

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Галузь знань 12 – Інформаційні технології

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія

на тему «Кіберфізична система мікроклімату “Розумного будинку”»

КвРКІП. 170350.21.01.21 ПЗ


Виконав: студент 2 курсу, група КІ2м-21-1

Керівник доктор техн. наук, професор
Науковий ступінь, вчене звання

До захисту допускаю:
Зав. кафедри КІС, д.т.н., проф.
Т.О. Говорушенко

18 05 2023 р.


Підпис


Підпис

Продеус М.С.
Ініціали, прізвище

Мартинюк В.В.
Ініціали, прізвище

Хмельницький, 2023

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень МАГІСТР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма ОСВІТНЬО-НАУКОВА ПРОГРАМА «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О. Говорущенко

“ 01 ” 09 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Продеусу Максиму Сергійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система мікроклімату “Розумного будинку”
Керівник проекту (роботи) Мартинюк В.В., д.т.н., професор

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 09.01.2023 р. № 1

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.05.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

Дослідження кіберфізичної системи мікроклімату “Розумного будинку”;

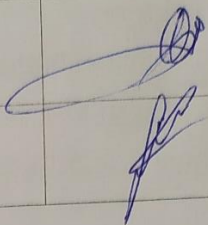
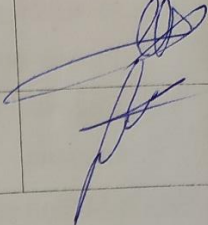
Аналіз сучасних програмно-технічних засобів для побудови кіберфізичної системи мікроклімату “Розумного будинку”;

Розробка моделі функціонування програмно-технічних засобів для побудови кіберфізичної системи мікроклімату “Розумного будинку”;

Розробка Кіберфізичної системи мікроклімату “Розумного будинку”;

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) _____

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра

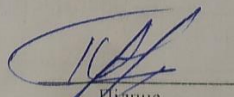
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КПС		
Антиплагиат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання « 06 » 09 2022р.


КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Приміт
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики КвРМ з керівником	05.09.2022	виконав
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	05.10.2022	виконав
3	Робота над розділом 1 – аналіз відомих моделей, методів за темою; постановка задачі	05.11.2022	виконав
4	Робота над розділом 2 – розробка моделей для вирішення поставленої задачі	05.12.2022	виконав
5	Робота над науковою статтею	05.01.2023	виконав
6	Робота над розділом 3 – розробка методів для вирішення поставленої задачі	15.02.2022	виконав
7	Робота над розділом 4 – проектування та розробка ПЗ для вирішення поставленої задачі, експериментальна частина	05.04.2023	виконав
8	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	15.04.2023	виконав
9	Попередній захист ДРМ	18.04.2023	виконав
10	Захист ДРМ на засіданні ЕК	До 19.05.2023	

Студент


Підпис

Керівник роботи


Підпис

М.С. Продеус
Ініціали, прізвище

В.В. Мартинюк
Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи магістра: Кіберфізична система мікроклімату “Розумного будинку”

Автор роботи: Продеус Максим Сергійович

Керівник роботи: Мартинюк Валерій Володимирович

Пояснювальна записка: 90 с., 39 рис., 10 табл., 3 дод., 83 джерел.

Ключові слова: мікроклімат, системи керування, цифрова обробка сигналів, вбудовані системи, системи обробки показників датчиків, розумний будинок, зміна зчитуваних значень, керування елементами системи мікроклімату.

Об’єктом дослідження є системи керування мікроклімату в будинку.

Предметом дослідження є модель, метод побудови архітектури вбудованих систем керування мікроклімату “Розумного будинку”.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є підвищення ефективності взаємодії елементів системи керування мікроклімату в “Розумному будинку”.

Для розв’язання поставлених задач використовувалися методи:

1. Огляд літературних джерел та патентних даних.
2. Метод керування кіберфізичною системою мікроклімату «Розумного будинку».
3. Імітаційна модель кіберфізичної системи мікроклімату «Розумного будинку».
4. Розроблення програмного забезпечення та окремих ланцюгів системи.

Наукова новизна отриманих результатів:

– удосконалено метод побудови архітектури кіберфізичних систем мікроклімату “Розумного будинку”, який на відміну від відомих використовує просту елементну базу та ґрунтується на мінімізації потужності, та оптимізованому використанні пристроїв керування, і який забезпечує високу швидкодію обробки показників та введені коректив у мікроклімат;

– набули подальшого розвитку програмно-технічні засоби керування кіберфізичними системи мікроклімату “Розумного будинку” .

На основі проведених досліджень розроблена архітектура і компоненти програмного забезпечення кіберфізичної системи мікроклімату «Розумного будинку».

Практична значимість отриманих результатів полягає у підвищенні ефективності взаємодії елементів кіберфізичної системи мікроклімату «Розумного будинку» а також на формування висновку про можливості кіберфізичної системи мікроклімату «Розумного будинку».

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	8
ВСТУП.....	9
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИХ ДАНИХ.....	12
1.1 Існуючі системи керування мікрокліматом.....	12
1.2 Будова системи мікроклімату “Розумного будинку”	14
1.3 Математична модель системи обігріву.....	17
1.4 Математична модель системи охолодження.....	18
1.5 Математична модель системи вентиляції.....	19
1.6 Математична модель системи освітлення	20
1.7 Висновок	21
2 МЕТОД КЕРУВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЮ СИСТЕМОЮ МІКРОКЛІМАТУ “РОЗУМНОГО БУДИНКУ”	22
2.1 Вибір елементів керування та взаємодії для системи	22
2.2 Особливості розрахунку системи мікроклімату	33
2.3 Особливості методу керування кіберфізичною системою мікроклімату “Розумного будинку”	35
2.4 Структурна схема кіберфізичної системи мікроклімату “Розумного будинку”	40
2.5 Регулювання режимів роботи кіберфізичної системи мікроклімату “Розумного будинку”	46
2.6 Висновок	49
3 ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ МІКРОКЛІМАТУ “РОЗУМНОГО БУДИНКУ”	50
3.1 Побудова загальної імітаційної моделі елементів кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку"	50
3.2 Імітаційна модель системи обігріву.....	52
3.3 Імітаційна модель системи вентиляції.....	59
3.4 Імітаційна модель системи освітлення	72
3.5 Алгоритм та програмне забезпечення роботи кіберфізичної системи мікроклімату “Розумного будинку”	73
3.6 Експериментальне дослідження програмного забезпечення роботи кіберфізичної системи мікроклімату “Розумного будинку”	76

3.7 Висновок	77
4 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ОКРЕМИХ ЛАНЦЮГІВ СИСТЕМИ	78
4.1 Визначення зони дослідження поставленого експерименту	78
4.1 Огляд вибраного керуючого елементу	78
4.2 Реалізація безперебійного джерела живлення	85
4.3 Реалізація виводу інформації	88
4.4 Інтегрування MQTT-протоколу та код взаємодії з сервером	90
4.5 Висновок	97
ВИСНОВКИ	98
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	100
ДОДАТОК А	106
ДОДАТОК Б (Копія наукової публікації)	113
ДОДАТОК В (Презентація наукової роботи)	124

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

FPGA - програмована користувачем вентиляна матриця

ПЛІС - програмована логічна інтегральна схема

ASIC - інтегральна схема для специфічного застосування

ОТР - одноразові програмовані логічні інтегральні схеми

SRAM - статична оперативна пам'ять з довільним доступом

ПЛК - програмований логічний контролер

НМІ - людино-машинний інтерфейс

OEM – оригінальний виробник обладнання

ОВК - опалення, вентиляція та кондиціонування повітря

АЦП - аналого-цифровий перетворювач

NTC - термістори з негативним температурним коефіцієнтом опору

PTC - термістори і з позитивним температурним коефіцієнтом

SSID - індикатор безпроводної мережі

MQTT - спрощений мережевий протокол

GPIO - інтерфейс для зв'язку між компонентами комп'ютерної системи

ВСТУП

Упродовж останніх десятиліть розумна технологія має значний потенціал полегшити наше повсякденне життя. Один із прикладів цього - "Розумний будинок", що є кіберфізичною системою для контролю та управління мікрокліматом в приміщенні. З метою забезпечення комфорту мешканців та енергоефективності, необхідно розробляти імітаційні моделі та програмне забезпечення для розрахунку та керування режимами роботи такої системи. Більш того, для досягнення ефективного та оптимального функціонування "Розумного будинку" потрібно розробити метод керування, який враховуватиме характеристики системи та потреби користувачів. Використання таких технологій дозволяє забезпечити комфортне проживання та зменшити витрати на опалення та охолодження приміщень.

Заради виконання поставленого проекту, я прийняв рішення скористатися програмованою логічною інтегральною схемою (ПЛІС) або FPGA. Ця технологія надає можливість налаштувати зв'язки між необхідними датчиками і забезпечувати контроль температури, вологості та вентиляції у приміщенні, що становить основне завдання даного проекту[1].

На сучасному етапі кіберфізичні системи використовуються широко і впливають на різні аспекти людського життя. Вони охоплюють такі галузі, як промисловість, транспорт, медицина, енергетика, побут та інші[2]. У побутовому середовищі також стає все більше кіберфізичних систем, які пропонують нові можливості та зручності для людей.

Проте, щоб забезпечити безпеку та ефективність використання кіберфізичних систем, потрібно розробити або вдосконалити структури керування та взаємодії між елементами. Це означає розробку ефективних алгоритмів керування, стандартизацію протоколів комунікації, розумну інтеграцію даних з довкілля та впливу на нього.

Одним із викликів є забезпечення надійності та безпеки кіберфізичних систем. Вони повинні бути захищені від несанкціонованого доступу, зловживання

та збоїв. Для цього необхідно використовувати сучасні методи шифрування, аутентифікації та контролю доступу.

Крім того, важливим аспектом є створення гнучких та адаптивних систем керування, які можуть враховувати змінні умови та потреби користувачів. Це може включати в себе використання сенсорів, штучного інтелекту та аналітики даних для забезпечення оптимальних рішень та комфорту.

Отже, для подальшого розвитку та успішного використання кіберфізичних систем необхідно продовжувати дослідження та розробку нових технологій, а також забезпечити співпрацю між різними галузями.

Метою дипломної роботи є підвищення ефективності взаємодії елементів системи керування мікроклімату в “Розумному будинку”.

Поставлена мета досягається розв’язанням таких основних задач:

1. Здійснити огляд літературних джерел та патентних даних.
2. Дослідити метод керування кіберфізичною системою мікроклімату «Розумного будинку».
3. Розробити імітаційну модель кіберфізичної системи мікроклімату «Розумного будинку».
4. Розробити програмне забезпечення та окремі ланцюги системи.

Об’єктом дослідження є системи керування мікроклімату в будинку.

Предметом дослідження є модель, метод побудови архітектури вбудованих систем керування мікроклімату “Розумного будинку”.

Наукова новизна отриманих результатів:

– удосконалено метод побудови архітектури кіберфізичних систем мікроклімату “Розумного будинку”, який на відміну від відомих використовує просту елементну базу та ґрунтується на мінімізації потужності, та оптимізованому використанні пристроїв керування, і який забезпечує високу швидкодію обробки показників та введені коректив у мікроклімат;

– набули подальшого розвитку програмно-технічні засоби керування кіберфізичними системи мікроклімату “Розумного будинку” .

На основі проведених досліджень розроблена архітектура і компоненти програмного забезпечення кіберфізичної системи мікроклімату “Розумного будинку”.

Практична значимість отриманих результатів полягає у підвищенні ефективності взаємодії елементів кіберфізичної системи мікроклімату “Розумного будинку” а також на формування висновку про можливості кіберфізичної системи мікроклімату «Розумного будинку».

За темою дипломної роботи опублікована одна стаття у фаховому науковому журналі ХНУ.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИХ ДАНИХ

1.1 Існуючі системи керування мікрокліматом.

Apple запатентувала систему, що вчиться, для "розумного" будинку, яка пристосовується до дій користувача. Ця нова патентована платформа, представлена Згідно з опублікованою інформацією, патент описує спосіб збору даних про використання "розумного" будинку, таких як розклади освітлення, температурні налаштування, керування електронікою тощо. Ці дані обробляються системою, яка вчиться розпізнавати звички та вподобання користувача, а потім застосовує ці знання для автоматичного налаштування системи управління "розумним" будинком [3].

Зокрема, за допомогою зібраних даних, система може запам'ятовувати приблизний час, коли людина зазвичай повертається з роботи, і підлаштовувати різні параметри, такі як температура, освітлення, музика тощо, до цього моменту.

Інженери також передбачають можливість навчання платформи при наявності двох або більше користувачів в "розумному" будинку. Зібрані дані допоможуть створити більш індивідуалізоване та зручне середовище для кожного мешканця.

Окрім цього, раніше було повідомлено про патент, отриманий Apple на соціальну мережу, яка має за мету об'єднувати людей на основі їх способу життя. Відповідний документ, який описує принцип роботи цієї нової програми компанії, був опублікований на сайті Бюро з реєстрації патентів і торгових марок, див. рисунок 1.1. Це свідчить про зусилля Apple у напрямку розробки інноваційних рішень для забезпечення комфорту, зручності та соціальної взаємодії в сучасних "розумних" будинках.

Управління США з патентів та торгових марок [3] (USPTO) видало компанії LG Electronics патент на дизайн "робота для домашніх господарств", що є "розумним" помічником для сучасного житла. Даний патент описує зовнішній вигляд і дизайн робота, який призначений для виконання різних завдань у домашньому господарстві, див. рисунок 1.2. Патент на дизайн підтверджує

інноваційні зусилля компанії LG Electronics у розробці технологій для поліпшення побутового середовища та забезпечення більшої зручності у сучасних домогосподарствах.

Дизайн "робота-помічника" від LG Electronics викликає асоціацію з "матрьошкою" у плані форми корпусу. Є припущення, що цей робот також буде оснащений сенсорним управлінням. Однак, технічні деталі пристрою не були розкриті, а зображення надають загальне уявлення про його зовнішній вигляд.

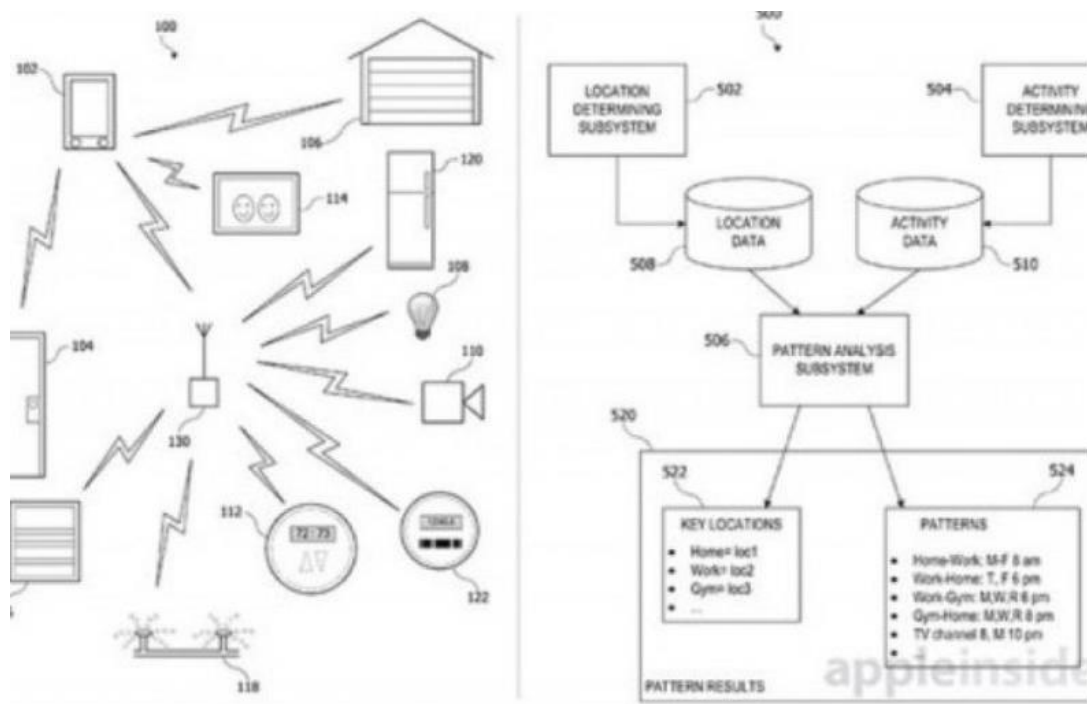


Рисунок 1.1 – Принцип взаємодії елементів системи нової програми керування мережі елементів від Apple [3]

Робот-помічник від LG Electronics, згідно з опублікованими зображеннями, має дві камери розташовані над екраном. Ці камери призначені для відеотелефонії та відстеження рухів користувачів. З цими функціями робот-помічник здатний сприяти взаємодії користувачів з інтелектуальним асистентом. Це означає, що господарі "розумного" будинку зможуть комунікувати з роботом за допомогою голосових команд, запитувати потрібну інформацію та взаємодіяти з іншими побутовими смарт-приладами. Технічні деталі та характеристики пристрою, окрім згаданого, не розкриваються.

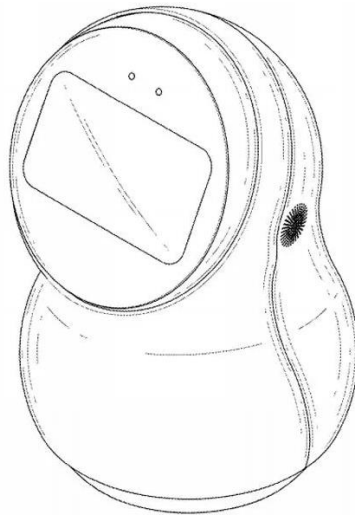


Рисунок 1.2 - LG робот-помічник для "розумного" будинку [3]

1.2 Будова системи мікроклімату "Розумного будинку"

Система мікроклімату "Розумного будинку" - це комплексна система автоматизації, яка дозволяє контролювати температуру, вологість, освітлення та інші параметри в приміщенні для забезпечення максимального комфорту і енергоефективності [4].

Система мікроклімату може складатися з наступних компонентів:

- датчики температури та вологості повітря, які вимірюють параметри мікроклімату і передають дані до контролера;

- контролер, який обробляє дані від датчиків та відповідає за керування системою;

- актуатори, такі як кондиціонери, вентиляційні системи, системи опалення, жалюзі та освітлення, які виконують дії на основі команд від контролера.

Система мікроклімату може бути підключена до "Розумного будинку", що дозволяє користувачам керувати не тільки параметрами мікроклімату, а й іншими системами, такими як система безпеки, та інші. Крім того, система мікроклімату

може бути налаштована на автоматичний режим, що дозволяє їй працювати без участі користувача, виконуючи дії на основі попередньо налаштованих параметрів.

Система "Розумний будинок" може ефективно управляти мікрокліматом в приміщенні завдяки моніторингу та інтеграції систем опалення, вентиляції та кондиціонування [5]. Завдяки цій системі, користувачеві не потрібно вручну керувати кондиціонерами, освітлювальними та електропобутовими приладами, адже все це відбувається автоматично.

Мікроклімат в будинку створюється за допомогою системи кондиціонування, вентиляції та опалення, які інтегровані в систему "Розумний будинок" [6]. Ці системи працюють як єдине ціле, взаємодіючи між собою для забезпечення комфортних умов у приміщеннях. Опалення відповідає за підтримку оптимальної температури в будинку, кондиціонування регулює температуру та вологість повітря, а вентиляція забезпечує постачання свіжого повітря та видалення відпрацьованого.

Перед початком будівництва або ремонту будинку, важливо врахувати всі деталі щодо влаштування системи кондиціонування, вентиляції та опалення. Це включає розміщення дифузорів та вентиляційних отворів, вибір енергоефективного обладнання, правильне розміщення терморегуляторів та сенсорів, а також забезпечення належного утеплення будівлі. Всі ці аспекти мають велике значення для забезпечення ефективності та комфорту системи мікроклімату в розумному будинку [7].

Щоб створити власний клімат в приміщенні, «Розумний будинок» працює за допомогою наступних систем:

- вентиляція;
- опалення;
- зволоження повітря;
- освітлення;

У системі "Розумний будинок" аналіз температури і вологості в приміщенні проводиться за допомогою датчиків температури. За допомогою цих датчиків система може відстежувати поточні показники температури і вологості і

порівнювати їх з заданими нормами, які можуть бути встановлені у панелі управління.

Основною перевагою системи "Розумний будинок" в контексті мікроклімату приміщення є можливість ефективного термоконтролю, що дозволяє зменшити витрати на комунальні послуги [8]. Система може автоматично регулювати температуру в приміщенні в залежності від наявності людей [9]. При знаходженні в будинку система буде підтримувати комфортні умови, а при відсутності людей в приміщенні вона може перейти в режим енергозбереження, знижуючи температуру або переходячи в режим очікування. Це дозволяє зменшити використання енергії і ресурсів, що веде до економії коштів на оплаті комунальних послуг.

Система "Розумний будинок" дозволяє створювати індивідуальний мікроклімат в кожному окремому приміщенні залежно від потреб користувачів. Наприклад, в дитячій кімнаті, де знаходиться дитина, система може підтримувати вищу температуру, активувати систему фільтрації та іонізації повітря, щоб забезпечити здорове та комфортне середовище [10]. У робочому кабінеті, навпаки, система може знизити температуру, створити прохолодне та свіже середовище, що сприяє комфортній роботі.

Управління мікрокліматом в системі "Розумний будинок" залежить від контролерів і термостатів, які розташовані в приміщенні і підключені до системи управління. Вони відповідають за збір даних про температуру та інші параметри мікроклімату, а також за виконання необхідних команд для забезпечення комфортних умов [11].

Якщо деякі датчики вийшли з ладу, система "Розумний будинок" все ще здатна функціонувати в автономному режимі. Наприклад, якщо вийшов з ладу датчик температури, система може продовжити роботу на основі наявних даних та налаштувань, що були задані раніше. В такому випадку система може використовувати заздалегідь встановлені розклади або установки для підтримки оптимальної температури [12].

Проте, система "Розумний будинок" постійно моніторить стан своїх датчиків та пристроїв. Якщо виявиться, що датчики вийшли з ладу або потребують обслуговування, система може надіслати спеціальне повідомлення про помилку.

1.3 Математична модель системи обігріву

Математична модель системи обігріву може бути представлена у вигляді диференціального рівняння, див. формулу 1.1, що описує зміну температури в залежності від часу та інших параметрів системи [13].

Одне з можливих диференціальних рівнянь, яке описує температуру в приміщенні з системою обігріву, може бути наступним:

$$C_p \cdot \rho \cdot V \cdot \frac{dT}{dt} = Q - U \cdot A \cdot (T - T_a) \quad (1.1)$$

де:

C_p - теплоємність матеріалу, що складає стіни, підлогу та стелю;

ρ - густина матеріалу;

V - об'єм приміщення;

T - температура в приміщенні;

t - час;

Q - тепловий потік, що надходить від обігрівальної системи;

U - коефіцієнт теплопередачі крізь стіни, підлогу та стелю;

A - площа поверхні стін, підлоги та стелі;

T_a - температура навколишнього середовища.

Це рівняння описує баланс енергії в приміщенні: ліва частина рівняння представляє накопичення тепла в приміщенні, а права частина - втрати тепла через стіни, підлогу та стелю.

Для того, щоб використовувати цю модель для керування системою обігріву, необхідно знати значення параметрів C_p , ρ , V , U , A , T_a та Q . Одним з підходів до

отримання цих значень є використання даних з датчиків, які вимірюють температуру та інші параметри в приміщенні, та обчислення параметрів на основі цих даних. Крім того, можливе використання зовнішніх даних, таких як температура повітря зовні будівлі, для підрахунку значення параметра T_a .

1.4 Математична модель системи охолодження

Математична модель системи охолодження може бути описана диференціальним рівнянням, див. формулу 1.2, що описує залежність температури в приміщенні від часу та інших параметрів системи охолодження [14].

Однією з можливих математичних моделей системи охолодження може бути наступне диференціальне рівняння:

$$C_p \cdot \rho \cdot V \cdot \frac{dT}{dt} = Q - U \cdot A \cdot (T - T_a) \quad (1.2)$$

де:

C_p - теплоємність матеріалу, що складає стіни, підлогу та стелю;

ρ - густина матеріалу;

V - об'єм приміщення;

T - температура в приміщенні;

t - час;

Q - тепловий потік, що надходить від системи охолодження;

U - коефіцієнт теплопередачі крізь стіни, підлогу та стелю;

A - площа поверхні стін, підлоги та стелі;

T_a - температура навколишнього середовища.

У цій математичній моделі, права частина диференціального рівняння відображає втрати тепла через стіни, підлогу та стелю приміщення. Ліва ж частина відображає зміну енергії приміщення з часом.

Залежно від типу системи охолодження, може бути додана додаткова функція, що відображає ефект охолодження. Наприклад, якщо використовується кондиціонер, то можна додати функцію, що описує роботу компресора, теплообмінника та вентилятора, що переносить тепло з приміщення на вулицю.

Для керування системою охолодження, потрібно знати значення параметрів C_p , ρ , V , U , A , T_a та Q . Ці значення можуть бути визначені з використанням даних з датчиків, що вимірю

1.5 Математична модель системи вентиляції

Математична модель системи вентиляції може бути описана диференціальним рівнянням, див. формулу 1.3, що описує залежність концентрації різних речовин в приміщенні від часу та параметрів системи вентиляції [15].

Однією з можливих математичних моделей системи вентиляції є модель, що базується на масових балансах, і її можна записати у вигляді наступного диференціального рівняння:

$$\frac{d(C_i \cdot V)}{dt} = Q_{i,in} - Q_{i,out} + G_i(T - T_a) \quad (1.3)$$

де:

C_i - концентрація речовини i ;

V - об'єм приміщення;

t - час;

$Q_{i,in}$ - кількість речовини i , що надходить в приміщення за час dt ;

$Q_{i,out}$ - кількість речовини i , що виходить з приміщення за час dt ;

G_i - кількість речовини i , що утворюється в приміщенні за час dt .

Права частина диференціального рівняння відображає баланс кількості речовини i в приміщенні за одиницю часу. Ліва частина відображає зміну об'єму приміщення з часом.

У цій математичній моделі, параметри $Q_{i,in}$ та $Q_{i,out}$ визначаються параметрами системи вентиляції, такими як рівень потоку повітря, концентрації речовин у вхідному повітрі та площа поверхні вентиляційних отворів. Параметр G_i відображає утворення речовини в приміщенні, наприклад, в результаті згорання палива в каміні або димокурі.

Для керування системою вентиляції, потрібно знати значення параметрів C_i , V , $Q_{i,in}$, $Q_{i,out}$ та G_i . Ці значення можуть бути визначені з використанням даних з датчиків, що вимірюють концентрацію речовин в повітрі

1.6 Математична модель системи освітлення

Математична модель системи освітлення в системі "Розумного будинку" може бути описана за допомогою рівняння, див. формулу 1.4, що відображає залежність яскравості світла від параметрів системи освітлення та зовнішнього освітлення [16].

Одним з можливих способів моделювання освітлення є використання закону Ламберта-Бугера, що описує залежність яскравості світла від оптичної глибини та коефіцієнта затемнення [17]. Математична модель системи освітлення може бути описана наступним рівнянням:

$$I(x) = I_0 \cdot e^{(-k \cdot x)}(T - Ta) \quad (1.4)$$

де:

$I(x)$ - яскравість світла на глибині x ;

I_0 - початкова яскравість світла;

k - коефіцієнт затемнення, який залежить від властивостей матеріалів, з яких зроблені вікна та штори;

x - оптична глибина.

Це рівняння можна використовувати для розрахунку яскравості світла в будь-якій точці приміщення в залежності від параметрів системи освітлення та зовнішнього освітлення.

Для керування системою освітлення потрібно знати значення параметрів I_0 , k та x . Ці параметри можуть бути визначені з використанням даних з датчиків, що вимірюють яскравість світла в приміщенні та зовнішнього освітлення. За допомогою цих даних можна розрахувати оптимальні параметри освітлення для забезпечення комфортного рівня освітлення в приміщенні при мінімальному споживанні електроенергії.

1.7 Висновок

Математичні моделі є важливим інструментом для розробки та дослідження різноманітних систем, включаючи системи мікроклімату в розумному будинку. Вони дають змогу прогнозувати поведінку системи в різних умовах та визначати оптимальні параметри її роботи.

Для системи мікроклімату в розумному будинку були розглянуті математичні моделі обігріву, охолодження, вентиляції та освітлення. Кожна з цих моделей має свої особливості та параметри, які варто враховувати при їх використанні. Крім того, було розглянуто імітаційні моделі для кожної з цих систем, які дають змогу перевірити працездатність та ефективність розроблених алгоритмів та програмного забезпечення.

Результати експериментальних досліджень показали, що розроблена кіберфізична система мікроклімату для розумного будинку працює ефективно та забезпечує комфортні умови для проживання. Крім того, програмне забезпечення роботи системи було перевірено на практиці та продемонструвало свою надійність та функціональність.

Отже, математичні та імітаційні моделі, а також програмне забезпечення є важливими компонентами розробки кіберфізичної системи мікроклімату для розумного будинку, що забезпечують її ефективну та оптимальну роботу.

2 МЕТОД КЕРУВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЮ СИСТЕМОЮ МІКРОКЛІМАТУ “РОЗУМНОГО БУДИНКУ”

2.1 Вибір елементів керування та взаємодії для системи

Система "Розумний будинок" використовує комплексний підхід до керування мікрокліматом, заснований на зборі та обробці даних з різних датчиків. Початкові дані, що стосуються температури повітря, вологості, рівня CO₂ та інших параметрів, збираються з встановлених датчиків у приміщенні [18].

Отримані дані передаються до програмного забезпечення системи, де вони аналізуються та обробляються. Застосовуються алгоритми керування, які приймають рішення щодо оптимальних параметрів мікроклімату в будинку. Наприклад, на основі вимірної температури та вологості програмне забезпечення може регулювати роботу систем опалення, кондиціонування повітря, вентиляції та інших компонентів мікроклімату.

Крім того, система "Розумний будинок" може враховувати індивідуальні налаштування та вимоги користувача. Наприклад, вона може запам'ятовувати уподобання щодо температури в окремих кімнатах, розкладу роботи системи в залежності від часу доби тощо [19]. Такі налаштування дозволяють створювати комфортне середовище для життя та роботи.

У результаті зібраних даних, їх аналізу та виконання відповідних команд система "Розумний будинок" може підтримувати оптимальний рівень мікроклімату в приміщенні, забезпечуючи комфортні умови для життя та праці, а також ефективно використання енергоресурсів.

Метод керування системою мікроклімату в "Розумному будинку" передбачає застосування різних алгоритмів, які враховують потреби користувачів та особливості будівлі. Ці алгоритми дозволяють підтримувати оптимальну температуру в приміщенні шляхом врахування таких факторів, як час доби, присутність людей, зовнішня температура та інші.

Одним з прикладів може бути використання алгоритмів адаптивного регулювання, які змінюють параметри системи мікроклімату на основі зібраних

даних [20]. Наприклад, якщо датчики виявляють, що в приміщенні занадто холодно, алгоритм може автоматично збільшити температуру опалення. За аналогічним принципом можуть працювати алгоритми регулювання вентиляції та кондиціонування повітря.

Додатково, важливою складовою методу керування є можливість налаштування системи мікроклімату з урахуванням індивідуальних потреб користувача. Наприклад, система може мати режими роботи для різних приміщень, що дозволяє користувачу налаштувати бажану температуру та інші параметри в кожному окремому приміщенні згідно з його вподобаннями.

Таким чином, метод керування кіберфізичною системою мікроклімату в "Розумному будинку" забезпечує автоматичне та індивідуалізоване регулювання мікроклімату в будинку, що забезпечує комфортні умови для життя та праці користувачів [21].

Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) є важливим електронним пристроєм, що здійснює перетворення аналогових сигналів на цифровий формат. В сучасній техніці, більшість вимірювальних приладів використовують цифрові технології, тому АЦП використовується для отримання цифрових результатів вимірювань.

Процес перетворення включає отримання безперервного аналогового сигналу, такого як напруга або час, і його перетворення на дискретну послідовність цифрових значень [22]. Ця послідовність дискретних значень зберігається та обробляється цифровими пристроями, такими як мікроконтролери або комп'ютери.

АЦП використовується в багатьох сферах, включаючи системи керування, обчислення даних, передачу даних та обробку інформації. Він забезпечує можливість зчитувати, записувати, аналізувати та обробляти фізичні величини, які представлені аналоговими сигналами, у цифровій формі.

Цифровий сигнал, який отримується в результаті роботи АЦП, може бути подальше оброблений, відображений на цифровому індикаторі або використаний для подальшого аналізу та прийняття рішень в системах керування.

Таким чином, АЦП грає важливу роль у забезпеченні перетворення аналогових сигналів на цифровий формат, що дозволяє використовувати цифрові пристрої для отримання, обробки та аналізу даних з фізичних вимірювань. На рисунку 2.1 показано співвідношення вхід/вихід АЦП [23].

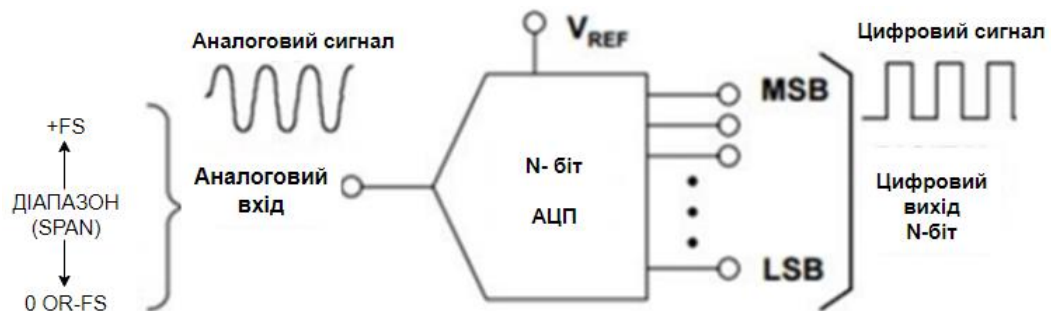


Рисунок 2.1 – Визначення входу та виходу аналого-цифрового перетворювача

Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) виконує важливу функцію перетворення аналогових сигналів на цифровий формат з використанням двійкового коду. Це забезпечує можливість подальшої обробки, зберігання та використання цих сигналів цифровими пристроями.

У багатьох сценаріях вимірювань, датчики або пристрої вимірюють аналогові змінні, такі як температура, напруга, сила струму тощо. АЦП перетворює ці аналогові значення на цифрову послідовність двійкових чисел, де 0 і 1 представляють вимкнений та увімкнений стан відповідно [24]. Цифровий вихідний сигнал може бути легко зчитаний і оброблений цифровими пристроями.

Наприклад, якщо ми маємо систему, яка вимірює температуру в кімнаті та відображає її на дисплеї, датчик температури видасть аналоговий сигнал, який потрібно перетворити на цифрову форму. АЦП забезпечує це перетворення, дозволяючи системі зчитати температурні дані у цифровому форматі, який можна подальше обробити та відобразити на дисплеї.

Таким чином, використання АЦП дозволяє нам працювати з аналоговими значеннями в цифрових системах, що відкриває широкі можливості для обробки та використання цих даних в різних додатках та пристроях.

Аналого-цифрове перетворення (АЦП) включає два основних етапи: відбір проб та зберігання результату (S/H) і квантування з кодуванням (Q/E). Ці етапи виконуються для перетворення аналогових сигналів на цифрову форму, яка може бути подальше оброблена та збережена цифровими пристроями.

