

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: *Вимірювально-керуюча система контролю параметрів розумного будинку*

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи РВМ-61
спеціальності 175 – "Інформаційно-вимірювальні технології"

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Удич Ю.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Паламар М.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Апостол Ю.О.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Паламар М.І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Дедів І.Ю.

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра приладів і контрольно-вимірювальних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Паламар М.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 175 – "Інформаційно-вимірювальні технології"
(шифр і назва спеціальності)

студенту Удичу Юрію Аркадійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Вимірювально-керуюча система контролю параметрів розумного будинку

Керівник роботи Паламар Михайло Іванович, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «__» _____ 2025 року № _____

2. Термін подання студентом завершеної роботи 16.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові літературні джерела, мова програмування C++

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

Аналітична частина

Основна частина

Науково-дослідна частина

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Тема кваліфікаційної роботи, актуальність, мета і завдання кваліфікаційної роботи

Об'єкт, предмет, наукова новизна і практична цінність дослідження

Основні розрахункові формули

Загальна архітектура системи

Структурна схема системи

Схема електрична принципова

Схема електричних з'єднань

Блок-схема алгоритму роботи системи

Результати роботи системи

Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основна частина	зав. каф. ПВ Паламар М.І.		
Охорона праці	доц. каф. ПВ Зелінський І.М.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	ст. викл. каф. ОХ Стручок В.С.		
Нормоконтроль	ст. викл. каф. ПВ Апостол Ю.О.		

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Удич Ю.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Паламар М.І.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра: 76 сторінок, 6 таблиць, 27 рисунків, 2 додатки, 24 джерел посилання.

РОЗУМНИЙ БУДИНОК, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, ВИМІРЮВАЛЬНО-КЕРУЮЧА СИСТЕМА, МОНІТОРИНГ ПАРАМЕТРІВ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

Об'єкт дослідження – процес вимірювання та керування параметрами інженерних систем розумного будинку.

Мета роботи – розроблення та дослідження методів та засобів побудови IoT-орієнтованої вимірювально-керуючої системи контролю параметрів розумного будинку, що забезпечує автоматизований збір, аналіз та обробку даних із сенсорних модулів, реалізацію адаптивних алгоритмів керування інженерними системами.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці методів та засобів побудови IoT-орієнтованої вимірювально-керуючої системи контролю параметрів розумного будинку. У роботі розглядаються підходи до проектування комплексної системи, здатної здійснювати автоматизований збір, аналіз та передавання даних про ключові мікрокліматичні параметри житлового приміщення. Основна увага приділена дослідженню архітектури IoT-рішень, вибору апаратних компонентів, методам обробки вимірювальної інформації та забезпеченню надійності роботи системи в умовах реального експлуатаційного середовища. Запропонована система спрямована на підвищення рівня енергоефективності, безпеки та комфорту проживання завдяки впровадженню технологій моніторингу та автоматичного керування. У межах роботи проведено аналіз відомих досліджень, сформовано технічні вимоги, розроблено програмно-апаратну структуру та виконано тестування створеної системи у практичних умовах.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	7
1.1 Огляд предметної області.....	7
1.2. Аналіз технічного завдання	9
1.3 Огляд відомих рішень та наукових досліджень у сфері контролю параметрів розумного будинку	11
1.4 Висновки до частини 1	15
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	16
2.1 Загальна архітектура системи.....	16
2.2 Опис конструкції і принципу роботи спроектованої вимірювально-керуючої системи	18
2.3 Обґрунтування вибору елементної бази	19
2.4 Розрахунки основних вузлів та механізмів.....	33
2.5 Розробка методики досліджень, аналіз похибок експериментів.....	35
2.6 Висновки до частини 2	37
3 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	39
3.1 Основи наукових досліджень та математичне моделювання	39
3.2 Електроніка, мікропроцесорна техніка та САПР	45
3.3 Висновки до частини 3	64
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	66
4.1 Охорона праці	66
4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях	69
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	73
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	74
ДОДАТКИ.....	77

ВСТУП

Актуальність роботи. Зростання вимог до енергоефективності, комфорту та безпеки експлуатації житлових приміщень обумовлює необхідність безперервного та достовірного контролю параметрів мікроклімату, рівня освітленості, а також своєчасного виявлення аварійних ситуацій, пов'язаних із витоків газу чи задимленням. Традиційні автономні системи керування не забезпечують достатньої гнучкості, масштабованості та можливості інтеграції з сучасними інформаційними сервісами, що ускладнює їх адаптацію до змінних умов експлуатації. У зв'язку з цим актуальною є задача розробки методів та засобів побудови вимірювально-керуючих систем на основі IoT-технологій, які поєднують функції багатопараметричного вимірювання, автоматизованого керування та віддаленого моніторингу з використанням хмарних сервісів.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення та дослідження методів і засобів побудови IoT-орієнтованої вимірювально-керуючої системи контролю параметрів розумного будинку, що забезпечує автоматизований збір, аналіз та обробку даних із сенсорних модулів, реалізацію адаптивних алгоритмів керування інженерними системами.

Завдання кваліфікаційної роботи:

- проаналізувати сферу застосування та існуючі рішення у галузі розумного будинку;
- обґрунтувати вибір апаратних і програмних засобів системи;
- розробити структурну та принципову електричну схеми вимірювально-керуючої системи;
- створити математичні моделі процесів вимірювання, керування та передачі даних;
- сформулювати алгоритмічне та програмне забезпечення мікроконтролерного модуля;
- виконати тестування прототипу системи.

Об'єкт дослідження: процеси вимірювання, оброблення та керування параметрами мікроклімату і безпеки в системах розумного будинку.

Предмет дослідження: методи, алгоритми та технічні засоби побудови вимірювально-керуючої IoT-системи контролю параметрів розумного будинку.

Методи дослідження: системний аналіз, методи теорії вимірювань, математичне моделювання, статистичний аналіз, методи цифрової обробки сигналів, експериментальні методи та комп'ютерне моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Удосконалено комплексну модель IoT-вимірювально-керуючої системи розумного будинку, яка враховує похибки сенсорних вимірювань, часові затримки бездротової передачі даних та динаміку керуючих впливів.

2. Удосконалено метод автоматизованого керування параметрами мікроклімату та безпеки шляхом інтеграції багатопараметричних сенсорних даних із хмарною IoT-платформою.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання розробленої системи та її програмно-апаратних рішень для створення енергоефективних, безпечних і масштабованих систем розумного будинку з функціями віддаленого моніторингу та керування.

Апробація результатів роботи. Результати дослідження апробовано на XIV міжнародній науково-практичній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» [1].

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Огляд предметної області

Упродовж останніх років концепція «розумного будинку» набула широкого поширення завдяки зростанню доступності мікроконтролерних платформ, бездротових засобів зв'язку та хмарних сервісів. Такі системи орієнтовані на підвищення комфорту проживання, енергоефективності та рівня безпеки житлових і громадських приміщень шляхом автоматизації процесів моніторингу та керування інженерними мережами. Сучасний житловий або комерційний будинок дедалі частіше розглядається як комплекс взаємопов'язаних технічних підсистем, здатних автономно здійснювати контроль параметрів навколишнього середовища, оптимізувати енергоспоживання та забезпечувати безпеку приміщень (рис. 1.1).

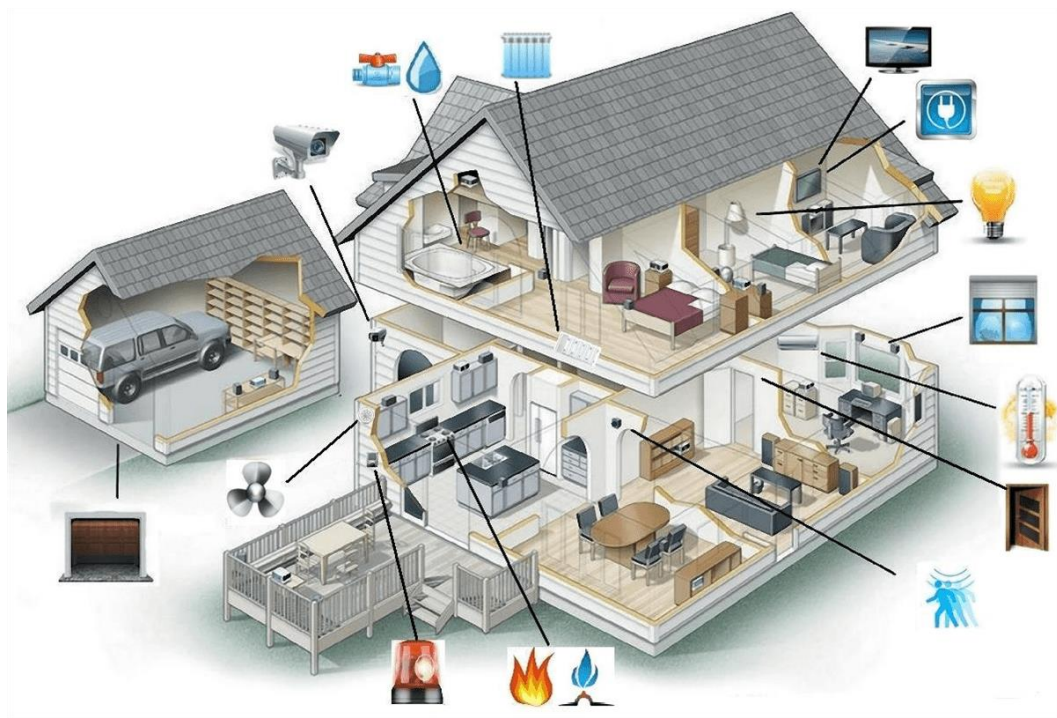


Рисунок 1.1 – Вимірювально-керуючі системи у розумному будинку

Сфера застосування вимірювально-керуючих систем у розумних будинках стрімко розширюється завдяки розвитку мікроконтролерних платформ, сенсорних технологій та Інтернету речей. Тому аналіз сфери застосування таких систем є

необхідною складовою при обґрунтуванні вибору архітектури, технічних засобів та методів керування для проєктованої вимірювально-керуючої системи.

Одним із найбільших напрямів застосування вимірювально-керуючих систем є контроль параметрів мікроклімату: температури, вологості, атмосферного тиску та рівня CO₂. У сучасних будівлях все частіше використовуються автоматизовані системи, робота яких залежить від коректного отримання даних про стан середовища. Завдяки впровадженню датчиків високої точності та алгоритмів адаптивного керування система може оперативно реагувати на зміни умов, забезпечуючи комфортні параметри для мешканців та мінімізуючи енерговитрати. Особливо важливими такі системи є у будівлях з підвищеними вимогами до мікроклімату.

Вимірювально-керуючі системи широко застосовуються також у системах безпеки. Контроль руху в приміщеннях, виявлення присутності людей, моніторинг відкриття дверей і вікон, визначення рівня задимлення або концентрації небезпечних газів – усі ці параметри потребують постійного вимірювання та швидкого реагування. Такі системи забезпечують автоматичне увімкнення сигналізації, передавання повідомлень користувачу, запуск систем вентиляції або блокування аварійно небезпечних пристроїв. Інтеграція датчиків диму, газу, пожежних сповіщувачів та камер відеоспостереження створює комплексну охоронну інфраструктуру, яка значно підвищує безпеку будівель із мінімальним втручанням людини.

У сучасних будинках важливу роль відіграє автоматизація освітлення. Вимірювання рівня освітленості та наявності природного світла дає змогу керувати інтенсивністю освітлювальних приладів, оптимізуючи умови для роботи, відпочинку або нічної активності. Розумні системи освітлення можуть адаптуватися до часу доби, сценаріїв користувача, присутності людей та рівня споживання енергії.

Важливим є використання таких систем у контексті підвищення енергоефективності та створення екологічно сталих будівель. Сучасні концепції «зелених» будинків передбачають інтеграцію систем контролю температури,

освітлення, водоспоживання та генерації енергії від сонячних панелей у єдину інформаційно-вимірювальну платформу. Завдяки цьому можливо реалізувати динамічне прогнозування потреб будівлі, визначати надлишкове або неефективне споживання ресурсів, оптимізувати роботу інженерних систем і мінімізувати негативний вплив на довкілля.

Суттєвий вплив на розвиток систем розумного будинку мають хмарні IoT-платформи, які виконують функції збору, зберігання та візуалізації даних, а також забезпечують механізми віддаленого керування. Використання таких платформ дозволяє реалізувати масштабовану архітектуру системи, зменшити вимоги до локальних обчислювальних ресурсів і підвищити надійність обробки інформації. Крім того, хмарні сервіси спрощують інтеграцію системи з іншими цифровими сервісами та забезпечують зручний доступ користувачів до даних у реальному часі.

Загалом, сфера застосування вимірювально-керуючих систем контролю параметрів розумного будинку охоплює практично всі аспекти житлової та комерційної нерухомості: від забезпечення комфортного мікроклімату до контролю безпеки, управління енергоресурсами та створення адаптивної інфраструктури для взаємодії користувача з будинком.

Аналіз предметної області свідчить про актуальність розроблення вимірювально-керуючої системи контролю параметрів розумного будинку на основі IoT-технологій. Поєднання сучасних сенсорів, мікроконтролерних платформ із бездротовим зв'язком та хмарних сервісів створює передумови для побудови ефективних, гнучких і надійних систем автоматизації.

1.2. Аналіз технічного завдання

Під час виконання кваліфікаційної роботи першочерговим етапом є аналіз технічного завдання, який дозволяє чітко сформулювати вимоги до функціональних можливостей, апаратної реалізації та програмного забезпечення вимірювально-керуючої системи контролю параметрів розумного будинку. Технічне завдання визначає мету розробки системи, а саме створення

інтегрованого апаратно-програмного комплексу, здатного в реальному часі здійснювати вимірювання параметрів мікроклімату та безпеки, виконувати автоматичне керування виконавчими пристроями та забезпечувати віддалений моніторинг і керування через хмарну IoT-платформу.

Відповідно до технічного завдання, система повинна здійснювати контроль температури, відносної вологості повітря, рівня освітленості та концентрації небезпечних газів. На основі отриманих вимірювальних даних необхідно реалізувати алгоритми автоматичного керування освітленням, системою обігріву та вентиляції, а також аварійний режим роботи у разі перевищення допустимих порогових значень концентрації газу. При цьому передбачено використання світлової та звукової сигналізації для оперативного інформування користувача про небезпечні ситуації.

Окрему увагу в технічному завданні приділено вимогам до апаратної частини системи. Керуючим ядром необхідно обрати мікроконтролер, який забезпечує достатню обчислювальну потужність, наявність вбудованого Wi-Fi-модуля та підтримку сучасних IoT-технологій. До складу системи мають входити цифрові та аналогові датчики, релейні модулі для комутації навантажень, світлодіодний модуль для освітлення та інформаційний дисплей для локального відображення параметрів.

Програмна частина, згідно з технічним завданням, повинна забезпечувати стабільну роботу в хмарному середовищі, підтримувати хмарну синхронізацію даних, віддалене керування виконавчими пристроями та можливість масштабування системи. Важливою вимогою є модульність програмного коду, що спрощує подальшу модернізацію системи та адаптацію під інші конфігурації розумного будинку.

Проведений наліз технічного завдання дозволив визначити основні вимоги до вимірювально-керуючої системи, обґрунтувати вибір апаратних і програмних засобів, а також сформулювати основу для подальшого проектування архітектури системи, розроблення алгоритмів керування та програмного забезпечення.

1.3 Огляд відомих рішень та наукових досліджень у сфері контролю параметрів розумного будинку

Упродовж останніх двох десятиліть концепція розумного будинку стала однією з найдинамічніших областей розвитку сучасних інформаційно-вимірювальних технологій. У центрах світових досліджень формується уявлення про житловий простір як про автономну кіберфізичну систему, яка здатна автоматично контролювати й оптимізувати параметри мікроклімату, енергоспоживання, безпеки та комфорту мешканців. Водночас розвиток технічних засобів – від малопотужних мікроконтролерів до високоточних сенсорних модулів та хмарних платформ збору даних – спонукає до поглибленого аналізу вимірювально-керуючих систем, здатних забезпечувати надійну та ефективну роботу таких комплексів. Саме тому питання розробки науково обґрунтованих методів оцінювання параметрів та засобів їх контролю залишається предметом активних досліджень [1].

У сучасній літературі приділяється увага аналізу поведінки сенсорних мереж, що лежать в основі розумного будинку. Значний внесок у цю сферу зробили праці, присвячені архітектурі IoT-систем, принципам взаємодії сенсорних вузлів, енергоефективності комунікаційних протоколів та методам оптимізації збору інформації. Більшість дослідників підкреслює, що ключовими викликами залишаються енергоспоживання давачів, забезпечення стабільної передачі даних у реальному часі та підвищення точності вимірювання за умов наявних завад. У роботах з аналізу сенсорних мереж пропонується використовувати адаптивні алгоритми фільтрації, багаторівневі структури передавання даних, динамічне керування топологією та механізми прогнозування на основі штучного інтелекту [2].

Окремий напрям досліджень стосується вимірювання параметрів мікроклімату. Автори численних наукових праць розглядають температурні та газові давачі, сенсори вологості, тиску, освітленості, а також комбіновані багатофункціональні модулі. Особлива увага приділяється дослідженню точності,

лінійності характеристик, температурної стабільності та методам калібрування таких датчиків у побутових умовах. Розвиток технологій MEMS-сенсорів сприяв появі малогабаритних модулів з низьким енергоспоживанням, що забезпечує можливість їх масового застосування у вимірювальних вузлах розумних будинків [3]. Дослідники акцентують на важливості комплексної обробки сигналів від різнорідних датчиків, що дозволяє покращувати точність оцінювання параметрів за рахунок зіставлення й корекції вимірювань.

Важливою складовою наукових досліджень є питання енергоефективності та раціонального використання ресурсів. Багато робіт присвячено управлінню системами на основі даних з сенсорної мережі. У цьому напрямі активно розвиваються моделі прогнозування теплових процесів та методи адаптивного керування, які забезпечують мінімізацію витрат енергії.

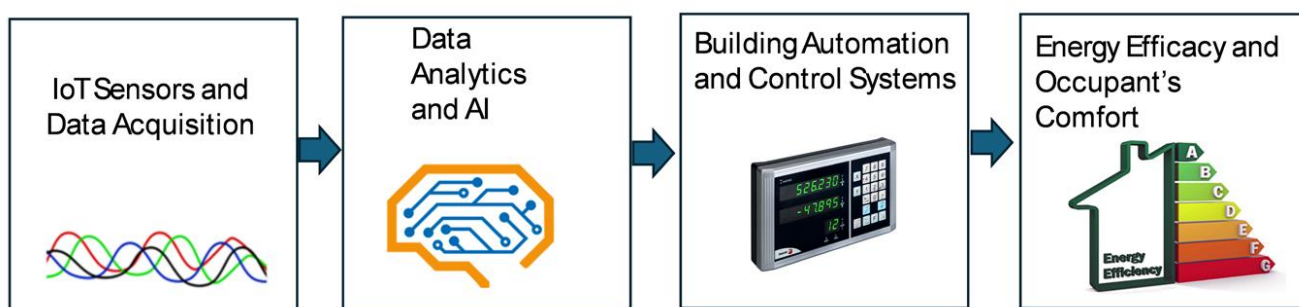


Рисунок 1.2 – Концептуальна модель, що ілюструє інтеграцію IoT для оптимізації енерговитрат у розумних будівлях

Застосування моделей машинного навчання дозволяє досягати більш точного прогнозування температурних коливань, обчислювати оптимальні режими роботи устаткування та знижувати навантаження на електромережу [4].

Окрему увагу дослідники приділяють питанням безпеки та надійності IoT-систем. Відомо, що сенсорні мережі є вразливими до кібератак на рівні протоколів, пристроїв та хмарних служб. У наукових роботах розглядаються моделі загроз, методи криптографічного захисту, архітектури розподіленої автентифікації, а також підходи до підвищення надійності систем у разі виходу з ладу окремих елементів сенсорної мережі. Водночас активно обговорюються проблеми

конфіденційності даних, адже система розумного будинку генерує великий обсяг персональної інформації, що потребує захисту від несанкціонованого доступу.

