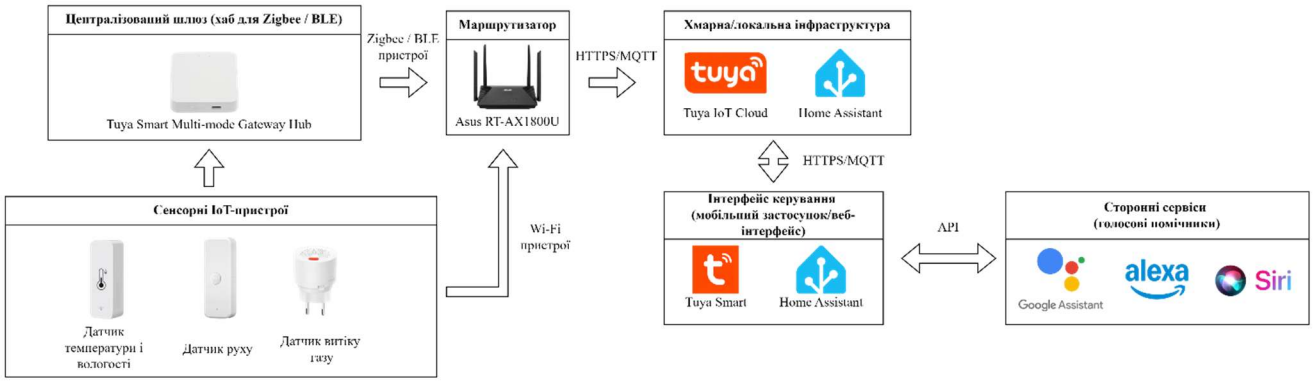


Рисунок 1.14 – Архітектура розумного будинку з IoT-пристроями

Інтеграція пристроїв з можливістю вимірювання температури та вологості, тобто мультифункціональних пристроїв таких як розумні пульти, де сенсори входять у склад багатофункціонального рішення, є яскравим прикладом того, як один пристрій може виконувати кілька ролей у системі. У такому випадку, сенсорна інформація зчитується фоново, тоді як головна функція пристрою — наприклад, керування ІЧ-пристроями — зберігається. Саме завдяки таким багатофункціональним компонентам побудова розумного дому набуває максимальної гнучкості, коли один пристрій водночас забезпечує контроль за мікрокліматом, автоматизує керування побутовими приладами та реагує на зміни середовища, що особливо актуально для побудови енергоефективних сценаріїв [7-9, 16-17].

Сценарії автоматизації в розумному домі. Застосування автоматизації у межах екосистеми розумного дому є одним із основних аспектів, що дозволяє перейти від простого дистанційного керування до справді інтелектуальної взаємодії системи з користувачем та навколишнім середовищем. Автоматизація полягає у створенні умовних сценаріїв, які активують певні дії в залежності від часу, зміни показників сенсорів або подій, що відбуваються у будинку. Наприклад, коли температура перевищує 27 °C, вмикається кондиціонер або вентилятор, а якщо падає нижче 18 °C — активується обігрівач. За аналогічною логікою можна організувати контроль вологості: при зниженні до рівня нижче 40% вмикається зволожувач повітря. У системах безпеки сценарії включають дії на відкриття дверей, рух у приміщенні у відсутності власника, що спричиняє активацію сигналізації та надсилання повідомлень на смартфон.

Для підвищення комфорту використовуються сценарії, які при виході з дому автоматично вимикають світло, відключають розетки, зменшують температуру опалення або переводять систему в енергозберігаючий режим. Сценарії можуть бути як часовими, що виконуються відповідно до заданого розкладу (наприклад, вмикання освітлення о 19:00), так і умовними, що реагують на тригери — події, які змінюють стан системи (рух, відкрите вікно, вологість тощо). Більш складні варіанти реалізуються через логічні блоки "IF, AND, OR", включаючи

багаторівневу залежність від кількох параметрів одночасно. Реалізація таких сценаріїв значною мірою залежить від вибраної платформи, її гнучкості та доступного інтерфейсу для створення умов [16].

На прикладі Tuya Smart, що буде розглядатися детально далі, можна створювати подібні сценарії без потреби програмування, використовуючи просту логічну схему з блоками типу "якщо/то", що робить процес автоматизації доступним навіть для користувачів без технічної підготовки. Саме такі рішення дозволяють реалізовувати інтелектуальні дії системи на основі даних із вбудованих сенсорів, включно з температурою, вологістю, присутністю, освітленням тощо, роблячи екосистему не лише адаптивною, але й передбачуваною у дії [16].

Інтерфейси керування та доступу. Інтерфейси керування та доступу до пристроїв у системах розумного дому розвиваються з акцентом на максимальну зручність користувача, тому найпоширенішим та практично основним способом взаємодії є мобільний додаток, який зазвичай є єдиною точкою контролю. Через мобільний застосунок відображається поточний стан пристрою, наприклад, температура, вологість або активний режим, а також доступне ручне керування: вмикання чи вимикання пристроїв, створення сценаріїв автоматизації, перегляд історії подій, отримання push-сповіщень та інші функції, які не перенавантажують інтерфейс і дозволяють інтуїтивно здійснювати керування. Окрім мобільного застосунку, до зручних способів взаємодії належать і голосові асистенти — платформи на кшталт Google Assistant, Amazon Alexa або Apple Siri, які дають змогу виконувати голосові команди на зразок «Окей, Google, яка температура в спальні?» або «Алекса, увімкни зволожувач», що є корисним у ситуаціях, коли немає змоги скористатися мобільним пристроєм. В умовах використання відкритих або кастомізованих рішень, як-от Home Assistant, OpenHAB чи ThingsBoard, часто передбачене керування через веб-інтерфейс, який відкривається у браузері та дозволяє виконувати більш складні дії: налаштування автоматизації, доступ до журналів, діагностика та повна візуалізація даних, оскільки такі системи зазвичай будуються самостійно з гнучкими можливостями кастомізації. Фізичні інтерфейси — кнопки, сенсорні панелі або пульти дистанційного керування — також

використовуються у системах, де необхідне миттєве реагування без доступу до смартфона, наприклад, натисканням однієї кнопки запускається певний сценарій, вмикається освітлення або виконується команда на зниження температури, причому ці елементи часто реалізуються у вигляді безпровідних сценарних кнопок [16].

Взаємодія та зв'язок між пристроями. Інтеграція пристроїв та їх взаємодія в межах єдиної екосистеми забезпечується не лише технічною сумісністю, але й продуманими підходами до обміну даними між елементами без прямої участі користувача. Серед типів взаємодії можна вирізнити "peer-to-peer" — прямий обмін даними між двома пристроями, який зустрічається в IoT доволі рідко через складність масштабування. Натомість більш поширеною є шлюзова модель, коли передача даних відбувається через локальний або хмарний шлюз, як-от у Zigbee-системах, де вся комунікація проходить через центральний координатор. Ще одним підходом є модель подій або "event-driven", у якій пристрої реагують на зміни в системі — оновлення сенсора, спрацювання таймера чи зміну стану, що підходить для платформ з розвиненою логікою автоматизації, особливо у середовищах на зразок Home Assistant. Універсальні хаби, як-от SmartThings, Zigbee Tuya Gateway або віртуальні, на кшталт самого Home Assistant, дають змогу поєднувати пристрої різних виробників, оскільки виступають посередниками між протоколами. У таких випадках хаб може бути як апаратним, так і програмним, головне — підтримка API та відповідних інтеграцій. Інший підхід — bridge-шлюзи, які перетворюють сигнали між різними стандартами, наприклад, з Zigbee у Wi-Fi або Ethernet, що дозволяє підключити локальну систему до зовнішньої хмари. Логіка сценаріїв будується в таких системах зазвичай у хмарі або локально і визначає реакції пристроїв на вхідні дані, наприклад, сенсор вологості активує зволожувач, незалежно від протоколу підключення, оскільки обробка відбувається централізовано [12-13, 16-17].

Практичний приклад взаємодії може ґрунтуватися на використанні сенсора температури, вбудованого у мультифункціональний пристрій, що розглядатиметься у контексті даної роботи, а саме розумний пульт типу Tuya S06 Pro або S09, який у

разі виявлення перегріву передає дані у хмарну платформу Tuya через Wi-Fi-з’єднання, після чого система активує відповідний сценарій — наприклад, вмикає кондиціонер. Сигнал керування у цьому випадку подається інфрачервоним каналом із пульта до кліматичної техніки, а весь процес виконується без участі користувача. У зворотному напрямі той самий ланцюг може спрацювати і для вимкнення пристрою при досягненні нижньої межі температури. У підсумку створюється не просто технічно об’єднана система, а адаптивне середовище, яке функціонує автономно відповідно до заданих правил. Завдяки підтримці відкритих API, сумісності протоколів, централізованому керуванню та гнучкому налаштуванню сценаріїв, користувач отримує справжню систему автоматизації, де сенсори стають не лише джерелом даних, а й активними учасниками управління, здатними впливати на роботу всієї екосистеми. Такий підхід дозволяє уникати дублювання пристроїв і реалізовувати ефективну інтеграцію вже наявних компонентів у межах інтелектуального простору.

РОЗДІЛ 2 РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ НА БАЗІ ГОТОВИХ ВБУДОВАНИХ РІШЕНЬ

2.1 Аналіз функціональних можливостей вбудованих пристроїв із сенсорами мікроклімату

У інтернеті речей дедалі частіше використовуються вбудовані пристрої з функціями моніторингу мікроклімату, що поєднують декілька функцій в одному компактному корпусі. Такі рішення створюються не як вузькоспеціалізовані пристрої, а як багатофункціональні елементи, що інтегруються у вже існуючу інфраструктуру без необхідності повного її оновлення. У більшості випадків йдеться про пристрої, спроєктовані для однієї основної функції, наприклад дистанційного керування побутовою технікою, але водночас оснащені додатковими модулями, які дозволяють зчитувати мікрокліматичні параметри — передусім температуру та вологість. Завдяки такому підходу забезпечується висока адаптивність при впровадженні IoT-рішень у житлових приміщеннях, де часто наявне обладнання не має підтримки сучасних цифрових протоколів або зовсім позбавлене можливості підключення до розумної екосистеми.

Замість того, щоб замінювати наявні кліматичні або побутові системи на нові моделі з підтримкою Wi-Fi чи Zigbee, користувачі можуть інтегрувати універсальні багатофункціональні пристрої, які працюють із застарілими інтерфейсами, наприклад інфрачервоним або радіокеруванням. Такий підхід дозволяє без суттєвих витрат отримати гнучке керування технікою, не змінюючи звичної інфраструктури. У домашній автоматизації це особливо актуально, адже більшість існуючих приладів керуються інфрачервоними пультами, які вже втратили актуальність у контексті автоматизації, але досі залишаються функціональними. Універсальні пристрої на кшталт розумних пультів дистанційного керування виконують роль мосту між старим обладнанням та новими технологіями,

дозволяючи не тільки автоматизувати керування, а й реалізовувати складні логіки сценаріїв за участі кліматичних умов.

Яскравим прикладом таких пристроїв є універсальні інфрачервоні та радіочастотні пульти, які здатні замінити десятки звичайних пультів завдяки можливості копіювати та передавати сигнали широкого спектра. Підключення до живлення здійснюється зазвичай через адаптер 220В на 5В, що усуває потребу в постійній заміні батарейок, характерній для звичайних пультів. Проте найціннішим функціональним доповненням таких пристроїв є наявність вбудованих сенсорів температури та вологості. Таким чином, окрім функції керування технікою, користувач отримує можливість моніторингу стану повітря в приміщенні, що значно розширює сценарії застосування — наприклад, можна запрограмувати автоматичне увімкнення зволожувача повітря або кондиціонера при зміні мікрокліматичних параметрів, не вдаючись до додаткових датчиків [18-19].

Замість того, щоб купувати окремі пристрої для збирання кліматичних даних, користувач інтегрує один пристрій, який виконує кілька функцій, що значно спрощує побудову системи розумного будинку та знижує витрати, адже не потребує ані додаткових шлюзів, ані розгортання складної інфраструктури з різнорідними модулями. Таке рішення також вигідно в аспекті естетики, оскільки не потребує монтажу додаткових елементів на стіни або меблі, зменшуючи кількість зайвих кабелів і пристроїв у кімнаті.

Концепція поєднання функцій в одному пристрої. Концепція багатофункціональності в одному пристрої дедалі частіше реалізується у продуктах компаній, що працюють в екосистемі Tuya Smart. Зокрема, дві поширені моделі — Tuya WiFi RF IR Remote Control S06 Pro та S09 — демонструють таку інтеграцію найнаочніше. Обидва пристрої поєднують функції інфрачервоного та радіочастотного передавача, а також мають вбудовані сенсори температури та вологості, що дозволяє використовувати їх як центральні керувальні вузли у системі домашньої автоматизації, які не тільки замінюють звичайні пульти, а й постачають актуальні дані для тригерів в автоматизованих сценаріях. Обидві моделі працюють через хмару Tuya, мають підтримку мобільного застосунку,

сумісного з платформами Android та iOS, і можуть бути інтегровані в інші платформи через протоколи API або за допомогою таких інструментів, як Home Assistant, що розширює можливості побудови інтелектуального середовища (див. рис. 2.1) [18-19].

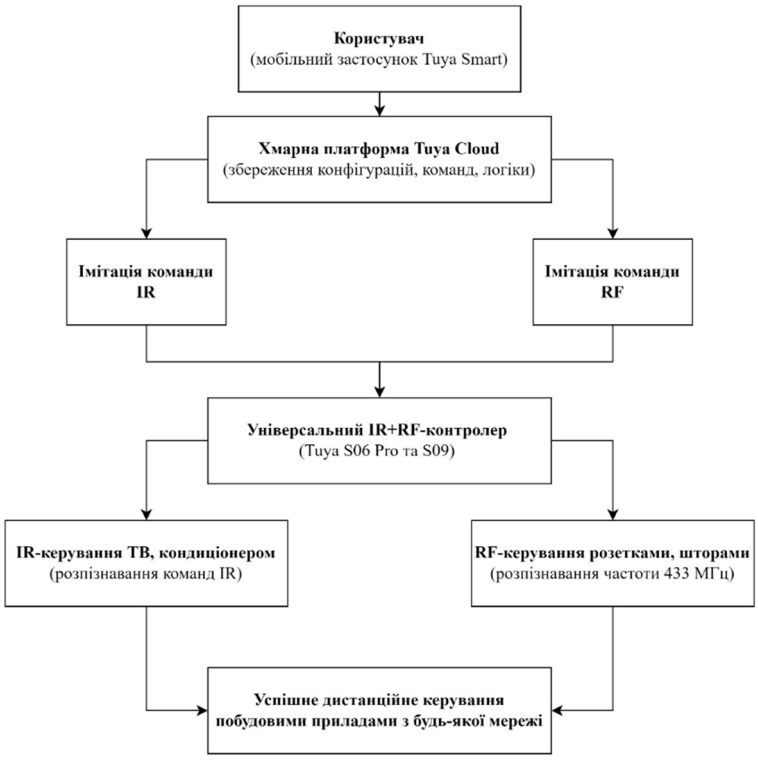


Рисунок 2.1 – Концепція універсального пристрою з IR та RF

Функціональні можливості таких пристроїв не обмежуються лише зчитуванням кліматичних параметрів. Завдяки хмарній синхронізації дані доступні в реальному часі з будь-якої точки, а інтерфейс мобільного додатку дозволяє не лише переглядати поточні показники, а й будувати графіки змін, налаштовувати сценарії залежно від часу доби або зовнішніх умов, а також інтегрувати ці дані у взаємодію з іншими елементами системи розумного будинку. Наприклад, при досягненні певної температури може запускатися кондиціонер, а при зниженні вологості — зволожувач, причому автоматично й без участі користувача. Такий рівень автоматизації стає можливим завдяки глибокій інтеграції сенсорної інформації у логіку прийняття рішень, яка раніше була доступною лише у дорогих професійних системах.

Tuya S06 Pro – універсальний пульт без дисплея. Tuya S06 Pro, також відома як Tuya Wi-Fi RF IR Remote Control S06 Pro, є компактним універсальним пристроєм без дисплея, призначеним для дистанційного керування побутовою технікою, яка працює на радіочастоті 433 МГц. Основне її призначення — заміна традиційних пультів дистанційного керування для телевізорів, кондиціонерів, вентиляторів та інших сумісних пристроїв, що функціонують через ІЧ або РЧ сигнали. Завдяки підключенню до Wi-Fi мережі пристрій забезпечує можливість віддаленого контролю через мобільні застосунки, зокрема через Tuya Smart або Smart Life, які наразі мають майже ідентичний інтерфейс, однак перевага надається саме Tuya Smart через частіші оновлення та активну підтримку. Оскільки пристрої живляться безпосередньо від електромережі через micro USB, їх доцільно використовувати в компактних домашніх системах розумного дому з кількістю Wi-Fi-пристроїв не більше п’яти, адже у випадку перевищення цього порогу краще обрати альтернативну технологію зв’язку на кшталт ZigBee, що є більш ефективною для масштабованих інсталяцій. Водночас S06 Pro реалізовано як Wi-Fi-рішення саме для нескладних систем, де інтеграція здійснюється напряму з маршрутизатором і хмарним середовищем Tuya, що забезпечує взаємодію з мобільним застосунком незалежно від фізичної присутності в локальній мережі (див. рис. 2.2) [18-19].



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд пристрою Tuya S06 Pro

Хоча пристрій виглядає мінімалістично та не має дисплея, він оснащений вбудованими сенсорами температури та вологості, які в реальному часі зчитують дані та передають їх до хмари, де вони можуть бути використані для автоматизованих сценаріїв, наприклад, активації кондиціонера при досягненні певної температури. Для живлення використовується стандартний micro USB-порт на 5 В, що вважається застарілим на тлі сучасних пристроїв із підтримкою Type-C, однак не створює критичних обмежень у функціонуванні.

Основні технічні характеристики S06 Pro включають:

— підтримку інфрачервоного керування та радіочастот 315 та 433 МГц;
— Wi-Fi 2.4 ГГц;
— точність вимірювання температури ±0,5 °C та вологості ±5 %;
— оновлення OTA;
— повну сумісність із голосовими асистентами, Google Assistant, Amazon Alexa та Apple Siri.

Пристрій не має жодних елементів керування на корпусі, однак оснащений великою кількістю інфрачервоних світлодіодів, що забезпечують всенаправлену роботу незалежно від положення в кімнаті, завдяки чому його можна розмістити в будь-якій зручній точці.

Tuya S09 – модель із монохромним дисплеєм. У свою чергу Tuya S09, яка часто також ідентифікується як просто S09 без чіткого офіційного маркування моделі, є продовженням і вдосконаленням попереднього варіанту, орієнтованим на користувачів, які цінують локальний моніторинг. Головною візуальною та функціональною відмінністю є наявність монохромного LCD-дисплея, який дозволяє переглядати в реальному часі температуру, вологість, годину, дату та день тижня, що перетворює пристрій також на зручний настільний годинник (див. рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд пристрою Tuya S09 з дисплеєм

Завдяки конструкції з підставкою його можна встановити вертикально, що створює додаткову зручність у побуті, зокрема для тих, хто бажає мати постійний доступ до мікрокліматичних показників без необхідності відкривати мобільний застосунок. S09, як і S06 Pro, має можливість (див. рис. 2.4):

— керування пристроями через ІЧ та РЧ сигнали;
— підтримує Wi-Fi 2.4 ГГц;
— повністю інтегрується в екосистему Tuya;
— передає дані до хмарного середовища;
— підтримує роботу з голосовими асистентами.



Рисунок 2.4 – Відображення даних про температуру та вологість у S09

Вбудовані сенсори температури та вологості мають аналогічну точність до S06 Pro, тобто ±0,5 °C та ±5 % відповідно, а підключення до Wi-Fi здійснюється через той самий принцип «маршрутизатор → хмара → мобільний застосунок». Завдяки екрану модель споживає трохи більше енергії, однак ця особливість виправдана розширеними можливостями локального контролю. Пристрій також може бути закріплений на стіну, що дозволяє обрати оптимальний спосіб встановлення — горизонтально або вертикально — залежно від побутових потреб, а серед його головних переваг вирізняється саме можливість миттєвого доступу до кліматичних даних і відображення часу, що створює додану вартість у використанні як багатофункціонального елементу сучасної екосистеми розумного дому [18-19].

Типи зчитуваних даних і сценарії використання. Якщо розглядати типи зчитування даних і сценарії використання, то обидва пристрої, незалежно від моделі, здатні зчитувати цифрові значення температури та відносної вологості повітря, після чого ці дані передаються через Wi-Fi з інтегрованих сенсорів до хмарного середовища Tuya, звідки повертаються для візуалізації у мобільному застосунку Tuya Smart або Smart Life, хоча в межах цього аналізу застосунок Tuya Smart розглядається як основний через часті оновлення й ширшу підтримку функціоналу, зокрема саме звідти здійснюється керування пристроями та моніторинг значень. Отримані параметри навколишнього середовища не лише відображаються у додатку в реальному часі, а й можуть бути використані для запуску сценаріїв автоматизації, таких як вмикання або вимикання обігрівачів, кондиціонерів чи вентиляційних пристроїв у відповідь на зміну температури або вологості, що дозволяє створити адаптивну реакцію системи на поточні мікрокліматичні умови. Окрім цього, реалізовано функцію логування, яка передбачає формування історії змін кліматичних показників, що надає можливість проаналізувати динаміку середовища протягом тривалого періоду, а також налаштувати сповіщення про критичні відхилення, наприклад, при надмірному підвищенні вологості або зниженні температури нижче певного рівня, що має практичну цінність у контексті моніторингу житлових, офісних або складських приміщень (див. рис. 2.5).

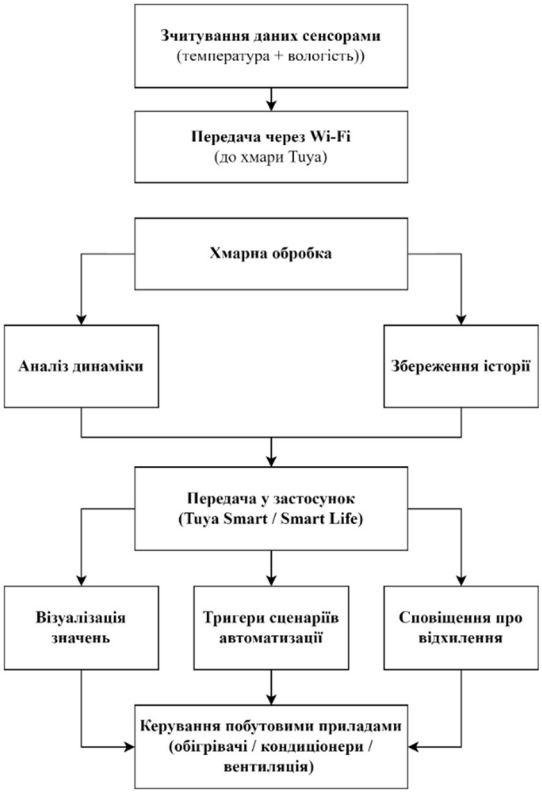


Рисунок 2.5 – Алгоритм роботи системи моніторингу температури та вологості на основі мультифункціональних пристроїв

Завдяки такій багатофункціональності пристрої можуть слугувати центральним елементом автоматизованої екосистеми, забезпечуючи комплексне керування на основі фактичного стану довкілля без необхідності залучення сторонніх сенсорів або шлюзів, що спрощує розгортання і зменшує загальні витрати на систему [19].

Можливості інтеграції та переваги в контексті існуючої інфраструктури. Інтеграція пристроїв, таких як S06 Pro та S09, не потребує складного налаштування чи спеціального технічного підготовлення, оскільки достатньо завантажити застосунок Tuya Smart на мобільний пристрій, створити обліковий запис або авторизуватися через існуючий акаунт, наприклад, за допомогою Google, після чого додати пристрій через Bluetooth-синхронізацію, яка відбувається автоматично і потребує лише короткотривалого фізичного доступу. Завдяки тому, що пристрої працюють без шлюзу і напряму підключаються до Wi-Fi, усувається потреба у придбанні додаткових вузлів системи, що особливо зручно у випадках, коли встановлення повномасштабної розумної інфраструктури є економічно

недоцільним або обмеженим через технічні умови приміщення. Підтримка інфрачервоного керування (IR) та радіочастотного (RF) сигналу дозволяє використовувати пристрої як універсальні пульти для широкого спектра побутової техніки, включаючи кондиціонери, телевізори, вентилятори та інші пристрої, що керуються пультами стандартних частот 315 або 433 МГц, що дозволяє інтегрувати нову систему в уже наявну інфраструктуру без необхідності заміни або модернізації старих приладів, зберігаючи повну функціональність та розширюючи можливості керування (див. табл. 2.1) [18-19].