На першому етапі, відбір проб і зберігання результату (S/H), аналоговий сигнал, який треба перетворити, збирається і зберігається протягом певного часу. Це досягається за допомогою пристрою, відомого як "вибірка та утримання" (Sample and Hold) [25]. Процес вибірки забезпечує відбір кількох проб аналогового сигналу протягом короткого проміжку часу і збереження цих значень для подальшої обробки.

Після відбору проб і збереження результату, настає другий етап - квантування з кодуванням (Q/E). На цьому етапі аналогові значення, які були збережені, перетворюються на дискретні числа, що використовуються в цифровій системі. Цей процес включає квантування, де аналогове значення розділяється на дискретні рівні, і кодування, де кожен рівень представляється цифровим кодом. Таким чином, аналогові значення перетворюються на послідовність цифрових значень, які можуть бути легко зчитані та оброблені цифровими пристроями.

На рисунку 2.2 показано схематично процес аналого-цифрового перетворення з відбором проб і зберіганням результату, а також квантуванням з кодуванням [26]. Цей процес є ключовим для забезпечення перетворення аналогових сигналів на цифровий формат.

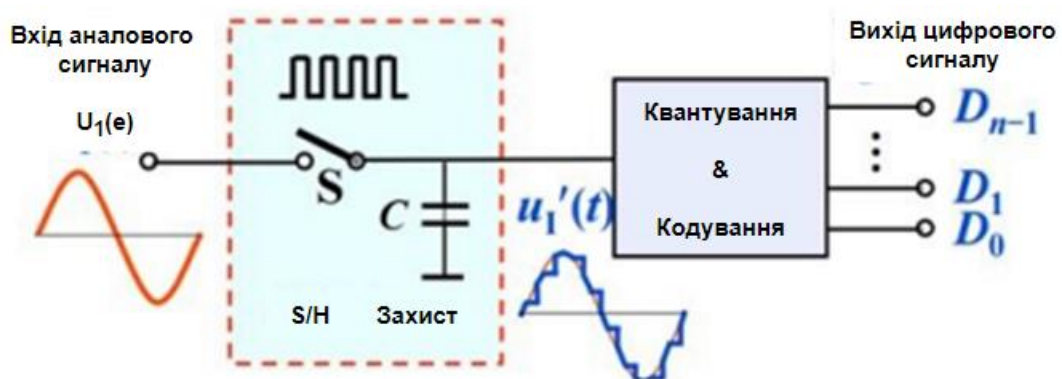
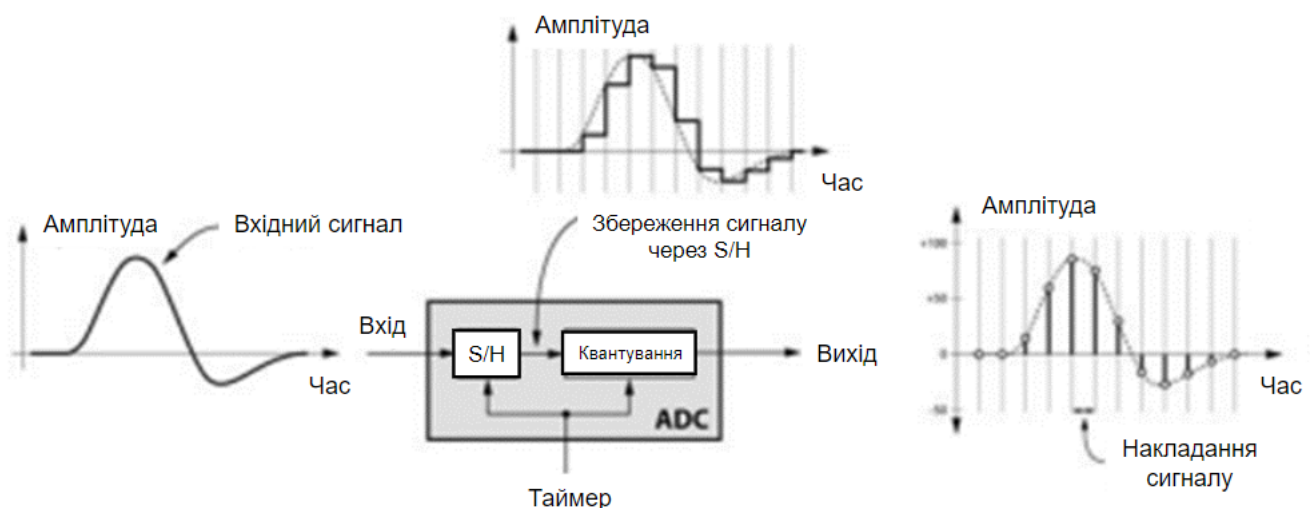


Рисунок 2.2 – Процес перетворення аналогового сигналу в цифровий

Після відбору проб і збереження результату (S/H), на виході отримуємо рівень напруги, якому присвоюється числове значення. Це значення вибирається з обмеженого набору можливих значень, які визначаються діапазоном квантування та діапазоном живлення АЦП. Наприклад, якщо використовується 8-бітний АЦП, то можливі значення будуть від 0 до 255 ($2^8 = 256$).

Після вибору найближчого значення, це числове значення кодується у вигляді двійкового числа [27]. Двійковий код використовує n бітів, де n - це роздільна здатність АЦП. Роздільна здатність визначає кількість можливих значень, на які можна розділити діапазон вхідних аналогових значень. Наприклад, для 8-бітного АЦП роздільна здатність становить 2^8 , тобто 256 різних значень.

Таким чином, після відбору проб і збереження результату (S/H) та квантування з кодуванням (Q/E), на виході отримуємо послідовність двійкових чисел, які представляють цифровий еквівалент вхідних аналогових сигналів. Ці цифрові значення можуть бути далі оброблені, збережені та використані цифровими пристроями для подальшого аналізу та керування системами. На рисунку 2.3 показано весь процес перетворення.



Рисунк 2.3 – Процес вибірки, зберігання та квантування

Значення, які отримуються після процесу квантування та кодування, є приблизними і мають певну похибку. Вони наближені до виміряної величини, але

не є абсолютно точними [28]. Точність квантувача визначається його роздільною здатністю. Чим більша роздільна здатність, тим менша похибка і точніші значення.

Однак, роздільна здатність АЦП обмежена деякими факторами, зокрема часом [29]. Якщо множина можливих значень, серед яких шукається найближче, є великою, то це може зайняти більше часу для обробки. Прискорення цього процесу стало об'єктом багатьох досліджень і розробок.

Існує багато методів для покращення ефективності квантування та зменшення похибки. Деякі методи базуються на використанні більш складних алгоритмів обробки сигналу, інші використовують компенсацію систематичних помилок або апаратну оптимізацію. Метою цих методів є забезпечення більш точного квантування і зменшення впливу похибки на отримані цифрові значення.

Таким чином, розвиток методів для покращення точності та швидкості квантування є важливою задачею в розробці аналого-цифрових перетворювачів та їх застосуванні в різних сферах, включаючи обчислювальну техніку, комунікації, медичні пристрої та багато інших.

Таблиця 2.1, що наведена нижче, демонструє продуктивність різних n -розрядних АЦП. Вона показує залежність між кількістю бітів у перетворювачі (роздільна здатність) та його продуктивністю, такими як частота зразка та час отримання результату.

Зауважте, що чим більша кількість бітів у АЦП (більша роздільна здатність), тим менша його частота зразка та більший час, необхідний для отримання результату. Це пов'язано зі збільшенням обчислювального завантаження та складності обробки більшої кількості бітів. Однак, зі збільшенням кількості бітів помилка квантування зменшується, що дозволяє отримувати більш точні результати.

Більшість вимірювальних приладів працюють на основі оцифрованої напруги. Для перетворення різних фізичних величин (таких як температура, тиск, вологість тощо) у вимірювану напругу використовуються спеціальні датчики. Ці датчики сприймають фізичні сигнали та генерують відповідні аналогові сигнали,

які потім піддаються аналого-цифровому перетворенню для подальшої обробки та відображення результатів.

Датчики можна класифікувати за різними критеріями, наприклад:

— датчики можуть бути класифіковані на цифрові та аналогові. Цифрові датчики видають лише два стани або значення: "0" і "1", або "є сигнал" і "немає сигналу". Вони передають інформацію у цифровій формі, яка вказує на наявність або відсутність певного події або умови [30]. Це зручно для використання в системах зв'язку та контролю, де потрібно просте та швидке виявлення подій;

Таблиця 2.1 – Залежність швидкодії від роздільної здатності АЦП

Роздільна здатність, біт	Діапазон значень (2^n), біт	Помилка квантування, %	Максимальна частота дискретизації, Гц
24	16 777 216	$\pm 0,000003$	$2 \cdot 10^5$
16	65 536	$\pm 0,0008$	$2,5 \cdot 10^8$
14	16 384	$\pm 0,003$	$4 \cdot 10^8$
12	4 096	$\pm 0,012$	$1,8 \cdot 10^{11}$
10	1 024	$\pm 0,05$	$2,2 \cdot 10^{11}$
8	256	$\pm 0,2$	$3 \cdot 10^{11}$
6	64	$\pm 0,8$	$6 \cdot 10^{11}$

— датчики можуть бути класифіковані як параметричні та генераторні. Параметричні датчики є електронними пристроями, які реагують на зміни вимірюваної фізичної величини шляхом зміни електричних або магнітних параметрів. Генераторні датчики, зі свого боку, перетворюють неелектричну величину, що вимірюється, на залежну від неї електромагнітну ЕРС (електромагнітну силу);

— датчики використовуються для вимірювання широкого спектру фізичних величин у різних областях. Основним завданням датчиків є перетворення

вимірюваної величини в електричний сигнал, який можна виміряти та обробити, таких як тиск, освітлення, температура і т.д.

Температурні датчики є важливими компонентами у багатьох сферах, де вимірювання, контроль і регулювання температури мають значення. Основне завдання температурних датчиків полягає у вимірюванні температурного значення та перетворенні його на електричний сигнал, який може бути використаний для подальшої обробки. Наведемо основні типи датчиків температури:

- терморезистор;
- термістори;
- діодні термометри;
- термопари;
- радіаційні термометри (пірометри, тепловізори).

Терморезистори є одним з типів температурних датчиків і використовуються для вимірювання температури у різних пристроях і системах. Основним принципом їх дії є залежність опору металевого дроту, з якого вони виготовлені, від температури. Зазвичай терморезистори виготовляються з міді або платини.

При збільшенні температури металевий дріт терморезистора нагрівається, що призводить до збільшення його опору. Залежність між температурою і зміною опору терморезистора може бути лінійною або нелінійною, залежно від типу матеріалу та конструкції. Опір терморезистору можна описати формулою 2.1.

$$R_t = R_{t_0} \cdot (1 + \alpha(t - t_0)) \quad (2.1)$$

де:

- R_t, R_{t_0} – опір металу при температурах t і t_0 відповідно;
- α – температурний коефіцієнт опору матеріалу, для міді $\alpha = 0,0043 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Так, маркування терморезисторів є важливим аспектом при їх використанні. Вони маркуються залежно від типу металу, який використовується для вимірювання та опору, який вони мають при $0 \text{ } ^\circ\text{C}$. Наприклад, платиновий терморезистор з опором 100 Ом при $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ буде маркуватись як Pt100.

Таке маркування дозволяє однозначно ідентифікувати тип терморезистора та його номінальний опір. Важливо враховувати, що номінальний показник опору, який вказується для терморезисторів, відноситься лише до температури $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Зміна опору терморезистора залежить від зміни температури за певний коефіцієнт температурної залежності для конкретного типу терморезистора.

Ці маркування є стандартизованими, що сприяє зручності в обміні та використанні терморезисторів у різних системах та пристроях, де вимірювання температури важливо. Терморезистори використовують для замірювання температур від -50 до $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ їх схематична будова зображена на рисунку 2.4.

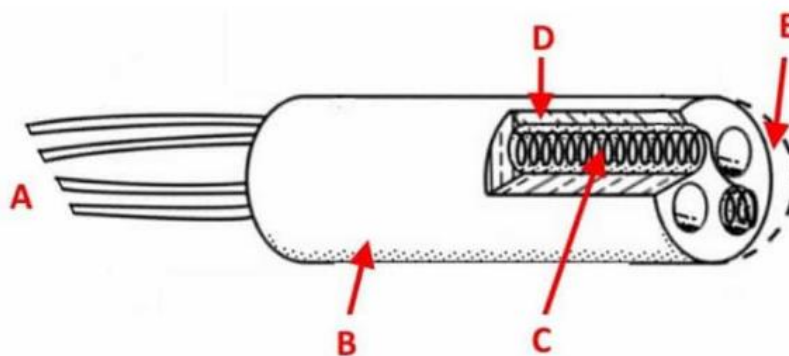


Рисунок 2.4 – Внутрішня схематична будова терморезистора

Позначення до рисунка 2.4:

- А – піни терморезистора;
- В – захисний корпус;
- С – спіраль із платинового дроту;
- D – дрібнодисперсний наповнювач;
- Е – герметичний корпус.

Термометри опору мають декілька переваг, які варто відзначити. По-перше, вони забезпечують високу точність вимірювання, здатність досягати похибки в межах $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Це робить їх корисними в досить вимогливих додатках, де точність вимірювання температури має велике значення [31]. Однак для досягнення високої точності вимірювання опору датчика потрібні спеціальні схеми та прилади.

Другою перевагою термометрів опору є лінійна залежність між опором і температурою. Це означає, що зміна опору буде пропорційною зміні температури. У платинових термометрів опору лінійність є кращою, а також вони мають вищий питомий опір і ширший діапазон робочих температур. Однак платинові термометри опору зазвичай коштують дорожче. За вибором металу, такого як мідь, опір може бути нижчим, але це може призвести до збільшення розмірів датчика.

Отже, при виборі термометра опору важливо брати до уваги не лише точність вимірювання, але й лінійність залежності опору від температури та вартість датчика, враховуючи вимоги конкретного застосування.

Термістори - це датчики, у яких опір змінюється залежно від температури. Однак, важливо відзначити, що залежність між опором і температурою у термісторах є нелінійною. Це означає, що зміна опору не відбувається пропорційно зміні температури.

Існують два типи термісторів: з негативним температурним коефіцієнтом (NTC) і з позитивним температурним коефіцієнтом (PTC).

NTC термістори мають опір, який зменшується зі зростанням температури. Це означає, що при підвищенні температури опір термістора зменшується. Вони широко використовуються, наприклад, для контролю температури в промислових процесах, електронних пристроях та системах автоматичного регулювання.

PTC термістори, навпаки, мають опір, який збільшується зі зростанням температури. Це означає, що при підвищенні температури опір термістора збільшується. PTC термістори часто використовуються для захисту електричних пристроїв від перевантажень, контролю струму, а також для температурної компенсації.

Термістори мають свої особливості і обмеження, пов'язані з їх нелінійною залежністю опору від температури. Проте, завдяки своїй здатності швидко реагувати на зміни температури та високій чутливості, вони застосовуються в багатьох галузях, де важлива точність контролю температури. Зовнішній вигляд термістора зображений на рисунку 2.5.

NTC термістори дійсно виготовляються з оксидів різних металів, таких як марганець, залізо, кобальт, нікель, мідь, цинк. Процес виготовлення включає подрібнення оксидів до форми порошку, їх змішування з сполучним пластиком, пресування і плавлення. Це дозволяє отримати компакту структуру термістора з потрібними електричними властивостями.



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд термістора

Важливим етапом після виготовлення є процес старіння термісторів. Це пов'язано з тим, що параметри термістора під час експлуатації можуть змінюватися, і саме старіння допомагає стабілізувати їх [32]. Зазвичай термістори піддаються контрольованому тепловому циклу, що дозволяє досягти стабільної роботи термістора з часом.

Важливо враховувати, що матеріал, з якого виготовлений термістор, зберігає свої електричні властивості в певному діапазоні температур. При перевищенні цього діапазону можуть відбутися незворотні зміни, що призведуть до пошкодження термістора або зміни його характеристик. Тому важливо використовувати термістори в межах їх рекомендованого робочого діапазону температур для забезпечення надійної та стабільної роботи. Формула 2.2, яка демонструє як у робочому діапазоні температур змінюється залежність опору термістора від температури наведена нижче.

$$R_t = R_N \cdot e^{B\left(\frac{1}{t} - \frac{1}{t_N}\right)} (T - T_a) \quad (2.2)$$

де:

— R_t – опір термістора при температурі t ;

- R_N – опір термістора при температурі t_N
- номінальне значення опору, що дається виробником в одній точці (зазвичай 25°C);
- B – коефіцієнт, постійний для даного термістора, визначається матеріалом датчика та характеризує залежність $R(t)$.

Термістори мають кілька важливих переваг, серед яких є великий температурний коефіцієнт опору матеріалу. Значення цього коефіцієнту може сягати від 1 до 10 Ом/°C при кімнатній температурі. Це означає, що зі зростанням температури опір термістора значно змінюється, що дозволяє використовувати їх для точного вимірювання температури.

Однак, важливим недоліком термісторів є сильна нелінійність залежності опору від температури. Це означає, що зміна опору термістора не відбувається пропорційно зміні температури, що може ускладнити точне вимірювання температури і вимагати додаткових коригуючих алгоритмів чи калібрування.

В даний час термістори широко використовуються як датчики температури в побутовій техніці та промисловості. Їх компактні розміри, низька вартість та висока чутливість до змін температури роблять їх ефективними інструментами для вимірювання та контролю температурного режиму в різних пристроях та системах. Деякі області їх використання:

- побутова електроніка;
- автомобільна електроніка;
- телекомунікації.

2.2 Особливості розрахунку системи мікроклімату

Розрахунок системи мікроклімату для будинку є складним процесом, який враховує багато різних параметрів з метою забезпечення комфортних умов для мешканців. Основні критерії комфортної мікроклімату включають температуру та вологість повітря.

Розрахунок системи мікроклімату починається з визначення теплового балансу будівлі. Це означає розрахунок теплових потоків, які проходять через стіни, дах, підлогу, вікна та інші елементи будівлі. Враховуються такі фактори, як теплопровідність матеріалів, площа поверхонь, різниця температур всередині та зовнішніх середовищ, ізоляційні властивості будівельних елементів.

Далі, розраховується потужність опалювальних приладів, таких як котли, радіатори або підлогове опалення. Враховуються тепловтрати будівлі та необхідна потужність для підтримання бажаної температури всередині приміщень.

Крім опалення, розрахунок системи мікроклімату також включає визначення потужності кондиціонування повітря для забезпечення приємної температури влітку або в умовах високої вологості. Кондиціонери витягують тепло з приміщення та відводять його на зовнішню сторону, забезпечуючи охолодження повітря всередині.

Розрахунок вентиляційних систем для будинку включає в себе розрахунок параметрів повітря, що входить у систему. Необхідно враховувати швидкість руху повітря, температуру та вологість повітря, а також об'єм приміщення. Оптимальна конфігурація системи вентиляції вибирається залежно від специфікацій будівлі та вимог до мікроклімату.

У розрахунку вентиляційних систем також визначається потужність вентиляторів та їх розташування в приміщенні. Витрата повітря, яка необхідна для забезпечення відповідного обміну повітря, розраховується з урахуванням параметрів мікроклімату та об'єму приміщення [33].

Розрахунок системи охолодження включає визначення теплового навантаження будинку. Це враховує теплові потоки, які надходять в будинок через стіни, дах, вікна та інші елементи будівлі. Залежно від цього розраховується оптимальна конфігурація системи охолодження.

Найпоширенішими методами охолодження є кондиціонування повітря та використання системи підлогового охолодження. Розрахунок системи охолодження включає врахування параметрів мікроклімату, таких як температура повітря, вологість та швидкість руху повітря.

В цілому, розрахунок системи мікроклімату для будинку вимагає комплексного підходу, враховуючи багато різних параметрів. Це дозволяє забезпечити комфортні умови проживання і раціональне використання енергії.

2.3 Особливості методу керування кіберфізичною системою мікроклімату "Розумного будинку"

Метод керування кіберфізичною системою мікроклімату "Розумного будинку" використовує комплексний підхід для забезпечення комфортних умов проживання. Він базується на зборі даних про різні параметри мікроклімату, такі як температура повітря, вологість, швидкість руху повітря, склад повітря та наявність людей у приміщенні.

Для збору даних використовуються різні датчики та сенсори, які постійно моніторять стан мікроклімату. Отримані дані обробляються за допомогою алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту [34]. Це дозволяє системі аналізувати зібрані дані, виявляти патерни та залежності між параметрами мікроклімату.

Після обробки даних метод визначає оптимальні параметри системи мікроклімату, які необхідні для створення комфортних умов у приміщенні. Наприклад, він може вирішувати, коли і яким чином включати опалення, охолодження або вентиляцію для досягнення заданої температури та вологості повітря. Також враховується наявність людей у приміщенні, щоб забезпечити оптимальні умови для комфортного перебування.

Метод керування кіберфізичною системою мікроклімату "Розумного будинку" має на меті забезпечити ефективну роботу обладнання системи, оптимальне використання ресурсів та забезпечення комфорту та задоволення потреб користувачів [35]. Він дозволяє автоматизувати процес керування мікрокліматом і зробити його більш ефективним та зручним для життя людей.

Метод керування кіберфізичною системою мікроклімату відрізняється декількома особливостями, які забезпечують його ефективність та зручність використання. Перш за все, цей метод передбачає зв'язок між фізичною системою,

яка включає обладнання системи мікроклімату, та програмним забезпеченням, що керує цією системою. Це дає можливість використовувати віддалене керування системою, включаючи здійснення керування через мобільні додатки та хмарні сервіси.

Крім того, метод керування мікрокліматом дозволяє автоматичне налаштування параметрів системи залежно від поточних умов. Наприклад, система може адаптувати режим роботи до наявності людей у приміщенні або враховувати час доби для оптимального контролю мікроклімату. Це дозволяє забезпечити комфортні умови і ефективне використання енергії, уникнувши непотрібного споживання ресурсів.

Однак, безпека є важливою складовою методу керування кіберфізичною системою мікроклімату. Система повинна мати заходи захисту від несанкціонованого доступу та забезпечувати конфіденційність даних. Це особливо важливо, коли мова йде про роботу з закритими зонами або об'єктами з обмеженим доступом.

Кіберфізична система мікроклімату "Розумного будинку" представляє собою інтелектуальний підхід, який поєднує комплексні технології для забезпечення комфорту та енергоефективності [36]. Основна мета такої системи полягає у створенні оптимального рівня комфорту та оптимізації споживання енергії в будинку або квартирі.

Система складається з різноманітних датчиків, які збирають інформацію про показники мікроклімату, такі як температура, вологість, рівень CO₂ та освітлення в приміщенні. Ці дані передаються до центральної панелі з інтерфейсом, де користувач може налаштовувати потрібні параметри опалення, освітлення та вентиляції зручним для нього способом.

Одним із способів керування системою є використання спеціального мобільного додатка, який дозволяє користувачеві змінювати налаштування мікроклімату з використанням смартфона. Це дає зручну можливість дистанційного керування системою, незалежно від місця перебування користувача.

Кіберфізична система мікроклімату "Розумного будинку" пропонує рішення для керування опаленням та освітленням в квартирі, що дозволяє забезпечити комфортні умови проживання з ефективним використанням ресурсів.

Для керування опаленням, система використовує термостат, який контролює температуру в приміщенні за допомогою комбінованих джерел тепла. Це дозволяє підтримувати належний рівень температури відповідно до вимог користувача. Користувач може налаштувати рівень опалення в залежності від часу доби та своїх особистих вподобань щодо комфорту.

Крім того, система забезпечує можливість керування освітленням у квартирі. Вона інтегрована з "розумною" системою освітлення, яка забезпечує рівномірний розподіл світла в приміщенні відповідно до потреб користувача [37]. Користувач може налаштувати рівень освітлення відповідно до часу доби та особистих вимог, щоб створити бажану атмосферу та забезпечити енергоефективність.

Ця кіберфізична система мікроклімату "Розумного будинку" дозволяє ефективно керувати опаленням та освітленням у приміщенні, забезпечуючи комфортні умови проживання для користувачів та раціональне використання енергії.

Система керування вентиляцією в рамках кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" забезпечує належний стан повітря в квартирі, використовуючи датчики CO₂ та вологості повітря. Користувач має можливість налаштувати рівень вентиляції, враховуючи час доби та рівень вологості повітря. Система автоматично регулює роботу системи витяжки, забезпечуючи оптимальну якість повітря в приміщенні [38].

Усі ці функції керування вентиляцією, а також опаленням та освітленням, виконуються в рамках єдиної системи керування. Це дозволяє максимально оптимізувати витрати енергії та забезпечити комфортні умови в квартирі. Користувач може зручно налаштовувати рівень комфорту та ефективності, використовуючи панель з інтерфейсом або мобільний додаток на смартфоні. Це дає можливість швидко та зручно керувати системою в будь-який час, враховуючи особисті вподобання та потреби користувача.

Кіберфізична система мікроклімату "Розумного будинку" має можливість інтеграції з "хмарною" системою управління, що дозволяє збирати дані та проводити їх аналіз з метою досягнення максимально ефективного використання енергії [39]. Наприклад, система може автоматично регулювати рівень опалення та освітлення, враховуючи час доби, погодні умови та особисті звички користувача, що дозволяє забезпечити максимальну економію енергії.

Крім того, цю систему можна підключити до різних додатків для керування з використанням смартфона. Один з таких додатків, який можна використовувати для керування системою, є SinricPro. Це надає користувачеві зручність та можливість керувати мікрокліматом у будинку з будь-якого місця за допомогою свого смартфона.

SinricPro - це інноваційна платформа для розробників, що надає можливість керувати різними домашніми пристроями, включаючи системи опалення, освітлення та вентиляції. Цей додаток дозволяє користувачам зручно керувати мікрокліматом у своїй квартирі через голосові команди або інтуїтивно зрозумілий інтерфейс додатку на смартфоні.

Однією з головних переваг SinricPro є можливість налаштування різних сценаріїв керування. Користувач може налаштувати різні режими опалення та освітлення, враховуючи час доби, день тижня та погодні умови. Наприклад, можна налаштувати автоматичне змінення температури в приміщенні відповідно до різних періодів доби або розподілу освітлення відповідно до активності користувачів.

Крім того, SinricPro надає можливість автоматично регулювати температуру та вологість повітря залежно від наявності людей у квартирі. Система може виявляти присутність користувачів і самостійно підтримувати оптимальні параметри мікроклімату для комфортного перебування.

Застосування SinricPro дозволяє користувачам ефективно та зручно керувати мікрокліматом у своїй квартирі, забезпечуючи комфортні умови і економію енергії.

SinricPro є інноваційним елементом в системі керування мікрокліматом у будинку. Він надає користувачам можливість контролювати споживання

електроенергії та газу, а також моніторити стан систем опалення, освітлення та вентиляції. Це дозволяє забезпечити зручне та ефективне керування мікрокліматом у квартирі, знижуючи споживання енергії та забезпечуючи максимальний комфорт.

Однією з наукових новинок є інтеграція SinricPro в систему керування мікрокліматом у будинку. Цей потужний та зручний додаток дозволяє налаштовувати різні сценарії керування, моніторити споживання енергії та контролювати стан системи. В результаті, користувачі можуть зручно та ефективно керувати мікрокліматом у своєму житлі. SinricPro підтримує різні протоколи зв'язку, такі як Wi-Fi, Bluetooth та Zigbee, що дозволяє підключати різноманітні пристрої до системи керування мікрокліматом.

Застосування SinricPro дозволяє користувачам не лише забезпечити комфортний мікроклімат у своєму будинку, але й досягти економії енергії та оптимізувати споживання ресурсів [40]. Керування мікрокліматом стає зручним та простим завдяки голосовим командам або інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу додатку на смартфоні. SinricPro допомагає підтримувати комфорт та забезпечує енергоефективність, роблячи його цінним додатком для системи керування мікрокліматом у будинку.

Однією з основних переваг SinricPro є його надзвичайна простота використання. Користувачі можуть легко додавати нові пристрої до системи, налаштовувати різні сценарії керування та моніторити стан системи. Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс додатку робить керування мікрокліматом у своєму приміщенні простим та зручним.

Крім того, SinricPro підтримує різні голосові асистенти, такі як Amazon Alexa та Google Assistant. Це означає, що користувачі можуть керувати системою керування мікрокліматом за допомогою голосових команд. Ця функція додає ще більше зручності та ефективності до використання системи.

SinricPro допомагає спростити та автоматизувати керування мікрокліматом у будинку, забезпечуючи комфортні умови та енергоефективність. З його допомогою користувачі можуть налаштовувати різні сценарії, моніторити споживання енергії та забезпечувати оптимальний стан систем опалення, освітлення та вентиляції.

SinricPro - це сучасний та зручний інструмент для керування мікрокліматом у будинку, який сприяє ефективному використанню ресурсів та підвищує комфорт користувачів.

2.4 Структурна схема кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку"

Структурна схема кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" включає декілька основних компонентів, які взаємодіють для забезпечення комфортних умов мікроклімату:

Система датчиків і сенсорів: Цей компонент включає різноманітні датчики, які збирають дані про стан мікроклімату в будинку. Наприклад, вони можуть вимірювати температуру повітря, вологість, швидкість руху повітря, рівень CO₂ та інші параметри [41]. Ці дані стануть основою для подальшого аналізу та керування системою мікроклімату.

Система керування: Цей компонент відповідає за обробку та аналіз інформації, отриманої від датчиків і сенсорів. Вона визначає потребу в регулюванні параметрів мікроклімату і приймає рішення щодо оптимальної роботи обладнання системи мікроклімату [42]. Це може включати автоматичне регулювання температури, вологості, освітлення та інших факторів залежно від зазначених параметрів.

Обладнання системи мікроклімату: Цей компонент складається з різних пристроїв та систем, що забезпечують регулювання параметрів мікроклімату в будинку. Наприклад, це можуть бути системи опалення, кондиціонування повітря, вентиляції, освітлення та інші. Вони контролюються і керуються системою керування на основі отриманих даних, що дозволяє підтримувати комфортні умови в будинку.

Крім основних компонентів, структурна схема кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" включає такі додаткові компоненти:

Мережа зв'язку: Цей компонент забезпечує передачу даних між різними компонентами системи, зокрема між датчиками, системою керування та обладнанням системи мікроклімату [43]. Використовуються різні протоколи зв'язку, такі як Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee та інші, для забезпечення ефективної комунікації.

Користувацький інтерфейс: Цей компонент надає зручний спосіб взаємодії користувачів з системою мікроклімату. Це може бути мобільний додаток для смартфонів або планшетів, або веб-інтерфейс, доступний через браузер. Користувачі можуть керувати параметрами мікроклімату, налаштовувати різні сценарії, переглядати дані про стан мікроклімату та виконувати інші операції зручним способом.

Система безпеки: Цей компонент відповідає за захист системи мікроклімату від несанкціонованого доступу та виявлення можливих несправностей. Він може включати механізми автентифікації, шифрування даних, системи контролю доступу та інші заходи для забезпечення безпеки системи.

Для ефективного проектування комплексної системи моніторингу мікроклімату в будинку потрібно визначити алгоритм роботи системи, який включає наступні функції:

- Розгортання локального серверу: Система повинна мати локальний сервер, на якому користувач зможе ввести логін та пароль для підключення до домашньої точки доступу до Інтернету. Це забезпечить безпечний доступ до системи.
- Відслідковування параметрів мікроклімату в головному терміналі (кімната №1): Система повинна моніторити атмосферний тиск, температуру, вологість та концентрацію вуглекислого газу в цій кімнаті.
- Відслідковування параметрів мікроклімату в кімнаті №2 та кімнаті №3: Система повинна також моніторити температуру, вологість та концентрацію вуглекислого газу в цих кімнатах.

- Відображення результатів на головному терміналі: Результати вимірювань повинні відображатися на дисплеї головного терміналу системи, щоб користувач міг легко переглядати їх.

- Передача результатів на смартфон користувача: Система повинна мати можливість передавати результати вимірювань на смартфон користувача через підключення до мережі Інтернет. Це дозволить користувачу отримувати оновлену інформацію про мікроклімат у будинку.

- Відлік реального часу: Система повинна мати вбудований модуль відліку реального часу для точного відображення часу в системі та ведення календаря.

- Синхронізація з еталонним мережевим часом: Система повинна періодично синхронізуватися з еталонн

На основі функцій, які були перераховані, можна зробити наступні висновки щодо складу системи, з якою матиме справу користувач [44]. Пристрій відображення інформації: Система повинна мати екран, який дозволить користувачеві отримувати доступ до вимірювань. Рекомендовані типи дисплеїв - LCD-дисплей або OLED-дисплей. Сегментні дисплеї не підійдуть, оскільки потрібно виводити багато інформації. Розгортання локального сервера: Для мінімального налаштування системи потрібно ініціалізувати розгортання локального сервера, до якого користувач зможе підключитися за допомогою смартфона [45]. Це забезпечить зручний спосіб введення основних даних користувачем. Елемент управління: Для простого управління системою необхідно мати маленьку тактову кнопку або сенсорний датчик, що дозволить користувачу виконувати базові команди безпосередньо на пристрої. Ці компоненти забезпечать користувачеві зручний доступ та можливість контролювати систему мікроклімату у будинку шляхом виведення інформації на екран, налаштування параметрів через локальний сервер та використання простого елемента управління.

На основі проміжних результатів та перелічених функцій можна зробити блок-схему алгоритму системи комплексного моніторингу мікроклімату в будинку та наведемо її на рисунку 2.6.