У сфері комунікаційних технологій значний інтерес викликає використання протоколів MQTT, CoAP, LoRaWAN, ZigBee та Wi-Fi (рис. 1.3).

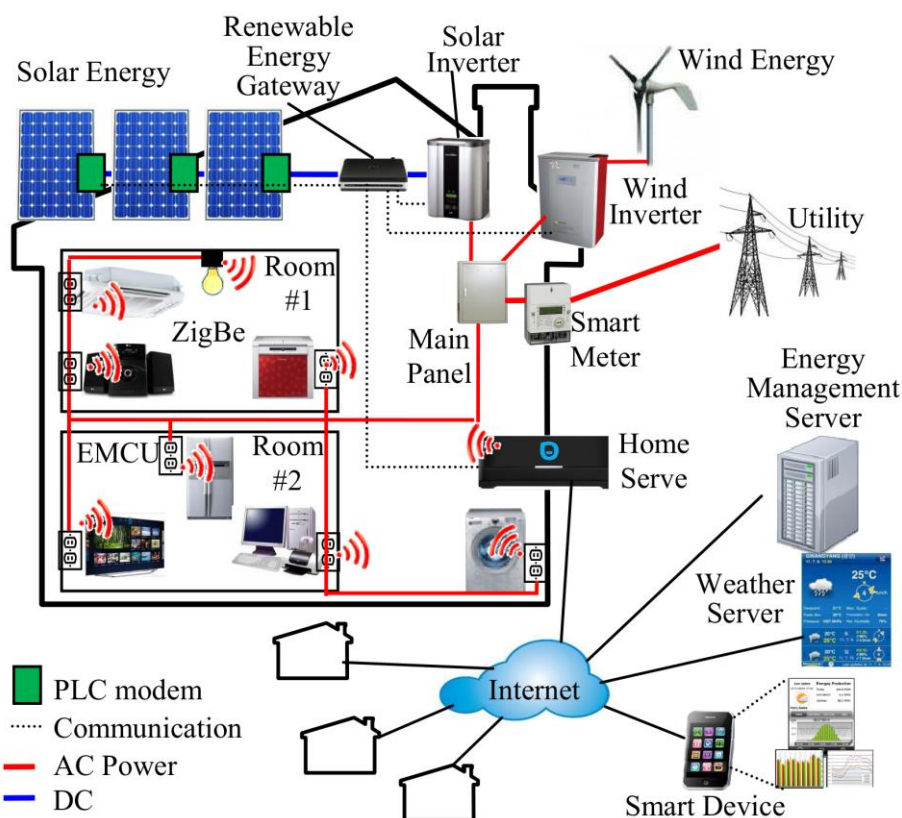


Рисунок 1.3 – Використання різних протоколів обміну даними у розумних будинках

Дослідження вказують, що протоколи з низьким енергоспоживанням, зокрема LoRaWAN або ZigBee, дозволяють суттєво зменшити витрати електроенергії вимірювальних вузлів, хоча мають обмежену пропускну здатність. Натомість MQTT забезпечує надійність і гнучкість у передачі даних, але потребує стабільного мережевого з'єднання. Вчені порівнюють ефективність цих протоколів у контексті різних сценаріїв застосування, досліджуючи затримку доставки повідомлень, стійкість до перешкод, пропускну здатність та масштабованість. Особливої уваги заслуговують дослідження гібридних архітектур комунікацій, які поєднують кілька протоколів, забезпечуючи баланс між швидкістю передачі та енергоефективністю [5, 6].

У сучасних наукових публікаціях значна частина робіт присвячена розробці хмарних систем збору, аналізу та візуалізації даних. Популярними є сервіси Firebase, AWS IoT, Azure IoT Hub, Thinger.io, які дозволяють створювати масштабовані системи телеметрії для розумного будинку. Окремі роботи описують застосування BigData-аналітики, алгоритмів виявлення аномалій, методів статистичної обробки та хмарних засобів для аналізу великих потоків даних, що надходять від численних сенсорів. Вказується, що інтеграція вимірювальних систем з хмарними платформами дає змогу забезпечити довгострокове зберігання інформації та створити можливості для прогнозування стану системи в майбутньому [7-9].

Вагоме значення в наукових дослідженнях відводиться проблемам інтеграції компонентів та стандартизації інтерфейсів. У літературі описано підходи до створення універсальних шин даних, таких як I²C, SPI, UART, RS-485, Modbus та CAN, які активно використовуються в будівельній автоматизації. Авторами підкреслюється важливість сумісності між різними типами вимірювального обладнання, мікроконтролерів і систем верхнього рівня. Досліджуються питання побудови модульних архітектур, здатних розширюватися відповідно до потреб користувачів або зміни функціональних вимог [10-12].

У роботах з прикладної інженерії приділяється увага побудові прототипів вимірювально-керуючих систем та їх експериментальній перевірці. Дослідники описують конструктивні рішення на основі ESP32, STM32, Raspberry Pi та інших мікроконтролерів, аналізують ефективність роботи сенсорних вузлів у реальних умовах, порівнюють різні методи передачі даних та пропонують шляхи зниження похибок вимірювання [13-16]. Важливим аспектом є розгляд методів калібрування та компенсації похибок [17], що виникають через нестабільність температури, електричні шуми або зміни навколишнього середовища.

Проведений аналіз показує, що наукові дослідження у сфері контролю параметрів розумного будинку охоплюють багато питань – від створення високочутливих сенсорів до побудови складних інформаційно-вимірювальних систем із застосуванням хмарних технологій та методів штучного інтелекту.

Незважаючи на значний прогрес, залишається потреба в розробці інтегрованих вимірювально-керуючих систем, які поєднують високу точність, надійність, низьке енергоспоживання та масштабованість.

1.4 Висновки до частини 1

У першому розділі кваліфікаційної роботи виконано комплексний аналіз теоретичних і прикладних аспектів побудови систем контролю параметрів розумного будинку. Проведений аналіз сфери застосування таких систем показав їхню високу актуальність у житлових та громадських приміщеннях, що зумовлено зростанням вимог до комфорту, енергоефективності та безпеки. Встановлено, що автоматизований контроль мікроклімату й аварійних параметрів дозволяє зменшити енергоспоживання та підвищити рівень захисту користувачів.

Розглянуто сучасні підходи до реалізації вимірювально-керуючих систем на основі IoT-технологій, проаналізовано типову архітектуру таких систем, принципи взаємодії сенсорних, керуючих і виконавчих модулів, а також роль бездротових мереж і хмарних платформ. Показано, що використання мікроконтролерів із Wi-Fi модулями та хмарних IoT-сервісів є ефективним рішенням для організації віддаленого моніторингу й керування.

Аналіз технічного завдання дозволив чітко сформулювати функціональні та експлуатаційні вимоги до проєктованої системи, визначити перелік контрольованих параметрів і необхідні режими роботи. Огляд відомих рішень і наукових досліджень засвідчив наявність низки недоліків у наявних системах, зокрема обмежену гнучкість та складність масштабування, що обґрунтовує доцільність розроблення запропонованої системи.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Загальна архітектура системи

Загальна архітектура вимірювально-керуючої системи контролю параметрів розумного будинку побудована на багаторівневій структурі, що забезпечує чітке розмежування функцій, масштабованість та модульність (рис. 2.1). Перший рівень – рівень пристроїв – охоплює всі фізичні компоненти системи: сенсорні модулі, виконавчі механізми та інженерні системи будинку. До нього належать давачі температури та вологості, освітленості, руху, газу, а також освітлювальні та силові модулі, реле для керування навантаженнями та інші актуатори. На цьому рівні здійснюється безпосередня взаємодія з фізичними параметрами середовища, а також перетворення аналогових та цифрових даних у форму, придатну для подальшої обробки.

Другим є рівень керування, у центрі якого знаходиться модуль на базі мікроконтролера ESP32. Він виконує обробку сигналів від сенсорів, реалізує алгоритми прийняття рішень, формує команди для виконавчих елементів та забезпечує локальну логіку роботи системи. Завдяки інтегрованому модулю Wi-Fi ESP32 також забезпечує мережеві функції, що дає йому можливість одночасно бути елементом і рівня керування, і мережевого рівня. Обчислювальні можливості мікроконтролера дозволяють виконувати фільтрацію даних, порогову логіку, PID-регулювання та інші алгоритми, властиві системам автоматизації.

Мережевий рівень відповідає за організацію передавання даних між контролером та зовнішніми сервісами. До нього входить Wi-Fi модуль ESP32 та маршрутизатор локальної мережі, через який забезпечується підключення до інтернету. На цьому рівні здійснюється комунікація за IP-протоколами, підтримка MQTT або HTTP-трафіку, маршрутизація пакетів та гарантування безпеки передавання даних.

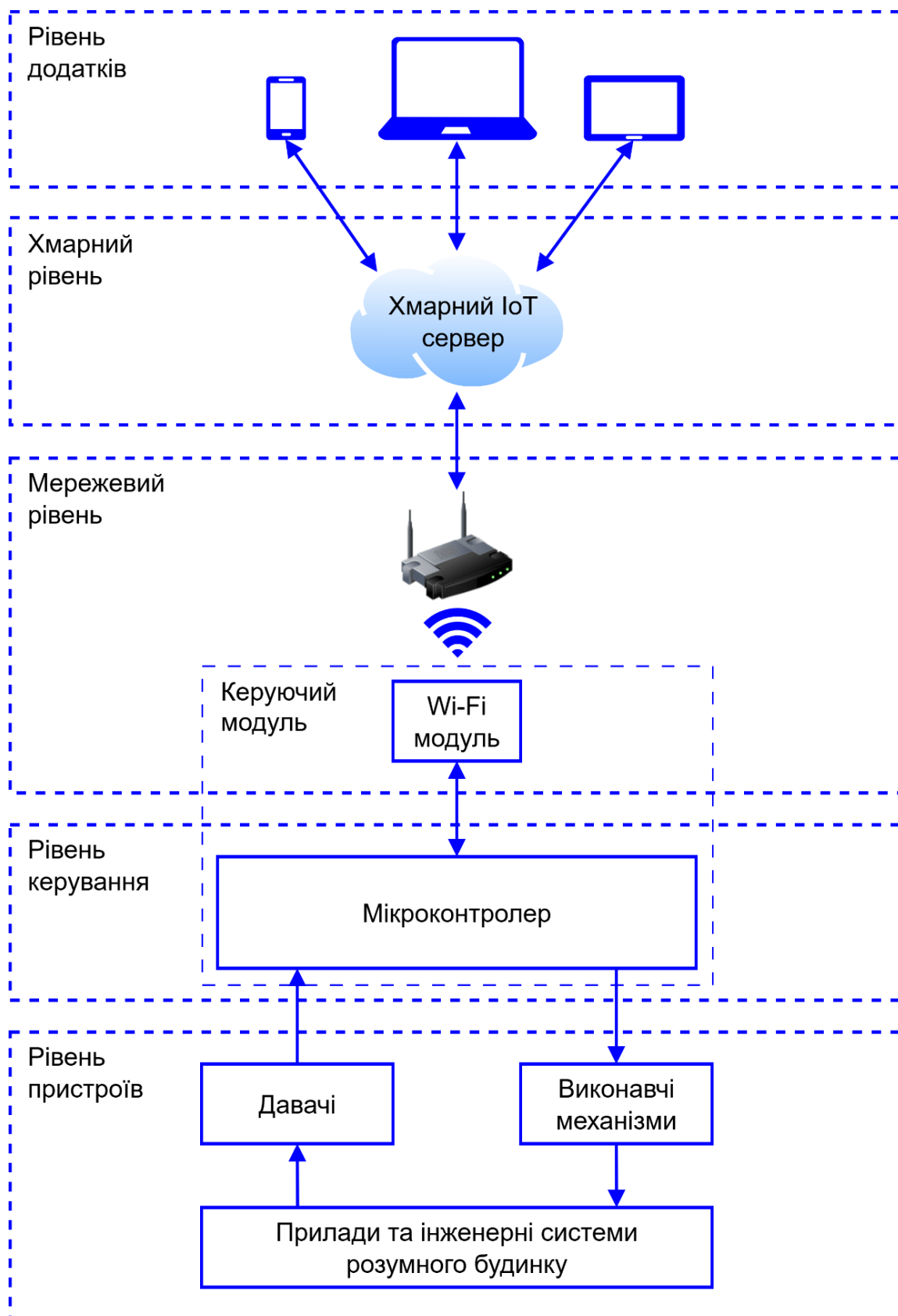


Рисунок 2.1 – Загальна архітектура системи контролю параметрів розумного будинку

Хмарний рівень представлений IoT-сервером для зберігання даних, аналітики та віддаленого керування. На цьому рівні функціонують сервіси обробки телеметрії, побудови графіків, надсилання сповіщень та збереження історичних даних.

Останній рівень – рівень додатків – включає пристрої користувача: смартфони, ноутбуки та настільні комп'ютери з встановленими клієнтськими застосунками або браузерними інтерфейсами. Саме на цьому рівні користувач отримує візуалізовані дані, здійснює віддалене керування параметрами, переглядає аналітику та налаштовує поведінкові сценарії системи. Таким чином, багаторівнева архітектура забезпечує цілісне функціонування системи, високу гнучкість, надійність.

2.2 Опис конструкції і принципу роботи спроектованої вимірювально-керуючої системи

Спроектowana вимірювально-керуюча система контролю параметрів розумного будинку являє собою комплекс засобів, інтегрованих у єдину IoT-орієнтовану структуру. Її апаратна частина базується на мікроконтролерному модулі ESP32 DevKit, який забезпечує високопродуктивну обробку даних сенсорів, генерування керуючих сигналів та бездротовий обмін даними через Wi-Fi. Усі компоненти монтуються на макетній платі, що забезпечує надійність з'єднань і можливість подальшої модернізації.

До складу вимірювального модуля входить декілька сенсорів: давач температури та вологості, цифровий давач освітленості, а також давач газу, підключений до аналогового входу ESP32. Ці сенсори забезпечують безперервне отримання інформації про стан приміщення.

Виконавча частина системи реалізована за допомогою трьох релейних модулів, які використовуються для керування нагрівальним приладом, вентилятором і електроклапаном подачі газу. Крім цього, система оснащена

світлодіодним кільцем на 16 RGB-світлодіодів, яке використовується як адаптивне освітлення з керованою яскравістю залежно від рівня природного світла.

Для локального відображення параметрів передбачено дисплей, на якому відображається температура, вологість, рівень освітлення та концентрація газу. У разі перевищення небезпечних порогів система активує світлову та звукову сигналізацію, реалізовану за допомогою світлодіода й п'єзодинаміка. Також в небезпечній ситуації автоматично перекривається подача газу через керування відповідним реле.

Принцип роботи системи ґрунтується на циклічному зчитуванні показників сенсорів, їх аналізі та порівнянні з встановленими пороговими значеннями. У разі відхилення параметрів від заданих норм мікроконтролер формує керуючі сигнали для відповідних виконавчих механізмів. Крім локальної індикації, всі дані передаються до хмарного сервера, де користувач може дистанційно контролювати стан приміщення, переглядати історію вимірювань та керувати реле у ручному режимі.

Спроектowana система забезпечує комплексний моніторинг важливих параметрів довкілля, автоматичне керування інженерними системами будинку та підвищений рівень безпеки, поєднуючи локальні функції і можливості віддаленого доступу.

2.3 Обґрунтування вибору елементної бази

2.3.1 Модуль ESP32 DevKit

Модуль ESP32 DevKit – це плата, побудована на базі мікросхеми ESP32, яка інтегрує потужний двоядерний процесор, радіомодулі Wi-Fi та Bluetooth, а також широкий набір периферійних інтерфейсів (рис. 2.2).

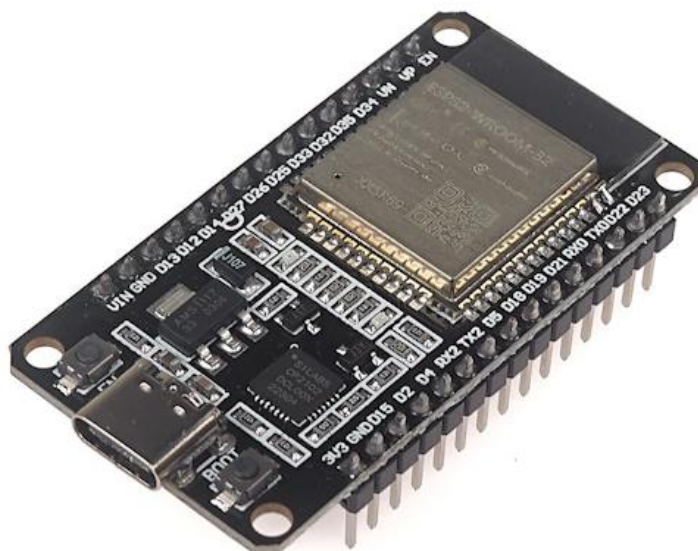


Рисунок 2.2 – Модуль ESP32 DevKit

На платі передбачено стабілізатор живлення, USB-UART конвертер (для програмування через Micro USB), розведення виводів GPIO з нормативним кроком, що дозволяє легко підключати давачі, виконавчі механізми, дисплеї та інші компоненти. Така конструкція знижує поріг входу: не потрібно створювати власну схему живлення або USB-інтерфейс – плата вже готова для використання. Технічні характеристики модуля ESP32 DevKit зведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики модуля ESP32 DevKit

Параметр	Значення
Контролер / SoC	ESP32 (двоядерний, 32-bit, до 240 MHz)
Пам'ять	Flash ~ 4 МБ, SRAM ~ 520 КБ
Безпроводний зв'язок	Wi-Fi (802.11 b/g/n), Bluetooth 4.2 (Classic + BLE)
Інтерфейси вводу/виводу	~ 34 GPIO, підтримка ADC, DAC, PWM, I ² C, SPI, UART, GPIO
Живлення	3,3 В (від 5 В через USB / VIN), підтримка живлення від USB Micro-B
Підтримка програмування	Arduino IDE, ESP-IDF, MicroPython, PlatformIO
Режими енергозбереження	Light-sleep, Deep-sleep, Modem-sleep

Модуль виконує програму, яка зчитує сигнали з підключених сенсорів або приймає команди, обробляє їх, та у разі потреби – передає дані або виконує керуючі дії. Завдяки вбудованому Wi-Fi ESP32 DevKit може підключатися до локальної мережі або Інтернету, а також здійснювати обмін даними з хмарними платформами або локальним сервером. Одночасно мікроконтролер підтримує ряд інтерфейсів, що надає гнучкість підключення багатьох різних давачів (температура, вологість, освітленість, гази, дим тощо) і виконавчих механізмів (реле, серводвигуни, освітлення тощо).

ESP32 DevKit було обрано для реалізації проєкту розумного будинку з кількох причин. По-перше – потужність та багатофункціональність: двоядерний процесор та великий об'єм пам'яті дають змогу одночасно обробляти дані з кількох сенсорів, виконувати алгоритми фільтрації, обробки, реагування, а також реалізовувати мережевий стек без значних затримок. По-друге – широкий набір інтерфейсів і GPIO – критичні для підключення різноманітних давачів (температура, вологість, гази, освітленість) і керуючих пристроїв (реле, актуатори, дисплеї) у межах одного вузла. Це дає змогу створити компактний, але потужний сенсорний вузол або центральний контролер. По-третє – вбудований Wi-Fi (та за потреби Bluetooth) спрощує зв'язок із хмарною платформою або локальним сервером, що необхідно для IoT-орієнтованої системи. По-четверте – підтримка режимів енергозбереження робить ESP32 придатним не лише для стаціонарного живлення, а й для автономних вузлів, які можуть працювати від батарей чи сонячних панелей. І останнє – широкий вибір середовищ розробки (Arduino IDE, ESP-IDF, MicroPython) спрощує програмування, налаштування та подальшу підтримку системи.