Таблиця 2.1 – Технічна та функціональна характеристика Tuya Wi-Fi RF IR Remote Control S09

Характеристика	**Опис**
Тип пристрою	Універсальний пульт із монохромним LCD-дисплеєм
Технології керування	ІЧ (інфрачервоне) + РЧ (315/433 МГц)
Мережеве з’єднання	Wi-Fi 2.4 ГГц
Інтерфейс управління	Мобільні застосунки Tuya Smart / Smart Life
Сумісність	Google Assistant, Amazon Alexa, Apple Siri (через шлюзи)
Джерело живлення	micro USB, 5 В
Сенсори	Температура (±0,5 °C), вологість (±5 %)
Дисплей	Монохромний LCD — показує температуру, вологість, дату, час
OTA-оновлення	Підтримується
Конструкція	Вертикальна підставка, можливість настінного монтажу
Переваги	Локальний перегляд даних, годинник, зручність позиціонування
Обмеження за кількістю пристроїв	Рекомендовано до 5 Wi-Fi IoT-пристроїв на мережу
Оптимальне використання	Побутові розумні системи з акцентом на локальний контроль

Оскільки пристрої можуть взаємодіяти з іншими платформами, такими як Node-RED, Home Assistant, OpenHAB або MQTT-сервери, вони також придатні для впровадження в більш складні та відкриті екосистеми, що надає широкі можливості масштабування у майбутньому, якщо виникне потреба в переході від базового рівня автоматизації до глибокої кастомізації функціоналу. При цьому S06 Pro і S09 зберігають простоту початкового налаштування і забезпечують високу сумісність з голосовими асистентами Google Assistant, Amazon Alexa та Apple Siri, що додатково спрощує їхнє використання у повсякденному житті. Таке поєднання універсальності, сумісності та простоти робить ці моделі ефективним рішенням для створення гнучкої системи моніторингу мікроклімату та керування побутовими пристроями без потреби у складних технічних знаннях або зміні всієї електронної інфраструктури [12-13, 18-19].

2.2 Побудова архітектури системи моніторингу з використанням хмарної платформи

У контексті сучасного розвитку систем автоматизації, особливо у сфері моніторингу мікроклімату в житлових приміщеннях, важливим аспектом виступає не лише фізична присутність вбудованих сенсорів, а й інтеграція цих пристроїв у розгалужену архітектуру, яка поєднує:

— хмарні сервіси;

— мобільні застосунки;

— локальну мережу.

Архітектурна модель, побудована на базі хмарної платформи Tuya Smart та її інфраструктури Tuya IoT Cloud, створює цілісне середовище для реалізації розумного моніторингу, забезпечуючи просту інтеграцію пристроїв, централізоване керування, збереження й обробку даних, а також масштабованість рішень без необхідності в складному конфігуруванні чи спеціальному обладнанні.

Сама структура такої системи є трирівневою, де на першому рівні знаходяться пристрої-клієнти, що включають сенсорні вузли на кшталт моделей Tuya S06 Pro і S09, які безперервно зчитують показники температури та вологості і передають їх на сервер, водночас приймаючи команди зворотного зв'язку для керування побутовою технікою. Наступним елементом виступає хмарна інфраструктура, тобто Tuya IoT Cloud, яка не лише зберігає отримані дані, а й виконує їх обробку, аналітику, маршрутизацію запитів та формування логіки автоматизації, слугуючи єдиним цифровим ядром системи, без якого вона втрачає свою функціональність. На третьому рівні розміщується користувацький інтерфейс, реалізований у вигляді мобільного додатку Tuya Smart, який надає доступ до візуалізації показників, конфігурації сценаріїв, налаштування повідомлень та управління пристроями (див. рис. 2.6) [20-21, 31].

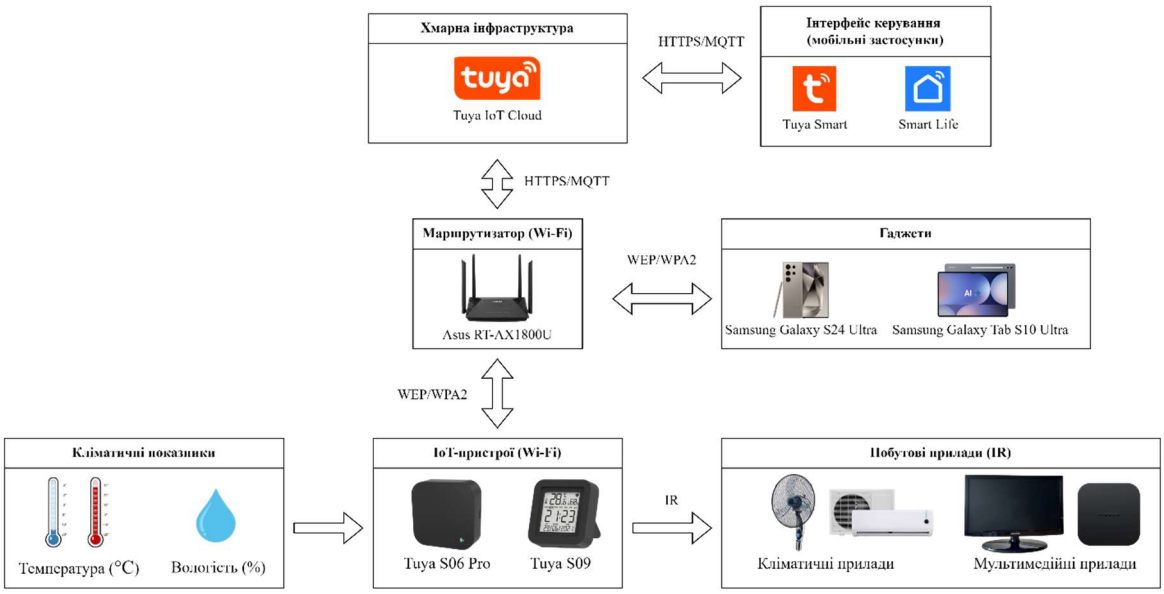


Рисунок 2.6 – Архітектура системи моніторингу з використанням хмарної платформи

Підключення пристроїв через Tuya Smart. Підключення нових елементів до системи відбувається за спрощеною процедурою. Після встановлення додатку Tuya Smart і проходження авторизації через акаунт Tuya або, для зручності, за допомогою Google-облікового запису, користувач отримує доступ до головного

меню, де є можливість додати пристрої шляхом сканування QR-коду або використання функції автоматичного пошуку через Bluetooth (див. рис. 2.7).

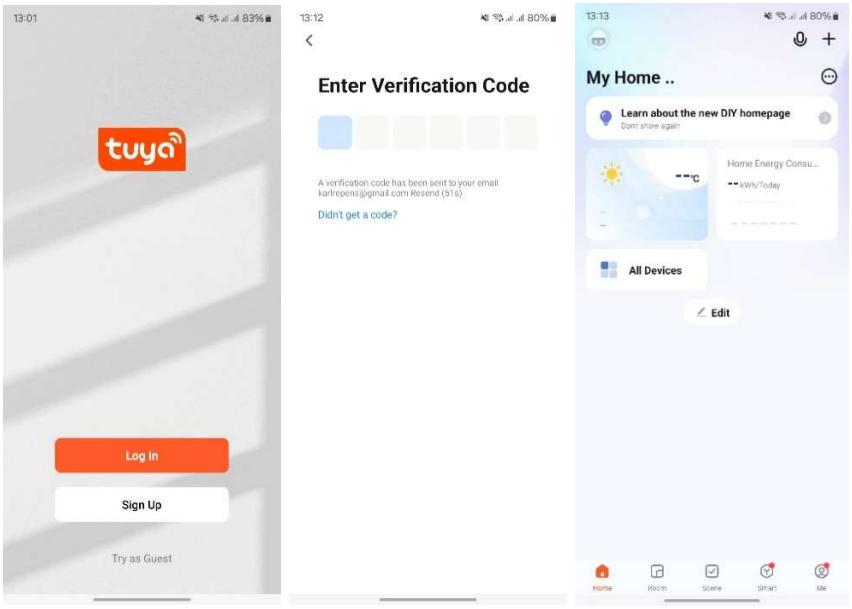


Рисунок 2.7 – Інтерфейс мобільного додатку Tuya Smart

Моделі типу S06 Pro та S09 мають вбудований Bluetooth-модуль, який дозволяє здійснювати перше з’єднання з мінімальними діями: після підключення пристрою до живлення він автоматично стає видимим для додатку, і після підтвердження вибору необхідно лише вказати параметри Wi-Fi мережі (див. рис. 2.8).

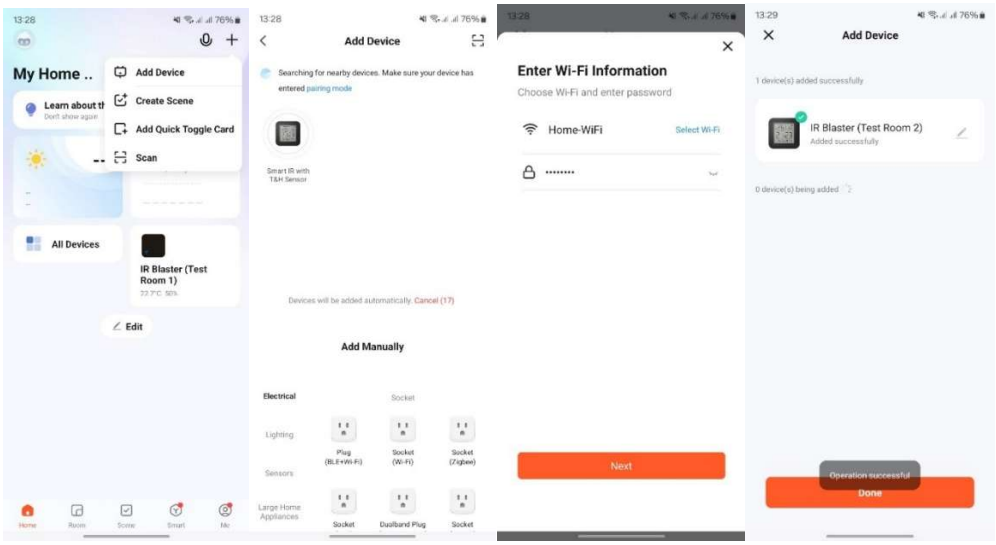


Рисунок 2.8 – Додавання нових пристроїв до мобільного додатку

У відповідь пристрій проходить процес синхронізації, підключається до хмари та з’являється у списку доступних пристроїв в інтерфейсі, де вже можна бачити активну передачу даних температури і вологості (див. рис. 2.9) [20-21].

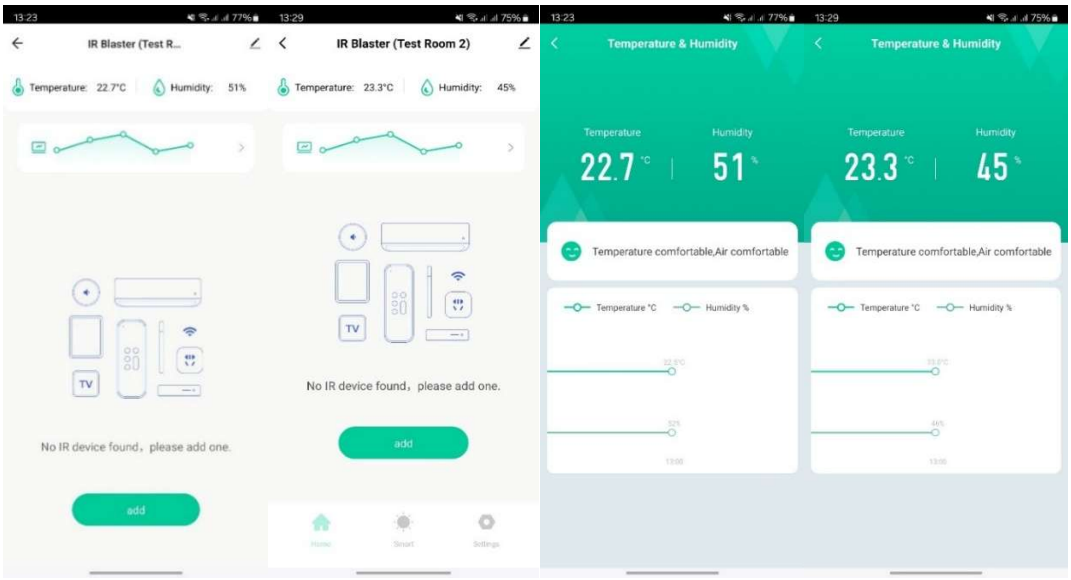


Рисунок 2.9 – Приклад сформованих даних зі кліматичними показниками

Подальше налаштування включає розташування пристроїв у фізичному просторі, а також можливість розширення їх функціоналу. Завдяки підтримці інфрачервоного і радіочастотного керування, пристрої можуть слугувати універсальними пультами дистанційного керування до кондиціонерів, телевізорів, вентиляторів тощо. У додатку реалізований механізм навчання пульта: після вибору типу пристрою, наприклад, кондиціонера, пропонується набір кнопок, які перевіряються на сумісність. У разі позитивної відповіді формується віртуальний пульт із можливістю іменування, що дозволяє розмежувати різні пристрої. Така можливість дозволяє здійснювати централізоване керування технікою, навіть якщо вона не підтримує мережеві функції, фактично модернізуючи її без втручання в апаратну частину (див. рис. 2.10).

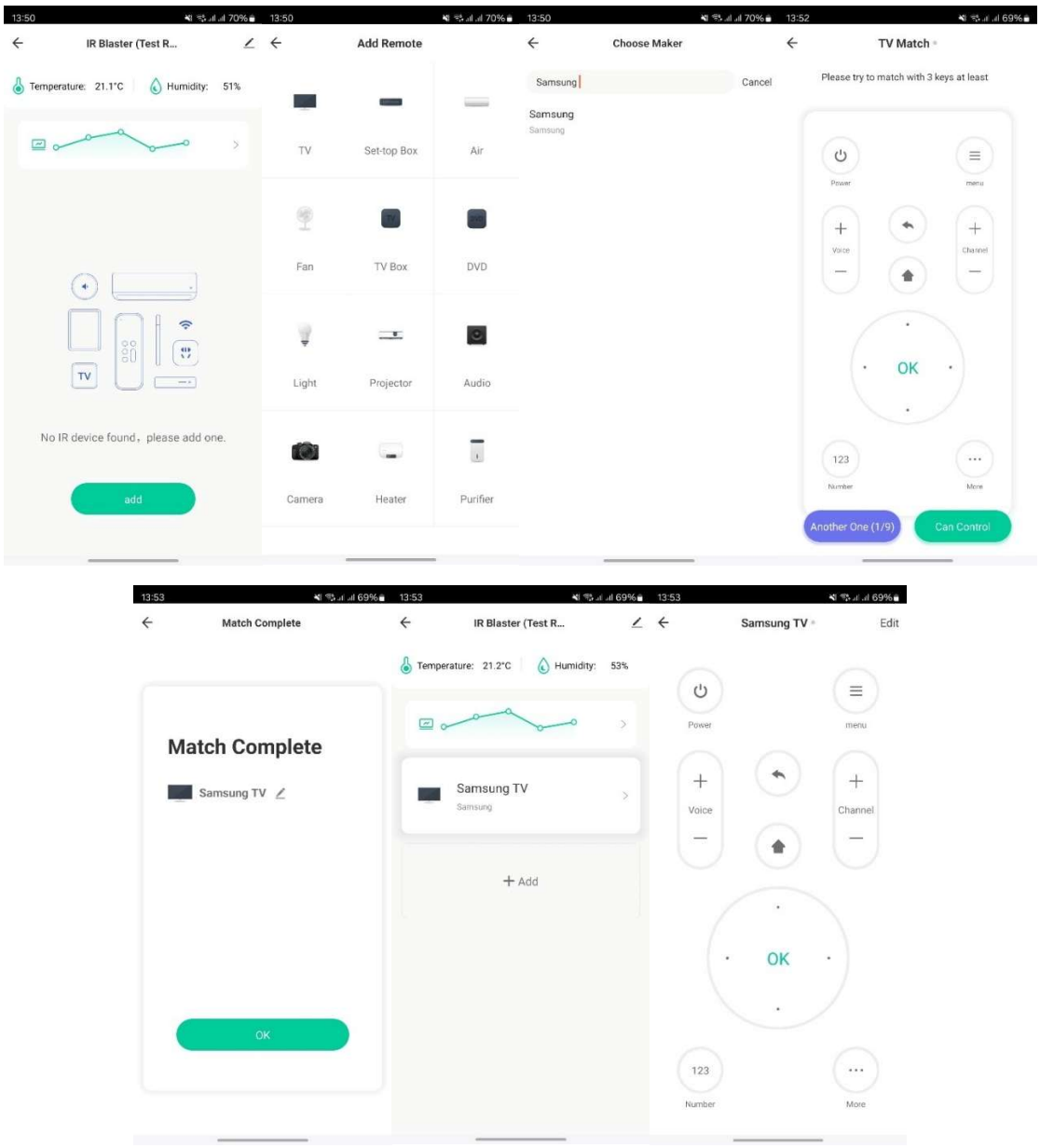


Рисунок 2.10 – Приклад реалізації додаткового функціоналу системі: додавання віртуальних готових пультів ДК для керування побутовою технікою

Важливо, що всі елементи системи взаємодіють через інтернет за допомогою протоколів HTTP та MQTT із використанням шифрування для захисту переданих даних, що гарантує безпечний обмін інформацією між усіма рівнями архітектури. Самі пристрої після первинного налаштування формують цифровий профіль, який містить інформацію про доступні функції, тип сенсорів, канали керування, і цей профіль у подальшому дозволяє платформі розпізнавати пристрій як сервіс у рамках розподіленої інтелектуальної інфраструктури. Завдяки такій побудові, доступ до пристроїв та контроль над ними можливий з будь-якої мережі, незалежно

від фізичного розташування користувача, що дозволяє не лише отримувати оперативні показники довкілля, а й адаптивно реагувати на зміни через запрограмовані сценарії, наприклад, вмикати обігрівач при зниженні температури або активувати вентиляцію при підвищеній вологості, забезпечуючи комфорт у приміщенні без постійної участі людини (див. рис. 2.11) [20-21].

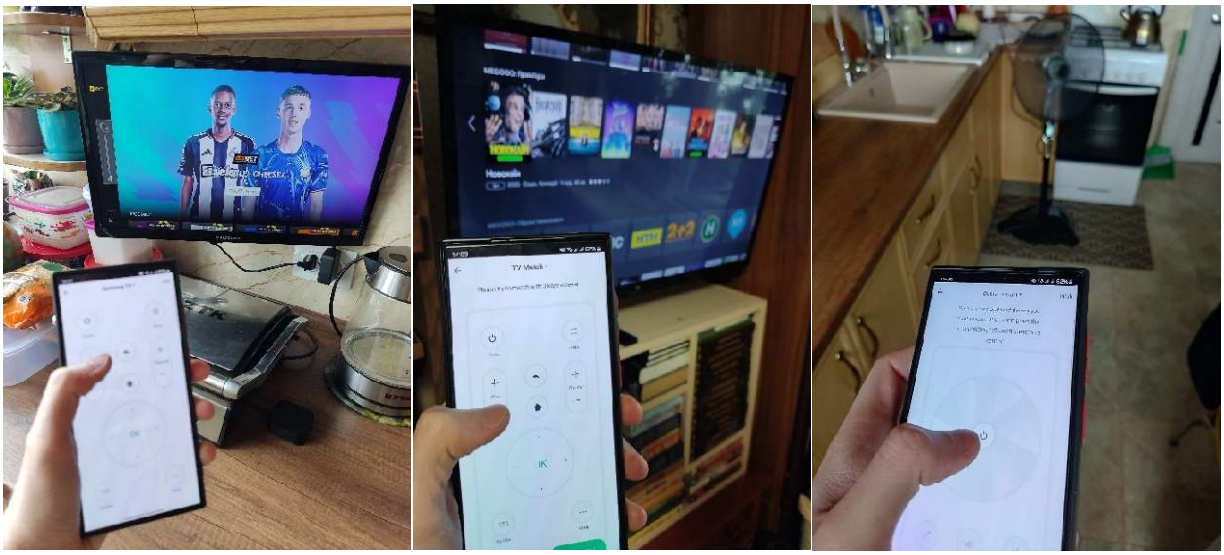


Рисунок 2.11 – Демонстрація реалізації додаткового функціоналу системі: робота кастомізованих віртуальних пультів ДК для керування побутовою технікою

Також, деякі моделі пультів ДК може не бути у БД додатка Tuya Smart, тому допустима реалізація створення кастомізованих віртуальних пультів ДК шляхом навчання кодам ІЧ від вже наявного пульта (див. рис. 2.12).

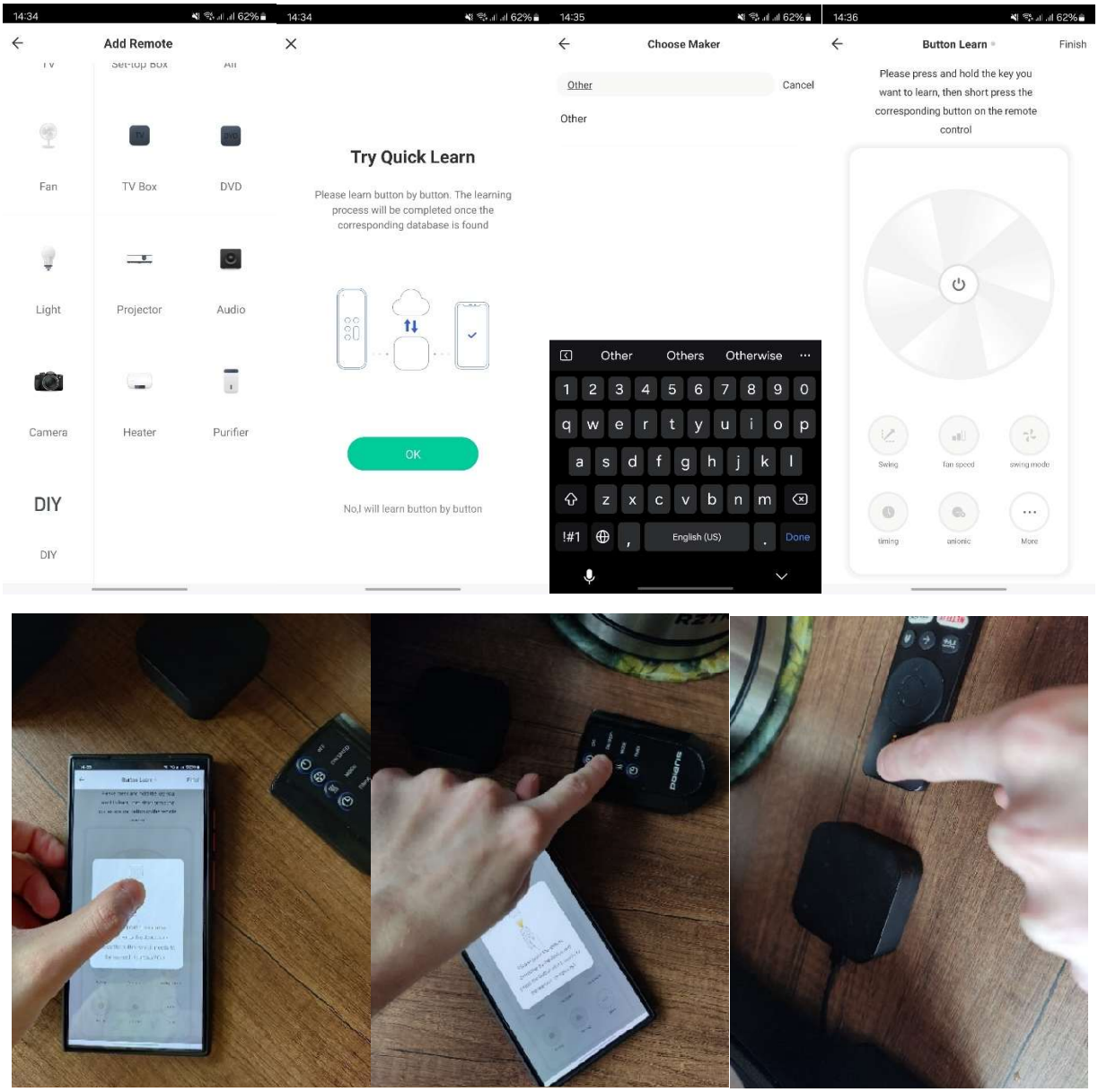


Рисунок 2.12 – Демонстрація реалізації додаткового функціоналу системі: процес навчання та додавання кодів ІЧ наявних пультів для керування побутовою технікою

Користувацький інтерфейс та мобільний додаток Tuya Smart. Мобільний додаток Tuya Smart фактично є готовим універсальним інтерфейсом для взаємодії користувача з пристроями екосистеми розумного дому, забезпечуючи інтуїтивно зрозумілу конфігурацію та додавання нових елементів системи, перегляд поточних даних, отриманих із вбудованих сенсорів, а також створення автоматизованих сценаріїв, які можуть реагувати на зміни кліматичних умов або інші події. Додаток дозволяє налаштовувати надсилання push-повідомлень у разі досягнення

критичних значень температури чи вологості, що забезпечує оперативне інформування про стан системи навіть у випадках фізичної відсутності власника приміщення, а також здійснювати дистанційне керування окремими елементами — зокрема, ввімкнення або вимкнення розумних пультів, реле чи інших пристроїв, які відповідають за керування мікрокліматом (див. рис. 2.13).