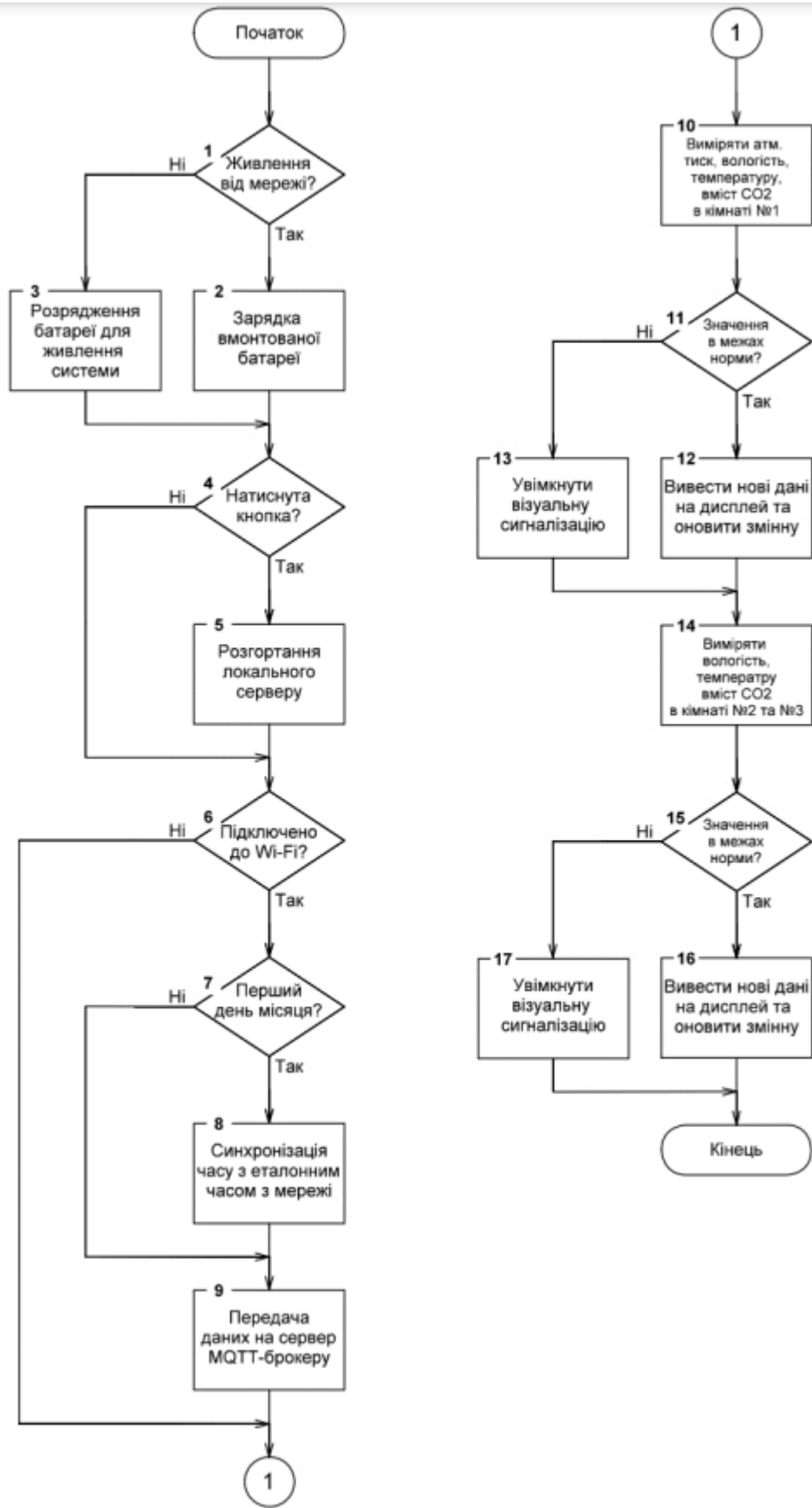


Рисунок 2.6 – Блок-схема алгоритму системи SHS

Як тільки на вхід системи подається живлення, вона відразу розпочинає виконувати своє основне завдання – перевіряти показники мікроклімату кімнат.

Першим пунктом є живлення системи. Система живиться від зовнішнього блока живлення, який отримує електричну енергію з загальної електромережі. Врахована можливість роботи від акумулятора, який забезпечує живлення системи в разі відключення електромережі. Для збереження терміну застосування акумуляторної батареї, система має наскрізну зарядку. Користувач буде сповіщений про перехід на живлення від акумулятора піктограмою на пристрої відображення [46].

Четвертим пунктом є можливість користувацького налаштування. Для першого увімкнення та налаштування системи потрібна одна кнопка. Для використання смарт-функцій системи потрібен доступ до мережі Інтернет. Користувач надає ім'я своєї точки доступу (SSID) та пароль до неї. Розгортається веб-сервер NodeMCU з полями для введення інформації та віртуальною кнопкою при натисканні кнопки налаштування. приклад такого серверу наведений на рисунку 2.7.

Користувацьке налаштування буде мати наступний вигляд:

- Користувач вводить необхідні дані в поля на веб-сервері системи.
- Після введення даних користувач натискає кнопку для згорання серверу та підключення до мережі Інтернет.
- Система використовує введені користувачем дані для спроби підключення до мережі Інтернет.
- При успішному підключенні користувач бачить відповідну піктограму на пристрої відображення інформації (приклади піктограм наведені на рисунку 2.8).
- При невдалому підключенні система вимикає модуль Wi-Fi та очікує повторного натискання керуючої кнопки.
- Це зроблено для збереження енергії, оскільки модуль Wi-Fi споживає значну кількість енергії як у штатному режимі, так і в аварійних ситуаціях.

- При першому підключенні до мережі, відбудеться синхронізація часу з мережею. Інтернет система автоматично синхронізує свій внутрішній час з мережею [47]. В системі присутній модуль реального часу, який здатен вести рахунок часу самостійно. Однак, для підстрахування в разі можливих збоїв в роботі модуля реального часу, щомісяця, в перший день нового місяця, система здійснює примусову синхронізацію свого часу з мережею [48]. Цей процес описаний на блок-схемі в сьомому та восьмому пунктах.



Рисунок 2.7 – Приклад розгорнутого серверу (А) та точки доступу (Б)

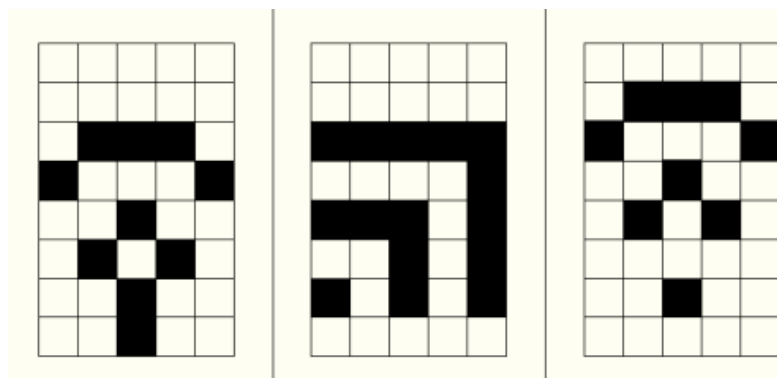


Рисунок 2.8 – Приклади піктограм, для відображення стану підключення

У дев'ятому пункті йде відправка зібраних даних на MQTT-сервер. На даному етапі виконавча програма системи комплексного моніторингу мікроклімату відправляє зібрані дані про характеристики мікроклімату на MQTT-сервер. Відправка даних на MQTT-сервер забезпечує можливість доступу до системи з будь-якого місця світу, де є доступ до мережі Інтернет [49]. MQTT-протокол

(Message Queuing Telemetry Transport) використовується для ефективного обміну повідомленнями між пристроями та додатками в розподіленій мережі.

У дев'ятому пункті йде відправка зібраних даних на MQTT-сервер. На даному етапі виконавча програма системи комплексного моніторингу мікроклімату відправляє зібрані дані про характеристики мікроклімату на MQTT-сервер. Відправка даних на MQTT-сервер забезпечує можливість доступу до системи з будь-якого місця світу, де є доступ до мережі Інтернет [49]. MQTT-протокол (Message Queuing Telemetry Transport) використовується для ефективного обміну повідомленнями між пристроями та додатками в розподіленій мережі.

Блоки з десятого по сімнадцятий вимірюють параметри мікроклімату в кімнатах. Здійснюється безпосереднє вимірювання атмосферного тиску, температур, вологості та концентрацій вуглекислого газу в трьох кімнатах [50]. Ці блоки складаються з відповідних датчиків та інших необхідних компонентів для збору та обробки даних про мікроклімат. Відслідковування параметрів за межами допустимого діапазону: Якщо хоча б один з вимірюваних параметрів вийде за заданий діапазон, який регламентується стандартом, то на дисплеї системи відобразатиметься миготлива індикація відповідного параметра. Крім того, система відправить пуш-повідомлення на смартфон користувача через MQTT-брокер [51]. Це допоможе користувачу відслідкувати, в якій кімнаті параметри мікроклімату вийшли з норми та потребують уваги або втручання.

2.5 Регулювання режимів роботи кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку"

Регулювання режимів роботи кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" зазвичай автоматично здійснюється за допомогою системи керування [52]. Головна концепція полягає у тому, що система керування, використовуючи дані, отримані від датчиків і сенсорів, визначає необхідні режими роботи для досягнення комфортної температури, вологості повітря, рівня освітленості тощо, і відповідно керує роботою обладнання системи мікроклімату.

Наприклад, якщо система виявляє, що температура повітря в приміщенні занадто низька, вона може автоматично увімкнути систему опалення або підвищити температуру води в опалювальній системі [53]. Якщо рівень вологості повітря є надмірно високим, система може включити вентилятор для забезпечення кращої вентиляції та зниження вологості. У випадку, коли рівень освітленості занадто низький, система може активувати освітлювальні прилади або змінити яскравість світла.

Для досягнення максимальної ефективності та комфорту, система керування системою мікроклімату "Розумного будинку" враховує різні фактори, такі як кількість присутніх осіб у приміщенні, погодні умови, час доби та інші. За допомогою алгоритмів штучного інтелекту, вона може прогнозувати потреби у різних режимах роботи системи мікроклімату та оптимізувати їх функціонування.

Крім автоматичного регулювання, користувачі також можуть вручну налаштувати режими роботи системи мікроклімату за допомогою зручного користувацького інтерфейсу, наприклад, за допомогою мобільного телефону або вбудованого мікроконтролера [54]. Це дає можливість користувачам особисто контролювати та змінювати параметри, такі як температура, освітленість та вологість, відповідно до їхніх вподобань та потреб.

Опираючись на технічне завдання та створену блок-схему алгоритму, ми отримуємо початкове представлення про пристрій комплексного моніторингу мікроклімату будинку [55]. Отже, для подальшого створення системи, необхідно перерахувати всі параметри, яким вона повинна відповідати, перечислимо їх:

- базується на мікроконтролері ESP8266;
- система живиться від 5В;
- повинна мати сумісність з системами «Smart House» від Google та Amazon;
- повинна мати безпроводний режим роботи;
- мати автономний режим роботи;
- повинна бути енергоефективною;
- повинна мати пристрій відображення інформації;
- мати мінімум налаштувань для роботи;

- повинна мати змогу розгортати локальний сервер;
- повинна мати мінімально можливий розмір.

І ми можемо перерахувати всі доступні функції, які система комплексного моніторингу і корекції мікроклімату в будинку повинна забезпечувати:

- вимірювання атмосферного тиску;
- вимірювання температур в трьох окремих кімнатах;
- вимірювання вологості в трьох окремих кімнатах;
- вимірювання концентрації вуглекислого газу в трьох окремих кімнатах;
- сигналізувати користувачеві, у випадку виходу з безпечного діапазону підконтрольних параметрів;
- проводити відлік часу;
- проводити відлік днів, місяців, років та днів тижня;
- відображати всю інформацію на пристрої відображення;
- відправляти всю інформацію на сервер MQTT для подальшої передачі на смартфон користувача.

На основі проведеного аналізу можна скласти структурну схему проєктованого пристрою для комплексного моніторингу мікроклімату в будинку на базі мікроконтролера ESP8266. та зобразимо її на рисунку 2.9.



Рисунок 2.9 – Структурна схема

Необхідно забезпечити безпроводний зв'язок між розроблюваною системою моніторингу мікроклімату та маршрутизатором користувача [56]. Для цього використовується бездротовий режим роботи, який дозволяє передавати дані з пристрою до сервера MQTT. Обсяг корисних даних, які система надсилатиме, не є великим, тому проведення провідного з'єднання з маршрутизатором за допомогою Ethernet-кабелю не є необхідним. Головна мета - забезпечити стабільний безпроводний зв'язок.

Зважаючи на те, що на сьогоднішній день доступ до Інтернету та маршрутизатора є невід'ємною частиною багатьох сучасних приміщень, було вирішено не включати маршрутизатор до складу системи [57]. Однак, наявність маршрутизатора є обов'язковою для повноцінної функціональності системи. Важливо відмітити, що продуктивність системи не буде залежати від конкретного бренду, класу, покоління або швидкості передачі даних маршрутизатора.

Таким чином, бездротовий зв'язок забезпечує зручність та мобільність системи моніторингу мікроклімату, а маршрутизатор є необхідним елементом для забезпечення його з'єднання з Інтернетом та передачі даних на сервер MQTT.

2.6 Висновок

Можна зробити висновок про те, що система мікроклімату "Розумного будинку" є кіберфізичною системою, що базується на математичних моделях.

Передбачає використання інтелектуальних алгоритмів, які враховують зовнішні та внутрішні фактори, що впливають на мікроклімат, та забезпечують оптимальний рівень комфорту з урахуванням показників користувача та забезпечує економію енергоресурсів.

А регулювання режимів роботи передбачає використання різних алгоритмів, таких як пропорційно-інтегрально-диференційні контролери, нечіткі логічні контролери тощо, які враховують поточний стан системи та забезпечують швидке та точне регулювання рівня комфорту.

3 ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ МІКРОКЛІМАТУ “РОЗУМНОГО БУДИНКУ”

3.1 Побудова загальної імітаційної моделі елементів кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку"

Імітаційна модель кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" представляє собою математичну модель, яка відтворює роботу системи мікроклімату в різних умовах і дозволяє проводити дослідження та вдосконалювати її функціональні можливості. Ця модель є важливим інструментом при проектуванні та оптимізації систем мікроклімату, а також при плануванні розкладу робіт і технічного обслуговування.

Імітаційна модель кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" включає в себе математичні рівняння та алгоритми керування, які описують фізичні процеси і забезпечують оптимальний режим роботи системи. Ця модель дозволяє досліджувати і симулювати роботу системи мікроклімату, зокрема, її опалення.

Математичні рівняння, які використовуються в імітаційній моделі, описують теплопередачу і взаємодію повітря зі стінами та іншими елементами будинку. Ці рівняння враховують такі фактори, як теплопровідність матеріалів, температурні градієнти і теплообмін між елементами системи. Вони дозволяють розраховувати температуру повітря в приміщенні і впливати на систему опалення для підтримки заданої температури [58].

Імітаційна модель кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" є потужним інструментом для дослідження та аналізу різних аспектів роботи системи. Вона дозволяє проводити експерименти та тестування в контрольованому віртуальному середовищі, що забезпечує багато переваг.

За допомогою імітаційної моделі можна вивчати вплив різних факторів на систему мікроклімату, таких як зміна зовнішньої температури, наявність людей у приміщенні, використання певних алгоритмів керування та інші параметри. Це дозволяє оцінювати ефективність різних стратегій та алгоритмів, виявляти можливі проблеми та розробляти оптимальні рішення [59].

Імітаційна модель може бути реалізована з використанням різних програмних пакетів та мов програмування, таких як MATLAB, Simulink, Python та інші. Ці інструменти надають потужні можливості для створення математичних моделей, симуляції фізичних процесів, аналізу результатів та визначення оптимальних параметрів системи [60].

При побудові кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" важливо розробити структурну схему, що відображає взаємодію різних компонентів системи. Така схема допоможе краще зрозуміти логіку роботи системи та забезпечити її ефективну імітацію, див. рисунок 3.1.

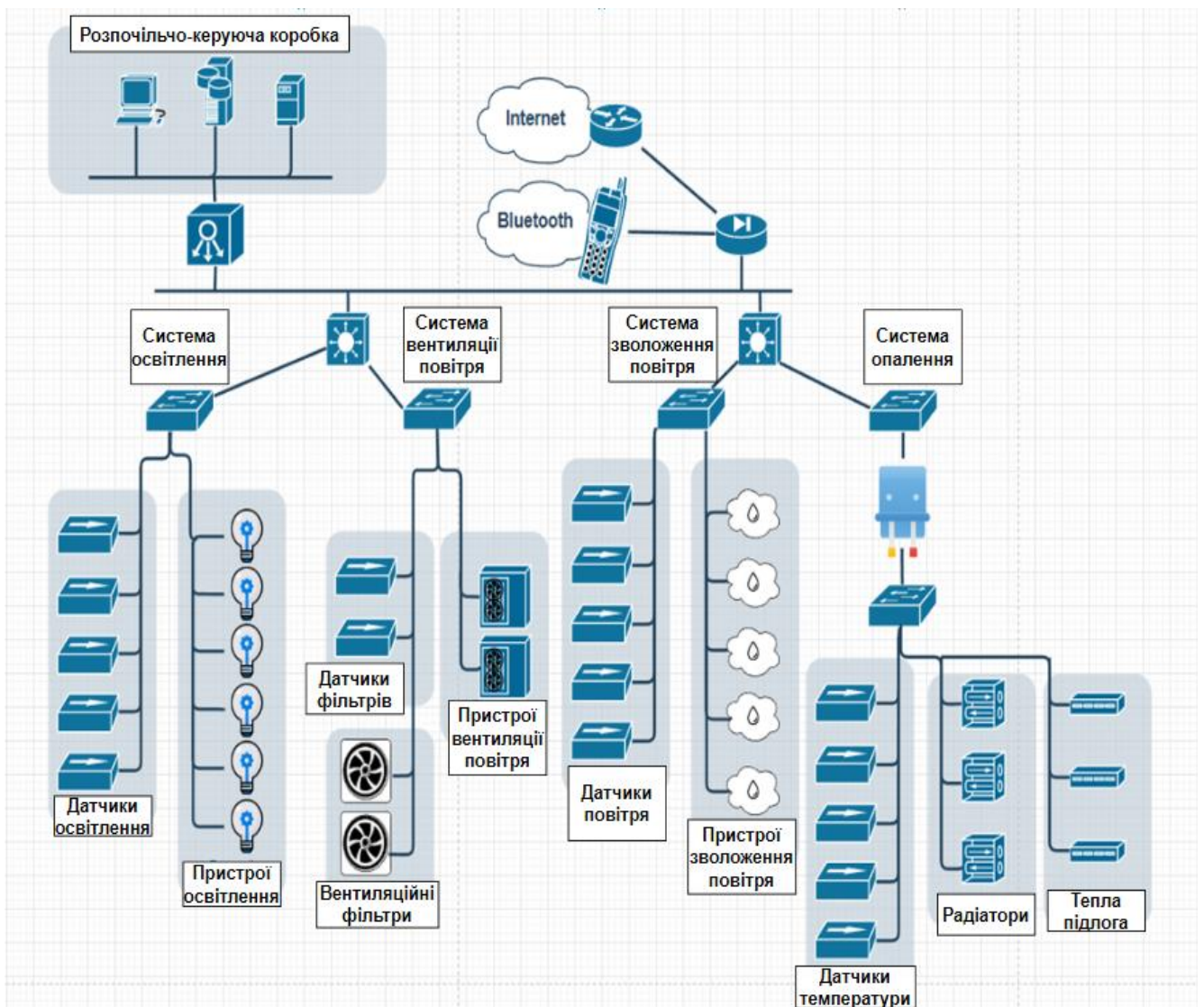


Рисунок 3.1. Імітаційна модель кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку"

3.2 Імітаційна модель системи обігріву

Імітаційна модель системи обігріву включає в себе різні компоненти, які співпрацюють між собою для забезпечення оптимального обігріву приміщення. Ця модель базується на математичних рівняннях та враховує фізичні процеси, що відбуваються в системі обігріву [61].

Основні компоненти імітаційної моделі системи обігріву включають:

- Обігрівачі: це пристрої, які генерують тепло для підігріву повітря або об'єктів в приміщенні. Вони можуть бути представлені в моделі як теплові джерела з різними характеристиками.

- Теплоносійні мережі: це система трубопроводів та радіаторів, яка передає тепло від обігрівачів до приміщення. В моделі враховуються фізичні властивості теплоносія, такі як теплопровідність та гідравлічний опір.

- Терморегулятори: це пристрої, які контролюють температуру в приміщенні. Вони можуть включати термостати, програмовані контролери або інші системи автоматичного керування температурою.

- Зовнішні фактори: це параметри, які впливають на обігрів приміщення, такі як зовнішня температура, наявність сонячного випромінювання, вітер тощо. Вони враховуються в моделі для точного відтворення реальних умов.

Імітаційна модель системи обігріву дозволяє проводити дослідження різних сценаріїв роботи системи, визначати оптимальні налаштування та вдосконалювати ефективність обігріву приміщення [62]. В додаток, модель може використовуватися для прогнозування поведінки системи обігріву в різних умовах. Наприклад, вона може враховувати зміну зовнішньої температури та на основі цих даних передбачати, як система буде реагувати і підтримувати комфортну температуру в приміщенні.

Одним з прикладів імітаційної моделі системи обігріву є модель, яка базується на методі скінченних елементів. У цій моделі розглядається теплопередача в приміщенні, яка залежить від температурного режиму,

властивостей матеріалів приміщення та інших факторів. Вона включає в себе рівняння теплопровідності та рівняння балансу енергії, які дозволяють відтворити процес обігріву приміщення.

Імітаційна модель системи обігріву є корисним інструментом для проектування, оптимізації та управління системою обігріву в будинках та інших приміщеннях. Вона дозволяє зменшити витрати на енергопостачання та забезпечити комфортний мікроклімат [63].

Імітаційна модель системи охолодження є математичною моделлю, яка дозволяє досліджувати різні режими роботи системи охолодження в "Розумному будинку" та прогнозувати її роботу в різних умовах.

Одна з можливих імітаційних моделей системи охолодження полягає в наступному, див формулу 3.1. Нехай T_{in} - температура повітря на вході в систему охолодження, T_{out} - температура повітря на виході з системи охолодження, m - масовий потік повітря, C_p - теплоємність повітря, H - теплова потужність охолоджувального пристрою.

Тоді можна записати наступні рівняння:

$$m \cdot C_p \cdot \frac{T_{out} - T_{in}}{\Delta t} = H(T - T_a) \quad (3.1)$$

де Δt - часовий крок.

Така імітаційна модель дозволяє досліджувати різні сценарії роботи системи охолодження, визначати необхідні параметри обладнання, оптимізувати роботу системи та забезпечувати комфортний мікроклімат у приміщенні [64].

SHT30A-DIS є новим поколінням датчиків температури та вологості, розробленим швейцарською компанією Sensirion. Він базується на сенсорному чіпі CMOSens®, який є ключовою технологією нової платформи вимірювання вологості та температури від Sensirion. SHT30A-DIS володіє покращеною інтелектуальністю, надійністю і точністю у порівнянні зі своїм попередником SHT20A-DIS від тієї ж компанії.

Незважаючи на те, що сам датчик виготовлений з кремнію, корпус датчика складається з мідно-свинцевого каркасу і зеленої суміші для форм на основі епоксидної смоли [65]. Це конструктивне рішення дозволяє забезпечити стійкість та захист датчика, а також забезпечити оптимальні умови для вимірювання температури та вологості.

Датчик надійно працює в межах рекомендованого нормального діапазону, який зображений на рисунку 3.2. Вплив тривалого перебування поза цим діапазоном, особливо при вологості $>80\%RH$, може тимчасово зрушити показник вологості ($+3\%RH$ протягом 60 годин). Після повернення до нормального діапазону, датчик повільно повернеться до свого початкового калібрування. Протягом тривалого перебування в екстремальних умовах, може відбуватись прискорене старіння датчика, що може призвести до зменшення його точності. Тому рекомендується уникати тривалого перебування датчика в екстремальних умовах для забезпечення його оптимальної роботи і тривалої точності [66].

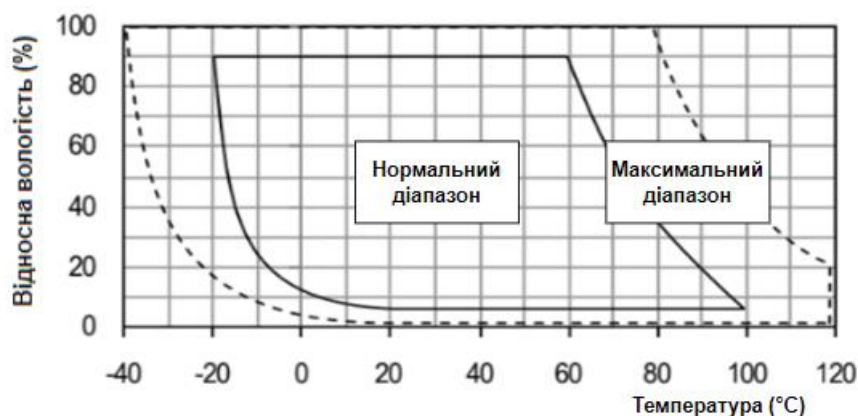


Рисунок 3.2 – Умови роботи датчика SHT30

Для забезпечення точності визначення відносної вологості при різних температурах рекомендується враховувати наступні дані. Максимальний допуск для точності відносної вологості при температурі $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ вказаний на рисунку 3.3, А. Для інших значень температури, максимальний допуск був оцінений в межах, показаних на рисунку 3.3, В. Варто зазначити, що наведені значення є максимальними допусками без урахування гістерезису відносно високоточного

еталонного зразка, такого як метод визначення точки роси [67]. Типові відхилення становлять $\pm 2\%$ відносної вологості, де максимальний допуск складає $\pm 3\%$ відносної вологості, а для інших значень воно приблизно становить половину максимального допуску.

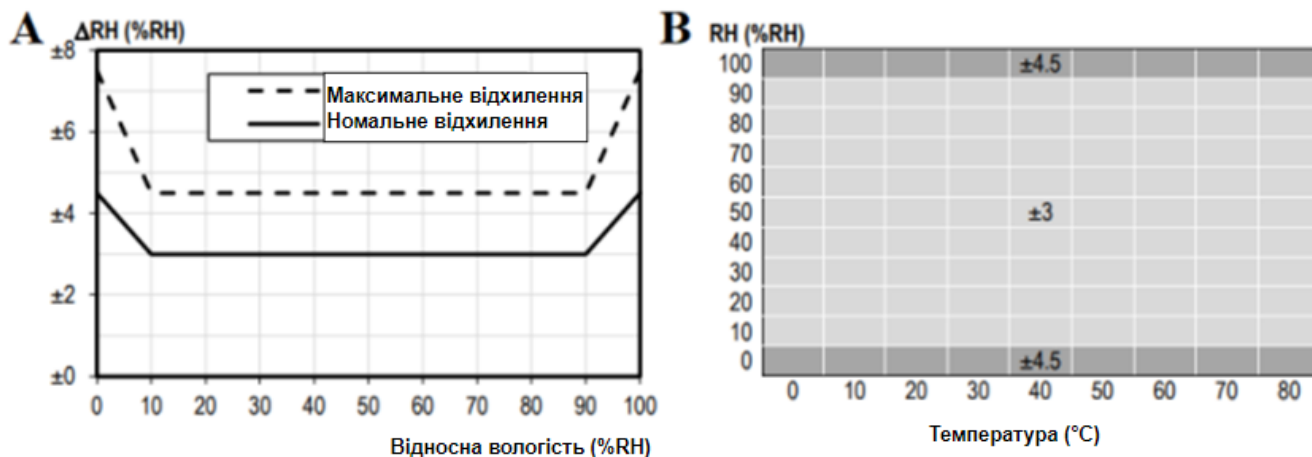


Рисунок 3.3 – Допуск відносної вологості при 25°C (A), Залежність допуску RH від T (B), для SHT30A

Відповідно до таблиці 3.1, споживання струму датчика SHT30A залежить від температури і напруги живлення VDD. Функціональна блок-схема датчика SHT30A зображена на рисунку 3.4, А. Сигнали вологості та температури, що отримуються з датчика, піддаються заводській калібруванні, лінеаризації та компенсації відповідно до температури та напруги живлення.

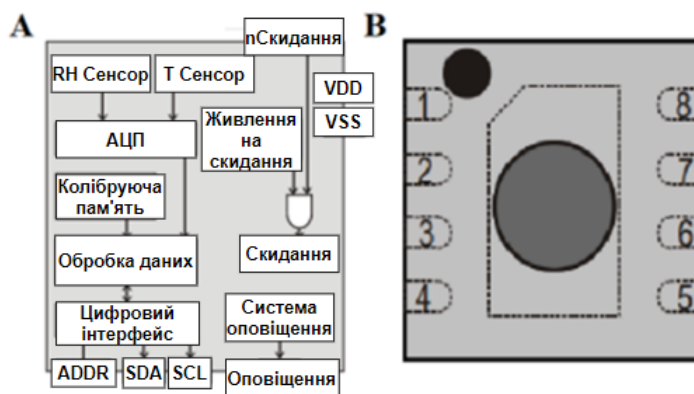


Рисунок 3.4 – Функціональна схема SHT30A(A), зовнішній вигляд датчику SHT30A(B)

Зовнішній вигляд датчика показано на рисунку 3.4, В. У таблиці 3.2 перераховані всі піни датчика та їх призначення.

Таблиця 3.1 – Електричні характеристики SHT30

Параметр	Режим	Мін.	Сер.	Макс.	МВ
Напруга живлення, VDD	-	2,1	3,0	3,6	В
Струм живлення, IDD 6	Сплячий	-	0,15	0,4	мкА
	Вимірювання	200	300	330	мкА
Розсіювання потужності	Сплячий	-	0,5	1,2	мкВт
	Вимірювання	0,6	0,9	1,0	мВт
	8 біт	-	3,2	-	мкВт

Нижче наведено електричні характеристики датчика SHT30A, які можна знайти в таблиці 3.1. Для надійної роботи датчика рекомендується використовувати конденсатор ємністю 100 нФ для відведення джерела живлення, який повинен бути розташований якомога ближче до датчика. На рисунку 3.5 зображена типова схема підключення датчика.

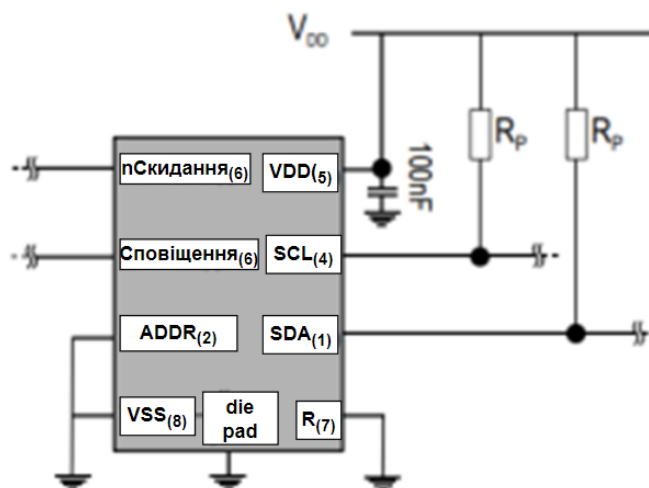


Рисунок 3.5 – Типова схема підключення датчика SHT30A

Таблиця 3.2 – Піни SHT30A

№ Піну	Назва	Функція
1	SDA	Передача інформації від/до МК; вхід/вихід.
2	ADDR	PIN-код адреси; введення; підключається до логічного високого або низького рівня
3	ALERT	Вказує на стан тривоги; вихід; потрібно залишити плаваючим, якщо він не використовується
4	SCL	Тактуючий сигнал для прийомо-передачі; Вхід/Вихід
5	VDD	Напруга живлення; Вхід
6	nRESET	Контакт скидання, активний низький рівень; Вхід; можна залишити плаваючим; або підключити до VDD за допомогою послідовного резистора $R \geq 2$ кОм
7	R	Немає електричної функції; для підключення до VSS
8	VSS	Земля

Пін SCL (Serial Clock) використовується для синхронізації зв'язку між мікроконтролером і датчиком. Він визначає тактову частоту для передачі даних і може бути налаштований в межах від 0 до 1000 кГц.

Також SDA використовується для передачі даних між мікроконтролером і датчиком. Цей пін використовується як для передачі даних від мікроконтролера до датчика, так і для отримання даних від датчика.

За допомогою піна ADDR (Address) можна вибрати адресу датчика на шині I2C. Якщо вивід ADDR підключений до високого логічного рівня, то адреса датчика буде 0x45. Якщо вивід ADDR підключений до низького логічного рівня, то адреса буде 0x44. Адресу датчика можна змінювати динамічно під час роботи, змінюючи рівень на виводі ADDR [68]. Проте важливо, щоб рівень залишався постійним під час всього зв'язку, починаючи з умови запуску I2C і до завершення зв'язку. Це дозволяє підключити до шини I2C більше двох датчиків SHT30A.

Зверніть увагу, що зазначена інформація відноситься до підключення датчика SHT30A за допомогою шини I2C та встановлення адреси датчика. Деталі щодо роботи з цими пінами та конкретними налаштуваннями слід дотримуватися відповідної документації та рекомендацій виробника [69].

Для динамічного перемикання адреси датчиків потрібно мати окремі лінії ADDR до кожного датчика. Важливо зазначити, що адреса I2C передається через 7 старших розрядів заголовка передачі або отримання даних по шині I2C. Молодший біт (LSB) використовується для перемикання між операціями читання та запису.

Вивід ALERT можна використовувати для підключення до виводу переривань мікроконтролера. Стан виводу ALERT залежить від значення показників вологості (RH) та температури (T) в порівнянні з програмованими обмеженнями. Якщо цей пін не використовується, його рекомендується залишити плаваючим (floating). Пін ALERT перемикається на високий рівень, коли виконуються умови спрацювання переривання.

Пін nReset можна використовувати для скидання (reset) датчика. Мінімальна тривалість імпульсу скидання повинна становити 1 мкс для надійного скидання датчика. Якщо пін nReset не використовується, рекомендується залишити його плаваючим або підключити до джерела живлення VDD за допомогою послідовного резистора $R \geq 2$ кОм. Варто відзначити, що внутрішньо пін nReset підключений до джерела живлення VDD за допомогою підтягуючого резистора $R = 50$ кОм.

При розміщенні датчика температури у приміщенні важливо враховувати декілька факторів. Перш за все, датчик не повинен бути вплинутий прямим сонячним промінням або бути розташованим поруч з джерелами тепла, такими як радіатори або каміни. Це може спричинити неточність вимірювання температури та некоректну роботу системи опалення або кондиціонування повітря [70].

Крім того, датчик температури повинен бути розташований на відстані від дверей, вікон та вентиляційних отворів, щоб уникнути впливу зовнішніх факторів на вимірювання температури. Оптимальною практикою є встановлення датчика на внутрішній стіні приміщення, в зоні, що є репрезентативною для середньої температури.

Також варто враховувати можливість впливу тіні від меблів на вимірювання температури. Тому рекомендується розташовувати датчик на відстані від 1 до 1,5 метрів від підлоги та від 30 до 60 сантиметрів від стіни.

Дотримуючись цих рекомендацій, можна забезпечити точність вимірювання температури в приміщенні та ефективну роботу системи управління кліматом для забезпечення комфортної температури. Остаточне розміщення датчика температури в приміщенні залежить від типу використовуваної системи опалення та кондиціонування повітря. Наприклад, у системах з центральним опаленням може бути доцільним встановлення датчика на кожному поверсі або в кожній зоні опалення для точного контролю температури. У випадку системи кондиціонування повітря датчик температури може бути встановлений безпосередньо на пристрої кондиціонування. Крім того, у деяких ситуаціях може знадобитися встановлення кількох датчиків температури в приміщенні, особливо якщо воно має декілька зон або різні вимоги до температури. У такому випадку датчики можуть бути розміщені в кожній зоні або окремо для різних поверхів.

Перед встановленням датчика температури рекомендується ретельно ознайомитись з інструкцією виробника і звернутися до кваліфікованих фахівців для отримання консультації та рекомендацій щодо розміщення. Дотримання рекомендацій виробника та консультація з фахівцями допоможуть забезпечити точне вимірювання температури в приміщенні та ефективну роботу систем опалення та кондиціонування повітря.

З огляду на раніше зазначене та характеристики обраного датчика температури, вирішено встановити датчики на внутрішніх стінах приміщень на висоті 1,5 метра, стежачи за тим, щоб уникнути прямих сонячних променів, як показано на рисунку 3.6.

3.3 Імітаційна модель системи вентиляції

Імітаційна модель системи вентиляції є математичною моделлю, яка дозволяє досліджувати та аналізувати роботу системи вентиляції в різних умовах. Вона

базується на фізичних принципах, таких як закони термодинаміки та гідродинаміки, і враховує елементи, що складають систему вентиляції, такі як вентилятори, воздуховоди, клапани, фільтри та інші компоненти.

