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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Система автоматичного керування мікрокліматом у розумному будинку»

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

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

_____ *Валентина ШВЕДУН*
(підпис) *Ім'я, ПРІЗВИЩЕ здобувача*

Виконав: здобувач вищої освіти гр. КІД-41
Валентина ШВЕДУН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
Керівник: Віталій ВОЛОХІН
науковий ступінь, вчене звання Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
Рецензент: _____
науковий ступінь, вчене звання Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Київ 2026

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій

Кафедра 123 Комп'ютерної інженерії
Ступінь вищої освіти бакалавр
Спеціальність 123 Комп'ютерної інженерії
Освітньо-професійна програма Комп'ютерна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Комп'ютерної інженерії
_____ Наталія ЛАЩЕВСЬКА
_____
«_____» _____ 2026р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Шведун Валентина Олексіївна
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Система автоматичного керування мікрокліматом у розумному будинку
керівник кваліфікаційної роботи Віталій ВОЛОХІН, к.т.н, доцент ,
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від «20» лютого 2026р. № 51
2. Строк подання кваліфікаційної роботи «5» червня 2026р.
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: науково-технічна література; протоколи передачі даних IoT: TCP/IP, MQTT, CoAP, HTTP; технології бездротового зв'язку: Wi-Fi, Zigbee, Bluetooth; мережеве обладнання: Home Gateway, DHCP-сервер, Registration Server; сенсори для вимірювання параметрів мікроклімату: датчики температури та вологості (DHT11/DS18B20), датчики рівня CO2 (MQ-135/CCS811); виконавчі пристрої: обігрівачі (Furnace/Heater), кондиціонери (Air Conditioner), зволожувачі (Humidifier), вентилятори (Window Fan); середовище моделювання: Cisco Packet Tracer, Python, Blockly..
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
1) Аналіз предметної області та сучасних систем «розумного будинку». Огляд рішень для керування мікрокліматом
2) Проектування апаратної та мережевої інфраструктури системи: вибір сенсорів, контролерів та виконавчих пристроїв
3) Програмна реалізація, розробка алгоритму керування мікрокліматом та моделювання системи в Cisco Packet Tracer
5. Перелік ілюстративного матеріалу: *презентація*
6. Дата видачі завдання «24» лютого 2026р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір даних	11.02-22.03.2026	Виконано
2	Обробка матеріалу	23.03-05.04.2026	Виконано
3	Розробка теоретичної частини	06.04-10.04.2026	Виконано
4	Розробка моделі мережі	11.04-25.04.2026	Виконано
5	Висновки за результатами аналізу	26.04-28.04.2026	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	29.04-30.04.2026	Виконано
7	Розробка презентації	01.05-03.05.2026	Виконано
8	Передзахист	04.05-07.05.2026	Виконано
9	Здача в деканат	08.05.2026	Виконано

Здобувач вищої освіти _____ Валентина ШВЕДУН
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Віталій ВОЛОХІН
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОБУДОВИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ 13

1.1 Дослідження концепції «розумного будинку» та ролі підсистеми мікроклімату 13

1.2 Основні параметри мікроклімату та їх вплив на життєдіяльність людини 17

1.3 Огляд існуючих рішень та технологій у сфері IoT-автоматизації 21

1.4 Постановка задачі на розробку системи 24

РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ 27

2.1 Архітектура та структурна схема системи керування мікрокліматом 27

2.2 Вибір та характеристика сенсорного обладнання 29

2.3 Вибір та характеристика виконавчих пристроїв 32

2.4 Мережева інфраструктура та інтерфейс управління 35

РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ВЕРИФІКАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ 39

3.1. Структурна організація програмного забезпечення та специфікація ключових методів 39

3.2. Опис функціонування алгоритмів та користувацького інтерфейсу ... 42

3.3. Тестування та верифікація роботи системи 45

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 51

Додаток А 55

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня бакалавра: стор. 53, рис. 8, 23 джерел.

Мета роботи – Розробка та імітаційне моделювання інтелектуальної системи керування мікрокліматом «розумного будинку» на базі технологій Інтернету речей (IoT).

Об'єкт дослідження – Процеси моніторингу та автоматичного керування параметрами мікроклімату в житлових приміщеннях.

Предмет дослідження – Апаратно-програмні засоби та алгоритми функціонування системи мікроклімату в середовищі Інтернету речей.

Короткий зміст роботи: Існуючі системи клімат-контролю в житлових приміщеннях найчастіше працюють ізольовано і зосереджені переважно на регулюванні лише температурного режиму. Проте для забезпечення повноцінного комфорту, працездатності та дотримання санітарно-гігієнічних норм необхідно комплексно контролювати температуру, відносну вологість та рівень вуглекислого газу. Відсутність централізованого управління призводить до перевитрати електроенергії та конфліктів у роботі кліматичної техніки. Вирішення цієї проблеми досягається впровадженням технологій Інтернету

речей (IoT), що дозволяють об'єднати різноманітні бездротові датчики та виконавчі пристрої (кондиціонер, обігрівач, зволожувач, розумне вікно, вентилятор) у єдину мережу під управлінням домашнього шлюзу. Така система забезпечує миттєве та автоматичне реагування на зміни середовища. Проте для надійної роботи інтелектуальної системи необхідно розробити безконфліктні алгоритми керування з використанням гістерезису, щоб уникнути швидкого зносу обладнання через постійні перемикання.

На основі проведеного дослідження було розроблено архітектуру системи мікроклімату, створено логічні сценарії автоматизації температурного режиму, контролю вологості та примусового провітрювання при критичному рівні CO2. Працездатність та ефективність запропонованих алгоритмів було успішно протестовано та верифіковано шляхом імітаційного моделювання у спеціалізованому програмному середовищі Cisco Packet Tracer.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ, РОЗУМНИЙ БУДИНОК, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, IOT, CISCO PACKET TRACER, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ДАТЧИК CO2, ДАТЧИК ВОЛОГОСТІ, ГІСТЕРЕЗИС.

ABSTRACT

The qualification bachelor thesis consists of 53 pages, 8 figures, and 23 references.

The purpose of the work is to develop and simulate an intelligent indoor climate control system for a smart home based on Internet of Things (IoT) technologies.

The object of research is the processes of monitoring and automatic control of indoor microclimate parameters in residential premises.

The subject of research is the hardware and software components, as well as the operating algorithms of an IoT-based indoor climate control system.

Brief summary of the work: Existing climate control systems in residential buildings usually operate independently and are mainly focused only on temperature regulation. However, ensuring a comfortable and healthy indoor environment requires comprehensive control of temperature, relative humidity, and air quality, particularly carbon dioxide (CO2) concentration. The lack of centralized control often leads to inefficient operation of climate equipment and excessive energy consumption. This problem can be solved through the implementation of Internet of Things technologies, which enable the integration of wireless sensors and actuators, including air conditioners, heaters, humidifiers, smart windows, and ventilation systems, into a single intelligent network managed by a home gateway. Such a system provides real-time monitoring and automatic response to environmental changes.

To ensure reliable operation of the intelligent climate control system, conflict-free control algorithms with hysteresis mechanisms were developed in order to prevent frequent switching of equipment and reduce unnecessary energy consumption. Based on the conducted research, the architecture of the climate control system was designed, and logical automation scenarios for temperature regulation,

humidity control, and forced ventilation at critical CO2 levels were implemented. The functionality and efficiency of the proposed algorithms were successfully tested and verified through simulation modeling in the Cisco Packet Tracer environment.

KEYWORDS: INDOOR CLIMATE CONTROL SYSTEM, SMART HOME, INTERNET OF THINGS, IOT, CISCO PACKET TRACER, AUTOMATION, CO2 SENSOR, HUMIDITY SENSOR, HYSTERESIS.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

IoT — Internet of Things, Інтернет речей

CO2 — вуглекислий газ

DHCP — Dynamic Host Configuration Protocol, протокол автоматичної видачі IP-адрес

Wi-Fi — технологія бездротової передачі даних

TCP/IP — Transmission Control Protocol / Internet Protocol

MQTT — Message Queuing Telemetry Transport

HTTP — HyperText Transfer Protocol

MCU — Microcontroller Unit, мікроконтролер

GPIO — General Purpose Input/Output

NDIR — Non-Dispersive Infrared, недисперсійний інфрачервоний метод вимірювання газів

ESP32 — мікроконтролер із підтримкою Wi-Fi та Bluetooth

WPA2-PSK — Wi-Fi Protected Access 2 Pre-Shared Key

IP — Internet Protocol

GUI — Graphical User Interface, графічний інтерфейс користувача

SBC — Single Board Computer, одноплатний комп’ютер

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні системи керування мікрокліматом у житлових приміщеннях є важливою складовою концепції «розумного будинку», оскільки забезпечують комфортні та безпечні умови перебування людини. Традиційні підходи до керування опаленням, вентиляцією та кондиціюванням часто працюють ізольовано, що призводить до неефективного використання енергоресурсів та відсутності комплексного контролю параметрів внутрішнього середовища. В умовах зростання вимог до енергоефективності та автоматизації житлової інфраструктури в Україні розробка інтелектуальних IoT-систем, здатних у реальному часі контролювати температуру, вологість і концентрацію CO2, є актуальним і перспективним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання автоматизації систем мікроклімату активно досліджуються у сфері Інтернету речей та технологій «розумного будинку». Значна увага приділяється розробці бездротових сенсорних мереж, систем моніторингу параметрів середовища та алгоритмів автоматичного керування кліматичним обладнанням. Проте більшість існуючих рішень орієнтовані лише на окремі параметри мікроклімату або не враховують проблему узгодженої роботи виконавчих пристроїв. Недостатньо дослідженими залишаються питання комплексного автоматизованого керування температурою, вологістю та рівнем CO2 із використанням алгоритмів гістерезису для запобігання частим перемиканням обладнання, чому і присвячена дана кваліфікаційна робота.

Метою роботи є розробка та моделювання інтелектуальної системи автоматичного керування мікрокліматом у приміщенні на базі технологій Інтернету речей.

В процесі дослідження вирішувалися наступні завдання:

- Проаналізувати сучасні системи керування мікрокліматом у складі концепції «розумного будинку».
- Дослідити параметри мікроклімату, що підлягають автоматизованому контролю.
- Обґрунтувати вибір архітектури системи, сенсорного обладнання та виконавчих пристроїв.
- Розробити алгоритми функціонування системи в середовищі Cisco Packet Tracer.
- Реалізувати та протестувати модель системи в різних режимах роботи.

Об'єктом дослідження є процес автоматизованого керування параметрами мікроклімату в житлових приміщеннях.

Предмет дослідження – методи, алгоритми та програмно-апаратні засоби побудови IoT-систем керування мікрокліматом.

Методи дослідження. У роботі використано методи системного аналізу для дослідження архітектури систем «розумного будинку», методи логічного та алгоритмічного проєктування для створення сценаріїв автоматизації, а також методи імітаційного моделювання в середовищі Cisco Packet Tracer для перевірки працездатності системи.

Наукова новизна. У роботі розроблено комплексну модель IoT-системи керування мікрокліматом, яка поєднує автоматичний контроль температури,

вологості та концентрації CO2 із використанням алгоритмів гістерезису для підвищення стабільності роботи та зменшення енергоспоживання.

Практична значущість отриманих результатів. Розроблена система може бути використана як навчальний, дослідницький або прикладний прототип для подальшого впровадження у сучасних системах «розумного будинку». Запропоновані алгоритми автоматизації дозволяють підвищити комфорт користувачів, оптимізувати роботу кліматичного обладнання та зменшити надлишкові витрати електроенергії.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОБУДОВИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ

1.1 Дослідження концепції «розумного будинку» та ролі підсистеми мікроклімату

Концепція «розумного будинку» (Smart Home) являє собою високотехнологічну парадигму організації житлового та робочого простору, що об'єднує різноманітні комунікації, інженерні мережі, пристрої та побутову техніку в єдину інформаційно-керуючу інфраструктуру. Еволюція цієї концепції розпочалася з простих систем дротової диспетчеризації будівель, проте справжній прорив відбувся завдяки мініатюризації обчислювальних модулів та розвитку бездротових технологій. Сучасний розумний будинок — це не просто набір пультів дистанційного керування, а інтелектуальне середовище, здатне самостійно приймати рішення на основі безперервного аналізу даних. Головною метою такої інтеграції є забезпечення безпрецедентного рівня безпеки, оптимізації споживання ресурсів та створення максимального повсякденного комфорту для користувачів без необхідності їхнього постійного ручного втручання в налаштування приладів [1].

Фундаментом для розбудови таких комплексів є технологія Інтернету речей (Internet of Things, IoT). Вона дозволяє фізичним об'єктам збирати телеметрію, обмінюватися даними між собою та з центральними вузлами обробки через локальні або глобальні мережі. Архітектура IoT у контексті розумного будинку традиційно поділяється на три рівні: рівень сприйняття (сенсори та датчики), рівень передачі даних (комунікаційні протоколи та шлюзи)

і рівень застосунків (логічні контролери, хмарні сервіси та інтерфейси користувача). Завдяки здешевленню мікропроцесорної техніки, сучасні розумні будинки стрімко еволюціонують від експериментальних розробок для ентузіастів до масового галузевого стандарту в архітектурі та будівництві (схематично базову архітектуру наведено на рис. 1.1) [2].