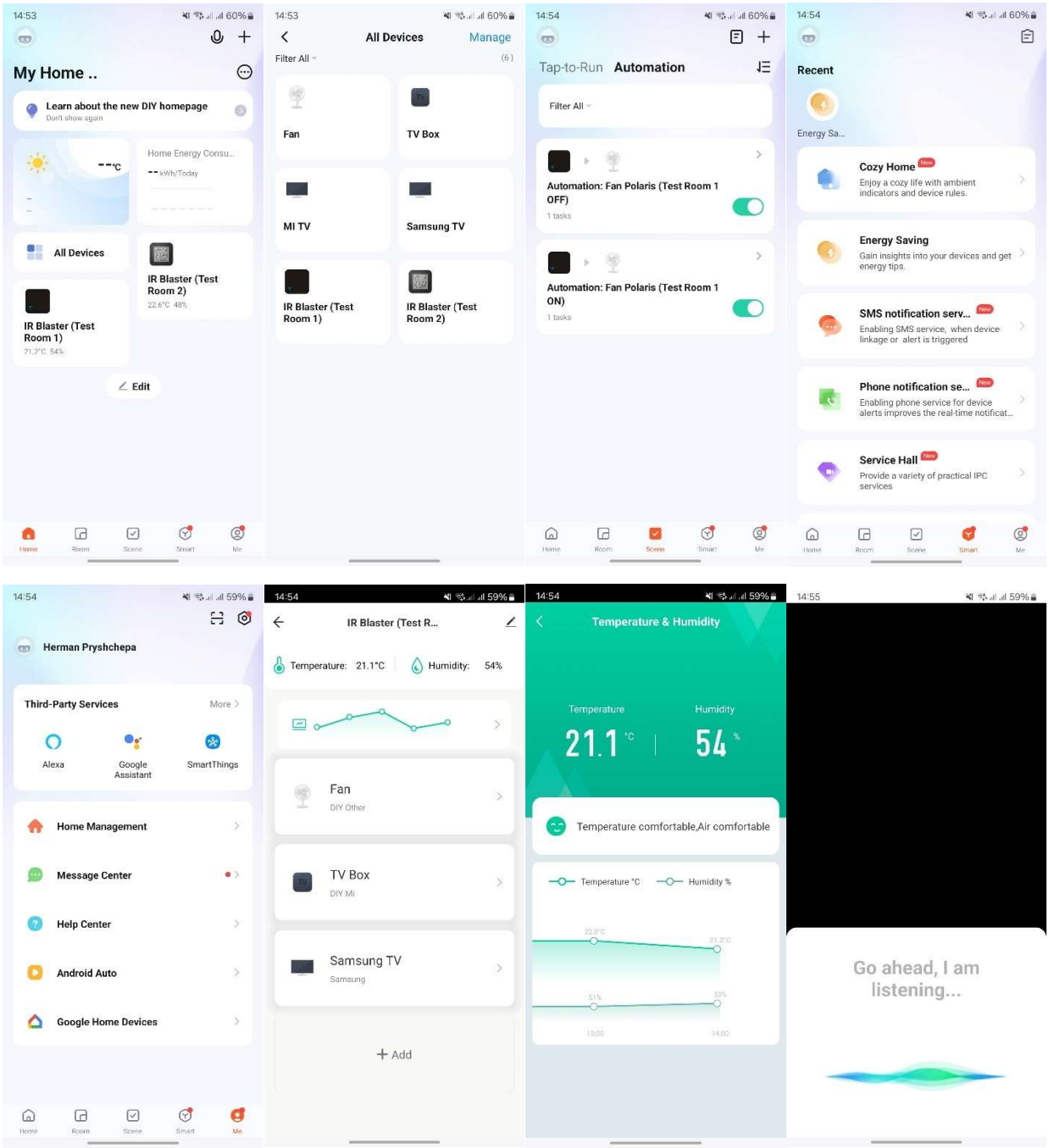


Рисунок 2.13 – Базовий функціонал інтерфейсу мобільного додатка Tuya Smart

Окрім стандартних засобів керування, реалізована підтримка голосових асистентів, таких як Google Assistant або Amazon Alexa, дає змогу передавати команди за допомогою голосу, що додає зручності у повсякденному використанні. Існує можливість об’єднувати пристрої у логічні групи та створювати сцени як незалежні, так і прив’язані до геолокації, наприклад, автоматичний запуск кондиціонера при поверненні додому на основі GPS-даних смартфона, що дає змогу формувати адаптивні та контекстно залежні сценарії автоматизації (див. рис. 2.14) [20-21].

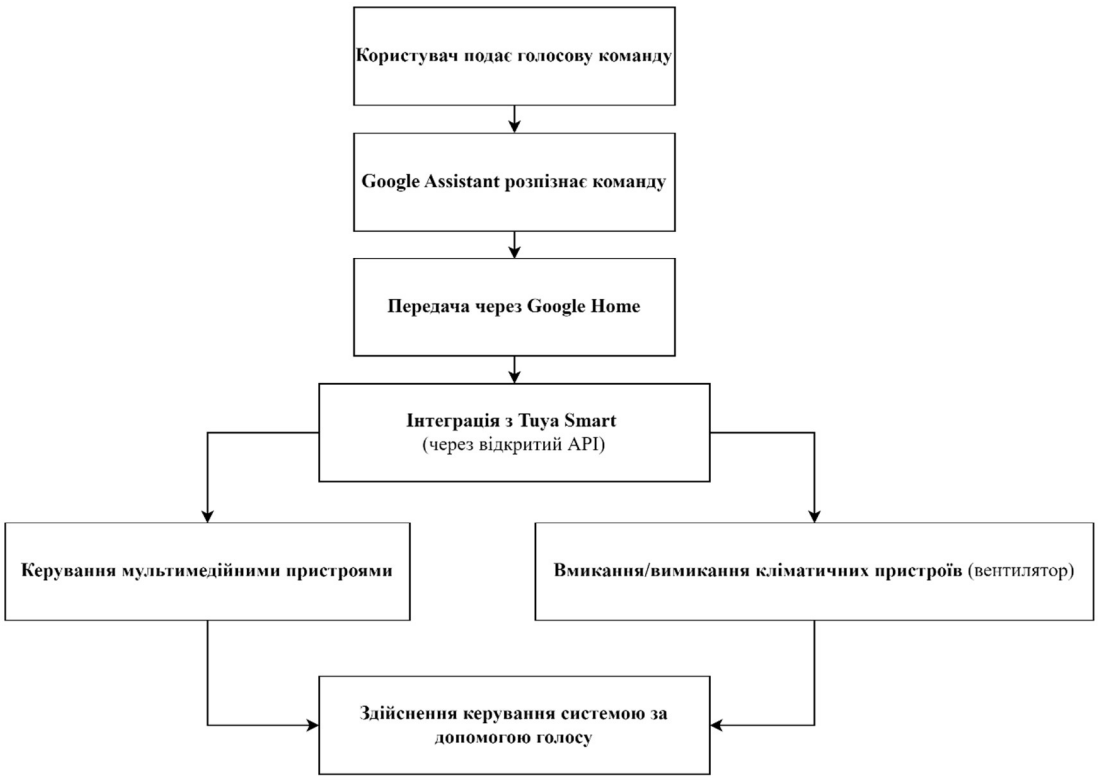


Рисунок 2.14 – Алгоритм інтеграції Google Assistant для взаємодії зі системою шляхом голосових команд

Перевагами такого підходу є швидке та просте впровадження без потреби у розгортанні локальної серверної інфраструктури або програмуванні, що робить систему доступною навіть для початківців. Платформа підтримує понад тисячу моделей пристроїв, серед яких і ті, що були досліджені в рамках цієї роботи — моделі S06 Pro та S09, які вже мають вбудовані сенсори температури та вологості.

Додатковою перевагою є висока стабільність та безпека роботи хмарного середовища Tuya, що забезпечується через регулярні оновлення, механізми шифрування TLS/SSL та високий рівень доступності сервісу. Гнучкість рішення полягає у можливості розширення функціональності за рахунок інтеграції з іншими системами через API або зв'язування з голосовими помічниками, що дає змогу поступово масштабувати систему, перетворюючи її на повноцінний розумний будинок.

Переваги та обмеження використання Tuya Smart. Попри це, існують і певні обмеження, серед яких перше та ключове — повна залежність від наявності інтернет-з'єднання, що означає повну втрату можливості керування через мобільний додаток у разі відсутності підключення до мережі, залишаючи лише обмежений доступ до пристроїв через фізичні кнопки або перемикачі. Ще одним недоліком є закритість екосистеми: без офіційного SDK або API створення повністю кастомізованого рішення або його інтеграція з локальними інструментами значно ускладнюється, що може стати критичним для користувачів із більш складними або специфічними вимогами. Затримки у передачі даних та виконанні команд у порівнянні з локальними рішеннями також неминучі через необхідність комунікації з хмарними серверами, а отже, ефективність реагування напряму залежить від якості інтернет-з'єднання, поточної затримки в маршрутизації, а також від продуктивності самої хмарної інфраструктури [20-21].

Попри ці обмеження, платформа Tuya Smart залишається потужним інструментом для первинного впровадження системи розумного дому, оскільки пропонує:

— широкий функціонал;
— високий рівень готовності до використання;
— адаптивність під різні сценарії;
— мінімальні вимоги до технічної обізнаності користувача.

Тим самим це робить запропоновану архітектуру оптимальним стартовим рішенням із подальшою можливістю переходу на локальні платформи у разі зростання вимог до рівня автономності, швидкодії або інтеграційної гнучкості [31].

2.3 Конфігурування сценаріїв автоматизації у мобільному застосунку

Однією з важливих переваг використання хмарної платформи Tuya Cloud у поєднанні з мобільним застосунком Tuya Smart для Android або iOS є можливість створення сценаріїв автоматизації, які дозволяють реалізовувати контекстно-залежні дії без постійної участі користувача, що сприяє:

— підвищенню рівня комфорту;

— оптимізації енергоспоживання;

— посиленню безпеки;

— покращенню загальної інформованості щодо стану системи.

Завдяки таким сценаріям логіка поведінки пристроїв у межах екосистеми може гнучко налаштовуватися відповідно до індивідуальних умов середовища або часу доби, а саме конфігурування здійснюється безпосередньо через мобільний застосунок, де реалізовано інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для створення логічних послідовностей подій [20-22].

Принципи роботи сценаріїв в екосистемі Tuya. Автоматизовані сценарії в Tuya реалізуються за принципом «якщо – тоді», що робить систему доступною навіть для користувачів без технічного досвіду, адже логіка побудови сценаріїв значно простіша за традиційне програмування і зводиться до послідовного визначення умови спрацювання та дії у відповідь. У ролі тригера можуть виступати показники датчиків, такі як температура, вологість, рух або освітленість, а дії, що ініціюються, включають вмикання або вимикання пристроїв, надсилання повідомлень, активацію підсвічування, звукових сигналів або навіть голосових повідомлень через сумісні асистенти. Наприклад, при фіксації температури вище 28 °C система може автоматично надсилати повідомлення на смартфон, або якщо вологість падає нижче 40 %, вмикається зволожувач повітря, що дозволяє підтримувати необхідний мікроклімат без постійного нагляду. За потреби логіку сценарію можна ускладнити, додавши кілька умов або обмежень, наприклад, запуск лише в певні дні тижня чи в конкретний проміжок часу, що дозволяє ще

точніше підлаштувати поведінку розумного середовища під ритм життя користувача (див. рис. 2.15).

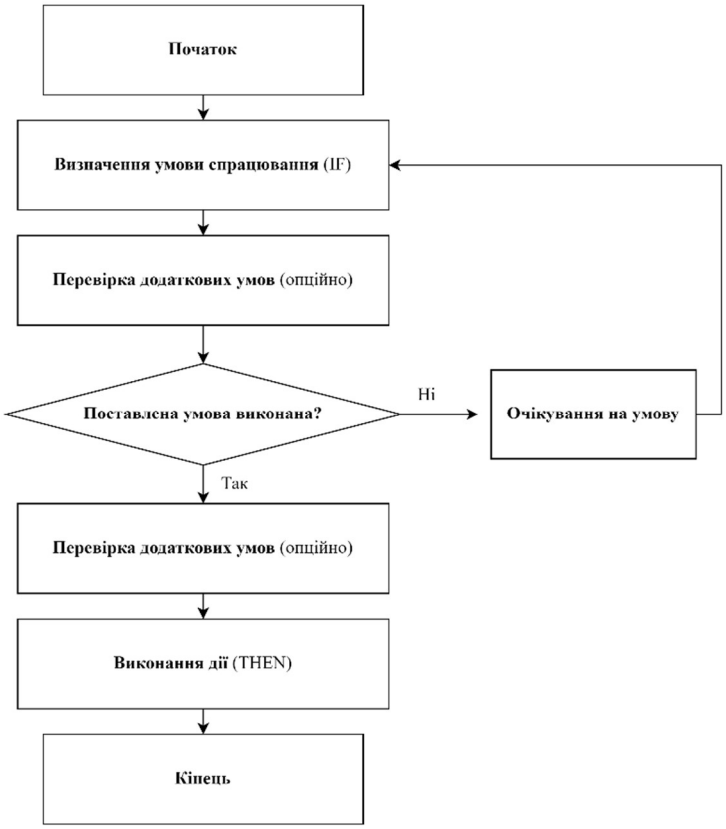


Рисунок 2.15 – Логіка роботи системи на основі сценаріїв

Окрему увагу привертає підтримка геозалежних сценаріїв (геофенсінг), які активуються при вході або виході користувача з визначеної зони, що дозволяє вмикати або вимикати пристрої на кшталт освітлення чи кондиціонера автоматично, щойно користувач наближається до дому або залишає його, що значно підвищує комфорт та економію енергії, оскільки зникає необхідність щоразу вручну контролювати роботу приладів. Також надзвичайно корисною функцією є можливість отримання сповіщень про критичні відхилення параметрів — мобільний застосунок дозволяє надсилати push-сповіщення на телефон, а також ініціювати інші дії, наприклад, блимання лампи або звуковий сигнал від сумісного пристрою, що миттєво привертає увагу до змін у навколишньому середовищі.

Реалізація логіки сповіщення. Процес налаштування таких сценаріїв передбачає вибір конкретного сенсора, наприклад моделей S06 Pro або S09,

визначення порогових значень температури чи вологості, після досягнення яких система має спрацювати, а також встановлення типу реакції — сповіщення, фізичне перемикання пристрою або активація умовної сцени. Реалізовано і зручну систему тестування створених умов, що дозволяє ще до запуску перевірити коректність сценарію. Крім цього, доступ до журналу подій надає змогу переглядати історію спрацювань, кількість та час активацій, що дозволяє здійснювати аналіз ефективності налаштувань та за потреби їх коригувати. Така функціональність, що раніше була недоступною в базових системах, сьогодні реалізована у Tuya Smart, що значно спрощує адміністрування та експлуатацію навіть складних конфігурацій систем моніторингу (див. рис. 2.16) [21-22].

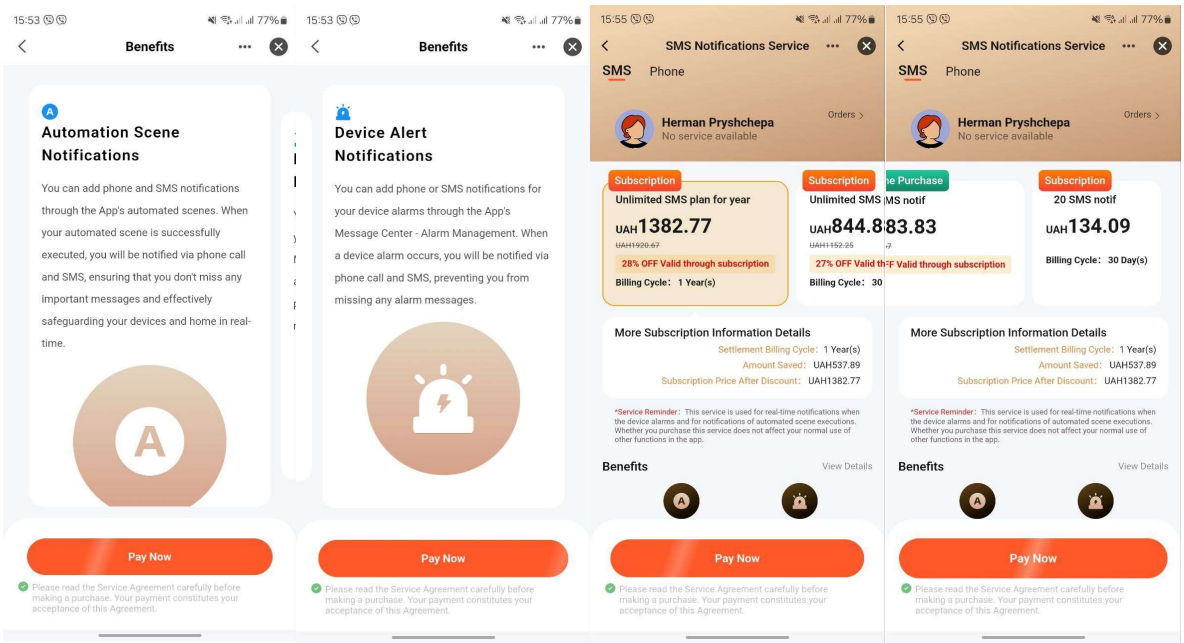


Рисунок 2.16 – Реалізація сповіщення у вигляді push-повідомлення обмежена через монетизацію з боку Tuya IoT Cloud

Налаштування умов та параметрів сценаріїв. Саме конфігурування таких сценаріїв здійснюється через розділ "Smart" або «Автоматизація», де надається можливість створити логічні зв’язки між умовами й діями. Автоматизація за умовами дає змогу налаштувати сценарії типу «якщо… тоді…», наприклад, при перевищенні температури в 30°C активується кондиціонер через інфрачервоний розумний пульт. При цьому дані про температуру надходять не від зовнішнього

сенсора, а з вбудованого в сам пульт, якщо використовується модель з функцією зчитування параметрів середовища. Поряд з умовною автоматизацією у системі реалізовано і так звані «розумні сцени», які активуються вручну – наприклад, користувач може створити сцену «нічний режим» або «я вдома», яка при активації однією кнопкою призводить до масового оновлення стану кількох пристроїв у заданій конфігурації, що зручно, якщо відсутнє бажання або змога використовувати геолокацію чи інші автоматизовані тригери, адже дозволяє миттєво перевести екосистему в бажаний стан. Крім того, при створенні сценаріїв можна використовувати розширені параметри конфігурації: діапазон спрацювання, тобто задається умова не фіксованого значення, а, наприклад, від 18°C до 25°C; тривалість – дія виконується лише у випадку, якщо умова зберігається певний проміжок часу; часові межі – сценарій активний лише у визначені години або дні, наприклад, у робочі дні з 09:00 до 18:00; а також логічні оператори «і» та «або» для комбінацій складніших умов (див. рис. 2.17).

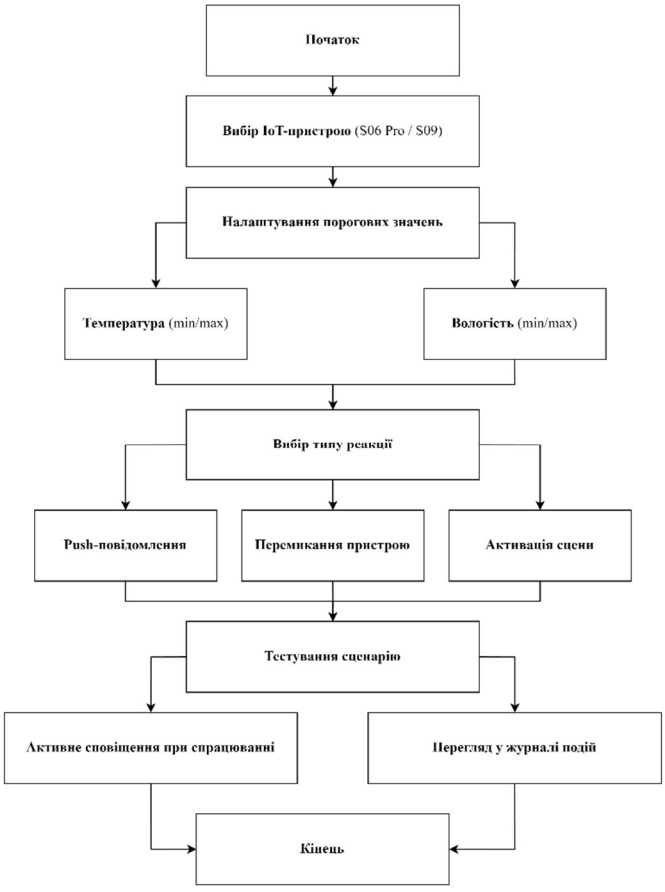


Рисунок 2.17 – Алгоритм створення умов спрацювання сценарію

Усі сценарії зберігаються в застосунку, їх можна редагувати, деактивувати без видалення, а також дублювати для створення шаблонів – це створює велику гнучкість у побудові автоматизації [22].

Практичний приклад автоматизації на базі пристроїв Tuya S06 Pro та S09. Приклад практичної реалізації сценарію з використанням пристроїв Tuya S06 Pro та S09 дозволяє наочно побачити можливості екосистеми. У ситуації, коли виникає потреба підтримувати комфортний рівень вологості в кімнаті, застосовується пристрій S06 Pro з вбудованим сенсором температури та вологості, який інтегрується у застосунок. У налаштуваннях створюється сценарій із умовою «якщо темепература більше 25°C», де дією є активація вентилятора через налаштований кастомізований віртуальний пульт ДК. Також, до цієї автоматизації додається схожа автоматизація, яка при температурі 22°C рівно – вимикає вентилятор, щоб обмежети використання побутових приладів, коли це не потрібно (див. рис. 2.18-2.19).