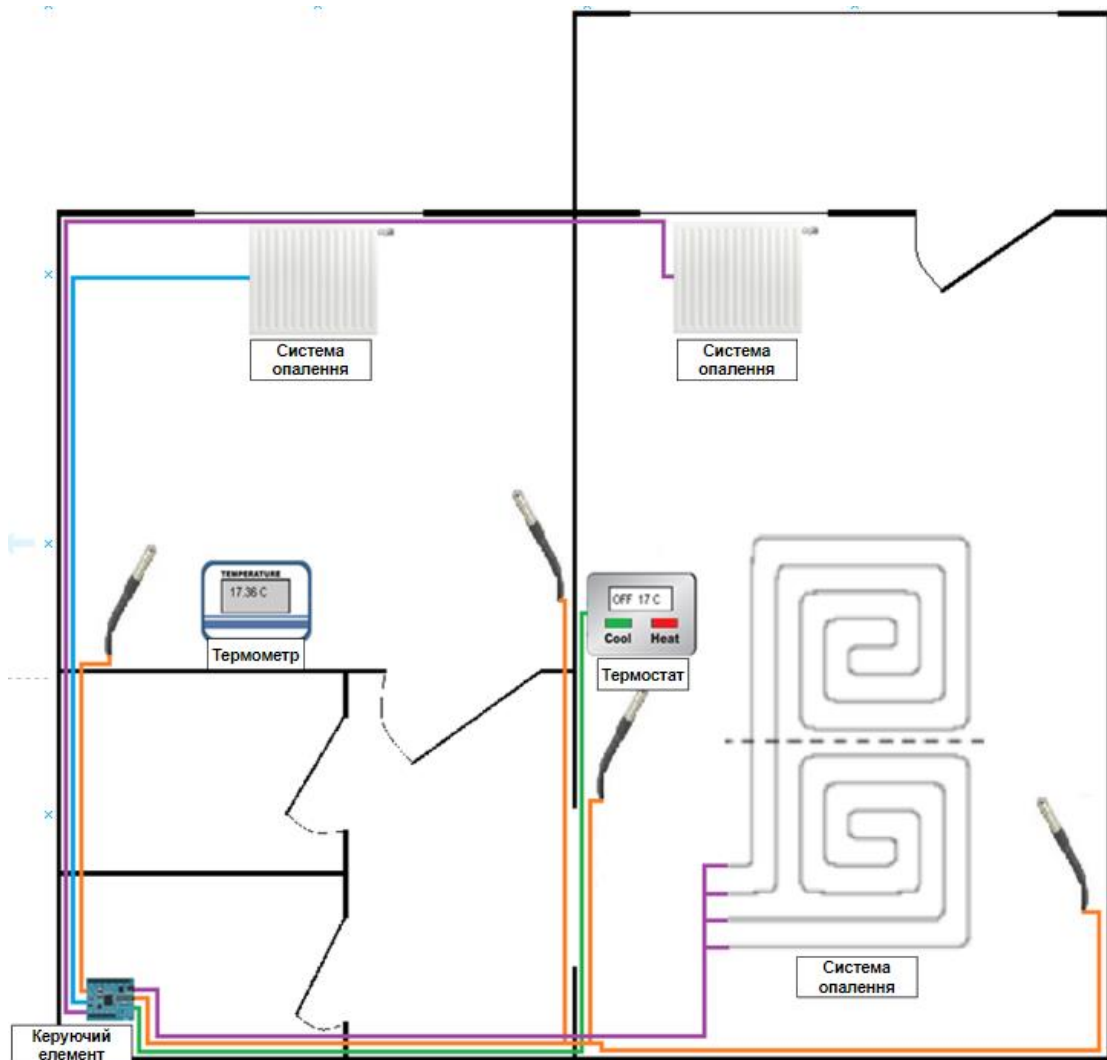


Рисунок 3.6 - Імітаційна модель системи обігріву

Ця модель дозволяє виконувати різні сценарії функціонування системи вентиляції і визначати оптимальні параметри для забезпечення ефективної та економічно вигідної роботи системи. Вона може враховувати такі фактори, як обсяг притоку та витяжки повітря, розташування вентиляційних отворів, властивості фільтрів та інші параметри.

Вхідні параметри, які використовуються для розрахунку параметрів системи вентиляції, включають температуру повітря, вологість, тиск і інші фактори, що

впливають на функціонування системи. Ці параметри служать вихідними даними для імітаційної моделі.

Імітаційна модель системи вентиляції генерує вихідні параметри, які включають швидкість потоку повітря, об'єм повітря, що пройшов через систему вентиляції, тиск у воздуховодах, а також температуру та вологість повітря. Ці значення допомагають оцінити ефективність та робочі характеристики системи вентиляції в різних умовах.

Імітаційна модель системи вентиляції використовується для проведення експериментів, досліджень та аналізу роботи системи вентиляції в різних сценаріях та умовах. Вона може бути використана при проектуванні нових систем вентиляції для оцінки їх потенційних характеристик та вирішення проблем, а також для вдосконалення існуючих систем шляхом зміни параметрів та налаштування режимів роботи.

Robert Bosch є визнаним лідером на світовому ринку в галузі датчиків тиску, які використовуються як у автомобільній, так і в побутовій сферах застосування. Одним з їхніх інноваційних продуктів є BME280 - комбінований цифровий датчик, який забезпечує вимірювання вологості, тиску та температури. Цей датчик розроблений на основі перевірених принципів вимірювання і відомий своєю точністю та надійністю.

BME280 забезпечує високу точність вимірювання вологості, тиску та температури, що робить його ідеальним рішенням для багатьох застосувань. Він може бути використаний як у автомобільній промисловості для вимірювання параметрів повітря в системах контролю клімату, так і в побутовій електроніці, наприклад, для контролю вологості та температури у приміщеннях.

BME280 - це компактний датчик абсолютного барометричного тиску, спеціально розроблений для використання в компактних пристроях. На рисунку 3.7 зображений сенсорний модуль датчика, який розташований у надзвичайно компактному 8-контактному LGA-корпусі з металеву кришкою. Площа корпусу становить лише $2,5 \times 2,5$ мм², а його висота - 0,95 мм. Ці невеликі розміри разом з низьким споживанням енергії - 2,7 мкА при частоті 1 Гц, дозволяють

використовувати цей датчик в пристроях, що працюють від батареї, таких як мобільні телефони, модулі GPS або годинники.

Датчик вологості, який входить до складу BME280, має дуже швидкий час реакції і відгуку, що дозволяє використовувати його для програм, які потребують швидкого визначення контексту. Він також володіє високою загальною точністю в широкому діапазоні температур від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$. Це дозволяє отримувати надійні та точні вимірювання вологості в різних умовах і середовищах [71].

Датчик тиску, який використовується в BME280, є датчиком абсолютного барометричного тиску з вражаючою точністю та роздільною здатністю. Він працює в широкому робочому діапазоні від 300 до 1100 hPa (гектопаскаль) і забезпечує значно менший рівень шуму порівняно з датчиком Bosch Sensortec BMP180.

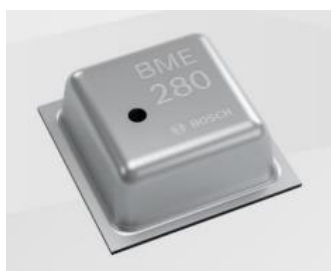


Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд датчика тиску BME280

BME280, крім вимірювання тиску та вологості, має вбудований датчик температури, який був спеціально оптимізований для досягнення найменшого рівня шуму та найвищої роздільної здатності. Його вихід може бути використаний для компенсації температури в датчиках тиску та вологості, а також для вимірювання температури навколишнього середовища [72].

BME280 складається з п'єзорезистивного чутливого елемента тиску та ASIC (пристрою з інтегрованими схемами з аналого-цифровим перетворенням), що працює зі змішаним сигналом. ASIC виконує перетворення сигналу в цифровий формат і надає результати перетворення та дані про компенсацію датчика через цифровий інтерфейс.

ВМЕ280 забезпечує високу гнучкість для розробників і може бути налаштований під різні вимоги щодо точності, часу вимірювання та споживання енергії. Він пропонує широкий спектр комбінацій налаштувань датчика, які можуть бути вибрані для досягнення бажаних параметрів роботи.

ВМЕ280 також може працювати в трьох режимах потужності: *normal mode* (нормальний режим), *forced mode* (примусовий режим) і *sleep mode* (режим сну). Це дозволяє ефективно керувати споживанням енергії в залежності від потреб додатку, що використовує датчик.

– У режимі сну, який встановлюється за замовчуванням після скидання живлення, датчик не проводить вимірювання, і його споживання енергії (IDDSM) зводиться до мінімуму. У цьому режимі всі реєстри датчика залишаються доступними, і можна зчитувати ідентифікатор мікросхеми та коефіцієнти компенсації. Цей режим дозволяє зберігати енергію, коли вимірювання не потрібні, але забезпечує зручний доступ до реєстрів для налаштування та зчитування даних, що не залежать від вимірювань [73]. При необхідності активації вимірювань датчика, можна переключити його в інший режим, наприклад, *normal mode* або *forced mode*;

– У примусовому режимі датчик виконує одне вимірювання відповідно до вибраних параметрів вимірювання та фільтра. Після завершення вимірювання датчик повертається в сплячий режим, а результати вимірювання можна отримати з реєстрів даних. Для здійснення наступного вимірювання потрібно знову вибрати примусовий режим. Цей режим дозволяє контролювати момент вимірювання і отримувати результати точно за потребою. Він особливо корисний для програм, які вимагають низької частоти дискретизації або синхронізації з хост-системою. Використання примусового режиму дозволяє оптимізувати споживання енергії і отримувати дані в точно визначені моменти часу згідно з вимогами програми. Візуалізація роботи примусового режиму зображена на рисунку 38;

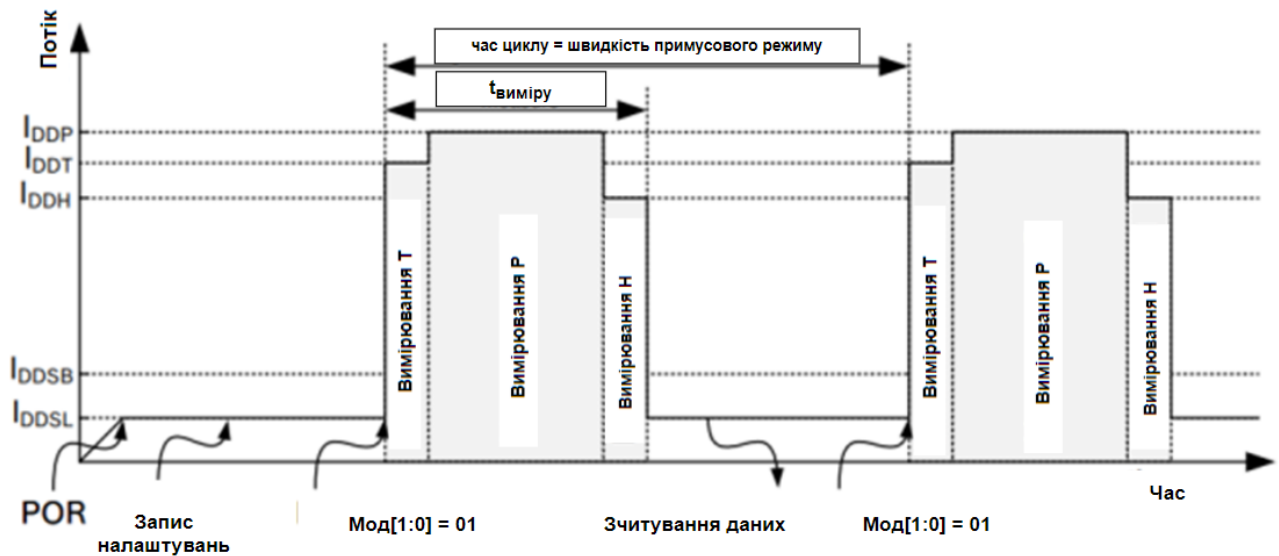


Рисунок 3.8 – Часова діаграма примусового режиму

– У нормальному режимі датчик періодично перемикається між активним періодом вимірювання і неактивним періодом очікування. Час очікування ($t_{standby}$) визначає тривалість неактивного періоду. У режимі очікування споживання струму (I_{DDSB}) трохи вище, ніж у режимі сну [74]. Після встановлення нормального режиму з вибраними параметрами вимірювання та фільтрування, останні результати вимірювань можна отримати з регістрів даних без необхідності здійснювати подальший доступ до запису. Це забезпечує зручність і ефективність в роботі з даними. Нормальний режим рекомендується, коли потрібно застосувати ПР-фільтр для фільтрації короткочасних шумів або перешкод, наприклад, в разі удару по датчику [75]. Цей режим дозволяє покращити якість вимірювань та забезпечити більш точні результати шляхом фільтрації непотрібних шумів і впливів. Візуалізація роботи нормального режиму зображена на рисунку 3.9.

Датчик VME280 надає доступ до налаштувань передискретизації, які дозволяють адаптувати його до конкретного застосування, забезпечуючи баланс між потужністю та роздільною здатністю. Ці параметри передбачають комбінації передискретизації для вимірювання тиску та температури, які попередньо визначені.

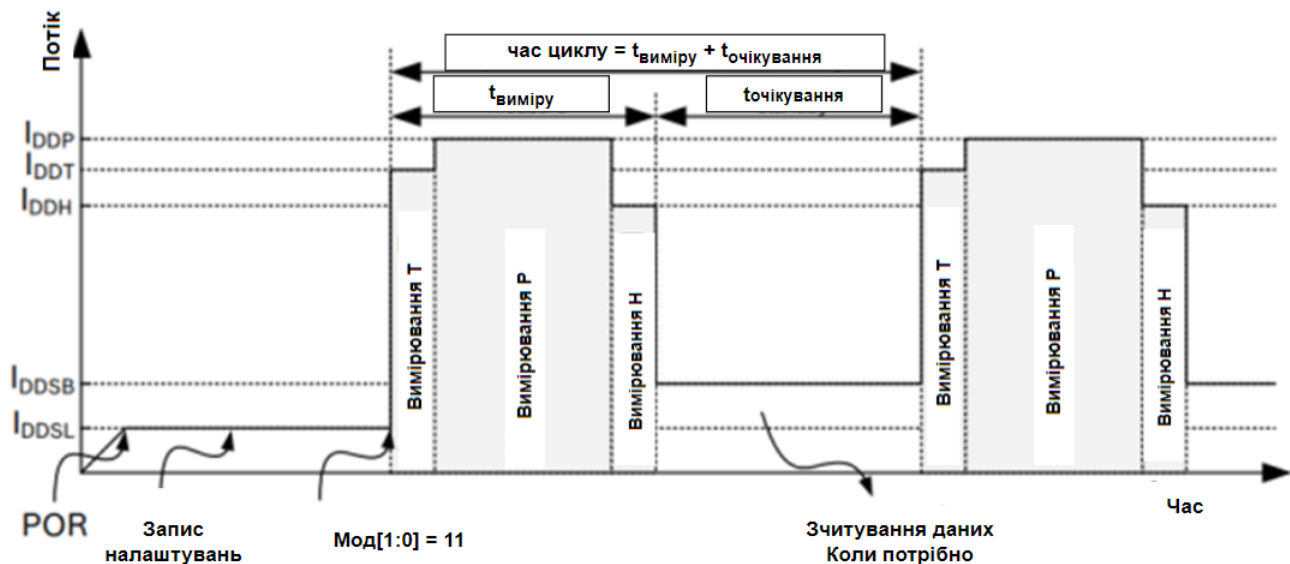


Рисунок 3.9 – Часова діаграма нормального режиму

Передискретизація для вимірювання тиску та температури може бути вибрана незалежно від 0 до 16-кратної передискретизації. Цей параметр визначає, скільки разів датчик повторює вимірювання перед тим, як повернути результат. Вибір більшої передискретизації зменшує шум і збільшує роздільну здатність на один біт.

Також є можливість включити або пропустити вимірювання тиску. Це корисно, якщо датчик VME280 використовується лише для вимірювання температури. При включенні вимірювання тиску можна вибрати різні параметри передискретизації для досягнення потрібної роздільної здатності та шуму.

Управління параметрами вимірювання та передискретизації здійснюється за допомогою бітів `osrs_p[2:0]` у регістрі керування `0xF4`, які описані в таблиці 3.3. Ці біти дозволяють включати або вимикати вимірювання та встановлювати потрібну передискретизацію для досягнення оптимальних результатів залежно від вимог вашого застосування.

Датчик VME280 має вбудований IIR-фільтр, який допомагає зменшити короточасні перешкоди в вихідних даних, такі як грюкання дверей або вікон. Цей фільтр використовує коефіцієнт, який може бути налаштований в діапазоні від 0 до 16, де 0 вимикає фільтр.

Таблиця 3.3 – Можливі налаштування датчика.

Налаштування передискретизації	Перевибірка тиску	Типова роздільна здатність тиску	Перевибірка температури
Вимірювання тиску пропущено	Пропущено	-	-
Наднизька потужність	x1	16 біт / 2,62 Па	x1
Низька потужність	x2	17 біт / 1,31 Па	x1
Стандартна P3	x4	18 біт / 0,66 Па	x1
Висока P3	x8	19 біт / 0,33 Па	x1
Надвисока P3	x16	20 біт / 0,16 Па	x2

Bosch Sensortec надає рекомендований набір налаштувань для спрощення використання датчика та зменшення кількості можливих комбінацій параметрів, що стосуються живлення, частоти передискретизації та налаштувань фільтра. Цей набір рекомендацій розроблений для поширених випадків використання датчика BME280, таких як смартфони, мобільні метеостанції або літаючі іграшки:

- портативні пристрої з низьким енергоспоживанням (наприклад, смартфони під керуванням Android);
- портативні пристрої (наприклад, смартфони під керуванням Android);
- моніторинг погоди (налаштування з найменшим енергоспоживанням);
- виявлення зміни ліфта/поверху;
- виявлення падіння;
- навігація в приміщенні.

BME280 має два окремих контакти джерела живлення:

- VDD є основним джерелом живлення для всіх внутрішніх аналогових і цифрових функціональних блоків;
- VDDIO є окремим контактом джерела живлення, який використовується для живлення цифрового інтерфейсу.

BME280 має вбудований генератор скидання живлення, який здійснює скидання логічної схеми та значень регістрів після послідовності ввімкнення

живлення. Немає обмежень щодо нахилу або послідовності підвищення рівнів VDD і VDDIO. Після ввімкнення живлення, датчик переходить у сплячий режим.

Важливо зазначити, що утримання будь-якого контакту інтерфейсу (SDI, SDO, SCK або CSB) на логічному високому рівні, коли VDDIO вимкнено, може призвести до пошкодження пристрою через великий струм, що протікає через діоди захисту від електростатичного розряду. Якщо VDDIO подається, а VDD – ні, контакти інтерфейсу зберігаються на високому рівні Z, що означає, що шина може використовуватися безпечно до встановлення живлення BME280 VDD. На рисунку 3.10 показана спрощена блок-схема BME280 для кращого розуміння його функціональності.

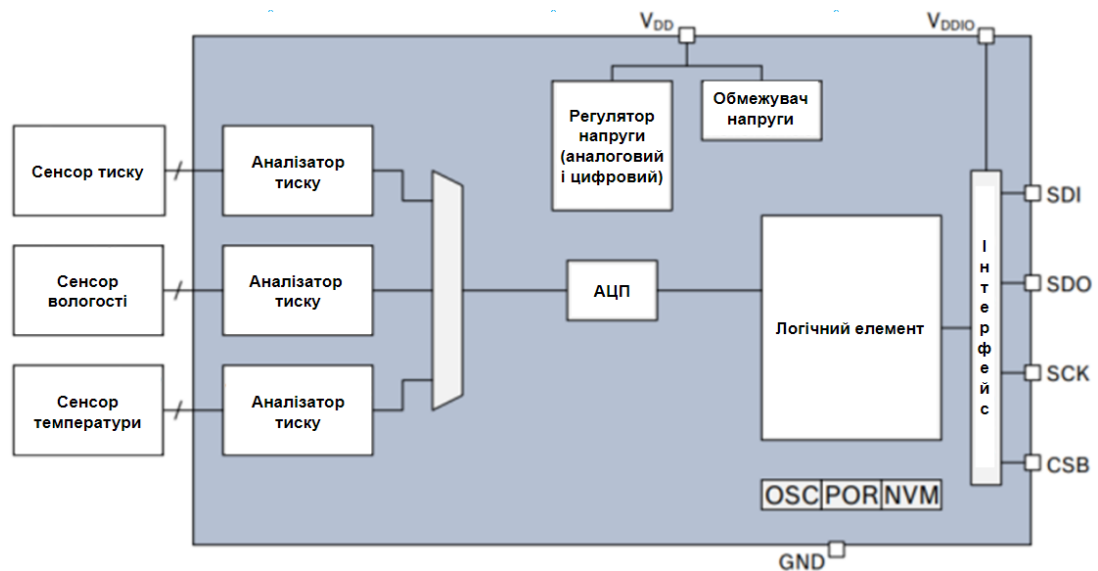


Рисунок 3.10 – Спрощена блок-схема BME280

Період вимірювання BME280 включає в себе вимірювання температури, тиску та вологості з передвиборною вибіркою. Після завершення цього періоду, дані про тиск і температуру можуть пройти через додатковий ПР-фільтр, який призначений для усунення короточасних коливань тиску, таких як ті, що виникають внаслідок грюкання дверей [76]. Проте, вологість не потребує такого фільтру і не піддається йому. Блок-схема алгоритму, що описує цей процес, можна знайти на рисунку 3.11 для більшого розуміння його функціонування.

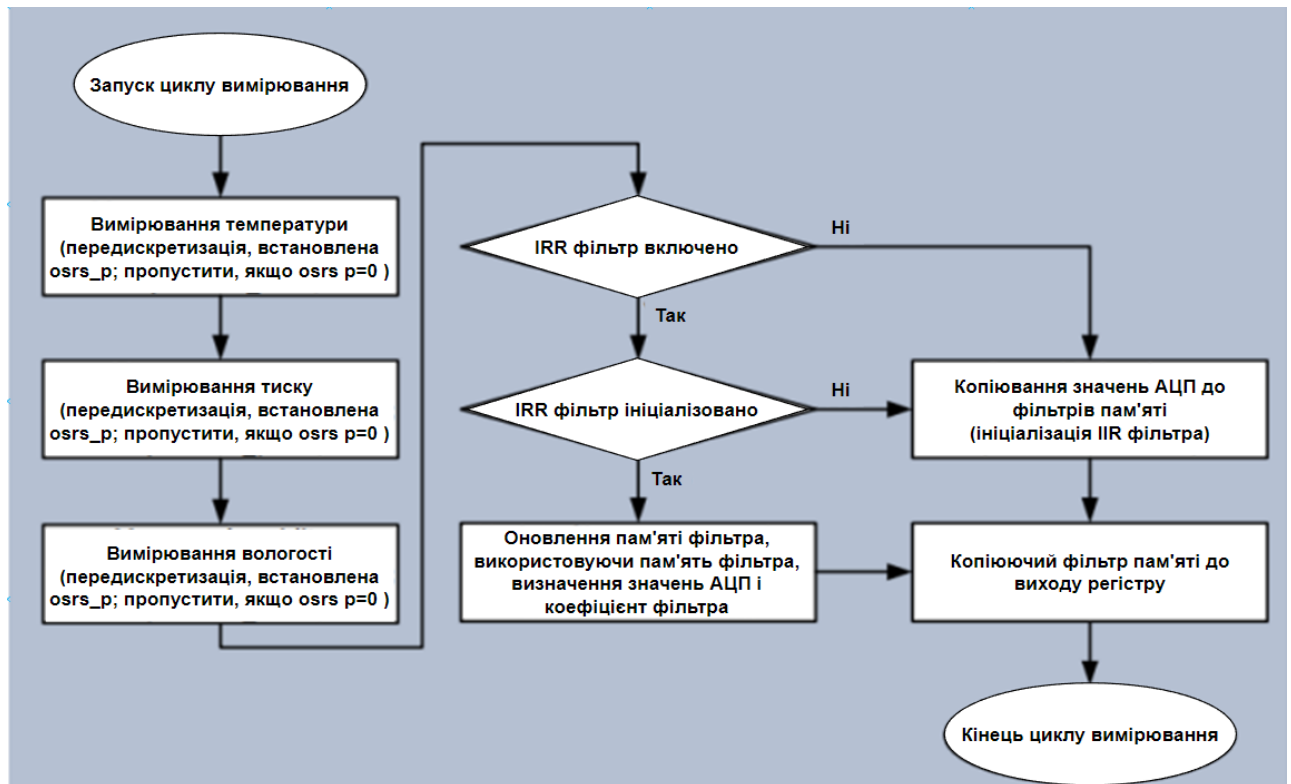


Рисунок 3.11 – Цикл вимірювання VME280

Рекомендується використовувати значення `osrs_t`, що базується на вибраному значенні `osrs_p` з таблиці 3.3. Хоча можлива перевибірка температури вище $\times 2$, вона не значно поліпшить точність вимірювання тиску. Це пояснюється тим, що шум компенсованого значення тиску більше залежить від необробленого тиску, а не від шуму необробленої температури. Дотримання рекомендованих налаштувань дозволить досягти оптимального співвідношення між шумом і споживаною потужністю.

Вимірювання вологості можна включити або пропустити. Якщо включено, доступні різні варіанти передискретизації. Вимірювання вологості контролюється параметром `osrs_h[2:0]`, який детально описаний в таблиці 3.5. Для вимірювання вологості можлива надмірна передискретизація з метою зменшення шуму. Роздільна здатність вимірювання вологості фіксується на 16-бітному виході аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Таблиця 3.5 – Можливі налаштування датчика.

Таблиця 3.4 – Можливі налаштування датчика.

Налаштування передискретизації	Перевибірка температури	Типова роздільна здатність тиску
Вимірювання температури пропущено	Пропущено	-
Наднизька потужність	x1	16 біт / 0,0050 °C
Низька потужність	x2	17 біт / 0,0025 °C
Стандартна P3	x4	18 біт / 0,0012 °C
Висока P3	x8	19 біт / 0,0006 °C
Надвисока P3	x16	20 біт / 0,0003 °C

Для компенсації короточасних змін тиску в навколишньому середовищі, таких як грукіт дверей або вікон або вплив вітру на датчик, BME280 використовує внутрішній фільтр IIR [77]. Цей фільтр ефективно знижує пропускну здатність вихідних сигналів, що дозволяє позбутися від шуму без необхідності відправляти додаткові дані через інтерфейс та навантажувати процесор.

Функціонування фільтра описується формулою 3.2, яка використовується для обробки результатів наступного кроку вимірювання тиску. Цей фільтр дозволяє згладити швидкі зміни і видалити шум, що допомагає отримати більш стабільні та достовірні дані тиску.

$$\text{data}_{\text{filtered}} = \frac{\text{data}_{\text{filtered_old}} * (\text{data}_{\text{coefficient}}^{t-1}) + \text{data}_{\text{ADC}}}{\text{data}_{\text{coefficient}}^t} (T - T_a) \quad (3.2)$$

де:

- $\text{data}_{\text{filtered_old}}$ це дані, отримані з попереднього збору даних;
- data_{ADC} це дані, що надходять з ADC до IIR-фільтрації.

IIR-фільтр BME280 можна налаштувати за допомогою бітів $\text{filter}[2:0]$, які знаходяться у керуючому регістрі 0xF5. У таблиці 3.6 наведені різні параметри фільтрації, які можуть бути вибрані. Щоб краще уявити ці параметри, можна

візуалізувати їх у вигляді графіка. На рисунку 3.12 можна побачити цю візуалізацію, яка допомагає зрозуміти, які зміни відбуваються при встановленні різних значень фільтра.

Таблиця 3.5 – Можливі налаштування датчика

Налаштування передискретизації	Перевибірка вологості
Вимірювання температури пропущено	Пропущено
Наднизька потужність	x1
Низька потужність	x2
Стандартна P3	x4
Висока P3	x8
Надвисока P3	x16

Таблиця 3.6 – Налаштування фільтра.

Коеф. Фільтра	-	2	4	8	16
Кількість зразків	1	2	5	11	22

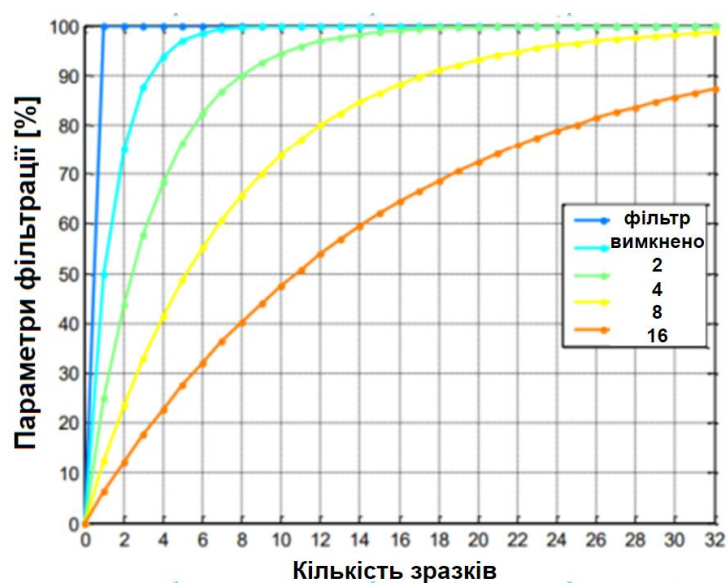


Рисунок 3.12 – Крок відгуку при різних налаштуваннях фільтра IIR

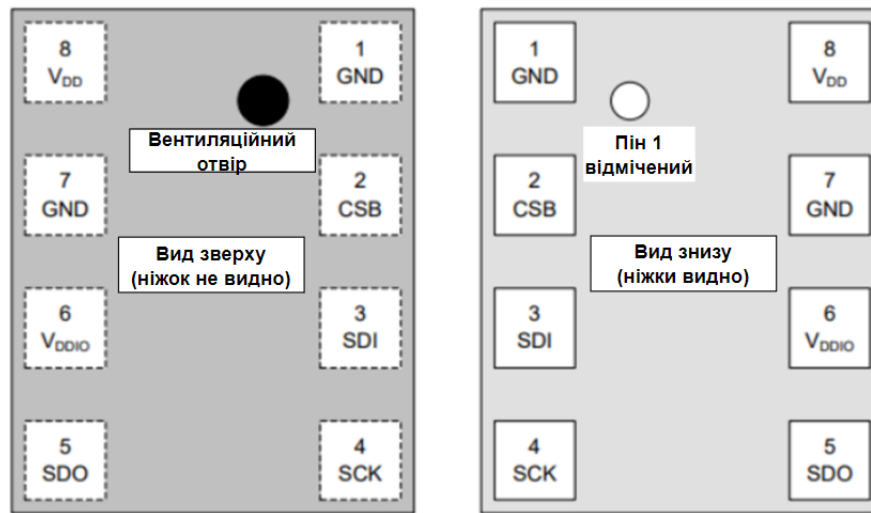


Рисунок 3.13 – Вигляд датчика BME280 зверху та знизу

Таблиця 3.7 – Піни датчик BME280.

№ Піну	Назва	Тип	Опис
1	GND	Живлення	Земля
2	CSB	Вхід	Готовність чіпа до прийомо-передачі
3	SDI	Вхід/Вихід	Передача даних
4	SCK	Вхід	Тактовий сигнал
5	SDO	Вхід/Вихід	Передача даних
6	V _{DDIO}	Живлення	Живлення інтерфейсу
7	GND	Живлення	Земля
8	V _{DD}	Живлення	Аналогове живлення

Використання рисунка 3.12 дає змогу легше порівнювати різні параметри фільтрації та їх вплив на вихідні дані. Це може допомогти при виборі оптимального налаштування фільтра для конкретного застосування BME280.

При записі в регістр фільтра, вмонтованому в BME280, фільтр скидається. Наступне значення, що проходить через фільтр, стає початковим значенням пам'яті фільтра. Якщо вимірювання температури або тиску було пропущено, пам'ять відповідного фільтра залишиться незмінною, навіть якщо вихідні регістри встановлені на 0x80000. При повторному ввімкненні пропущеного вимірювання

вихідні дані будуть відфільтровані за допомогою пам'яті фільтра з останнього разу, коли вимірювання не було пропущено [78]. На рисунку 3.13 зображено вид датчика ВМЕ280 зверху та знизу. Датчик має 8 пінів, які перераховані в таблиці 3.7 разом з коротким описом їх функціональності.

3.4 Імітаційна модель системи освітлення

Імітаційна модель системи освітлення в кіберфізичній системі мікроклімату "Розумного будинку" може бути побудована на основі різних факторів, таких як відстань від вікон, їх площа, розташування приміщень та час доби.

Для створення такої моделі можна використовувати спеціальне програмне забезпечення для моделювання освітлення в приміщеннях, наприклад DIALux або Relux. Ці програми дозволяють створювати віртуальні моделі будівель та приміщень, встановлювати параметри освітлення і визначати оптимальну кількість світильників та їх розташування.

Для імітації роботи системи освітлення в реальному часі можна використовувати програмне забезпечення, що взаємодіє зі сенсорами освітленості, які встановлені в кімнатах. Наприклад, якщо рівень природного освітлення знижується, система може автоматично включати штучне освітлення.

Крім того, система може бути оснащена датчиками руху, які дозволяють виявляти присутність людей в приміщенні. Це дозволяє ефективно використовувати енергію, вимикаючи світло в кімнаті, коли там немає жодної людини.

Отже, імітаційна модель системи освітлення в кіберфізичній системі мікроклімату "Розумного будинку" може бути реалізована за допомогою спеціального програмного забезпечення, яке взаємодіє зі сенсорами та датчиками, що контролюють рівень освітленості та присутність людей в приміщенні.

3.5 Алгоритм та програмне забезпечення роботи кіберфізичної системи мікроклімату “Розумного будинку”

Алгоритм та програмне забезпечення роботи кіберфізичної системи мікроклімату “Розумного будинку” можна описати наступним чином.

1. Збір даних: Для забезпечення роботи системи мікроклімату в кіберфізичному середовищі, необхідно зібрати дані про параметри мікроклімату в приміщенні (температура, вологість, швидкість потоку повітря тощо). Для цього можуть використовуватися датчики, що забезпечують зчитування відповідних параметрів.

2. Аналіз даних: Після збору даних, проводиться їх аналіз та обробка. На основі цих даних формується стан системи мікроклімату, який може бути використаний для прийняття рішень про регулювання параметрів мікроклімату.

3. Прийняття рішень: За допомогою алгоритмів прийняття рішень, система мікроклімату в кіберфізичному середовищі може автоматично регулювати параметри мікроклімату залежно від поточного стану системи та налаштувань користувача. Це може забезпечити комфортні умови проживання та знизити споживання енергії.

4. Керування системою: Після прийняття рішення про регулювання параметрів мікроклімату, система мікроклімату може керувати роботою відповідних пристроїв, які забезпечують регулювання параметрів мікроклімату, таких як кондиціонери, опалювальні системи, вентиляційні системи тощо.

5. Моніторинг та звітність: Для забезпечення ефективної роботи системи мікроклімату в кіберфізичному середовищі, необхідно формувати дата-звіти, для можливості подальшого оновлення системи. А також, система контролює та аналізує роботу всіх компонентів системи та вносить необхідні корективи у їх роботу.

Програмне забезпечення кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" складається з двох основних частин - програмного забезпечення для збору та аналізу даних та програмного забезпечення для керування обладнанням.

