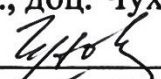


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МЕДИЦИНІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ

УДК 681.5.08

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри
комп'ютерних технологій у
медицині та телекомунікаціях
к.т.н., доц. Чухов В.В.


« 19 » 12 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Дослідження систем дистанційного керування мікрокліматом в приміщенні

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
освітній ступінь «магістр»

Виконавець роботи
студент 2 курсу, гр.ТРМ-22-1

19.12.2023 
(дата, підпис)

Вознюк С.І.

Керівник роботи
к.т.н., доц.


(дата, підпис)

Коренівська О.Л.

Житомир 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МЕДИЦИНІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему: Дослідження система дистанційного керування мікрокліматом в приміщенні

Виконав: студент 2 курсу,

групи ТРМ-22-1 спеціальності

172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Вознюк С.І.

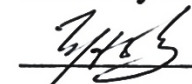
Керівник Коренівська О.Л.

Рецензент Ципоренко В.В.

Житомир
2023

«Затверджено»

Завідувач кафедри комп'ютерних
технологій у медицині та
телекомунікаціях

 Владислав ЧУХОВ
«27» 10 2023 р.

Завдання **на кваліфікаційну магістерську роботу**

Вознюк Сергій Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження системи дистанційного керування мікрокліматом в приміщенні

затверджено наказом по університету від «22» листопада 2023 р. № 679

2. Мета дослідження: визначення методів побудови системи мікрокліматом з використання різних видів компонентів методів передавання даних

3. Вихідні дані: Напруга живлення 3,3 – 5 В, даний пристрій призначений для створення та підтримки умов у певному діапазоні, робоча температура від +10°C до +30 °C, вологість повітря від 30% до 70%.

4. Основні задачі дослідження: Порівняти показники датчиків температури та вологи, для якісного аналізу показників у приміщенні, а також методів передачі інформації між вузлами системи дистанційного керування мікрокліматом.

5. Термін подання роботи до захисту 2 грудня 2023 р.

6. Дата видачі завдання «30» вересня 2023 р.

Науковий керівник


(підпис)

Коренівська О.П.
(прізвище, ініціали)

Завдання прийняв
до виконання


(підпис)

Вознюк С.І.
(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

У дипломному проекті проведено дослідження по підборі датчиків для побудови даної системи та проаналізовано різні типи бездротових систем передачі інформації. При в процесі виконання було проведено дослідження по вимірам датчиків температури та вологи DHT22 та BME280, шляхом отримання показників вимірів та аналіз на їх основі точності та чутливості цих датчиків. Також, в ході було проведено аналіз систем безпроводної передачі інформації та досліджено вплив Bluetooth на якість передачі даних через Wi-Fi.

Метою даного дослідження було отримання певних результатів по виборі методів реалізації даної системи шляхом підбору датчиків та способів передачі інформації.

ANNOTATION

In the diploma project, research was carried out on the selection of sensors for the construction of this system and various types of wireless information transmission systems were analyzed. In the process of implementation, a study was conducted on measurements of temperature and humidity sensors DHT22 and BME280, by obtaining measurement indicators and analyzing the accuracy and sensitivity of these sensors based on them. Also, during the course, an analysis of wireless information transmission systems was carried out and the impact of Bluetooth on the quality of data transmission via Wi-Fi was investigated.

The purpose of this study was to obtain certain results on the choice of methods of implementing this system by selecting sensors and methods of information transmission.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	6
ВСТУП.....	8
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ ЛІТЕРАТУРИ	10
1.1 Класифікація та шляхи реалізації систем клімат-контролю приміщень	10
1.2 Призначення автоматизованої системи контролю параметрів	15
2 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В ПРИМІЩЕННЯХ.....	24
2.1 Структурна схема та алгоритм роботи системи.....	24
2.2 Огляд компонентів для системи керування мікрокліматом в приміщеннях.....	27
2.3 Порівняння показників датчиків DHT22 та BME280	34
2.3.1 Порівняння результатів вимірів температури DHT22 та BME280 .	35
2.3.2 Порівняння результатів вимірів вологості DHT22 та BME280.....	39
2.3.3 Висновки по результатам дослідження.	43
3 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ	45
3.1 Використання технології Wi-Fi	45
3.2 Використання технології BLE	47
3.3 Використання технології LoRa	52
ВИСНОВКИ	57
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	59

РЕФЕРАТ

Робота присвячена розробці системи дистанційного керування мікрокліматом, функція якої полягає у відслідковуванні поточного стану у різного типу приміщень з точки зору мікрокліматичних показників, вибір необхідного режиму роботи, а також керування мікрокліматичними показниками у режимі реального часу.

Дана магістерська робота складається зі вступу, трьох основних розділів, та висновків по виконаній роботі.

В першому розділі було розглянуто напрямки використання даної системи, а також ознайомлено з основними типами різних датчиків та різного роду систем корегування мікрокліматом.

В другому розділі було розглянуто на прикладі системи підтримання мікроклімату з попередньої наукової роботи та проаналізовано принципи побудови та алгоритм роботи цієї системи, досліджено характеристики двох поширених датчиків на точність вимірювання температури і на чутливість їх при зміні умов. А також був зроблений огляд на основні компоненти даної системи.

Третій розділ був присвячений дистанційним мережам передачі інформації, та побудови, на їх основі методів побудови системи мікроклімату. Було досліджено та проаналізовано вплив однієї системи на іншу та аналіз методів застосування кожної з цих мереж у системі побудови мікроклімату.

Після виконання роботи було сформовано висновки, опираючись на результати досліджень.

Науковою новизною даного дослідження є можливість впровадити дану систему за допомогою безпроводних методів, з використанням поширених та перспективних технологій передавання інформації. Також дане дослідження акцентує уваги на вадливості даній системі та є поштовхом до швидкого впровадження в різних галузях та напрямках людської діяльності.

Практичним значенням одержаних результатів є дослідження основних компонентів для вимірювання показників та аналіз результатів задля спрощення побудови даної системи, а також аналіз можливих методів побудови системи з використання різних бездротових мережевих технологій.

В кінці було вказано на посилання, з яких бралася інформація для проведення наукової роботи.