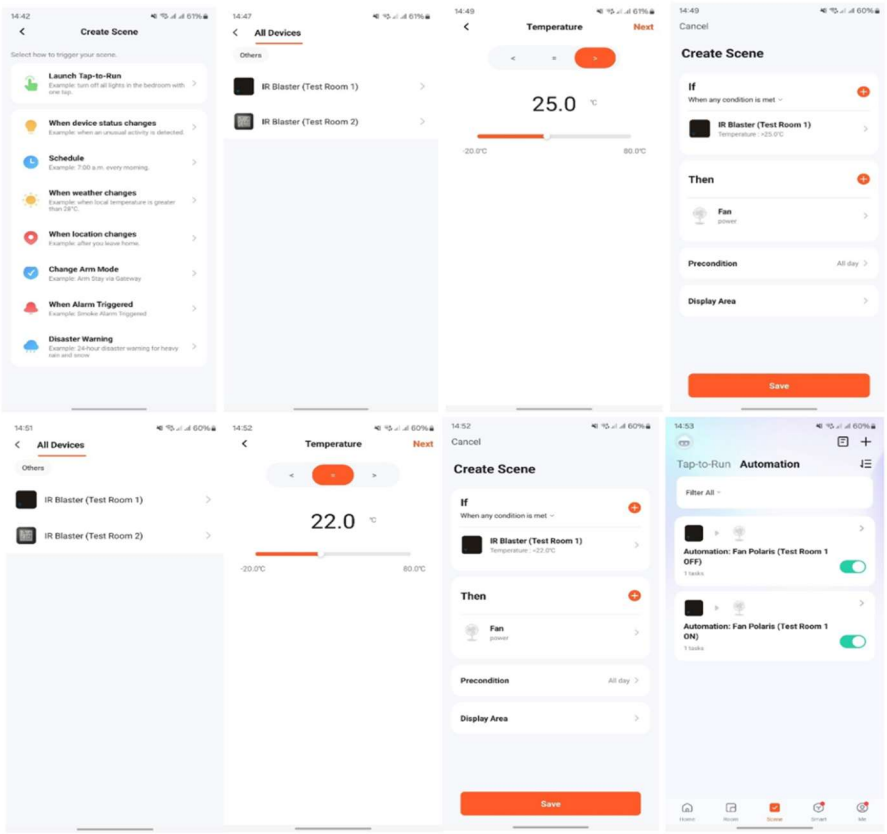


Рисунок 2.18 – Реалізація сценаріїв автоматизації керування побутовими приладами шляхом вбудованого моніторингу мікроклімату в Tuya Smart

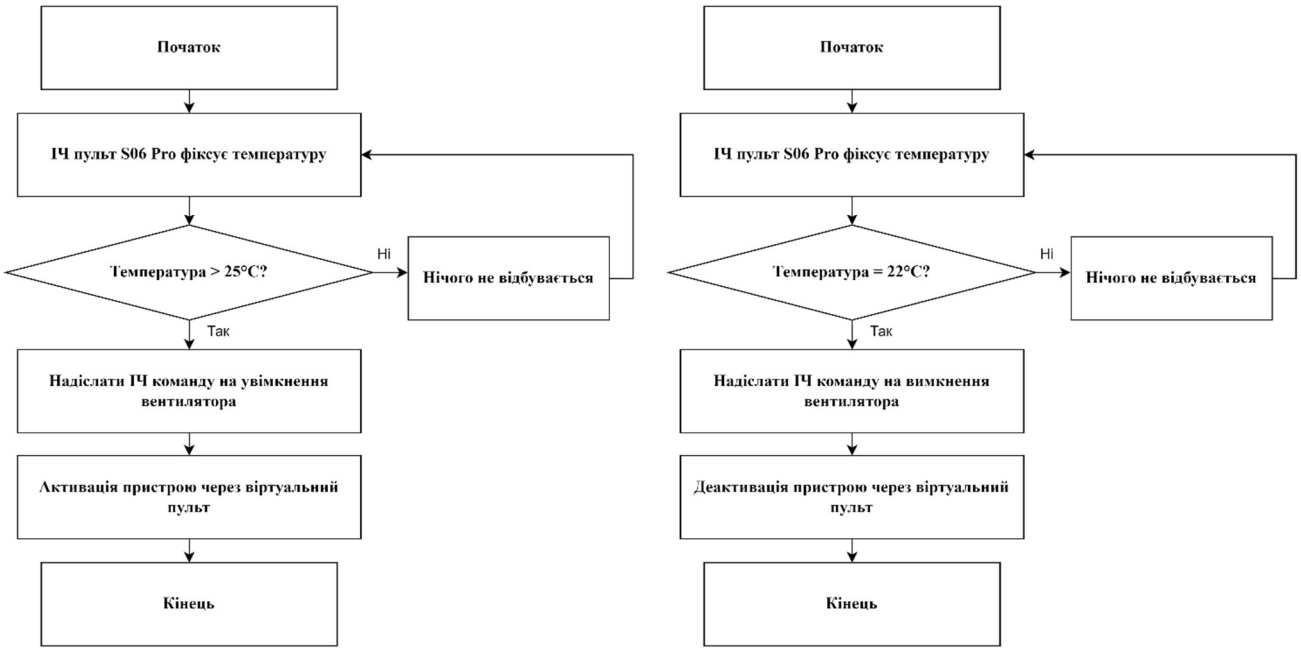


Рисунок 2.19 – Блок-схема сценаріїв автоматизації керування побутовими приладами шляхом вбудованого моніторингу мікроклімату в Tuya Smart

Даний механізм налаштування повністю демонструє логіку та структуру роботи автоматизації, що реалізується не через складне програмування, а через інтуїтивний інтерфейс мобільного додатка, перетворюючи його не лише на інструмент керування окремими пристроями, а й на засіб побудови цілісної цифрової екосистеми для моніторингу та оптимізації мікроклімату.

2.4 Алгоритми обробки даних та побудова графіків

У системах із хмарною інфраструктурою, до яких належить платформа Tuya Smart, важливим аспектом є не лише збір інформації з датчиків, а й її ефективна обробка, зберігання та візуалізація, що забезпечує користувачеві не тільки миттєвий доступ до поточних значень параметрів середовища, таких як температура та вологість, а й можливість аналізувати зміну цих значень у динаміці, виявляти закономірності, будувати прогнозні моделі, а також своєчасно реагувати

на відхилення від норми. Такий підхід передбачає чітку послідовність взаємодії між фізичним пристроєм, хмарною платформою та мобільним клієнтським інтерфейсом, що разом формують логіку збирання, зберігання, обробки й подання інформації у зручному вигляді, орієнтованому на кінцевого користувача. У цьому контексті слід докладно розглянути, як функціонує механізм хмарної обробки даних у рамках екосистеми Tuya IoT Cloud, яким чином реалізоване відображення показників у вигляді графіків і якими алгоритмами забезпечується логіка подання та інтерпретації цифрових значень у мобільному застосунку [20-23].

Принципи хмарної обробки даних у Tuya Smart. Передача даних у системі Tuya Smart починається безпосередньо на рівні пристрою, обладнаного сенсорами, наприклад, моделей S06 Pro або S09, які вимірюють температуру й вологість та з певною періодичністю (зазвичай кожні 5 хвилин) відправляють ці значення через Wi-Fi-з’єднання. Передача здійснюється з використанням захищених протоколів, таких як HTTPS або TLS, після чого потік даних спрямовується на хмарні сервери Tuya, де активується механізм агрегації — серверна логіка групує отримані значення в структуровані блоки, що дає змогу не лише оптимізувати зберігання, а й виконувати подальший аналіз за допомогою централізованих алгоритмів. Наступним етапом є перевірка достовірності інформації, що надходить від пристроїв: платформа виконує базову валідацію отриманих даних, виявляє відхилення або помилки (наприклад, нульові значення або явно аномальні показники) і виключає їх з основного масиву, що забезпечує стабільність та надійність даних, які потрапляють у базу. Згодом, після попередньої обробки, очищені та агреговані дані зберігаються в хмарній базі, яка логічно пов’язана з обліковим записом користувача, що забезпечує доступ до індивідуального історичного архіву вимірювань із будь-якого сумісного пристрою (див. рис. 2.20) [20-23].

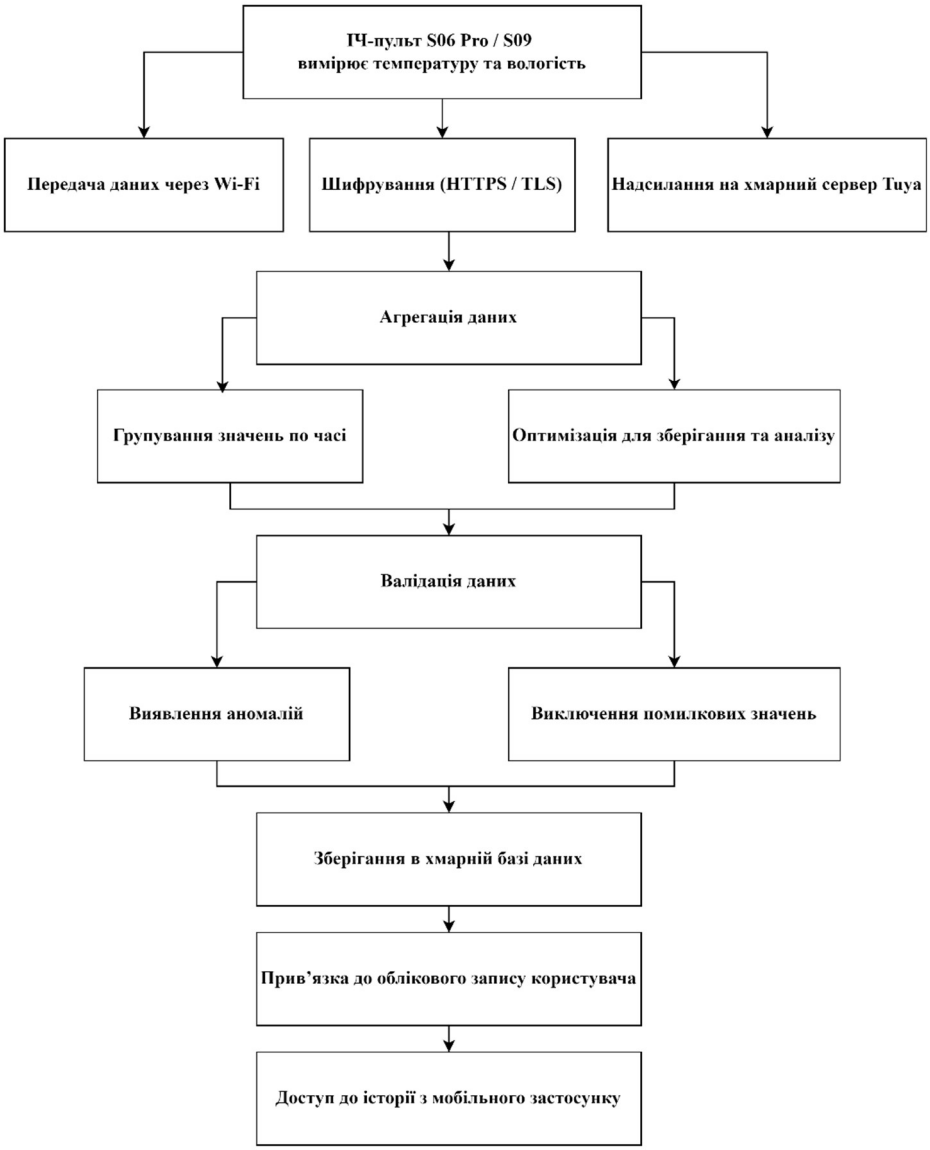


Рисунок 2.20 – Принцип взаємодії побудованої системи
зі локальною та хмарною інфраструктурами

Механізми візуалізації в мобільному додатку. У системах моніторингу мікроклімату, побудованих на основі хмарної платформи Tuya Smart або Smart Life, візуалізація даних реалізується через мобільний застосунок, який надає доступ до отриманої з сенсорів інформації. Дані, що передаються пристроями, зберігаються в хмарній базі, звідки автоматично синхронізуються з інтерфейсом обраного користувачем додатку, адже між Smart Life і Tuya Smart немає прямої взаємодії, що потребує початкового вибору екосистеми під час інтеграції. Основний інтерфейс мобільного додатку містить кілька візуальних елементів, які спрощують взаємодію з даними, зокрема найсвіжіші показники температури та вологості, які виводяться

у вигляді великих чисел на головному екрані пристрою, а також інтерактивні графіки, що демонструють зміну цих параметрів у часі. Додатково відображається історія вимірювань у табличному вигляді, де зафіксовані значення та час їх реєстрації. Графіки ґрунтуються не на сирих даних, а на попередньо оброблених агрегованих значеннях, наприклад, середніх за годину або за день, що дозволяє зменшити навантаження на мобільний додаток і забезпечити стабільну роботу навіть при значних обсягах інформації (див. рис. 2.21) [20-21].

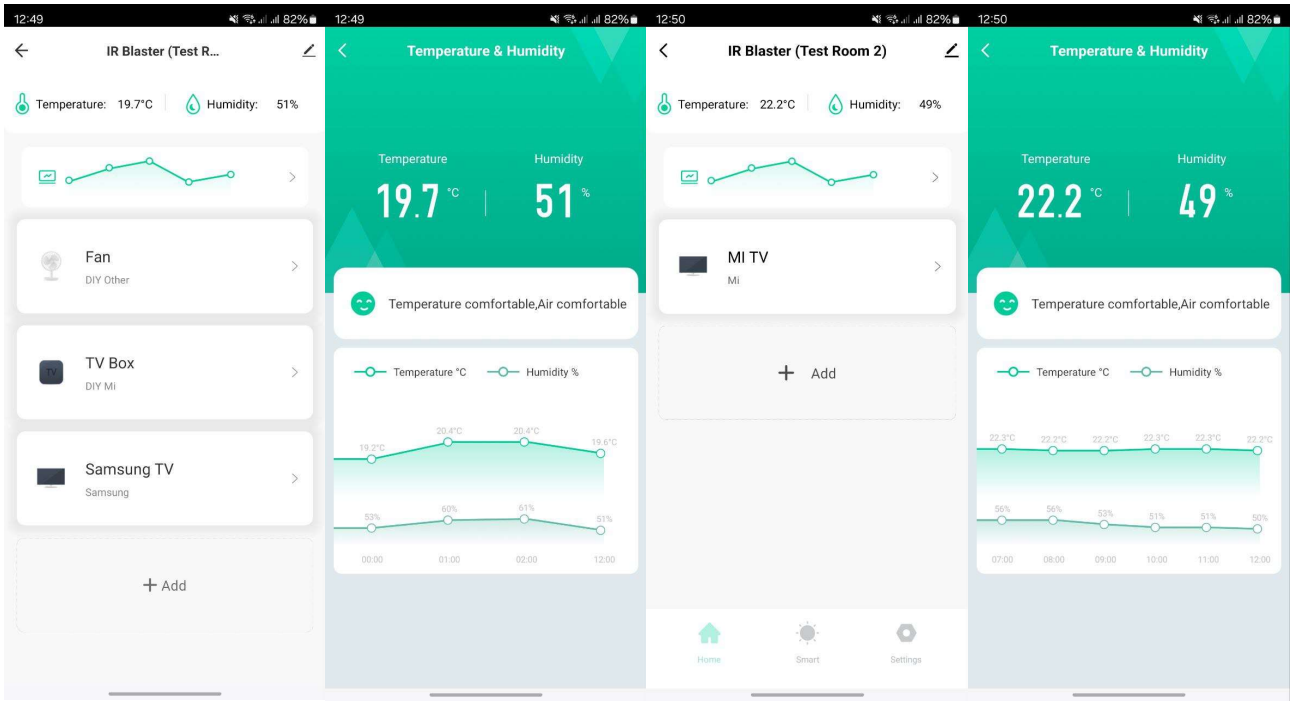


Рисунок 2.21 – Форма відображення кліматичних змін у часі: Room 1 та 2

Алгоритми згладжування та агрегації. Обробка даних для графічного подання відбувається автоматично на стороні хмари й передбачає застосування алгоритмів згладжування та агрегації, які підвищують інформативність і зручність аналізу. Найчастіше використовується метод ковзного середнього, що дозволяє усунути короткочасні стрибки й візуальний шум, формуючи плавні лінії, які краще відображають загальні зміни мікроклімату. У випадках, коли через технічні причини певні вимірювання не були отримані вчасно, система може використовувати інтерполяцію для заповнення пропущених точок, базуючись на значеннях до та після розриву, що забезпечує цілісність графіка. Додатково

застосовується групування за часовими інтервалами, такими як п’ять хвилин, година або доба, що дозволяє перемикатися між різними рівнями деталізації даних. У деяких пристроях реалізовано також трендовий аналіз, який автоматично визначає і відображає напрямки змін — наприклад, поступове зростання вологості чи зниження температури за останні дні (див. рис. 2.22).

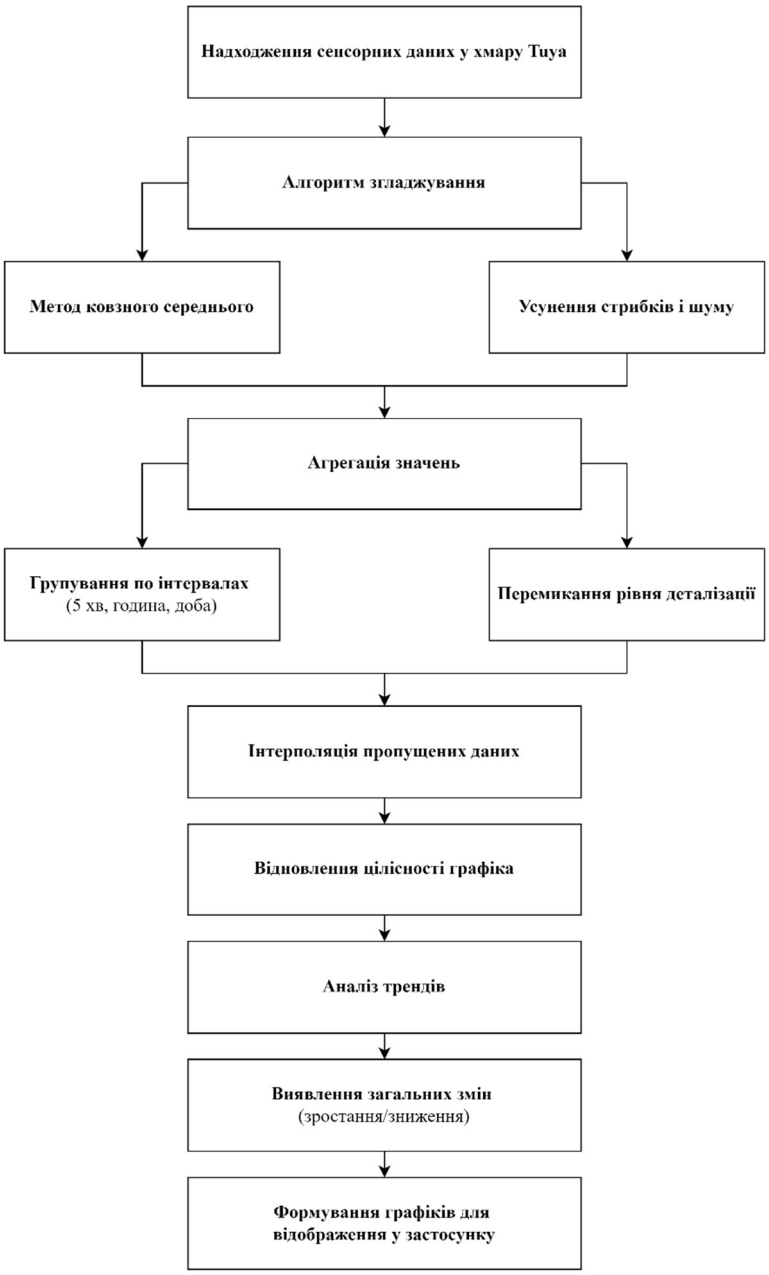


Рисунок 2.22 – Механізм агрегації показників у хмарі

Усі ці процеси відбуваються без участі користувача, цілком на серверах Tuya IoT Cloud, що дає змогу зберігати мінімальні вимоги до апаратного забезпечення

смартфона й гарантувати стабільну взаємодію навіть на пристроях початкового рівня, створюючи при цьому цілісну, узгоджену та зручну систему аналізу стану мікроклімату в приміщенні [20-23].

Приклади сформованих графіків в застосунку. У застосунку Tuya Smart, зокрема при перегляді даних із сенсорів температури та вологості, графіки мають адаптивний інтерфейс і підтримують кілька режимів відображення, що дає змогу користувачеві оцінювати стан мікроклімату в різних часових масштабах. Передбачені денні графіки, де кожна точка відповідає годинному значенню й демонструє зміну параметра протягом доби, тижневі графіки з денними усередненими показниками для кожного з семи днів, а також місячні, що базуються на добових середніх значеннях, завдяки чому можна легко простежити довготривалі зміни температури або вологості. Наприклад, при перегляді тижневого графіка температури видно сім точок — по одній на день — кожна з яких відображає середній добовий показник разом із зазначенням мінімального та максимального значень. Інтерфейс також підтримує масштабування графіків, тобто можливість збільшити окрему ділянку, переглянути деталі кожної точки (див. рис. 2.23) [20-21].

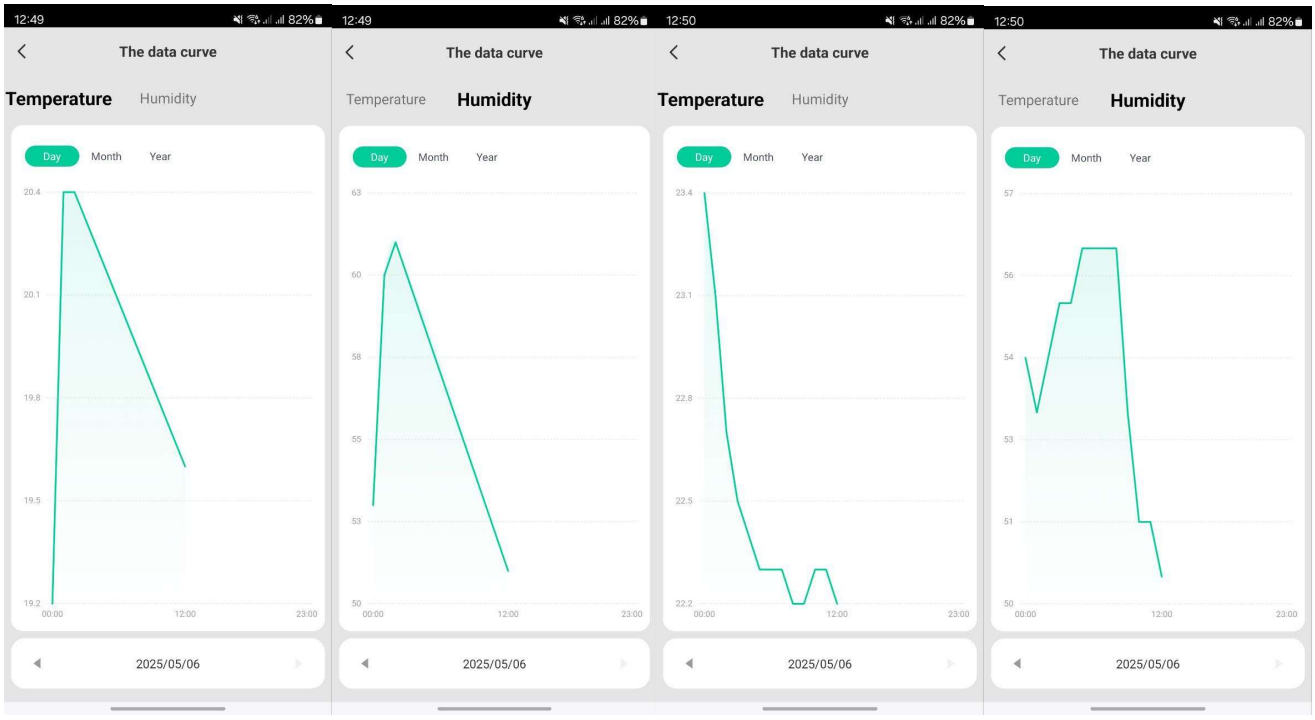


Рисунок 2.23 – Візуалізація даних у вигляді сформованих графіків: Room 1 та 2

Логіка подання та її вплив на рішення користувача. Окрім графічної інтерпретації даних, у Tuya Smart реалізовано додаткові логічні елементи відображення, які допомагають користувачу швидко реагувати на відхилення параметрів. Наприклад, при перевищенні температури понад 30 °C відображається червоний колір як візуальний сигнал, або з'являються іконки попередження в разі дуже низької вологості чи втрати з'єднання із пристроєм. У деяких випадках на основі змін у графіку можуть з'являтися контекстні підказки, які пропонують налаштувати автоматизацію.

Обмеження та можливості для розширення. Попри зручність і інтуїтивну логіку інтерфейсу, система Tuya має низку обмежень, що пов'язані з її хмарною архітектурою та політикою монетизації. Зокрема, у безкоштовному варіанті доступна лише обмежена глибина історії, тобто перегляд графіків можливий максимум за останні 7–30 днів, залежно від пристрою, після чого для розширеного доступу необхідно оформити платну підписку (див. рис. 2.24).