Програмне забезпечення системи керування кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" розроблялося, як адаптація програмного забезпечення системи керування теплиці Погрібняка І.О. [79], удосконалення системи можна представити як наступний алгоритм керування, див рисунок 3.14.

Перша частина програмного забезпечення складається з драйверів датчиків, які забезпечують зчитування даних з датчиків, та програм, які аналізують та обробляють зібрані дані. Для аналізу даних можуть використовуватися різноманітні методи та алгоритми, такі як методи штучного інтелекту, нейронні мережі та інші.

Друга частина програмного забезпечення відповідає за керування роботою систем обігріву, охолодження, вентиляції та освітлення. Вона включає в себе програми, які виконують різноманітні операції з керування обладнанням.

Програмне забезпечення кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" складається з різноманітних компонентів, що забезпечують збір і аналіз даних, регулювання параметрів системи та комунікацію між компонентами. Головні компоненти програмного забезпечення системи мікроклімату є такими:

1. Сенсорні пристрої: це пристрої, які забезпечують збір даних про параметри мікроклімату в будинку, такі як температура, вологість, рівень CO₂, рівень освітлення та інші параметри. Дані з сенсорних пристроїв передаються до центральної системи для аналізу та обробки.

2. Центральна система: це програмний компонент, який забезпечує збір та аналіз даних з сенсорних пристроїв, а також управління роботою системи мікроклімату. Центральна система виконує аналіз отриманих даних та приймає рішення щодо регулювання параметрів системи.

3. Актуатори: це пристрої, які відповідають за зміну параметрів мікроклімату в будинку, такі як включення/виключення опалення, кондиціонерів, освітлення тощо. Команди для актуаторів формуються центральною системою на основі результатів аналізу даних з сенсорних пристроїв.

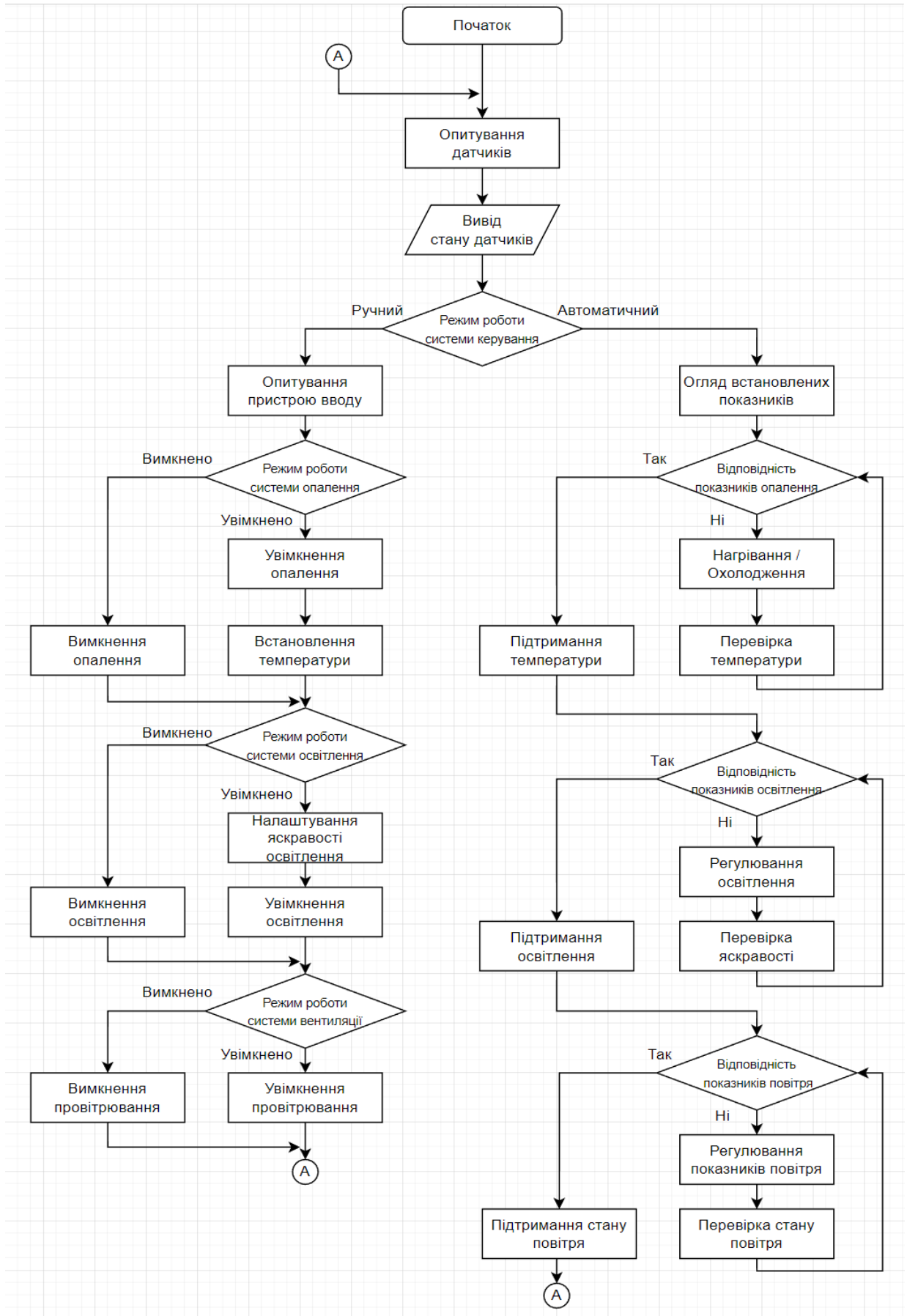


Рисунок 3.14 – Алгоритм керування кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку"

4. Комунікаційні протоколи: це протоколи, які забезпечують передачу даних між компонентами програмного забезпечення системи мікроклімату. Найбільш поширеними протоколами є дротовий, Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee та інші.

5. Інтерфейс користувача: це програмний компонент, який забезпечує користувачам доступ до функціоналу системи мікроклімату. Користувачі самі можуть змінювати параметри системи в і налаштовувати необхідний мікроклімат.

3.6 Експериментальне дослідження програмного забезпечення роботи кіберфізичної системи мікроклімату “Розумного будинку”

Експериментальне дослідження програмного забезпечення роботи кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" є важливою складовою процесу впровадження системи в реальному середовищі.

Першим кроком у дослідженні програмного забезпечення є перевірка коректності його роботи на етапі симуляції. Для цього використовують імітаційну модель кіберфізичної системи мікроклімату, яка дозволяє емулювати роботу системи у контрольованих умовах.

Після успішної перевірки на етапі симуляції, проводиться тестування програмного забезпечення в реальному середовищі. Для цього система мікроклімату встановлюється в реальному будинку та з'єднується зі збірником даних та інтерфейсом керування.

Під час експериментального дослідження програмного забезпечення, збираються дані про роботу системи мікроклімату в реальному часі, які потім аналізуються з метою виявлення можливих недоліків та вдосконалення системи. Також проводяться вимірювання температури, вологості повітря та інших показників мікроклімату для порівняння зі значеннями, отриманими з імітаційної моделі.

Для проведення експериментального дослідження програмного забезпечення використовуються спеціальні програмні засоби, які дозволяють збирати та аналізувати дані, відстежувати стан системи, а також відображати інформацію на інтерфейсі керування [80].

У разі виявлення недоліків у роботі програмного забезпечення, проводяться відповідні корекції та тестування для перевірки.

3.7 Висновок

На основі останніх наведених даних можна зробити висновок про важливість програмного забезпечення для роботи кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку". Програмне забезпечення є необхідним компонентом цієї системи, оскільки воно забезпечує автоматизоване керування всіма її підсистемами, включаючи системи обігріву, охолодження, вентиляції та освітлення.

Експериментальне дослідження програмного забезпечення роботи кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" може допомогти виявити можливі проблеми та вдосконалити роботу системи. Основними критеріями успішності такого дослідження можуть бути точність роботи системи, її ефективність та надійність.

Отже, для успішної роботи кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" необхідне належне програмне забезпечення та його експериментальне дослідження. Це може забезпечити ефективну та надійну роботу системи та задовольнити потреби користувачів.

4 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ОКРЕМИХ ЛАНЦЮГІВ СИСТЕМИ

4.1 Визначення зони дослідження поставленого експерименту

У сучасному світі все більше людей прагнуть до комфортного життя в своєму житлі, що включає в себе не лише зручність та естетичний вигляд, але і оптимальні умови для здорового життя. Саме тому розробка кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" є актуальною проблемою для нашого часу.

Метою цієї статті є опис експериментального дослідження кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" та вивчення її роботи в реальних умовах.

Структура кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" складається з модулів обігріву, охолодження, вентиляції та освітлення. Для регулювання режимів роботи системи використовується метод керування на основі інтелектуальних алгоритмів, що забезпечує максимальний комфорт та енергоефективність.

Для проведення експериментального дослідження був обраний звичайний житловий будинок площею 120 кв.м. В ньому було встановлено всі модулі кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" та підключено до них необхідне обладнання для збору даних.

Буде проведено схематичне дослідження, під час якого будуть обрані параметри температури, вологості, швидкості повітря та освітленості в різних точках будинку. Зібрані дані будуть передані до імітаційної моделі кіберфізичної системи мікроклімату.

4.1 Огляд вибраного керуючого елемента

Модуль ESP-12F є продуктом компанії Ai-thinker і базується на мікроконтролері ESP8266, розробленому компанією ESPRESSIF [81]. Мікроконтролер ESP8266 (рис.4.1) є потужним та економічним, 32-розрядним

мікропроцесором TensilicaL106, який може працювати на частоті до 160 МГц. Він підтримує стандарт IEEE802.11 b/g/n, що дозволяє йому використовувати Wi-Fi для забезпечення мережевого з'єднання.

ESP8266 має повний стек протоколів TCP/IP, що дозволяє йому взаємодіяти з іншими пристроями та системами через Інтернет. Він також має інтегрований Wi-Fi MAC/BB/RF/PA/LNA та бортову антену, що спрощує його використання та забезпечує надійне бездротове з'єднання.

ESP8266 підтримує реальний часовий операційну систему (RTOS), що дозволяє виконувати багатозадачні програми та оптимізувати роботу пристрою. Завдяки своїм повним та автономним мережевим можливостям Wi-Fi, ESP8266 може працювати як самостійний пристрій або як підлеглий пристрій у складній системі, взаємодіючи з іншими пристроями та обмінюючись даними через мережу.

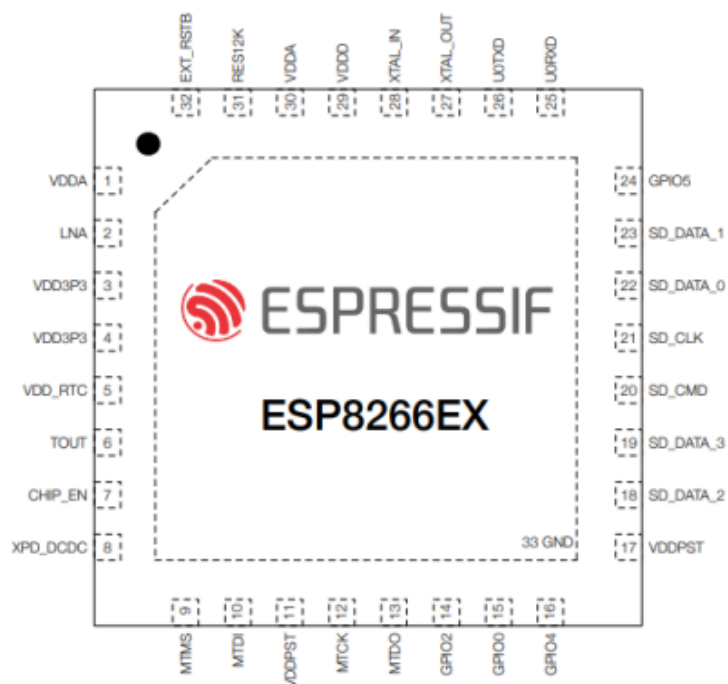


Рисунок 4.1 – Мікроконтролер ESP8266

ESP8266 є інтегрованою системою, яка містить кілька функціональних блоків для різних завдань. Функціональна блок-діаграма ESP8266, зображена на рисунку 4.2, показує основні компоненти та їх взаємозв'язки.

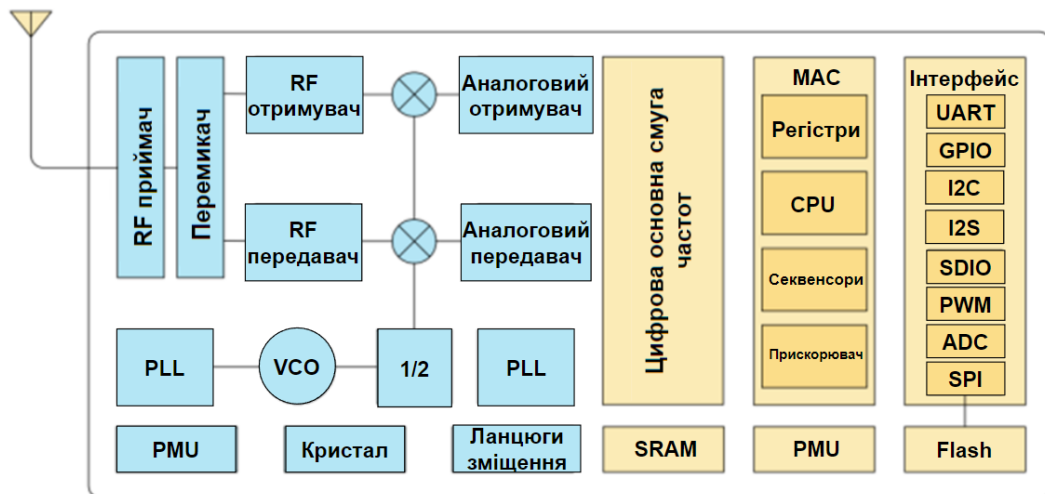


Рисунок 4.2 – Функціональна блок-діаграма ESP8266

Модуль ESP-12F вирішує проблему з обмеженим ROM шляхом включення вбудованої flash-пам'яті об'ємом 4 Мб. У мікроконтролері ESP8266 також підтримується пам'ять об'ємом до 16 Мб, але для багатьох застосувань такий обсяг є зайвим. Мікроконтролер має доступ до різних блоків пам'яті через інтерфейси iBus, dBus і AHB. Запити до блоків пам'яті виконуються відповідно до послідовності, визначеної арбітром пам'яті, з урахуванням часу отримання цих запитів від процесора.

Розмір оперативної пам'яті становить менше 50 КБ, коли ESP8266EX працює в режимі станції та під'єднується до маршрутизатора. Максимальний програмований простір, доступний у сегменті Heap + Data, становить приблизно 50 КБ.

Приймач Wi-Fi модуля ESP-12F працює на частоті 2,4 ГГц і перетворює радіочастотні сигнали на квадратурні модулюючі сигнали, які потім перетворюються на цифрову інформацію за допомогою двох високошвидкісних АЦП з високою роздільною здатністю. В ESP8266EX також інтегровані радіочастотні фільтри, автоматичне регулювання посилення (AGC), схеми компенсації зміщення постійного струму та фільтри основної смуги для адаптації до змінних умов каналу сигналу.

Передавач Wi-Fi модуля ESP-12F працює на частоті 2,4 ГГц і перетворює сигнали квадратурної модуляції в діапазоні до 2,4 ГГц. Він контролює антену за

допомогою потужного КМОП-підсилювача потужності. Застосування цифрового калібрування додатково покращує лінійність підсилювача потужності, що забезпечує високу продуктивність доставки. Середні значення потужності передачі TX становлять +19,5 дБм для передачі 802.11b і +18 дБм для передачі 802.11n (MSC0). Додаткові калібрування інтегровані для компенсації будь-яких недоліків радіо, таких як:

- витік несучої;
- узгодження фази I/Q;
- нелінійність базової смуги. ESP8266 реалізує TCP/IP і повний протокол 802.11 b/g/n WLAN MAC.

Модуль ESP-12F підтримує операції базового набору послуг (BSS) STA (станції) та SoftAP (точки доступу) в рамках функції розподіленого керування (DCF). Це означає, що він може працювати як клієнт Wi-Fi (STA), підключаючись до існуючої мережі, або як точка доступу (SoftAP), створюючи свою власну бездротову мережу.

Управління живленням модуля здійснюється з мінімальною взаємодією з головною системою (хостом), щоб мінімізувати споживання енергії і тривалість активної роботи. Це дозволяє модулю працювати ефективно та економно, забезпечуючи надійну бездротову комунікацію. Основні параметри Wi-Fi, перераховані в таблиці 4.1.

Тактовий генератор модуля ESP-12F генерує квадратурні тактові сигнали з частотою 2,4 ГГц для приймача та передавача бездротового зв'язку. Усі необхідні компоненти для генерації тактового сигналу інтегровані в мікросхему модуля. Це включає котушки індуктивності, варактори, контурні фільтри, лінійні стабілізатори напруги та дільники.

Тактовий генератор також має вбудовані схеми калібрування та самотестування. Ці схеми дозволяють оптимізувати квадратурні фази синхронізації та фазовий шум на мікросхемі за допомогою спеціальних алгоритмів калібрування. Це дозволяє досягти найкращої продуктивності приймача та передавача, забезпечуючи стабільну та надійну роботу бездротового зв'язку.

Таблиця 4.1 – Параметри Wi-Fi на ESP-12E.

Категорія	Параметр
Протокол	802.11 b/g/n (HT20)
Діапазон частот	2.4 GHz ~ 2.5 GHz (2400 MHz ~ 2483.5 MHz)
Потужність передавача	802.11 b: +20 dBm
	802.11 g: +17 dBm
	802.11 n: +14 dBm
Чутливість приймача	802.11 b: -91 dbm (11 Mbps)
	802.11 g: -75 dbm (54 Mbps)
	802.11 n: -72 dbm (MCS7)
Шифрування	WEP/TKIP/AES
Мережеві потоки	IPv4, TCP/UDP/HTTP

Модуль ESP-12F, який зображений на рисунку 4.3, має 17 контактів GPIO (введення-виведення), які можна програмно налаштувати для виконання різних функцій. Кожен GPIO може бути налаштований з внутрішнім підтягуванням, стягуванням або встановлений у високий імпеданс.

Коли GPIO налаштовано як вхід, дані зберігаються в програмних регістрах і можуть бути зчитані для подальшої обробки. Вхід також може бути налаштований для спрацювання переривань центрального процесора за допомогою тригера фронту або рівня.

Колодки вводу-виводу GPIO є двонаправленими, тобто можуть працювати як вхідні або вихідні. Вони неінвертуючі і мають три стани: вхідний, вихідний та високий імпеданс. Це означає, що GPIO можуть приймати вхідні сигнали, а також відправляти сигнали на зовнішні пристрої. Крім того, вони мають вхідний та вихідний буфери з входами керування, які можуть працювати у трьох режимах.

Такий розподіл функцій GPIO дозволяє програмно налаштувати їх для різних завдань і забезпечує гнучкість у використанні контактів вводу-виводу для забезпечення необхідної функціональності модуля ESP-12F.

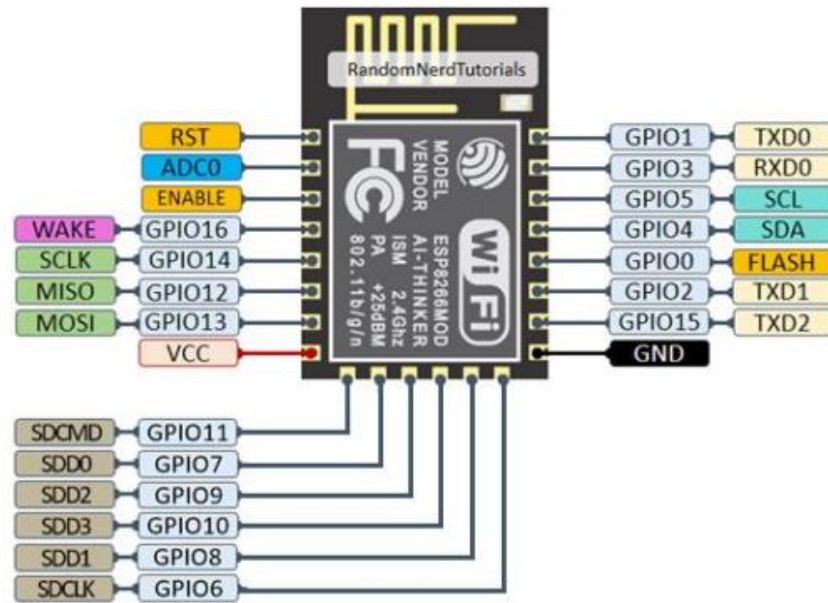


Рисунок 4.3 – Розташування пінів на ESP-12F

ESP-12F має можливість мультиплексувати GPIO контакти з іншими функціями, такими як I2C, I2S, UART, ШІМ та ІЧ-пульс дистанційного керування. Це означає, що кожен GPIO контакт може виконувати різні функції, залежно від потреб користувача.

Наприклад, GPIO контакт може бути налаштований як GPIO в один момент часу, і використовуватися для зчитування або запису даних, а в інший момент часу може бути налаштований як I2C контакт для комунікації з іншими пристроями по I2C протоколу. Так само, GPIO контакти можуть бути мультиплексовані з різними інтерфейсами і функціями в залежності від потреб проекту.

В таблиці 4.2 наведені всі контактні площадки ESP-12F разом з їхніми функціями і можливими режимами роботи. Це дозволяє користувачам зручно налаштовувати контакти відповідно до конкретних вимог проекту та використовувати їх у різних комбінаціях для різних пристроїв і інтерфейсів.

ESP8266EX є мікроконтролером, який був розроблений з використанням передових технологій керування живленням. Ця мікросхема призначена для використання у мобільних пристроях, переносній електроніці та додатках Інтернету речей [82]. Дана технологія керування живленням дозволяє досягти ефективного використання енергії та забезпечити довгу автономну роботу

пристроїв на базі ESP8266EX. Вона дозволяє зменшити споживання енергії в режимі очікування і підвищити продуктивність при активному використанні пристрою.

Таблиця 4.2 – Піни ESP12-E

Номер піну	Назва піну	Додаткова функція
1	RST	X
2	ADC0	X
3	EN	X
4	GPIO16	WAKE
5	GPIO14	SCLK
6	GPIO12	MISO
7	GPIO13	MOSI
8	VCC	X
9	GPIO11	SDCMD
10	GPIO7	SDD0
11	GPIO9	SDD2
12	GPIO10	SDD3
13	GPIO8	SDD1
14	GPIO6	SDCLK
15	Gnd	X
16	GPIO15	TXD2
17	GPIO2	TXD1
18	GPIO0	Flash
19	GPIO4	SDA
20	GPIO5	SCL
21	GPIO3	TXD0
22	GPIO1	RXD0

Архітектура з низьким енергоспоживанням працює в таких режимах:

- активний режим: чіп-радіо увімкнений. Чіп може приймати, передавати або слухати. Споживання може досягати 170 мА;
- режим сну модему: ЦП працює. Wi-Fi і радіо вимкнено, споживання близько 15 мА;
- режим легкого сну: ЦП і всі периферійні пристрої призупинено, споживання близько 0,9 мА;
- режим глибокого сну: працює лише час реального часу, а всі інші частини чіпа вимкнено, споживання близько 20 мкА. Внутрішня схема модуля ESP-12F, наведена на рисунку 4.4.

4.2 Реалізація безперебійного джерела живлення

Схема безперебійного джерела живлення, яка забезпечує неперервну роботу системи при відсутності основного джерела живлення, наведена на рисунку 4.5. Ця схема розроблена з метою забезпечити постійну роботу датчика концентрації вуглекислого газу і забезпечити контроль мікроклімату навіть при відключенні основного джерела електропостачання.

У схемі використовується модуль реального часу DS3231, який має вбудовану батарею формату CR2032. Ця батарея забезпечує резервне живлення модуля реального часу при відключенні основного джерела електропостачання. Таким чином, годинник продовжує працювати навіть при відсутності електроенергії, що забезпечує точну відлік часу.

Для решти системи, щоб забезпечити безперебійне живлення, використовується схема безперебійного джерела живлення. Ця схема включає резервну батарею, яка заряджається від основного джерела живлення, коли воно є активним. У разі відключення основного джерела живлення, резервна батарея автоматично починає живити систему. Це дозволяє уникнути перерви в роботі системи та забезпечити постійний контроль мікроклімату.

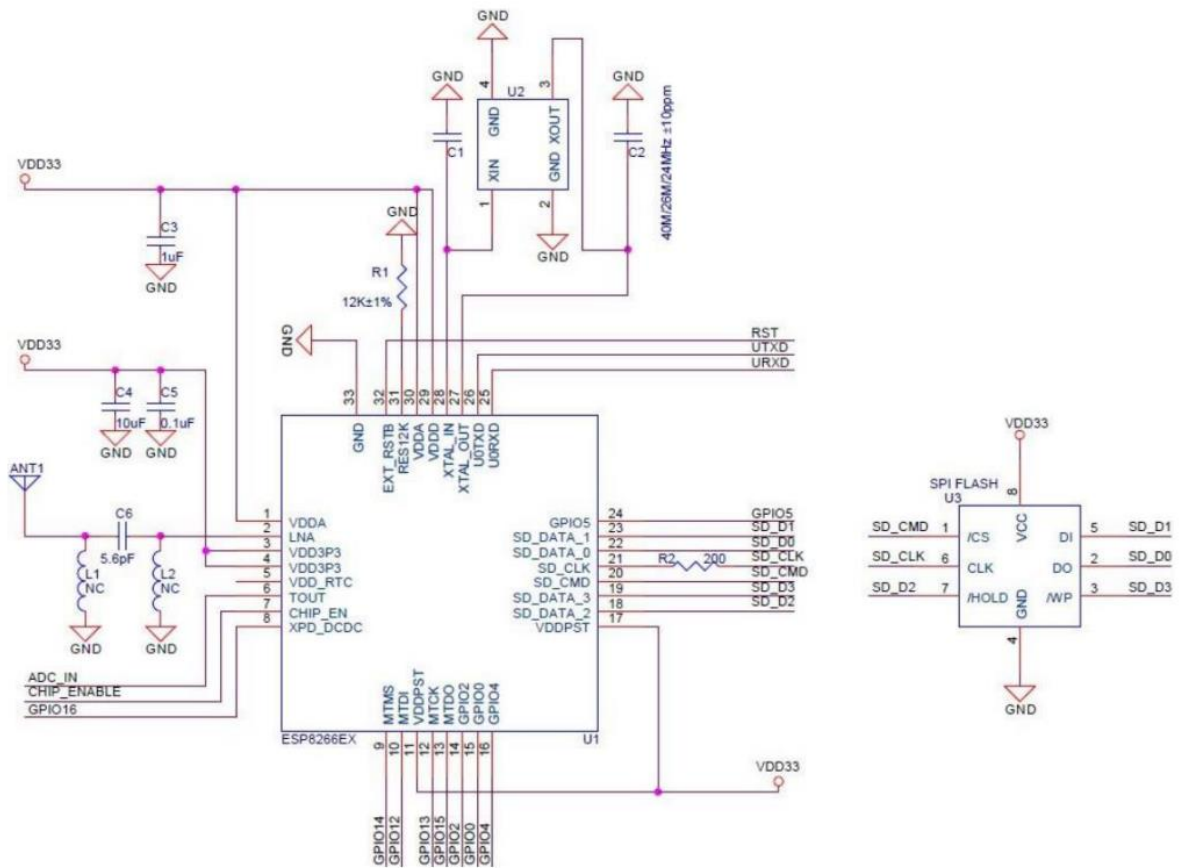


Рисунок 4.4 – Принципова схема ESP-12E

Загальна схема безперебійного джерела живлення, яка забезпечує неперервну роботу системи, наведена на рисунку 4.5. Вона включає резервну батарею, зарядний модуль, автоматичний перемикач живлення та інші компоненти, необхідні для забезпечення безперебійного живлення.

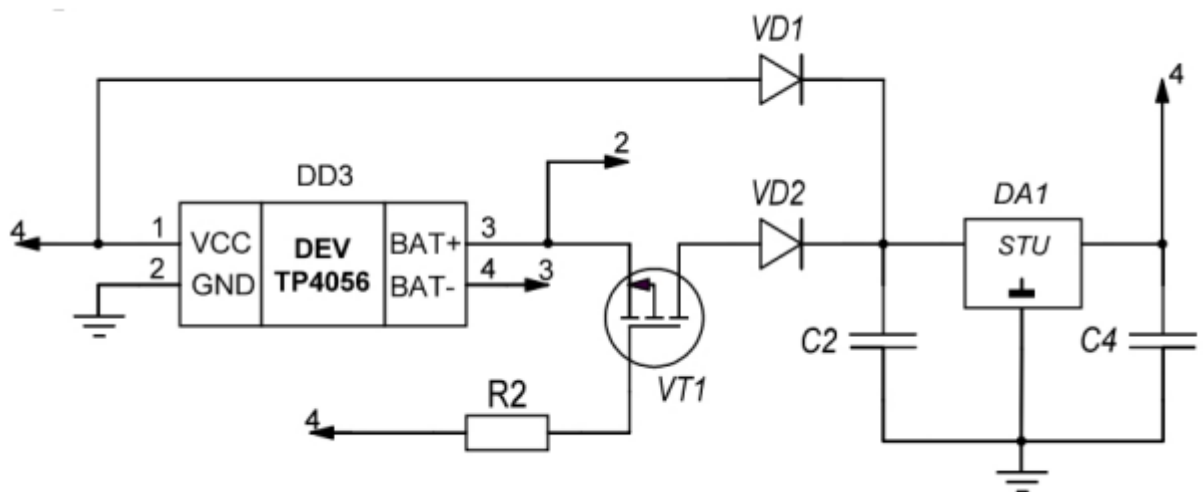


Рисунок 4.5 – Принципова схема безперебійного джерела живлення

Основою схеми безперебійного джерела живлення є зарядний модуль TP4056, який спеціально підібрано для цієї системи. TP4056 є лінійним зарядним пристроєм постійного струму, розробленим для літій-іонних акумуляторів. Одним з ключових функцій цього модуля є функція наскрізного заряду.

Функція наскрізного заряду дозволяє захистити батарею від перевантаження та деградації. В нормальних умовах, коли блок живлення постачає достатній струм, батарея, якщо вона повністю заряджена, не використовується, і система живиться безпосередньо від джерела живлення. Однак, якщо рівень заряду батареї знижується, вона починає заряджатись паралельно з живленням системи до досягнення повної зарядки. Після цього батарея просто відключається і очікує аварійної ситуації, коли основне джерело живлення відключено.

Така схема зарядного модуля TP4056 дозволяє забезпечити надійну роботу системи, навіть у разі відключення основного джерела живлення. Батарея заряджається та зберігає надлишкову енергію для використання в аварійних ситуаціях. Це дозволяє максимально знизити ризик відключення датчика концентрації вуглекислого газу та забезпечити безперебійну роботу системи.

Схема безперебійного живлення працює за простим принципом. Анод батареї відокремлений від споживача за допомогою закритого польового транзистора VT1. Закритість транзистора забезпечує живлення, яке надходить на його затвор через струмообмежуючий резистор R2. Таким чином, коли струм перестає протікати з основного джерела живлення, напруга на затворі зменшується до рівня землі, що відкриває транзистор VT1. Діоди VD2 та VD3 захищають від короткого замикання при перемиканні джерела живлення.

Модуль TP4056 відповідає за зарядку Li-Ion батареї з рекомендованою напругою 4,2 В. Струм заряду можна налаштувати за допомогою відповідного резистора. TP4056 відстежує процес зарядки батареї і автоматично зупиняє зарядку, коли струм заряду зменшується на 90% від встановленого значення, після досягнення кінцевої напруги плаваючого заряду.

На вихідній частині схеми розташований лінійний стабілізатор NCP1117ST33T3, налаштований на напругу 3,3 В. Він перетворює напругу з

основного джерела живлення або з Li-Ion батареї, коли відсутній струм з основного джерела живлення. Таким чином, стабілізатор забезпечує постійну напругу 3,3 В для живлення споживача.

4.3 Реалізація виводу інформації

Згідно технічного завдання, дані про мікроклімат повинні бути відправлені на MQTT-сервер та відображені на пристрої інформації. Для цього було обрано LCD2004 дисплей, який має 80 елементів для відображення. Кожен елемент складається з 35 точок і розташований в 4 рядках і 20 стовпцях з відступом один від одного.

Цей символічний дисплей має вбудований знакогенератор з попередньо закодованими символами, включаючи латинські та кириличні літери. Крім того, він має місце для 10 користувацьких символів, які можна власноруч задати у двійковому форматі. Це дозволяє зручно відображати інформацію на головному екрані системи моніторингу мікроклімату. Конфігурація дисплея представлена на рисунку 4.6.

Таким чином, з використанням LCD2004 дисплея дані про мікроклімат будуть відображені, а також відправлені на MQTT-сервер для подальшого використання і моніторингу.

На основі креслення, яке зображено на рисунку 4.6, видно, що LCD2004 дисплей має 16 пінів для встановлення з'єднання з мікроконтролером. Для спрощення комунікації та забезпечення зручності підключення, рекомендується використовувати спеціалізовану мікросхему PCF8574T. За допомогою цієї мікросхеми можна підключити дисплей до мікроконтролера за допомогою I2C-протоколу.