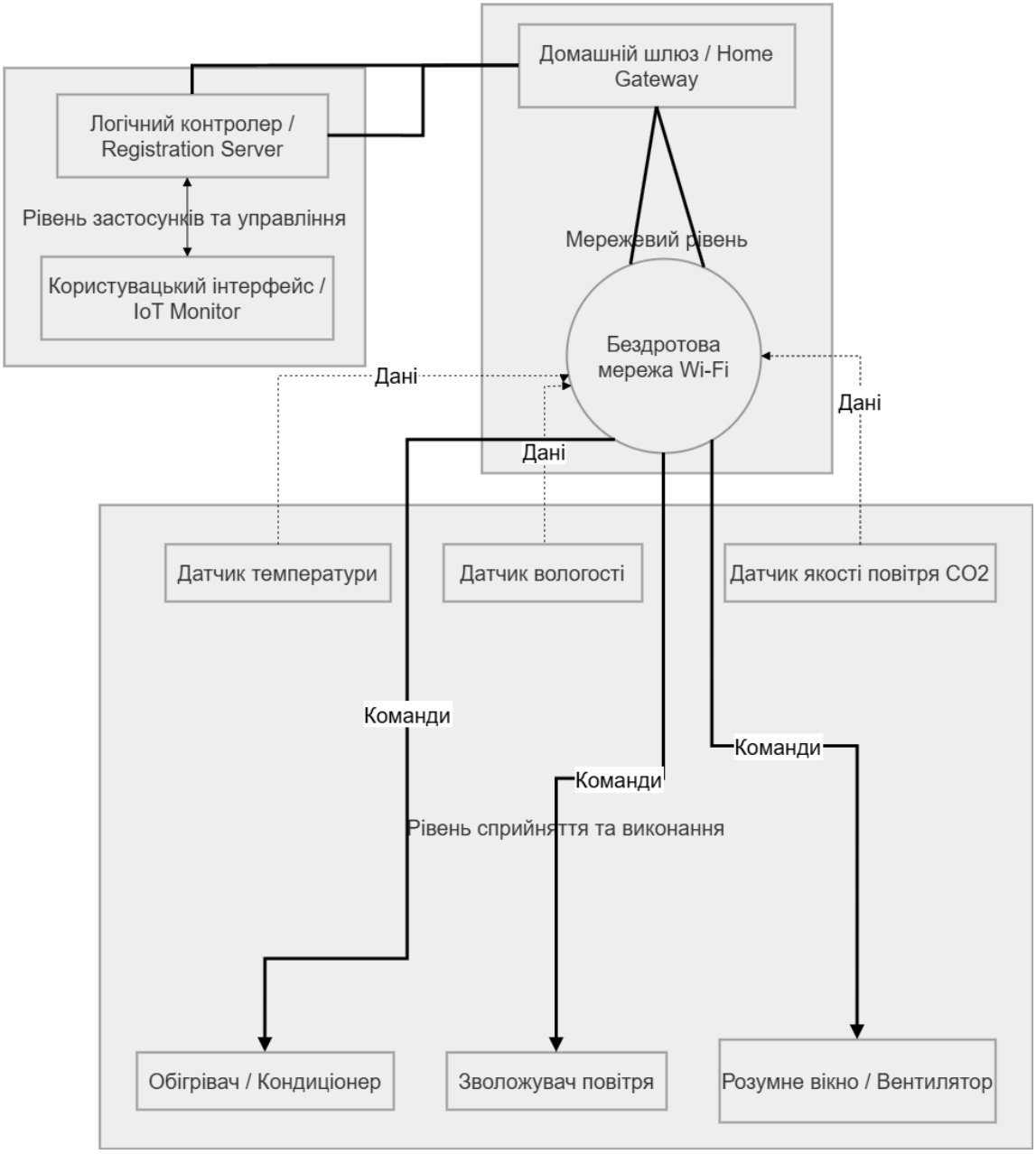


Рис. 1.1. Базова архітектура Інтернету речей (IoT) у розумному будинку

Серед усіх підсистем, що входять до складу розумного будинку — таких як освітлення, охоронна сигналізація, контроль доступу, мультимедіа та енергоменеджмент, — підсистема керування мікрокліматом відіграє найбільш критичну роль. Це пояснюється тим, що вона має безпосередній, постійний і найбільш відчутний вплив на здоров'я, самопочуття та фізіологічний комфорт людини. За статистикою, сучасна людина проводить у закритих приміщеннях близько 90% свого часу. Тому параметри внутрішнього повітряного середовища є факторами першочергової важливості, які визначають не лише комфорт, а й продуктивність праці та загальний стан імунної системи [3].

Одним із головних рушіїв впровадження систем розумного мікроклімату є концепція енергоефективності. В умовах постійного зростання вартості енергоносіїв оптимізація витрат на опалення та кондиціонування стає економічною необхідністю. Традиційні системи працюють за принципом постійного підтримання заданих параметрів, незалежно від того, чи присутні люди в приміщенні, та без урахування зовнішніх погодних умов. Натомість інтелектуальні системи здатні переводити обладнання в еко-режими за відсутності мешканців, а також використовувати природні фактори (наприклад, відкриття вікна замість увімкнення кондиціонера, якщо на вулиці прохолодно), що дозволяє знизити енергоспоживання будівель на 30-40% [4].

Економічні переваги інтелектуального клімат-контролю також роблять розумний будинок інноваційним та високоліквідним продуктом на ринку нерухомості. Інтеграція таких систем на етапі проектування та будівництва значно підвищує інвестиційну привабливість житла. Покупці нерухомості все частіше розглядають наявність базової інфраструктури розумного будинку як стандартну вимогу, а не як предмети розкоші. Здатність системи автоматично формувати звіти про енергоспоживання та оптимізувати витрати робить її

привабливою як для приватних власників, так і для компаній, що управляють комерційною нерухомістю [5].

На відміну від систем освітлення, якими можна керувати миттєво, процеси терморегуляції, зволоження та повітрообміну є надзвичайно інертними. Вони потребують значного часу на зміну фізичного стану великого об'єму повітря. Відповідно, ефективна підсистема мікроклімату не може працювати виключно реактивно (реагуючи на вже існуючий дискомфорт). Вона має працювати на випередження, аналізуючи динаміку змін середовища, враховуючи теплоємність стін, площу приміщення та навіть прогнози погоди. Це вимагає застосування складних математичних моделей і алгоритмів прогнозування в роботі центрального контролера [6,7].

Процес створення ефективної системи вимагає переходу від ізольованих кліматичних приладів до інтегрованих інтелектуальних рішень. Традиційні автономні прилади не мають механізмів координації. Наприклад, класична ситуація: термостат обігрівача фіксує падіння температури і вмикає нагрів, у той час як мешканець відкрив вікно для провітрювання. Це призводить до марнотратного розсіювання теплової енергії. Лише шляхом об'єднання пристроїв через єдиний шлюз можна досягти синергії, коли дії одного приладу не суперечать роботі іншого, а доповнюють її [8].

Підсумовуючи дослідження концепції, можна стверджувати, що підсистема мікроклімату є центральним ядром будь-якого сучасного розумного будинку. Її проектування вимагає комплексного підходу, який поєднує глибоке розуміння фізики тепломасообміну, принципів побудови IoT-мереж та розробки програмних алгоритмів. Лише за умови злагодженої взаємодії всіх датчиків і виконавчих механізмів під єдиним централізованим керуванням можливо створити середовище, що повністю відповідатиме сучасним стандартам комфорту, безпеки та енергоефективності [9].

1.2 Основні параметри мікроклімату та їх вплив на життєдіяльність людини

Мікроклімат приміщення визначається комплексом фізичних та хімічних параметрів внутрішнього повітряного середовища, які безпосередньо впливають на тепловий обмін організму людини та її загальний фізіологічний стан. Згідно з діючими санітарно-гігієнічними нормами, до основних показників, що підлягають обов'язковому контролю, належать температура, відносна вологість, швидкість руху повітря та його газовий склад. Підтримання цих параметрів у вузьких межах норми є критично важливим для забезпечення оптимальних умов життєдіяльності. Відхилення навіть одного з показників від норми здатне порушити загальний комфорт, знівелювавши нормальні значення інших параметрів (основні параметри та механізми їх контролю узагальнено на рис. 1.2) [10].

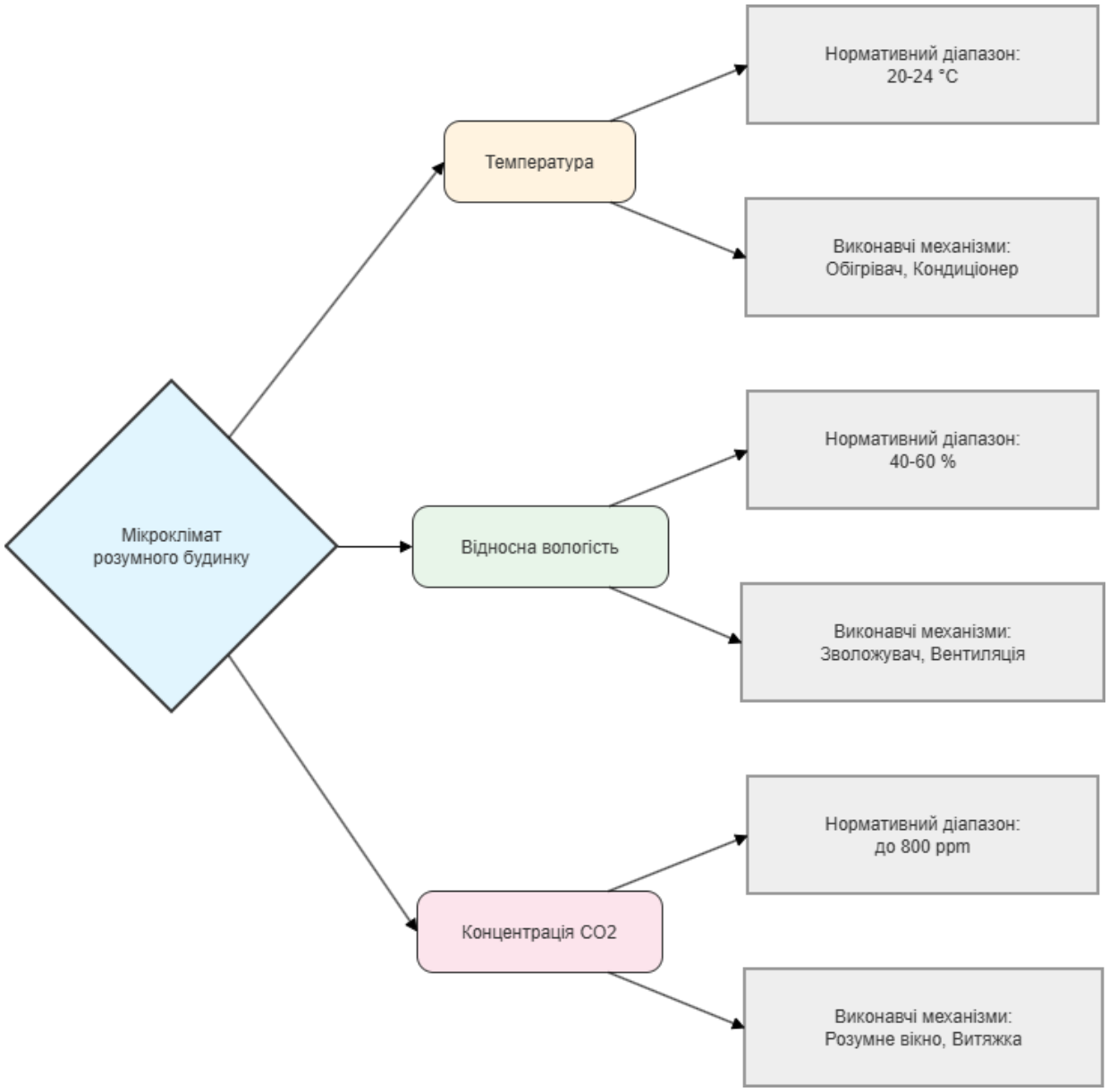


Рис. 1.2. Основні параметри мікроклімату та виконавчі механізми для їх контролю

Базовим та найбільш відчутним індикатором мікроклімату є температура повітря. Оптимальний тепловий режим для житлових кімнат залежить від сезону і традиційно становить 20–22 °C у зимовий період (опалювальний сезон) та 22–24 °C у літній період. Ці значення зумовлені фізіологічними механізмами терморегуляції людини, яка постійно віддає тепло в навколишнє середовище.

Зниження температури нижче комфортного рівня змушує організм витрачати додаткову енергію на обігрів внутрішніх органів, що призводить до звуження судин, переохолодження кінцівок та підвищення ризику розвитку гострих респіраторних захворювань [11].

З іншого боку, надмірне підвищення температури у приміщенні має не менш згубні наслідки. В умовах перегріву організм намагається охолодитися шляхом інтенсивного потовиділення, що призводить до зневоднення та порушення водно-сольового балансу. Тривале перебування у спекотному приміщенні викликає швидку втому, зниження когнітивних здібностей, погіршення концентрації уваги та створює значне додаткове навантаження на серцево-судинну систему. Саме тому управління температурним режимом за допомогою обігрівачів та кондиціонерів є першим і найголовнішим завданням будь-якої кліматичної системи [13].