Отже, ESP32 DevKit – це оптимальний вибір для вимірювально-керуючої IoT-системи розумного будинку. Він поєднує достатню обчислювальну потужність, багатофункційність, мережеві можливості, гнучкість підключення давачів і актуаторів, а також зручність розробки й впровадження. Такий модуль забезпечує основу для створення надійної, масштабованої та функціональної системи контролю та автоматизації.

2.3.2 Давач освітленості GY-302

Давач GY-302 базується на мікросхемі BH1750FVI, розробленій компанією ROHM (рис. 2.3). Ця мікросхема – цифровий давач освітленості, який забезпечує прямий цифровий вихід після перетворення світлового потоку у значення освітленості у люксах. Усередині BH1750FVI знаходяться фотодіод, підсилювач сигналу, аналого-цифровий перетворювач (АЦП) та цифрова логіка, яка аналізує сигнал і формує готове цифрове значення. Завдяки цьому, зовнішні аналогові компоненти не потрібні – давач є «самодостатнім». Інтерфейс взаємодії з контролером здійснюється через шину I²C, що значно спрощує інтеграцію в системи на базі мікроконтролерів.



Рисунок 2.3 – Давач освітленості GY-302

Принцип роботи BH1750FVI ґрунтується на вимірюванні інтенсивності видимого світла, яке потрапляє на фотодіод. Світло генерує фотострум, який підсилюється, після чого АЦП перетворює сигнал у цифровий код. Вбудована логіка масштабує це значення з урахуванням спектральної чутливості, наближеної до спектральної чутливості людського ока – тому результати, виражені у люксах, корелюють з людським сприйняттям освітленості. BH1750FVI також має функцію відкидання «шумів освітлення» на частотах 50/60 Hz (наприклад, мережеве мерехтіння ламп), що підвищує стабільність та достовірність вимірювань. Ключові технічні характеристики давача GY-302 наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики давача GY-302

Параметр	Значення
Вимірювальний діапазон освітленості	1 – 65 535 люкс
Роздільність / точність	1 люкс
Напруга живлення	3 – 5 В
Інтерфейс зв'язку	I ² C bus (f/s-mode)
Робочий температурний діапазон	–40 ... +85 °C
Чутливість до спектра	Наближена до спектральної чутливості людського ока
Функції компенсації шумів	Відкидання мерехтіння 50/60 Hz

Вибір саме цього давача для реалізації вимірювально-керуючої системи розумного будинку є добре обґрунтованим. Широкий діапазон вимірювання від 1 до 65535 люкс охоплює практично всі можливі умови освітлення в житловому приміщенні: від темряви до яскравого денного світла. Це дає можливість системі коректно працювати як у нічний час, так і при прямому сонячному освітленні через вікна. Висока роздільність (1 люкс) дозволяє достовірно відслідковувати навіть невеликі зміни освітленості, що критично для задач керування освітленням, створення комфортного мікроклімату або енергозбереження. Цифровий інтерфейс I²C і вбудована обробка сигналу значно спрощують апаратну реалізацію: не потрібна схема підсилення або фільтрації, достатньо підключення до шини I²C та живлення. Це зменшує складність плати, підвищує надійність і знижує вартість. Крім того, спектральна чутливість, наближена до людського ока, робить результати більш «людиноподібними» – це важливо, якщо керування освітленням буде враховувати комфорт мешканців, а не лише номінальні значення люксів.

Також BH1750FVI має низьке енергоспоживання завдяки можливості переходу в режим «power-down», що є важливим при використанні батарей або при проєктуванні автономних вузлів розумного будинку.

Підсумовуючи, давач GY-302 BH1750FVI представляє собою ефективне, надійне, просте у інтеграції і відносно недороге рішення для вимірювання

освітленості. Його технічні характеристики та функціональні можливості відповідають вимогам до сенсорної підсистеми в IoT-орієнтованій вимірювально-керуючій системі розумного будинку, і його використання забезпечує коректний, стабільний та зручний контроль освітленості, що є однією з ключових функцій подібних систем.

2.3.3 Давач вологості та температури DHT22

Давач DHT22 є цифровим сенсором, який об'єднує в собі елемент для вимірювання відносної вологості і елемент для вимірювання температури – відповідно, є комбінованим давачем (рис. 2.4). В якості сенсора вологості використовується ємнісний елемент, а для температури – термістор або аналогічний термічно чутливий елемент. Усередині модуля присутній невеликий мікроконтролер, який після зчитування показників з сенсорів виконує їх калібрування (застосовує корекційні коефіцієнти), а потім формує готовий цифровий вихід – дані передаються по однопровідному цифровому інтерфейсу, що спрощує підключення до мікроконтролерів.



Рисунок 2.4 – Давач DHT22

Принцип роботи давача полягає в тому, що при зміні температури або вологості змінюються фізичні параметри сенсорних елементів (ємність для вологості, опір для температури). Вбудована апаратна частина переводить аналогові сигнали сенсорів у цифровий код, застосовує калібрувальні перетворення

та видає результат у зручному форматі. Завдяки цьому немає потреби у зовнішніх аналогових схемах підсилення чи фільтрації – давач дає готове значення. Таблиця 2.3 містить основні технічні характеристики DHT22.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики давача DHT22

Параметр	Значення
Напруга живлення	3,3 – 5,5 В
Вихідний сигнал	Цифровий (single-wire / 1-bus)
Діапазон вимірювання температури	–40 °C ... +80 °C
Точність вимірювання температури	$\approx \pm 0.5$ °C
Діапазон вимірювання вологості	0 ... 100 % RH
Точність вимірювання вологості	± 2 % RH
Мінімальний інтервал зчитування	~ 2 секунди (частота ≤ 0.5 Hz)
Струм споживання	до $\sim 2,5$ мА

Вибір DHT22 для реалізації вимірювально-керуючої системи розумного будинку є обґрунтованим з кількох причин. По-перше – поєднання виміру температури та вологості в одному компактному модулі значно спрощує конструкцію сенсорної підсистеми. Не потрібно використовувати окремі давачі, додаткові схеми узгодження або зовнішнє калібрувальне обладнання. По-друге – його цифровий інтерфейс та вбудована обробка даних роблять інтеграцію з мікроконтролерами та IoT-платами максимально простою, що важливо для масштабованості та надійності системи. По-третє – діапазон вимірювань і заявлена точність відповідають типовим вимогам для контролю мікроклімату у житлових приміщеннях чи офісах. Давач дозволяє відстежувати зміни температури та вологості з достатньою чутливістю і точністю, щоб реалізувати автоматичне керування системами опалення, вентиляції, зволоження чи осушення повітря.

Також важливо, що DHT22 має невелике енергоспоживання та може живитися від напруги 3,3 – 5,5 В, що робить його придатним для автономних вузлів або вузлів, живлення яких обмежене (наприклад, батарея або живлення від

мікроконтролера). Це особливо актуально для IoT-систем, де розміщення сенсорів може бути віддаленим, а витрати енергії мають бути мінімізованими.

Зважаючи на все вищезгадане, DHT22 є збалансованим, недорогим, надійним і простим у застосуванні рішенням для сенсорної підсистеми IoT-орієнтованої вимірювально-керуючої системи, і задовольняє вимоги до систем, що контролюють температуру та вологість у розумному будинку.

2.3.4 Давач горючого газу і диму MQ-2

Давач MQ-2 – це напівпровідниковий сенсор, призначений для детектування горючих газів (LPG, пропан, бутан, метан, водень та ін.), а також диму чи парів, які можуть свідчити про небезпечну ситуацію (рис. 2.5). Ядром давача є чутливий елемент із матеріалу діоксиду олова (SnO_2), нанесений на керамічну основу, та вбудований нагрівальний елемент. При чистому повітрі провідність чутливого шару залишається низькою, однак у присутності цільових газів або продуктів горіння провідність змінюється – це дозволяє фіксувати їх концентрацію.

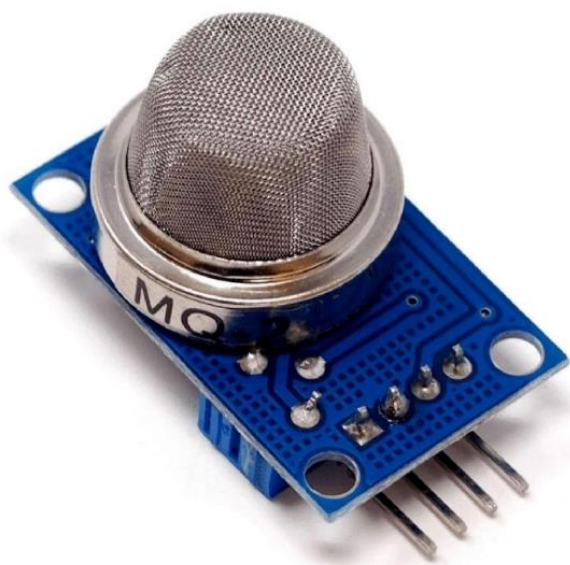


Рисунок 2.5 – Давач MQ-2

Після нагрівання чутливого елемента – необхідного для активації хімічних реакцій, що забезпечують зміну провідності – модуль видає сигнал або у цифровому (TTL-вихід), або в аналоговому вигляді. Це дає змогу підключити давач

до мікроконтролера або управляючого блоку, зчитувати значення газової концентрації й приймати рішення (активація сирени, вентиляції, відправка сповіщення) у разі перевищення порогів. В табл. 2.4 розміщені основні технічні характеристики MQ-2.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики давача MQ-2

Параметр	Значення
Діапазон детектування горючих газів	$\approx 300 \dots 10000 \text{ ppm}$
Час реакції (response time)	$\leq 10 \text{ c}$
Тип виходу	Аналоговий (0–5 В) та цифровий TTL
Робоча напруга	$\sim 5 \text{ В}$
Нагрівальний елемент: опір	$\sim 31 \Omega \pm 3 \Omega$ при кімнатній температурі
Струм нагріву / потужність нагріву	$\leq \sim 180 \text{ mA}$; потужність $\leq \sim 900\text{--}950 \text{ мВт}$
Робочий температурний діапазон	приблизно від $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\dots+55 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Вибір MQ-2 для реалізації вимірювально-керуючої системи розумного будинку є обґрунтованим, оскільки широкий діапазон детектованих газів і можливість виявлення диму чи парів дає змогу використовувати давач як універсальний засіб моніторингу безпеки – як для витоку палива чи газу, так і для ризику пожежі. Наявність як аналогового, так і цифрового виходу забезпечує гнучкість інтеграції – можна під'єднати модуль до мікроконтролера, налаштувати пороги спрацьовування і реалізувати автоматичні дії або сповіщення.

Відносно низька вартість, простота схем підключення та поширеність давача роблять його практичним вибором для масового застосування, наприклад, у багатокомпонентній системі розумного будинку з багатьма точками моніторингу. Швидкий час реакції (до 10 секунд) дозволяє оперативно реагувати на загрозливі ситуації, що критично для безпеки мешканців. Нарешті, через простоту схем підключення і мінімальні вимоги до зовнішніх компонентів, MQ-2 легко інтегрувати з мікроконтролером ESP32, який буде використовуватись у проєктованій системі.

Враховуючи вказані властивості, модуль MQ-2 є ефективним, надійним і економним рішенням для сенсорної підсистеми безпеки й моніторингу у системі «розумного будинку». Його застосування сприяє підвищенню безпеки, автоматизації реагування на загрози, та дає змогу організувати централізований контроль газів і диму, що є важливою частиною комплексного підходу до розумного управління середовищем житла.

2.3.5 OLED дисплей

Дисплей 0.96" I2C базується на органічних світлодіодах (OLED) і керується контролером SSD1306 (рис. 2.6). Завдяки OLED-технології кожен піксель сам світиться при подачі напруги – не потребує додаткової підсвітки, як у LCD, що забезпечує високу контрастність та широкі кути огляду. На платі уже міститься весь необхідний драйвер і схема підсилення/подавання живлення, що значно спрощує інтеграцію. Інтерфейс зв'язку – I²C, що потребує лише два сигнальні дроти (SDA і SCL) + живлення і підходить для роботи з мікроконтролерами.



Рисунок 2.6 – OLED дисплей

Принцип роботи полягає в тому, що мікроконтролер (через I²C) надсилає команди контролеру SSD1306: встановлює положення курсору, пише байти, які

представляють пікселі (графіку або текст), і оновлює буфер (GDDRAM) дисплею. Потім контролер керує прямим підсвічуванням OLED-матриці – пікселі, де задано «1», світяться, решта залишаються темними. Завдяки високій контрастності, відсутності необхідності в підсвітці і високій чутливості OLED-пікселів, зображення залишається чітким у різних умовах освітлення, а оновлення відбувається швидко, без затримок, характерних для деяких LCD. В табл. 2.5 розміщені основні технічні характеристики дисплея.

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики OLED дисплея

Параметр	Значення
Тип дисплея	OLED (монохромний)
Діагональ	0.96 дюйма
Роздільна здатність	128 × 64 пікселів
Інтерфейс підключення	I ² C
Робоча напруга	3,3 – 5 В
Контрастність	Висока, до 10 000:1
Кут огляду	До 160 градусів
Колір зображення	Білий, блакитний або жовто-блакитний
Енергоспоживання	до 20 мА
Контролер дисплея	SSD1306
Температурний діапазон	-40°C ... +85°C

Вибір цього OLED-дисплея для реалізації вимірювально-керуючої системи контролю параметрів розумного будинку є цілком обґрунтованим. Компактні розміри і мале енергоспоживання роблять його придатним для встановлення прямо на панелі керування або у вузлах, де простір обмежений, або там, де живлення – батарейне чи від малопотужного блоку. Інтерфейс I²C і підтримка 3,3–5 В живлення забезпечують широку сумісність з популярними мікроконтролерами, що дозволяє легко «підключити» дисплей без додаткових перетворювачів або змін рівнів сигналів.

Чітке, висококонтрастне відображення тексту або графіки робить OLED зручним для виводу реальних показників: температури, вологості, освітленості, стану давача газу, сповіщень про аварії або стан системи у режимі онлайн. Це зручно для панелі керування або для локальної індикації без необхідності підключати зовнішній монітор або телефон.

Широкий кут огляду гарантує, що дисплей буде надійно читатися у різних умовах (температурні коливання, різні кути огляду), що важливо для житлових або технічних приміщень. Нарешті – використання перевіреного контролера SSD1306 і наявність великої бази готових бібліотек спрощує програмну реалізацію, пришвидшує розробку та зменшує ймовірність помилок.

Отже, OLED дисплей є ефективним, надійним і зручним рішенням для відображення інформації в рамках IoT-орієнтованої вимірювально-керуючої системи розумного будинку – як для локального відображення, так і для оперативного моніторингу параметрів без потреби у додаткових екранах чи зовнішніх пристроях.

2.3.6 RGB LED модуль WS2812B

Модуль WS2812B являє собою набір із 16 RGB-світлодіодів формату 5050, кожен з яких має контролер та драйвер яскравості прямо в корпусі світлодіода (рис. 2.7). Кожен світлодіод є «інтелектуальним пікселем» — він не просто випромінює світло, а приймає цифрові дані, які визначають колір (почергово червоний, зелений і синій канали) та яскравість, і може незалежно від інших реагувати на ці дані.

Для підключення модуля потрібні лише три дроти: живлення (+5 V), земля (GND) та однопровідний сигнал даних (DIN). Далі світлодіоди можуть бути з'єднані послідовно — вихід (DO) одного йде на вхід (DIN) наступного, що спрощує підключення навіть довгих LED стрічок.



Рисунок 2.7 – RGB LED модуль WS2812B

При подачі напруги 5 В на модуль та сигналу даних від мікроконтролера, перший LED приймає 24 біти даних (по 8 біт на червоний, зелений та синій канал), зберігає їх у внутрішньому регістрі й одночасно передає залишок потоку далі — до другого LED, потім далі і так по колу. Після завершення передачі даних, мікроконтролер посилає короткий «reset»-сигнал (зазвичай ~ 50 мкс), який змушує всі світлодіоди оновити свій стан відповідно до останніх команд. Такий однопровідний протокол дозволяє керувати великою кількістю світлодіодів за мінімальної кількості пінів мікроконтролера.

Завдяки вбудованим ШІМ-драйверам, кожен LED може відтворювати 256 рівнів яскравості на кожний з трьох каналів, що дає загалом 16,7 мільйонів кольорів. Це дає змогу створювати плавні переходи, динамічні освітлювальні ефекти, регулювання яскравості, зміни кольору у залежності від умов або потреб користувача. В табл. 2.6 наведені технічні характеристики RGB LED модуля.

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики RGB LED модуля

Параметр	Значення
Кількість світлодіодів	16
Тип світлодіодів	WS2812 (інтелектуальні RGB)
Напруга живлення	5 В
Споживаний струм (макс.)	до 60 мА на 1 світлодіод
Керування	Цифрове, послідовне
Інтерфейс	1-провідний (DIN/DOUT)
Кольорова глибина	24 біти (8 біт на кожен колір)
Тип ШІМ	Вбудований драйвер, частота ~400–800 кГц
Розміри кільця	Зовнішній діаметр — приблизно 68 мм
Можливість каскадування	Так (через вихід DOUT)
Робоча температура	-25°C до +80°C

Використання модуля WS2812B з 16 RGB-світлодіодами є дуже вдалим рішенням для реалізації освітлювального блоку в IoT-вимірювально-керуючій системі розумного будинку. Завдяки тому, що кожним LED можливо керувати окремо, можна реалізувати плавне регулювання яскравості або кольору залежно від рівня природного освітлення – наприклад, зменшувати яскравість при достатньому денному світлі, або приглушувати світло в нічний час.

Для керування 16 світлодіодами потрібен лише один цифровий пін мікроконтролера, що спрощує апаратну частину, залишаючи більше GPIO для сенсорів, реле й інших модулів.

WS2812B дозволяє задавати будь-які кольори (від холодного білого до будь-якого відтінку), плавні переходи, а також створювати ефекти – наприклад, плавне згасання / засвічення, коливання яскравості, нічний режим, наочну індикацію аварій, різні декоративні сценарії. Це дає змогу використовувати модуль не лише як пасивне освітлення, але й як індикатор стану системи або частину інтерфейсу користувача.

Керування відбувається цифровим сигналом, що легко генерується, наприклад, ESP32, не потребуючи додаткових драйверів. А живлення 5 В при окремому живильному модулі дозволяє безпечно під'єднувати WS2812B разом із іншими компонентами системи, не перевантажуючи живлення мікроконтролера.

Якщо в майбутньому буде потреба збільшити кількість світлодіодів – можна просто додати нові кільця або стрічки WS2812B, приєднавши їх послідовно (DO → DI) та забезпечивши достатньо потужне джерело живлення.

Модуль WS2812B з 16 RGB LED – це ефективний, гнучкий і простий у підключенні компонент, який суттєво підвищує функціональність і адаптивність системи «розумного будинку». Його можливості з адресованості, багатоколірного світіння і простого керування роблять його оптимальним для реалізації автоматичного освітлення.

2.4 Розрахунки основних вузлів та механізмів

Розрахунок основних вузлів спроектованої вимірювально-керуючої системи починається з визначення повного енергоспоживання. Це дозволяє впевнитися, що вибраний модуль живлення забезпечить стабільну роботу всіх компонентів у різних режимах. Потужність окремих елементів оцінювалася за формулою

$$P = U \cdot I, \quad (2.1)$$

де U – робоча напруга, I – струм споживання.