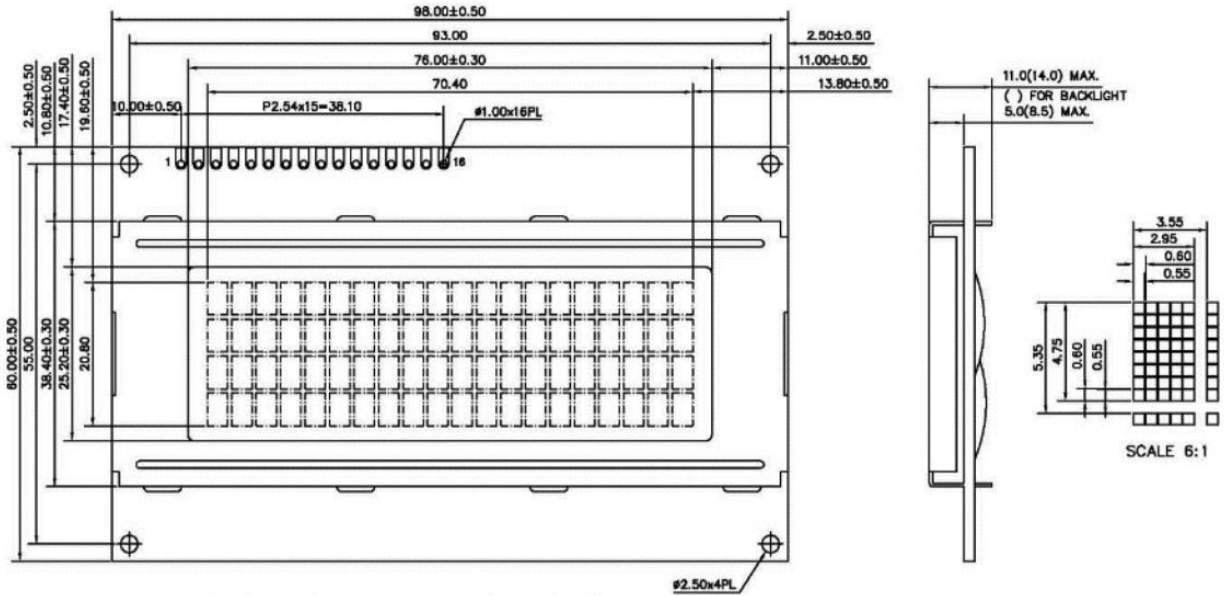


Рисунок 4.6 – Креслення LCD2004

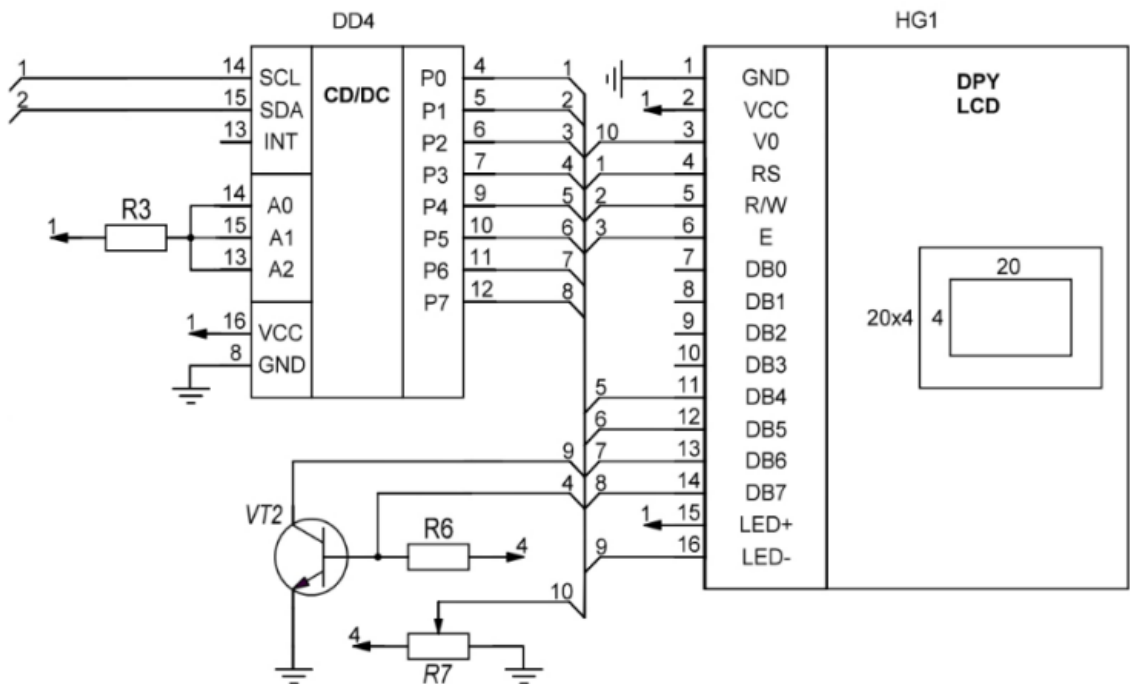


Рисунок 4.7 – Схема підключення LCD2004 до PCF8574T

Схема підключення дисплею до мікросхеми PCF8574T зображена на рисунку 4.7. Для налаштування чіткості зображення використовується змінний резистор R7.

Цей резистор дозволяє ручним шляхом налаштувати яскравість та чіткість відображення на LCD2004 дисплеї.

Таким чином, за допомогою мікросхеми PCF8574T можна легко підключити дисплей до мікроконтролера, використовуючи I2C-протокол, а змінний резистор R7 дозволяє налаштувати чіткість зображення на дисплеї.

4.4 Інтегрування MQTT-протоколу та код взаємодії з сервером

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) - це транспортний протокол для публікації/підписки, який можна інтегрувати в систему моніторингу мікроклімату. Використання MQTT-протоколу дозволить передавати показники мікроклімату з різних кімнат будинку на смартфон користувача через Інтернет. Це надасть можливість користувачеві моніторити стан мікроклімату навіть з віддаленої локації.

MQTT є легким, відкритим і простим протоколом, який легко реалізовувати. Він розроблений таким чином, щоб забезпечити ефективну комунікацію в обмежених середовищах, включаючи "машина-машина" та інтернет речей. Його основна концепція полягає у використанні публікації та підписки на повідомлення.

Застосування MQTT-протоколу в системі моніторингу мікроклімату дозволить об'єднати її з іншими системами в рамках одного будинку. Це дозволить створити єдину систему "розумного будинку", де різні компоненти можуть обмінюватись даними та взаємодіяти між собою.

Таким чином, інтеграція MQTT-протоколу в систему моніторингу мікроклімату забезпечить зручний та ефективний спосіб передачі показників мікроклімату на смартфон користувача за допомогою Інтернету, а також можливість інтеграції з іншими системами "розумного будинку".

MQTT-протокол використовує TCP/IP або інші мережеві протоколи, що забезпечують надійні двонаправлені з'єднання з упорядкованою передачею даних без втрат. Його особливості включають:

- використання шаблону повідомлень публікації/підписки, який забезпечує розповсюдження повідомлень один до багатьох і відокремлення програм;

- транспорт обміну повідомленнями, який не залежить від вмісту корисного навантаження. Протокол підтримує три типи доставки повідомлень:

- «не більше одного разу», де повідомлення доставляються відповідно до запитів операційного середовища. Може статися втрата повідомлення. Цей рівень можна використовувати, наприклад, з даними датчика навколишнього середовища, де не має значення, якщо окреме показання буде втрачено, оскільки наступне буде опубліковано незабаром після цього;

- «принаймні один раз», де повідомлення гарантовано надійдуть, але можуть виникати дублікати;

- «рівно один раз», де повідомлення гарантовано надійдуть точно один раз. Цей рівень можна використовувати, наприклад, із системами виставлення рахунків, де повторювані або втрачені повідомлення можуть призвести до неправильного нарахування плати.

Таким чином, дані, отримані від датчиків, зберігаються в пам'яті мікроконтролера та піддаються обробці. Далі, ці дані виводяться на дисплей, а одночасно за допомогою приймально-передавального модуля Wi-Fi, який встановлений в ESP12F, вони передаються на MQTT-сервер брокера, де користувач може їх переглядати. Важливою перевагою є те, що такий брокер має постійну IP-адресу, що спрощує передачу та отримання даних [83]. Хоча можна було б обійтися локальним сервером, але в цьому випадку виникає проблема з динамічними IP-адресами, які змінюються з часом, що ускладнює зовнішній доступ до системи. Діаграму проходження інформації для більшого зрозуміння можна побачити на рисунку 4.8.

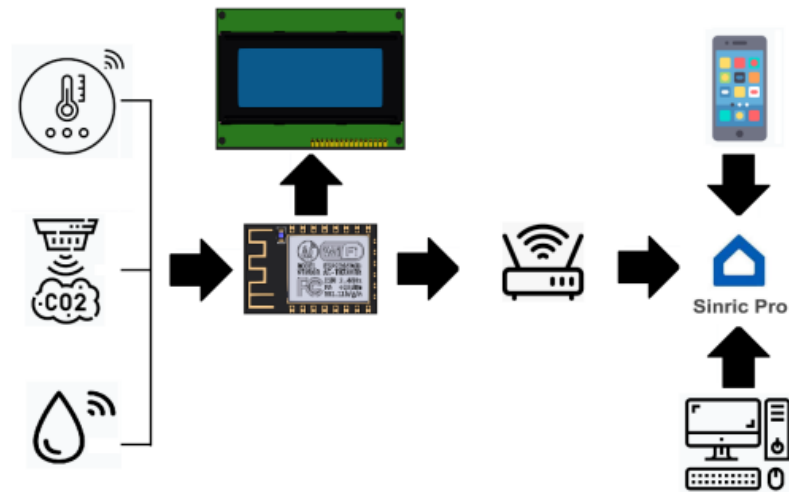


Рисунок 4.8 – Шлях інформації в системі

Для нагляду за нашими датчиками ми продемонструємо процес створення особистого кабінету на прикладі SinricPro - брокера з Тайланду, який має зручний інтерфейс та інтеграцію з екосистемою Google. На рисунку 4.9 показане меню налаштування датчика вуглекислого газу, де ми можемо вказати його назву, розташування в будинку, додати опис та налаштувати пуш-повідомлення для сповіщення користувача, якщо рівень вуглекислого газу перевищить 100 мкг/м³. Таким чином, користувач отримає пуш-повідомлення на свій смартфон.

Після успішного створення датчика в особистому кабінеті, нам надаються унікальні дані для доступу до цього конкретного топіку. Ці дані ми можемо використовувати безпосередньо в середовищі розробки. На рисунку 4.10 показані прикладові згенеровані дані, які ми можемо отримати з цього топіку.

Рисунок 4.9 – Ініціалізація датчика концентрації CO₂

Тепер повторимо цю операцію для решти датчиків. Варто зазначити, що датчики температури на веб-сайті цього брокера мають додаткове поле, де можна відображати вологість. Після завершення процесу отримаємо всі необхідні дані для підключення. На рисунку 4.11 показано результат цього процесу.

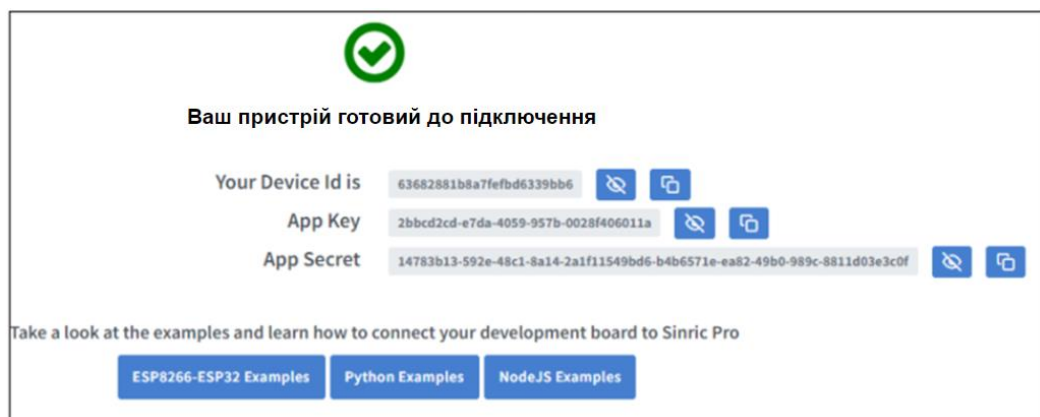


Рисунок 4.10 – Згенеровані брокером дані







DEVICE	DESCRIPTION	POWER STATE	ROOM	APP KEY
 CO2 в кімнаті №2 ID: 636829a4b8a7fefbd6339d13 Copy	Концентрація CO2 в кімнаті №2	Off	Кімната №2	default
 CO2 в кімнаті №1 ID: 63682881b8a7fefbd6339bb6 Copy	Концентрація CO2 в кімнаті №1	Off	Кімната №1	default
 CO2 в кімнаті №3 ID: 636829dc333d12dd2ae8151e Copy	Концентрація CO2 в кімнаті №3	Off	Кімната №3	default
 Т в кімнаті №1 ID: 63682a7eb8a7fefbd6339f74 Copy Zero Code	Температура в кімнаті №1	Off	Кімната №1	default
 Т в кімнаті №2 ID: 63682b19333d12dd2ae81892 Copy Zero Code	Температура в кімнаті №2	Off	Кімната №2	default
 Т в кімнаті №3 ID: 63682af5333d12dd2ae81816 Copy Zero Code	Температура в кімнаті №3	Off	Кімната №3	default

Рисунок 4.11 – Ініціалізовані пристрої в системі SinricPro

Після налаштування всіх датчиків, які ми хочемо відстежувати зі свого смартфона, необхідно підготувати сам смартфон. Для цього ми завантажуюмо безкоштовний додаток "Google Home" з магазину цифрових продуктів "Google Play", який можна встановити на будь-який смартфон з операційною системою Android. Після встановлення додатку на смартфоні ми створюємо шаблон для нашого власного будинку, як показано на рисунку 4.12.

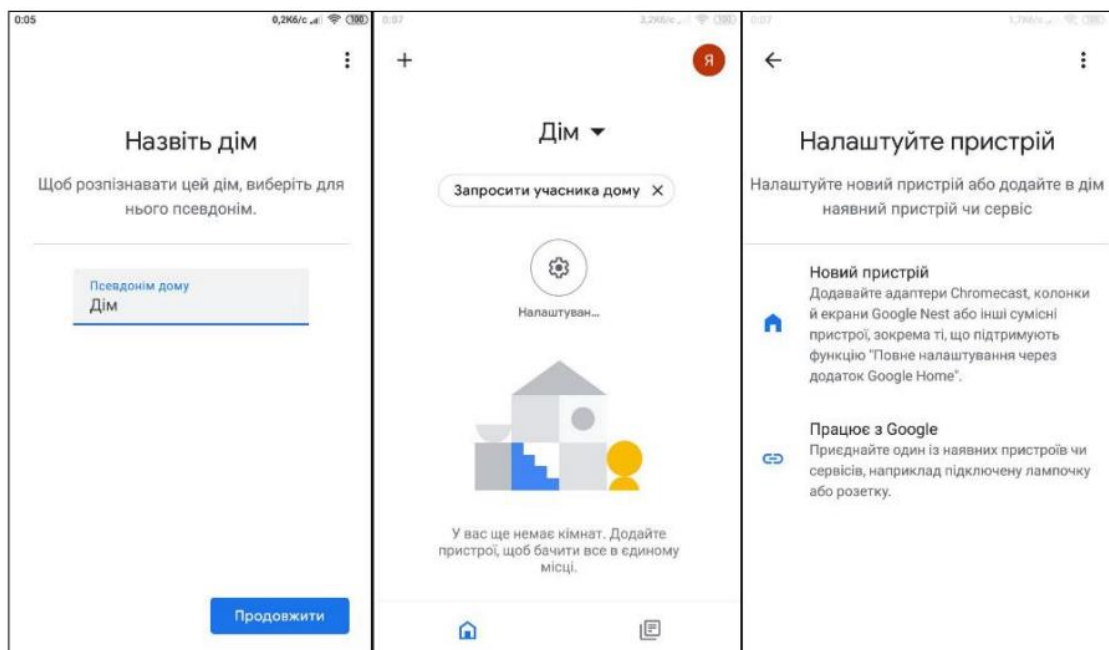


Рисунок 4.12 – Створення власного будинку в додатку Google Home

Після того, як ми створили будинок у додатку "Google Home", необхідно зв'язати свій акаунт Google з раніше створеним акаунтом SinricPro. Для цього відкриваємо відповідне поле, де перелічені різні брокери, що інтегровані в середовище Google, і знаходимо SinricPro. Потім ми переходимо до стандартної процедури авторизації. Процес прив'язки акаунтів зображений на рисунку 4.13.

Якщо всі кроки були виконані правильно, на головному екрані додатку "Google Home" з'явиться список раніше налаштованих датчиків, значення яких оновлюються в реальному часі. Це можна побачити на знімку екрану, зображеному на рисунку 4.14.

Після завершення раніше описаних кроків щодо налаштування смартфона та особистого кабінету на веб-сайті брокера, ми перейдемо до розгляду коду, який відповідає за зчитування температури, вологості повітря та відправку даних на сервер брокера.

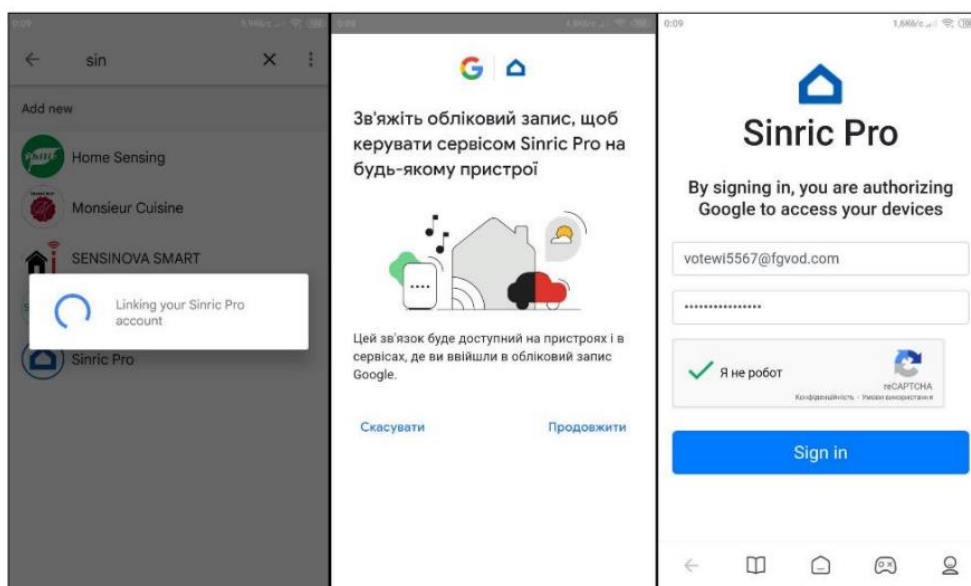


Рисунок 4.13 – Прив'язка акаунту SinricPro

Оскільки ця платформа є відкритою, у спільноті вже створено багато бібліотек, які спрощують розробку програм та роблять код більш зрозумілим. Тому спочатку ми підключаємо всі необхідні бібліотеки, які будуть використовуватися у програмі. Після цього оголошуємо глобальні змінні, які будуть використовуватися для передачі інформації між підпрограмами. Важливо зазначити, що зазвичай після цих кроків оголошуються порти, з якими буде працювати код. Проте в даному

випадку оголошення портів та присвоєння адреси датчика вже були виконані всередині бібліотеки Adafruit_VME280.h, тому нам лише потрібно створити об'єкт для взаємодії з цим датчиком. У оголошених змінних також вказали ключі доступу, які показані на рисунку 4.10.



Рисунок 4.14 – Головний екран керуючої програми

Для отримання доступу до локальної мережі за допомоги WiFi, коли підключення вдалося, в монітор порту буде відображена локальна IP-адреса, що є дуже зручним при первинному налагодженні пристрою. Нижче наведена підпрограма:

```
void connectToWiFi() {
    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
        Serial.print("Local IP Address: ");
        Serial.println(WiFi.localIP());
    }
}
```

Також, для за відображення статусу датчика в програмі, відповідна змінна типу `bool` набуває значень прои роботі і буде дорівнювати одиниці, та навпаки.

Наступна підпрограма:

```
void displaySensorStatus(bool isActivated) {
    if (isActivated) {
        Serial.println("Sensor is active.");
    } else {
        Serial.println("Sensor is inactive.");
    }
}
```

Функція налаштування для `SinricPro`, відповідає за доступ до особистого кабінету на сайті брокера, саме тут відбувається прив'язка даних саме до наших віртуальних датчиків.

Основна функція, яка збирає дані та відправляє їх на сервер кожні 10 секунд. Також виконується порівняння з раніше відправленими даними для зменшення кількості запитів. Якщо дані не змінилися, вони не відправляються. Цей процес продовжується до тих пір, поки контрольований параметр не зазнає змін

Утворюється нескінченний цикл, і програма буде виконуватися поки не закінчиться живлення, або користувач власноруч не змінить стан мережі на ‘вимкнено’. Також усі інші частини програми будуть представлені в додатку А.

4.5 Висновок

Було проведено огляд мікросхеми та комплектуючих елементів для реалізації поставленої задачі. Перевірено характеристики та їх взаємодія. Змодельовано схеми для наглядної демонстрації роботи системи контролю мікроклімату в будинку. Продемонстровано порядок створення системи керування мікрокліматом, з допомогою додатків для телефону. Здійснено прив'язку приладів до серверу та налагоджено їх керування.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі магістра був розроблений прототип пристрою комплексного моніторингу мікроклімату будинку на базі мікроконтролера ESP8266. Він дозволяє своїм користувачам одночасно слідкувати за основним параметрами мікроклімату в декількох кімнатах, за допомогою смартфона або головного терміналу системи.

На основі огляду поняття «Мікроклімат» та його важливості для організму людини було сформульоване і поставлене завдання проекту. В процесі проектування був розроблений алгоритм роботи пристрою комплексного моніторингу мікроклімату будинку на базі мікроконтролера ESP8266. За отриманим алгоритмом була створена його структурна схема.

У науковій частині, була розглянута процедура спостереження за однією складовою мікроклімату – температурою. Для цього були розглянуті різноманітні методи її фіксації, та їх основні переваги та недоліки. На основі цієї інформації був обраний датчик температури для проекту.

Був також проведений вибір елементної бази пристрою з основними мікросхемами системи. На основі чого була створена його функціональна та принципова схема.

Кіберфізичні системи мікроклімату можуть бути розроблені з використанням математичних моделей та імітаційних моделей. Вони можуть бути залучені до створення та регулювання оптимального мікроклімату в будівлях, що забезпечить комфортні умови проживання для мешканців та ефективного використання енергії.

"Розумний будинок" - це комплексна кіберфізична система, яка забезпечує автоматизоване управління мікрокліматом в приміщенні, що забезпечує комфортні умови для життя та праці людей, економію енергоресурсів та зниження негативного впливу на довкілля.

Для ефективної роботи "Розумного будинку" необхідно використовувати комплексний підхід, що включає розробку математичних моделей, створення

імітаційних моделей та програмного забезпечення, налагодження та тестування системи.

Основними елементами "Розумного будинку" є система опалення, система охолодження, система вентиляції, система освітлення та система керування та моніторингу. Для кожної з цих систем розробляються відповідні математичні моделі та імітаційні моделі, які дозволяють ефективно керувати процесами в приміщенні та підтримувати необхідний рівень комфорту для користувачів.

Керування системою "Розумного будинку" відбувається за допомогою алгоритмів, які базуються на даних, зібраних датчиками температури, вологості, рівня освітленості та інших параметрів. Програмне забезпечення системи обробляє ці дані та приймає рішення щодо оптимальних налаштувань для кожної з систем "Розумного будинку".

Розумний будинок є однією з важливих складових концепції "розумного міста", яка передбачає використання технологій Інтернету та інших інноваційних рішень для покращення якості життя мешканців міста.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Harris D., Harris S. *Digital Design and Computer Architecture*. 2012. №6. P. 32-40.
2. Chu P. P. *FPGA Prototyping by VHDL Examples*. 2011. №6. P. 72–75.
3. United States Patent and trademark office. URL: <https://www.uspto.gov/patents>. (Дата звернення 5.11.2022).
4. Payne W. T. A Review of Its Development. *Building Services Engineering*. 2012. №1. P. 84-92.
5. Godish T. *Indoor Environmental Quality*. 2000 №5. P. 152-164.
6. Haines R. W., Myers M. E. *HVAC Systems Design Handbook*. 2010. №2. P. 51-78.
7. Godish T., Davis W. T., DeMonaco M. J. A Comprehensive Reference Book. *Indoor Air Quality*. 2009. №4. P. 202-237.
8. Lechner N. Sustainable Design Methods for Architects. *Heating, Cooling, Lighting*. 2014. №3. P. 63–68.
9. In Partnership with BACnet International the *Building Automation: Control Devices and Applications*. 2011. №3. P. 32–25.
10. Haines R. W., Myers M. E. *HVAC Systems Design Handbook*. 2010. №5. P. 59–65.
11. Payne W. T. A Review of Its Development. *Building Services Engineering*. 2012. №2. P. 74-79.
12. Wu C., Li Y. Sampling Methodologies. *Indoor Air Quality*. 2013. №1. P. 99-115.
13. Specht M. J. A Guide for Facility Managers. *Indoor Environmental Quality*. 2011. №3. P. 84-91.
14. Chow J., Chen F.L., Liu Y. T. An Introduction. *Building Simulation*. 2015. №1. P. 107-114.
15. Godish T., Davis W. T. Evaluation and Control of Indoor Pollutants. *Indoor Environmental Quality*. 2015. №4. P. 205-209.

16. Reda F., D'Agostino P. A Life Cycle Approach. *Handbook of Energy Efficiency in Buildings*. 2013. №2. P. 82-91.
17. Phillips D. Natural Light in Architecture. *Daylighting*, 2011. №1. P. 97-106.
18. Hancke G. P. Design, Implementation and Issues. *Smart Homes*. 2017. №3. P. 351-359.
19. Casini M., Cotana F. Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy Efficiency and Environmental Performance. *Smart Buildings*. 2016. №6. P. 245-261.
20. Hassan Q. F., Safar M. Technologies, Protocols, and Applications. *Internet of Things for Smart Buildings*. 2019. №2. P. 73-80.
21. Casini M., Cotana F. Advanced Technologies and Materials to Improve Energy Efficiency and Environmental Performance. *Smart Buildings*. 2013. №2. P. 164-168.
22. Gabbar H. Foundations, Principles, and Applications. *Smart Cities*. 2017. №1. P. 14-18.
23. Bhatia A. *Principles And Methods Of Temperature Measurement*. 2014. №2. P. 65-74.
24. Yamagata Y., Tamai T. Models and Concepts. *Handbook of Research on Smart Cities and Service Systems*. 2015. №3. P. 83-94.
25. Harper R., Burmeister O. Icost 20. *Smart Homes and Beyond*. 2021. №4. P. 68-74.
26. Wang S., Zhu Z. *Intelligent Buildings and Building Automation*. 2014. №2. P. 150-162.
27. Casini M., Cotana F. Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy Efficiency and Environmental Performance. *Smart Buildings*. 2019. №1. P. 209-221.
28. Crosbie M. J., Kibert C. *Smart Building Handbook*. 2017. №2. P. 48-52.
29. How ADC Works and Types. URL: <https://microcontrollerslab.com/analog-to-digital-adc-converterworking/>. (Дата звернення 13.02.2023).

30. Townsend A. M. Big Data, Civic Hackers, and the Quest for a New Utopia. *Smart Cities*. 2013. №3. P. 58-64.
31. Darkwa J. E., Augenbroe G. Advanced Technologies and Energy Efficiency. *Smart Buildings*. 2017. №1. P. 75-80.
32. Jain N., Gupta S. Next Generation Charging Infrastructure. *Smart Grid-Enabled Electric Vehicle Plug-In Systems*. 2015. №3. P. 217-228.
33. Gellings C. W. Enabling Energy Efficiency and Demand Response. *The Smart Grid*. 2012. №2. P. 87-99.
34. Merz H. Communication systems with EIB/KNX, LON and BACnet. *Building Automation*. 2010. №4. P. 304-309.
35. Ramakrishnan K. R., Sridhar *Smart Grid Applications and Developments*. 2014. №3. P. 119-125.
36. Momoh J. Fundamentals of Design and Analysis. *Smart Grid*. 2012. №5. P. 98-105.
37. Sinopoli J. M. *Smart Buildings Systems for Architects, Owners, and Builders*. 2011. №1. P. 56-68.
38. Carvallo A. Edge Power Driving Sustainability. *The Advanced Smart Grid*. 2011. №2. P. 58-68.
39. Yan R., Xue Y. Sensor-Based Energy Management. *Smart Buildings and Smart Grids*. 2015. №4. P. 261-268.
40. Al-Turjman F. Technologies, Big Data and Security. *Internet of Things for Smart Cities*. 2017. №1. P. 42-47.
41. Ekanayake J. *Technology and Applications*. *Smart Grid*. 2012. №3. P. 47-56.
42. Casini M., Cotana F. Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy Efficiency and Environmental Performance. *Smart Buildings*. 2016. №4. P. 118-125.
43. Michael M. M. A Handbook for Architects, Engineers, and Facility Managers. *Smart Buildings and Smart Grids*. 2015. №2. P. 71-75.

44. Gacovski Z. Concepts, Technologies, and Applications. *The Internet of Things in the Modern Business Environment*. 2018. №6. P. 69-82.
45. Casini M., Cotana F. Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy Efficiency and Environmental Performance. *Smart Buildings*. 2013. №3. P. 53-59.
46. Askoxylakis I. Security and Privacy Issues. *Smart Grids*. 2013. №2. P. 84-91.
47. Gabbar H. Foundations, Principles, and Applications. *Smart Cities*. 2017. №4. P. 142-151.
48. In Partnership with Siemens in the Control Devices and Applications. *Building Automation*. 2017. №5. P. 82-96.
49. Casini M., Cotana F. Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy Efficiency and Environmental Performance. *Smart Buildings*. 2014. №1. P. 92-105.
50. Ekanayake J., Jenkins N. Technology and Applications. *Smart Grid*. 2011. №2. P. 103-111.
51. Casini M., Cotana F. Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy Efficiency and Environmental Performance. *Smart Buildings*. 2015. №2. P. 81-86.
52. Hersent O. Key Applications and Protocols. *The Internet of Things*. 2014. №2. P. 73-79.
53. Casini M., Cotana F. Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy Efficiency and Environmental Performance. *Smart Buildings*. 2012. №3. P. 175-184.
54. Sioshansi F. P. Clouds, Communications, Open Source, and Automation. *Smart Grids*. 2011. №1. P. 47-54.
55. Casini M., Cotana F. Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy Efficiency and Environmental Performance. *Smart Buildings*. 2017. №7. P. 225-234.

56. Arora A. Integrating Intelligent Monitoring and Control Systems. *Building Automation*. 2014. №4. P. 116-120.
57. Deakin M. Governing, Modelling, and Analysing the Transition. *Smart Cities*. 2014. №2. P. 67-77.
58. Ekanayake J., Jenkins N. Fundamentals and Technologies in Electricity Networks. *Smart Grid*. 2012. №1. P. 49-55.
59. Casini M., Cotana F. Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy Efficiency and Environmental Performance. *Smart Buildings*. 2013. №3. P. 59-61.
60. Townsend A. M. Big Data, Civic Hackers, and the Quest for a New Utopia. *Smart Cities*. 2014. №2. P. 99-108.
61. Borlase S., Jenkins N. Opportunities, Developments, and Trends. *Smart Grids*. 2014. №3. P. 105-109.
62. Casini M., Cotana F. Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy Efficiency and Environmental Performance. *Smart Buildings*. 2016. №5. P. 36-46.
63. Townsend A. M. Big Data, Civic Hackers, and the Quest for a New Utopia. *Smart Cities*. 2015. №5. P. 129-138.
64. Sioshansi F. P. Clouds, Communications, Open Source, and Automation. *Smart Grids*. 2013. №3. P. 208-214.
65. Adamski A., Kapczyński A. An Effective and Sustainable Way of Interconnecting Intelligent Environments. *Smart Cities*. 2013. №2. P. 86-91.
66. Ekanayake J. Technology and Applications. *Smart Grid*. 2014. №4. P. 105-128.
67. Hamdi S., Ghogho M. Digital Transformation and Sustainability. *Smart Cities*. 2018. №5. P. 184-192.
68. Casini M., Cotana F. Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy Efficiency and Environmental Performance. *Smart Buildings*. 2018. №5. P. 204-216.
69. Hall M. A Spatialised Intelligence. *Smart Cities*. 2014. №3. P. 53-67.

70. Casini M., Cotana F. Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy Efficiency and Environmental Performance. *Smart Buildings*. 2019. №8. P. 305-349.
71. Song H. Foundations, Principles, and Applications. *Smart Cities*. 2017. №4. P. 98-112.
72. Atzori L., Iera A. Security and Privacy Issues. *Smart Grids*. 2017. №4. P. 48-62.
73. Stark J., Perperidis A. Technology and the Internet of Things. *Smart Buildings*. 2018. №5. P. 144-153.
74. Lehmann A. An Integrated Approach. *Smart Cities*. 2016. №3. P. 99-103.
75. Stephen F. B., Robert H. L. Communication-Enabled Intelligence for the Electric Power Grid. *Smart Grid*. 2014. №2. P. 207-229.
76. Casini M., Cotana F. Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy Efficiency and Environmental Performance. *Smart Buildings*. 2020. №9. P. 151-167.
77. Deakin M. Governing, Modelling, and Analysing the Transition. *Smart Cities*. 2016. №5. P. 62-78.
78. Borlase S., Jenkins N. Infrastructure, Technology, and Solutions. *Smart Grids*. 2015. №3. P. 54-63.
79. Погрібняк І. О., Ткачов В.В. в Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. 2020. №1. P. 60-67.
80. Datasheet ESP-12E WiFi Module ESP8266EX. 2015. №1. P. 11-14.
81. Casini M., Cotana F. Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy Efficiency and Environmental Performance. *Smart Buildings*. 2012. №1. P. 107-122.
82. Datasheet ESP-12E WiFi Module ESP8266EX. 2020. №4. P. 9-13.
83. Myers M. A Guide for Facility Managers. *Indoor Environmental Quality*. 2016. №4. P. 157-166.