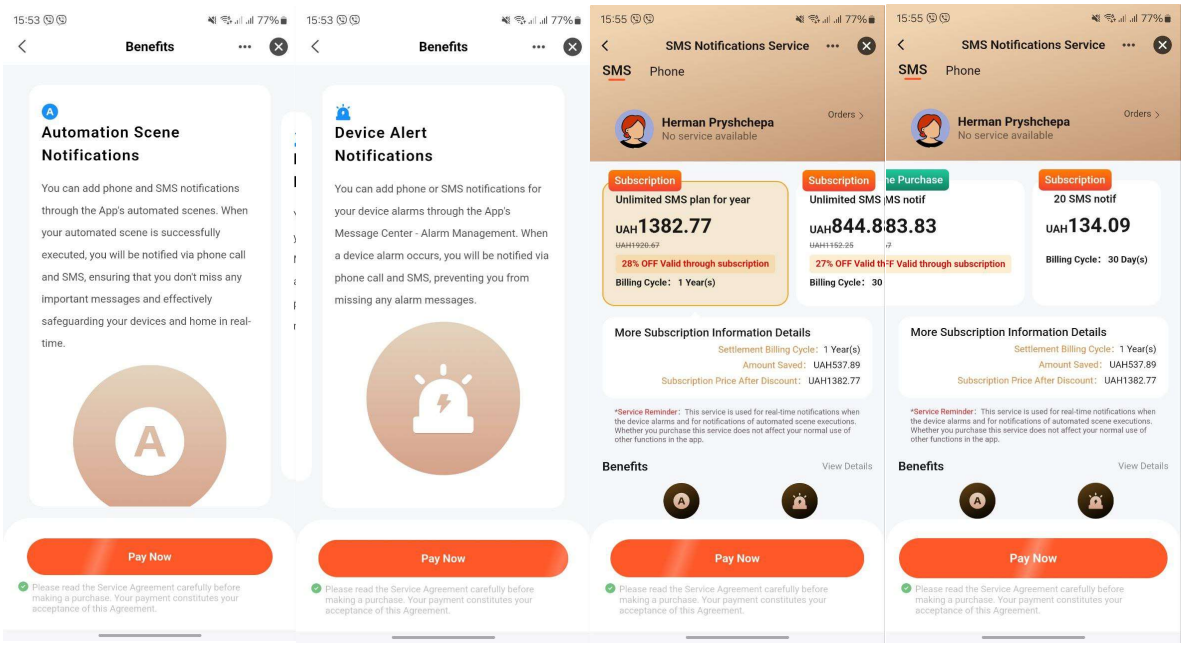


Рисунок 2.24 – Реалізація сповіщення у вигляді push-повідомлення обмежена через монетизацію з боку Tuya IoT Cloud

Також обмежено функціональність побудови складних графіків — наприклад, неможливо одночасно виводити кілька змінних у межах одного графіка чи

накладати дані з різних сенсорів на спільну вісь. Окрім того, офіційна система не передбачає повноцінного експорту даних через API, хоча така можливість частково реалізована в обхід за допомогою неофіційних рішень. Попри ці обмеження, система зберігає потенціал до розширення завдяки інтеграції зі сторонніми open-source платформами, такими як OpenHAB, Home Assistant, Node-RED або ESPHome, що дає змогу побудувати розгалужену логіку обробки, реалізувати складні сценарії автоматизації, використовувати алгоритми машинного навчання для прогнозування показників та створювати власні варіанти візуалізації, орієнтовані на конкретні потреби користувача чи особливості приміщення, в якому встановлено сенсори [20-23].

РОЗДІЛ 3 ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ

3.1 Переваги та недоліки використання готових вбудованих рішень.

Готові вбудовані рішення для систем моніторингу, зокрема пристрої на зразок Tuya Wi-Fi RF IR Remote Control S06 Pro та S09, представляють собою цілісні комерційні продукти, що вже містять усі необхідні компоненти для функціонування:

— сенсори;

— контролери;

— модулі зв’язку;

— інтерфейс;

— програмну платформу для обробки даних.

У подібних пристроях зазвичай реалізовано одразу кілька функцій, завдяки чому можливе як зчитування параметрів мікроклімату за допомогою вбудованих сенсорів, так і керування іншими приладами через інфрачервоний або радіочастотний канали. Підключення до хмарної інфраструктури забезпечує доступ до мобільного застосунку, через який можна в реальному часі спостерігати за станом середовища та керувати пристроєм з будь-якої точки світу, не обмежуючись локальною мережею. Завдяки такому підходу пристрій легко інтегрується без додаткових налаштувань або технічної підготовки: достатньо під’єднання до Wi-Fi, після чого розпочинається передача даних, візуалізація показників і створення автоматизованих сценаріїв типу активації вентилятора при перевищенні певного порогу температури.

Інтерфейс застосунку Tuya Smart забезпечує не лише зручну візуалізацію даних та історію змін параметрів, але й дозволяє формувати складні сценарії

автоматизації, що реагують на зміни середовища. Однією з ключових переваг таких пристроїв є мінімальні вимоги до знань у галузі електроніки чи програмування — усе вже готове до використання. Виробнича якість та сертифікація пристроїв гарантують їхню стабільність, безпечність та сумісність з численними сервісами, включаючи голосових асистентів на кшталт Google Assistant, Siri або Alexa. Регулярні оновлення програмного забезпечення забезпечують актуальність функціоналу й безпеки, а підтримка інтеграції зі сторонніми платформами розширює функціональність пристроїв. Важливою також є гнучкість у контексті подальшої інтеграції: у майбутньому подібні пристрої можуть бути перенесені з хмари Tuya на локальні платформи з відкритим кодом, що відкриває можливості для глибшого аналізу, розширення функціональності або розгортання автономних систем моніторингу без зовнішньої залежності [18-21, 24].

Альтернатива – самостійна розробка апаратного рішення. На противагу цьому альтернативним шляхом є створення власного апаратного рішення з нуля, що передбачає повний цикл розробки — від вибору мікроконтролера типу ESP32 або STM32, побудови схеми, вибору сенсорів, таких як BME280, розробки прошивки, налаштування з’єднання з брокером MQTT або хмарною платформою до створення користувацького інтерфейсу у вигляді мобільного або вебзастосунку. Такий підхід дає змогу повністю контролювати функціональність пристрою, оптимізуючи його під конкретні задачі, що особливо цінно в навчальних або дослідницьких проєктах, де важлива гнучкість, адаптивність і можливість кастомізації. Наприклад, розробник може реалізувати локальну базу даних, виводити кастомізовані дашборди або навіть інтегрувати алгоритми машинного навчання для прогнозування змін клімату в приміщенні [7-9].

Разом з тим, очевидними недоліками самостійної розробки є високі вимоги до технічних знань, значні витрати часу на проєктування, тестування й відлагодження, а також відсутність сертифікації, що унеможливлює безпосереднє використання пристрою в комерційних або відповідальних середовищах. Надійність подібного пристрою в перші місяці експлуатації часто залишається низькою, а масштабування або впровадження в ширшу систему потребує

додаткових ресурсів. Саме через ці фактори у розглянутому випадку доцільнішим виявилося використання готових рішень, зважаючи на їхню багатофункціональність, простоту підключення, хмарну інтеграцію та можливість подальшої адаптації під нові вимоги [9, 20-21].

Модульні платформи – компроміс між гнучкістю та готовністю. Модульні платформи на кшталт ESP32, Raspberry Pi та Arduino, що використовуються у поєднанні з мікрокліматичними сенсорами та відкритим програмним забезпеченням на зразок Tasmota, OpenHAB, Home Assistant, дозволяють досягнути балансу між індивідуальною гнучкістю та наявністю попередньо підготовлених рішень. Завдяки великій кількості готових бібліотек, шаблонів конфігурацій та активній спільноті, цей підхід значно скорочує обсяг ручної роботи, водночас зберігаючи можливість налаштовувати пристрої під специфічні потреби. Замість повноцінного проєктування пристрою з нуля можна обрати модульну систему або навіть готовий пристрій, що вже підтримує інтеграцію з open-source рішеннями, що, у свою чергу, дозволяє гнучко об’єднувати різні технології, протоколи зв’язку на зразок Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee або RF, а також налаштовувати передачу даних як у хмару, так і в локальні сервери чи віртуальні середовища. Такий підхід відкриває можливості для локального зберігання журналів, автоматичної синхронізації даних по IP, розширеного контролю над конфіденційністю інформації без необхідності передачі її на сторонні сервери. Однак при всіх перевагах ці рішення мають певні обмеження — неестетичний вигляд, потреба у ручному оновленні прошивок, необхідність контролю логів і часта несумісність з певними платформами або прошивками, що накладає додаткові труднощі при інтеграції пристроїв у відкриті екосистеми (див. рис. 3.1) [12, 22-24].



Рисунок 3.1 – Приклад модульної IoT-платформи (ESP32 + сенсор)

Порівняння підходів – критерії вибору. Порівнюючи варіанти реалізації IoT-пристроїв — від повністю самостійної розробки до використання готових пристроїв або модульних платформ — варто враховувати ряд ключових критеріїв. Самостійна розробка потребує значно більше часу, ресурсів та знань: проєктування схеми, написання прошивки, фізичне збирання, перевірка сумісності, розробка корпуса — усе це формує складний та довготривалий процес, який хоча і забезпечує максимальну гнучкість, однак часто є недоцільним у випадку загальних або побутових сценаріїв застосування. У той час модульні рішення на базі Arduino або Raspberry Pi дозволяють скоротити частину цих етапів, оскільки значна частина роботи вже реалізована у вигляді бібліотек, прошивок або готових шаблонів. Вони забезпечують гнучкість на високому рівні, але все ж вимагають певних технічних знань і мають середній рівень стабільності. Найменше вимог висувають готові пристрої, як-от пристрої у екосистемі Tuya, які швидко налаштовуються за допомогою QR-коду, мають повну хмарну інтеграцію та працюють із будь-якої мережі завдяки протоколам захисту HTTPS та TLS, що робить їх привабливими для користувачів, які не мають глибокої технічної підготовки [20-21].

З точки зору вартості, самостійна розробка зазвичай найдешевша, оскільки використовується мінімум готових компонентів, хоча ця економія компенсується витратами часу. Модульні системи — варіант середньої вартості, особливо якщо врахувати доступність плат і дешевизну сенсорів. Готові пристрої мають середній

або вищий ціновий діапазон, однак за рахунок меншого залучення до технічних процесів та наявності гарантій і сертифікацій ця вартість часто виправдана. В аспекті гнучкості самостійна розробка безперечно перемагає, адже дозволяє повністю контролювати архітектуру пристрою, модульні рішення наближаються до неї завдяки широкому набору підтримуваних функцій, а готові пристрої залишаються найменш адаптивними, хоч і в деяких випадках можуть бути розширені за рахунок локальної інтеграції або використання API [20-23].

Що стосується хмарної інтеграції, то готові рішення мають її реалізовану повністю: пристрої Tuya, наприклад, автоматично під'єднуються до хмари, забезпечують контроль та моніторинг у реальному часі, а також можливість віддаленого доступу. Модульні рішення дозволяють реалізувати часткову інтеграцію за допомогою локальних IP-з'єднань або налаштування власних серверів, тоді як самостійна розробка передбачає повну відсутність готової хмарної інтеграції та потребує складних рішень на зразок VPN чи проксі-серверів. За критерієм вимог до знань самостійна розробка однозначно найскладніша, вимагає глибокого розуміння електроніки, програмування, мережевих протоколів, тоді як модульні платформи потребують базових або середніх знань, а готові пристрої часто достатньо налаштувати через мобільний додаток [20-21].

Стабільність функціонування напряму пов'язана з рівнем опрацювання рішення — готові пристрої зазвичай демонструють високу стабільність, особливо за умови офіційної підтримки та регулярних оновлень. Самостійна розробка на старті майже завжди має низьку стабільність і потребує тривалого періоду доведення, тестування, усунення помилок. Модульні системи мають середній рівень стабільності, і хоча їх можна налаштувати досить точно, однак наявність багатьох змінних і ручного керування накладає певні ризики. Естетичність є ще одним важливим фактором: готові пристрої мають завершений вигляд, продуманий дизайн, компактність, відповідність стандартам безпеки. Самостійна розробка, якщо її не доповнити окремим корпусом, має радше експериментальний вигляд, як і більшість модульних систем, де плата та провідники залишаються відкритими. Наявність сертифікацій і гарантій — ще одна перевага готових пристроїв, які часто

мають відповідні документи та підтримку з боку виробника, чого неможливо очікувати від пристроїв, зібраних вручну або змонтованих на модульних платах. У випадку самостійної розробки існує ризик як функціональних збоїв, так і фізичних пошкоджень або похибок вимірювання, особливо якщо сенсори перегріваються або некоректно розміщені на платі. Модульні рішення частково нівелюють ці проблеми, однак залишаються чутливими до якості окремих компонентів і правильності їхнього збирання [7-9, 20, 22-23].

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика підходів до реалізації IoT-пристроїв

Критерій	**Самостійна розробка**	**Модульні платформи (Arduino, Raspberry Pi)**	**Готові пристрої (наприклад, Tuya)**
Час і ресурси	Високі	Середні	**Мінімальні**
Необхідні знання	Поглиблені	Базові/середні	**Мінімальні**
Вартість	Низька	Середня	**Середня/висока**
Гнучкість	Максимальна	Висока	**Низька/обмежена**
Стабільність	Низька (на старті)	Середня	**Висока**
Хмарна інтеграція	Відсутня (реалізується вручну)	Часткова (локальна або самостійна)	**Повна (автоматична)**
Естетика	Низька без додаткового оформлення	Середня, часто експериментальний вигляд	**Висока, завершений дизайн**
Сертифікація та гарантії	Відсутні	Відсутні/обмежені	**Наявні**
Ризики збоїв і помилок	Високі	Середні	**Низькі**

З огляду на всі ці чинники (див. табл. 3.1), вибір між готовим пристроєм, модульною системою чи повністю індивідуальною розробкою повинен базуватись не лише на бюджеті, а й на реальних вимогах до функціональності, стабільності, гнучкості та безпеки, а також на технічній підготовленості того, хто впроваджує IoT-рішення у своє середовище.

Доцільність використання готових рішень у навчальному проєкті. Доцільність використання готових рішень у навчальному проєкті визначається не лише зручністю реалізації, а й зміщенням акценту з низькорівневої апаратної розробки на вивчення і демонстрацію більш складних, системних аспектів побудови IoT-рішень. У рамках навчального завдання значно ефективніше не створювати фізичний пристрій з нуля, а зосередитись на архітектурі системи, логіці її функціонування, механізмах обробки даних, безпеці передавання та взаємодії між компонентами, що дає змогу глибше аналізувати хмарні платформи, принципи автоматизації та сценарії інтеграції в реальне середовище. Саме з цієї причини використання таких рішень, як Tuya WiFi RF IR Remote Control S06 Pro та S09, дозволяє перейти до суті — дослідження поведінки пристрою в умовах реальної мережевої взаємодії, де відлагоджена апаратна частина не відволікає від головного — моделювання і вивчення цифрової логіки, взаємодії з хмарою, резервного копіювання, візуалізації, реакції на події та статистичного прогнозування, не просто використання готового пристрою — це формування нового рівня побудови системи, у якій поєднуються комерційні сенсори з власною інфраструктурою, що може бути як хмарною, так і локальною, зокрема розгорнутою у вигляді віртуальних машин або контейнеризованих середовищ.

Архітектура, побудована на готових пристроях, дозволяє уникнути жорсткої прив’язки до конкретної екосистеми й натомість сформувати гібридну модель, яка може функціонувати автономно, локально або з частковою синхронізацією з хмарними сервісами, що створює умови для впровадження індивідуальних сценаріїв автоматизації, побудови резервних каналів, внутрішнього журналювання подій і подальшого масштабування системи без додаткових витрат на перепроєктування. Готові пристрої фактично перетворюються на сенсорні модулі

у більшій логічній інфраструктурі, яку можна повністю адаптувати під конкретні потреби, забезпечуючи унікальність реалізації та відсутність обмежень, притаманних типовим готовим хмарним екосистемам. У перспективі саме такий підхід — поєднання комерційних сенсорів із самостійно спроєктованою логікою обробки даних — стає особливо актуальним в умовах розвитку edge computing, зростання кількості автономних розумних будинків і потреби у гнучких, масштабованих рішеннях, які можна швидко адаптувати до змін вимог або середовища.

Така трансформація не лише замінює традиційну модель розробки з нуля, а й дозволяє зосередитися на тих компонентах проєкту, що мають реальне значення з точки зору інтеграції, ефективності та практичного застосування. Застосування готових рішень у цьому випадку не знижує якість навчального проєкту, а навпаки, відкриває нові можливості, що недоступні в умовах обмежених ресурсів і часу. Готові пристрої комерційного класу забезпечують надійність, стабільність та сумісність з провідними платформами, водночас даючи змогу уникнути складної пайки, налаштування прошивок чи модульної взаємодії на рівні низькорівневих інтерфейсів. Завдяки цьому з’являється більше простору для експериментів із сценаріями автоматизації, візуалізації зібраних даних, створення резервних копій, розгортання локальних серверів для гнучкого керування й аналізу, а також інтеграції з іншими сервісами чи системами в рамках розумного будинку або промислового середовища.

У підсумку, готові рішення, зокрема інтелектуальні пульти із сенсорами температури й вологості, дають змогу не лише швидко перейти до демонстрації ключових функцій системи моніторингу, а й забезпечують необхідну гнучкість для побудови масштабованої IoT-інфраструктури, орієнтованої на практичне використання, а не лише навчальні цілі. Саме це і визначає їхню доцільність у контексті проєктної діяльності: мінімальні вимоги до налаштування поєднуються з комерційною якістю та широкими можливостями інтеграції, що забезпечує ефективне навчання та підготовку до реальних викликів у сфері розробки інтелектуальних систем.

3.2 Масштабування IoT-систем та інтеграція в інші цифрові сервіси

Масштабування IoT-систем у сучасних умовах цифровізації є не лише технічною необхідністю, а й логічним етапом розвитку інтелектуального середовища, де навіть найпростіші пристрої з базовими функціями здатні стати основою для складних і розгалужених екосистем. Інтернет речей, що раніше асоціювався із замкнутими або локальними мережами, поступово перетворюється на динамічну, адаптивну та відкриту інфраструктуру, яка може зростати як у горизонтальному, так і у вертикальному напрямі, інтегруючись із різними цифровими сервісами, бізнес-процесами та побутовими системами. Починаючи з елементарного рішення — наприклад, встановлення одного-двох сенсорів температури або Wi-Fi розеток — система може бути поступово доповнена новими пристроями, службами, хабами, шлюзами та аналітичними компонентами, що перетворює її з простого інструменту моніторингу на повноцінну платформу управління цифровим середовищем [25-28].

Перевагою такого підходу є те, що навіть пристрої, розроблені кілька років тому, можуть бути інтегровані у нову архітектуру без потреби повного переосмислення чи перезапуску логіки системи, завдяки чому старі компоненти отримують нове призначення і фактично друге життя. Відбувається не відкидання попередніх технологій, а їх модернізація через адаптацію до нових умов і потреб, що забезпечує гнучкість, сталість і ефективність використання ресурсів. Ідея переносу налаштувань, логіки обробки, сценаріїв автоматизації та інтеграцій із однієї платформи на іншу відкриває шлях до глибшої адаптації та кастомізації рішень, дозволяючи вибудовувати інфраструктури, що відповідають конкретним вимогам конкретного середовища — від побутового до промислового або аграрного [25-28].

Технічні принципи масштабування IoT-систем. Технічно масштабування реалізується як на рівні кінцевих пристроїв, так і на рівні обчислювальних ресурсів, мережевих шлюзів та хмарних компонентів. Наприклад, платформи на кшталт Tuya

Smart забезпечують автоматичне виявлення пристроїв у локальній мережі, що значно спрощує процес первинного підключення — достатньо відкрити мобільний застосунок і дотримуватись інструкцій, після чого новий сенсор чи керований пристрій інтегрується у спільну екосистему, отримуючи доступ до сценаріїв автоматизації, віддаленого управління, голосових команд. Завдяки цьому IoT-системи виходять за межі суто технічного простору й починають реалізовуватись у реальному споживчому середовищі як базова складова розумного дому, офісу чи навіть виробничого циклу [25-27].

Платформи, що підтримують протоколи типу ZigBee або інші мережеві моделі, дозволяють розширювати IoT-мережі у вигляді кластерних структур, де кожен шлюз або хаб відповідає за окрему зону, що знижує навантаження на центральні вузли, забезпечує більшу стабільність системи, дозволяє реалізовувати гібридні архітектури з локальними та хмарними елементами. У випадку використання хмарної інфраструктури масштабування досягається ще й завдяки гнучкості обробки великих обсягів даних — платформи типу Tuya Cloud, AWS IoT або інші спеціалізовані сервіси здатні динамічно балансувати навантаження, зберігати великі обсяги статистики, забезпечувати безперервність роботи навіть при зростанні кількості пристроїв та ускладненні сценаріїв автоматизації [25-27].

Горизонтальне масштабування, при якому додаються нові типи пристроїв — датчики руху, CO2, освітленості, керовані розетки, інтелектуальні вимикачі чи вентилятори, — розширює зони контролю та реагування. Часто такі пристрої є мультимодальними, тобто поєднують кілька функцій в одному корпусі, що зменшує кількість фізичних елементів системи без втрати функціональності, що також сприяє уніфікації компонентів, підвищує зручність обслуговування та ефективність інтеграції. Залежно від обраної платформи, масштаби розширення можуть сягати як локального рівня — наприклад, кількох кімнат чи офісів, — так і глобального, коли одна й та сама система, побудована на гнучких протоколах і відкритих стандартах, функціонує у кількох регіонах, об’єднаних через хмару (див. рис. 3.2) [26-27].

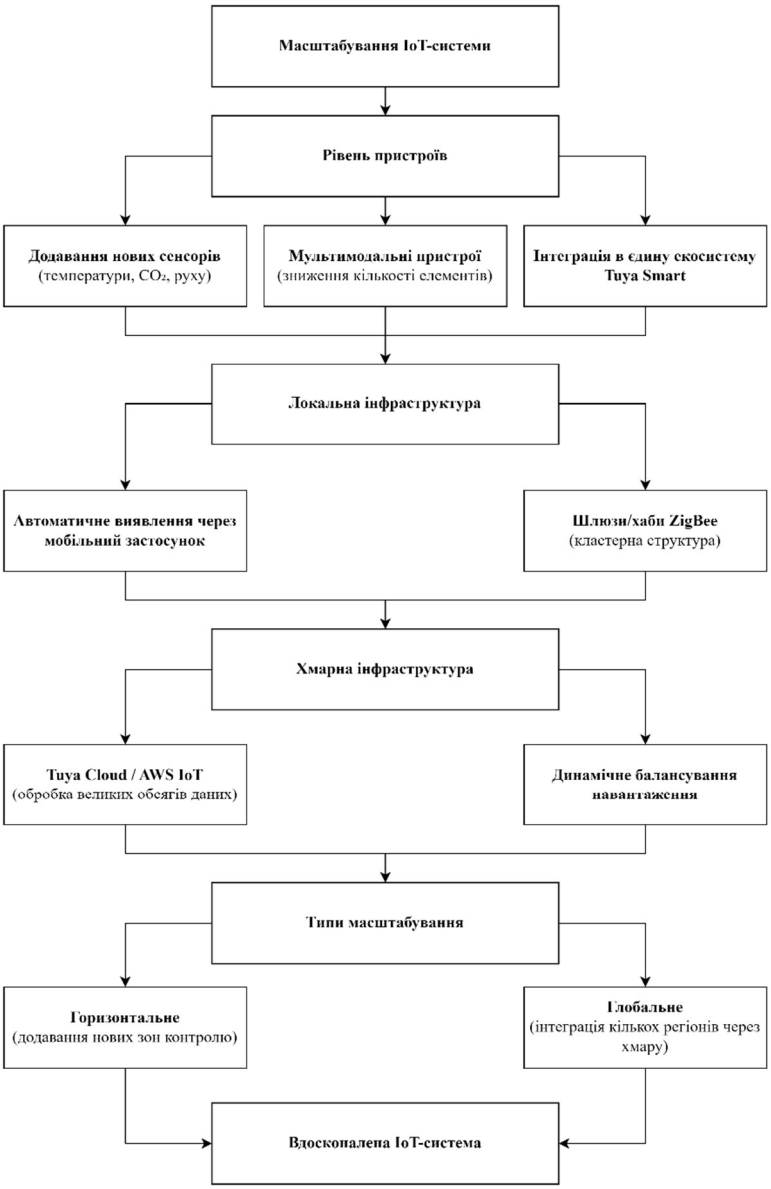


Рисунок 3.2 – Схема масштабування системи моніторингу

Такий підхід робить IoT не просто набором інтелектуальних пристроїв, а справжнім цифровим середовищем, яке здатне еволюціонувати, адаптуватися до змін, поєднувати старі й нові технології, забезпечувати безперервність цифрових процесів та інтегруватись у більші цифрові екосистеми — від локальних серверів до корпоративних платформ та хмарних інтерфейсів.

Інтеграція з іншими цифровими сервісами. Інтеграція IoT-рішень у ширший цифровий контекст значно підвищує їхню цінність, адже йдеться не лише про базове керування пристроями через мобільний додаток, хоча й це, безперечно, зручно. Однак, справжній потенціал таких систем розкривається тоді, коли вони

стають частиною екосистеми, здатної взаємодіяти з голосовими помічниками, мобільними платформами, корпоративними рішеннями, сервісами аналітики й автоматизації. Завдяки сертифікованій сумісності з популярними Smart-хабами, пристрої можуть легко підключатися до таких платформ, як Google Home, Amazon Alexa чи Apple HomeKit, що забезпечує інтуїтивне керування за допомогою голосових команд або створення сценаріїв, які не були передбачені у початковій конфігурації системи (див. рис. 3.3).