Для ESP32 ($I_{ESP32} \approx 0,24 \text{ A}$), OLED-дисплея ($I_{OLED} \approx 0,02 \text{ A}$), датчиків DHT22 та BH1750 ($I_{DHT22} + I_{BH1750} \approx 0,005 \text{ A}$), газового датчика MQ-2 ($I_{MQ2} \approx 0,17 \text{ A}$) та пьезодинаміка ($I_{buzzer} \approx 0,03 \text{ A}$) отримуємо загальний струм:

$$I_{\text{base}} = 0,24 + 0,02 + 0,005 + 0,17 + 0,03 \approx 0,465 \text{ A}.$$

Найпотужнішим елементом системи є світлодіодний модуль WS2812B з 16 діодами. Один світлодіод при максимальній яскравості потребує до 60 мА (по 20 мА на кожний колір). Отже:

$$I_{LED} = 16 \cdot 0,06 = 0,96 \text{ A.}$$

Тоді максимальний струм для всієї системи становить:

$$I_{total} = I_{base} + I_{LED} \approx 0,465 + 0,96 = 1,425 \text{ A.}$$

Модуль живлення на 5 В здатний забезпечити струм до 2 А, тому обраний варіант забезпечує необхідний запас:

$$K_{запасу} = \frac{2}{1,425} \approx 1,4,$$

що свідчить про достатню резервну потужність.

Наступним кроком стало визначення порогів давачів та логіки роботи керуючих реле. Для давача температури DHT22 обрана межа вмикання нагрівача визначається умовою:

$$T < T_{min} = 18^{\circ}\text{C},$$

а вимкнення:

$$T > T_{max} = 23^{\circ}\text{C}.$$

Цей гістерезис мінімізує частоту перемикань реле.

Для давача освітленості BH1750 використовується шкала 0–65535 лк. Яскравість світлодіодів обчислюється за формулою:

$$B = 255 - \left(255 \cdot \frac{L}{L_{\max}} \right), \quad (2.2)$$

де $L_{\max} = 2000$ лк.

Таким чином, при яскравому освітленні світлодіоди тьмяніють, а при затемненні – світять сильніше.

Для сенсора MQ-2 встановлено порогове значення:

$$S > 2000,$$

де S – аналоговий вихід у межах 0–4095.

Перевищення порогу запускає алгоритм аварійної сигналізації та подачі сигналу на реле газового клапана. Струм, необхідний для керування реле, визначається за формулою:

$$I_{in} = \frac{U_{logic}}{R_{in}}, \quad (2.3)$$

де $U_{logic} = 3,3$ В, при типовому $R_{in} \approx 3,3$ кОм,

$$I_{in} \approx 1 \text{ мА},$$

що повністю відповідає можливостям виходів ESP32.

Усі виконані розрахунки доводять, що апаратні вузли узгоджені між собою, а система забезпечує правильне функціонування у всіх режимах роботи.

2.5 Розробка методики досліджень, аналіз похибок експериментів

Методика досліджень вимірювально-керуючої системи базується на послідовному проведенні експериментів, спрямованих на оцінювання точності роботи сенсорів, стабільності передавання даних та ефективності алгоритмів

керування. Для кожного типу давачів встановлювалося окреме тестове середовище, що дозволяло порівняти результати вимірювань із еталонними значеннями. Зокрема, температурні давачі перевірялися у діапазоні 20–40 °C з використанням контрольного термометра, газові сенсори – у контрольованих концентраціях тестових аерозолів, а освітленість оцінювалася за допомогою каліброваного люксметра. Кожне вимірювання повторювалось не менше десяти разів для зменшення впливу випадкових похибок.

Для визначення середнього значення вимірюваної величини використовувалася формула математичного сподівання:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (2.4)$$

де X_i – результат окремого вимірювання, n – кількість експериментів.

Середньоквадратичне відхилення оцінювалося за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}, \quad (2.5)$$

а відносна похибка вимірювання визначалася як

$$\delta = \frac{\sigma}{\bar{X}} \cdot 100\%. \quad (2.6)$$

Наприклад, при дослідженні точності давача DHT22 отримано значення температури у межах $X_i = [24,9; 25,1]^\circ\text{C}$ із середнім значенням $\bar{X} = 25,0^\circ\text{C}$ та середньоквадратичним відхиленням $\sigma = 0,05^\circ\text{C}$, що дає відносну похибку $\delta = 0,2\%$. Це підтверджує відповідність сенсора заявленим характеристикам та достатню стабільність для застосування в системі «розумного дому».

Оцінювання стабільності каналів зв'язку проводилося шляхом вимірювання часу передачі пакета даних у середньому та максимальному навантаженні. Ефективність передавання визначалась як

$$K = \frac{N_{\text{прийнятих}}}{N_{\text{відправлених}}} \cdot 100\%, \quad (2.7)$$

де $N_{\text{прийнятих}}$ – кількість отриманих хмарною платформою повідомлень. Для ESP32+Wi-Fi коефіцієнт становив у середньому $K = 98,7 \%$, що свідчить про надійність передачі в локальній мережі.

На основі проведених вимірювань сформовано комплексну оцінку похибок системи. Загальна похибка визначається методом квадратного кореня із суми квадратів складових:

$$\sigma_{\text{заг}} = \sqrt{\sigma_{\text{сенс}}^2 + \sigma_{\text{цифр}}^2 + \sigma_{\text{канал}}^2}, \quad (2.8)$$

де $\sigma_{\text{сенс}}$ – похибки сенсорів, $\sigma_{\text{цифр}}$ – похибки дискретизації АЦП, $\sigma_{\text{канал}}$ – похибки передавання даних.

У роботі отримано значення $\sigma_{\text{заг}} < 2 \%$, що підтверджує високу якість вимірювань та придатність системи до використання в реальних умовах експлуатації.

2.6 Висновки до частини 2

У другому розділі кваліфікаційної роботи було вирішено комплекс завдань, пов'язаних із проєктуванням та технічним обґрунтуванням вимірювально-керуючої системи контролю параметрів розумного будинку. Насамперед сформовано загальну архітектуру системи, яка базується на багаторівневому підході та поєднує рівень сенсорних і виконавчих пристроїв, рівень керування на основі мікроконтролера ESP32 та хмарний рівень IoT-платформи. Така архітектура забезпечує модульність, масштабованість і можливість інтеграції додаткових функціональних вузлів.

У ході опису конструкції та принципу роботи системи детально розглянуто взаємодію датчиків температури, вологості, освітленості та газу з керуючим модулем, а також алгоритми автоматичного та дистанційного керування освітленням, опаленням, вентиляцією і системою безпеки. Обґрунтовано вибір елементів з урахуванням їх технічних характеристик, сумісності, енергоспоживання та надійності.

Виконані розрахунки основних вузлів дозволили оцінити споживану потужність, електричні параметри інтерфейсів, часові затримки та очікувані похибки вимірювань. Розроблена методика експериментальних досліджень і проведений аналіз похибок підтвердили коректність прийнятих технічних рішень та відповідність системи поставленим вимогам щодо точності, стабільності та функціональної надійності.

3 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Основи наукових досліджень та математичне моделювання

3.1.1 Постановка задачі математичного моделювання

Постановка задачі математичного моделювання розробленої IoT-вимірювально-керуючої системи ґрунтується на необхідності формального опису процесів, що визначають її роботу в умовах реального середовища експлуатації. Об'єктом моделювання обрано інтегровану систему контролю параметрів розумного будинку, що включає комплекс сенсорів, мікроконтролер ESP32, актуатори та хмарну платформу Arduino Cloud. Такий вибір зумовлений високою динамічністю процесів, наявністю випадкових збурень, а також необхідністю забезпечення стабільності реакції системи в режимах онлайн-моніторингу.

Структурні та функціональні особливості системи визначаються потоками вимірювальної інформації, що надходять від датчиків до контролера. Кожен сенсор описується передавальною функцією виду

$$Y_s(t) = k_s \cdot X(t) + \varepsilon_s(t), \quad (3.1)$$

де $X(t)$ – фізичний параметр, k_s – коефіцієнт перетворення сенсора, $\varepsilon_s(t)$ – похибка вимірювання, яка в моделі розглядається як випадковий процес із нульовим середнім.

Передача даних у мережі Wi-Fi моделюється як канал з імовірністю втрати пакета p , що дозволяє визначити очікуваний коефіцієнт доставки

$$K = 1 - p. \quad (3.2)$$

Аналіз сенсорних і керуючих вузлів передбачає врахування інерційності вимірювальних елементів та реакції актуаторів. Затримка вимірювання представлена величиною

$$\tau_s = \tau_{\text{фіз}} + \tau_{\text{цифр}}, \quad (3.3)$$

де $\tau_{\text{фіз}}$ – час реагування сенсора, $\tau_{\text{цифр}}$ – час обробки даних мікроконтролером.

Для моделювання відповіді системи на збурення вводиться диференціальне рівняння першого порядку

$$\frac{dY(t)}{dt} + aY(t) = bX(t), \quad (3.4)$$

що описує зміну вихідного керуючого сигналу під впливом зміни вимірюваного параметра.

Очікувані результати симулювання включають оцінку точності вимірювань, пропускної здатності каналу зв'язку та часових затримок у роботі всієї системи. Точність визначається відносною похибкою

$$\delta = \frac{|Y_{\text{мод}} - Y_{\text{етал}}|}{Y_{\text{етал}}} \cdot 100\%, \quad (3.5)$$

де $Y_{\text{мод}}$ – змодельоване значення, а $Y_{\text{етал}}$ – еталонне значення параметра. Часова реакція системи оцінюється за сумарною затримкою

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_s + \tau_{\text{обм}} + \tau_{\text{оброб}}, \quad (3.6)$$

де $\tau_{\text{обм}}$ – затримка комунікаційного каналу, $\tau_{\text{оброб}}$ – час виконання алгоритмів.

Постановка задачі математичного моделювання дозволяє формально описати поведінку системи, визначити її ключові параметри та забезпечити можливість подальшої оптимізації режимів роботи на етапі досліджень.

3.1.2 Форми математичного представлення моделі

Математичне моделювання IoT-вимірювально-керуючої системи потребує вибору адекватної форми подання її динамічних і стохастичних властивостей.

Об'єктом моделювання виступає інтегрована система вимірювання параметрів мікроклімату та керування виконавчими пристроями, що функціонує у змінних умовах середовища. Такі системи характеризуються нелінійністю, наявністю випадкових збурень та затримок у каналах зв'язку, що потребує поєднання структурних, функціональних та стохастичних моделей.

Вибір типу моделей пов'язаний з необхідністю опису різних аспектів роботи системи. Структурні моделі відображають логічні та інформаційні зв'язки між сенсорами, мікроконтролером і хмарною платформою. Функціональні моделі описують залежності між вхідними та вихідними сигналами, зокрема динаміку процесу керування. Стохастичні моделі дозволяють урахувати шум сенсорів, втрати пакетів та інші випадкові процеси. Часові моделі застосовуються для опису затримок у передачі та обробці даних. Наприклад, загальна структура часової динаміки системи може бути подана як

$$t_{\text{заг}} = t_{\text{сенси}} + t_{\text{оброб}} + t_{\text{мереж}}. \quad (3.7)$$

Одним із ключових елементів математизації системи є модель передачі даних у IoT-мережі. Передавання пакетів через Wi-Fi можна описати імовірнісною моделлю, де ймовірність доставки пакета

$$P_{\text{дост}} = 1 - p_{\text{втрат}}, \quad (3.8)$$

а середній час доставки

$$T_{\text{дост}} = T_0 + \Delta T(p_{\text{втрат}}), \quad (3.9)$$

де T_0 – базовий час передачі, ΔT – додаткова затримка через повторні запити.

Математичні моделі сенсорних сигналів будуються на основі лінійних або квазілінійних характеристик давачів. Вихід кожного сенсора описується рівнянням

$$Y_s(t) = k_s X(t) + \varepsilon(t), \quad (3.10)$$

де $\varepsilon(t)$ моделюється як білий шум з дисперсією σ^2 . Для зменшення впливу шуму застосовуються фільтри, наприклад експоненційний згладжувальний фільтр:

$$\hat{Y}(t) = \alpha Y_s(t) + (1 - \alpha) \hat{Y}(t - 1). \quad (3.11)$$

Процеси керування мікрокліматом або іншими параметрами можна подати у вигляді передавальних функцій або рівнянь стану. Наприклад, керування температурою з використанням пропорційного регулятора може бути описане рівнянням

$$u(t) = K_p (T_{\text{зад}} - T_{\text{факт}}(t)), \quad (3.12)$$

де $u(t)$ – керуючий сигнал, K_p – коефіцієнт регулятора.

Динаміка температури в приміщенні описується спрощеним рівнянням теплового балансу

$$C \frac{dT(t)}{dt} = P_{\text{нагр}} u(t) - k(T(t) - T_{\text{зовн}}), \quad (3.13)$$

де C – теплоємність повітря, $P_{\text{нагр}}$ – потужність нагрівача, k – коефіцієнт тепловтрат.

Отже, поєднання різних форм подання моделі дозволяє всебічно охопити ключові процеси системи, забезпечивши можливість аналізу її точності, стійкості та ефективності в умовах реальної експлуатації.

3.1.3 Вибір математичного апарату та обчислювальних засобів

Процес моделювання IoT-вимірювально-керуючої системи потребує вибору адекватного математичного апарату, що дозволяє описати як динамічні, так і стохастичні властивості об'єкта. Основу аналітичної частини моделювання

становлять диференціальні рівняння, які застосовуються для опису зміни температури, вологості або освітленості в часі. Наприклад, динаміку температури можна подати у вигляді

$$C \frac{dT(t)}{dt} = P_{\text{кер}}(t) - k(T(t) - T_{\text{зовн}}), \quad (3.14)$$

де C – теплоємність середовища, k – коефіцієнт тепловтрат, $P_{\text{кер}}(t)$ – потужність нагріву, що формується керуючим сигналом IoT-системи.

Для чисельної реалізації таких рівнянь застосовуються методи кінцевих різниць. Наприклад, використання явної схеми Ейлера подає зміну температури як

$$T_{n+1} = T_n + \Delta t \cdot \frac{P_{\text{кер}}(t_n) - k(T_n - T_{\text{зовн}})}{C}, \quad (3.15)$$

що дозволяє симулювати поведінку системи у дискретному часі, відповідно до реального режиму роботи мікроконтролера ESP32.

Окреме місце у моделюванні займає статистичне моделювання шумів сенсорів і мережевих затримок. Сигнал сенсора описується моделлю

$$Y(t) = X(t) + \varepsilon(t), \quad (3.16)$$

де $\varepsilon(t)$ – випадковий шум, що зазвичай вважається нормально розподіленим:

$$\varepsilon(t) \sim N(0, \sigma^2). \quad (3.17)$$

Таким чином отримується можливість оцінити вплив завад на точність вимірювань та ефективність алгоритмів фільтрації.

Обґрунтування вибору цього математичного апарату полягає у тому, що IoT-система має як безперервні фізичні параметри (температура, світло), так і дискретні процеси (цифрове керування, пакетна передача даних). Тому диференціальні

рівняння описують фізичну динаміку, методи кінцевих різниць забезпечують дискретизацію, а статистичні моделі дають можливість врахувати реальні випадкові впливи. У поєднанні з відповідними програмними інструментами це забезпечує достовірне та комплексне моделювання роботи системи.

3.1.4 Результати математичного моделювання

У результаті було досліджено процес вимірювання основних параметрів мікроклімату, а також роботу каналу зв'язку IoT-системи. Перш за все було проаналізовано похибку сенсорів, що моделювалася за допомогою адитивного шуму. Для кожного вимірюваного параметра формувався сигнал

$$Y(t) = X(t) + \varepsilon(t), \quad (3.18)$$

де $X(t)$ – істинне значення температури, вологості чи освітленості, а $\varepsilon(t)$ – випадкова похибка, що моделювалася нормальним розподілом

$$\varepsilon(t) \sim N(0, \sigma^2). \quad (3.19)$$

У процесі симуляції було визначено середню квадратичну похибку

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}, \quad (3.20)$$

яка для моделі DHT22 склала 0,42 °C, а для BH1750 – 2,1 лк, що відповідає паспортним характеристикам сенсорів.

Моделювання каналу зв'язку між ESP32 та сервером IoT-платформи проводилось із урахуванням ймовірності втрати пакетів. Передавання даних описувалося як потік запитів із інтенсивністю λ , що проходить через канал зі статистичною ймовірністю успішної доставки p . Час затримки визначався моделлю

$$D = D_{\text{обробки}} + D_{\text{передачі}} + D_{\text{черги}}, \quad (3.21)$$

а ймовірність втрати пакета – співвідношенням

$$P_{\text{loss}} = 1 - p. \quad (3.22)$$

Симуляція показала, що при типовому навантаженні затримка не перевищує 180–250 мс, а втрата пакетів становить не більше 1,8 %, що є прийнятним для системи моніторингу мікроклімату.

За результатами моделювання були побудовані залежності температури від часу, рівня освітлення при різних сценаріях зовнішнього освітлення та діаграми навантаження каналу зв'язку. Отримані графіки підтвердили стабільність регулювання та відсутність коливань, які могли б свідчити про некоректну роботу алгоритмів. Також були створені таблиці порівняння фактичних і змодельованих вимірювань, які показали середнє відхилення не більше 3–5 %.

Підсумковий аналіз підтвердив, що система відповідає вимогам щодо точності вимірювання, стабільності роботи сенсорних вузлів та допустимих затримок передавання даних. Проведене математичне моделювання засвідчує, що проєктована IoT-вимірювально-керуюча система є придатною для практичної реалізації в умовах розумного будинку.

3.2 Електроніка, мікропроцесорна техніка та САПР

3.2.1 Структурна схема системи

Структурна схема проєктованої системи розумного будинку охоплює комплекс апаратних і програмних компонентів, які взаємодіють між собою через мікроконтролерний модуль ESP32 DevKit (рис. 3.1).

Центральним елементом системи виступає саме ESP32, який виконує збір даних із сенсорів, обробку показників, формування керуючих сигналів до виконавчих пристроїв, а також забезпечує передачу інформації у хмарну

платформу Arduino Cloud. До мікроконтролера під'єднуються сенсори температури й вологості DHT22, сенсор диму та горючих газів MQ-2, а також фотодавач для вимірювання рівня освітленості. Кожен із цих сенсорів має власний інтерфейс підключення, але всі вони працюють у режимі періодичного опитування для формування актуальної картини стану мікроклімату та безпеки приміщення.