Другим критично важливим параметром, який безпосередньо впливає на сприйняття температури та здоров'я людини, є відносна вологість повітря. Цей показник визначає відсоткове співвідношення фактичної кількості водяної пари в повітрі до максимально можливої при даній температурі. Нормативний, фізіологічно обґрунтований діапазон вологості для житлового середовища становить від 40% до 60%. Цей рівень забезпечує нормальне функціонування дихальної системи, підтримує природний захисний бар'єр шкіри та слизових оболонок, а також оптимізує процеси теплообміну організму [14].

У зимовий період, під час активної роботи систем центрального або автономного опалення, відносна вологість у приміщеннях часто катастрофічно падає, досягаючи позначок у 20-30%. Таке сухе повітря провокує пересихання слизових оболонок очей, носоглотки та дихальних шляхів. Це не лише викликає відчуття дискомфорту та «піску в очах», але й суттєво знижує місцевий імунітет, роблячи організм вкрай вразливим до респіраторних вірусних інфекцій та

алергенів. Управління цим станом вимагає обов'язкової інтеграції автоматичних зволожувачів повітря у загальну систему мікроклімату [11].

Протилежна проблема виникає при надмірно високій вологості (понад 70%), що часто спостерігається в енергоефективних будинках із герметичними металопластиковими вікнами та слабкою вентиляцією. Висока вологість, особливо в комбінації з високою температурою, створює ідеальне середовище для розмноження патогенної мікрофлори, пліснявих грибків та пилових кліщів. Ці біологічні агенти є потужними алергенами та тригерами астматичних нападів. Зниження рівня вологості досягається переважно шляхом примусового повітрообміну — активації витяжних вентиляторів або автоматичного відкриття вікон [6].

Третім найважливішим параметром, що безпосередньо визначає поняття «якості повітря», є концентрація вуглекислого газу (CO_2). Оскільки людина в процесі дихання постійно споживає кисень і виділяє CO_2, у закритих приміщеннях без адекватної вентиляції його рівень стрімко зростає. При нормальній атмосферній концентрації вуглекислого газу на вулиці близько 400 ppm, перебування кількох людей у кімнаті може підняти цей показник до 1000 ppm і вище лише за кілька годин. Перевищення порогу у 800–1000 ppm фізіологічно відчувається як «задуха» і призводить до гіпоксії мозку [12].

Зростання рівня вуглекислого газу викликає комплекс негативних симптомів: важкість у голові, сонливість, зниження працездатності, головний біль та загальну млявість. Боротьба з надлишком CO_2 концептуально відрізняється від управління температурою чи вологістю, оскільки цей газ неможливо відфільтрувати звичайними побутовими очищувачами. Єдиним інженерним рішенням є забезпечення припливу свіжого зовнішнього повітря. З огляду на це, сучасна система мікроклімату повинна строго враховувати цей

параметр і містити алгоритми пріоритетного провітрювання приміщення при досягненні критичних концентрацій CO2 [14].

1.3 Огляд існуючих рішень та технологій у сфері IoT-автоматизації

Сучасний ринок систем автоматизації мікроклімату пропонує широкий спектр рішень, які варіюються від простих побутових таймерів до складних хмарних IoT-платформ. Історично першими з'явилися програмовані термостати, які дозволяли задавати розклад роботи опалення. Однак справжня революція у цій сфері відбулася з появою пристроїв класу Smart Thermostat, найбільш відомими представниками яких є продукти компаній Nest (Google) та Ecobee. Вони здатні вивчати звички користувачів, відстежувати їхню присутність за допомогою датчиків руху та геолокації смартфонів, автоматично адаптуючи температурний режим. Незважаючи на їхню ефективність, більшість таких комерційних рішень залишаються вузькоспеціалізованими і фокусуються майже виключно на температурному контролі [16].

Головним недоліком розрізнених смарт-пристроїв від різних виробників є відсутність єдиної екосистеми. На практиці це призводить до того, що користувач змушений встановлювати окремі мобільні додатки для управління кондиціонером, зволожувачем та розумним вентилятором. Ще гірше те, що ці прилади не можуть обмінюватися даними між собою. Наприклад, робота кондиціонера сильно висушує повітря, але він не може надіслати команду зволожувачу увімкнутися. Подолання цієї фрагментації є головним завданням сучасних комплексних IoT-систем, які об'єднують все обладнання під управлінням єдиного контролера — домашнього шлюзу (Home Gateway) [15].

Технологічною основою для об'єднання пристроїв є стандартизовані протоколи зв'язку. У сфері Інтернету речей найширшого поширення набули бездротові технології, такі як Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave та Bluetooth Low Energy (BLE). Wi-Fi забезпечує високу пропускну здатність та пряму інтеграцію з домашнім роутером, що робить його ідеальним для живлення від електромережі пристроїв. Для обміну телеметричними даними поверх мережевого рівня традиційно використовуються легковісні прикладні протоколи, серед яких безумовним лідером є MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). Він працює за принципом «видавець-підписник» і ідеально підходить для пристроїв з обмеженими обчислювальними ресурсами [17].

На рівні апаратної реалізації, розробка та прототипування IoT-вузлів базується на використанні доступних мікроконтролерних платформ. Найпопулярнішими серед них є сімейства Arduino та чипи від компанії Espressif (ESP8266, ESP32). Останні здобули колосальну популярність завдяки вбудованим модулям Wi-Fi/Bluetooth, низькому енергоспоживанню та достатній обчислювальній потужності для шифрування трафіку. Як центральні вузли (шлюзи) або локальні сервери часто використовуються одноплатні комп'ютери типу Raspberry Pi, на яких розгортаються потужні програмні хаби на кшталт Home Assistant або Node-RED [19].

Серйозною інженерною проблемою при розробці програмної логіки кліматичних систем є так званий «ефект брязкальця» або осциляція. Якщо алгоритм керування налаштований жорстко (наприклад, включити обігрів при температурі нижче 20 °C і вимкнути рівно при 20 °C), то найменша флуктуація показань датчика спричинить безперервне вмикання і вимикання потужного реле. Це призводить до акустичного дискомфорту, перенапруги в електромережі та швидкого зносу механічних компонентів обладнання. Вирішенням цієї проблеми є обов'язкова імплементація логічного гістерезису — рознесення

порогів спрацювання і відключення на певний діапазон (наприклад, увімкнути при 19 °C, вимкнути при 21 °C) [18].

Архітектурно системи керування мікрокліматом можуть бути децентралізованими або централізованими. У децентралізованих системах логіка прийняття рішень закладена в самі датчики та актуатори, які спілкуються між собою безпосередньо. Однак для створення складних сценаріїв, що враховують безліч змінних, доцільнішою є централізована модель. У ній усі кінцеві пристрої (датчики температури, вологості, CO2) виконують лише функцію збору даних, відправляючи їх на Home Gateway. Саме на цьому центральному вузлі працює головний скрипт, який аналізує загальну картину і віддає команди виконавчим механізмам, запобігаючи логічним конфліктам [22].

Враховуючи високу вартість фізичного кліматичного обладнання, ризики пошкодження електромережі при помилках у коді та складність масштабування тестових стендів, сучасне проектування не обходиться без імітаційного моделювання. Одним із найпотужніших інструментів для розробки IoT-рішень є програмний комплекс Cisco Packet Tracer. Початково створений для вивчення комп'ютерних мереж, у нових версіях він отримав повноцінний модуль Інтернету речей, що дозволяє інженерам створювати складні топології, які об'єднують класичне мережеве обладнання та IoT-сенсори в єдиному віртуальному просторі [21].

Можливості Cisco Packet Tracer дозволяють детально симулювати фізичні процеси. Середовище містить готові моделі розумних вікон, вентиляторів, обігрівачів та кондиціонерів. Важливою особливістю є здатність середовища імітувати зміну параметрів навколишнього простору (температури, вологості, рівня CO2) під впливом роботи цих віртуальних приладів. Крім того, Packet Tracer дозволяє писати реальні скрипти мовою Python для мікроконтролерів (MCU) та одноплатних комп'ютерів (SBC), налаштовувати IoT Monitor для

графічного відображення даних і верифікувати мережевий трафік на рівні протоколів, що робить його ідеальним середовищем для розробки та тестування нашої системи [23].

1.4 Постановка задачі на розробку системи

Проведений аналіз предметної області яскраво демонструє, що попри наявність на ринку великої кількості компонентів розумного будинку, проблема створення комплексної, узгодженої та доступної системи керування мікрокліматом залишається відкритою. Більшість існуючих рішень страждають від надмірної фрагментації, закритості протоколів та відсутності єдиного центру прийняття рішень. Традиційні системи клімат-контролю не здатні одночасно обробляти мультимодальні дані (температуру, вологість і якість повітря), що часто призводить до конфліктів у роботі обладнання та нераціонального використання енергоресурсів [24].

Виходячи з виявлених недоліків та актуальних потреб сучасного житлового будівництва, головною метою даної кваліфікаційної роботи є розробка, програмування та імітаційне моделювання інтелектуальної IoT-системи керування мікрокліматом. Робота має довести принципову можливість створення єдиної інфраструктури, яка автоматично підтримуватиме оптимальні санітарно-гігієнічні умови в приміщенні без втручання користувача. Проект повинен охопити всі стадії інженерної розробки: від вибору мережевої топології та апаратної бази до написання програмних алгоритмів та їх візуального тестування [2].

З функціональної точки зору, першочерговим завданням є організація безперервного моніторингу трьох ключових фізико-хімічних параметрів

середовища. Система повинна бути оснащена віртуальними аналогами датчиків, які з високою точністю фіксуватимуть поточну температуру повітря, рівень відносної вологості та концентрацію вуглекислого газу (CO2). Ці датчики повинні мати можливість бездротової передачі телеметрії на центральний шлюз. Обробка цих трьох показників у комплексі дозволить створити об'єктивну картину стану мікроклімату, недоступну для найпростіших термостатів [10].

Для забезпечення можливості активного впливу на середовище, до системи має бути інтегрований повний набір виконавчих механізмів (актуаторів). Відповідно до визначених параметрів контролю, завдання передбачає налаштування віртуальних моделей наступних пристроїв: нагрівального елемента (обігрівача), охолоджувальної установки (кондиціонера), зволожувача повітря, моторизованого розумного вікна (Smart Window) та витяжного вентилятора. Кожен із цих пристроїв має бути підключений до спільної мережі та беззаперечно виконувати команди центрального контролера [11].

Найскладнішим етапом у рамках поставленої задачі є розробка керуючого програмного забезпечення (скриптів алгоритмів). Алгоритми повинні базуватися на принципах логічних умов «if-else» та гарантувати уникнення конфліктів (наприклад, блокування одночасної роботи обігрівача і кондиціонера). Обов'язковою вимогою до програмного коду є реалізація механізму гістерезису для всіх параметрів. Це дозволить задати широкі зони комфорту (наприклад, від 20 до 25 градусів для температури), запобігаючи виникненню «ефекту брязкальця» та гарантуючи стабільну роботу обладнання [10,11].

Для реалізації практичної частини роботи обрано середовище імітаційного моделювання Cisco Packet Tracer. Завдання передбачає побудову в цьому середовищі топології типу «зірка», центром якої виступатиме багатофункціональний Home Gateway. Він одночасно виконуватиме роль Wi-Fi маршрутизатора, DHCP-сервера для роздачі IP-адрес кінцевим пристроям, а

також IoT-реєстратора (Registration Server), до якого підключатимуться всі сенсори та актуатори. Така архітектура повністю відповідає сучасним стандартам розгортання локальних мереж розумного будинку [23].

Результатом виконання поставлених завдань має стати повністю працездатна комп'ютерна модель, яка реалістично імітує поведінку розумної кімнати. Модель повинна мати графічний інтерфейс (IoT Monitor), через який користувач зможе в реальному часі спостерігати за показниками датчиків та станом приладів. Успішність розробки верифікуватиметься шляхом штучної зміни екологічних змінних у середовищі симулятора та спостереження за адекватною, швидкою та алгоритмічно правильною реакцією системи на ці зміни [13].

Успішне вирішення поставленої задачі матиме значну науково-практичну цінність. Створена віртуальна модель, написані Python-скрипти та відпрацьовані логічні правила можуть бути використані як готовий інженерний концепт. У майбутньому, за умови заміни віртуальних компонентів Packet Tracer на фізичні пристрої (ESP32, датчики DHT11, MQ-135 та реальні реле), розроблена система зможе бути легко перенесена у фізичний світ для управління реальним житловим чи офісним приміщенням. Отже, перший розділ окреслив теоретичне підґрунтя, що дозволяє перейти безпосередньо до архітектурного та алгоритмічного проектування системи в наступних розділах роботи [8].

РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ

2.1 Архітектура та структурна схема системи керування мікрокліматом

Побудова будь-якої комплексної системи Інтернету речей розпочинається з концептуального проектування її архітектури. Враховуючи вимоги до систем керування мікрокліматом, які були сформульовані у попередньому розділі, за основу розробки було обрано централізовану архітектуру. В такій архітектурі всі сенсорні вузли, що збирають інформацію з навколишнього середовища, позбавлені складної самостійної обчислювальної логіки. Вони виконують виключно функції реєстрації фізичних величин та їхньої передачі на єдиний координаційний центр. Такий підхід значно здешевлює кінцеві пристрої, знижує їхнє енергоспоживання та спрощує подальше масштабування системи шляхом додавання нових датчиків без необхідності перепрограмування всієї мережі [22].