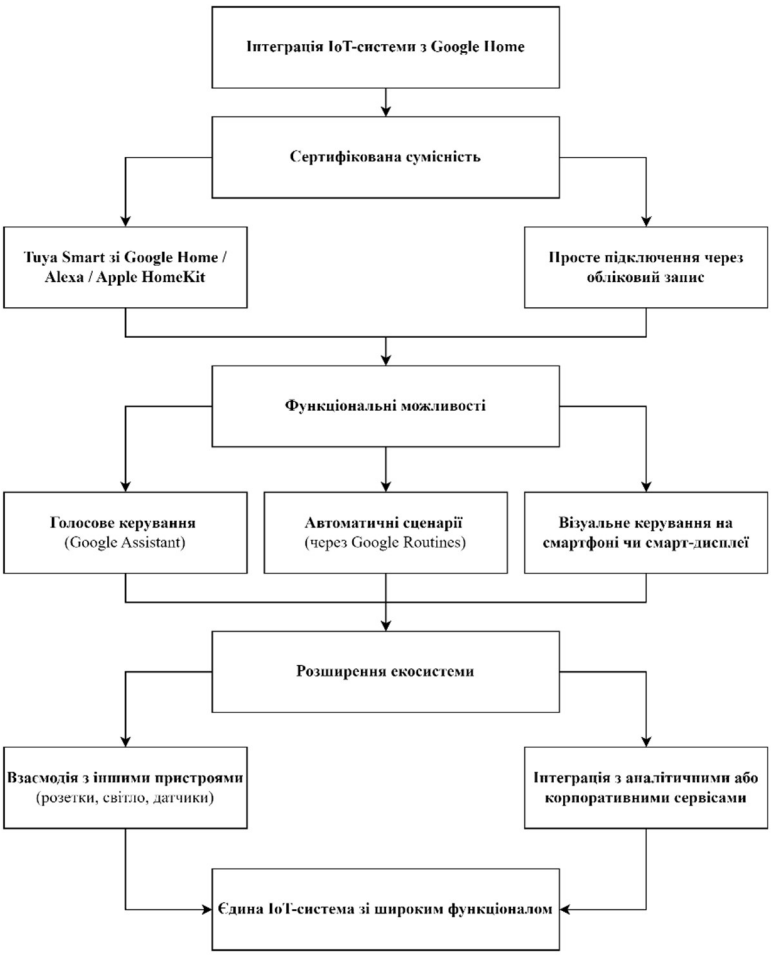


Рисунок 3.3 – Інтеграція IoT-системи з Google Home

Наприклад, запит до Google Assistant щодо поточної температури в кімнаті або команда на автоматичне увімкнення зволожувача повітря за зниження вологості нижче певного порогу виконується без необхідності прямої взаємодії зі смартфоном. Такі сценарії автоматизації не лише підвищують комфорт, але й дозволяють враховувати розширений контекст — місцезнаходження користувача,

історію дій, час доби, а також надсилати сповіщення про критичні події, наприклад, про втрату з'єднання з пристроєм чи раптове зниження температури, що дає змогу оперативно реагувати, забезпечуючи стабільність і надійність функціонування всієї системи [25-27].

На корпоративному рівні інтеграція реалізується через відкриті API, як-от Tuya Open API, що дозволяє вбудовувати дані з IoT-пристроїв у бізнес-логіку підприємства, відкриваючи можливість підключення до CRM, ERP, систем безпеки, SCADA-платформ та інших професійних рішень. У практиці це реалізується, наприклад, в аграрному секторі, де система моніторингу клімату теплиць синхронізується з автоматичним поливом, або в готельному господарстві, де IoT-пристрої інтегруються з системою управління номерами, дозволяючи налаштовувати мікроклімат ще до прибуття гостя. Всі ці можливості формують основу для масштабування рішень, забезпечуючи гнучке налаштування і здатність реагувати на зміни в режимі реального часу [27-28].

Сценарії розширеного застосування. З розвитком систем моніторингу, що спочатку були орієнтовані лише на базовий контроль параметрів мікроклімату, з'являється потреба в розширенні їх функціональності й трансформації у повноцінні компоненти системи автоматизації. Такі рішення виходять далеко за межі побутових застосувань і перетворюються на основи масштабованої екосистеми розумного середовища. Сенсори температури, вологості, руху, освітленості, розетки, керовані лампи та інша побутова техніка можуть працювати синхронно, реагуючи як на зміни умов, так і на дії користувача. Наприклад, при виявленні руху вмикається світло, а при відкритті вікна — вимикається кондиціонер. У коворкінгах чи офісах система може відстежувати рівень CO_2, температуру, шумове навантаження та відповідно адаптувати вентиляцію й освітлення, що сприяє як підвищенню комфорту, так і зменшенню енергоспоживання, особливо актуального в умовах високих тарифів на електроенергію.

У готельному бізнесі впровадження IoT сприяє покращенню досвіду гостей та оптимізації робочих процесів персоналу. Наприклад, при виявленні несправності

критичного обладнання система автоматично повідомляє службу обслуговування, а гість керує освітленням і кліматом зі свого смартфона без потреби звертатися до адміністрації. У промисловості та сільському господарстві IoT відкриває нові горизонти автоматизації технологічних процесів: у теплицях сенсори контролюють температуру, вологість, освітлення, активують системи поливу або вентиляції, на складах — відстежують умови зберігання, у виробничих цехах — реалізовують системи попередження про перегрів чи несправність обладнання. Подібні сценарії демонструють здатність IoT-систем до взаємодії з уже існуючою інфраструктурою, яка до того не була цифровізованою, створюючи симбіоз між новими технологіями та звичними інтерфейсами керування (див. рис. 3.4).

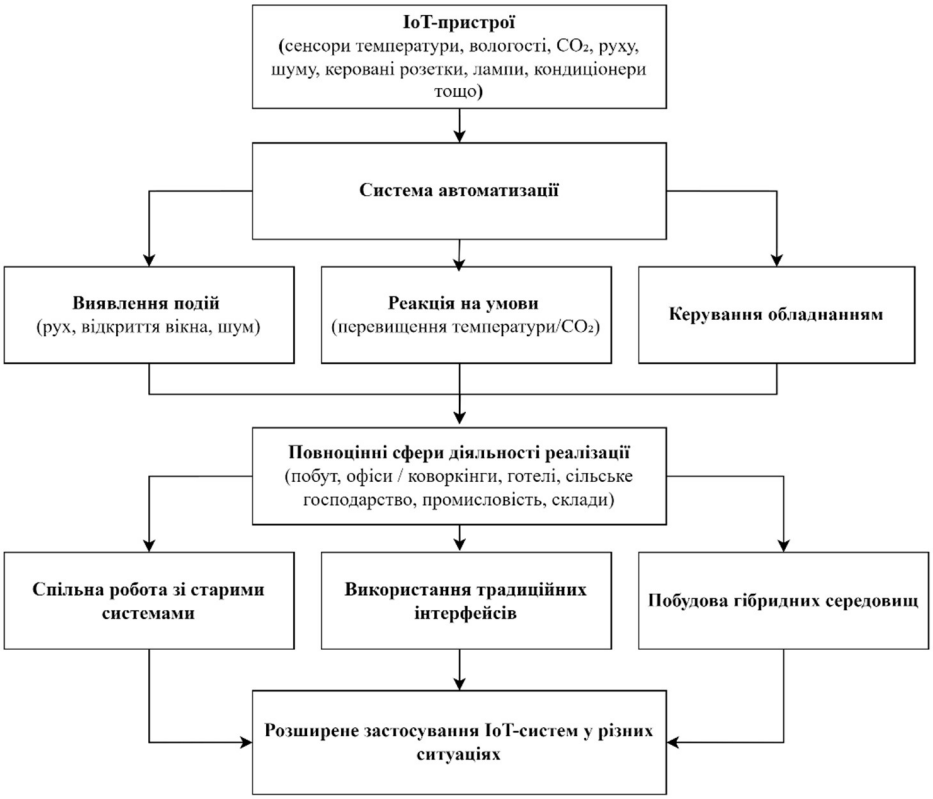


Рисунок 3.4 – Сценарії розширеного застосування у різних ситуаціях

Розширюваність таких рішень дозволяє налаштувати їх максимально гнучко під конкретні потреби, а можливість створення складних сценаріїв автоматизації лише підсилює потенціал побудови масштабних систем, що виходять далеко за межі початкових уявлень про функціональність окремого пристрою.

Виклики масштабування та ризики інтеграції. Попри очевидні переваги розширення та масштабування IoT-систем, виникають технічні та організаційні виклики, що можуть серйозно вплинути на стабільність та функціональність таких рішень. Однією з поширених проблем стає перенавантаження мережевої інфраструктури, особливо якщо для з'єднання використовується лише Wi-Fi. Хоча сучасні маршрутизатори підтримують підключення до кількох сотень пристроїв, на практиці їхня ефективність значно знижується в умовах інтенсивного трафіку, перешкод від інших джерел сигналу, електромагнітних завад та впливу зовнішнього середовища, що створює нестабільність у роботі пристроїв і вразливість у критичних сценаріях. Розв'язання цієї проблеми вимагає зонування мереж, розділення каналів зв'язку, впровадження декількох шлюзів та поступового переходу до альтернативних протоколів зв'язку, таких як Zigbee, які дозволяють зменшити навантаження на центральний маршрутизатор, забезпечити стабільну багатоточкову мережу та краще масштабування у великих інсталяціях [25-28].

Іншою складністю, що зростає разом із кількістю пристроїв, стає безпека системи. З кожним новим елементом збільшується кількість потенційних точок доступу, що підвищує ризики несанкціонованого втручання. Без належної автентифікації, шифрування даних, ведення логів активності та постійного моніторингу, навіть добре структурована система може стати вразливою до атак. Безпека повинна закладатись у фундамент архітектури на рівні кожного компоненту, починаючи від датчика і закінчуючи хмарним сервісом [25-27].

Окрему увагу потребує проблема сумісності пристроїв, особливо при інтеграції обладнання від різних виробників. Через відсутність уніфікованих стандартів деякі компоненти можуть виявитися несумісними один з одним, що унеможливлює масштабування або інтеграцію в уже наявну систему. Уникнути цього дозволяє вибір пристроїв, які підтримують відкриті протоколи обміну даними, такі як Zigbee 3.0, MQTT, REST API чи Matter, що не лише дозволяє забезпечити гнучкість у побудові інфраструктури, а й мінімізує ризики залежності від одного постачальника — так званий "vendor lock-in", коли зміна навіть одного елемента тягне за собою необхідність повної перебудови системи [26-27].

Альтернативою замкнутим екосистемам можуть стати open source рішення, що дозволяють об’єднувати пристрої з різними протоколами в єдине середовище управління, налаштовувати крос-платформну взаємодію та гнучко адаптувати систему до специфіки завдань. Розширення функціональності також можливе через використання проміжних шарів інтеграції, таких як універсальні шлюзи чи програмні конектори, здатні поєднувати розрізнені пристрої в єдину мережу, незалежно від їхніх виробників чи архітектур. У разі, якщо масштабування не є пріоритетом, доцільно реалізовувати системи в межах локальних потреб, але навіть у цьому випадку доцільно орієнтуватися на відкритість до майбутньої інтеграції, яка може знадобитися з часом [27].

Виклики масштабування та ризики, пов’язані з інтеграцією, є невід’ємною складовою будь-якого IoT-рішення, однак їх можна ефективно долати завдяки виваженому вибору технологій, продуманій мережевій архітектурі, дотриманню стандартів безпеки та орієнтації на гнучкі протоколи взаємодії, що дозволяють адаптувати систему до потреб як побутового, так і корпоративного рівня.

3.3 Узагальнення результатів і напрями подальшого вдосконалення системи

Одним із найважливіших результатів проведеної роботи стало доведення ефективності використання готових IoT-рішень, зокрема моделей розумних пультів Tuya WiFi RF IR Remote Control версій S06 Pro та S09, які значно скорочують час, необхідний на проєктування апаратної частини, дозволяючи зосередитися на програмній інтеграції, конфігурації сценаріїв та взаємодії з хмарною платформою, що істотно спрощує процес реалізації побутових систем моніторингу. Архітектура побудованої системи передбачає чітку структурну організацію, де вбудовані пристрої виступають джерелами даних, які через з’єднання Wi-Fi або інші канали надсилаються у хмару Tuya, де відбувається їх

обробка, зберігання та подальше відображення у клієнтському застосунку в режимі реального часу, забезпечуючи зручне керування пристроями, автоматизацію, інформування про зміни в мікрокліматі та побудову аналітичних графіків.

Інтеграція сценаріїв у межах екосистеми Tuya відкриває широкі можливості для створення комплексних автоматичних дій, таких як надсилання сповіщень при перевищенні температурних або вологісних порогів, автоматичне вмикання кліматичних пристроїв або ж адаптивне керування іншими компонентами відповідно до контексту навколишнього середовища, а мультифункціональність обраних пристроїв дозволяє зменшити кількість окремих модулів і реалізувати більшу кількість функцій в одному рішенні, що підвищує ефективність використання ресурсів і спрощує розгортання всієї системи. Така побудова підтверджує доцільність використання відкритих платформ для впровадження моніторингових рішень на базі вбудованих пристроїв нового покоління, що здатні виконувати одночасно кілька ролей у системі завдяки своїй гнучкій архітектурі.

Таблиця 3.2 – Ефективність реалізації IoT-систем на прикладі підходів до впровадження

Критерій	**Самостійна розробка**	**Модульні платформи (Arduino/RPi)**	**Готові рішення (Tuya S06/S09)**
Швидкість розгортання	Низька	Середня	**Висока**
Фокус розробки	Апаратура, прошивка, корпус	Програмна логіка, інтеграція	**Сценарії, хмарна конфігурація**
Інтеграція з хмарою	Відсутня, потребує доопрацювання	Часткова, через локальні API	**Повна, готове підключення до Tuya**

Продовження таблиці 3.2 – Ефективність реалізації IoT-систем на прикладі підходів до впровадження

Критерій	**Самостійна розробка**	**Модульні платформи (Arduino/RPi)**	**Готові рішення (Tuya S06/S09)**
Автоматизація сценаріїв	Потрібно розробляти вручну	Можлива з додатковими модулями	**Вбудована, доступна в застосунку**
Мультифункціональність	Лише при складній реалізації	Обмежена кількістю портів/модулів	**Висока — підтримка RF, IR, сенсорів**
Гнучкість у зміні функцій	Максимальна	Висока	**Обмежена, частково через API**
Технічні вимоги до користувача	Високі	Середні	**Низькі — достатньо мобільного застосунку**
Стабільність роботи	Низька (на старті)	Середня	**Висока, з офіційною підтримкою**
Вартість	Низька (апаратно)	Середня	**Середня або вища, залежно від моделі**
Підтримка, гарантії	Відсутня	Обмежена	**Присутня, офіційна підтримка**

Оцінка ефективності та економічної доцільності обраного підходу. Оцінка ефективності обраного підходу вказує на очевидні переваги використання готових рішень із хмарною підтримкою, оскільки такий підхід дозволяє уникнути складної розробки апаратної частини, не вимагає програмування мікроконтролерів, створення прошивок або ручної збірки компонентів, що робить подібні системи доступними навіть для користувачів без глибоких технічних знань. Підключення пристроїв до хмари Tuya Smart відбувається через просту реєстрацію за QR-кодом, а подальша конфігурація здійснюється безпосередньо у мобільному застосунку, що мінімізує поріг входу. Водночас екосистема Tuya підтримує широкий спектр пристроїв від різних виробників, що гарантує масштабованість і відкриває можливості для поступового розширення мережі без жорсткої залежності від певного бренду чи типу пристрою, дозволяючи впроваджувати нові елементи без необхідності повної перебудови вже існуючої інфраструктури.

Додатковою перевагою є наявність відкритих API, які забезпечують доступ до даних з хмари та дозволяють інтегрувати систему з такими сервісами, як Google Sheets, Telegram, IFTTT або навіть власними дашбордами та сценами на основі open source рішень, що суттєво підвищує ступінь персоналізації, аналітики та розширеного застосування, у тому числі й у професійному середовищі. Проте попри численні переваги, існують певні недоліки, з якими доводиться стикатися під час реалізації подібних рішень, серед яких найбільш помітною є залежність від доступу до інтернету, адже у разі його втрати чи збоїв у роботі хмарної платформи контроль над пристроями втрачається, що критично для стабільності системи. Обмеження на безкоштовне використання деяких функцій або необхідність додаткової авторизації також можуть ускладнити масштабування системи в умовах складної інфраструктури, особливо якщо вона базується лише на Wi-Fi.

До того ж обмежений доступ до низькорівневих параметрів сенсорів у готових рішеннях створює певні бар’єри для просунутих користувачів, які бажають глибше налаштувати роботу системи або змінювати поведінку пристроїв на рівні прошивок, протоколів або специфічної логіки, що обмежує варіативність кастомізації. Проте всі ці недоліки не перекреслюють потенціалу подібних рішень

і лише окреслюють напрямки подальшого вдосконалення, які полягають у розширенні підтримки локального управління, впровадженні резервних каналів зв’язку, переході на протоколи з підтримкою mesh-топологій або ж використанні гібридних підходів із частковим переходом на open source платформи, які залишають більше свободи в налаштуванні, водночас зберігаючи зручність масштабування та швидкість реалізації системи.

На графіку (див. рис. 3.5) порівнюються витрати на реалізацію IoT-системи моніторингу з використанням готових рішень Tuya (S06 Pro – $8, S09 – $9), модульних самостійних рішень на базі ESP8266+DHT22 (орієнтовно $6) та повністю саморобних систем із власними корпусами, живленням і налаштуванням інфраструктури (близько $12–15). Готові рішення демонструють оптимальне співвідношення ціни та функціональності, суттєво знижуючи вартісний та часовий бар’єр входу для реалізації масштабованих систем.

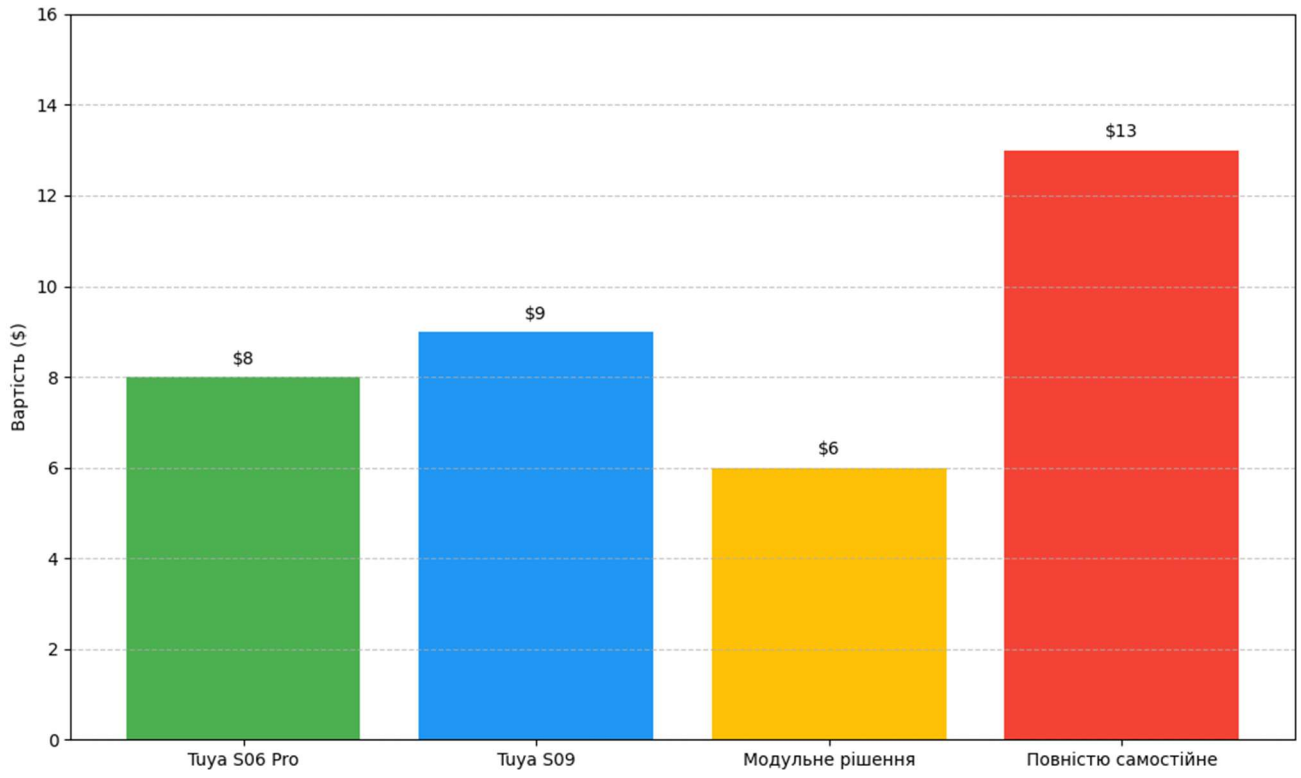


Рисунок 3.5 – Порівняння вартості IoT-рішень для моніторингу

Перспективи застосування та еволюції системи. Для подальшого розвитку системи моніторингу температури та вологості на базі вбудованих пристроїв у межах концепції Інтернету речей доцільно розглядати як технічні, так і функціональні напрями вдосконалення. Одним із таких шляхів може бути інтеграція з локальними хабами, зокрема перехід на інші протоколи передачі даних, що дозволить зменшити залежність від хмарних сервісів і забезпечити більшу автономність. Локальне управління може бути реалізоване на базі рішень типу Home Assistant або через побудову MQTT-інфраструктури, що дає змогу встановлювати надійні канали взаємодії між пристроями, зберігаючи високу швидкість обміну даними та стабільність навіть за відсутності доступу до Інтернету. Окрім того, локальне розміщення елементів системи дозволяє зберігати контроль над даними, не передаючи їх до зовнішніх хмар, що підвищує рівень конфіденційності й безпеки [22-23, 25-29].

Подальше вдосконалення системи також передбачає створення кастомізованої візуалізації, оскільки базової аналітики в Tuya може бути недостатньо для професійного використання. Запровадження веб-інтерфейсів на базі платформ типу ThingsBoard, OpenHAB або Home Assistant розширює можливості представлення даних у вигляді динамічних графіків, теплових карт і інтерактивних дашбордів, що особливо важливо для бізнес-середовищ із підвищеними вимогами до контролю мікроклімату. Удосконалення може торкатися й автоматизації, зокрема, шляхом інтеграції з зовнішніми цифровими сервісами через публічне API, що забезпечує сумісність із Google Calendar, Telegram, IFTTT та іншими інструментами для побутових, офісних і промислових застосувань. Наприклад, можна реалізувати автоматичне вмикання вентиляції за розкладом або формування звітів зі стану середовища з надсиланням користувачеві через месенджери, що підвищує зручність та функціональність системи [22-23, 25-29].

Розширення спектру сенсорів також належить до важливих напрямів еволюції: додавання модулів вимірювання рівня CO_2, освітленості, атмосферного тиску та інших параметрів дозволяє масштабувати систему для застосування в

різноманітних контекстах — від контролю якості повітря в навчальних аудиторіях до управління мікрокліматом у теплицях або складах із високими стандартами зберігання. Усе це відкриває перспективи побудови багаторівневих інтелектуальних рішень із розгалуженою інфраструктурою та гнучкою логікою автоматизації, що реагує на зміну середовища в режимі реального часу.

У контексті подальшої еволюції така система має значний потенціал для інтеграції в смарт-енергетичні рішення, де дані про температуру й вологість використовуються для оптимізації витрат на опалення, кондиціонування або вентиляцію, що особливо важливо в умовах зростаючої уваги до енергоефективності, а також у промислових середовищах, де необхідне дотримання стабільного мікроклімату задля збереження обладнання чи продукції. У навчальних закладах система може бути інтегрована в інфраструктуру як демонстраційний приклад IoT-рішень, завдяки чому студенти отримують практичне уявлення про хмарні платформи, сенсорні системи та сценарне керування, а також навчаються візуалізувати отримані дані для аналітичного використання. Такий підхід сприяє формуванню технічної грамотності та розумінню принципів побудови розумного середовища [29].

Підтвердженням ефективності обраного шляху є можливість створення масштабованих, практичних та енергоефективних систем моніторингу на базі готових пристроїв із хмарною підтримкою. Надалі вдосконалення може зосереджуватись на підвищенні автономності за рахунок впровадження локальних керувальних елементів, глибшій інтеграції з цифровими платформами та поступовому розширенні функціональності за допомогою додаткових сенсорів, реле й керувальних модулів. Така система, по суті, перетворюється на універсальну, адаптивну та зручну для реалізації у побуті, бізнесі або навчальному середовищі платформу, що демонструє значний потенціал як у короткостроковій, так і в довгостроковій перспективі.