Ключові слова: дистанційне керування мікрокліматом, DHT22, BME280, бездротові мережі передачі інформації, WiFi, BLE, LoRa.

ВСТУП

Актуальність теми: В різні періоди року, з'являється необхідність у дотриманні тих чи інших умов проживання, праці, експлуатації приладів, та вирощування рослин, тощо. При зміні пір року змінюються й кліматичні умови, які в свою чергу впливають на умови в приміщеннях. Через це виникає необхідність для створення стабільних умов, для нормального перебування людини.

Для цього винайшли безліч способів опалення охолодження повітря. Почали провітрювати приміщення, а також, щоб уникнути розповсюдження різних організмів, контролювати рівень вологості. Більшість приладів не можуть працювати без людського втручання, тому для цього постійно потрібно витрачати велику кількість часу. Одна в епоху інформаційних технологій дану роботу може швидко та ефективно виконувати комп'ютер, що звільняє досить велику кількість часу.

Для того, щоб автоматизувати керування кліматом, необхідно об'єднати всі прилади в одну систему. Для цього необхідно використати сучасні розробки, а саме мікроконтролери, що кожного року стають все актуальніші. За допомогою їх система може визначати показники та швидко реагувати на їх зміну. А також є необхідність налаштування системи передачі інформації за допомогою бездротових мережевих технологій, для передачі та здійснення керування всіма вузлами даної системи, та можливості передавати ці дані незалежно від місця перебування користувачів даної системи.

Дана система може включати в себе безліч різних параметрів, які необхідно контролювати вологість, температура, рівень CO₂ тощо. Це дає можливість забезпечити максимально комфортні в будь-якому приміщенні витрачаючи на все мінімум часу.

Мета роботи дослідити основні компоненти для вимірів показників, та порівняння отриманих результатів з таких датчиків, як DHT22 та BME280. А

також огляд існуючих бездротових мереж для комунікації між вузлами та користувачами системи. Порівняння впливу деяких мереж на роботу інших, та аналіз методів застосування даних мережевих технологій.

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ ЛІТЕРАТУРИ

Для забезпечення комфортних умов, в приміщеннях, таких як офісі, будинку, начальних аудиторіях, підприємствах тощо, необхідно змінити певні параметри повітря. Серед них основними є такі, як температура, вологість, хімічний склад та освітленість, концентрація аероіонів. Щоб вирішити дано задачу, необхідно створити систему, що в режимі реального часу буде знімати ці показники, та підтримувати їх в межах норми. Така система необхідна для забезпечення здорового стану людей, тварин, рослин, створення умов, для нормальної роботи техніки та зберігання продукції.

Швидка та ефективна реакція корегування температури, вологості, а також провітрювання приміщення, для зменшення кількості CO₂ та покращення якості повітрі, дозволить не лише якісно будувати умови в приміщення, але й заощадить час на корегування показників та кошти за надмірне використання ресурсів. Це забезпечить більшу продуктивність при виконання роботи, дозволить збільшити термін експлуатації певних приладів, та забезпечить краще зберігання продуктів харчування та меблів в приміщенні, а також, це сприяє швидкому одужання пацієнтів у лікарнях.

1.1 Класифікація та шляхи реалізації систем клімат-контролю приміщень

Системи мікроклімату виконують одну основну задачу – підтримку показників приміщення в нормі, однак, залежно від задачі, значення цих показників може різнитися. Тому можна виділити таку основну класифікацію клімат-контролю: в складських приміщеннях, для забезпечення умов зберігання продукції, що збільшує термін придатності продуктів; в агросфері, для збільшення кількості урожаю та покращення якості продовольчих продуктів; а також в соціумі, для забезпечення комфортних умов праці та створення сприятливих умов, що запобігають виникненню різних захворювань.

Вентиляція складів і складських приміщень: За для забезпечення необхідних кліматичних умов, у складських приміщеннях використовують вентиляцію складу. Всі показники мають відповідати технологічним вимогам та забезпечувати зберігання матеріалів і товарів на складі. Враховуючи великі розміри таких приміщень температура повітря і його вологість повинні максимально рівномірно розподілитися по всій території складу, не створюючи особливо сильних перепадів.

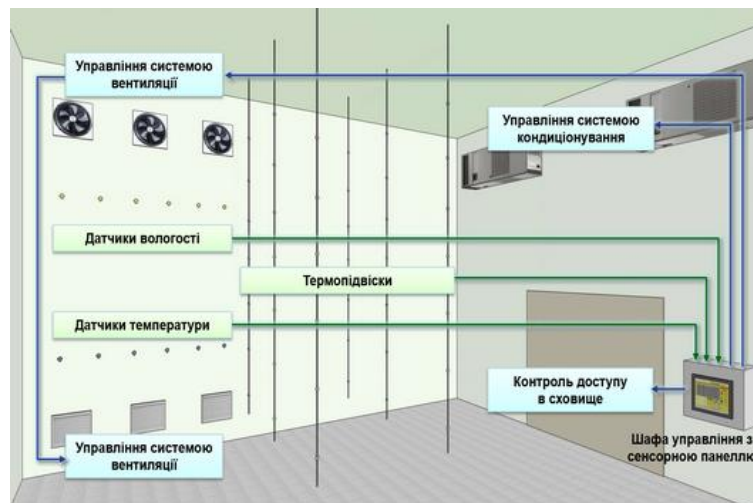


Рисунок 1.1 – Системи термометрії складів

Забезпечення умов у складських приміщеннях ускладняється різноманітним обладнанням, що там знаходиться. Це можуть бути різного роду стелажі чи полиці, на яких зберігаються різні види товарів, або ж навантажувачі чи крани, що забезпечують переміщення цих товарів в середині складських приміщень. Розглядаючи вимоги зберігання продукції, можна виділити такі категорії організації складських приміщень, а саме: захист від атмосферних опадів (зберігання товарів в не утеплених складських приміщеннях або просто під навісом); зберігання продукції на складах, з системою опалення або охолодження, для захисту продукції низьких або високих температур і від різкого їх перепаду.