ДОДАТОК А

Базові принципи реалізації роботи кіберфізичної системи керування мікрокліматом у “Розумному будинку” з використанням Arduino та SinricPro

```
#include <Arduino.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BME280.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include "SinricPro.h"
#include "SinricProSwitch.h"
#include "SinricProTemperaturesensor.h"
#define SLVLPRESS_HPA (1013.25)
#define EVENT_WAIT_TIME 10000 // надсилати дані кожні 10 секунд
#define BAUD_RATE 115200
#define WIFI_SSID "SSID"
#define WIFI_PASS "Password"
#define APP_KEY "2bbcd2cd-e7da-4059-957b-0028f406011a"
#define APP_SECRET "14783b13-592e-48c1-8a14-2a1f11549bd6-b4b6571e-ea82-49b0-989c-8811d03e3c0f"
#define TEMP_SENSOR_ID "63682a7eb8a7fefbd6339f74"
Adafruit_BME280 bme;
bool myPowerState = false;
unsigned long lastBtnPress = 0;
unsigned long startTime = millis();
bool deviceIsOn; //стан ввімкнення/вимкнення датчика температури
float temperature; //фактична температура
float lightning; //фактичне освітлення
float humidity; //фактична вологість
```

```

float air; //фактична концентрація CO2
float lastTemperature; //остання відома температура (для порівняння)
float lastLightning; // останнє відоме освітлення (для порівняння)
float lastHumidity; // остання відома вологість (для порівняння)
float lastAir; // остання відома концентрація CO2 (для порівняння)
unsigned long lastEvent =(-EVENT_WAIT_TIME); //час, коли подія була надіслана
void setupWiFi() {
  Serial.printf("\r\n[WiFi]: Connecting");
  WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASS);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.printf(".");
    delay(250);
  }
  IPAddress localIP = WiFi.localIP();
  Serial.printf("connected!\r\n[WiFi]: IP-Address is %d.%d.%d.%d\r\n", localIP[0],
localIP[1], localIP[2], localIP[3]);
}
bool onPowerState(const String &deviceId, bool &state) {
  Serial.printf("Temperaturesensor turned %s (via SinricPro) \r\n", state?"on":"off");
  deviceIsOn = state; // увімкнення/ вимкнення датчика температури
  return true;
}
// функція налаштування для SinricPro
void setupSinricPro() {
// додати пристрій до SinricPro
SinricProTemperaturesensor &mySensor1 = SinricPro[TEMP_SENSOR_ID];
SinricProLightningsensor &mySensor2 = SinricPro[LIGHTNING_SENSOR_ID];
SinricProHumiditysensor &mySensor3 = SinricPro[HUMIDITY_SENSOR_ID];
SinricProTAirsensor &mySensor4 = SinricPro[AIR_SENSOR_ID];
mySensor1.onPowerState(onPowerState);

```

```

mySensor2.onPowerState(onPowerState);
mySensor3.onPowerState(onPowerState);
mySensor4.onPowerState(onPowerState);
SinricPro.onConnected([]){ Serial.printf("Connected to SinricPro\r\n"); });
SinricPro.onDisconnected([]){ Serial.printf("Disconnected from SinricPro\r\n"); });
SinricPro.begin(APP_KEY, APP_SECRET);
}

void handleTemperaturesensor() {
if (deviceIsOn == false) return; // пристрій вимкнено... нічого не робити
unsigned long actualMillis = millis();
if (actualMillis - lastEvent < EVENT_WAIT_TIME) return; // перевіряти лише
кожні 10 секунд
Serial.println("Temperature: " + String(bme.readTemperature(), 2) + " *C");
Serial.println("Pressure: " + String(bme.readPressure() / 100.0F, 2) + " hPa");
Serial.println("Lightning: " + String(bme.readLightning(), 2) + " %");
Serial.println("Air: " + String(bme.readAir(), 2) + " %");
Serial.println("Altitude: " + String(bme.readAltitude(SLVLPRESS_HPA), 2) + " m");
Serial.println("Humidity: " + String(bme.readHumidity(), 2) + " %");
Serial.println("");
temperature = bme.readTemperature(); // отримати фактичну температуру
humidity = bme.readHumidity(); // отримати фактичну вологість
lightning = bme.readLightning(); // отримати фактичне освітлення
air = bme.readAir(); // отримати фактичну концентрацію CO2
}
if (temperature == lastTemperature || humidity == lastHumidity || lightning ==
lastLightning || air == lastAir) return;
SinricProTemperaturesensor &mySensor1 = SinricPro[TEMP_SENSOR_ID];
SinricProLightningsensor &mySensor2 = SinricPro[LIGHTNING_SENSOR_ID];
SinricProHumiditysensor &mySensor3 = SinricPro[HUMIDITY_SENSOR_ID];
SinricProAirsensor &mySensor4 = SinricPro[AIR_SENSOR_ID];

```

```

bool success = mySensor.sendTemperatureEvent(temperature, humidity, humidity, air);
if (success) { /* якщо дані було надіслано успішно, температура, вологість,
освітлення та концентрація CO2 з'явиться в послідовному порті */
  Serial.printf("Temperature: %2.1f Celsius\tHumidity: %2.1f%%\tLightning: %2.1f
%\tAir: %2.1f %\r\n", temperature, humidity, lightning, air);
} else { // якщо надсилання не вдалося, надрукувати повідомлення про помилку
Serial.printf("Something went wrong...could not send Event to server!\r\n");
}
lastTemperature = temperature; // зберегти температуру для порівняння
lastHumidity = humidity; // зберегти вологість для порівняння
lastLightning = lightning; // зберегти вологість для порівняння
lastAir = air; // зберегти вологість для порівняння
lastEvent = actualMillis; // збережіть час для порівняння
}
void setup() {
  Wire.begin();
  setupTemperatureSensor();
  setupLightningSensor();
  setupHumiditySensor();
  setupAirSensor();
  setupWiFi();
  setupSinricPro();
}
using namespace std;
int main()
{
  int temperature, humidity, lightning, air;

  cout << "Enter temperature: ";
  cin >> temperature;

```

```
cout << "Enter humidity: ";
cin >> humidity;

cout << "Enter lightning_level: ";
cin >> lightning;

cout << "Enter air quality: ";
cin >> air;

while (true)
{
    if (temperature == desired_temperature)
    {
        cout << "Observing temperature..." << endl;
    }
    else
    {
        if (temperature > desired_temperature)
        {
            cout << "Adjusting heating..." << endl;
        }
        else
        {
            cout << "Adjusting cooling..." << endl;
        }
    }
}

if (humidity == desired_humidity)
{
```

```
    cout << "Observing humidity..." << endl;
}
else
{
    if (humidity > desired_humidity)
    {
        cout << "Turning on dehumidifier..." << endl;
    }
    else
    {
        cout << "Turning on humidifier..." << endl;
    }
}

if (lightning == desired_lightning_level)
{
    cout << "Observing lightning_level..." << endl;
}
else
{
    if (lightning > desired_lightning_level)
    {
        cout << "Reducing brightness of lights..." << endl;
    }
    else
    {
        cout << "Increasing brightness of lights..." << endl;
    }
}
```

```
if (air == desired_air_quality)
{
    cout << "Observing air quality..." << endl;
}
else
{
    if (air > desired_air_quality)
    {
        cout << "Increasing ventilation..." << endl;
    }
    else
    {
        cout << "Reducing ventilation..." << endl;
    }
}
}
return 0;
}

void loop() {
    handleTemperaturesensor();
    handleLightningsensor();
    handleHumiditysensor();
    handleAirsensor();
    SinricPro.handle();
}
```

ДОДАТОК Б

Копія наукової публікації

УДК 000.00

В.В. МАРТИНЮК, М.С. ПРОДЕУС
Хмельницький національний університет

КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА МІКРОКЛІМАТУ "РОЗУМНОГО БУДИНКУ"

У роботі на основі проведених досліджень розроблена архітектура і компоненти програмного забезпечення кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку". Особлива увага приділялася налагодженню зв'язків між елементами системи, мінімізації затрат системи та присуття автономності на випадок перерви із живленням. Утворена система здатна працювати без втручання користувача, а за необхідності приймати вхідні дані і корегувати мікроклімат у приміщенні.

Ключові слова: мікроклімат, системи керування, цифрова обробка сигналів, вбудовані системи, системи обробки показників датчиків, розумний будинок, зміна зчитуваних значень, керування елементами системи мікроклімату.

V.V. MARTYNYUK, M.S. PRODEUS
Khmelnitsky national university

CYBERPHYSICAL SYSTEM FOR MICROCLIMATE CONTROL IN "SMART HOME"

Based on conducted research, an architecture and software components for a cyberphysical system for microclimate control in a "smart home" have been developed. Particular attention was paid to establishing connections between system elements, minimizing system costs, and ensuring autonomy in case of power outages. The resulting system is capable of operating without user intervention, but can also receive input data and adjust the microclimate in the room as needed.

Keywords: microclimate, control systems, digital signal processing, embedded systems, sensor data processing systems, smart home, changing sensor values, microclimate system control.

1. Вступ

Упродовж останніх десятиліть розумна технологія має значний потенціал полегшити наше повсякденне життя. Один із прикладів цього - "Розумний будинок", що є кіберфізичною системою для контролю та управління мікрокліматом в приміщенні. З метою забезпечення комфорту мешканців та енергоефективності, необхідно розробити імітаційні моделі та програмне забезпечення для розрахунку та керування режимами роботи такої системи. Більш того, для досягнення ефективного та оптимального функціонування "Розумного будинку" потрібно розробити метод керування, який враховуватиме характеристики системи та потреби користувачів. Використання таких технологій дозволяє забезпечити комфортне проживання та зменшити витрати на опалення та охолодження приміщень.

Заради виконання поставленого проекту, я прийняв рішення скористатися програмованою логічною інтегральною схемою (ПЛИС) або FPGA. Ця технологія надає можливість налаштувати зв'язки між необхідними датчиками і забезпечувати контроль температури, вологості та вентиляції у приміщенні, що становить основне завдання даного проекту[1].

На сучасному етапі кіберфізичні системи використовуються широко і впливають на різні аспекти людського життя. Вони охоплюють такі галузі, як промисловість, транспорт, медицина, енергетика, побут та інші[2]. У побутовому середовищі також стає все більше кіберфізичних систем, які пропонують нові можливості та зручності для людей.

Проте, щоб забезпечити безпеку та ефективність використання кіберфізичних систем, потрібно розробити або вдосконалити структури керування та взаємодії між елементами. Це означає розробку ефективних алгоритмів керування, стандартизацію протоколів комунікації, розумну інтеграцію даних з довкілля та впливу на нього.

Одним із викликів є забезпечення надійності та безпеки кіберфізичних систем. Вони повинні бути захищені від несанкціонованого доступу, зловживання та збоїв. Для цього необхідно використовувати сучасні методи шифрування, аутентифікації та контролю доступу.

Крім того, важливим аспектом є створення гнучких та адаптивних систем керування, які можуть враховувати зміни умови та потреби користувачів. Це може включати в себе використання сенсорів, штучного інтелекту та аналітики даних для забезпечення оптимальних рішень та комфорту.

Отже, для подальшого розвитку та успішного використання кіберфізичних систем необхідно продовжувати дослідження та розробку нових технологій, а також забезпечити співпрацю між різними галузями.

Метою дипломної роботи є підвищення ефективності взаємодії елементів системи керування мікроклімату в "Розумному будинку".

Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних задач:

1. Здійснити огляд літературних джерел та патентних даних.
2. Дослідити метод керування кіберфізичною системою мікроклімату «Розумного будинку».
3. Розробити імітаційну модель кіберфізичної системи мікроклімату «Розумного будинку».
4. Розробити програмне забезпечення та окремі ланцюги системи.

Об'єктом дослідження є системи керування мікроклімату в будинку.

Предметом дослідження є модель, метод побудови архітектури вбудованих систем керування мікроклімату "Розумного будинку".

Наукова новизна отриманих результатів:

- удосконалено метод побудови архітектури кіберфізичних систем мікроклімату "Розумного будинку", який на відміну від відомих використовує просту елементну базу та ґрунтується на мінімізації потужності, та оптимізованому використанні пристроїв керування, і який забезпечує високу швидкість обробки показників та введені коректив у мікроклімат;

- набули подальшого розвитку програмно-технічні засоби керування кіберфізичними системами мікроклімату "Розумного будинку".

На основі проведених досліджень розроблена архітектура і компоненти програмного забезпечення кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку".

Практична значимість отриманих результатів полягає у підвищенні ефективності взаємодії елементів кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" а також на формування висновку про можливості кіберфізичної системи мікроклімату «Розумного будинку».

2. Побудова загальної імітаційної моделі елементів кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку"

Імітаційна модель кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" представляє собою математичну модель, яка відтворює роботу системи мікроклімату в різних умовах і дозволяє проводити дослідження та вдосконалювати її функціональні можливості. Ця модель є важливим інструментом при проектуванні та оптимізації систем мікроклімату, а також при плануванні розкладу робіт і технічного обслуговування.

Імітаційна модель кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" включає в себе математичні рівняння та алгоритми керування, які описують фізичні процеси і забезпечують оптимальний режим роботи системи. Ця модель дозволяє досліджувати і симулювати роботу системи мікроклімату, зокрема, її опалення.

Математичні рівняння, які використовуються в імітаційній моделі, описують теплопередачу і взаємодію повітря зі стінами та іншими елементами будинку. Ці рівняння враховують такі фактори, як теплопровідність матеріалів, температурні градієнти і теплообмін між елементами системи. Вони дозволяють розраховувати температуру повітря в приміщенні і впливати на систему опалення для підтримки заданої температури[3].

Імітаційна модель кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" є потужним інструментом для дослідження та аналізу різних аспектів роботи системи. Вона дозволяє проводити експерименти та тестування в контрольованому віртуальному середовищі, що забезпечує багато переваг.

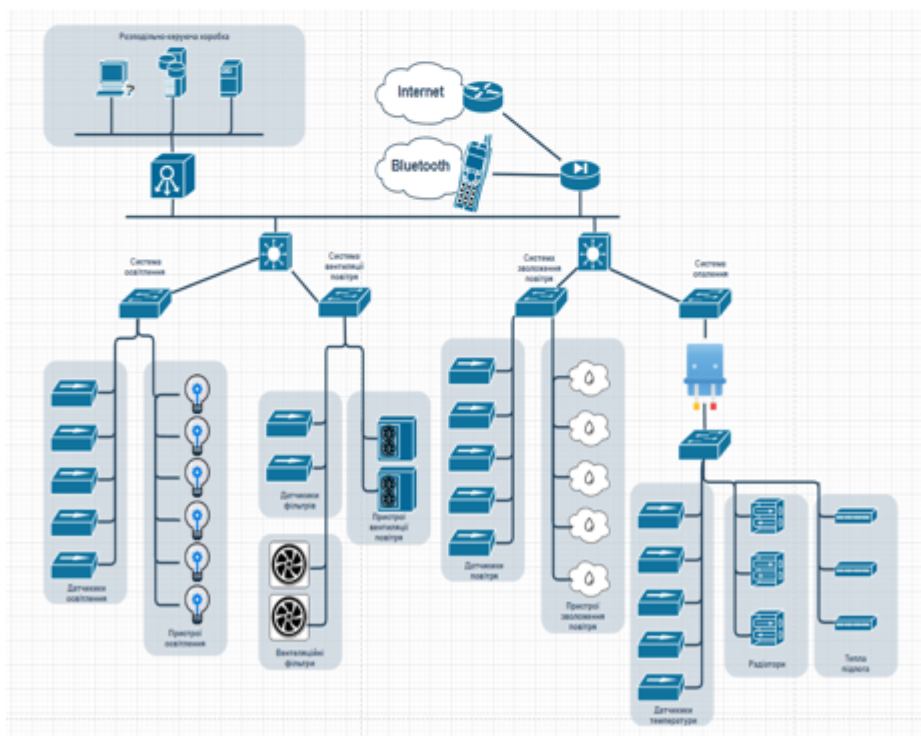


Рисунок 3.1. Імітаційна модель кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку"

За допомогою імітаційної моделі можна вивчати вплив різних факторів на систему мікроклімату, таких як зміна зовнішньої температури, наявність людей у приміщенні, використання певних алгоритмів керування та інші параметри. Це дозволяє оцінювати ефективність різних стратегій та алгоритмів, виявляти можливі проблеми та розробляти оптимальні рішення[4].

Імітаційна модель може бути реалізована з використанням різних програмних пакетів та мов програмування, таких як MATLAB, Simulink, Python та інші. Ці інструменти надають потужні можливості для створення математичних моделей, симуляції фізичних процесів, аналізу результатів та визначення оптимальних параметрів системи[5].

При побудові кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" важливо розробити структурну схему, що відображає взаємодію різних компонентів системи. Така схема допоможе краще зрозуміти логіку роботи системи та забезпечити її ефективну імітацію, див. рисунок 3.1.

3.1 Імітаційна модель системи обігріву

Імітаційна модель системи обігріву включає в себе різні компоненти, які співпрацюють між собою для забезпечення оптимального обігріву приміщення. Ця модель базується на математичних рівняннях та враховує фізичні процеси, що відбуваються в системі обігріву[6].

Основні компоненти імітаційної моделі системи обігріву включають:

Обігрівачі: це пристрої, які генерують тепло для підігріву повітря або об'єктів в приміщенні. Вони можуть бути представлені в моделі як теплові джерела з різними характеристиками.

Теплоносії: це система трубопроводів та радіаторів, яка передає тепло від обігрівачів до приміщення. В моделі враховуються фізичні властивості теплоносія, такі як теплопровідність та гідравлічний опір.

Терморегулятори: це пристрої, які контролюють температуру в приміщенні. Вони можуть включати термостати, програмовані контролери або інші системи автоматичного керування температурою.

Зовнішні фактори: це параметри, які впливають на обігрів приміщення, такі як зовнішня температура, наявність сонячного випромінювання, вітер тощо. Вони враховуються в моделі для точного відтворення реальних умов.

Імітаційна модель системи обігріву дозволяє проводити дослідження різних сценаріїв роботи системи, визначати оптимальні налаштування та вдосконалювати ефективність обігріву приміщення[7]. В додаток, модель може використовуватися для прогнозування поведінки системи обігріву в різних умовах. Наприклад, вона може враховувати зміну зовнішньої температури та на основі цих даних передбачати, як система буде реагувати і підтримувати комфортну температуру в приміщенні.

Одним з прикладів імітаційної моделі системи обігріву є модель, яка базується на методі скінченних елементів. У цій моделі розглядається теплопередача в приміщенні, яка залежить від температурного режиму, властивостей матеріалів приміщення та інших факторів. Вона включає в себе рівняння теплопровідності та рівняння балансу енергії, які дозволяють відтворити процес обігріву приміщення.

Імітаційна модель системи обігріву є корисним інструментом для проектування, оптимізації та управління системою обігріву в будинках та інших приміщеннях. Вона дозволяє зменшити витрати на енергопостачання та забезпечити комфортний мікроклімат[8].

Імітаційна модель системи охолодження є математичною моделлю, яка дозволяє досліджувати різні режими роботи системи охолодження в "Розумному будинку" та прогнозувати її роботу в різних умовах.

Одна з можливих імітаційних моделей системи охолодження полягає в наступному, див формулу 3.1. Нехай T_{in} - температура повітря на вході в систему охолодження, T_{out} - температура повітря на виході з системи охолодження, m - масовий потік повітря, C_p - теплоємність повітря, H - теплова потужність охолоджувального пристрою.

Тоді можна записати наступні рівняння:

$$m \cdot C_p \cdot \frac{T_{out} - T_{in}}{\Delta t} = H(T - T_a) \quad (3.1)$$

де Δt - часовий крок.

Така імітаційна модель дозволяє досліджувати різні сценарії роботи системи охолодження, визначати необхідні параметри обладнання, оптимізувати роботу системи та забезпечувати комфортний мікроклімат у приміщенні[9].

SHT30A-DIS є новим поколінням датчиків температури та вологості, розробленим швейцарською компанією Sensirion. Він базується на сенсорному чіпі CMOSens®, який є ключовою технологією нової платформи вимірювання вологості та температури від Sensirion. SHT30A-DIS володіє покращеною інтелектуальністю, надійністю і точністю у порівнянні зі своїм попередником SHT20A-DIS від тієї ж компанії.

Незважаючи на те, що сам датчик виготовлений з кремнію, корпус датчика складається з мідно-свинцевого каркасу і зеленої суміші для форм на основі епоксидної смоли[10]. Це конструктивне рішення дозволяє забезпечити стійкість та захист датчика, а також забезпечити оптимальні умови для вимірювання температури та вологості.

Датчик надійно працює в межах рекомендованого нормального діапазону, який зображений на рисунку 3.2. Вплив тривалого перебування поза цим діапазоном, особливо при вологості >80%RH, може тимчасово

зрушити показник вологості (+3%RH протягом 60 годин). Після повернення до нормального діапазону, датчик повільно повернеться до свого початкового калібрування. Протягом тривалого перебування в екстремальних умовах, може відбуватись прискорене старіння датчика, що може призвести до зменшення його точності. Тому рекомендується уникати тривалого перебування датчика в екстремальних умовах для забезпечення його оптимальної роботи і тривалої точності[11].

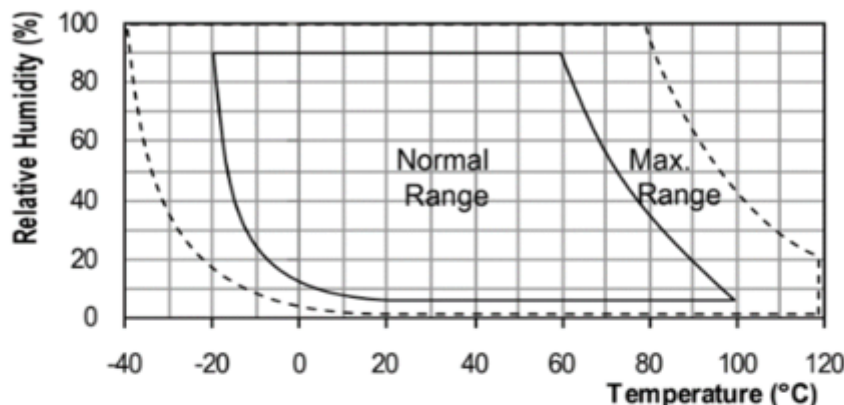


Рисунок 3.2 – Умови роботи датчика SHT30

Для забезпечення точності визначення відносної вологості при різних температурах рекомендується враховувати наступні дані. Максимальний допуск для точності відносної вологості при температурі 25 °C вказаний на рисунку 3.3, А. Для інших значень температури, максимальний допуск був оцінений в межах, показаних на рисунку 3.3, В. Варто зазначити, що наведені значення є максимальними допусками без урахування гістерезису відносно високоточного еталонного зразка, такого як метод визначення точки роси[12]. Типові відхилення становлять $\pm 2\%$ відносної вологості, де максимальний допуск складає $\pm 3\%$ відносної вологості, а для інших значень воно приблизно становить половину максимального допуску.

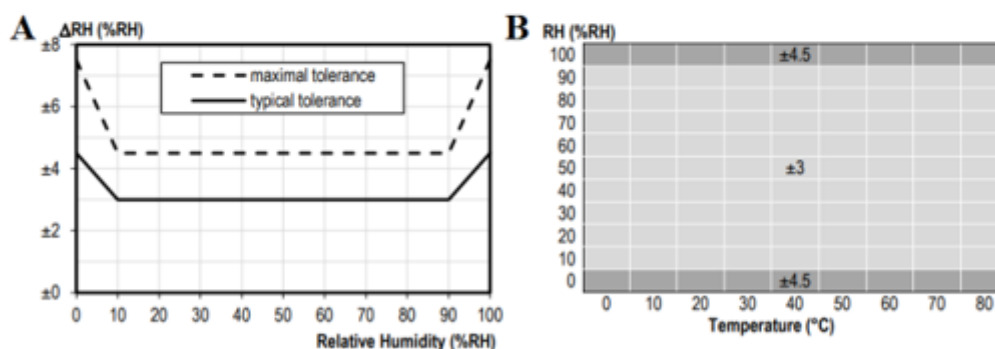


Рисунок 3.3 – Допуск відносної вологості при 25°C (А), Залежність допуску RH від Т (В), для SHT30A

Відповідно до таблиці 3.1, споживання струму датчика SHT30A залежить від температури і напруги живлення VDD. Функціональна блок-схема датчика SHT30A зображена на рисунку 3.4, А. Сигнали вологості та температури, що отримуються з датчика, піддаються заводській калібруванню, лінеаризації та компенсації відповідно до температури та напруги живлення.

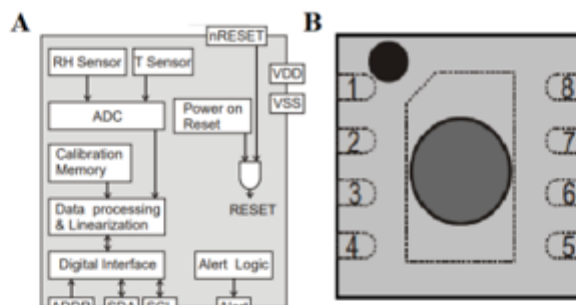


Рисунок 3.4 – Функціональна схема SHT30A(A), зовнішній вигляд датчика SHT30A(B)

Зовнішній вигляд датчика показано на рисунку 3.4, В. У таблиці 3.2 перераховані всі піни датчика та їх призначення.

Таблиця 3.1 – Електричні характеристики SHT30

Параметр	Режим	Мін.	Сер.	Макс.	МВ
Напруга живлення, VDD	-	2,1	3,0	3,6	В
Струм живлення, IDD 6	Сплячий	-	0,15	0,4	мкА
	Вимірювання	200	300	330	мкА
Розсіювання потужності	Сплячий	-	0,5	1,2	мкВт
	Вимірювання	0,6	0,9	1,0	мВт
	8 bit	-	3,2	-	мкВт

Таблиця 3.2 – Піни SHT30A

№ Піну	Назва	Функція
1	SDA	Передача інформації від/до МК; вхід/вихід.
2	ADDR	PIN-код адреси; введення; підключається до логічного високого або низького рівня
3	ALERT	Вказує на стан тривоги; вихід; потрібно залишити плаваючим, якщо він не використовується
4	SCL	Тактуючий сигнал для прийомо-передачі; Вхід/Вихід
5	VDD	Напруга живлення; Вхід
6	nRESET	Контакт скидання, активний низький рівень; Вхід; можна залишити плаваючим; або підключити до VDD за допомогою послідовного резистора $R \geq 2$ кОм
7	R	Немає електричної функції; для підключення до VSS
8	VSS	Земля

Також варто враховувати можливість впливу тіні від меблів на вимірювання температури. Тому рекомендується розташувати датчик на відстані від 1 до 1,5 метрів від підлоги та від 30 до 60 сантиметрів від стіни.

Дотримуючись цих рекомендацій, можна забезпечити точність вимірювання температури в приміщенні та ефективну роботу системи управління кліматом для забезпечення комфортної температури.

Остаточне розміщення датчика температури в приміщенні залежить від типу використовуваної системи опалення та кондиціонування повітря. Наприклад, у системах з центральним опаленням може бути доцільним встановлення датчика на кожному поверсі або в кожній зоні опалення для точного контролю температури. У випадку системи кондиціонування повітря датчик температури може бути встановлений безпосередньо на пристрої кондиціонування.

Крім того, у деяких ситуаціях може знадобитися встановлення кількох датчиків температури в приміщенні, особливо якщо воно має декілька зон або різні вимоги до температури. У такому випадку датчики можуть бути розміщені в кожній зоні або окремо для різних поверхів.

Перед встановленням датчика температури рекомендується ретельно ознайомитись з інструкцією виробника і звернутися до кваліфікованих фахівців для отримання консультації та рекомендацій щодо розміщення. Дотримання рекомендацій виробника та консультація з фахівцями допоможуть забезпечити точне вимірювання температури в приміщенні та ефективну роботу систем опалення та кондиціонування повітря.

З огляду на раніше зазначене та характеристики обраного датчика температури, вирішено встановити датчики на внутрішніх стінах приміщень на висоті 1,5 метра, стежачи за тим, щоб уникнути прямих сонячних променів, як показано на рисунку 3.6.

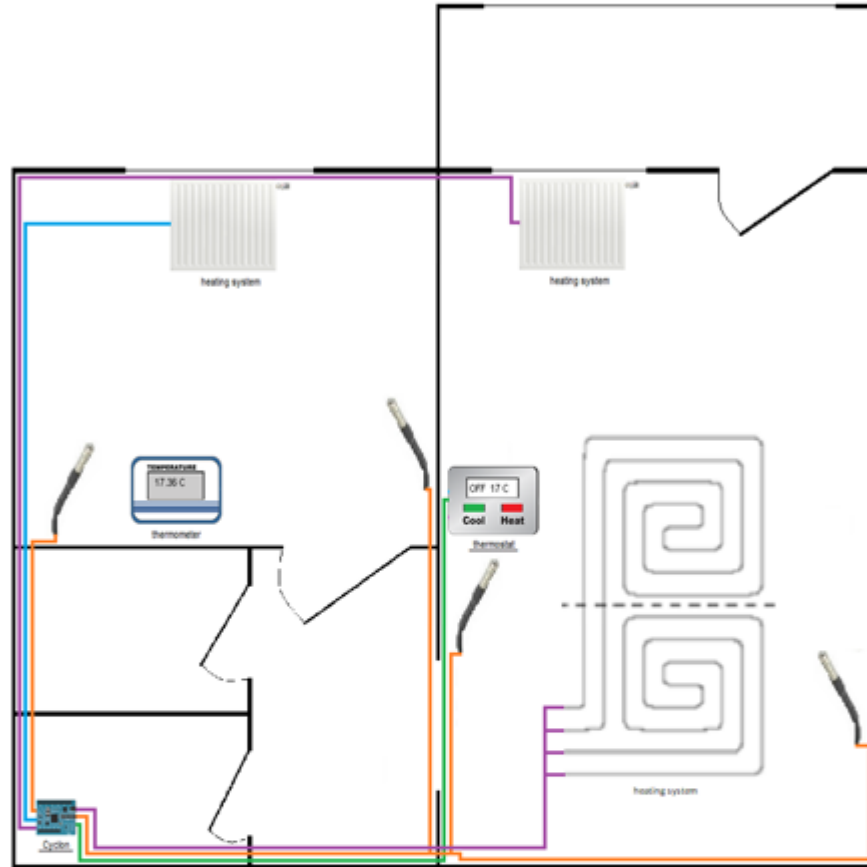


Рисунок 3.6 - Імітаційна модель системи обігріву

3.3 Імітаційна модель системи вентиляції

Імітаційна модель системи вентиляції є математичною моделлю, яка дозволяє досліджувати та аналізувати роботу системи вентиляції в різних умовах. Вона базується на фізичних принципах, таких як закони термодинаміки та гідродинаміки, і враховує елементи, що складають систему вентиляції, такі як вентилятори, воздуховоди, клапани, фільтри та інші компоненти.

Ця модель дозволяє виконувати різні сценарії функціонування системи вентиляції і визначати оптимальні параметри для забезпечення ефективної та економічно вигідної роботи системи. Вона може враховувати такі фактори, як обсяг притоку та витяжки повітря, розташування вентиляційних отворів, властивості фільтрів та інші параметри.

Вхідні параметри, які використовуються для розрахунку параметрів системи вентиляції, включають температуру повітря, вологість, тиск і інші фактори, що впливають на функціонування системи. Ці параметри служать вихідними даними для імітаційної моделі.

Імітаційна модель системи вентиляції генерує вихідні параметри, які включають швидкість потоку повітря, об'єм повітря, що пройшов через систему вентиляції, тиск у воздуховодах, а також температуру та вологість повітря. Ці значення допомагають оцінити ефективність та робочі характеристики системи вентиляції в різних умовах.

Імітаційна модель системи вентиляції використовується для проведення експериментів, досліджень та аналізу роботи системи вентиляції в різних сценаріях та умовах. Вона може бути використана при проектуванні

нових систем вентиляції для оцінки їх потенційних характеристик та вирішення проблем, а також для вдосконалення існуючих систем шляхом зміни параметрів та налаштування режимів роботи.

Для проведення дослідів був вибраний датчик BME280, який забезпечує високу точність вимірювання вологості, тиску та температури, що робить його ідеальним рішенням для багатьох застосувань. Він може бути використаний як у автомобільній промисловості для вимірювання параметрів повітря в системах контролю клімату, так і в побутовій електроніці, наприклад, для контролю вологості та температури у приміщеннях.

BME280 може працювати в трьох режимах потужності: normal mode (нормальний режим), forced mode (примусовий режим) і sleep mode (режим сну). Це дозволяє ефективно керувати споживанням енергії в залежності від потреб додатку, що використовує датчик.

– У режимі сну, який встановлюється за замовчуванням після скидання живлення, датчик не проводить вимірювання, і його споживання енергії (IDDSTM) зводиться до мінімуму. У цьому режимі всі регістри датчика залишаються доступними, і можна зчитувати ідентифікатор мікросхеми та коефіцієнти компенсації. Цей режим дозволяє зберігати енергію, коли вимірювання не потрібні, але забезпечує зручний доступ до регістрів для налаштування та зчитування даних, що не залежать від вимірювань [13]. При необхідності активації вимірювань датчика, можна переключити його в інший режим, наприклад, normal mode або forced mode;

– У примусовому режимі датчик виконує одне вимірювання відповідно до вибраних параметрів вимірювання та фільтра. Після завершення вимірювання датчик повертається в сплячий режим, а результати вимірювання можна отримати з регістрів даних. Для здійснення наступного вимірювання потрібно знову вибрати примусовий режим. Цей режим дозволяє контролювати момент вимірювання і отримувати результати точно за потребою. Він особливо корисний для програм, які вимагають низької частоти дискретизації або синхронізації з **хост**-системою. Використання примусового режиму дозволяє оптимізувати споживання енергії і отримувати дані в точно визначені моменти часу згідно з вимогами програми. Візуалізація роботи примусового режиму зображена на рисунку 3.8;

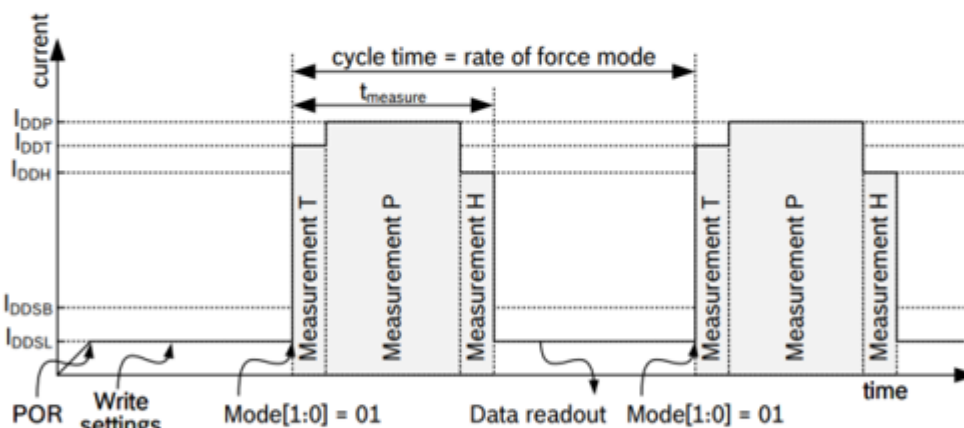


Рисунок 3.8 – Часова діаграма примусового режиму

– У нормальному режимі датчик періодично перемикається між активним періодом вимірювання і неактивним періодом очікування. Час очікування ($t_{standby}$) визначає тривалість неактивного періоду. У режимі очікування споживання струму (I_{DDSB}) трохи вище, ніж у режимі сну [14]. Після встановлення нормального режиму з вибраними параметрами вимірювання та фільтрування, останні результати вимірювань можна отримати з регістрів даних без необхідності здійснювати подальший доступ до запису. Це забезпечує зручність і ефективність в роботі з даними. Нормальний режим рекомендується, коли потрібно застосувати IIR-фільтр для фільтрації короткочасних шумів або перешкод, наприклад, в разі удару по датчику [15]. Цей режим дозволяє покращити якість вимірювань та забезпечити більш точні результати шляхом фільтрації непотрібних шумів і впливів. Візуалізація роботи нормального режиму зображена на рисунку 3.9;

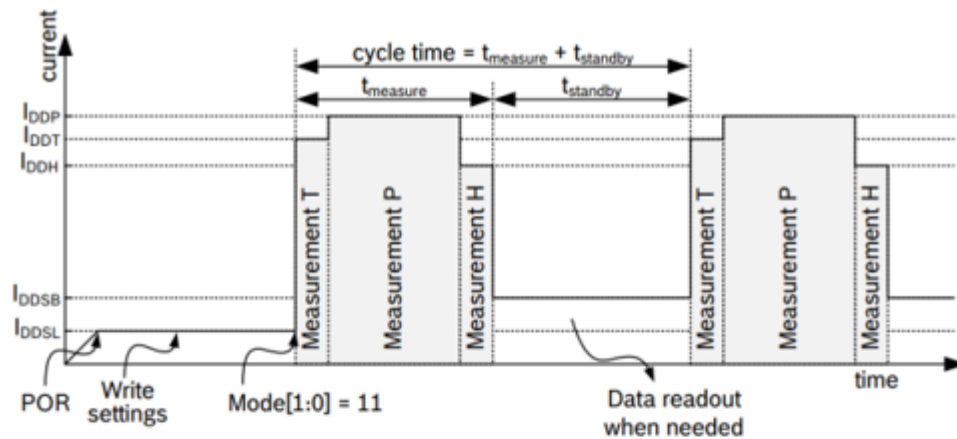


Рисунок 3.9 – Часова діаграма нормального режиму

Датчик BME280 надає доступ до налаштувань передискретизації, які дозволяють адаптувати його до конкретного застосування, забезпечуючи баланс між потужністю та роздільною здатністю. Ці параметри передбачають комбінації передискретизації для вимірювання тиску та температури, які попередньо визначені.

3.4 Імітаційна модель системи освітлення

Імітаційна модель системи освітлення в кіберфізичній системі мікроклімату "Розумного будинку" може бути побудована на основі різних факторів, таких як відстань від вікон, їх площа, розташування приміщень та час доби.

Для створення такої моделі можна використовувати спеціальне програмне забезпечення для моделювання освітлення в приміщеннях, наприклад DIALux або Relux. Ці програми дозволяють створювати віртуальні моделі будівель та приміщень, встановлювати параметри освітлення і визначати оптимальну кількість світильників та їх розташування.