ВИСНОВКИ

У ході реалізації системи моніторингу мікроклімату було впроваджено архітектуру, засновану на використанні вбудованих IoT-пристроїв із сенсорами температури та вологості – Tuya S06 Pro та S09. Система охоплює процеси збирання даних, їх передавання через Wi-Fi у хмарну інфраструктуру, подальшу обробку та виведення інформації у зручному мобільному інтерфейсі. Завдяки реалізації автоматичних сценаріїв та взаємодії між компонентами досягнуто ефективного управління мікрокліматом у реальному часі.

Мобільний застосунок платформи Tuya Smart продемонстрував високу інтегрованість і зручність використання, дозволяючи відстежувати параметри довкілля, переглядати історичні дані у графічному вигляді, отримувати сповіщення та налаштовувати тригери для автоматизації. Через хмарну платформу реалізовано можливість масштабування системи, зокрема завдяки підтримці API для розширення функціоналу або взаємодії з іншими розумними пристроями та голосовими помічниками.

Хмарна обробка даних забезпечила стабільне зберігання і високу доступність інформації з будь-якого пристрою користувача. Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс платформи дозволив аналізувати динаміку змін мікроклімату у вибраних часових діапазонах, що є важливим для підтримання комфортних умов у різних типах приміщень — від житлових до виробничих.

У перспективі планується подальше вдосконалення системи за рахунок інтеграції додаткових типів сенсорів, реалізації локальної обробки даних для зниження навантаження на хмару, а також впровадження механізмів енергоефективності та захисту даних, що дозволить створити більш гнучке, автономне та безпечне рішення, яке відповідатиме вимогам майбутніх IoT-інфраструктур.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Cogniteq. The History of IoT: How This Technology Is Evolving. URL: https://www.cogniteq.com/blog/history-iot-how-technology-evolving (дата звернення:24.02.2025).
2. Digital Matter. The Evolution of IoT Solutions and Emerging Technologies. URL: https://www.digitalmatter.com/the-evolution-of-iot-solutions-emerging-technologies-and-their-impact/ (дата звернення: 25.02.2025).
3. RemoteIoT. The Evolution of IoT Monitoring in Modern Connectivity. URL: https://remoteiot.com/blog/the-evolution-of-iot-monitoring-in-modern-connectivity.html (дата звернення: 27.02.2025).
4. Microsoft Azure. IoT Technologies and Protocols. URL: https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/iot/iot-technology-protocols (дата звернення: 02.03.2025).
5. TechTarget. Top 12 Most Commonly Used IoT Protocols and Standards. URL: https://www.techtarget.com/iotagenda/tip/Top-12-most-commonly-used-IoT-protocols-and-standards (дата звернення: 05.03.2025).
6. A1 Digital. IoT Protocols: A Comprehensive Guide. URL: https://www.a1.digital/news/iot-protocols-a-comprehensive-guide/ (дата звернення: 07.03.2025).
7. Monnit. Wireless Temperature Sensors for IoT Remote Monitoring Systems. URL: https://www.monnit.com/products/sensors/temperature/ (дата звернення: 08.03.2025).
8. DeepSea Developments. Humidity Sensors in IoT: Benefits and Applications. URL: https://www.deepseadev.com/en/blog/humidity-sensors-in-iot/ (дата звернення: 10.03.2025).
9. BeanAir. Wireless IoT Temperature and Humidity Sensors Overview. URL: https://beanair.com/wireless-iot-temperature-and-humidity-sensors-overview.html (дата звернення: 11.03.2025).
10. DFRobot. Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, Thread, and Matter. URL: https://www.dfrobot.com/blog-13453.html (дата звернення: 13.03.2025).
11. IoT For All. Examining 5 IEEE Protocols - ZigBee, WiFi, Bluetooth, BLE, and WiMAX. URL: https://www.iotforall.com/ieee-protocols-zigbee-wifi-bluetooth-ble-wimax (дата звернення: 15.03.2025).
12. Granite River Labs. IoT Network Protocol Considerations. URL: https://www.graniteriverlabs.com/en-us/technical-blog/iot-network-protocol-considerations (дата звернення: 17.03.2025).
13. Euristiq. 10+ Best IoT Cloud Platforms in 2025. URL: https://euristiq.com/best-iot-cloud-platforms/ (дата звернення: 19.03.2025).
14. Arduino Cloud. Build, Control, Monitor Your IoT Projects. URL: https://cloud.arduino.cc/ (дата звернення: 21.03.2025).

15. Google Cloud. IoT Platform Product Architecture. URL: https://cloud.google.com/architecture/connected-devices/iot-platform-product-architecture (дата звернення: 22.03.2025).
16. Tuya. Smart Home Solution. URL: https://www.tuya.com/solution/scene/smart-home (дата звернення: 25.03.2025).
17. The Verge. Every Smart Home Device That Works with Matter. URL: https://www.theverge.com/23568091/matter-compatible-devices-accessories-apple-amazon-google-samsung (дата звернення: 27.03.2025).
18. Alibaba. S06 Pro WiFi IR Remote Control with Temp & Humidity Sensor. URL: https://www.alibaba.com/product-detail/S06-Pro-WiFi-IR-Remote-Control_1600206044103.html (дата звернення: 30.03.2025).
19. OpenMQTTGateway Community. Interesting Avatto/Bakeey/Tuya S06 IR Remote Variations. URL: https://community.openmqttgateway.com/t/interesting-avatto-bakeey-tuya-s06-ir-remote-variations/1750 (дата звернення: 03.04.2025).
20. Tuya. Tuya Smart - Global AI Cloud Platform Service Provider. URL: https://www.tuya.com/ (дата звернення: 05.04.2025).
21. Tuya Developer. Smart Life App Overview. URL: https://developer.tuya.com/en/docs/iot/tuya-smart-app-smart-life-app-advantages?id=K989rqa49rluq (дата звернення: 09.04.2025).
22. Home Assistant Community. Tuya Smart IR with Home Assistant. URL: https://community.home-assistant.io/t/tuya-smart-ir-with-home-assistant/400211 (дата звернення: 11.04.2025).
23. ThingsBoard. Open-source IoT Platform. URL: https://thingsboard.io/ (дата звернення: 12.04.2025).
24. Reddit. Pros and Cons for Different Protocols (Zigbee, BT, Wifi, etc). URL: https://www.reddit.com/r/homeassistant/comments/181kqr0/pros_and_cons_for_different_protocols_zigbee_bt/ (дата звернення: 15.04.2025).
25. Particle. IoT Scalability - A Guide to Scaling IoT Effectively. URL: https://www.particle.io/iot-guides-and-resources/iot-scalability/ (дата звернення: 17.04.2025).
26. LANARS. Six Tips for Scaling IoT and Solving IoT Challenges. URL: https://lanars.com/blog/iot-scalability (дата звернення: 20.04.2025).
27. Fiveable. IoT Scalability and Interoperability. URL: https://library.fiveable.me/iot-systems/unit-11 (дата звернення: 22.04.2025).
28. NCBI. Proof of Concept of Scalable Integration of Internet of Things and Blockchain. URL: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7085612/ (дата звернення: 26.04.2025).
29. IoT For All. Evolution of IoT in Healthcare. URL: https://www.iotforall.com/evolution-iot-healthcare (дата звернення: 30.04.2025).
30. Прищепа Г.В., Торошанко Я.І. Вбудоване IoT-рішення для екологічного моніторингу температури та вологості. «Сучасний стан та перспективи розвитку IoT» : VI Науково-техн. конф., м.Київ, 15 квітня 2025 р. (подано до публікації).
31. Прищепа Г.В., Торошанко Я.І. Система моніторингу температури та вологості для IoT-рішень на базі вбудованих пристроїв. «Застосування

програмного забезпечення в ІКТ» : Всеукр. науково-техн. конф., м.Київ, 24 квітня 2025 р. С.578-581.

Додаток А

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра Комп'ютерної інженерії



КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

НА ТЕМУ: «ВБУДОВАНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ВОЛОГОСТІ ДЛЯ ІОТ-РІШЕНЬ»

Виконав студент групи КІД-42
Прищепа Герман Віталійович
Керівник дипломної роботи:
Торошанко Ярослав Іванович,
канд. техн. наук, доц., с.н.с.

Київ – 2025

Мета, об’єкт, предмет дослідження

Мета роботи – мінімізація вартості та спрощення побудови систем моніторингу мікроклімату за рахунок використання методів хмарної обробки даних та вбудованих рішень в екосистемі IoT

Об’єкт дослідження – процес моніторингу параметрів мікроклімату в умовах розумного середовища із застосуванням вбудованих пристроїв

Предмет дослідження – технології IoT-інтеграції, хмарні сервіси, засоби візуалізації та автоматизації в екосистемі Tuya

Актуальність роботи

У роботі проаналізовано функціональні можливості вбудованих пристроїв із сенсорами температури та вологості, їхню інтеграцію в хмарну платформу, способи зчитування та обробки даних, а також конфігурацію сценаріїв автоматизації через мобільний додаток Tuya Smart. Розглянуто особливості взаємодії компонентів IoT-системи – сенсорів, шлюзів, хмари та клієнтських інтерфейсів, а також переваги використання безпровідних протоколів (Wi-Fi, ZigBee, BLE).

Робота містить порівняння готових пристроїв із альтернативними підходами, оцінює доцільність їх використання для недорогих IoT-рішень і досліджує потенціал масштабування таких систем. Особливу увагу приділено практичній перевірці можливостей хмарної платформи Tuya, її API, інструментам обробки та візуалізації даних, а також реалізації логіки автоматизованих сценаріїв.

Засади побудови IoT-систем моніторингу

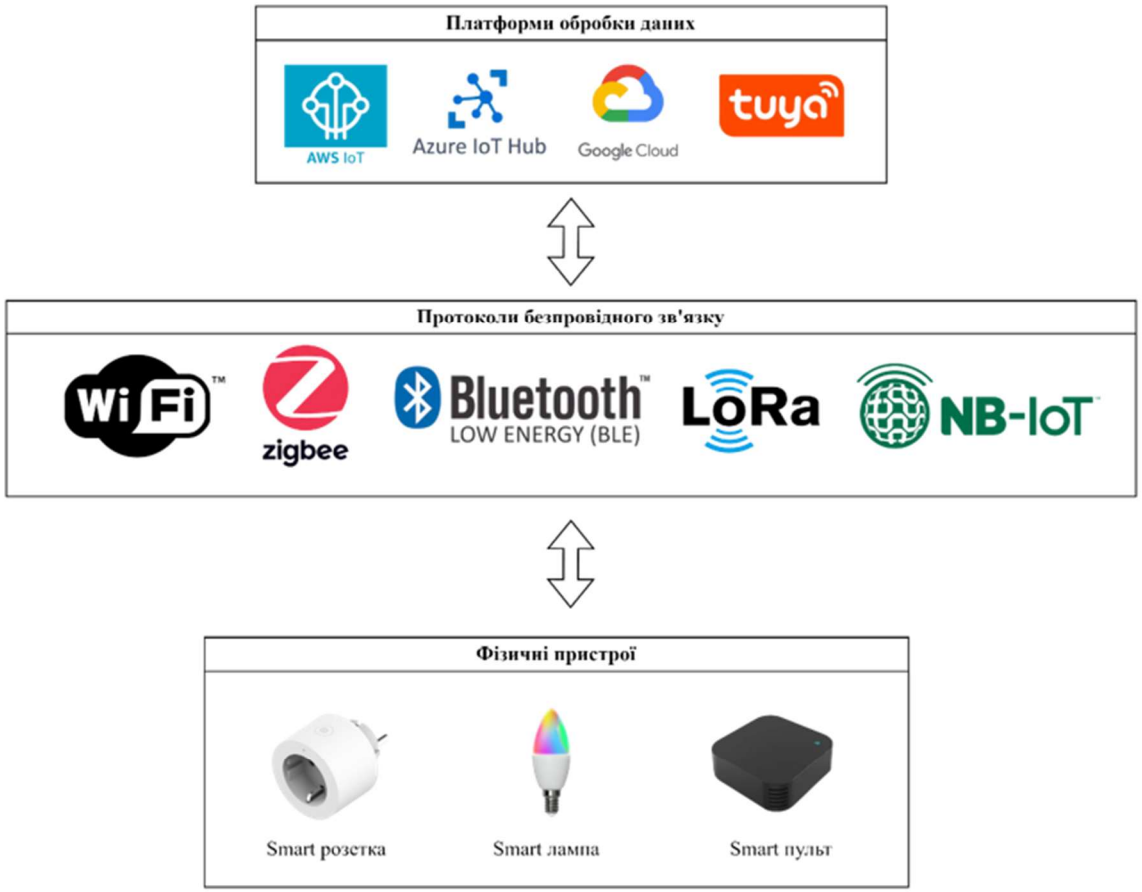


Рис. 1.1 – Компоненти типової IoT-системи моніторингу

Архітектура побудованої IoT-системи на основі хмарної платформи

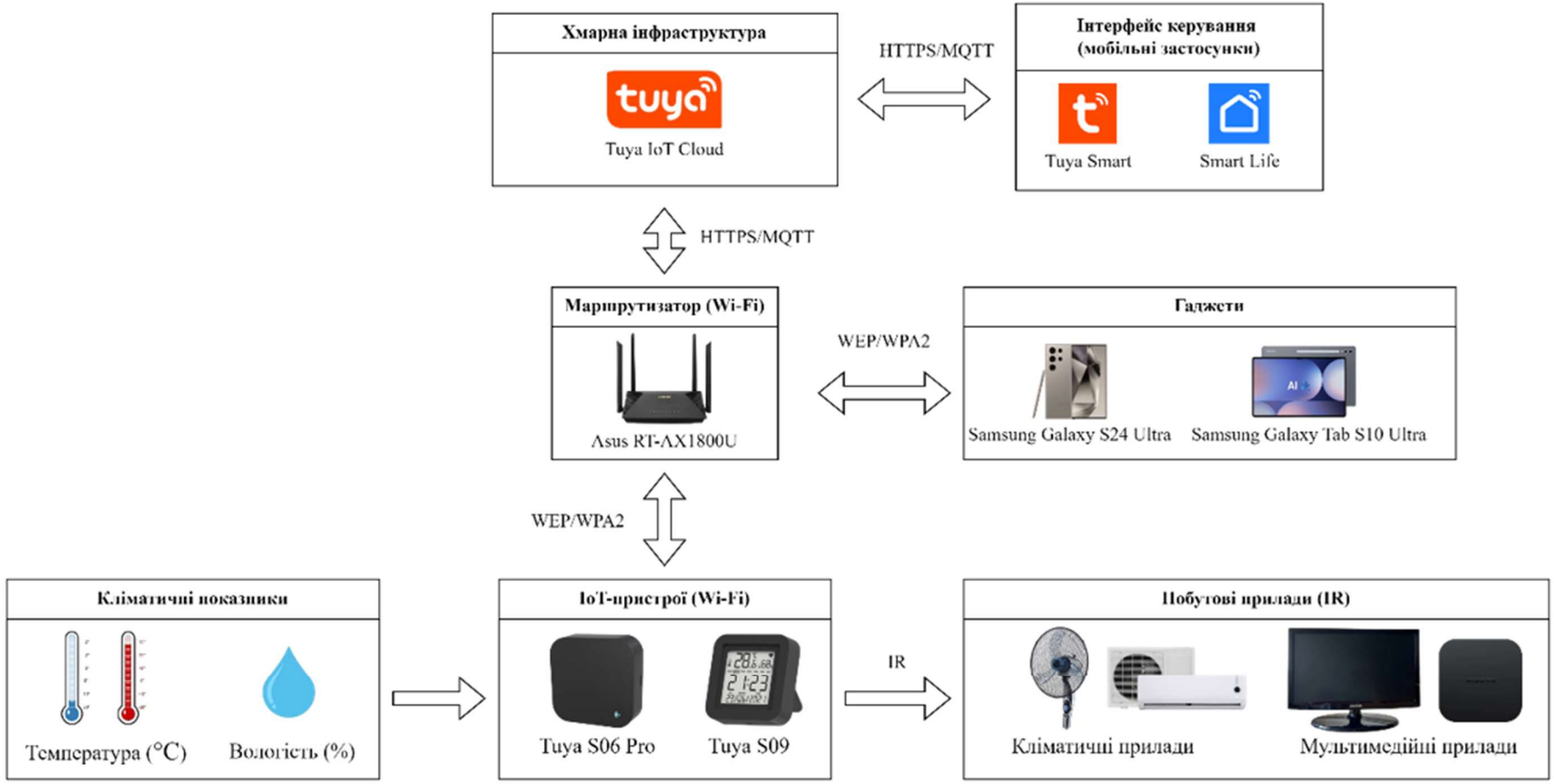


Рис. 2.6 – Архітектура системи моніторингу з використанням хмарної платформи

5

Аналіз обраних мультифункціональних пристроїв зі вбудованим моніторингом мікроклімату