Щоб забезпечити необхідні умови зберігання в складах та складських приміщеннях використовують найрізноманітніше обладнання: вентилятори та

вентиляційні установки, повітророзподільні пристрої, шумозаглушувачі, повітряні фільтри, нагрівачі та інше вентиляційне обладнання. Для руху повітряних мас по всій площі складу найчастіше використовують радіальні або осьові вентилятори. В свою чергу радіальні вентилятори низького тиску є найоптимальнішим рішенням, для більшості з складських приміщень. Ефективність всієї системи вентиляції складу в чималому ступені залежить не тільки від якості використовуваного в системі електроустаткування, а й від розумно підібраних пристроїв розподілення повітря таких як: вентиляційні решітки, сопла, плафони, насадки з форсунками, щілинні пристрої та інших вентиляційних аксесуарів.

Не менш важливим є можливість регулювати клімату в освітніх та медичних закладах (університет, лікарня, школа), приватному секторі (будинки, квартири) та комерційних (офіс, заклади харчування, розважальні центри та підприємства). Це є необхідною умовою, для забезпечення комфортного перебування людини, за-для поліпшення здоров'я та одужання, продуктивності під час виконання різного роду навантаження та розслаблення під час відпочинку. Тож, в даному випадку також є необхідність в таких системах, що дозволять швидко та ефективно покращити умови перебування людей в такому середовищі.

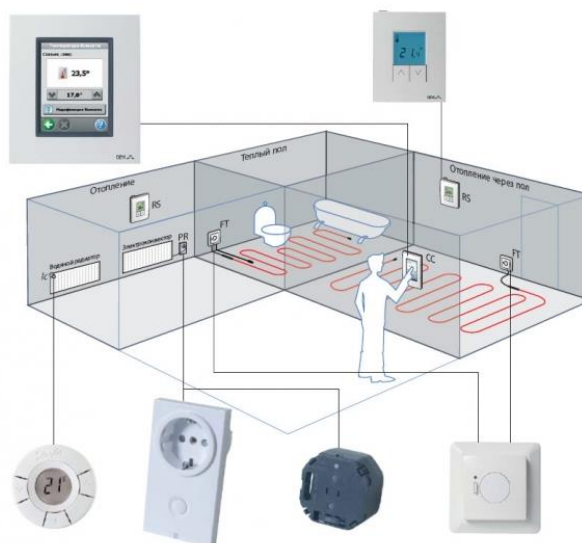


Рисунок 1.2 – Системи мікроклімату в будинку

Існує міждержавний стандарт ГОСТ 30494-2011, що встановлює будівельні вимоги до мікроклімату громадських і житлових будівель. Цей ГОСТ визначає мікроклімат приміщення як «стан внутрішнього середовища приміщення, що надає вплив на людину». Внутрішнє середовище – це, здебільшого, повітря всередині приміщення. Недарма для підтримки мікроклімату приміщень необхідно регулювати в основному температурою, вологістю і рухливістю повітря.

Є безліч різних параметрів, що формують необхідні умови в середині приміщення, та так чи інакше, впливають на наше перебування в ньому. Серед них основними є:

- Температура повітря;
- Вологість повітря;
- Чистота повітря;
- Свіжість повітря.

Всі ці параметри мікроклімату в приміщеннях можна не тільки вимірювати, але і регулювати за допомогою кліматичної техніки.

Для комфортного перебування людини в середині приміщення необхідно тримати показники температури в межах 22-25 °С. У холодну пору року ці показники становлять: 20-23 °С для житлових кімнат, 24-26 °С для ванної, 23-24 °С для дитячих і близько 20 °С для всіх інших приміщень.

В автономних системах клімат-контролю враховуються дані з датчиків температури. Якщо температура нижче комфортної, то ввімкнеться обігрівач. А якщо батареї, навпаки, топлять занадто сильно, то система автоматично відкорегує температуру за допомогою терморегулятора. Терморегулятор, завдяки якому температуру в кімнаті можна істотно знизити. У літню пору при високій температурі ввімкнеться кондиціонером. До речі, кондиціонер з функцією обігріву замінить обігрівач взимку.

Вологість повітря при цьому має складати в межах від 40 до 60%. При перевищенні цих показників в приміщенні буде розвиватися різного роду

пліснява техніка буде частіше виходити з ладу, а деякі матеріали будуть піддаватися корозії. Низька вологість, в свою чергу негативно впливають на самопочутті та сприяє появі симптомів, як сухість в горлі, очах. Шкіра теж може пересохнути і загрубілість – в першу чергу, це стосується шкіри обличчя і рук. Для вимірювання вологості теж існує спеціальний датчик, що передає показники в до системи, що реагує та вмикає певні прилади. При низькій вологості вмикається зволожувач, а високій відбувається ввімкнеться осушувач повітря.

Також, не менш важливу роль відіграє рівень вуглекислого газу в повітрі, що вимірюється в одиницях ppm. Існують певні розбіжності щодо стандартів цих показників. Так ГОСТ «Параметри мікроклімату» вважає прийнятним рівнем 800 – 1 400 ppm, а лікарі рекомендують підтримувати близько 800 ppm. На цій позначці більшість людей відчують себе комфортно. З ростом рівня CO₂ з'являється відчуття задухи, млявість, втома, знижується концентрація і працездатність. Для визначення CO₂ необхідно використати спеціальні датчики, що надсилає дані системі, яка в свою чергу реагує на зміну цих показників, та при високому рівні CO₂ починає провітрювати приміщення. Даний показник відіграє важливу роль для офісі та освітніх закладів, адже там перебуває велика кількість людей, що в свою чергу швидко збільшує вміст вуглекислого газу, даний показник повинен враховуватися при побудові систем клімат-контролю, адже відсутність таких систем, може негативно вплинути на самопочуття та ефективність працівників офісу та освітніх закладів, а також на здобувачів освіти.

Ще однією важливою сферою, що потребує впровадження автоматичної системи регулювання мікроклімату є аграрний сектор. Створення необхідних умов дозволяє не лише вирощувати різні культури у різних кліматичних умовах, але й покращити показники для місцевих рослин, що в рази підвищує ефективність використання земельних ділянок. До прикладу використання систем автоматичного поливу дозволить вирощувати врожай навіть в

посушливі роки, а побудова теплиць з автономними системами регулювання клімату дозволить створити більш сприятливі умови, для вирощування певних видів продукції, та менше залежати від зовнішніх факторів, та дозволить збільшити врожаю.