Центральним елементом розробленої архітектури виступає багатофункціональний мережевий шлюз (Home Gateway). У контексті розумного будинку цей пристрій акумулює в собі відразу три критично важливі ролі. По-перше, він працює як класичний Wi-Fi маршрутизатор, створюючи локальну бездротову мережу. По-друге, він виконує функції DHCP-сервера, автоматично роздаючи IP-адреси всім підключеним пристроям. По-третє, він містить вбудований Registration Server (сервер реєстрації IoT), який безпосередньо приймає телеметрію та генерує керуючі команди, зв'язуючи фізичний рівень датчиків із прикладним програмним забезпеченням [2].

З точки зору фізичної організації мережі була обрана топологія «зірка» (Star Topology). У цій топології кожен клієнтський пристрій має пряме і незалежне логічне з'єднання з центральним шлюзом. На відміну від mesh-мереж, де дані можуть передаватися транзитом через сусідні вузли, топологія «зірка» гарантує мінімальну затримку (latency) при передачі критичних команд. Це життєво необхідно для систем безпеки та мікроклімату, де реакція на різке зростання концентрації вуглекислого газу має бути миттєвою. Крім того, вихід з ладу одного з вузлів ніяк не впливає на працездатність сусідніх сегментів [28].

Для забезпечення інформаційної безпеки системи, що є обов'язковим критерієм сучасного проектування, архітектура передбачає використання протоколів шифрування на рівні бездротового доступу. Віртуальний шлюз конфігурується з використанням стандарту WPA2-PSK. Це виключає можливість несанкціонованого підключення до домашньої мережі або зловмисного перехоплення команд управління обігрівачами чи замками вікон. Хоча в рамках імітаційної моделі Packet Tracer загрози є віртуальними, дотримання таких практик є обов'язковим для підготовки концепту до впровадження у реальних фізичних об'єктах [30].

Структурна схема також передбачає чіткий поділ логіки керування на три пріоритетні рівні. Найвищий пріоритет у системі віддано алгоритмам контролю якості повітря (CO2). Оскільки надмірна концентрація вуглекислого газу несе пряму загрозу самопочуттю, алгоритм налаштований так: при досягненні критичної позначки система примусово ігнорує завдання з терморегуляції, вимикаючи кондиціонери, та ініціює активне провітрювання приміщення через розумні вікна. Лише після нормалізації рівня кисню система повертається до виконання рутинних завдань з обігріву чи охолодження [13].

На другому рівні структурної логіки лежить температурне керування із обов'язковим застосуванням алгоритму гістерезису. Гістерезис створює так звану

«мертву зону» між порогами увімкнення та вимкнення приладів. Наприклад, обігрівач вмикається при 20 °C і вимикається при 24 °C. У цьому проміжку система перебуває у стані очікування і не здійснює жодних перемикань. Такий підхід ідеально відповідає тепловій інерції житлових будівель, радикально зменшуючи кількість робочих циклів реле і запобігаючи швидкому зносу виконавчих механізмів [10,11].

На третьому рівні архітектури працює підсистема контролю відносної вологості. Нормальним діапазоном визначено коридор від 40% до 60%. При зниженні показників активуються зволожувачі (з власним порогом гістерезису), а при критичному перевищенні рівня у 70% система знову ініціює примусове провітрювання. Таким чином, три гілки алгоритмів існують паралельно, але постійно звіряються зі статусами одна одної (наприклад, заборонено вмикати кондиціонер, якщо вікно відчинено) через логічні оператори AND, OR, NOT на центральному сервері [11].

Таким чином, розроблена архітектура являє собою багаторівневу інфраструктуру, яка об'єднує надійність зіркоподібної топології з інтелектуальним програмним ядром. Цей архітектурний фундамент повністю задовольняє сучасні вимоги до систем клімат-контролю і дозволяє перейти до етапу безпосереднього підбору апаратних компонентів — датчиків та виконавчих механізмів, які будуть інтегровані в цю логічну структуру [7].

2.2 Вибір та характеристика сенсорного обладнання

Сенсорне обладнання відіграє роль "органів чуття" будь-якої розумної системи. Для коректної роботи алгоритмів, розроблених у попередньому підрозділі, необхідно обрати датчики, здатні з високою точністю та мінімальною

затримкою вимірювати цільові параметри. При проєктуванні віртуальної моделі в Cisco Packet Tracer використовуються симуляційні аналоги реальних фізичних компонентів. Основною вимогою до сенсорних вузлів є їхня сумісність із мікроконтролерами (через аналогові або цифрові інтерфейси) та здатність до безперервного циклічного зчитування даних без перегріву самих плат [20].

Для вимірювання базового показника — температури — в інженерній практиці традиційно використовуються термістори або цифрові термометри. У нашій моделі за основу взято характеристики цифрового датчика, аналогічного популярному сенсору LM35 або вбудованому термістору плат розробки. Цей компонент здатен вимірювати температуру в широкому діапазоні з точністю до десятих часток градуса. Сенсор підключається до аналогового порту мікроконтролера (MCU-PT), де зміна електричного опору конвертується вбудованим АЦП (аналого-цифровим перетворювачем) у числове значення температури за шкалою Цельсія [29].

Контроль відносної вологості повітря реалізується за допомогою ємнісних або резистивних датчиків. У реальних IoT-проєктах найчастіше використовується комбінований модуль DHT11 або його точніший аналог DHT22, який одночасно вимірює і температуру, і вологість. У середовищі імітаційного моделювання використовується відповідний віртуальний сенсор вологості, який генерує дані у відсотках (від 0% до 100%). Важливою характеристикою цього датчика є його реакція на роботу інших систем: при увімкненні віртуального зволожувача повітря показники сенсора вологості починають динамічно зростати, імітуючи реальні фізичні процеси тепломасообміну в кімнаті [10].

Третім, найбільш технологічно складним елементом сенсорної мережі, є датчик якості повітря. Для виявлення надлишкової концентрації вуглекислого газу (CO2) потрібні специфічні газові аналізатори, такі як електрохімічні сенсори

серії MQ (зокрема MQ-135) або більш просунуті оптичні датчики NDIR (наприклад, CCS811). У нашій моделі інтегровано віртуальний сенсор CO2, який відкалібровано на вимірювання концентрації у частинках на мільйон (ppm). Він відстежує стан середовища та миттєво реагує на погіршення якості повітря, передаючи тривожні дані на шлюз [13].

З точки зору апаратної інтеграції, кожен сенсор у Packet Tracer не існує ізольовано. Він обов'язково підключається до мікроконтролерної плати (MCU-PT), яка виступає в ролі містка між фізичним датчиком і комп'ютерною мережею. На платі мікроконтролера розгортається невеликий скрипт (прошивка), написаний мовою Python. Цей код ініціалізує порти введення-виведення (GPIO), задає частоту опитування датчика (наприклад, раз на секунду) та формує пакети даних для відправки їх по радіоканалу [23].

Для забезпечення передачі даних до шлюзу кожна плата з датчиками оснащується мережевим адаптером. Враховуючи обрану архітектуру, використовується бездротовий модуль PT-IOT-NM-1W, який емулює роботу Wi-Fi трансивера. Цей модуль дозволяє сенсорному вузлу підключитися до локальної мережі, отримати унікальну IP-адресу від DHCP-сервера і встановити TCP-з'єднання з Registration Server. Таким чином, датчик стає повноцінним учасником мережі Інтернету речей [21].

Калібрування та тестування датчиків є критичним етапом підготовки. У середовищі Packet Tracer інженер має можливість штучно змінювати параметри навколишнього середовища (Environmental Controls) навколо датчика. Змінюючи повзунки температури або рівня CO2, розробник перевіряє, наскільки швидко і точно мікроконтролер обробляє ці зміни. Цей процес гарантує, що у випадку критичного падіння температури або різкого задимлення датчик не "зависне", а гарантовано відправить оновлену телеметрію на шлюз [14].

Отже, вибір сенсорного обладнання ґрунтується на необхідності безперервного зчитування трьох головних параметрів мікроклімату: температури, вологості та рівня вуглекислого газу. Об'єднання точних датчиків із мікроконтролерами та Wi-Fi модулями дозволило створити надійні кінцеві вузли. Ці вузли здатні стабільно постачати центральний шлюз сирими даними, на основі яких сервер прийматиме рішення про активацію тих чи інших виконавчих пристроїв [11].

2.3 Вибір та характеристика виконавчих пристроїв

Якщо сенсори є рецепторами системи, то виконавчі пристрої (актуатори) відіграють роль її "м'язів". Саме вони фізично змінюють параметри навколишнього середовища у відповідь на команди центрального контролера. Вибір актуаторів для розумного будинку диктується необхідністю комплексного впливу на температуру, вологість та повітрообмін. У середовищі Cisco Packet Tracer є велика бібліотека готових IoT-сумісних приладів, які повністю імітують поведінку своєї реальної побутової техніки, включаючи енергоспоживання та вплив на віртуальну атмосферу [16].

Для управління температурним режимом у бік нагрівання було обрано віртуальний модуль обігрівача (Heating Element). Він імітує роботу електричного конвектора або системи теплої підлоги. При отриманні команди "Status = True" від шлюзу, обігрівач активується, і симулятор починає поступово підвищувати глобальну змінну температури в робочій області. Його робота суворо регламентована алгоритмом гістерезису, що запобігає перегріву приміщення вище заданого верхнього порогу в 24 °C та захищає реле від постійних спрацювань (блок-схему алгоритму наведено на рис. 2.1) [11].

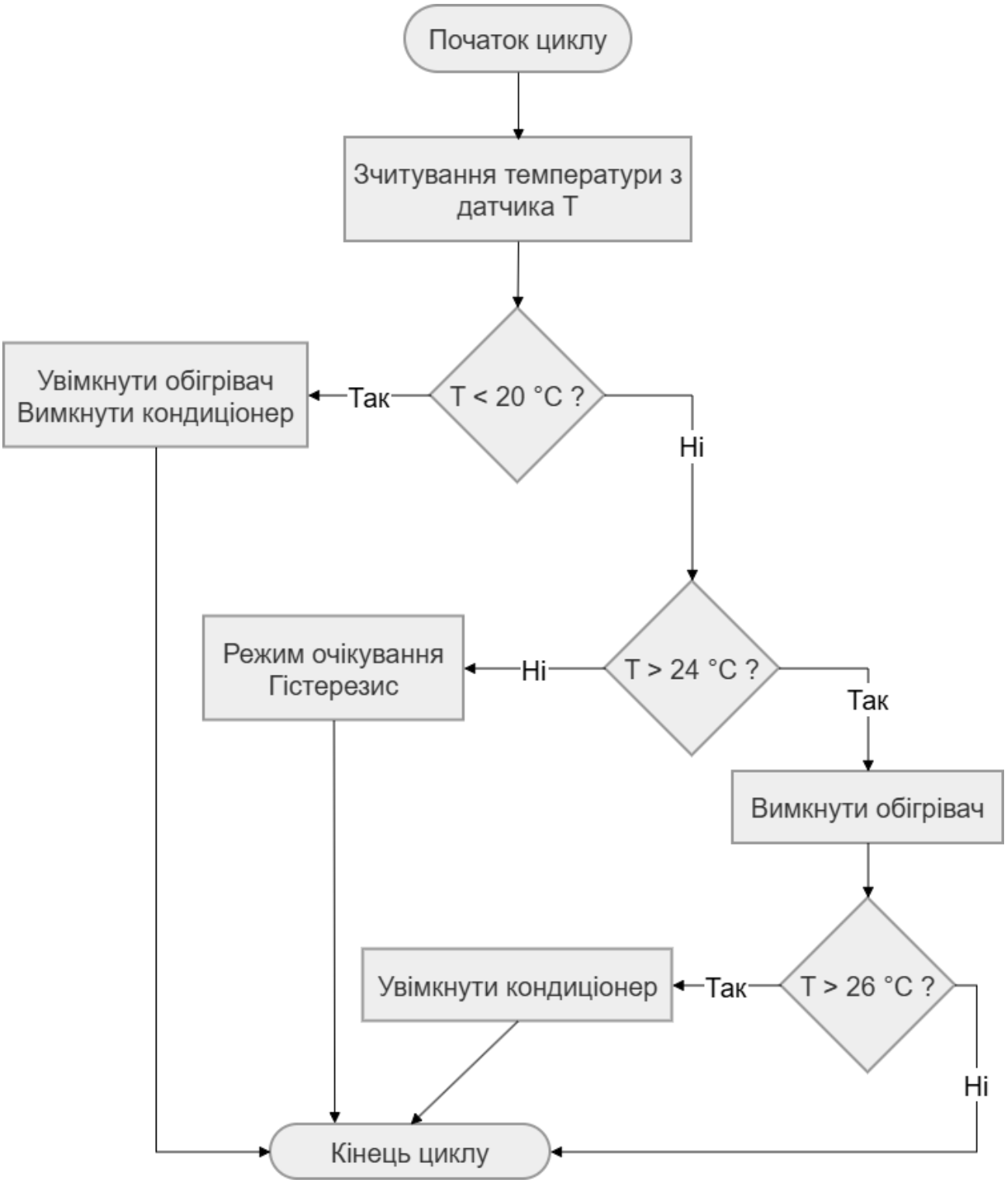


Рис. 2.1. Блок-схема роботи алгоритму гістерезису для системи терморегуляції

Для зниження температури використовується модель розумного кондиціонера (Smart Air Conditioner). На відміну від обігрівача, кондиціонер не лише знижує температуру, але й побічно впливає на вологість повітря, імітуючи процес конденсації вологи на випарнику. Його активація відбувається при досягненні температури вище 26 °C. Важливою характеристикою цього приладу є його логічне блокування: алгоритм забороняє вмикати кондиціонер, якщо система фіксує, що в кімнаті на цей момент відчинене розумне вікно, що запобігає марній витраті електроенергії на охолодження вулиці [4].