Рис. 2.2 – Зовнішній вигляд пристрою Tuya S06 Pro



Рис. 2.3 – Зовнішній вигляд пристрою Tuya S09 з дисплеєм



Рис. 2.4 – Відображення даних про температуру та вологість у S09

Інтеграція нових пристроїв у мобільному застосунку

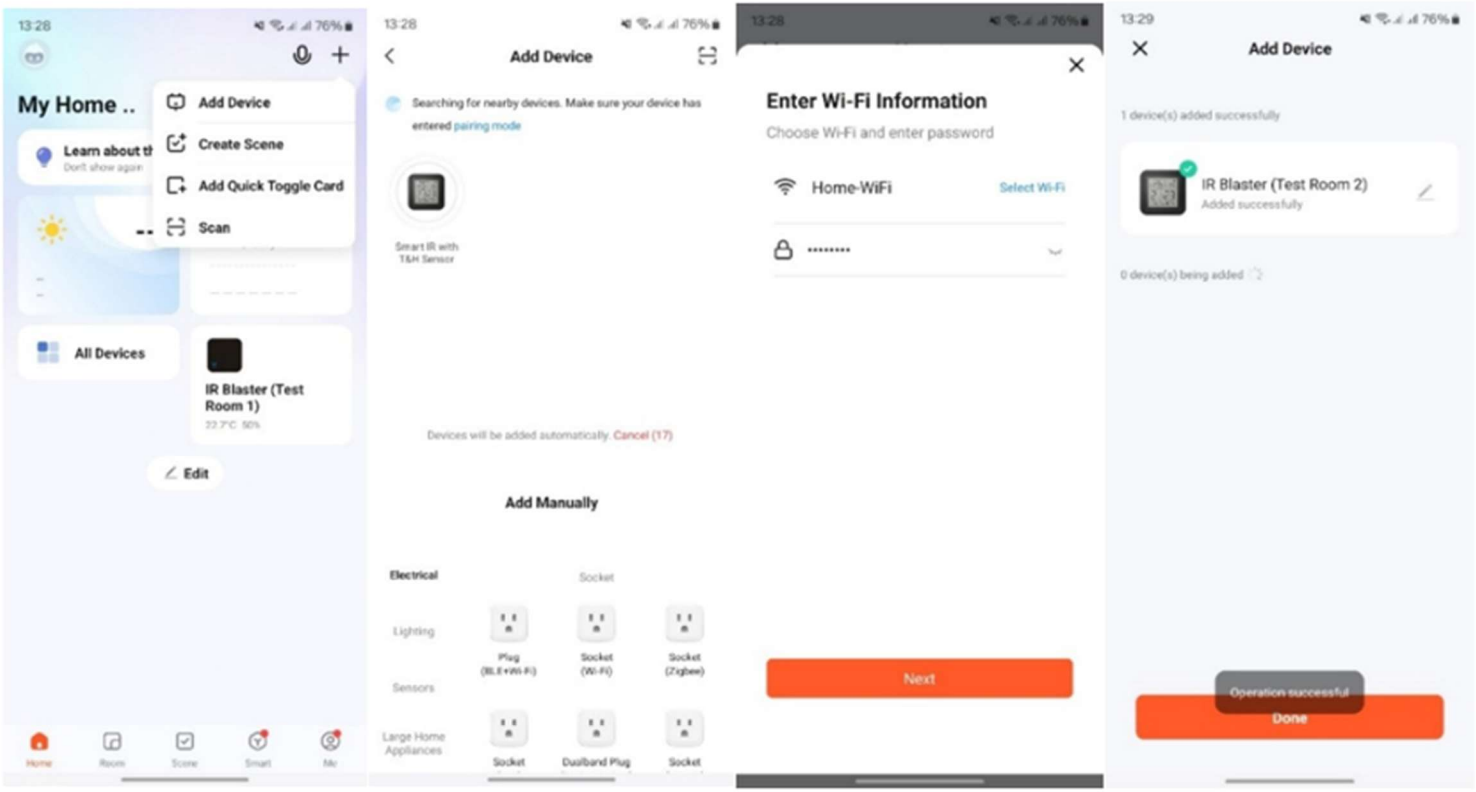


Рис. 2.8 – Додавання нових пристроїв до мобільного додатку

Функціональність мобільного додатка Tuya Smart

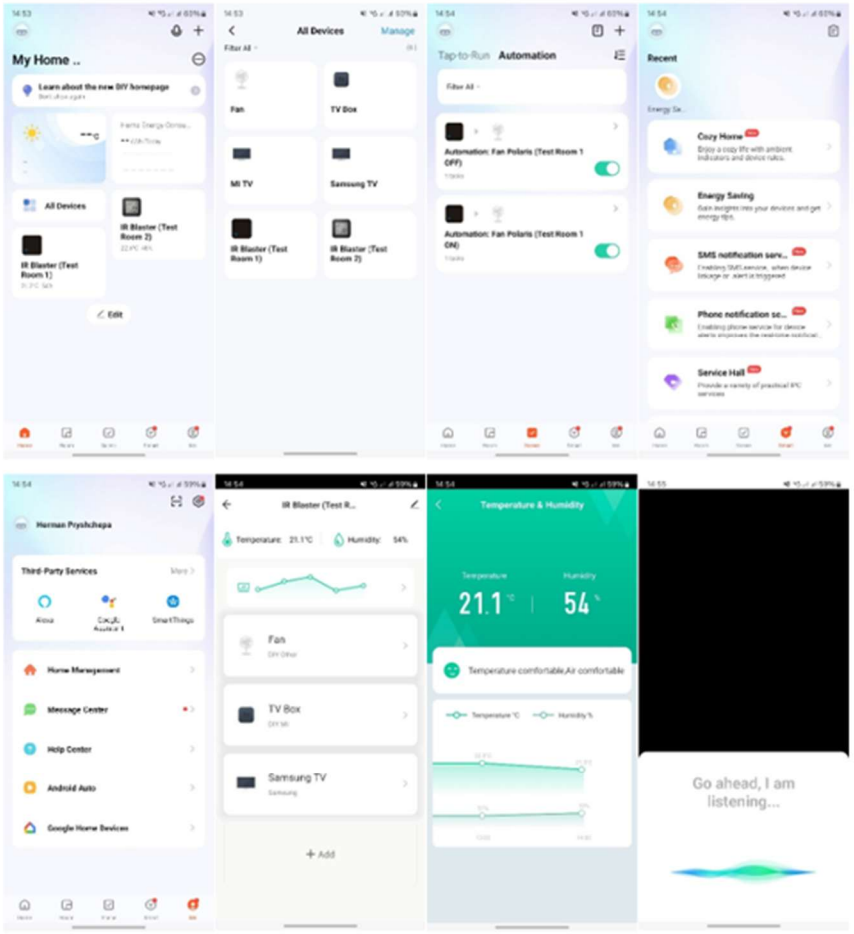


Рис. 2.13 – Базовий функціонал інтерфейсу мобільного додатка Tuya Smart

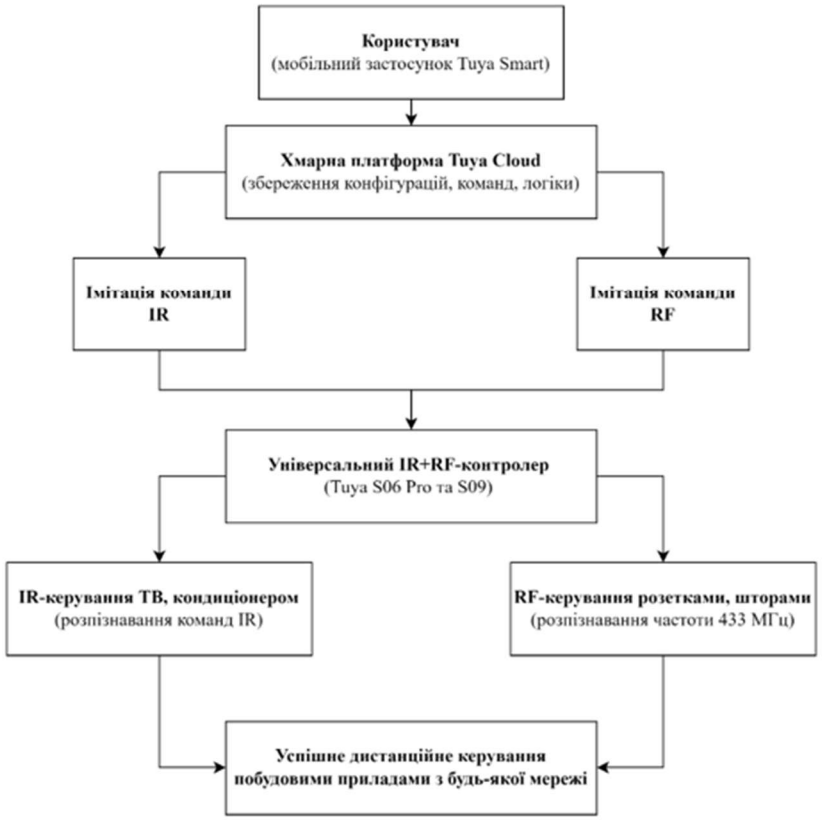


Рис. 2.1 – Концепція універсального пристрою з IR та RF

Механізми візуалізації моніторингу в мобільному додатку

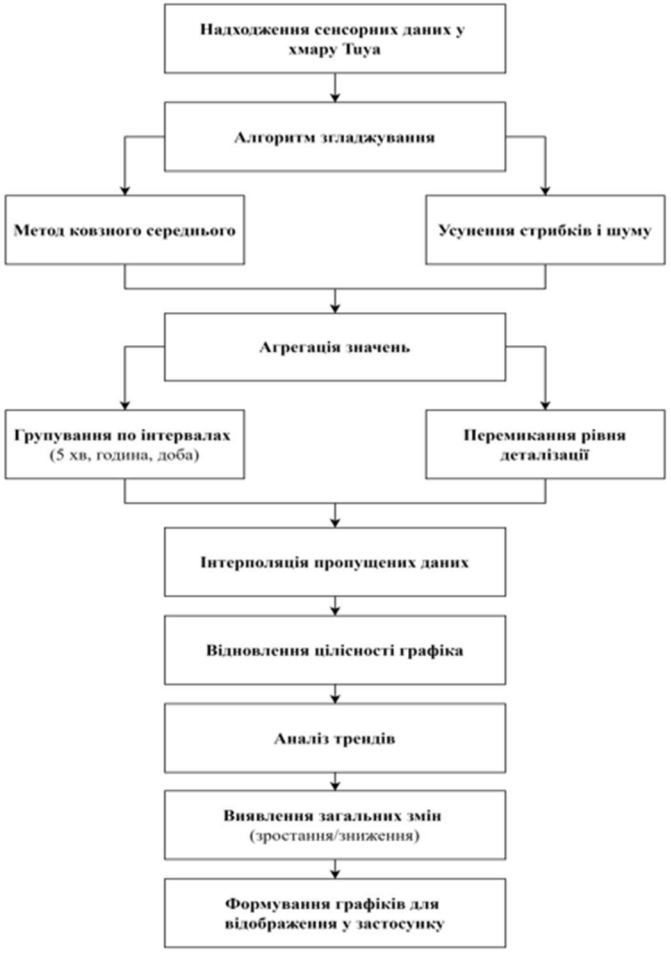


Рис. 2.22 – Механізм агрегації показників у хмарі

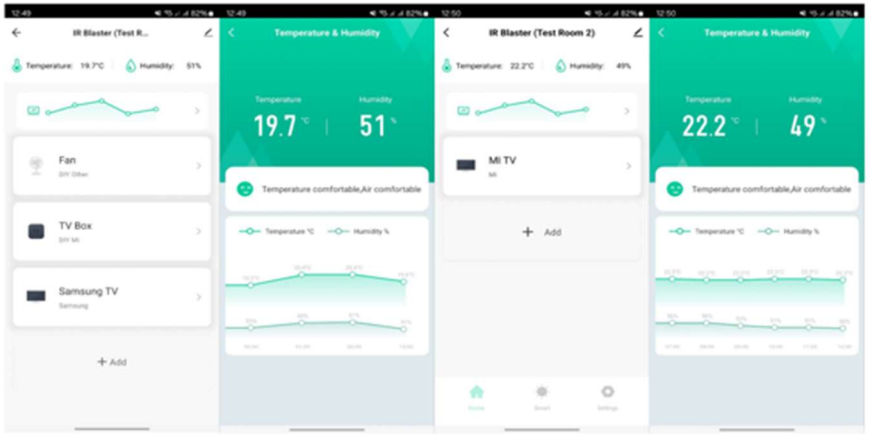


Рис. 2.21 – Форма відображення кліматичних змін у часі: Room 1 та 2

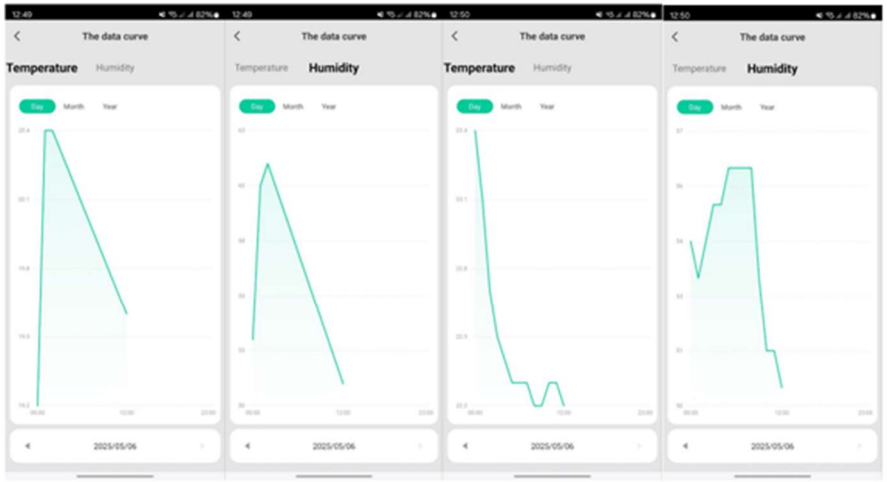


Рис. 2.23 – Візуалізація даних у вигляді сформованих графіків: Room 1 та 2

Реалізація додаткового функціоналу керування побутовою технікою

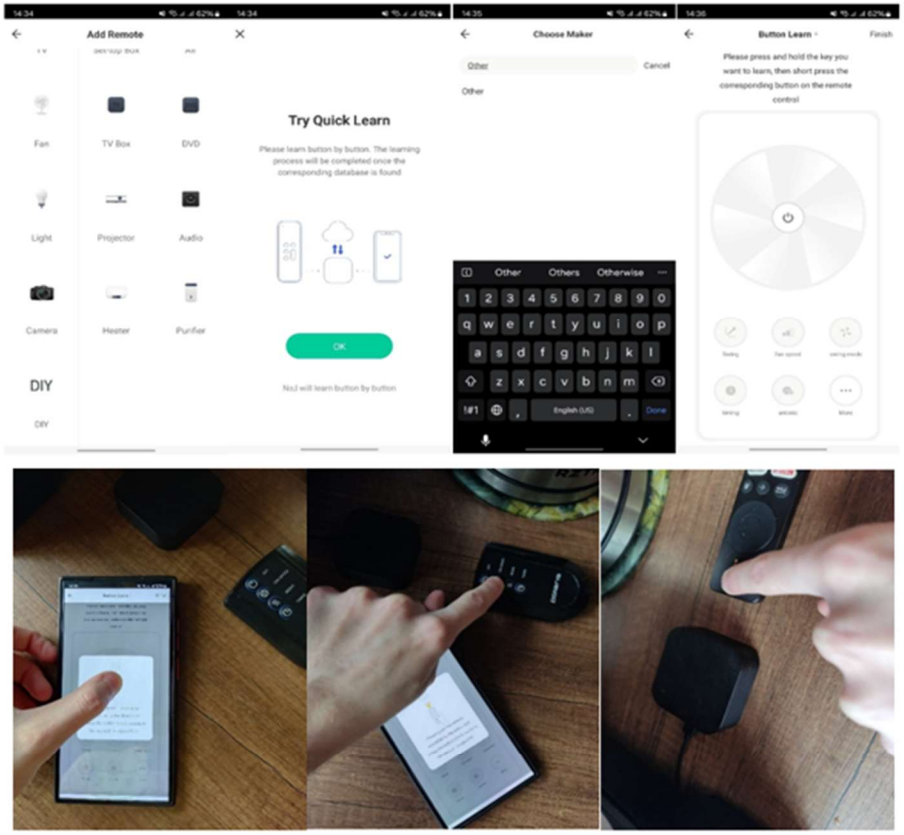


Рис. 2.12 – Демонстрація реалізації додаткового функціоналу системі: процес навчання та додавання кодів ІЧ наявних пультів для керування побутовою технікою

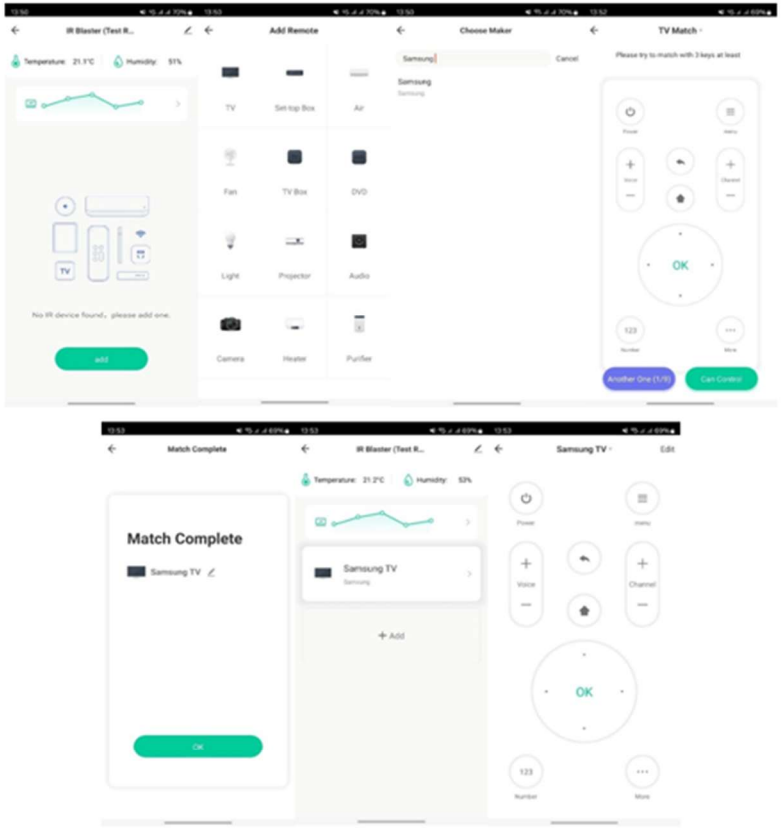


Рис. 2.10 – Приклад реалізації додаткового функціоналу системі: додавання віртуальних готових пультів ДК для керування побутовою технікою

Автоматизація системи на основі сценаріїв

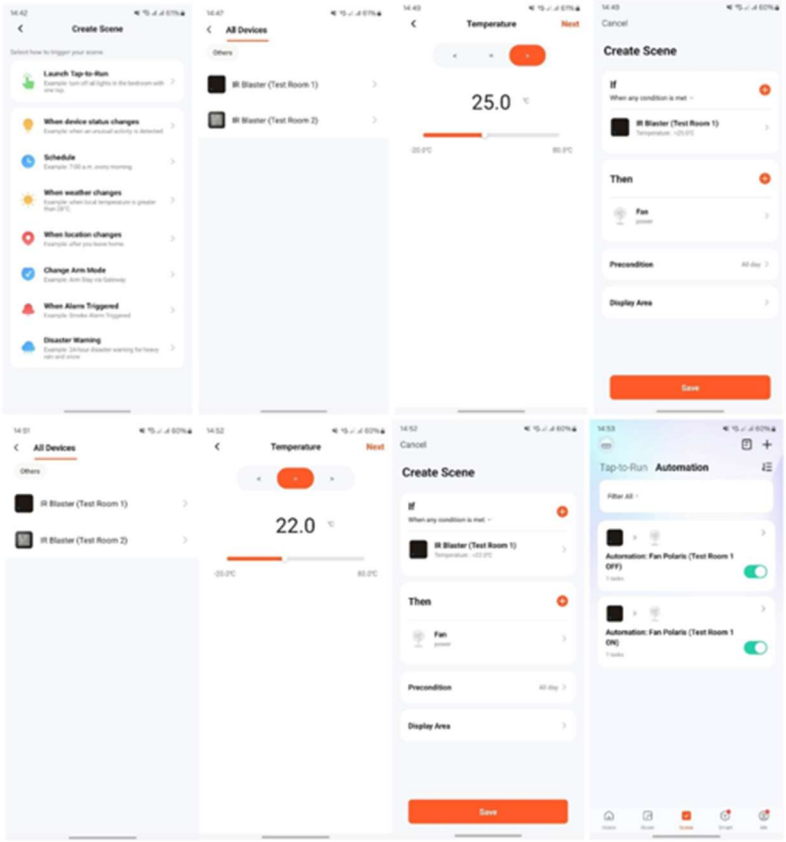


Рис. 2.18 – Реалізація сценаріїв автоматизації керування побутовими приладами шляхом вбудованого моніторингу мікроклімату в Tuya Smart

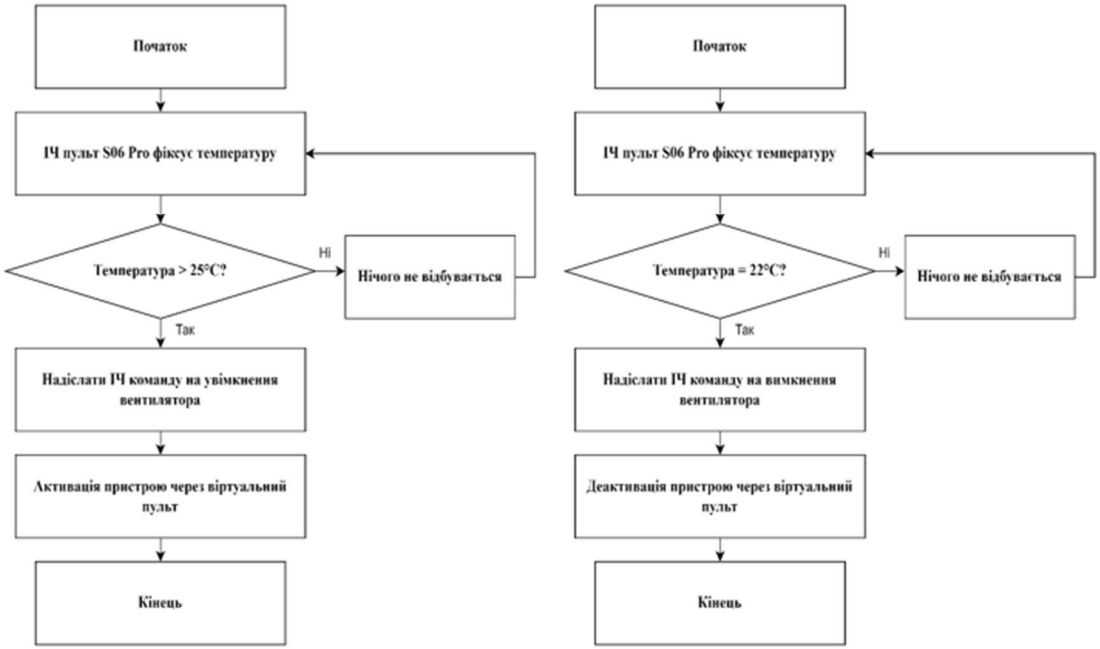


Рис. 2.19 – Блок-схема сценаріїв автоматизації керування побутовими приладами шляхом вбудованого моніторингу мікроклімату в Tuya Smart

Масштабування та інтеграція з іншими системами

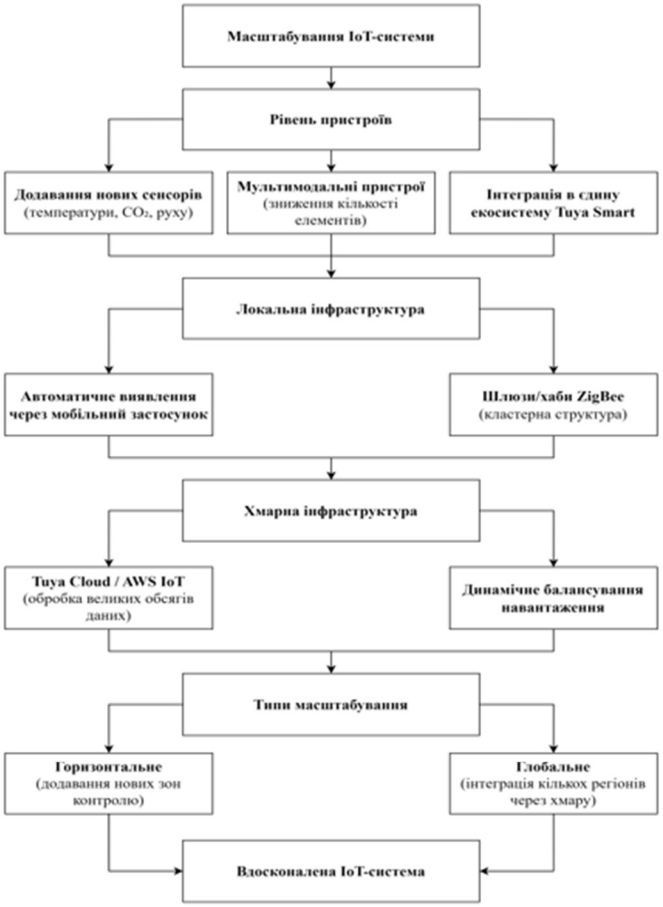


Рис. 3.2 – Схема масштабування системи моніторингу

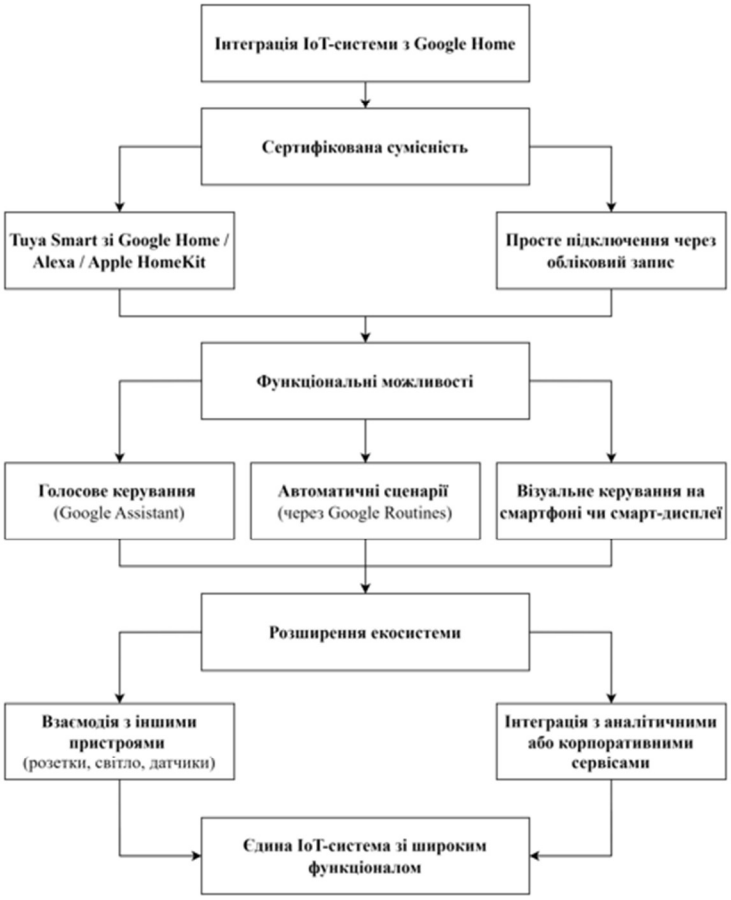


Рис. 3.3 – Інтеграція IoT-системи з Google Home

Порівняльний аналіз та кошторис реалізації IoT-системи

Рис. 3.2 – Ефективність реалізації IoT-систем на прикладі підходів до впровадження

Критерій	Самостійна розробка	Модульні платформи (Arduino/RPi)	Готові рішення (Tuya S06/S09)
Швидкість розгортання	Низька	Середня	**Висока**
Фокус розробки	Апаратура, прошивка, корпус	Програмна логіка, інтеграція	**Сценарії, хмарна конфігурація**
Інтеграція з хмарою	Відсутня, потребує доопрацювання	Часткова, через локальні API	**Повна, готове підключення до Tuya**
Автоматизація сценаріїв	Потрібно розробляти вручну	Можлива з додатковими модулями	**Вбудована, доступна в застосунку**
Мультифункціональність	Лише при складній реалізації	Обмежена кількістю портів/модулів	**Висока — підтримка RF, IR, сенсорів**
Гнучкість у зміні функцій	Максимальна	Висока	**Обмежена, частково через API**
Технічні вимоги до користувача	Високі	Середні	**Низькі — достатньо мобільного застосунку**
Стабільність роботи	Низька (на старті)	Середня	**Висока, з офіційною підтримкою**
Вартість	Низька (апаратно)	Середня	**Середня або вища, залежно від моделі**
Підтримка, гарантії	Відсутня	Обмежена	**Присутня, офіційна підтримка**

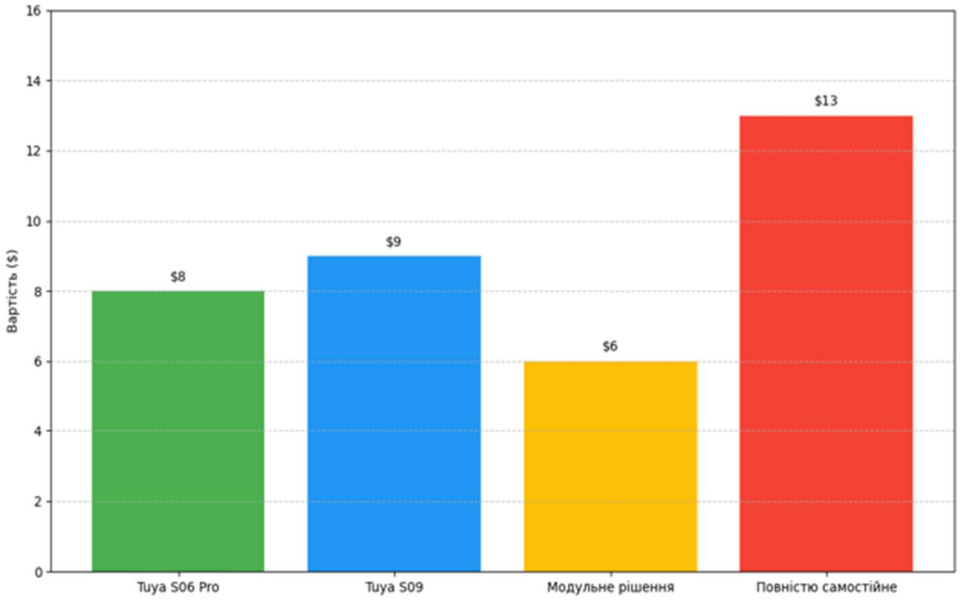


Рис. 3.5 – Порівняння вартості IoT-рішень для моніторингу

Висновки

У процесі реалізації системи моніторингу мікроклімату було створено архітектуру на базі пристроїв Tuya S06 Pro та S09, що забезпечують збирання та передавання кліматичних даних до хмарної платформи Tuya Smart. Отримана інформація виводиться у мобільному застосунку, де користувач може переглядати актуальні та історичні значення, налаштовувати автоматичні сценарії та взаємодіяти з іншими розумними пристроями. Такий підхід забезпечив ефективний контроль мікроклімату в режимі реального часу.

Завдяки хмарній обробці та інтуїтивному інтерфейсу забезпечено стабільний доступ до даних із будь-якого пристрою, що дозволяє аналізувати зміни параметрів середовища у зручній формі. У подальшому планується розширення функціоналу шляхом інтеграції нових сенсорів, впровадження локальної обробки для зниження залежності від хмари та посилення енергоефективності й безпеки, що наблизить систему до вимог сучасних IoT-інфраструктур.

Публікації та апробація роботи

1. Прищепа Г.В., Торошанко Я.І. Вбудоване IoT-рішення для екологічного моніторингу температури та вологості. «Сучасний стан та перспективи розвитку IoT» : VI Науково-техн. конф., м.Київ, 15 квітня 2025 р. (подано до публікації).
2. Прищепа Г.В., Торошанко Я.І. Система моніторингу температури та вологості для IoT-рішень на базі вбудованих пристроїв. «Застосування програмного забезпечення в ІКТ» : Всеукр. науково-техн. конф., м.Київ, 24 квітня 2025 р. С.578-581.