Рисунок 1.3 – Системи мікроклімату в теплицях

Для побудови таких систем, необхідно використовувати датчики, для зчитування інтенсивність освітлення, та при нестачі природнього світла, можна використовувати освітлювальну систему. Не менш важливим показником, при побудові теплиці є температура, вологість та атмосферний склад повітряного середовища. Тому для підтримки цих параметрів необхідно врахувати при побудові різні засоби, для обігріву та зволоження, а також провітрювання та система вентиляції, для охолодження теплиці та позбавлення зайвої вологи. Також важливу роль відіграє датчики вологості ґрунту та системи авто-поливу.

1.2 Призначення автоматизованої системи контролю параметрів

З розвитком цифрових технологій і механізмів, що здатні зчитувати і автоматизувати багато аспектів людської діяльності, стало можливим виникнення систем, таких, як розумний будинок. І разом з тим, стало можливо керувати й корегувати клімат в приміщеннях без будь якої участі людини, тим самим економлячи нам час, дозволити покращити умови проживання. В

кожного проекту є свій власний підхід, та власний підбір методів реалізації, як програмної, так і апаратної частини. Проте основна функція даної системи залишилась такою: відслідковування показів датчиків, встановлювати межі показань їх цих та керування приладами на основі вихідних даних, для досягнення тих чи інших умов.

Щоб це було можливим, в цій системі має бути передбачена можливість керувати приладами, для корегування тих чи інших показників. З основних можна виділити вентиляційну систему, та систему опалення, так як це основні механізми контролю клімату в приміщенні. Для керування вентиляційною камерою автоматизована система контролю повинна змінювати параметри роботи окремих елементів вентиляційної камери за-для керування загальними мікрокліматичними умовами в приміщенні.

Окрім приладів, для підтримання параметрів повітря система повинна бути обладнана і відповідними датчиками, для контролю показань. Ця система повинна виконувати такі задачі:

- моніторинг температури в приміщенні в режимі реального часу;
- зміна температури в приміщенні за заданим алгоритмом;
- моніторинг рівня вологості в режимі реального часу;
- зміна рівня вологості;
- можливість керувати параметрами мікроклімату віддалено;
- можливість керувати параметрами мікроклімату вручну;
- наявність запрограмованих режимів зміни мікроклімату в залежності від вимог до умов зберігання.

Щоб для того, щоб була можливість регулювати показники середовища, необхідно використовувати різного роду датчики, що є чутливими до зміни необхідних параметрів, таких як температура, вологість, чи рівень CO₂. Задля полегшення обробки цих даних, їх необхідно перевести з аналогової в цифрову форму.

Розрізняють різні типи датчиків в залежності від типу термочутливого елементу:

- термопари;
- терморезистори;
- лінійні аналогові перетворювачі;
- цифрові датчики температури;
- інфрачервоні датчики температури.

З усіх перерахованих вище датчиків, кожен має певні недоліки та переваги, що урізноманітнює їх методи застосування. Саме через це, при проектуванні даної системи, необхідно враховувати такі особливості температурних датчиків, як: компактність, діапазон виміру температури та похибка вимірів температур.

Також не менш важливим є підбір обігрівальних систем. Є різні різновиди таких систем, які також різняться своїми перевагами та недоліками. Тож підбираючи обладнання, для при проектуванні необхідно правильно їх підібрати. І не лише для регулювання певних показників, але щоб цей елемент не суттєво впливав на інші параметри, до прикладу не осушував повітря, якщо в приміщенні й так не висока вологість.

Є такі типи нагрівальних приладів:

- конвектори;
- керамічні;
- інфрачервоні;
- тепловентилятори;
- масляні.

Тож розглянемо декілька варіантів. Першим йде конвертом, функція якого передбачає нагрівання металевої поверхні, що спричиняє підвищення температури повітря в приміщенні. Він дещо схожий на масляний радіатор за принципом роботи. Єдине, чим вони різняться є те, що масляний використовує

відповідно масляну рідину нагрівання, а в конвертор для нагрівання використовують тєни. Це має як переваги, так і недоліки.

Головною перевагою конвертора є те що він швидко нагрівається. Проте це також є його недоліком, адже він так само швидко й охолоджується. Якщо потрібно швидко змінити показники температури, то його використання є доволі ефективним, однак він не затримує температуру на довго. Для цього типу обладнання можна виділити основні плюси:

- не впливають на вологість повітря в кімнаті, як тепловентилятори;
- не вимагають монтажу;
- доступна ціна.

Конвекційний нагрівач має і пару недоліків:

- кімнатах з стелями вище 2,75 м прогрівають нерівномірно (гаряче повітря йде вгору);
- не дуже економно споживають електроенергію.



Рисунок 1.4 – Конвертор

Якщо є необхідність довше затримувати тепло і підтримувати більш стабільні показники температури, то в нагоді стане керамічний обігрівач. З а принципом роботи вони є повною протилежністю тепловентиляторів та конверторам, адже навпаки, досить довго охолоджуються, що робить їх одними з найкращих., однак, разом з тим, вони також і довше нагріваються, тому їх

краще використовувати для підтримки температури, аніж для швидкого нагрівання.



Рисунок 1.5 – Керамічні обігрівачі

Інфрачервоний (кварцовий) електрообігрівач подає тепло за допомогою нагрівальної спіралі, укладеної в скляну вакуумну оболонку. Їх особливістю є те, що вони випромінюють електромагнітні хвилі, що відбиваються від дзеркальних пластин і гріють не повітря, різні тверді поверхні, в тому числі і людей, що знаходяться в приміщенні. Тому для отримання тепла не потрібно багато часу, як з іншими обігрівачами, які спершу повинні розігріти повітря, однак, вони споживають велику кількість енергії, тому їх краще використовувати доти тих пір, поки не прогріється повітря, наприклад за допомогою більш дешевших економніших керамічних обігрівачів.



Рисунок 1.6 – Інфрачервоні обігрівачі

Наступним важливим параметром повітряного середовища приміщення є вологість. Щоб отримати дані про ці показники, використовуються різні методи їх обробки. Є п'ять найбільш популярних видів датчиків вологи в повітрі. А саме:

- ємнісні;
- оптичні;
- резистивні;
- електронні;
- термісторного.