Керування вологістю в бік її підвищення здійснюється за допомогою віртуального зволожувача (Humidifier). Цей пристрій є критично важливим під час опалювального сезону, коли робота обігрівачів критично висушує повітря. Зволожувач отримує команду на ввімкнення, коли датчик фіксує падіння вологості нижче 40%. У симуляторі Packet Tracer робота цього компонента призводить до плавного зростання параметра Humidity у властивостях навколишнього середовища, доки він не досягне комфортної позначки у 50% [10].

Найважливішим інструментом для екстреного контролю мікроклімату є розумне вікно (Smart Window), оснащене сервоприводом. У традиційних системах кондиціонування немає можливості знизити рівень CO2. Лише шляхом відкриття вікна можна забезпечити приплив свіжого кисню. Вікно працює в тандемі зі стельовим вентилятором (Ceiling Fan). Коли концентрація вуглекислого газу перевищує 1000 ppm або вологість стає критично високою (понад 70%), шлюз надсилає команду на відкриття вікна та включення вентилятора для створення примусової тяги [13].

Усі обрані виконавчі пристрої належать до класу смарт-техніки. Це означає, що вони не просто підключаються до розетки, а мають власні вбудовані мережеві адаптери (Wi-Fi) та мікроконтролери для обробки TCP/IP пакетів. У

реальному житті це можуть бути розумні розетки, що керують звичайними приладами, або повноцінна техніка з підтримкою IoT (наприклад, кондиціонери з вбудованим Wi-Fi модулем). У Packet Tracer кожен прилад отримує свою IP-адресу і підключається безпосередньо до Registration Server [30].

Логіка управління актуаторами прописується на центральному шлюзі через інтерфейс IoT Monitor у розділі Conditions. Там створюються конкретні правила формату "If-Then". Наприклад, дія «TurnOnHeater» запускається лише за сукупності умов від різних датчиків. Ці команди передаються пристроям майже миттєво, що забезпечує швидку реакцію системи на будь-які зміни. У разі втрати зв'язку зі шлюзом виконавчі пристрої залишаються в останньому відомому стані або переходять у безпечний режим (Fail-Safe), що є стандартом проектування надійних систем [29].

Таким чином, підібраний комплект виконавчих пристроїв покриває всі потреби сучасного клімат-контролю. Обігрівач і кондиціонер керують температурою, зволожувач бореться із сухістю повітря, а розумне вікно з вентилятором забезпечують вентиляцію та виведення надлишків CO2. Завдяки глибокій інтеграції в мережу IoT, кожен із цих приладів діє не ізольовано, а як частина єдиного організму, підкоряючись алгоритмам центрального сервера [5].

2.4 Мережева інфраструктура та інтерфейс управління

Для об'єднання всіх сенсорів та актуаторів у єдину працюючу систему необхідна надійна та швидка мережева інфраструктура. Як було визначено на етапі архітектурного проектування, у ролі центрального вузла зв'язку виступає

Home Gateway. Його налаштування є найважливішим етапом розгортання мережі. Інженер призначає пристрою статичну IP-адресу (наприклад, 192.168.1.1), яка слугуватиме шлюзом за замовчуванням (Default Gateway) для всієї кліматичної техніки в будинку. Також на ньому активується служба DHCP, яка автоматично і безпомилково розподіляє адреси серед десятків датчиків та реле(загальний вигляд мережі наведено на рис. 2.2) [23]

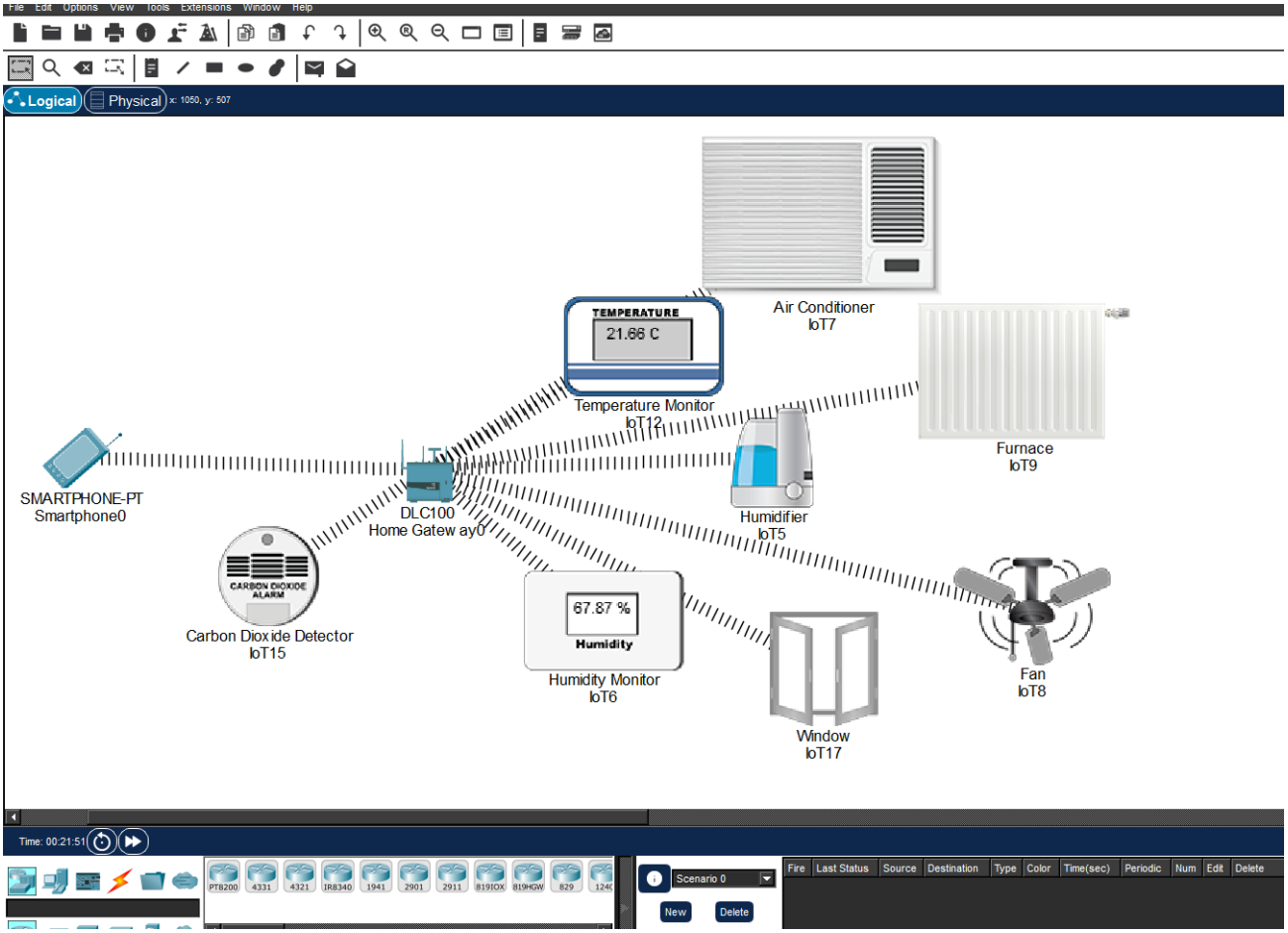


Рис. 2.2. Загальна топологія системи керування мікрокліматом у середовищі Cisco Packet Tracer

Фізичним середовищем передачі даних виступає бездротова мережа стандарту 90 (IEEE 802.11). Використання бездротових технологій є найбільш раціональним рішенням для систем розумного будинку, оскільки воно позбавляє необхідності прокладати кілометри кабелів у житлових приміщеннях. Для захисту від втручання сторонніх осіб мережа зашифрована протоколом WPA2-PSK. Кожен мікроконтролер, перш ніж надіслати дані про температуру чи вологість, проходить процедуру автентифікації на роутері, використовуючи заданий SSID та пароль [2].

Зв'язок між пристроями відбувається на прикладному рівні за допомогою легковісних протоколів IoT. Шлюз виконує роль Registration Server — своєрідного брокера повідомлень. Коли датчик CO2 фіксує зміну, він формує невеликий пакет даних і надсилає його на IP-адресу сервера. Сервер приймає цей пакет, звіряє значення з прописаними алгоритмами (Conditions) і, якщо значення перевищує норму, генерує команду для актуатора. Цей процес займає мілісекунди, забезпечуючи роботу системи у режимі реального часу [21].

Для взаємодії людини із системою передбачено зручний графічний інтерфейс — IoT Monitor. У середовищі Packet Tracer він емулює роботу планшета чи смартфона власника будинку. Користувач підключається до тієї ж локальної Wi-Fi мережі, відкриває веб-браузер або спеціальний додаток і вводить IP-адресу сервера реєстрації. Після проходження базової авторизації (введення логіна та пароля) він отримує доступ до головного дашборду управління мікрокліматом [30].

На дашборді IoT Monitor у реальному часі відображається статус усіх підключених пристроїв. Користувач може бачити точні цифри температури, вологості та CO2, а також статуси виконавчих механізмів (світиться зелений індикатор, якщо кондиціонер працює, або червоний, якщо він вимкнений). Це забезпечує повну прозорість роботи алгоритмів. Інтерфейс інтуїтивно зрозумілий

і не вимагає від користувача навичок програмування для розуміння поточної ситуації у приміщенні [16].

Окрім пасивного моніторингу, інтерфейс надає можливість ручного перехоплення управління (Manual Override). Хоча система працює на базі повністю автономних сценаріїв (if-else), завжди існує ймовірність непередбачуваних ситуацій. Наприклад, якщо мешканцю холодно, незважаючи на те, що датчик показує нормативні 22 градуси, він може відкрити IoT Monitor і вручну натиснути кнопку активації обігрівача. При цьому ручна команда тимчасово отримує вищий пріоритет над автоматичними алгоритмами [10,11].

Інтерфейс управління також використовується інженером для налаштування самої логіки системи. У вкладці "Conditions" можна візуально конструювати правила поведінки. Без необхідності писати довгі рядки коду мовою C++ або Python, розробник може зібрати складний алгоритм із випадаючих списків: обрати потрібний датчик, встановити математичний оператор (більше/менше) і вказати дію для відповідного реле. Саме тут прописуються ті самі правила гістерезису та блокування конфліктних пристроїв, про які йшлося у попередніх підрозділах [8].

Таким чином, мережева інфраструктура на базі Wi-Fi та Home Gateway забезпечує надійний транспортний рівень для обміну даними між розрізненими компонентами. А графічний інтерфейс IoT Monitor робить складну систему зручною та дружньою до кінцевого користувача, об'єднуючи можливості глибокого інженерного налаштування алгоритмів із простотою повсякденного моніторингу параметрів розумного будинку [5].

РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ВЕРИФІКАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ

3.1. Структурна організація програмного забезпечення та специфікація ключових методів

Програмне забезпечення системи керування мікрокліматом є центральним інтелектуальним елементом, який забезпечує узгоджену роботу розрізнених сенсорів, виконавчих пристроїв і мережевої інфраструктури розумного будинку. Якщо апаратна частина формує фізичний фундамент системи, то саме програмний код визначає її здатність до автономного функціонування. У розробленій моделі програмна логіка реалізується таким чином, щоб система могла безперервно, в режимі реального часу зчитувати показники температури, вологості та концентрації вуглекислого газу. Після збору цих сирих даних програма повинна проаналізувати їх і миттєво сформувати керуючі дії відповідно до встановлених інженером порогових значень [30].

Для забезпечення високої надійності та можливості подальшого масштабування, структурно програмне забезпечення системи поділяється на кілька ізольованих функціональних модулів. До них належать: модуль початкової ініціалізації обладнання, модуль циклічного зчитування даних із сенсорів, модуль логічного аналізу показників, модуль безпосереднього керування виконавчими пристроями та модуль мережевої взаємодії. Такий модульний (об’єктно-орієнтований) підхід дозволяє легко оновлювати окремі частини коду. Наприклад, у разі заміни датчика температури на новішу модель,

інженеру достатньо переписати лише один метод зчитування, не порушуючи при цьому роботу алгоритмів обробки даних чи мережевого обміну [29].

Програмний цикл роботи будь-якого кінцевого пристрою розпочинається з модуля ініціалізації. На цьому етапі мікроконтролер конфігурує свої порти введення-виведення (GPIO), визначаючи, які піни працюватимуть на прийом аналогового сигналу від сенсорів, а які — на видачу керуючого цифрового сигналу для реле. Одразу після цього викликається підпрограма мережевої ініціалізації, яка активує Wi-Fi модуль, надсилає запит до DHCP-сервера для отримання IP-адреси та встановлює стабільне TCP-з'єднання з Registration Server. Тільки після успішного проходження цих кроків мікроконтролер переходить до основного робочого циклу (loop) [23].

Модуль зчитування даних відповідає за фізичне отримання телеметрії. Ключовими програмними методами на цьому етапі є readTemperature(), readHumidity() та readCO2(). Метод readTemperature() звертається до аналогового порту, зчитує зміну напруги на термісторі та за допомогою математичної формули (через коефіцієнт дільника) конвертує цей вольтаж у зрозуміле числове значення градусів за шкалою Цельсія. Цей метод містить вбудовану функцію програмного згладжування (усереднення кількох послідовних замірів), що дозволяє відфільтрувати випадкові електронні шуми та передати на сервер максимально точні дані [14].