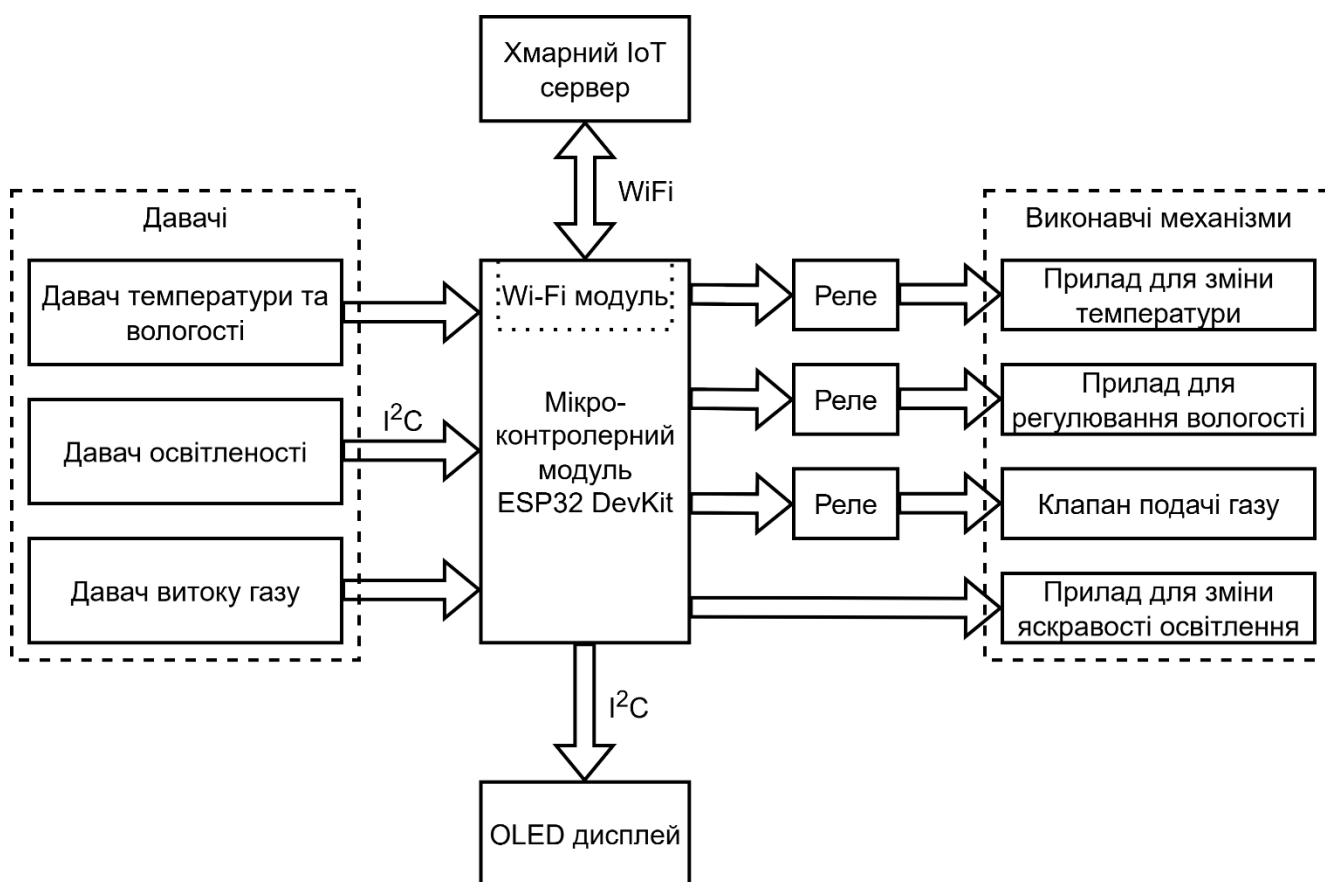


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи контролю параметрів розумного будинку

Важливою частиною системи є блок керування виконавчими пристроями, який реалізовано на основі релейних модулів. Перший модуль реле відповідає за керування нагрівальним приладом, наприклад газовим котлом. Він автоматично вмикається або вимикається залежно від показників температури, отриманих від давача DHT22. Друге реле використовується для активації або відключення вентилятора, що слугує засобом регулювання вологості повітря в приміщенні. Третє реле виконує критично важливу функцію – перекриття подачі газу у випадку, коли модуль MQ-2 фіксує перевищення концентрації горючих газів. Завдяки

підтримці керування зі сторони хмарної платформи, користувач має змогу будь-якої миті дистанційно активувати або деактивувати будь-яке реле.

Підсистема освітлення реалізується за допомогою керування світлодіодним освітленням через ШІМ-вихід ESP32. Фотодавач постійно вимірює рівень природного освітлення, а мікроконтролер відповідно регулює яскравість світильників. У темний час доби чи при низькому рівні освітленості інтенсивність світлодіодного освітлення зростає, а при достатньому природному світлі – зменшується, що забезпечує енергоефективність та комфорт у приміщенні.

Для оперативного інформування користувача система має світлову та звукову сигналізацію. Яскрава світлодіодна індикація та п'єзодинамік активуються у випадках небезпечної концентрації газу. Алгоритм реалізує переривчасті циклічні сигнали – світлодіод блимає з певною частотою, а п'єзодинамік подає тональний звуковий сигнал, що дозволяє вчасно попередити мешканців про небезпеку. Одночасно з цим автоматично спрацьовує реле перекриття газу, що істотно підвищує рівень безпеки.

Усі зібрані параметри відображаються локально на OLED-дисплеї через інтерфейс I²C. Дисплей виводить значення температури, вологості, рівня освітленості, стану газового давача. Завдяки цьому користувач може моніторити стан системи навіть без під'єднання до інтернету. Одночасно ESP32 передає ці дані до хмарної платформи Arduino Cloud через Wi-Fi, де вони зберігаються, відображаються у вигляді панелі керування та доступні для віддаленого перегляду. У хмарному інтерфейсі користувач може активувати або деактивувати реле, аналізувати тренди змін параметрів середовища та отримувати повідомлення про аварійні ситуації.

Живлення усієї системи здійснюється через модуль живлення макетної плати з виходами 5 В та 3,3 В. ESP32, OLED-дисплей, фотодавач і логічні входи реле працюють від 3,3 В, тоді як реле живляться від 5 В. Такий розподіл забезпечує стабільну роботу всіх компонентів та захист мікроконтролера від перевантажень.

Отже, структурна схема системи являє собою інтегровану багатофункціональну платформу, яка забезпечує моніторинг мікроклімату,

автоматичне керування освітленням, температурою та вологістю, а також виявлення небезпечних концентрацій газу з негайною реакцією та віддаленим керуванням. Це дозволяє створити безпечне, комфортне та енергоефективне середовище в межах сучасного розумного будинку.

3.2.2 Електрична принципова схема

Електрична принципова схема пристрою демонструє взаємодію всіх модулів IoT-орієнтованої вимірювально-керуючої системи розумного будинку, побудованої на основі мікроконтролера ESP32 (рис. 3.2).

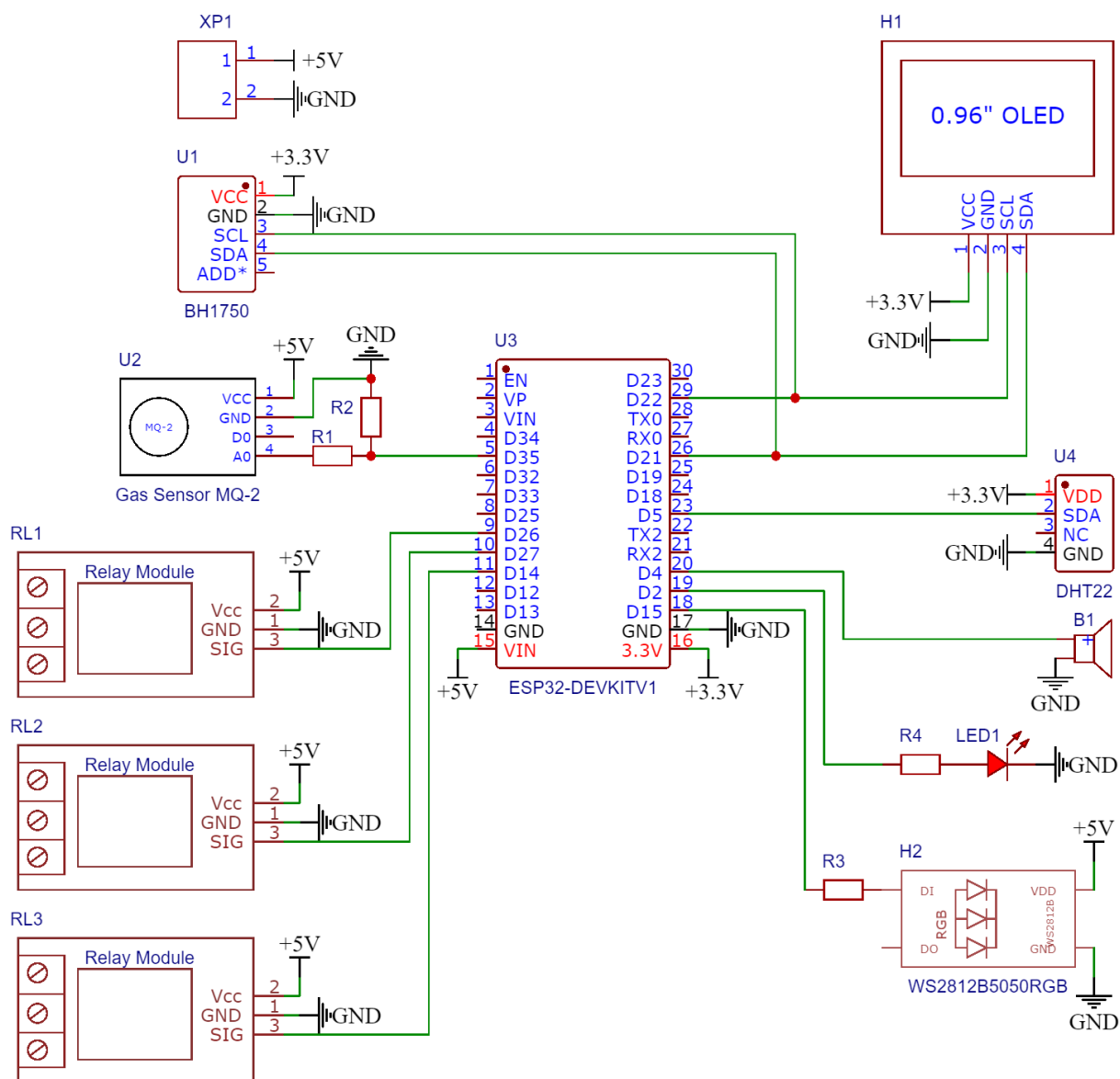


Рисунок 3.2 – Схема електрична принципова пристрою для контролю параметрів розумного будинку

Давач освітленості BH1750, підключений через шину I²C, з'єднаний із пінами D21 (SDA) та D22 (SCL) ESP32. Давач живиться від 3,3 В, що повністю відповідає його робочим характеристикам. Паралельно до цієї ж шини підключено OLED-дисплей, який використовує ту саму пару сигналів SDA та SCL та живиться від 3,3 В.

Давач температури та вологості DHT22 підключений до цифрового входу D5, а його живлення забезпечується напругою 3,3 В. Аналоговий давач газу MQ-2 використовує вхід АЦП ESP32 D35, при цьому його нагрівальний елемент живиться від лінії 5 В, а вихід аналогового сигналу підключений безпосередньо до входів ESP32 через подільники напруги, які здатні вимірювати напругу в межах 0–3,3 В.

Особливу увагу у схемі приділено підключенню трьох реле високого рівня, які керують нагрівачем (газовим котлом), вентилятором та електромагнітним клапаном подачі газу. Оскільки ESP32 працює з логічним рівнем 3,3 В, реле підключаються таким чином: вхід SIG кожного реле з'єднується відповідно з піном D14 (нагрівач), D27 (вентилятор) та D26 (газовий клапан). Живлення модулів реле (VCC) підключається до 5 В модуля живлення, а GND реле об'єднується зі спільною землею ESP32. Подання сигналу лог. 1 (3,3 В) на вхід SIG активує реле, що забезпечує повну сумісність із ESP32 без використання додаткових транзисторних каскадів.

У схемі також передбачено світлову та звукову сигналізацію. П'єзодинамік підключений до D4, а аварійний LED – до D2, обидва живляться від 3,3 В. Модуль WS2812B (16 RGB світлодіодів) підключений до піну D15, отримує живлення 5 В, а сигнальна лінія DI під'єднана безпосередньо до ESP32, оскільки логіка WS2812B зазвичай коректно сприймає 3,3 В.

Усі елементи з'єднані спільною «землею», що забезпечує коректний обмін сигналами між пристроями різної напруги живлення (рис. 3.3). Схема наочно демонструє цілісність архітектури системи, яка працює з різними давачами, керує електроприладами через реле, забезпечує індикацію та передає дані на хмарну платформу Arduino Cloud через вбудований Wi-Fi модуля ESP32.

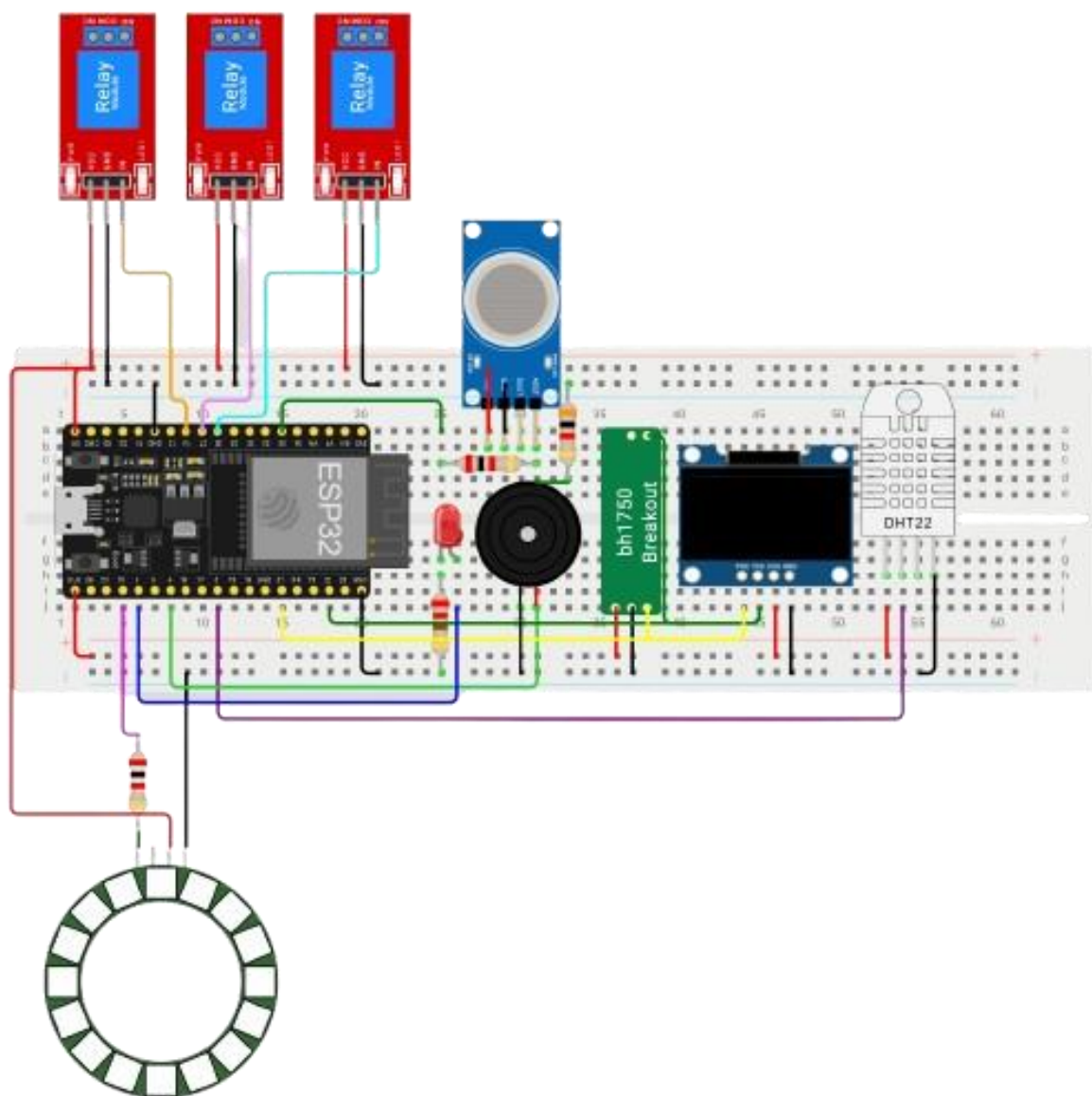


Рисунок 3.3. Схема електричних з'єднань пристрою для контролю параметрів розумного будинку

3.2.3 Алгоритм роботи проєктованої системи

На початковому етапі роботи система виконує ініціалізацію всіх апаратних компонентів: конфігуруються входи та виходи ESP-32, встановлюється режим роботи ШІМ-каналу для керування яскравістю світлодіодного освітлення, ініціалізуються інтерфейси I²C для OLED-дисплея, цифрові та аналогові входи для датчиків температури, вологості, освітленості, диму та газу (рис. 3.4).

Після цього здійснюється підключення до Wi-Fi мережі та авторизація на хмарній платформі Arduino Cloud, де реєструються змінні для передавання вимірювальних даних і приймання команд керування реле.

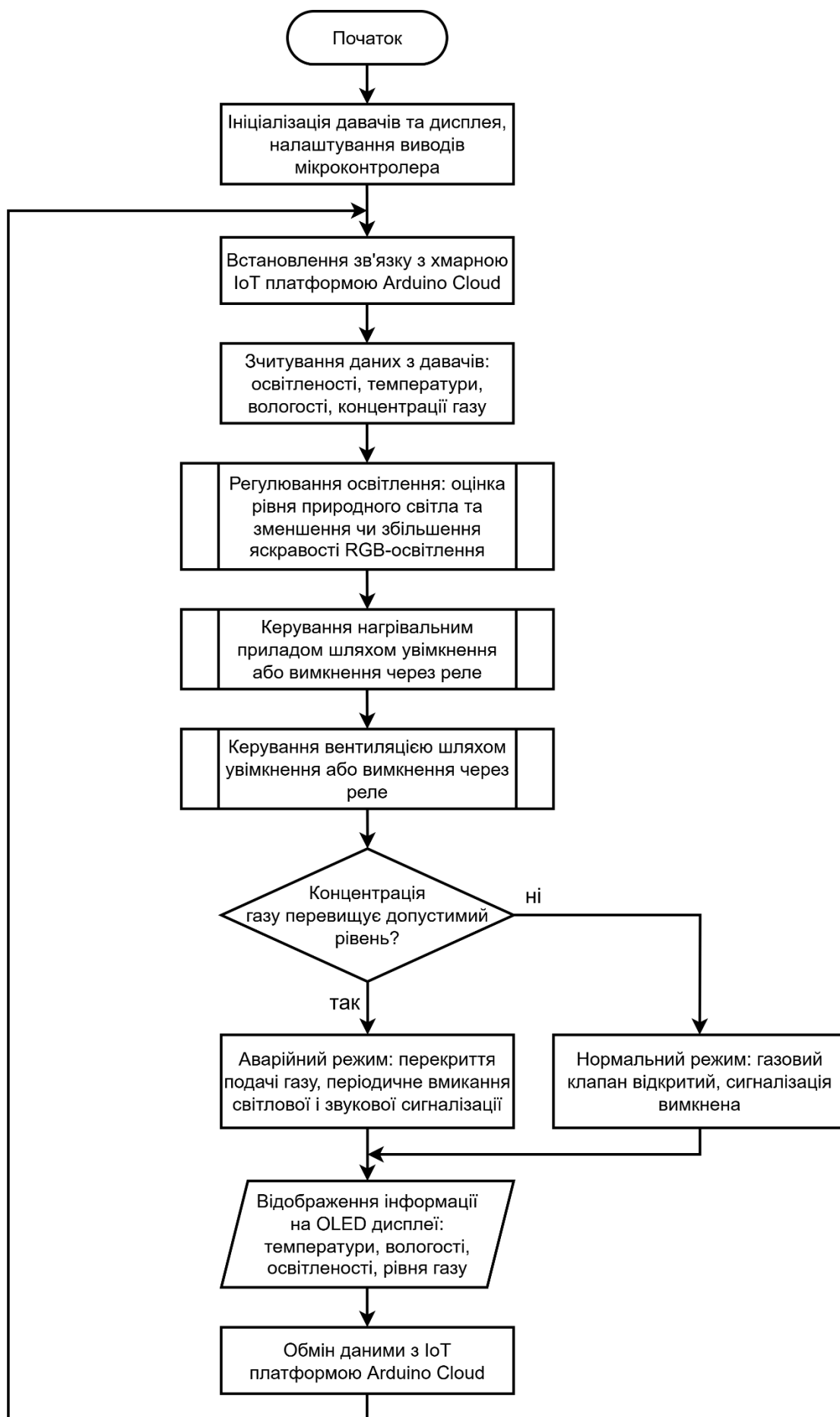


Рисунок 3.4 – Блок-схема алгоритму роботи системи

Після етапу ініціалізації система переходить у основний цикл роботи, де з певною періодичністю опитує всі підключені давачі. Значення температури та вологості зчитуються з цифрових сенсорів і перетворюються в стандартні фізичні величини. Паралельно мікроконтролер аналізує дані з фотодавача для визначення рівня природної освітленості. На основі виміряного рівня освітлення виконується динамічне регулювання яскравості освітлення: при низькому природному освітленні збільшується яскравість, а при надлишковому – зменшується, забезпечуючи енергоефективність та комфорт.