Для імітації роботи системи освітлення в реальному часі можна використовувати програмне забезпечення, що взаємодіє зі сенсорами освітленості, які встановлені в кімнатах. Наприклад, якщо рівень природного освітлення зникається, система може автоматично включити штучне освітлення.

Крім того, система може бути оснащена датчиками руку, які дозволяють виявляти присутність людей в приміщенні. Це дозволяє ефективно використовувати енергію, вимикаючи світло в кімнаті, коли там немає жодної людини.

Отже, імітаційна модель системи освітлення в кіберфізичній системі мікроклімату "Розумного будинку" може бути реалізована за допомогою спеціального програмного забезпечення, яке взаємодіє зі сенсорами та датчиками, що контролюють рівень освітленості та присутність людей в приміщенні.

3.5 Алгоритм та програмне забезпечення роботи кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку"

Алгоритм та програмне забезпечення роботи кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" можна описати наступним чином.

1. Збір даних: Для забезпечення роботи системи мікроклімату в кіберфізичному середовищі, необхідно зібрати дані про параметри мікроклімату в приміщенні (температура, вологість, швидкість потоку повітря тощо). Для цього можуть використовуватися датчики, що забезпечують зчитування відповідних параметрів.

2. Аналіз даних: Після збору даних, проводиться їх аналіз та обробка. На основі цих даних формується стан системи мікроклімату, який може бути використаний для прийняття рішень про регулювання параметрів мікроклімату.

3. Прийняття рішень: За допомогою алгоритмів прийняття рішень, система мікроклімату в кіберфізичному середовищі може автоматично регулювати параметри мікроклімату залежно від поточного стану системи та налаштувань користувача. Це може забезпечити комфортні умови проживання та знизити споживання енергії.

4. Керування системою: Після прийняття рішення про регулювання параметрів мікроклімату, система мікроклімату може керувати роботою відповідних пристроїв, які забезпечують регулювання параметрів мікроклімату, таких як кондиціонери, опалювальні системи, вентиляційні системи тощо.

5. Моніторинг та звітність: Для забезпечення ефективного роботи системи мікроклімату в кіберфізичному середовищі, необхідно формувати дані-звіти, для можливості подальшого оновлення системи. А

також, система контролює та аналізує роботу всіх компонентів системи та вносить необхідні корективи у їх роботу.

Програмне забезпечення кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" складається з двох основних частин - програмного забезпечення для збору та аналізу даних та програмного забезпечення для керування обладнанням.

Програмне забезпечення системи керування кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" розроблялося, як адаптація програмного забезпечення системи керування теплиці Погрібняка І.О.[16], удосконалення системи можна представити як наступний алгоритм керування, див рисунок 3.14.

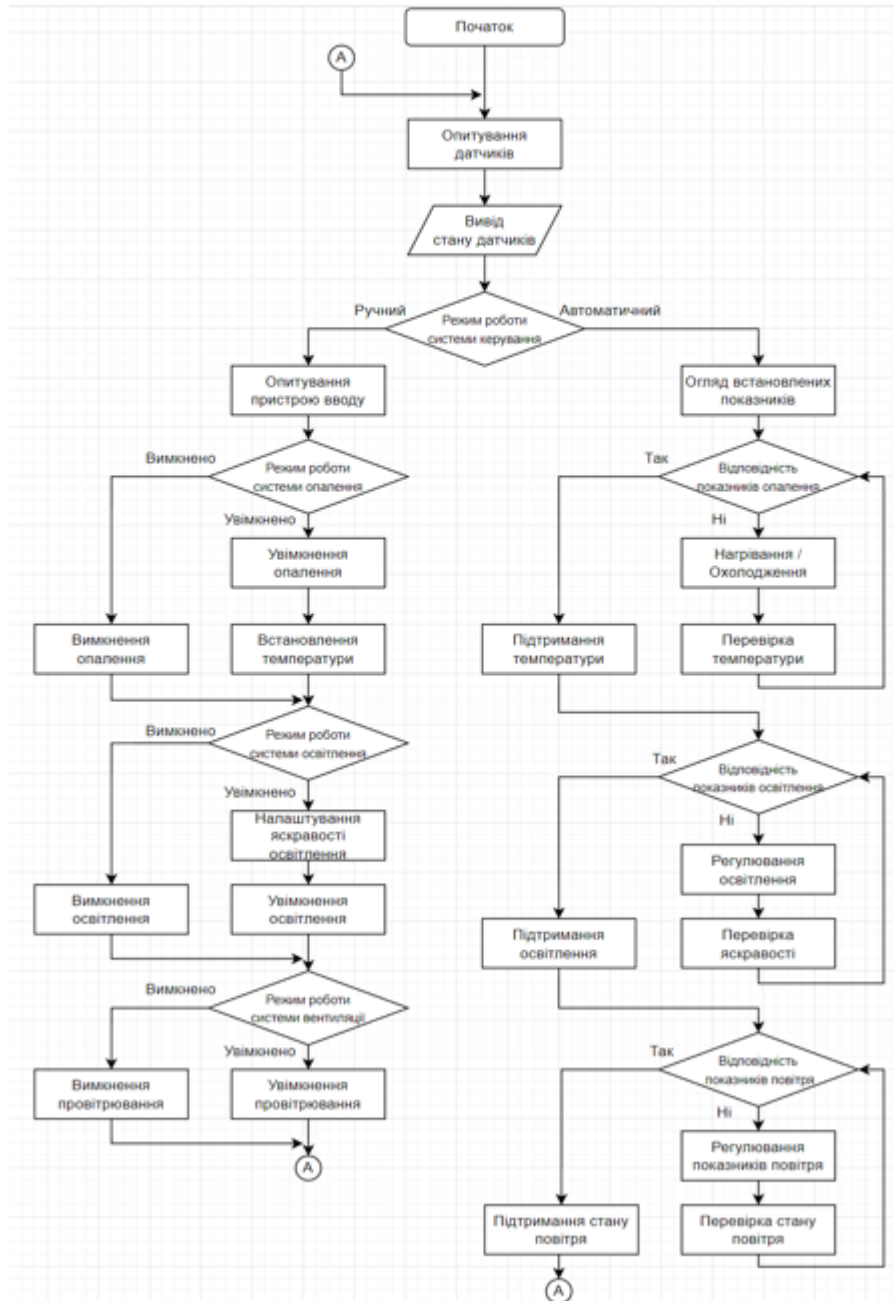


Рисунок 3.14 – Алгоритм керування кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку"

Перша частина програмного забезпечення складається з драйверів датчиків, які забезпечують зчитування даних з датчиків, та програм, які аналізують та обробляють зібрані дані. Для аналізу даних можуть використовуватися різноманітні методи та алгоритми, такі як методи штучного інтелекту, нейронні мережі та інші.

Друга частина програмного забезпечення відповідає за керування роботою систем обігріву, охолодження, вентиляції та освітлення. Вона включає в себе програми, які виконують різноманітні операції з керування обладнанням.

Програмне забезпечення кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" складається з різноманітних компонентів, що забезпечують збір і аналіз даних, регулювання параметрів системи та комунікацію між компонентами. Головні компоненти програмного забезпечення системи мікроклімату є такими:

1. Сенсорні пристрої: це пристрої, які забезпечують збір даних про параметри мікроклімату в будинку, такі як температура, вологість, рівень CO₂, рівень освітлення та інші параметри. Дані з сенсорних пристроїв передаються до центральної системи для аналізу та обробки.

2. Центральна система: це програмний компонент, який забезпечує збір та аналіз даних з сенсорних пристроїв, а також управління роботою системи мікроклімату. Центральна система виконує аналіз отриманих даних та приймає рішення щодо регулювання параметрів системи.

3. Актuatorи: це пристрої, які відповідають за зміну параметрів мікроклімату в будинку, такі як включення/виключення опалення, кондиціонерів, освітлення тощо. Команди для актуаторів формуються центральною системою на основі результатів аналізу даних з сенсорних пристроїв.

4. Комунікаційні протоколи: це протоколи, які забезпечують передачу даних між компонентами програмного забезпечення системи мікроклімату. Найбільш поширеними протоколами є дротовий, Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee та інші.

5. Інтерфейс користувача: це програмний компонент, який забезпечує користувачам доступ до функціоналу системи мікроклімату. Користувачі самі можуть змінювати параметри системи в і налаштувати необхідний мікроклімат.

3.6 Експериментальне дослідження програмного забезпечення роботи кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку"

Експериментальне дослідження програмного забезпечення роботи кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" є важливою складовою процесу впровадження системи в реальному середовищі.

Першим кроком у дослідженні програмного забезпечення є перевірка коректності його роботи на етапі симуляції. Для цього використовують імітаційну модель кіберфізичної системи мікроклімату, яка дозволяє емулювати роботу системи у контрольованих умовах.

Після успішної перевірки на етапі симуляції, проводиться тестування програмного забезпечення в реальному середовищі. Для цього система мікроклімату встановлюється в реальному будинку та з'єднується зі збірником даних та інтерфейсом керування.

Під час експериментального дослідження програмного забезпечення, збираються дані про роботу системи мікроклімату в реальному часі, які потім аналізуються з метою виявлення можливих недоліків та вдосконалення системи. Також проводяться вимірювання температури, вологості повітря та інших показників мікроклімату для порівняння зі значеннями, отриманими з імітаційної моделі.

Для проведення експериментального дослідження програмного забезпечення використовуються спеціальні програмні засоби, які дозволяють збирати та аналізувати дані, відстежувати стан системи, а також відображати інформацію на інтерфейсі керування[17].

У разі виявлення недоліків у роботі програмного забезпечення, проводяться відповідні корекції та тестування для перевірки.

Висновки

У кваліфікаційній роботі магістра був розроблений прототип пристрою комплексного моніторингу мікроклімату будинку на базі мікроконтролера ESP8266. Він дозволяє своїм користувачам одночасно слідкувати за основними параметрами мікроклімату в декількох кімнатах, за допомогою смартфона або головного терміналу системи.

На основі огляду поняття «Мікроклімат» та його важливості для організму людини було сформульоване і поставлене завдання проекту. В процесі проектування був розроблений алгоритм роботи пристрою комплексного моніторингу мікроклімату будинку на базі мікроконтролера ESP8266. За отриманим алгоритмом була створена його структурна схема.

У науковій частині, була розглянута процедура спостереження за однією складовою мікроклімату – температурою. Для цього були розглянуті різноманітні методи її фіксації, та їх основні переваги та недоліки. На основі цієї інформації був обраний датчик температури для проекту.

Був також проведений вибір елементної бази пристрою з основними мікросхемами системи. На основі чого була створена його функціональна та принципова схема.

Кіберфізичні системи мікроклімату можуть бути розроблені з використанням математичних моделей та імітаційних моделей. Вони можуть бути залучені до створення та регулювання оптимального мікроклімату в будівлях, що забезпечить комфортні умови проживання для мешканців та ефективне використання енергії.

"Розумний будинок" - це комплексна кіберфізична система, яка забезпечує автоматизоване управління мікрокліматом в приміщенні, що забезпечує комфортні умови для життя та праці людей, економію енергоресурсів та зникнення негативного впливу на довкілля.

Для ефективної роботи "Розумного будинку" необхідно використовувати комплексний підхід, що включає розробку математичних моделей, створення імітаційних моделей та програмного забезпечення, налагодження та тестування системи.

Основними елементами "Розумного будинку" є система опалення, система охолодження, система вентиляції, система освітлення та система керування та моніторингу. Для кожної з цих систем розробляються відповідні математичні моделі та імітаційні моделі, які дозволяють ефективно керувати процесами в приміщенні та підтримувати необхідний рівень комфорту для користувачів.

Керування системою "Розумного будинку" відбувається за допомогою алгоритмів, які базуються на даних, зібраних датчиками температури, вологості, рівня освітленості та інших параметрів. Програмне забезпечення системи обробляє ці дані та приймає рішення щодо оптимальних налаштувань для кожної з систем "Розумного будинку".

Розумний будинок є однією з важливих складових концепції "розумного міста", яка передбачає використання технологій Інтернету та інших інноваційних рішень для покращення якості життя мешканців міста.

Література

1. David Harris i Sarah Harris in the Digital Design and Computer Architecture 2012. №6. P. 32-40.
2. Pong P. Chu in the FPGA Prototyping by VHDL Examples 2011. №6. P. 72-75.
3. Janaka Ekanayake, Nick Jenkins in the Smart Grid: Fundamentals and Technologies in Electricity Networks 2012. №1. P. 49-55.
4. Marco Casini, Franco Cotana in the Smart Buildings: Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy Efficiency and Environmental Performance 2013. №3. P. 59-61.
5. Anthony M. Townsend in the Smart Cities: Big Data, Civic Hackers, and the Quest for a New Utopia 2014. №2. P. 99-108.
6. Stuart Borlase, Nick Jenkins in the Smart Grids: Opportunities, Developments, and Trends 2014. №3. P. 105-109.
7. Marco Casini, Franco Cotana in the Smart Buildings: Advanced Materials and Nanotechnology to Improve Energy Efficiency and Environmental Performance 2016. №5. P. 36-46.
8. Anthony M. Townsend in the Smart Cities: Big Data, Civic Hackers, and the Quest for a New Utopia 2015. №5. P. 129-138.
9. Fereidoon P. Sioshansi in the Smart Grids: Clouds, Communications, Open Source, and Automation 2013. №3. P. 208-214.
10. Andrzej Adamski, Adrian Kapczynski in the Smart Cities: An Effective and Sustainable Way of Interconnecting Intelligent Environments 2013. №2. P. 86-91.
11. Janaka Ekanayake in the Smart Grid: Technology and Applications 2014. №4. P. 105-128.
12. Salah Hamdi, Mounir Ghogho in the Smart Cities: Digital Transformation and Sustainability 2018. №5. P. 184-192.
13. James Stark, Antonios Perperidis in the Smart Buildings: Technology and the Internet of Things 2018. №5. P. 144-153.
14. Armin Lehmann in the Smart Cities: An Integrated Approach 2016. №3. P. 99-103.
15. Stephen F. Bush, Robert H. Lee in the Smart Grid: Communication-Enabled Intelligence for the Electric Power Grid 2014. №2. P. 207-229.
16. Погрибняк І. О., Ткачов В.В. в Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології 2020. №1. P. 60-67.
17. Datasheet ESP-12E, 2015

ДОДАТОК В

Презентація дипломної роботи

Кіберфізична система мікроклімату “Розумного будинку”

АВТОР РОБОТИ:

СТ. ГР. КІ2М21-ІПРОДЕУС М.С.

КЕРІВНИК РОБОТИ:

Д.Т.Т. ПРОФ. МАРТИНЮК В.В.

Хмельницький 2023

Актуальність

- ▶ У сучасному світі все більше людей прагнуть до комфортного життя в своєму житлі, що включає в себе не лише зручність та естетичний вигляд, але і оптимальні умови для здорового життя. І можливість повністю керувати такими показниками, як освітлення, температура, вологість, тощо., дозволяють жити вдома з максимальним задоволенням для себе. Саме тому розробка кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку" є актуальною проблемою для нашого часу.

- Метою кваліфікаційної роботи магістра є підвищення ефективності взаємодії елементів системи керування мікроклімату в “Розумному будинку”.
- Об’єктом дослідження є системи керування мікроклімату в будинку.
- Предметом дослідження є модель, метод побудови архітектури вбудованих систем керування мікроклімату “Розумного будинку”.

Отримані наукові результати

- ▶ Метод керування системою мікроклімату “Розумного будинку”, який забезпечує можливість відслідковувати, встановлювати, та корегувати показниками внутрішнього мікроклімату в приміщеннях.
- ▶ Архітектура керування системою мікроклімату “Розумного будинку”, спрямована на можливість користувача встановлювати комфортні значення мікроклімату, через інтерфейс пристрою. А також відслідковувати поточний стан показників.

Отримані практичні результати

- ▶ Кіберфізична система мікроклімату “Розумного будинку”, спрямована на контролювання та відстеження показників мікроклімату в приміщенні, а також підтриманню встановлених параметрів (температури, вологості, освітлення, концентрації CO₂) користувачем.

Задачі дослідження

- ▶ 1. Провести аналіз відомих методів та рішень для створення кіберфізичної системи мікроклімату “Розумного будинку”;
- ▶ 2. Моделювання метода керування кіберфізичною системою мікроклімату “Розумного будинку”;
- ▶ 3. Запропонувати імітаційну модель кіберфізичної системи мікроклімату “Розумного будинку”;
- ▶ 4. На основі запропонованого методу розробити програму забезпечення та окремі ланцюги системи.

Наукова новизна отриманих результатів

- Удосконалено метод побудови архітектури кіберфізичних систем мікроклімату “Розумного будинку”, який на відміну від відомих використовує просту елементну базу та ґрунтується на мінімізації потужності, та оптимізованому використанні пристроїв керування, і який забезпечує високу швидкість обробки показників та введені коректив у мікроклімат;
- Набули подальшого розвитку програмно-технічні засоби керування кіберфізичними системи мікроклімату “Розумного будинку”.

На основі проведених досліджень розроблена архітектура і компоненти програмного забезпечення кіберфізичної системи мікроклімату “Розумного будинку”.

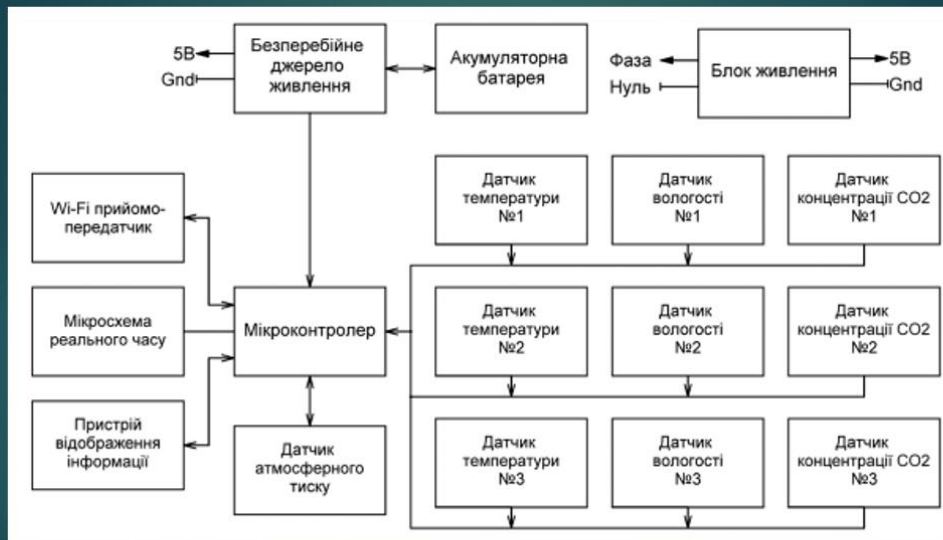
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИХ ДАНИХ

- ▶ Apple запатентувала систему, що вчиться, для “розумного” будинку, яка пристосовується до дій користувача. Ця нова патентована платформа, представлена Згідно з опублікованою інформацією, патент описує спосіб збору даних про використання “розумного” будинку, таких як розклади освітлення, температурні налаштування, керування електронікою тощо. Ці дані обробляються системою, яка вчиться розпізнавати звички та вподобання користувача, а потім застосовує ці знання для автоматичного налаштування системи управління “розумним” будинком.
- ▶ Дизайн “робота-помічника” від LG Electronics викликає асоціацію з “матрьошкою” у плані форми корпусу. Є припущення, що цей робот також буде оснащений сенсорним управлінням. Однак, технічні деталі пристрою не були розкриті, а зображення надають загальне уявлення про його зовнішній вигляд.

МЕТОД КЕРУВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЮ СИСТЕМОЮ МІКРОКЛІМАТУ “РОЗУМНОГО БУДИНКУ”

- ▶ Система "Розумний будинок" використовує комплексний підхід до керування мікрокліматом, заснований на зборі та обробці даних з різних датчиків. Початкові дані, що стосуються температури повітря, вологості, рівня CO₂ та інших параметрів, збираються з встановлених датчиків у приміщенні.
- ▶ Отримані дані передаються до програмного забезпечення системи, де вони аналізуються та обробляються. Застосовуються алгоритми керування, які приймають рішення щодо оптимальних параметрів мікроклімату в будинку. Наприклад, на основі виміряної температури та вологості програмне забезпечення може регулювати роботу систем опалення, кондиціонування повітря, вентиляції та інших компонентів мікроклімату.

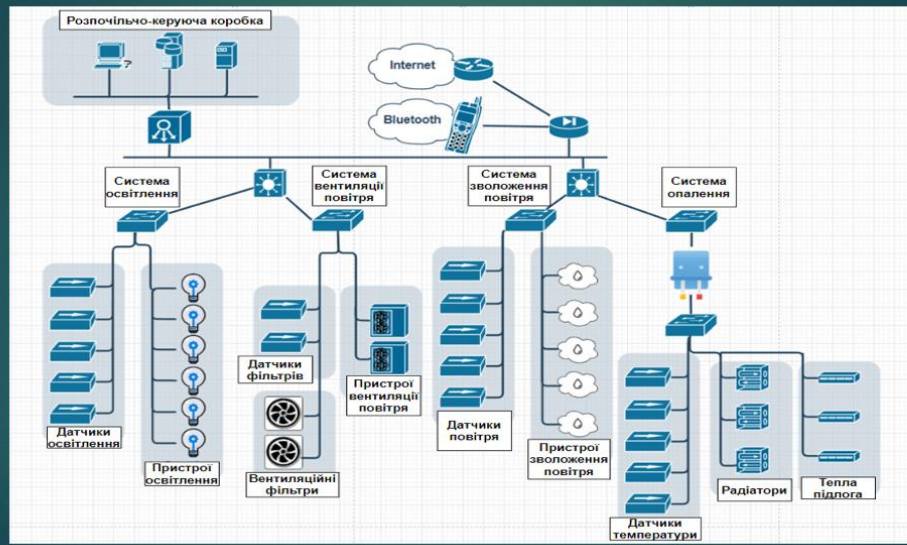
Структурна схема



ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ МІКРОКЛІМАТУ “РОЗУМНОГО БУДИНКУ”

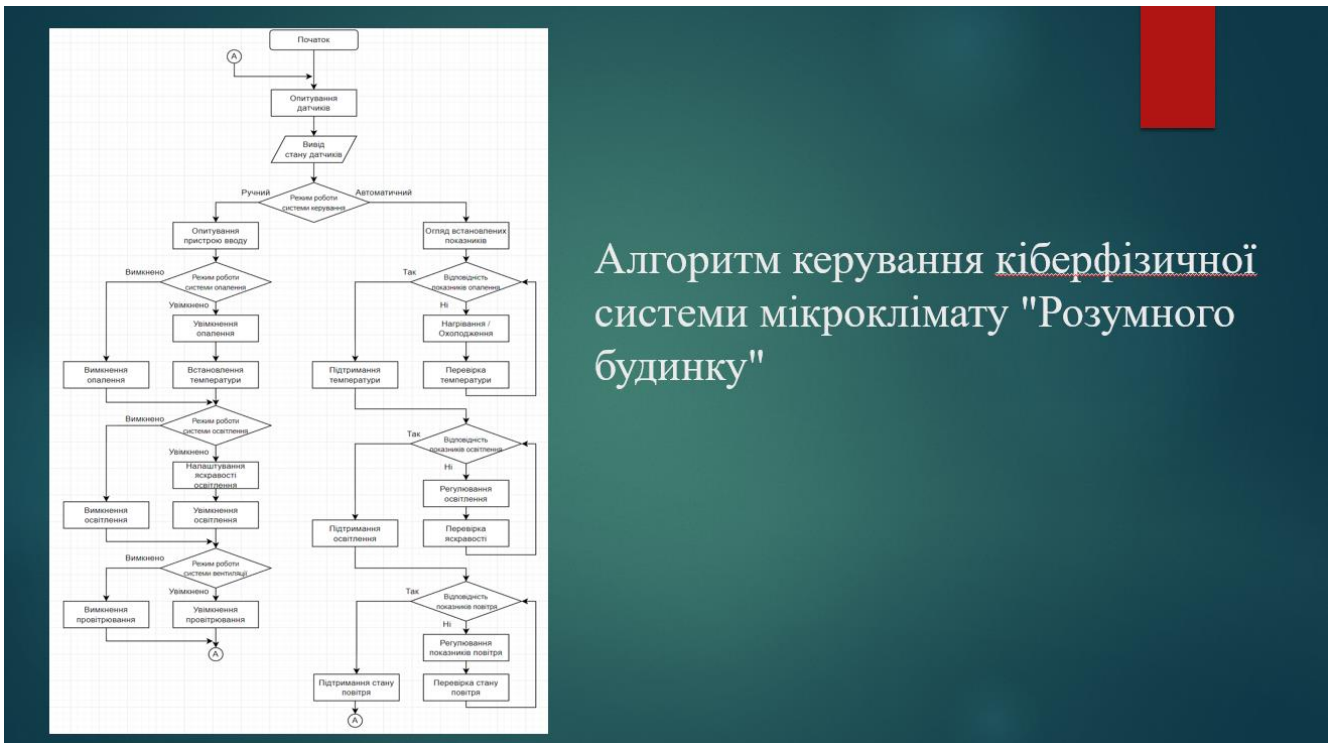
- ▶ Імітаційна модель кіберфізичної системи мікроклімату “Розумного будинку” представляє собою математичну модель, яка відтворює роботу системи мікроклімату в різних умовах і дозволяє проводити дослідження та вдосконалювати її функціональні можливості. Ця модель є важливим інструментом при проектуванні та оптимізації систем мікроклімату, а також при плануванні розкладу робіт і технічного обслуговування.
- ▶ Імітаційна модель кіберфізичної системи мікроклімату “Розумного будинку” включає в себе математичні рівняння та алгоритми керування, які описують фізичні процеси і забезпечують оптимальний режим роботи системи. Ця модель дозволяє досліджувати і симулювати роботу системи мікроклімату, зокрема, її опалення.

Імітаційна модель кіберфізичної системи мікроклімату “Розумного будинку”





Імітаційна модель системи обігріву

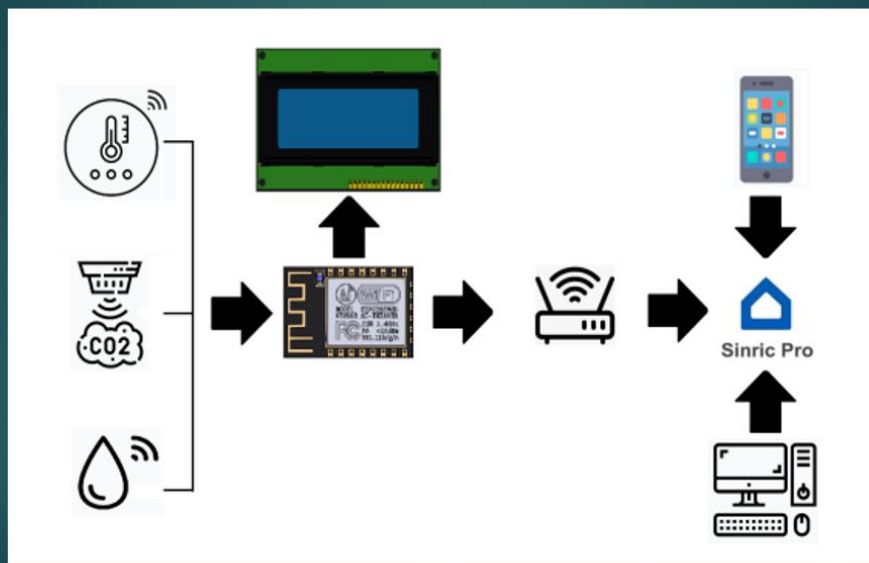


Алгоритм керування кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку"

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ОКРЕМИХ ЛАНЦЮГІВ СИСТЕМИ

- ▶ Управління живленням модуля здійснюється з мінімальною взаємодією з головною системою (хостом), щоб мінімізувати споживання енергії і тривалість активної роботи. Це дозволяє модулю працювати ефективно та економно, забезпечуючи надійну бездротову комунікацію.
- ▶ Архітектура з низьким енергоспоживанням працює в таких режимах:
 - ▶ – активний режим: чіп-радіо увімкнений. Чіп може приймати, передавати або слухати. Споживання може досягати 170 мА;
 - ▶ – режим сну модему: ЦП працює. Wi-Fi і радіо вимкнено, споживання близько 15 мА;
 - ▶ – режим легкого сну: ЦП і всі периферійні пристрої призупинено, споживання близько 0,9 мА;
 - ▶ – режим глибокого сну: працює лише час реального часу, а всі інші частини чіпа вимкнено, споживання близько 20 мкА.

Шлях інформації в системі



1 Інформація про пристрій

Назва пристрою
CO2

Опис
Концентрація CO2 в кімнаті №1

Тип пристрою
Сенсор стану повітря

Ключ додатку
стандартний

Кімната
Кімната №1

Далі

2 Нагадування

Доступні нагадування для

Сигнал

Коли цей девайс
 Підключено
 Відключено

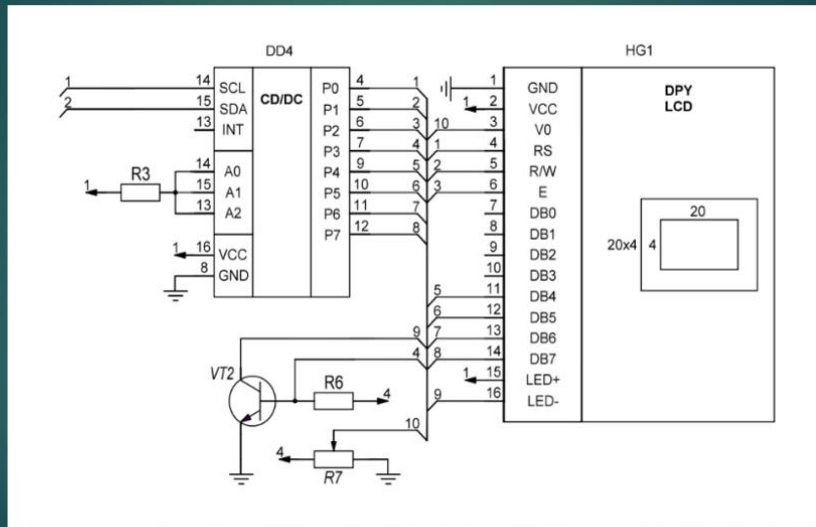
Коли цей девайс
 Вкл.
 Вискл.

Коли стан повітря (PM2.5)
 Встановити показник на 100

Далі

Приклад ініціалізація датчика концентрації CO₂ в додатку SinricPro

Схема підключення LCD2004 до РСF8574Т



Висновок

- ▶ У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень створена модель керування системою мікроклімату “Розумного будинку”.
- ▶ У першому розділі розглянуто існуючі прототипи та їх можливості.
- ▶ У другому розділі був створений метод керування кіберфізичною системою мікроклімату “Розумного будинку”;
- ▶ У третьому розділі запропонована імітаційна модель кіберфізичної системи мікроклімату “Розумного будинку”;
- ▶ У четвертому розділі на основі запропонованого методу розроблена програма забезпечення та окремі ланцюги системи.
- ▶ В майбутньому впровадження результатів роботи можуть дозволити покращити взаємодію елементів зчитування, керування та контролю в кіберфізичних системах
- ▶ За темою дипломної роботи опублікована одна стаття у фаховому виданні „Вісник ХНУ”

Дякую за увагу



Ім'я користувача:
Кафедра КІ

ID перевірки:
1015134158

Дата перевірки:
17.05.2023 19:19:36 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
17.05.2023 19:21:51 EEST

ID користувача:
100005591

Назва документа: Продеус_Кіберфізична система мікроклімату "Розумного будинку"

Кількість сторінок: 108 Кількість слів: 19147 Кількість символів: 151528 Розмір файлу: 4.40 MB ID файлу: 1014815429

11.4% Схожість

Найбільша схожість: 10.6% з Інтернет-джерелом (<https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/90713/1/Rotenbergh>)

10.8% Джерела з Інтернету 70 Сторінка 110

0.72% Джерела з Бібліотеки 65 Сторінка 110

0% Цитат

Не знайдено жодних цитат

Посилання 1 Сторінка 110

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

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

Замінені символи 4

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом **0.0%**

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: **8%**

ID: 113551 Назва: МКР Кіберфізична система мікроклімату "Розумного будинку" Додано в БД: 2023-05-17 Автора: Продеус М.С. Керівники: Мартинюк В.В. Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	134032	1125	857 (1%)	15 (1%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Здобувач: Продеус Максим Сергійович

Тема: Кіберфізична система мікроклімату "Розумного будинку"

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень —; кількість сторінок записки 90

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень У роботі запропоновано метод побудови архітектури кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку"

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню Кваліфікаційна робота магістра відповідає виданому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведено огляд кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку". Досліджено відомі рішення та засоби в цій сфері. У другому розділі запропоновано модель кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку". У третьому розділі запропоновано метод побудови кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку". У четвертому розділі запропоновано реалізацію методу побудови архітектури кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку".

4. Позитивні сторони роботи: Запропонований метод побудови архітектури кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку", на відміну від відомих використовує невелику кількість керуючих елементів та ґрунтується на мінімізації потужності, та оптимізованому використанні пам'яті, і який забезпечує високу швидкодію обробки показників дотчиків. Негативні сторони роботи: В роботі присутні певні логічні помилки щодо опису моделей кіберфізичної системи мікроклімату "Розумного будинку".

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: —

7. Відгук про роботу в цілому: В загальному робота виконана на достатньому рівні.

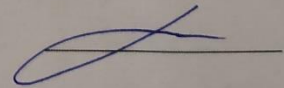
8. Інші зауваження: —

9. Оцінка кваліфікаційної роботи:

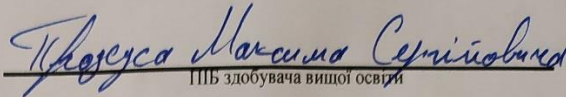
Розглянувши позитивні та негативні сторони представленої кваліфікаційної роботи вважаю, що робота заслуговує оцінки «добре» 4.00 (Е)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Д.Ф.М.Н.
професор, Бєдратюк Л.П., завідувач кафедри

“ 18 травня ” _____ 2023р.



Завідувачу кафедри КПС
д-р.техн.наук, проф. Говорушенко Т. О.


ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курсу, групи КІ2м-21-1

ЗАЯВА

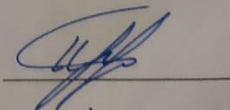
З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіатоповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

18.05.2023

дата



підпис

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Кіберфізична система мікроклімату "Розумного будинку"

Автор: Продеус Максим Сергійович

Спеціальність: 123 – Компютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-наукова

Науковий керівник: Мартинюк Валерій Володимирович, д.т.н, професор

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

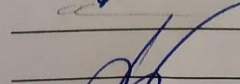
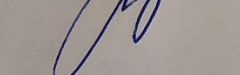
- 1) запозичення розміщені в розділах є збіг зі звітом з науково-дослідної практики автора Продеуса Максима "Кіберфізична система мікроклімату "Розумного будинку"", який було додано в репозитраї ХНУ 21 березня 2023 року;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;
- 4) в якості запозичень в окремих місцях системою зафіксовано послідовності формул та кодів, які є вхідними даними до великої кількості задач і не можуть розглядатися як об'єкт авторських прав і, відповідно, їх порушення;
- 5) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості Unicheck, складає 11.04% і адресується до 70 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 0%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС

V.V. Мартинюк

O. S. Савенко

T. O. Говорущенко