З найпростіших видів ємнісних датчиків є повітряний конденсатор. В таких конденсаторах діелектриком виступає повітряне середовище. Тож при зміні вологості повітря змінюються і його властивості, і діелектрична проникність не є виключенням. Тому при зміні показників ємності таких конденсаторів можна зробити деякі висновки і щодо вологості.

В більш складніших датчиках використовується вже не повітря між пластинами, а спеціальний діелектрик, чутливий до зміни вологості. Завдяки такій конструкції, він здатен також вимірювати вологість твердих предметів, наприклад ґрунту.

Серед переваг ємнісних датчиків можна виділити:

- простота пристрою;
- низька вартість;
- надійність роботи.

Недоліками, в свою чергу, є.

- мала точність при вимірі, коли значення наближається до нижнього порогу;
- залежність показань від чистоти середовища (дрібні пилоподібні частки в газі істотно впливають на діелектричну проникність);
- необхідність в електроживленні датчика.

Далі можна відзначити резистивний датчик вологості. Такі датчики працюють вдоволь широкому діапазоні і працюють стабільно при тривалому використанні. Завдяки своїм компактним розмірам їх можна використовувати на складах, для контролю якості повітря в приміщенні, в індустріальних контрольних системах, в медичних приладах і т.п. Також з переваг можна відзначити низьку енергозатратність, високу стабільність.

Резистивні датчики вологості використовують іони солей для вимірювання електричного опору. Із зміною вологості повітря змінюється опір електродів по обидва боки сольового середовища. Резистивний датчик вологості міряє відносну вологість, вимірюючи зміну опору відносно зміни вологості навколишнього середовища. Більшість резистивних датчиків вологості є електролітичними, полімерними або датчиками з оксиду металів.

Надалі в роботі буде порівняння двох датчиків, що працюють за цим методом: DHT22 – що є одночасно і датчиком вологості і датчиком температури, та bme280 – який до того ж всього, ще може вимірювати атмосферний тиск, тобто ж такою компактною метеостанцією в домашніх умовах.

Для забезпечення нормальної вологості, використовують такі прилади, як зволожувач та осушувач повітря. Як можна помітити з їх назви, перший призначений для зволоження повітря, а другий для осушення.

Сучасні зволожувачі повітря досить прості у використанні і діляться на три групи:

- традиційні зволожувачі повітря (механічні, їх ще називають холодними);
- ультразвукові зволожувачі повітря;
- парові зволожувачі повітря.

З усіх видів зволожувачів, можна виділити ультразвуковий. Завдяки своїй конструкції такий вид є працює досить безшумно у порівнянні з іншими, і в нього є можливість регулювати рівень вологості. Він працює за рахунок

створення ультразвукових коливань, де спеціальна мембрана «перетворює» воду в холодний пар, завдяки високій частоті утворених хвиль коливань. Серед мінусів такі зволожувачі потребують більш ретельного догляду. Тому, для їх ефективного застосування необхідно, або використовувати дистильовану воду, або спеціальний картридж зі змінним наповнювачем, для пом'якшення води. При використанні картриджу, його необхідно регулярно замінювати. Даний зволожувач може працювати і без цього, однак, в такому випадку, всі домішки, що були у воді також потрапляють в повітря та з часом осідають на речах.

Якщо ж функція зволожувача полягає у збільшенні вологості повітря, то у випадку, коли цей показник є зависоким, знадобиться інший пристрій, а саме осушувач. Дані прилади здатні зменшувати рівень вологи в повітрі, тим самим запобігаючи виникненню певних видів грибків та зменшенню корозії та псування речей у приміщенні.

Робота компресорної техніки схожа з функціонуванням кондиціонера та холодильника. Прилад оснащений холодоагентом, випарником та конденсатором. Він втягує повітряні маси, проводить їх через випарник, де повітря охолоджується до температури точки роси, волога конденсується та виводиться у спеціальну вбудовану ємність або назовні (у більш об'ємний бак або каналізацію). Після цього вентилятор відправляє осушені потоки до конденсатора, що їх трохи підігріває (на 1-2 °C), та повертає у приміщення.

Переваги даного виду обладнання:

- невисока ціна для техніки з такою продуктивністю;
- високий клас енергоефективності;
- тиха робота;
- компактні габарити та незначна вага.

До недоліків компресорного осушувача можна віднести те, що прилад не полюбляє температурні перепади, ефективний лише при позитивних температурах повітря (15-30 °C), здатний знизити вологість максимум до 40%.

Також не менш важливим є показник рівню CO₂ в повітрі. Цю функцію виконую датчик газу. Цей датчик працює за рахунок хімічної реакції нагрівання елемента зі шкідливими газами повітряного простору приміщення. Завдяки цьому, спеціальне покриття починає змінювати свою провідність відповідно до концентрації газів, що зумовлює виявлення та приблизну оцінку стану якості повітря в приміщенні.



Рисунок 1.7 – Датчик газу MQ-135

Стосовно самої системи можна відзначити те, що вона повинна також мати можливість не лише підтримувати показники в межах норми, але й передавати ці дані користувачу. Існує декілька варіантів передавання та обробки інформації, та способів їх моніторингу. Наприклад для цього можна створити власний WEB-сайт, та використовувати саму плату, як сервер для обробки та збирання інформації, і в подальшому передачі її відповідно користувачу. А також є можливість використати вже наявні безкоштовні сервіси, такі як Telegram. Дана мережа має таку можливість створювати чат-ботів,. Чат-бот — це програма штучного інтелекту, яка імітує інтерактивну розмову людини з IoT речами за допомогою ключових, заздалегідь розрахованих текстових сигналів. При цьому користувачу достатньо мати під рукою будь-який пристрій з встановленим застосунком, який також є у вільному доступі.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В ПРИМІЩЕННЯХ

2.1 Структурна схема та алгоритм роботи системи

При дослідженні даної системи, необхідно звернути увагу на певні алгоритми її роботи, так за основу, буде взято алгоритм розробленого мною макету. Макет взятий для прикладу розгляду основних функцій, проте в різних системах схема може різнитися відповідно до методів її застосування на практиці.