Аналогічним чином працює метод readHumidity(), який опитує ємнісний або резистивний сенсор вологості. Він генерує змінну типу float, що відображає поточний відсоток відносної вологості в приміщенні. Ці дані є критично важливими не лише для активації зволожувача, але й для алгоритмів розрахунку точки роси, які можуть бути імплементовані в майбутньому. Метод викликається із заданим інтервалом (наприклад, кожні 2 секунди), що дозволяє системі швидко

реагувати на динамічні зміни, наприклад, при закипанні води на кухні або ввімкненні гарячого душу у ванній кімнаті [10].

Особливої уваги заслуговує специфікація методу readCO2(). Вимірювання концентрації вуглекислого газу є складнішим процесом, оскільки датчики якості повітря потребують певного часу на базовий прогрів хімічного елемента (pre-heating). Програмний метод враховує цю апаратну затримку, ігноруючи хибні показники в перші хвилини після ввімкнення живлення. Після стабілізації датчика readCO2() циклічно повертає цілочисельне значення (тип int) у форматі частинок на мільйон (ppm), яке безпосередньо характеризує ступінь свіжості повітря та придатність приміщення для комфортного перебування людей [13].

Після отримання даних в роботу вступає модуль мережевої взаємодії та логічного аналізу, що розгорнутий на центральному шлюзі. Сервер розбирає отримані пакети, класифікує їх за ідентифікаторами датчиків і порівнює з еталонними значеннями. Якщо хоча б один параметр виходить за межі норми, сервер викликає модуль керування виконавчими пристроями. Цей модуль формує командні пакети для конкретних IP-адрес актуаторів. Важливою архітектурною вимогою до цього модулю є захист від втрати пакетів: система чекає підтвердження від пристрою (acknowledgment), що команда була успішно отримана та виконана [14].

Модуль керування виконавчими пристроями реалізує цілий набір методів впливу на середовище: turnOnHeater(), turnOnAirConditioner(), openWindow() та turnOnFan(). Логіка цих методів дозволяє виконувати комплексні сценарії. Наприклад, якщо метод аналізу фіксує, що вологість перевищує 70% або концентрація CO2 стає надмірною, система не намагається вирішити проблему зміною температури. Замість цього методи openWindow() та turnOnFan() викликаються одночасно. Цей синхронний виклик формує потужний сценарій примусового провітрювання: моторизоване вікно відчиняється, а стельовий

вентилятор починає активно витісняти застояне повітря назовні, гарантуючи швидку нормалізацію санітарних умов [11].

3.2. Опис функціонування алгоритмів та користувацького інтерфейсу

Функціонування розробленого апаратно-програмного комплексу базується на фундаментальному принципі безперервного моніторингу параметрів мікроклімату та їх автоматичного коригування. У класичних побутових системах користувач виступає головним контролером: він дивиться на термометр і самостійно приймає рішення про ввімкнення кондиціонера. Інноваційність розробленої IoT-системи полягає в повному усуненні людини з цього рутинного ланцюга. Система функціонує автономно 24 години на добу, гарантуючи, що до моменту повернення мешканців додому приміщення вже матиме ідеальні температурні показники та чисте повітря [8].

Для забезпечення зручності взаємодії користувача із системою, а також для можливості інженерного налаштування, в межах моделі Cisco Packet Tracer реалізовано повноцінний графічний користувацький інтерфейс, який має назву IoT Monitor. Цей інтерфейс доступний з будь-якого віртуального смартфона або комп’ютера, підключеного до локальної мережі Home Gateway. Користувач відкриває веб-браузер, вводить адресу сервера реєстрації і отримує доступ до візуального дашборду. Такий підхід робить систему прозорою та зрозумілою навіть для осіб без технічної освіти [21].

На головному екрані IoT Monitor зібрані інтерактивні віджети всіх зареєстрованих у мережі пристроїв. Для сенсорів відображаються актуальні

числові значення (наприклад, 22 °C або 45%), які оновлюються в режимі реального часу. Для виконавчих механізмів передбачені індикатори стану (світиться зеленим, якщо пристрій працює) та кнопки ручного перехоплення управління. Якщо з якихось причин автоматика не задовольняє поточні потреби мешканця, він може одним кліком вимкнути вентилятор або запустити обігрівач, тимчасово призупинивши дію автоматичних скриптів [5].

Проте основна технічна цінність розробленої програми полягає саме в наявності підсистеми автоматичного прийняття рішень, налаштування якої здійснюється через спеціалізовану вкладку «Conditions» в інтерфейсі IoT Monitor. Цей інструмент дозволяє інженеру візуально формувати складні логічні ланцюжки без написання класичного програмного коду. Використовуючи спадні меню, розробник обирає пристрій-джерело (наприклад, датчик температури), математичний оператор (більше/менше), граничне значення та цільовий актуатор. Таким чином було створено всеосяжний комплекс правил автоматизації для керування кліматом [2].

Особливістю та головною перевагою розробленої алгоритмічної логіки є глибоке впровадження алгоритмів з **гістерезисом**. Як було з’ясовано під час аналізу предметної області, жорстко задані пороги (наприклад, рівно 25 °C) призводять до постійного вмикання та вимикання реле при найменших коливаннях температури. Гістерезис штучно розносить точки запуску та зупинки на різні значення, створюючи «коридор комфорту». Це рішення є критично важливим для запобігання механічному зносу дороговартісного обладнання (компресорів, сервоприводів) та уникнення колосальних перевитрат електроенергії на пускові струми [10,11].

Практична реалізація гістерезису найкраще демонструється на прикладі роботи системи охолодження. Згідно з прописаними у вкладці «Conditions» правилами, якщо температура в приміщенні зростає і перетинає позначку 25 °C,

система активує кондиціонер. Однак його вимкнення відбувається не миттєво після зниження температури до 24.9 °C, а лише при досягненні глибокого порогу у 24 °C. Для цього створено окреме логічне правило, що має назву AC_Off. Протягом часу, поки температура коливається в межах від 24 °C до 25 °C, система перебуває в режимі очікування, зберігаючи тишу в кімнаті та ресурс техніки [11].

Аналогічний, але ще більш комплексний підхід застосовано до алгоритмів провітрювання. Як зазначалося раніше, екстрене відкриття розумних вікон та ввімкнення вентиляторів відбувається при перевищенні вологості вище 70% або CO2 понад 1000 ppm. Проте закриття вікна (програмний сценарій Vent_Off) є значно складнішою процедурою. Згідно з алгоритмом гістерезису, воно ініціюється виключно за умови одночасного (через оператор AND) повернення до норми обох показників: вологості (падіння < 65%) та рівня CO2 (зниження < 800 ppm). Якщо хоча б один показник залишається в зоні ризику, вікно продовжуватиме провітрювати кімнату [25].

Усі ці складні логічні взаємозв’язки, зони нечутливості гістерезису та правила пріоритезації налаштовані й збережені в енергонезалежній пам’яті сервера Home Gateway. Користувацький інтерфейс дозволяє легко масштабувати ці правила: при додаванні в систему нової кімнати з новими датчиками, інженер просто створює додатковий набір правил Conditions, прив’язуючи їх до нових IP-адрес (приклад налаштування логічних правил наведено на рис. 3.1). Описана організація програмного середовища та GUI перетворює набір розрізнених датчиків на справжній інтелектуальний продукт.

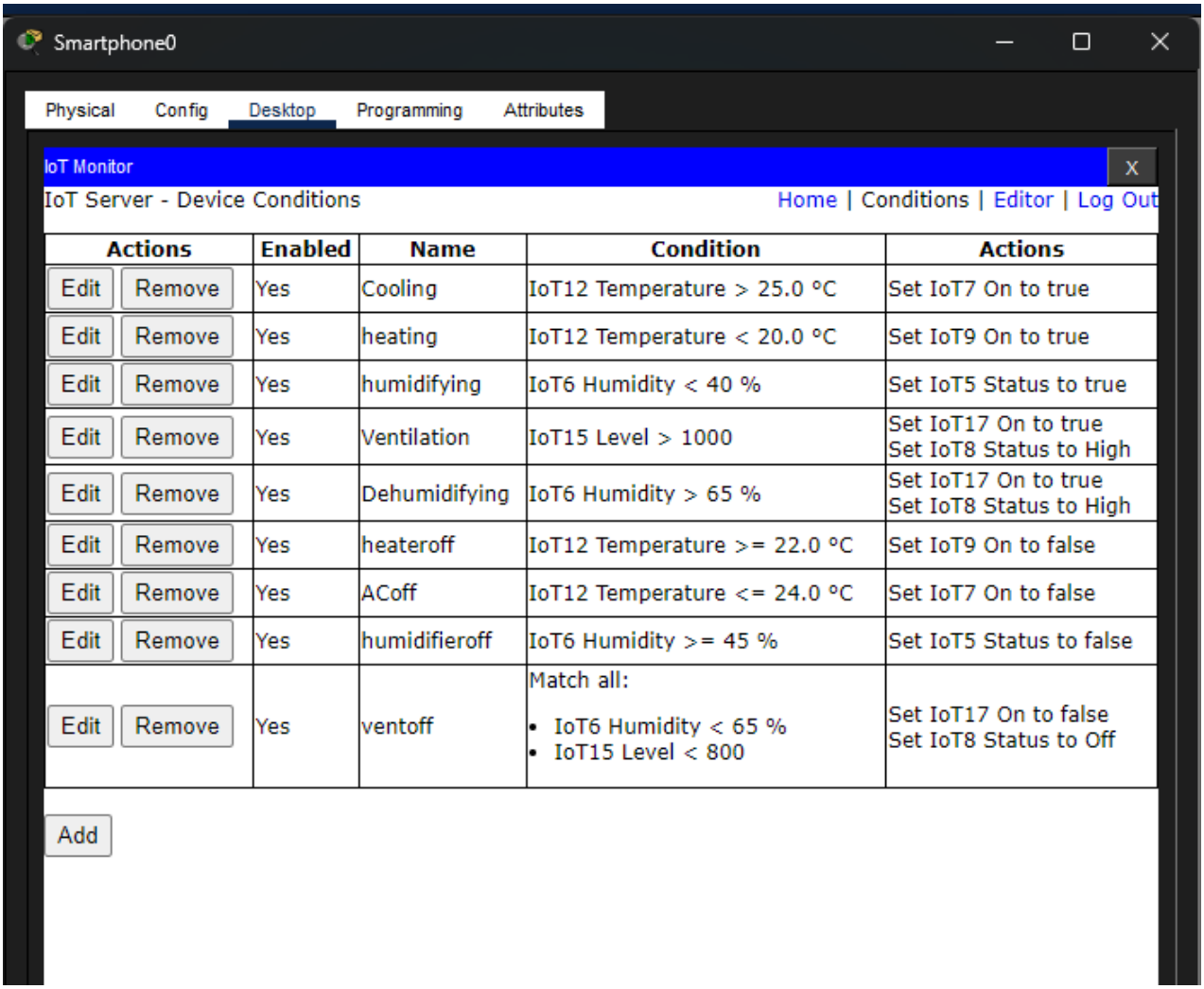


Рис. 3.1. Налаштування логічних правил з гістерезисом в IoT Monitor

3.3. Тестування та верифікація роботи системи

Тестування розробленої системи керування мікрокліматом є фінальним і найважливішим етапом проектування, який підтверджує або спростовує життєздатність закладених інженерних ідей. Усі тестування проводилися в контрольованому середовищі імітаційного моделювання Cisco Packet Tracer, що дозволило уникнути ризиків пошкодження реального обладнання. Головною

метою цього етапу стала комплексна перевірка коректності спрацьовування виконавчих механізмів у відповідь на штучно згенеровані критичні зміни параметрів середовища, а також верифікація стабільності мережевого обміну даними між кінцевими вузлами [27].

Методологія тестування передбачала використання спеціального інструментарію Packet Tracer — панелі «Environmental Controls» (Управління навколишнім середовищем). Ця панель дозволяє інженеру втручатися в симуляцію, миттєво змінюючи глобальні фізичні змінні (температуру, вологість, освітленість) в межах віртуального простору. Таким чином створювалися стрес-тести для перевірки реакції сенсорів. Спостерігаючи за логами на сервері реєстрації та зміною статусів в IoT Monitor, фіксувався час відгуку системи, який у всіх тестах не перевищував кількох мілісекунд, що підтверджує високу пропускну здатність топології «зірка» [21].

Перший комплексний тест стосувався перевірки алгоритмів терморегуляції в умовах екстремального холоду. Під час перевірки реакції системи на критичне зниження температури, на віртуальному температурному сенсорі було штучно імітовано різке падіння показника до рівня 2.78 °C. Цей показник імітував ситуацію відчинених взимку дверей або виходу з ладу системи центрального опалення будівлі. Сенсор миттєво зафіксував ці дані і через Wi-Fi модуль передав TCP-пакет з телеметрією на центральний шлюз Home Gateway [2].

Як і передбачено закладеною логікою керування, центральний домашній шлюз миттєво обробив цю подію. Алгоритм у вкладці Conditions ідентифікував, що значення 2.78 °C є значно нижчим за мінімальний поріг увімкнення обігріву (20 °C). Сервер надіслав бездротовий сигнал активації (команду Status = True) на віртуальний електричний обігрівач (Furnace). Обігрівач успішно ввімкнувся, про що свідчила зміна його індикації в робочій області симулятора. Важливо зазначити, що програмна логіка відпрацювала бездоганно, програмно

унеможлививши при цьому паралельний запуск кондиціонера, запобігши апаратному конфлікту (реакцію системи наведено на рис. 3.2) [26].