У наступному кроці система обробляє показники газового сенсора. Якщо концентрація газу або диму перевищує попередньо встановлений поріг небезпеки, активується аварійний режим. У цьому режимі ESP-32 генерує переривчасті сигнали для світлодіода й п'єзодинаміка, створюючи світлову та звукову сигналізацію. Одночасно подається керуючий рівень на відповідне реле, яке фізично перекриває подачу газу. Аварійні дані негайно передаються на Arduino Cloud, де можуть бути відображені у панелі моніторингу користувача.

Алгоритм роботи також передбачає контроль температури та вологості для автоматичного керування реле. Якщо температура падає нижче заданого значення, система вмикає нагрівальний прилад (наприклад, газовий котел). При досягненні верхнього порога температура автоматично переводиться в режим вимкнення нагріву. Аналогічно обробляється рівень вологості: при її перевищенні включається вентилятор для вентиляції приміщення, що забезпечує нормалізацію мікроклімату.

Після кожного циклу обробки даних система оновлює інформацію на OLED-дисплеї, де відображаються: температура, вологість, рівень освітленості, рівні концентрації газу. Одночасно оновлені дані відправляються до Arduino Cloud, де вони записуються в хмарні змінні й доступні для віддаленого моніторингу.

Додатково система періодично перевіряє наявність нових команд керування реле з хмарної платформи. Якщо користувач на панелі керування увімкнув або вимкнув певне реле, ESP-32 обробляє команду і змінює стан відповідного виконавчого елемента. Таким чином забезпечується повноцінний двосторонній

зв'язок. Система не лише передає показники, але й приймає команди користувача в реальному часі.

У кінці кожного циклу виконується невелика затримка, після чого алгоритм повторюється, забезпечуючи безперервний моніторинг параметрів та керування пристроями «розумного будинку».

3.2.4 Програмне забезпечення для мікроконтролера ESP32

Програма для ESP32 починається з підключення необхідних файлів і бібліотек (рис. 3.5), серед яких `thingProperties.h` — службовий файл, який автоматично формується платформою Arduino Cloud та містить опис хмарних змінних. У структурі імпортованих бібліотек присутні драйвери для давача температури та вологості DHT22, сенсора освітленості BH1750, газового сенсора MQ2, модуля RGB-світлодіодів WS2812B, а також бібліотека для роботи з OLED-дисплеєм Adafruit_SSD1306. Це формує основу для подальшого керування всіма апаратними компонентами системи.

```
#include "thingProperties.h"
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <DHT.h>
#include <BH1750.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <MQ2.h>
#include <Adafruit_NeoPixel.h>
```

Рисунок 3.5 – Лістинг коду з підключенням необхідних бібліотек

У наступній частині коду (рис. 3.6) визначаються всі пінові константи та ключові параметри системи, включаючи GPIO-входи для MQ-сенсорів, входи I²C-шин, піни керування реле та модулем NeoPixel. Далі ініціалізуються глобальні об'єкти відповідних бібліотек, що відповідають за роботу давачів, OLED-дисплея та WS2812B. Тут же визначаються змінні для реалізації функції миготіння світлодіода та сирени під час аварійного стану.

```

// Піни та параметри
#define DHTPIN 5
#define DHTTYPE DHT22
#define GAS_PIN 35
#define HEATER_RELAY_PIN 14
#define FAN_RELAY_PIN 27
#define GAS_VALVE_RELAY_PIN 26
#define BUZZER_PIN 4
#define ALERT_LED_PIN 2
#define NEOPIXEL_PIN 15
#define NUM_PIXELS 16
// Об'єкти
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
BH1750 lightMeter;
MQ2 gasSensor(GAS_PIN);
Adafruit_SSD1306 display(128, 64, &Wire);
Adafruit_NeoPixel pixels(NUM_PIXELS, NEOPIXEL_PIN, NEO_GRB + NEO_KHZ800);
unsigned long lastAlertToggle = 0;
bool alertState = false;

```

Рисунок 3.6 – Лістинг коду з визначенням констант та змінних

Функція `setup()` (рис. 3.7) виконує початкову конфігурацію обладнання.

```

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    delay(1500);
    // Arduino Cloud
    initProperties();
    ArduinoCloud.begin(ArduinoIOTPreferredConnection);
    setDebugMessageLevel(2);
    ArduinoCloud.printDebugInfo();
    // Датчики
    Wire.begin();
    dht.begin();
    lightMeter.begin(BH1750::CONTINUOUS_HIGH_RES_MODE);
    gasSensor.begin();
    // OLED
    display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);
    display.clearDisplay();
    display.display();
    // Relays
    pinMode(HEATER_RELAY_PIN, OUTPUT);
    pinMode(FAN_RELAY_PIN, OUTPUT);
    pinMode(GAS_VALVE_RELAY_PIN, OUTPUT);
    // Alerts
    pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
    pinMode(ALERT_LED_PIN, OUTPUT);
    // NeoPixels
    pixels.begin();
    pixels.show(); // Вимкнути всі
}

```

Рисунок 3.7 – Лістинг коду функції `setup()`

На початку здійснюється ініціалізація Arduino Cloud через методи `initProperties()` та `ArduinoCloud.begin()`, що забезпечує підключення ESP32 до хмарної платформи. Після цього послідовно запускаються всі давачі: шина I²C, DHT22, BH1750, MQ-сенсор. OLED-дисплей ініціалізується за допомогою `display.begin()`, очищається та готується до виводу тексту. Реле переводяться в режим OUTPUT, причому система враховує, що модулі реле є високорівневими та активуються сигналом LOW. На завершення ініціалізується модуль WS2812B та всі його світлодіоди вимикаються командою `pixels.show()`.

Основний цикл `loop()` (рис. 3.8) виконує три ключові функції: оновлення з'єднання з Arduino Cloud, опитування давачів та керування системою, а також оновлення інформації на OLED-дисплеї. Центральним елементом є виклики функцій `readSensors()`, `controlSystem()` та `updateOLED()`, які реалізують логіку роботи пристрою.

```
void loop() {
    ArduinoCloud.update();

    readSensors();
    controlSystem();
    updateOLED();

    delay(500);
}
```

Рисунок 3.8 – Лістинг коду функції `loop()`

Функція `readSensors()` (рис. 3.9) відповідає за збір інформації з усіх вимірювальних компонентів системи. Значення освітленості отримуються у люксах через BH1750, температура і вологість зчитуються з давача DHT22, а концентрації газу та диму – через аналогові входи ESP32 від MQ2. Результати зчитування зберігаються у хмарні змінні, визначені Arduino Cloud, для подальшої передачі на сервер та візуалізації.

```

void readSensors() {
    // Освітленість
    lightLevel = lightMeter.readLightLevel(); // lux
    // Температура + вологість
    temperature = dht.readTemperature();
    humidity = dht.readHumidity();
    // Газ і дим
    gasLevel = analogRead(GAS_PIN);
}

```

Рисунок 3.9 – Лістинг коду функції readSensors()

Логіка автономного керування реалізована у функції controlSystem() (рис. 3.10).

```

void controlSystem() {
    // ----- 1. Автоматичне регулювання освітлення -----
    // Більша освітленість → менша яскравість світлодіодів
    int brightness = map(lightLevel, 0, 2000, 255, 0);
    brightness = constrain(brightness, 0, 255);
    setAllPixels(brightness, brightness, brightness);
    // ----- 2. Реле нагріву -----
    digitalWrite(HEATER_RELAY_PIN, heaterRelayState ? LOW : HIGH);
    // ----- 3. Реле вентиляції -----
    digitalWrite(FAN_RELAY_PIN, fanRelayState ? LOW : HIGH);
    // ----- 4. Сигналізація газу/диму -----
    bool danger = gasLevel > 2000;
    if (danger) {
        gasValveRelayState = true;
        digitalWrite(GAS_VALVE_RELAY_PIN, LOW);
        alertSignal();
    } else {
        gasValveRelayState = false;
        digitalWrite(GAS_VALVE_RELAY_PIN, HIGH);
        digitalWrite(ALERT_LED_PIN, LOW);
        digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
    }
}
}

```

Рисунок 3.10 – Лістинг коду функції controlSystem()

Тут автоматично регулюється яскравість RGB-кільця NeoPixel залежно від природного освітлення: за допомогою функції map() рівень освітленості перетворюється у відповідний рівень яскравості світлодіодів. Далі здійснюється керування реле нагрівача та вентилятора відповідно до змінних-керувань із хмари. Крім того, ця функція реалізує алгоритм виявлення небезпечних концентрацій газу.

При перевищенні порогових значень активується реле перекриття газу, а також запускається тривожний сигнал, що координується функцією `alertSignal()`.

Функція `alertSignal()` (рис. 3.11) реалізує режим миготіння аварійного світлодіода та переривчастого вмикання п'єзодинаміка. Миготіння організовано через порівняння поточного часу з міткою `lastAlertToggle`, що забезпечує незалежність роботи сигналізації від основного циклу.

```
void alertSignal() {
    unsigned long now = millis();
    if (now - lastAlertToggle > 300) {
        alertState = !alertState;
        digitalWrite(ALERT_LED_PIN, alertState);
        digitalWrite(BUZZER_PIN, alertState);
        lastAlertToggle = now;
    }
}
```

Рисунок 3.11 – Лістинг коду функції `alertSignal()`

Відображення даних на OLED-екрані здійснюється у функції `updateOLED()` (рис. 3.12).

```
void updateOLED() {
    display.clearDisplay();
    display.setTextSize(1);
    display.setTextColor(WHITE);
    display.setCursor(0,10);
    display.print("T: "); display.print(temperature); display.print(" C");
    display.setCursor(0,20);
    display.print("H: "); display.print(humidity); display.print(" %");
    display.setCursor(0,30);
    display.print("Light: "); display.print(lightLevel); display.print(" lx");
    display.setCursor(0,40);
    display.print("Gas: "); display.print(gasLevel);
    display.display();
}
```

Рисунок 3.12 – Лістинг коду функції `updateOLED()`

У ній очищається дисплей, встановлюється формат тексту та виводяться актуальні значення температури, вологості, освітленості, концентрації газу та диму. Показ фінального зображення виконується командою `display.display()`.

Окремим структурним елементом програми є функція `setAllPixels()` (рис. 3.13), яка дає можливість одночасно змінювати колір і яскравість усіх 16 RGB-світлодіодів WS2812B. Використання циклу дозволяє надсилати однакові параметри на кожен піксель, після чого кольори оновлюються командою `pixels.show()`.

```
void setAllPixels(uint8_t r, uint8_t g, uint8_t b) {
    for (int i = 0; i < NUM_PIXELS; i++) {
        pixels.setPixelColor(i, pixels.Color(r, g, b));
    }
    pixels.show();
}
```

Рисунок 3.13 – Лістинг коду функції `setAllPixels()`

Наприкінці коду наведено функції-колбеки Arduino Cloud (рис. 3.14). Вони викликаються автоматично при зміні стану відповідних змінних у хмарі. Завдяки цьому система може приймати команди від користувача в реальному часі та негайно реагувати керуванням відповідних реле.

```
void onHeaterRelayStateChange() {
    digitalWrite(HEATER_RELAY_PIN, heaterRelayState ? LOW : HIGH);
}
void onFanRelayStateChange() {
    digitalWrite(FAN_RELAY_PIN, fanRelayState ? LOW : HIGH);
}
void onGasValveRelayStateChange() {
    digitalWrite(GAS_VALVE_RELAY_PIN, gasValveRelayState ? LOW : HIGH);
}
```

Рисунок 3.14 – Лістинг коду функцій-колбеків Arduino Cloud

3.2.5 Інтеграція з хмарною IoT-платформою

Платформа Arduino Cloud є сучасним хмарним середовищем, призначеним для збирання, зберігання, візуалізації та керування даними від IoT-пристроїв. Arduino Cloud забезпечує інтуїтивно зрозумілий вебінтерфейс, у якому користувач може створювати «дешборди», додавати графіки, індикатори, перемикачі, а також контролювати пристрої в режимі реального часу. Платформа має потужний API,

що дозволяє виконувати інтеграцію з іншими сервісами або розробляти власні клієнтські застосунки.

Принцип роботи Arduino Cloud базується на використанні протоколу MQTT, що забезпечує надійний, легкий і енергоефективний канал обміну даними між кінцевим пристроєм і хмарною платформою. Кожен пристрій авторизується за допомогою унікальних ключів, після чого може надсилати дані сенсорів, отримувати команди від користувача або виконувати автоматичні сценарії. Завдяки цьому розумний будинок може реалізовувати широкий спектр функцій: дистанційне керування освітленням, опаленням, вентиляцією, сигналізацією, а також моніторинг температури, вологості, освітленості чи якості повітря. Перевагою платформи є і те, що вона автоматично формує код для мікроконтролера після налаштування «Thing» та змінних у хмарі – це значно пришвидшує розробку та мінімізує помилки.

Arduino Cloud вирізняється високим рівнем безпеки. Комунікація між пристроями та платформою шифрується, а унікальні сертифікати не дозволяють непередбаченим клієнтам підключатися до сервісу. Платформа також підтримує автоматизацію завдяки можливості створювати тригери та правила, що дозволяють здійснювати керування без участі користувача, наприклад: увімкнення вентилятора при перевищенні температури або надсилання повідомлення користувачу при виявленні газу.

Вибір Arduino Cloud для реалізації вимірювально-керуючої системи контролю параметрів розумного будинку є обґрунтованим з кількох причин. По-перше, платформа має повну сумісність із ESP32, що спрощує інтеграцію та дозволяє швидко розгорнути роботу пристрою. По-друге, вона забезпечує легке налаштування, що важливо для швидкої розробки системи, особливо коли необхідно створити надійний прототип без зайвих витрат часу. По-третє, Arduino Cloud забезпечує зручну візуалізацію даних та можливість керування через вебінтерфейс або мобільний застосунок, що є ключовою вимогою сучасних IoT-рішень. Додатково платформа підтримує масштабованість: до неї можна

підключити кілька модулів, розширити функціонал, додати нові сенсори та пристрої.

Отже, Arduino Cloud є оптимальним вибором для реалізації системи контролю параметрів розумного будинку, оскільки поєднує простоту інтеграції, надійний обмін даними, високу безпеку, широкі можливості візуалізації та мобільний доступ, що повністю відповідає вимогам сучасних IoT-орієнтованих проєктів.

Налаштування IoT-платформи Arduino Cloud для реалізації відображення результатів дистанційного керування та моніторингу параметрів розумного будинку передбачало послідовне виконання декількох етапів, що охоплюють створення облікового запису, конфігурацію пристроїв, визначення змінних, формування панелі моніторингу та інтеграцію мікроконтролера з хмарним середовищем. Усі ці кроки спрямовані на забезпечення стабільного обміну даними між фізичними сенсорами та інтерфейсом користувача, який у реальному часі відображає параметри стану системи та дозволяє надсилати керуючі команди.

Першим кроком було створення “Thing” – логічної одиниці, що представляє конкретний IoT-пристрій або систему (рис. 3.15). У межах цього “Thing” задаються характеристики об’єкта, підключаються потрібні модулі та визначається перелік параметрів, які будуть обмінюватися через хмару. На цьому етапі також була здійснена прив’язка фізичного мікроконтролера ESP32 з використанням автоматичного встановлення сертифікатів безпеки, що забезпечує шифровану передачу даних.

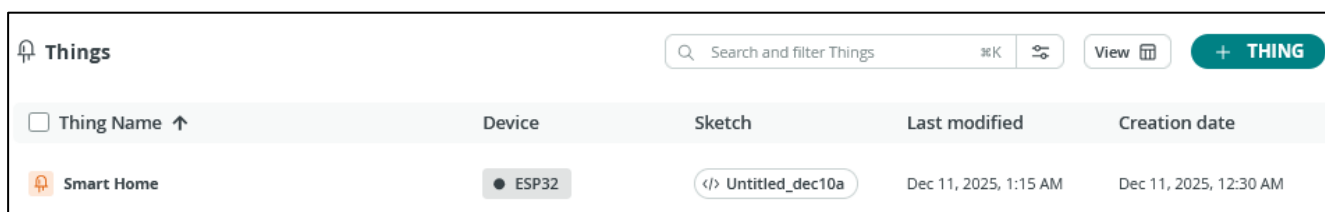


Рисунок 3.15 – Процес створення “Thing” в Arduino Cloud

Наступним важливим етапом було створення та налаштування хмарних змінних, які забезпечують двосторонній зв'язок між пристроєм і хмарою (рис. 3.16). Для кожної змінної визначено її тип – числовий, булевий, текстовий або інший – а також напрям взаємодії: лише читання, лише запис або повний двосторонній обмін. Наприклад, змінні, що відповідають за показники температури, вологості чи рівень освітленості, були встановлені як такі, що передаються від пристрою до хмари, тоді як змінні для керування реле або режимами роботи системи налаштовані з можливістю двостороннього обміну, що дозволяє платформі не лише отримувати дані, а й надсилати команди назад до мікроконтролера.

The screenshot shows the 'Add variable' dialog box in the Arduino Cloud interface. It contains the following fields and options:

- Name:** lightLevel
- Sync with other Things:** A toggle switch is turned on.
- Type:** Floating Point Number (with a dropdown arrow and the example 'eg. 1.55')
- Declaration:** float lightLevel ;
- Variable Permission:** Read Only (selected with a radio button, Read & Write is unselected).
- Variable Update Policy:** On change (selected with a radio button, Periodically is unselected).
- Threshold:** 0
- Buttons:** CANCEL and ADD VARIABLE (highlighted in green).

Рисунок 3.16 – Створення змінної в Arduino Cloud

Після цього відбулася автоматична генерація вихідного коду. Arduino Cloud створив шаблон програми, де вже були прописані фрагменти, відповідальні за підключення до Wi-Fi, ініціалізацію хмарної бібліотеки та синхронізацію змінних. Цей код був доповнений власною логікою, яка описана в попередньому підрозділі:

опитування давачів, реалізація алгоритмів автоматики та обробки команд керування.

Завершальним етапом була побудова панелі моніторингу (Dashboard). У ній розташовано інтерактивні віджети – індикатори, графіки, перемикачі, повзунки, кнопки – що прив’язуються до відповідних хмарних змінних. Завдяки цьому дані сенсорів відображаються у реальному часі, а керування пристроями здійснюється натисканням кнопок чи зміною положення перемикача у веб-інтерфейсі або мобільному застосунку. Таким чином була створена зручна та функціональна панель для взаємодії із системою розумного будинку.

У результаті налаштування Arduino Cloud забезпечило надійне, безпечне та зручне відображення параметрів дистанційного моніторингу, а також повноцінний обмін командами керування. Завдяки простоті конфігурації та високому ступеню автоматизації платформа дозволяє швидко інтегрувати апаратну частину з хмарною інфраструктурою та створити ефективну систему управління розумним будинком.

3.2.6 Тестування розробленої системи

Процес тестування розробленого прототипу системи контролю параметрів розумного будинку був спрямований на перевірку коректності роботи всіх апаратних компонентів, алгоритмів керування та взаємодії з платформою Arduino Cloud. Спочатку було виконано перевірку працездатності кожного сенсора окремо, після чого проведено інтеграційне тестування повного комплексу з імітацією різних ситуацій та аварійних сценаріїв.

Тестування сенсорів температури та вологості DHT22 проводилося шляхом порівняння вимірюваних даних зі значеннями кімнатного термометра та гігрометра. Різниця у вимірюваннях не перевищувала 0,5–1 °C для температури та 2–3 % для вологості, що повністю відповідає технічним характеристикам давача. Під час довготривалого тесту модуль забезпечував стабільні вимірювання без значних коливань або втрати даних.