Розглядаючи структурну схему даного пристрою (рис. 2.1) варто відзначити, що там є лише один мікроконтролер, до якого під'єднані різні датчики. Звісно, цей варіант може забезпечити підтримку мікроклімату в одній окремій кімнаті, проте при наявності декількох таких кімнат вже виникають складнощі. Перша складність полягає в реалізації, адже в такому випадку потрібно по-перше, створювати зайві мережеві комунікації, для живлення та приймання даних з наявних датчиків. До того ж в даній платі є обмежена кількість пінів, також ускладнює реалізацію цієї систем.

Проте, існує рішення, що дозволить легше впровадити дану систему в експлуатацію. І цим рішенням є різні бездротові технології, їх видита характеристики буде розглянуто в наступному розділі. Так нам достатньо взяти декілька мікроконтролерів, та створити систему, що забезпечить передачу інформації від кінцевих вузлів, до основного, який в свою чергу зможе забезпечити обробку та передачу користувачу, та отримує від нього команди, передаючи їх на плати.

Проте, повернемося до структурної схеми на рис. 2.1. Як можна помітити, вона складається не з одного а декількох датчиків одного типу. Звісно якщо саме приміщення є невеликим за площею, достатньо використовувати лише один датчик, як у випадку з спальнею чи кухнею. Та, якщо говорити про складські, офісні приміщення, зали та аудиторії, то у зв'язку з їх великою площею,

можливо нерівномірне обігрівання, або охолодження. Теж саме стосується вологості та якості повітря.

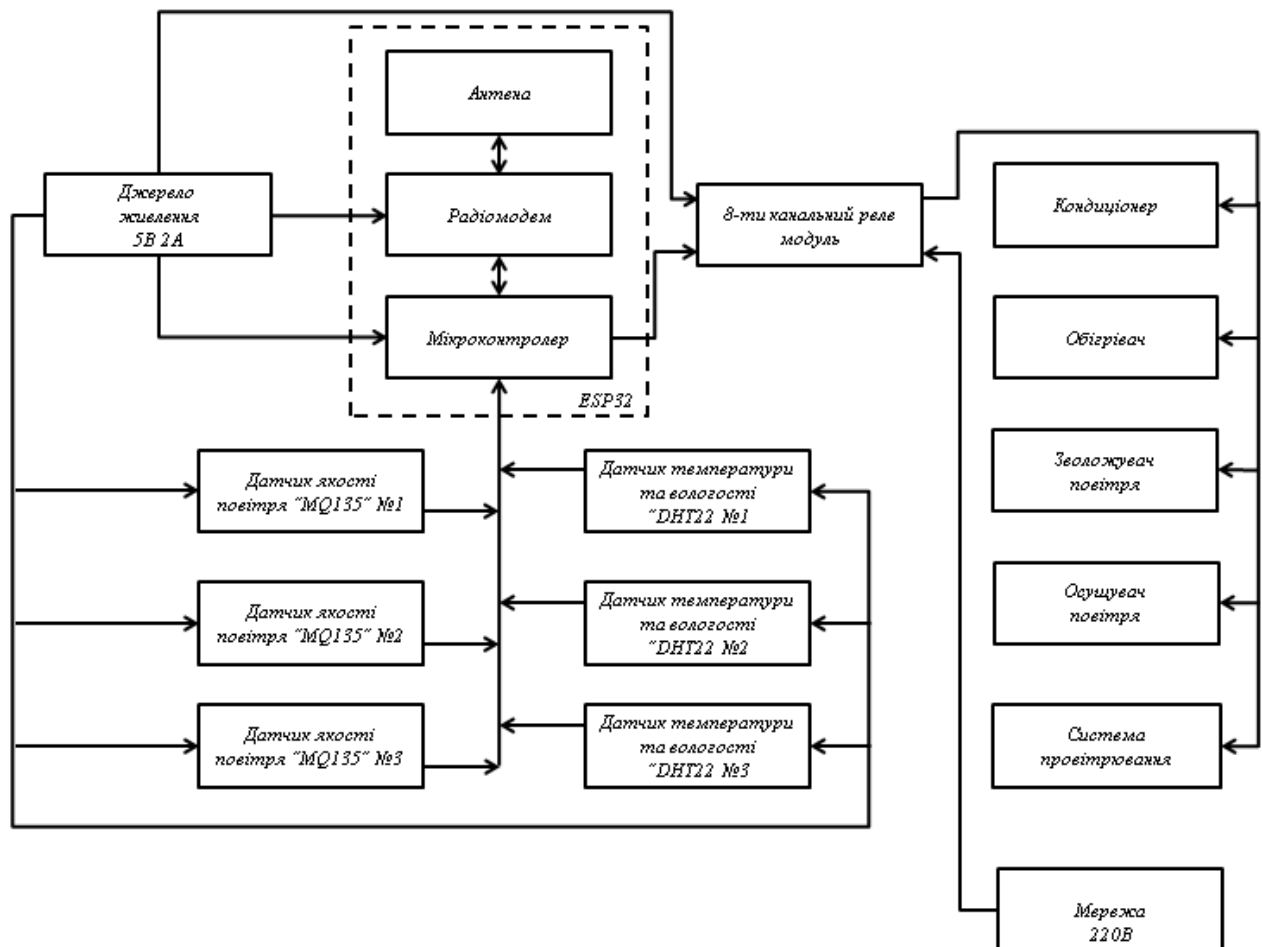


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи дистанційного контролю мікроклімату в навчальних аудиторіях

Що стосується приладів регулювання параметрів повітря, то для їх керування теж необхідно достатня кількість керуючих пінів, так як на підтримання одного показника, наприклад температуру, необхідно відразу два різні прилади, щоб збільшувати і зменшувати даний параметр.

Далі розглянемо алгоритм роботи даної системи (рис. 2.2). Для того, щоб була можливість керувати нею з будь якого місця в будь-який час, необхідно з'єднання з інтернет мережею. Це можна здійснити як через мережевий кабель, так і за допомогою Wi-Fi. У випадку останнім, то для цього не потрібно буде

витрачатися на зайвий патч-корд, а достатньо ввести назву та пароль, для отримання доступу.

Коли ж дана система під'єднується до мережі, вона відразу починає зчитувати показники датчиків. У випадку, якщо деякі показники перевищують норму, вона починає на це реагувати, вмикаючи необхідний пристрій. Також ця система сповіщає про перевищення певних показників, користувачів. Це потрібно для того, щоб за потреби, можна було виявити певні проблеми, що потребують участі людини, та усунути їх.