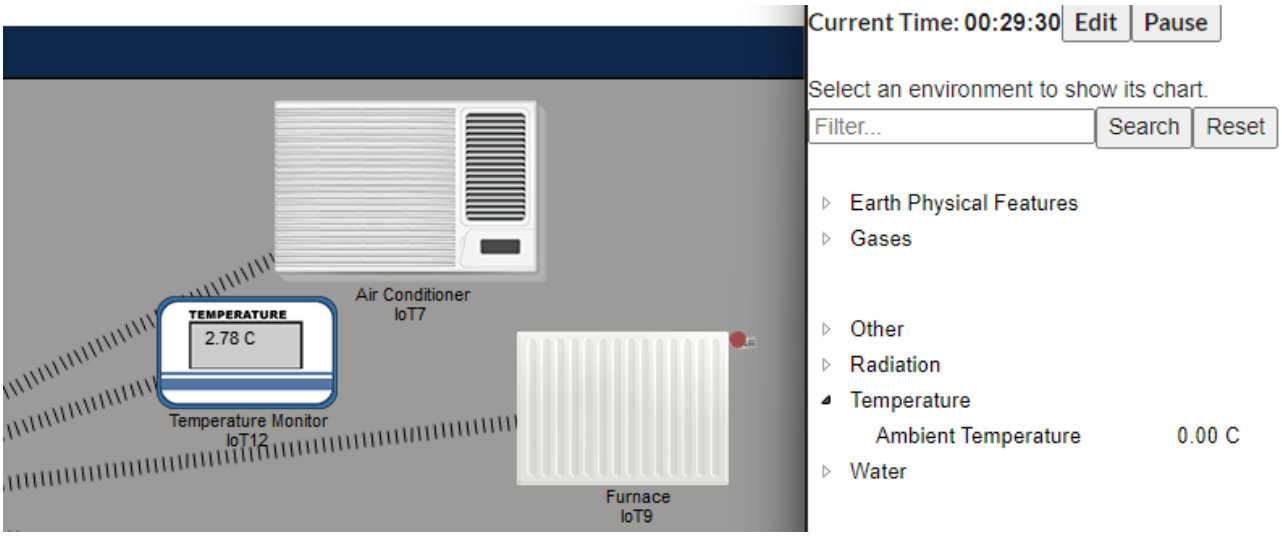


Рис. 3.2. Реакція системи на критичне зниження температури (активація обігріву)

Наступним логічним кроком стала перевірка комплексного сценарію боротьби з надмірною вологістю та задухою, що імітувало перебування великої кількості людей у закритому приміщенні без вентиляції. Для проведення цього стрес-тесту вологість у симуляторі було штучно підвищено до екстремальної позначки 77.44%. Відповідно до медичних нормативів, така вологість становить серйозну загрозу, оскільки неминуче призводить до випадання конденсату на вікнах та стрімкого утворення цвілі на стінах [14].

У відповідь на перевищення встановленого допустимого порогу (який у системі був жорстко лімітований на рівні 65%), система продемонструвала ідеальну узгодженість дій. Сервер перервав рутинні завдання з терморегуляції та автоматично ініціював процедуру примусового інтенсивного провітрювання. На

відміну від простих систем, що намагаються висушити повітря кондиціонером, наша логіка задіяла механічний повітрообмін із зовнішнім середовищем (реакцію системи наведено на рис. 3.3) [10].

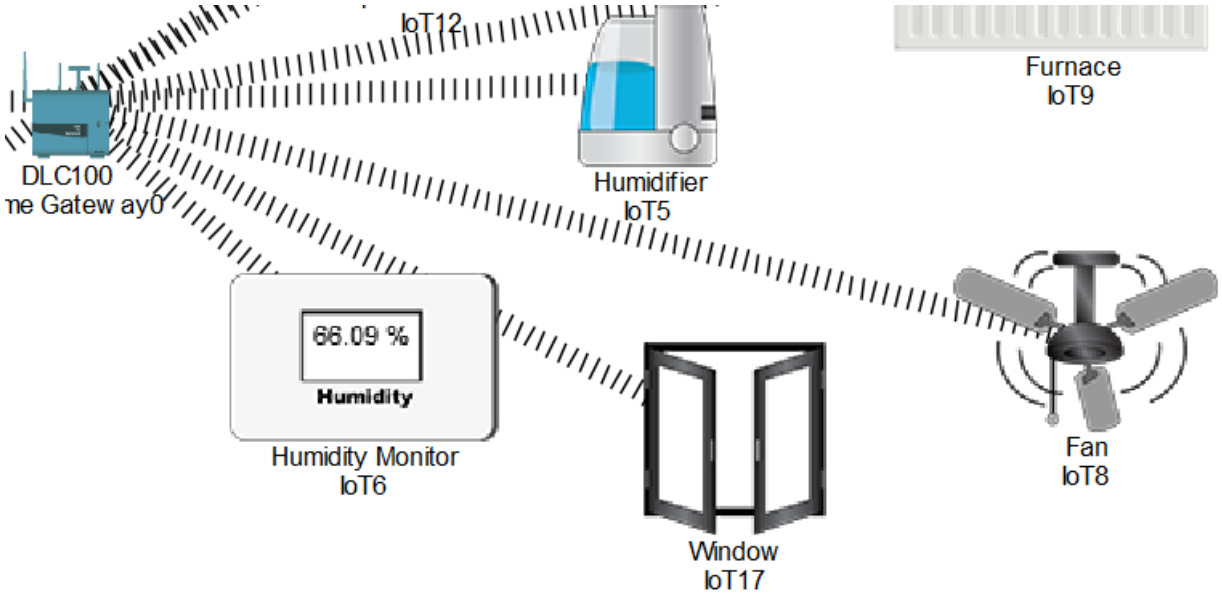


Рис. 3.3. Результати спрацювання алгоритмів примусового провітрювання приміщення

На віртуальній схемі було успішно зафіксовано одночасне і миттєве спрацювання двох незалежних актуаторів. Відбулося відкриття моторизованого розумного вікна (Window), а також одночасна активація стельового вентилятора (Fan) для швидкого виведення вологи та покращення циркуляції повітряних мас. Завдяки імітації фізики в Packet Tracer було візуально підтверджено, що показник вологості почав плавно знижуватися. Вікно та вентилятор залишалися увімкненими рівно до того моменту, поки вологість не опустилася нижче порогу гістерезису у 65%, після чого спрацював сценарій Vent_Off, повернувши систему у базовий стан [11].

Результат успішного відпрацювання алгоритму осушення та повернення виконавчих пристроїв (розумного вікна та стельового вентилятора) у режим очікування наведено на рис. 3.4.

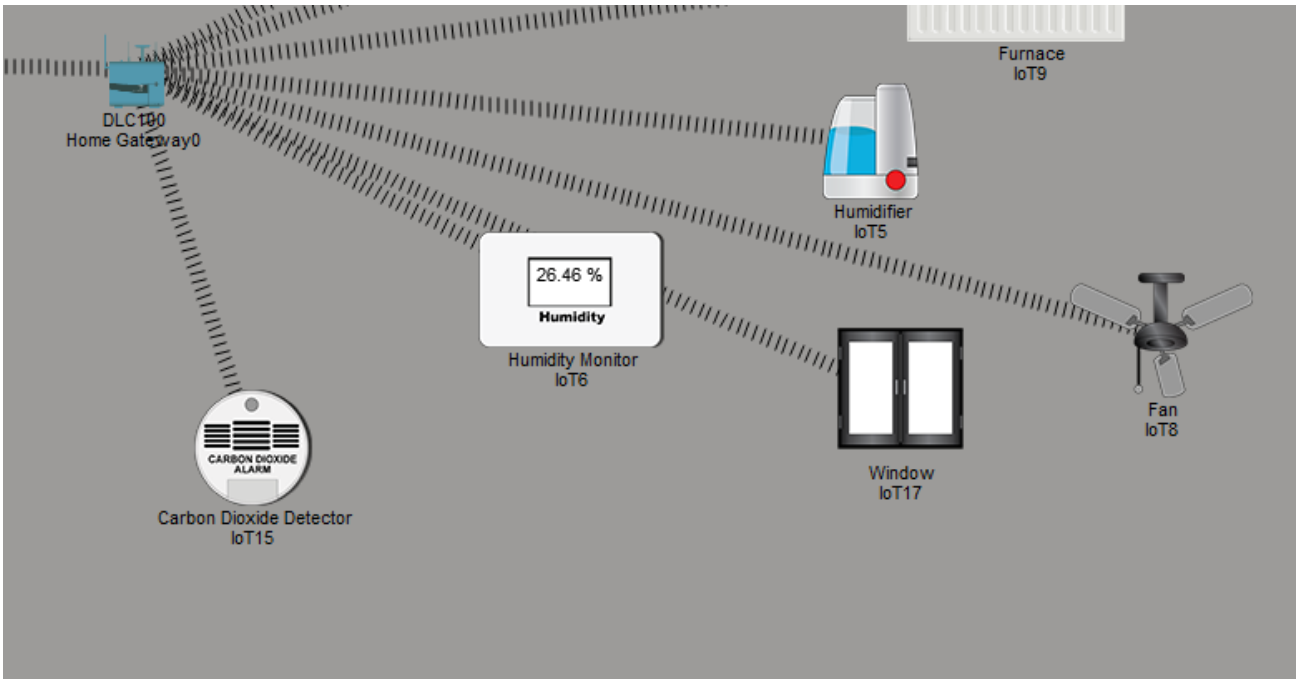


Рис. 3.4. Візуалізація стану мережевих пристроїв після нормалізації рівня вологості в середовищі Cisco Packet Tracer

Загалом результати серії тестів повністю підтвердили працездатність та надійність запропонованої архітектури. Імітаційна модель не продемонструвала жодних ознак логічних «зависань», конфліктів обладнання чи втрати керуючих пакетів. Алгоритми гістерезису успішно відсікли паразитні спрацювання, а інтерфейс IoT Monitor забезпечив зручний контроль над ситуацією. Успішна верифікація в середовищі Packet Tracer доводить, що розроблена програмно-апаратна система готова до подальшого впровадження у вигляді фізичного прототипу на реальних мікроконтролерах.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання, що полягає у дослідженні, проєктуванні, програмній реалізації та верифікації інтелектуальної IoT-системи автоматичного керування мікрокліматом у приміщенні «розумного будинку». У ході виконання роботи проаналізовано особливості сучасних систем мікроклімату та доведено доцільність їх побудови на основі технологій Інтернету речей. Встановлено, що для забезпечення комфортних і безпечних умов перебування людини необхідно комплексно контролювати не лише температуру, а й відносну вологість та концентрацію вуглекислого газу, оскільки саме сукупність цих параметрів визначає якість внутрішнього середовища.

Централізована архітектура системи з використанням Home Gateway поєднує функції маршрутизатора, DHCP-сервера та сервера реєстрації IoT-пристроїв. Обґрунтовано вибір сенсорного обладнання та виконавчих механізмів, що дає змогу здійснювати безперервний моніторинг і автоматичне регулювання основних параметрів мікроклімату. Особливу увагу приділено реалізації гістерезису, що дозволило уникнути частих перемикань обладнання, зменшити енергоспоживання та підвищити надійність роботи системи.

Також реалізовано графічний інтерфейс IoT Monitor, який забезпечує відображення поточних параметрів мікроклімату, налаштування автоматичних сценаріїв та можливість ручного керування за потреби. Проведене імітаційне моделювання в середовищі Cisco Packet Tracer підтвердило працездатність запропонованих рішень і коректність реакції системи на зміну температури, вологості та рівня CO2.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Павлов, С. С. "Розумний будинок - від ідеї до втілення" / С. С. Павлов, В. А. Бодніков // Молодий вчений. - 2018. - № 5 (57). - С. 45-49. - Режим доступу: https://molodyivchenyi.ua/index.php/journal/article/download/4487/4411/
2. Гриценко, В. О. (2018). Особливості створення та розвитку системи керування "розумним будинком". Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Серія: Технічні науки. - С. 112-116. - Режим доступу: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&Z21ID=&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Nvmgu_tech_2018_1_2.pdf
3. Демиденко, М. І. (2016). "Розумний будинок" як засіб підвищення енергоефективності житлових будівель. Вісник КНТУ. - С. 50-55.
4. "Керування мікрокліматом в приміщенні" [Електронний ресурс] / науково-технічний журнал.
5. Ковальчук, І. Мікроклімат будинку: основні параметри та способи їх підтримання [Електронний ресурс] / І. Ковальчук.
6. Літвінов, Є. О., Котова, В. В., & Семенов, М. М. (2017). Автоматизована система керування мікрокліматом приміщення. Системні дослідження та інформаційні технології. - С. 86-92.
7. Мельник, С. О. "Методи аналізу та оптимізації систем керування мікрокліматичними параметрами житлових приміщень" / С. О. Мельник,

О. В. Петриченко // Вісник Тернопільського національного технічного університету. - С. 117-124.

8. Моделювання розумного будинку в середовищі Cisco Packet Tracer: навчальний посібник. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2022. – 145 с.