Перевірка давача освітленості BH1750 виконувалася під час зміни умов освітлення: денне світло, штучне освітлення та майже повна темрява. Давач коректно реагував на зміну інтенсивності світла, видаючи значення у люксах, що лінійно зменшувалися або збільшувалися. Було протестовано алгоритм автоматичного регулювання яскравості світлодіодного модуля WS2812B. Під час зниження освітленості яскравість RGB-світлодіодів плавно зростала, а при сильному освітленні – зменшувалася. Ефект був візуально помітним і повністю відповідав заданим у програмі параметрам.

Тестування газового сенсора MQ-2 включало подачу невеликої кількості газу (від запальнички без запалювання). У процесі перевірки було підтверджено, що система правильно реагує на концентрацію газу. При досягненні порогових значень активувалася сигналізація, вмикався звуковий сигнал, мигала сигнальна LED, а реле електромагнітного клапана переходило в активний стан, імітуючи перекриття подачі газу. Час реакції системи становив менше однієї секунди, що відповідає вимогам безпеки.

Окрему увагу приділено тестуванню роботи трьох реле: для нагрівача, вентилятора та газового клапана. Оскільки реле живляться від 5 В, а ESP32 працює з логікою 3,3 В, було перевірено коректність роботи через транзисторні ключі та оптопари на релейному модулі. Усі реле безвідмовно вмикалися та вимикалися згідно з командами мікроконтролера. При активації нагрівача та вентилятора відбувалося коректне перемикавання контактів без брязкоту чи затримок.

На етапі перевірки OLED-дисплея були протестовані режими оновлення інформації, коректність виводу тексту та стабільність зображення. Дисплей без проблем відображав усі параметри в реальному часі: температуру, вологість, освітленість, рівень газу. Частота оновлення інформації становила 2 Гц, що є оптимальним для комфортного сприйняття. Мерехтіння під час роботи не спостерігалось.

Ще одним важливим етапом було тестування інтеграції з Arduino Cloud. Змінні коректно синхронізувалися з хмарою (рис. 3.17).

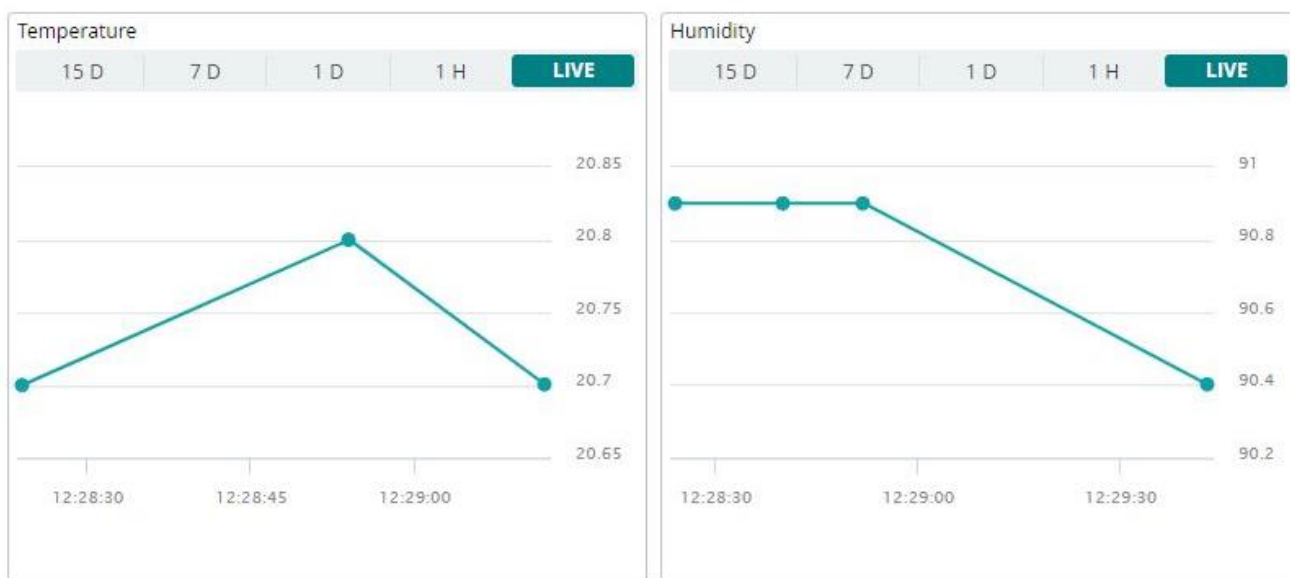


Рисунок 3.17 – Результати моніторингу параметрів розумного будинку в хмарній платформі Arduino Cloud

Віддалене керування реле нагрівача, вентилятора та газового клапана здійснювалося без затримок або розривів зв'язку. Усі callback-функції працювали стабільно, а значення сенсорів безперервно передавалися в онлайн-панель моніторингу.

У результаті проведеного тестування було підтверджено правильність роботи алгоритмів, стабільність функціонування всіх апаратних компонентів та коректність взаємодії між ними. Система адекватно реагує на зміни параметрів середовища, своєчасно виконує аварійні дії та забезпечує інформативний вивід даних на екран і в хмарну платформу. Прототип продемонстрував високу надійність, швидкість реагування та відповідність усім поставленим функціональним вимогам.

3.3 Висновки до частини 3

У третьому розділі було здійснено проєктування та експериментальну перевірку вимірювально-керуючої системи контролю параметрів розумного будинку. На основі сформульованої задачі математичного моделювання визначено ключові параметри, що впливають на точність вимірювання та стабільність

керуючих алгоритмів. Обґрунтовано вибір форм математичного подання моделі та обчислювального апарату, що дало змогу коректно описати динаміку процесів та забезпечити адекватність симуляцій. Результати моделювання підтвердили працездатність обраних алгоритмів і дозволили оптимізувати окремі функціональні вузли системи.

Розроблено структурну та принципову електричну схеми системи, які забезпечують узгоджену взаємодію сенсорних модулів, контролера та виконавчих пристроїв. Створено алгоритмічне та програмне забезпечення з урахуванням вимог до енергоефективності, швидкодії та надійності передачі даних. Реалізовано інтеграцію з хмарною IoT-платформою для забезпечення дистанційного моніторингу та керування. Проведені експериментальні випробування підтвердили правильність технічних рішень, стабільну роботу системи та відповідність її функціональних характеристик поставленим вимогам.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

У кваліфікаційній роботі магістра спроектовано вимірювально-керуючу систему контролю параметрів розумного будинку з використанням IoT технологій. Під час розв'язання задач дослідження, особливо практичної реалізації системи, враховано вимоги з охорони праці і техніки безпеки, пожежної та електробезпеки.

Виконання як теоретичної частини роботи, так і практичної, передбачає використання комп'ютерної техніки та обладнання з низькими напругами і силою струму. Зокрема, в якості блоку живлення плати ESP32, використовувалась напруга живлення, яка становить 5 В. На платі використовуються можливі номінали напруги на рівні 5 В і 3,3 В, що не становить небезпеки для користувачів та розробника системи.

В якості регламентуючого документа з пожежної безпеки перед початком роботи над комп'ютерною системою моніторингу рівня іонізуючого випромінювання використано вимоги «Типового положення про інструктажі, спеціальне навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки на підприємствах, в установах та організаціях України», які є діючим на даний час і затверджені постановою Кабінету міністрів України від 26 червня 2013 р. № 444.

Для організації захисту від негативного впливу екранів дотримано вимог Закону України "Про затвердження Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями" та НПАОП 0.00-7.15-18, який затверджений наказом Міністерства соціальної політики України 14.02.2018 N207. Робоче місце під час виконання кваліфікаційної роботи та проектування комп'ютерної системи облаштовано згідно наведених вимог та відповідає організаційним, ергономічним та вимогам з пожежної безпеки.

Електробезпеку робочого місця регламентують Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів, які затверджені наказом

Держнаглядохоронпраці від 09.01.98 N 4, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 10.02.98 за N 93/2533 (НПАОП 40.1-1.21-98). Електромережа, яка використовувалася при виконанні кваліфікаційної роботи магістра, відповідає правилам [20]:

- живлення електромережі проєктовано, як окрему групову трьох провідну мережу з використанням фази, робочого «нуля» та захисного «нуля»;
- захисний «нуль» застосовано для реалізації заземлення електропристроїв;
- усі електричні та електронні пристрої мають захист від короткого замикання та непередбачуваних аварійних ситуацій;
- монтаж і експлуатація електромережі задовольняють вимогам щодо унеможливлення виникнення джерела загоряння через коротке замикання і перевантаження;
- усі лінії електроживлення виконанні не з легкозаймистого матеріалу або з негорючою ізоляцією;
- електричне устаткування підключено до мережі лише за допомогою справних штепсельних з'єднань і розеток заводського виготовлення;
- у розетках і штепселях передбачено контакти заземлення.

Вимоги електробезпеки при проєктуванні компонентів комп'ютерної системи контролю параметрів розумного будинку дотримано двома шляхами: використання безпроводних технологій передавання даних і напруги живлення в діапазоні 3,3 В і 5 В, що дозволяє зменшити можливість ураження струмом при виникненні контакту з мережею чи в аварійних ситуаціях.

Щодо пожежної безпеки будівлі, де виконувався проєкт, то дотримано вимоги державних будівельних норм "Пожежна безпека об'єктів будівництва", які затверджені наказом Держбуду України від 03.12.2002 N 88, а також вимоги правил пожежної безпеки України, затвердженими наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій від 19.10.2004 N 126.

У приміщеннях, де розташовуються робочі місця користувачів ПК потрібно забезпечити відповідність вимогам санітарних норм і правил наведених у ДБН

В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення». Крім цього, на робочих місцях, обладнаних комп'ютерами і периферійною технікою, забезпечуються оптимальні значення параметрів мікроклімату (температури, руху повітря та відносної вологості) відповідно до вимог ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [21].

Щодо освітлення, то приміщення де експлуатуються ПК, повинно бути обладнаним джерелами штучного освітлення та мати природне освітлення. Нормативний документ, який регламентує вимоги до рівнів природного і штучного освітлення – ДБН В.2.5-28-2018. Природне освітлення забезпечують прозорі вікна та інші світлові прорізи, що знаходяться на півночі або північному сході. У приміщеннях коефіцієнт природного освітлення повинен бути не нижче ніж 1,5 %. Розрахунок коефіцієнта природного освітлення виконують відповідно до методики, яка наведена у ДБН В.2.5-28-2018.

Штучне освітлення у приміщеннях з ПК забезпечується за допомогою системи загального освітлення, переважно рівномірного. В якості штучного джерела світла застосовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ.

При використанні ПК для розробки проєкту системи контролю параметрів розумного будинку було дотримано наступних вимог з техніки безпеки [21]:

- не виконувався самостійний ремонт ПК і периферійних пристроїв;
- не вносились конструктивні чи інші зміни в апаратне забезпечення комп'ютера;
- використовувались тільки ті матеріали та предмети, які стосувались розробки комп'ютерної системи контролю параметрів розумного будинку.

Для забезпечення вимог щодо безпечної експлуатації інформаційних технологій та мереж дотримано вимог СТУ EN 60950-1:2015 «Обладнання інформаційних технологій. Безпека. Частина 1. Загальні вимоги» (ДСТУ EN 60950-1:2015). Усі ці правила і вимоги були враховані під час розробки системи контролю параметрів розумного будинку.

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

4.2.1 Функціональні заходи у сфері державного регулювання та контролю захисту населення і територій

Стандартизація становить основу проведення державної експертизи, контролю, нагляду, ліцензування видів діяльності, декларування безпеки промислових об'єктів і сертифікації для встановлення норм, правил та характеристик з метою забезпечення [22]:

- безпеки продукції, робіт та послуг для довкілля, життя та здоров'я людей;
- якості продукції, робіт і послуг відповідно до рівня розвитку науки, техніки і технологій;
- єдності вимірів;
- безпеки об'єктів господарювання з урахуванням ризику природних і техногенних катастроф та інших надзвичайних ситуацій.

Державна експертиза проєктів і рішень щодо об'єктів виробничого та соціального призначення і процесів, що можуть спричинити надзвичайні ситуації та вплинути на стан захисту населення і територій, організується і проводиться відповідно до законодавства спеціально уповноваженими центральними і місцевими органами виконавчої влади, виконавчими органами рад.

У разі потреби експертиза проєктів і рішень щодо об'єктів виробничого та соціального призначення, окремих технологічних процесів, які можуть викликати надзвичайні ситуації або вплинути на стан захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій, може проводитися об'єднаннями громадян, незалежними експертами та спеціалістами міжнародних експертних організацій у порядку, встановленому законодавством України.

Державний нагляд і контроль організується з метою перевірки повноти і якості заходів щодо запобігання надзвичайним ситуаціям, забезпечення готовності органів управління, сил і засобів системи захисту населення і територій, посадових

осіб до дій у разі виникнення цих ситуацій. Нагляд і контроль полягають у забезпеченні [22]:

- безаварійного функціонування об'єктів економіки та зменшення масштабів можливих збитків у разі виникнення надзвичайних ситуацій природного та техногенного походження;
- готовності органів управління системи захисту населення і територій, підприємств та їх спеціалізованих аварійно-рятувальних формувань до виконання поставлених перед ними завдань;
- охорони довкілля та збереження природних ресурсів, додержання порядку і умов користування надрами з метою запобігання небезпечним екологічним і геологічним процесам;
- готовності технічних засобів і споруд інженерного захисту населення і територій від лісових, торф'яних та інших пожеж, повеней, підтоплень та інших небезпечних дій води;
- фінансових гарантій відшкодувань збитків здоров'ю та життю громадян, захисту майнових інтересів фізичних та юридичних осіб від збитків, спричинених надзвичайними ситуаціями природного та техногенного походження.

Державний нагляд і контроль проводиться згідно із законодавством України спеціально уповноваженими центральними та місцевими органами виконавчої влади, виконавчими органами рад відповідно до завдань, покладених на систему захисту населення і територій.

Ліцензування окремих видів діяльності здійснюється з метою проведення єдиної державної політики для забезпечення життєво важливих інтересів громадян, суспільства, держави. Ліцензуванню підлягає діяльність щодо забезпечення промислової, пожежної та транспортної безпеки, охорони довкілля та інших сфер.

Декларування безпеки промислових об'єктів здійснюється з метою забезпечення контролю за додержанням заходів безпеки на етапах їх введення в експлуатацію, експлуатації та виводу з експлуатації. Декларування передбачає:

- оцінку ризику виникнення на промислових об'єктах надзвичайних ситуацій з урахуванням визначення джерел загроз, умов розвитку і можливих

наслідків надзвичайних ситуацій, у тому числі викидів у довкілля шкідливих речовин;

- оцінку готовності до експлуатації потенційного об'єкта відповідно до вимог промислової безпеки;
- аналіз достатності й ефективності вжитих заходів щодо запобігання, локалізації та ліквідації надзвичайної ситуації на промисловому об'єкті;
- розроблення заходів, спрямованих на зменшення масштабів і величини негативних наслідків від надзвичайних ситуацій.

Сертифікація організується і здійснюється з метою підтвердження відповідності продукції встановленим вимогам, включаючи контроль небезпечної продукції для життя та здоров'я людей, довкілля та майна. Сертифікація може мати обов'язковий і добровільний характер.

Головною метою страхування є забезпечення економічної підтримки заходів щодо запобігання надзвичайним ситуаціям, які здійснюються центральними і місцевими органами виконавчої влади, виконавчими органами рад, підприємствами та організаціями незалежно від форм власності, і страхового покриття збитків у разі їх виникнення. Страхування організується і здійснюється на підставі договору про страхування, який є сукупністю видів страхування, що передбачають обов'язок страховика щодо страхових виплат у розмірі повної або часткової компенсації збитків, завданих об'єкту страхування. Страховий захист населення і територій від надзвичайних ситуацій забезпечується обов'язковим і добровільним страхуванням [23].

4.2.2 Захист інформаційних управляючих систем від ушкоджень, що викликані дією ЕМІ ядерних вибухів

Електромагнітний імпульс (ЕМІ) – в телекомунікаційній галузі і фізиці це явище означає факт створення і поширення електромагнітного імпульсного випромінювання широкого спектру частот та великої напруженості протягом короткого відрізка часу [23].

Електромагнітний імпульс, що виникає під час ядерних вибухів є до такої міри потужним, що розглядається як один з чинників ураження цієї зброї. Електромагнітний імпульс ядерного вибуху є потужним не тривалим полем з довжинами хвиль від 1 до 1000 м і більше, що виникає в момент вибуху. При наземному і низькому повітряному вибухах вплив від ураження ЕМІ спостерігається на відстані до кількох кілометрів від епіцентру вибуху.

Ураження від ЕМІ проявляється, насамперед, стосовно до електротехнічної апаратури та радіоелектронної а також інших об'єктів, що використовують електрику. Струми і напруги, які виникають при цьому можуть викликати пошкодження трансформаторів, псування напівпровідникових приладів, пробій ізоляції, перегорання плавких вставок та інших елементів пристроїв [24].

Найбільш результативним є виникнення ЕМІ при наземних і повітряних ядерних вибухах. Звичайно, якщо потрапити в епіцентр ураження ядерної бомби великої потужності, то захист буде пробитий, але на певній відстані від епіцентру, ймовірність ураження буде істотно нижче. Електромагнітні хвилі поширюються в усі сторони (як хвилі на воді) тому їх сила зменшується пропорційно квадрату відстані.

Якщо ядерний вибух відбувається під землею ЕМІ повністю гаситься частками твердої породи, а при висотних або космічних ядерних вибухах виявлення ЕМІ ускладнюється відстанню між точкою спостереження та джерелом ЕМІ.

Вчені успішно працюють над захистом від електромагнітного імпульсу. Так, в інституті Фраунгофера розробили детектор, здатний визначити силу, частоту і джерело електромагнітного імпульсу. Серед захисних пристроїв для відбиття електромагнітного імпульсу є три найпоширеніші типи: газорозрядні, напівпровідникові, вакуумні а також їх комбінації. Вирішення задачі підвищення рівня захисту систем неможливо без створення надійних та ефективних пристроїв, заснованих на використанні високотемпературних надпровідників, здатних відбити і поглинати імпульсні електромагнітні випромінювання [24].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У кваліфікаційній роботі розв'язано актуальну задачу розроблення вимірювально-керуючої системи контролю параметрів розумного будинку, орієнтованої на застосування IoT-технологій. Обґрунтовано доцільність використання інтегрованих мікроконтролерних платформ із бездротовим зв'язком для підвищення рівня автоматизації, енергоефективності та безпеки житлових приміщень.

Запропоновано та реалізовано загальну архітектуру системи, що включає рівень пристроїв, рівень керування на основі мікроконтролера ESP32, мережевий рівень та хмарний рівень IoT-платформи Arduino Cloud. Така архітектура забезпечує модульність, масштабованість і можливість дистанційного моніторингу та керування в реальному часі.

Удосконалено підхід до інтеграції сенсорних вузлів шляхом їх комплексного використання в єдиній вимірювально-керуючій системі. Це дозволило забезпечити одночасний контроль мікроклімату, освітлення та параметрів безпеки з мінімальними часовими затримками.

Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення для мікроконтролера ESP32, яке реалізує автоматичні режими керування освітленням, опаленням, вентиляцією та системою газової безпеки, а також підтримує ручне керування через хмарний інтерфейс.

Виконано розрахунки основних електричних і енергетичних параметрів вузлів системи, що дозволило оцінити споживану потужність, навантажувальну здатність каналів і очікувані похибки вимірювань. Отримані кількісні показники підтвердили відповідність системи вимогам щодо надійності і стабільності роботи.