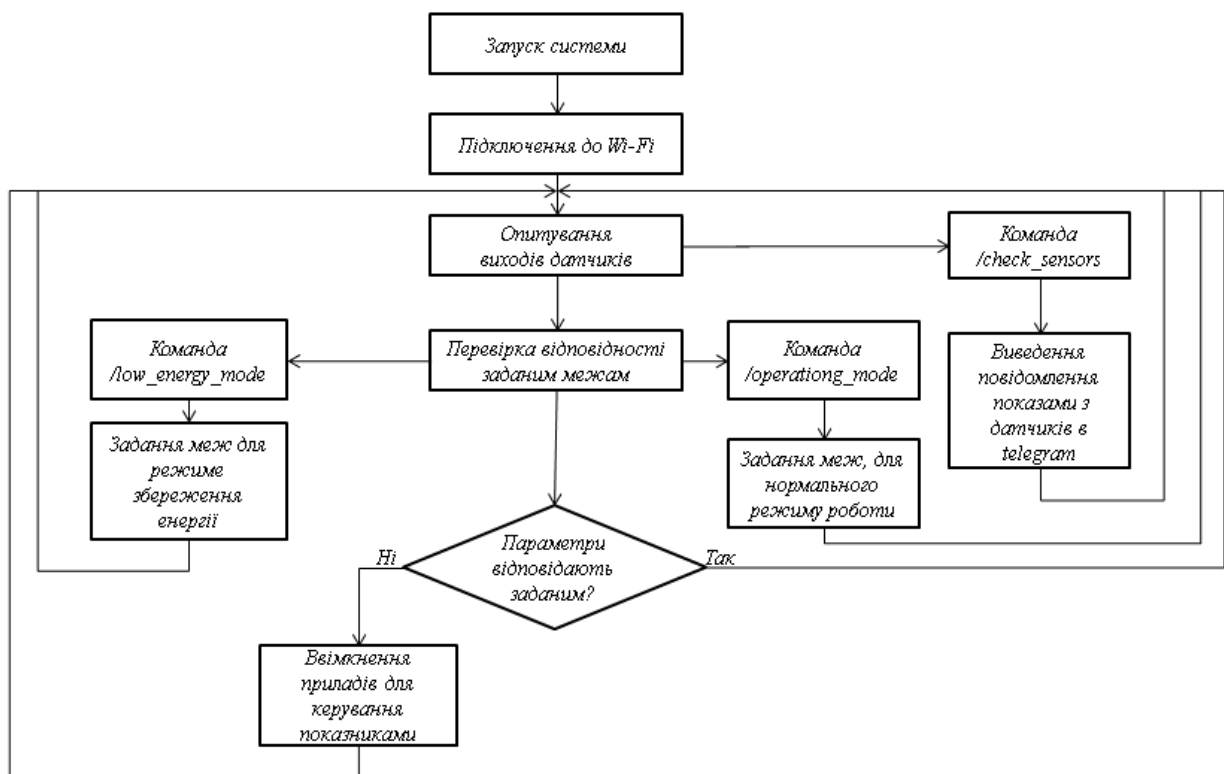


Рисунок 2.2 – Система дистанційного контролю мікроклімату в навчальних аудиторіях. Алгоритм роботи

Ще, при розробці даної системи, можна передбачити різні режими роботи, як це видно на алгоритмі. Також за допомогою різних команд можна слідкувати за показниками, або ж вмикати чи вимикати систему.

2.2 Огляд компонентів для системи керування мікрокліматом в приміщеннях

Якщо поглянути на систему з попереднього пункту, то можна підмітити, що основним її компонентом є мікроконтролер. Його функцією є мозок самої систем. Саме він здійснює керування тому є обов'язковим компонентом не лише системи мікроклімату, а багатьох сучасних автоматизованих приладів. Саме на підборі цього компоненту необхідно зацентувати увагу, адже їх кількість є досить великою і кожен з них краще підходить для своєї задачі.

Якщо розглянути різні види мікроконтролерів, зі здатністю передавати дані бездротовим методом, то можна виділити ESP32. Цей мікроконтролер при свої невеликі габарити, є досить компактним і простим в застосуванні. А головне, для нашого випадку, є можливість передавати дані, як за допомогою Bluetooth, так і за допомогою Wi-Fi, без зовнішніх модулів. До того ж його ціна є не високою, тому в нашому випадку ще є один з найкращих варіантів.

Також варто згадати й іншу плату ESP2866, адже вона так само має вбудований модуль Wi-Fi, і є дещо дешевшою за попередню, однак в неї відсутній модуль Bluetooth. Однак, існують випадки, де доцільніше було б застосування саме цієї плати.

ESP32 (рис. 2.3) — це серія мікроконтролерів типу «система на кристалі», що, як вже було відмічено, мають інтегровані контролери Wi-Fi і Bluetooth, низьке енергоспоживання і невисоку ціну. У серії ESP32 використовується мікропроцесор Tensilica Xtensa LX6 в двоядерних та одноядерних варіаціях та включає вбудовані антенні перемикачі, радіочастотний балун, підсилювач потужності, приймач з низьким рівнем шумів, фільтри та модулі керування живленням. Він є наступником мікроконтролера ESP8266.

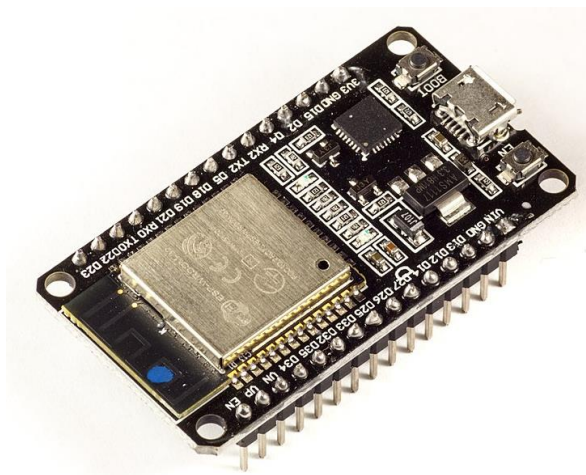


Рисунок 2.3 – Плата ESP32

Основною сферою застосування ESP32 є різного виду мобільні пристрої, електроніка, та інтернету речей (IoT). Він має всі характеристики, що відповідають сучасним платам даного типу, включаючи дрібнозернистий тактовий строб, кілька режимів живлення і динамічне масштабування потужності. Наприклад, у сценарії застосування концентратора датчика IoT з низьким енергоспоживанням ESP32 періодично підвищуватися лише при виявленні певної умови. Для того, щоб мінімізувати кількість енергії, яку витрачає чіп, використовують низький робочий цикл. Вихід підсилювача потужності також регулюється, тим самим сприяючи оптимальний компроміс між дальністю зв'язку, швидкістю передачі даних і споживанням енергії.