9. Олещенко, Л. М. Програмування пристроїв Інтернету речей: лабораторний практикум. Навчальний посібник [Електронний ресурс] / Л. М. Олещенко, Я. В. Хіцко. – Київ: ДУІКТ. – 120 с. - Режим доступу: https://duikt.edu.ua/uploads/p_2958_85598464.pdf

10. Бойко, О. М. "Сучасні інтелектуальні системи керування енергоефективними будинками" / О. М. Бойко, В. І. Собко, Ю. М. Шмідт // Наукові праці Донбаської державної машинобудівної академії. - 2016. - С. 105-113.

11. Полюхович, Н. Автоматизована система управління мікрокліматом приміщення / Н. Полюхович, В. Клочко, Р. Боднар // Електронні прилади. - 2017. - С. 30-33.

12. Радченко, О. В., & Мартиненко, О. О. (2019). Розумний будинок: інтелектуальне керування, захист і комфорт. Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування. - С. 85-91.

13. Скрипник, І. Розумний будинок як майбутнє житла [Електронний ресурс] / І. Скрипник.

14. Собко, В. І. "Системи керування мікрокліматичними параметрами житла" / В. І. Собко, Ю. М. Шмідт, О. М. Бойко // Енергетика, електротехніка, енергозбереження. - 2016. - С. 22-26.

15. Соколовський, Ю. В. Системи управління мікрокліматом в приміщеннях [Текст] / Ю. В. Соколовський, М. В. Яковлєв, М. Л. Гаврилова // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. - 2012. - С. 170-176.

16. Терещук, С. Розумний будинок: огляд на ринку і перспективи в Україні [Електронний ресурс] / С. Терещук.

17. Тютюнник, О. В. "Розумний будинок як інноваційний продукт на ринку нерухомості" / О. В. Тютюнник // Маркетинг і менеджмент інновацій. – 2018. - С. 278-284.

18. Шабан, В. Сучасні системи управління мікрокліматом приміщень [Текст] / В. Шабан, А. Сухарєв // Технічна електродинаміка. - 2015. - С. 73-76.

19. Шевчук, І. В., & Коноплянко, О. М. (2018). Використання систем "розумних будинків" для забезпечення комфортного мікроклімату в житлових будинках. Енергетика та електрифікація. - С. 42-47.

20. Al-Khatib, M. (2025). Internet of Things: Systems Design Lab Book with Packet Tracer. Cardiff University. - 85 p.

21. Cisco Networking Academy. Exploring IoT with Cisco Packet Tracer [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.netacad.com/courses/exploring-iot-cisco-packet-tracer

22. IEEE Standards Association. (2018). IEEE 1888-2018: Standard for the Internet of Things (IoT) - Enabling technology for Smart City applications. IEEE. - 134 p. - Режим доступу: https://standards.ieee.org/initiatives/smart-cities-standards/

23. Shemsi, I. (2019). Implementing Smart Home Using Cisco Packet Tracer Simulator. - 64 p.

24. Hillar, G. C. 2016. Internet of Things with Python. Packt Publishing Ltd. [Електронний ресурс]. - URL: https://duikt.edu.ua/uploads/l_1924_51186225.pdf

25. Drozd, O.V., Maevsky, D.A., та ін. 2019. Simulation of Internet of Things based Systems. Practicum. — Ministry of Education and Science of Ukraine, Odessa National Polytechnic University, National Aerospace University “KhAI”, Zaporizhzhia National Technical University. — 130 p. — URL: https://duikt.edu.ua/uploads/l_2191_63729482.pdf.

26. Чехместрук В. Ю., Паламарчук Є. А. Побудова інформаційної системи моніторингу фізичних показників на основі технології «Інтернет речей». — Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія, вип. 57, № 2. — 2023. — С. 99–108. — URL: https://itce.vntu.edu.ua/index.php/itce/article/view/962.

27. Моделювання IoT :: Електронна платформа інформаційних ресурсів. — Київ: ДУІКТ. — URL: https://duikt.edu.ua/ua/lib/1/category/2225.

28. Internet of Things: Emerging Curriculum for Industry and Human Applications. — Kyiv: State University of Information and Communication Technologies. — URL: https://duikt.edu.ua/en/lib/1/category/2236.

29. Digital Transformation: Strengthening the Cybersecurity Capacities in the Modern World. 2025. Abstracts of reports of the International Scientific and Practical Conference (Krakow, 4-5 November 2025). — Kyiv: Pro Format, State University of Information and Communication Technologies. — 76 p. — URL: https://duikt.edu.ua/uploads/p_2779_38079537.pdf.

30. Силабус навчальної дисципліни «Моделювання IoT». — Київ: ДУІКТ. — 12 с. — URL: https://duikt.edu.ua/uploads/p_2994_40451514.pdf.

Додаток А

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ



Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій
Кафедра Комп'ютерної інженерії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА
на тему: «Система автоматичного керування мікрокліматом у розумному будинку»

Виконала студент групи КІД-41
Шведун Валентина Олексіївна
Керівник кваліфікаційної роботи:
Волохін Віталій Васильович
доцент кафедри, к.т.н., доцент

Київ – 2025

Мета роботи – Розробка імітаційної моделі системи керування мікрокліматом у розумному будинку з використанням технологій IoT та середовища Cisco Packet Tracer

Об'єкт дослідження – Процес автоматизованого контролю параметрів мікроклімату в житлових приміщеннях на базі технологій Інтернету речей.

Предмет дослідження – Апаратно-програмні засоби, алгоритми керування та мережева взаємодія IoT-пристроїв для підтримання заданих умов мікроклімату

Актуальність обраної теми

Система управління мікрокліматом є основою сучасного «розумного будинку», а її ефективна робота — це необхідний елемент для забезпечення комфорту, збереження здоров'я мешканців та оптимізації енергоспоживання. Стандартні підходи (наприклад, ручне налаштування термостатів) часто неефективні. Використання інтелектуальних систем дозволяє автоматично аналізувати дані з датчиків (температуру, вологість, рівень CO2) та швидко реагувати на потенційні проблеми з якістю повітря.

3

Архітектура системи керування мікрокліматом та гістерезис

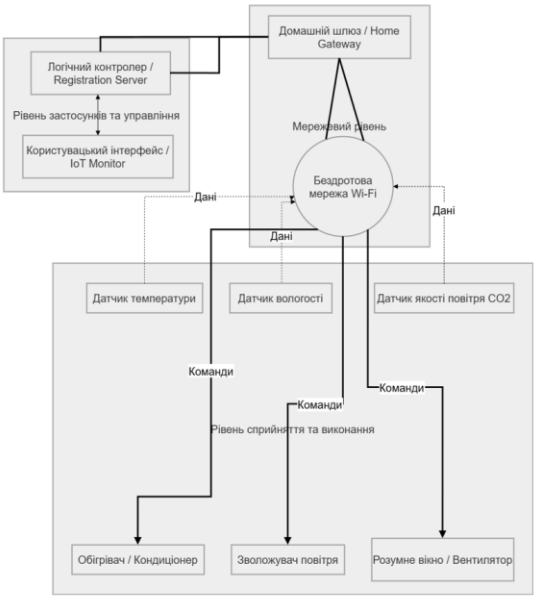


Рис. 1.1 *Базова архітектура IoT*

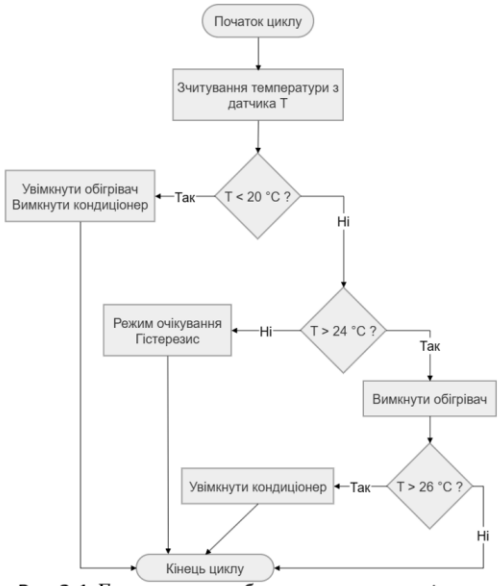


Рис 2.1 *Блок-схема роботи алгоритму гістерезису*

4

Характеристики та вимоги до системи мікроклімату:

1. Точність вимірювання (температура 20–24 °C, вологість 40–60%, CO2 < 1000 ppm);
2. Надійність мережевої передачі даних (відсутність Packet Loss та високих затримок);
3. Масштабованість (можливість додавати нові датчики);
4. Автоматизоване реагування (алгоритми if-else);
5. Енергоефективність кліматичного обладнання;
6. Безпека мережевих підключень (WPA2/WPA3, захист від кібератак).

5

Інтерфейс користувача та віддалений доступ

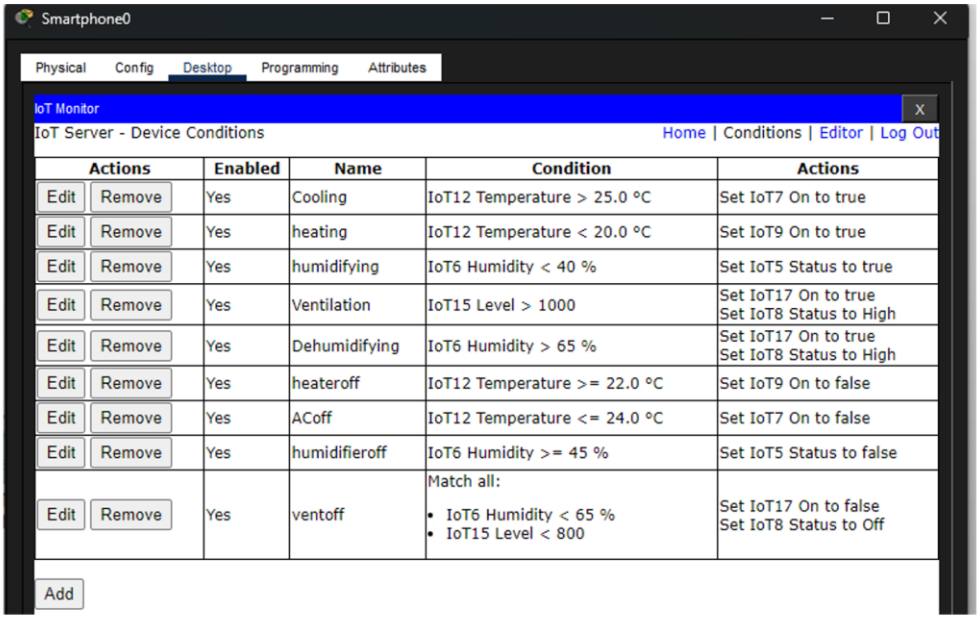


Рис. 3.1 Налаштування логічних правил з гістерезисом в IoT Monitor

6

Імітаційне моделювання у Cisco Packet Tracer:

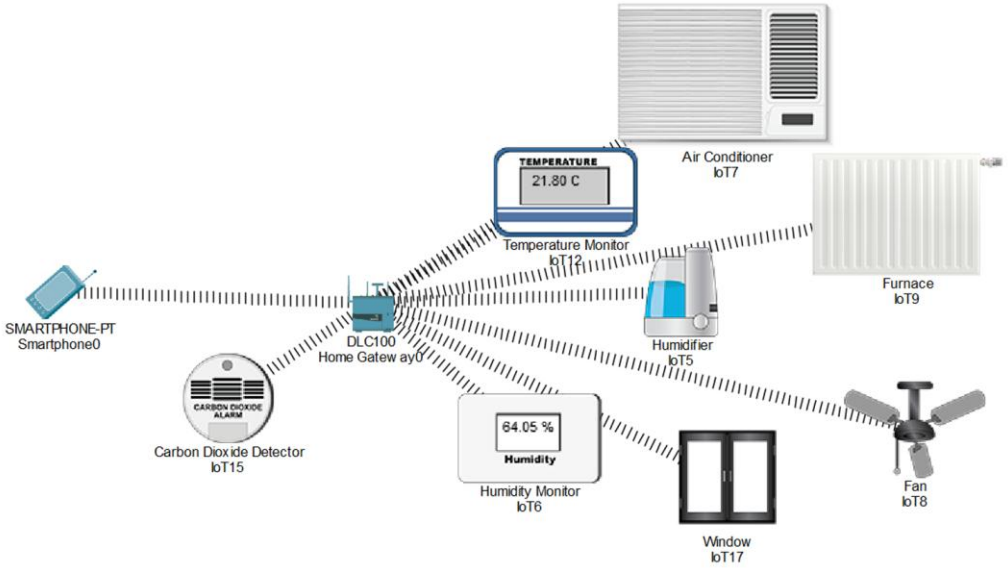


Рис. 7.1 *Загальний вигляд системи керування мікрокліматом*

7

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній (дипломній) роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання, що полягає в дослідженні, проектуванні, алгоритмічній реалізації та верифікації комплексної інтелектуальної IoT-системи керування мікрокліматом для приміщень типу «розумний будинок».

Поставлені у кваліфікаційній роботі завдання виконано в повному обсязі. Розроблена та протестована імітаційна модель системи керування мікрокліматом має високу практичну цінність. Вона позбавлена логічних конфліктів і може слугувати готовим, масштабованим інженерним концептом для подальшої апаратної реалізації на базі реальних мікроконтролерів (наприклад, ESP32) та впровадження у сучасні архітектурні рішення «розумних будинків».

8