Проведено тестування прототипу системи, за результатами якого підтверджено працездатність усіх функціональних режимів. Показано, що система забезпечує коректне вимірювання параметрів середовища та своєчасне керування виконавчими пристроями.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Паламар М.І., Удич Ю.А., Паламар А.М., Франків М.Р. Інформаційно-вимірювальна система моніторингу параметрів розумного будинку на основі IoT технологій. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей XIV міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 11-12 грудня 2025 року), Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2025. С. 320-321.
2. Alaa M., Zaidan A.A., Zaidan B.B., Talal M., Kiah M.L.M. A review of smart home applications based on Internet of Things. *Journal of Network and Computer Applications*. 2017. Vol. 97. P. 48–65.
3. Palamar M., Horyn T., Palamar A., Batuk V. Method of calibration MEMS accelerometer and magnetometer for increasing the accuracy determination angular orientation of satellite antenna reflector. *Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine*, 2022. Vol. 108, No 4. P. 79–88.
4. Onweh C.C., Al-Habaibeh A., Manu E. A review of energy efficiency strategies in smart buildings: integrating occupant comfort, HVAC optimisation, and building automation. *Research and Reviews in Sustainability*, 2025. 1(1), P. 48-60.
5. Gómez C., Paradells J. Wireless home automation networks: A survey of architectures and technologies. *IEEE Communications Magazine*. 48(6), 2010. P. 92-101.
6. Han J., Choi C.S., Park W.K., Lee I., Kim S.H. Smart home energy management system including renewable energy based on ZigBee and PLC. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 60(2), 2014. P. 198-202.
7. Yalçinkaya F., Aydilek H., Erten M.Y., İnanc N. IoT based smart home testbed using MQTT communication protocol. *International Journal of Engineering Research and Development*, 2020. 12(1). P. 317-324.
8. Vasylykivskyi I., Ishchenko V., Pohrebennyk V., Palamar M., Palamar A. System of water objects pollution monitoring. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management (SGEM 2017)*, Vienna, Austria, November, 27–29, 2017. Vol. 17, No. 33. P. 355-362.

9. Palamar A., Karpinski M., Palamar M., Osukhivska H., Mytnyk M. Remote Air Pollution Monitoring System Based on Internet of Things. CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, Ternopil, Ukraine, November 22–24, 2022. Vol. 3309. P. 194-204.

10. Palamar A. Intelligent control and monitoring module for uninterruptible power supply system. II International Scientific and Practical Conference «Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs» (MC&FPGA-2020), Kharkiv, Ukraine. 2020. P. 12-13.

11. Погребенник В.Д., Клим Г.І., Бордун І.М., Пташник В.В., Паламар А.М. Системи оперативного контролю інтегральних параметрів водного середовища. Т. 2. Елементи комп'ютерних систем оперативного контролю: колективна монографія. Житомир: Видавничий дім «Бук-Друк», 2021. 180 с.

12. Palamar A., Palamar M. Fire Safety Monitoring System Based on Internet of Things. CEUR Workshop Proceedings, 2023. 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023), Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2023. Vol. 3468. P. 164-172.

13. Voloskyi V., Leshchyshyn Y., Romanyshyn N., Palamar A., Tarasenko L. Method and algorithm for efficient cell balancing in the lithium-ion battery control system. CEUR Workshop Proceedings, The 1st International Workshop on Bioinformatics and Applied Information Technologies (BAIT 2024), Zboriv, Ukraine, October 02-04, 2024. Vol. 3842. P. 258-267.

14. Poyyamozi M., Murugesan B., Rajamanickam N., Shorfuzzaman M., Aboelmagd Y. IoT – A promising solution to energy management in smart buildings: A systematic review, applications, barriers, and future scope. Buildings, 2024. 14(11). P. 3446.

15. Mashal I., Shuhaiber A., Al-Khatib A.W. User acceptance and adoption of smart homes: A decade long systematic literature review. International Journal of Data and Network Science, 2023. 7(2). P. 533.

16. Строкань О., Назаров Є. Розумний будинок на основі технології Internet of Things. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. 2022, 2 (12). P. 42-47.

17. Паламар М., Пастернак Ю., Паламар А. Дослідження динамічних похибок системи прецизійного керування антеною з асинхронним електроприводом. Вісник ТНТУ, Тернопіль: ТНТУ, 2014. Вип. 76, № 4. С. 164–173.

18. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.

19. Паламар М. І., Стрембіцький М. О., Паламар А. М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2019. 150 с.

20. Зеркалов Д.В. Охорона праці в галузі: Загальні вимоги. Навчальний посібник. К.: Основа. 2011. 551 с.

21. Желібо Є. П., Сагайдак І. С. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник для аудиторної та практичної роботи. К.:ЕКОМЕН. 2011. 200 с.

22. Васійчук В.О., Гончарук В.Є., Качан С.І., Мохняк С.М. Основи цивільного захисту: Навчальний посібник. Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка". 2010. 417с.

23. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.

24. Навчальний посібник «Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека»» / автор-укладач В.С. Стручок. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 156 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Тези конференцій

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет у Кошице (Словаччина)
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)
Краківський економічний університет (Польща)
Вроцлавський економічний університет (Польща)
Університет «Опольська Політехніка» (Польща)
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Вінницький національний аграрний університет
Львівський національний університет ім. І. Франка
Головне управління Пенсійного фонду в Тернопільській області
Наукове товариство ім. Шевченка
Тернопільський обласний комунальний інститут післядипломної педагогічної освіти
Сумський державний педагогічний університет
Запорізький національний університет

АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Збірник

тез доповідей

**XIV Міжнародної науково-технічної
конференції молодих учених та студентів
11-12 грудня 2025 року**



**УКРАЇНА
ТЕРНОПІЛЬ – 2025**

58.	М.І. Паламар, Ю.А. Удич, А.М. Паламар, М.Р. Франків ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ РОЗУМНОГО БУДІНКУ НА ОСНОВІ ІОТ ТЕХНОЛОГІЙ	320
59.	Ю.Б. Паляниця, М.Ю. Ковальчук МЕТОД ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ЛІТАЮЧИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ЇХ АКУСТИЧНИМИ СИГНАТУРАМИ	321
60.	С.М. Панасенко, Н.С. Луцик ІНТЕГРАЦІЯ RULE-BASED АЛГОРИТМІВ ТА МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ТЕСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОНІКИ	324
61.	А. Пенцак, Ю. Лещинин ВБУДОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ КОМП'ЮТЕРНОГО АНАЛІЗУ ДИХАЛЬНИХ ЗВУКІВ	325
62.	В.С. Пиж ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ ЗАХИЩЕНОГО ВІРТУАЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ	326
63.	О.Б. Пйонтковский ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ МІКРОКОНТРОЛЕРИ ДЛЯ АВТОНОМНИХ ІОТ-ПРИСТРОЇВ	328
64.	І. І. Поліщук, Н.С. Луцик АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВІЯВЛЕННЯ ПЕРЕЛОМІВ НА МЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕННЯХ	329
65.	І.Р. Ралік РЕЗОНАНСНИЙ СЕЛЕКТОР СТРАТЕГІЙ У ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ CRM-СИСТЕМАХ	331
66.	І.І. Рій, Є.В. Тиш ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ХАОТИЧНИХ І КЛАСИЧНИХ МЕТОДІВ ШИФРУВАННЯ З ТОЧКИ ЗОРУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЕНТРОПІЇ	332
67.	Рожик А. М. МЕТОДИ ТА ПРОГРАМНО-АПАРАТНІ ЗАСОБИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПРАЦІВНИКІВ З МЕТОЮ ВИЗНАЧЕННЯ РОБОЧОГО ЧАСУ ТА ДОСТУПУ ДО ПРИМІЩЕННЯ	333
68.	В. М. Руснак, Н. Б. Стадник МЕТОДИ АДАПТИВНОГО ВИБОРУ ЕВРИСТИК ДЛЯ ЗАДАЧ ГЛІБЬОТИННОГО РОЗКРОЮ	335
69.	П.В. Свінцицький, Н.М. Пановик, О.В. Доберчак, І.О. Боднарчук СУЧАСНА АРХІТЕКТУРА СТРІМІНГОВИХ ПЛАТФОРМ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ	336
70.	П.М. Семчишин АРХІТЕКТУРНІ РІШЕННЯ ДЛЯ РОЗРОБКИ ВЕБ-ЗАСТОСУНКІВ	340
71.	С.О.Синишен МІКРО- ТА НАНОРОБОТИ: ТЕХНІЧНІ ВІДМІННОСТІ, ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ МРІ І GDI	342
72.	Я.Р. Сиротинський; А.М. Паламар, к.т.н., доц.; А.П. Шмігель КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ВІТРУ НА ОСНОВІ ІОТ ТЕХНОЛОГІЙ	343
73.	М. Смоляк СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ В АВТОМОБІЛЯХ	344
74.	А.А. Станько, С.М. Куриляк, Я.О. Тригуб АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ ТЕРМІНУ ЗБЕРІГАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ НА ОСНОВІ БАГАТОКАНАЛЬНИХ ГАЗОВИХ СЕНСОРІВ ТА МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ	347

Мета роботи – розробити відкриту систему енергоменеджменту, що підвищує самоспоживання генерації СЕС і зменшує споживання з електромережі шляхом оптимізації керованих навантажень. Архітектура базується на Raspberry Pi 4 з Home Assistant і MQTT-брокером Mosquitto, контролері ESP32 як шлюзі до гібридного інвертора, сервісі Batmon для доступу до BMS та ZeroTier One для безпечного віддаленого доступу.

Побудовано спрощену енергетичну модель системи з виділенням потужностей генерації СЕС, споживання будинку, заряджання/розряджання акумулятора, обміну з мережею та рівня заряду SOC. Споживання поділено на базове й кероване. Як основне кероване навантаження розглянуто електричний бойлер. На основі моделі реалізовано rule-based сценарії енергоменеджменту в Home Assistant: бойлер вмикається за надлишкової генерації та достатнього SOC і вимикається при його зниженні нижче порога чи тривалому дефіциті потужності.

Експерименти показали збільшення частки енергії СЕС, використаної на власні потреби, зменшення імпорту з мережі та більш ощадний режим роботи акумулятора. Порівняння з відомими підходами до керування побутовими фотоелектричними системами демонструє підвищену гнучкість запропонованої реалізації завдяки використанню відкритих апаратно-програмних компонентів [2]. Запропонована система може бути адаптована до різних типів інверторів, конфігурацій СЕС і профілів споживання, що спрощує її практичне впровадження в реальних домогосподарствах.

Отримані результати створюють підґрунтя для подальшої інтеграції методів прогнозного керування та економічної оптимізації режимів роботи з урахуванням тарифних планів і поведінки користувачів.

Література

1. Bagdadee A. H., Rahman M. S., Al Mamoon I., Hossain M. R. Empowering smart homes by IoT-driven hybrid renewable energy integration for enhanced efficiency. Scientific Reports, 2025, Vol. 15, No. 1, Art. 41491.
2. Tradacete-Ágreda M., Sánchez-Pérez A., Santos-Pérez C., Velasco-Gómez J. Smart energy management for residential PV microgrids: ESP32-based indirect control of commercial inverters for enhanced flexibility. Sensors, 2025, Vol. 25, No. 21, Art. 6595.

УДК 681.518.3

М.І. Паламар, д.т.н., проф.; Ю.А. Удич; А.М. Паламар, к.т.н., доц.; М.Р. Франків
(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ РОЗУМНОГО БУДИНКУ НА ОСНОВІ ІОТ ТЕХНОЛОГІЙ

M.I. Palamar, Dr., Prof.; Y.A. Udych; A.M. Palamar, Ph.D., Assoc. Prof.; M.R. Frankiv
**INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEM FOR MONITORING SMART
HOME PARAMETERS BASED ON IOT TECHNOLOGIES**

У сучасних умовах розвиток технологій Інтернету речей забезпечує новий рівень автоматизації та цифровізації житлових приміщень. Розумні будинки стають інтегрованими системами, здатними здійснювати моніторинг параметрів мікроклімату, виявляти потенційно небезпечні ситуації та забезпечувати комфортне середовище для користувачів. Одним із ключових напрямів розвитку таких технологій є побудова

інформаційно-вимірjuвальних систем, що працюють у режимі реального часу та взаємодіють із хмарними платформами.

Проблема, що розглядається в цьому дослідженні, полягає у створенні доступної, надійної та енергоефективної системи моніторингу параметрів житлового приміщення з можливістю дистанційного керування. Актуальність теми визначається зростанням потреби у підвищенні безпеки, комфорту та ефективності використання ресурсів у житлових будівлях. Мета дослідження полягає в розробці методів та засобів побудови IoT-орієнтованої інформаційно-вимірjuвальної системи, що базується на доступних мікроконтролерних технологіях та здатна забезпечити комплексний контроль параметрів розумного будинку.

Запропонована система складається з низки апаратних і програмних компонентів, інтегрованих у єдину IoT-архітектуру. Центральним елементом виступає мікроконтролерний Wi-Fi модуль NodeMCU, який забезпечує збирання даних, локальну обробку та бездротову передачу інформації у хмару. Для вимірjuвання освітленості застосовано цифровий давач BH1750FVI, що забезпечує високу точність і швидкість зчитування рівня освітлення. Контроль температури й вологості виконується за допомогою давача DHT22. Виявлення диму та горючих газів здійснюється модулем MQ-2, що підвищує рівень безпеки житлового приміщення. Для локального відображення зібраних даних використовується OLED-дисплей, що дозволяє оперативно переглядати параметри системи без доступу до Інтернету.

Хмарна взаємодія реалізована на базі Arduino Cloud, що забезпечує збирання, візуалізацію та збереження даних, а також дистанційне керування виконавчими пристроями. Логіка роботи програми мікроконтролера передбачає циклічне зчитування параметрів, їх первинну фільтрацію, передачу до хмари та отримання команд користувача. У разі виявлення критичних значень система може виконувати локальні аварійні функції, наприклад запуск вентиляції чи подачу сигналізації. Комунікація з Arduino Cloud забезпечує можливість віддаленого контролю з будь-якої точки світу.

Перевагами запропонованої системи є її модульність, низька вартість, доступність компонентів, простота інтеграції та масштабованість. Завдяки використанню хмарної платформи забезпечено високий рівень зручності для користувача, а вибір малопотужних сенсорів і мікроконтролера сприяє енергоефективності.

Розроблена IoT-орієнтована інформаційно-вимірjuвальна система є ефективним рішенням для моніторингу та управління параметрами розумного будинку. Система забезпечує збір широкого спектра даних, інтеграцію з хмарними сервісами та можливість дистанційного керування у режимі реального часу.

УДК 57.087.1

Ю.Б. Паляниця, к.т.н.; М.Ю. Ковальчук

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

МЕТОД ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ЛІТАЮЧИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ЇХ АКУСТИЧНИМИ СИГНАТУРАМИ

Y.B. Paliyantsia PhD, M.Y. Kovalchuk

METHOD OF INTELLIGENT CLASSIFICATION OF FLYING OBJECTS BY THEIR ACOUSTIC SIGNATURES

Акустична класифікація літаючих об'єктів є актуальною задачею у контексті систем моніторингу повітряного простору. Основна мета дослідження полягає у

Додаток Б

Лістинг коду програми для мікроконтролера ESP32

```
#include "thingProperties.h"
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <DHT.h>
#include <BH1750.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <MQ2.h>
#include <Adafruit_NeoPixel.h>

// Піни та параметри
#define DHTPIN 5
#define DHTTYPE DHT22
#define GAS_PIN 35
#define HEATER_RELAY_PIN 14
#define FAN_RELAY_PIN 27
#define GAS_VALVE_RELAY_PIN 26
#define BUZZER_PIN 4
#define ALERT_LED_PIN 2
#define NEOPIXEL_PIN 15
#define NUM_PIXELS 16
// Об'єкти
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
BH1750 lightMeter;
MQ2 gasSensor(GAS_PIN);
Adafruit_SSD1306 display(128, 64, &Wire);
Adafruit_NeoPixel pixels(NUM_PIXELS, NEOPIXEL_PIN, NEO_GRB +
NEO_KHZ800);
unsigned long lastAlertToggle = 0;
bool alertState = false;

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

```

delay(1500);
// Arduino Cloud
initProperties();
ArduinoCloud.begin(ArduinoIOTPreferredConnection);
setDebugMessageLevel(2);
ArduinoCloud.printDebugInfo();
// Давачі
Wire.begin();
dht.begin();
lightMeter.begin(BH1750::CONTINUOUS_HIGH_RES_MODE);
gasSensor.begin();
// OLED
display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);
display.clearDisplay();
display.display();
// Relays
pinMode(HEATER_RELAY_PIN, OUTPUT);
pinMode(FAN_RELAY_PIN, OUTPUT);
pinMode(GAS_VALVE_RELAY_PIN, OUTPUT);
// Alerts
pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
pinMode(ALERT_LED_PIN, OUTPUT);
// NeoPixels
pixels.begin();
pixels.show(); // Вимкнути всі
}

void loop() {
    ArduinoCloud.update();

    readSensors();
    controlSystem();
    updateOLED();

    delay(500);
}

```

```

// SENSOR READING
void readSensors() {
    // Освітленість
    lightLevel = lightMeter.readLightLevel(); // lux
    // Температура + вологість
    temperature = dht.readTemperature();
    humidity = dht.readHumidity();
    // Газ і дим
    gasLevel = analogRead(GAS_PIN);
}

// AUTOMATIC CONTROL
void controlSystem() {
    // ----- 1. Автоматичне регулювання освітлення -----
    // Більша освітленість → менша яскравість світлодіодів
    int brightness = map(lightLevel, 0, 2000, 255, 0);
    brightness = constrain(brightness, 0, 255);
    setAllPixels(brightness, brightness, brightness);
    // ----- 2. Реле нагріву -----
    digitalWrite(HEATER_RELAY_PIN, heaterRelayState ? LOW : HIGH);
    // ----- 3. Реле вентиляції -----
    digitalWrite(FAN_RELAY_PIN, fanRelayState ? LOW : HIGH);
    // ----- 4. Сигналізація газу/диму -----
    bool danger = gasLevel > 2000;
    if (danger) {
        gasValveRelayState = true;
        digitalWrite(GAS_VALVE_RELAY_PIN, LOW);
        alertSignal();
    } else {
        gasValveRelayState = false;
        digitalWrite(GAS_VALVE_RELAY_PIN, HIGH);
        digitalWrite(ALERT_LED_PIN, LOW);
        digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
    }
}

```

```

// ALERT SIGNAL (LED + buzzer blinking)
void alertSignal() {
    unsigned long now = millis();
    if (now - lastAlertToggle > 300) {
        alertState = !alertState;
        digitalWrite(ALERT_LED_PIN, alertState);
        digitalWrite(BUZZER_PIN, alertState);
        lastAlertToggle = now;
    }
}

// OLED DISPLAY
void updateOLED() {
    display.clearDisplay();
    display.setTextSize(1);
    display.setTextColor(WHITE);
    display.setCursor(0,10);
    display.print("T: "); display.print(temperature); display.print("
C");
    display.setCursor(0,20);
    display.print("H: "); display.print(humidity); display.print("
%");
    display.setCursor(0,30);
    display.print("Light: "); display.print(lightLevel);
display.print(" lx");
    display.setCursor(0,40);
    display.print("Gas: "); display.print(gasLevel);
    display.display();
}

// SET ALL NEOPIXELS
void setAllPixels(uint8_t r, uint8_t g, uint8_t b) {
    for (int i = 0; i < NUM_PIXELS; i++) {
        pixels.setPixelColor(i, pixels.Color(r, g, b));
    }
}

```

```
    pixels.show();  
}  
  
// CLOUD CALLBACKS  
void onHeaterRelayStateChange() {  
    digitalWrite(HEATER_RELAY_PIN, heaterRelayState ? LOW : HIGH);  
}  
void onFanRelayStateChange() {  
    digitalWrite(FAN_RELAY_PIN, fanRelayState ? LOW : HIGH);  
}  
void onGasValveRelayStateChange() {  
    digitalWrite(GAS_VALVE_RELAY_PIN, gasValveRelayState ? LOW :  
HIGH);  
}
```