ESP32 високоінтегроване рішення для додатків Wi-Fi та Bluetooth IoT, яке містить близько 20 зовнішніх компоненти. ESP32 інтегрує антенний перемикач, РЧ-балун, підсилювач потужності, малошумний підсилювач прийому, фільтри і модулі керування живленням. Таким чином, все рішення займає мінімум друкованої плати (рис. 2.4).

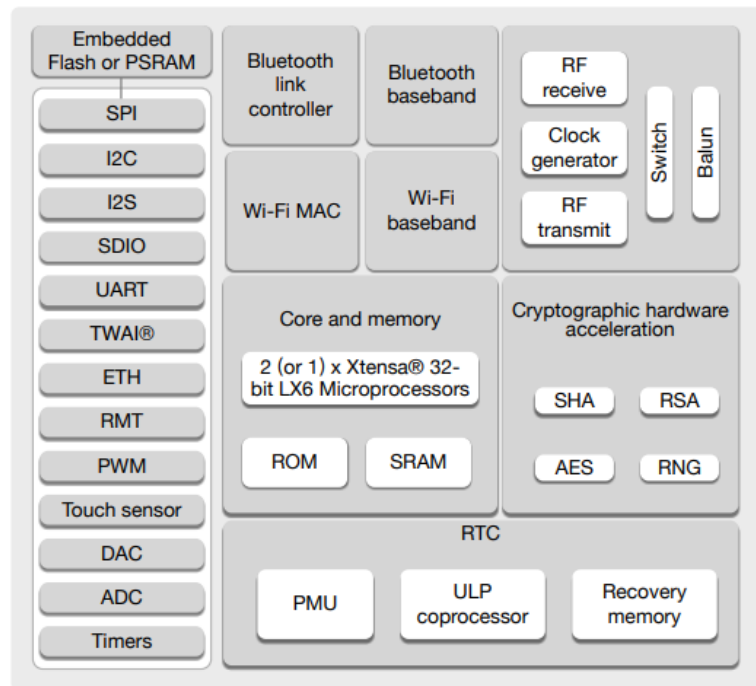


Рисунок 2.4 – Функціональна блок-схема ESP32

В даній платі використовується CMOS для однокристальної повністю інтегрованої радіостанції та основної смуги, а також відбувається інтегрування передових калібрувальних схем, які дозволяють усунути недоліки зовнішньої схеми або налаштувати на зміни зовнішні умови. Тому масове виробництво ESP32 не вимагає дорогого і спеціалізоване обладнання для тестування Wi-Fi.

ESP8266 (рис. 2.5) – мікроконтролер китайського виробника Espressif, що містить інтерфейсом Wi-Fi. Окрім цього, в нього є можливість виконувати програми з зовнішньої флеш-пам'яті з інтерфейсом SPI.

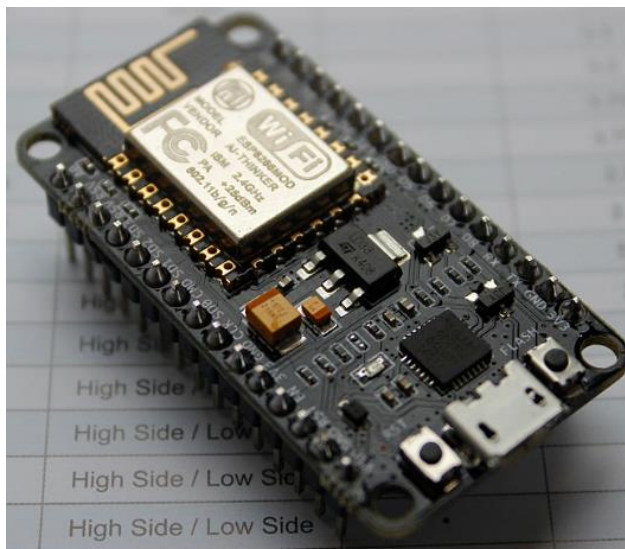


Рисунок 2.5 – Плата ESP8266

ESP8266 пропонує повне і автономне мережеве рішення Wi-Fi, що дозволяє розмістити програму або перевантажити всі функції Wi-Fi з іншого процесора програми.

Це економічно ефективний, простий в експлуатації, компактний і малопотужний модуль Wi-Fi, розроблений Espressif Systems, підтримує як TCP / IP, так і послідовний протокол.

ESP8266 має такі особливості:

- Процесор заснований на Tensilica Xtensa Diamond Standard 106Micro і працює на частоті 80 МГц.
- Він включає в себе 64 KiB завантажувальний ROM, 80 KiB даних оперативної пам'яті і 32 KiB оперативної пам'яті.
- Він підтримує Wi-Fi 802.11 b/g/n близько 2,4 ГГц та інші функції, включаючи 16 GPIO, міжінтеграційну схему (I²C), послідовний периферійний інтерфейс (SPI), 10-бітний ADC та інтерфейси I²S з DMA.
- Зовнішня флеш-пам'ять QSPI доступна через SPI і підтримує до 16 Мб, а 512 KiB до 4 MiB спочатку включена в модуль.
- Це великий розвиток з точки зору бездротового зв'язку з невеликими схемами. і містить бортовий регулятор, який допомагає забезпечити постійну потужність 3.3V дощці.

– Він підтримує APSD, що робить його ідеальним вибором для VoIP-додатків та інтерфейсів Bluetooth.

Датчик DHT22 є одним з варіантів, для виміру температури та вологості в системі. Він є подібним на DHT11 та складається з двох частин, датчика ємнісної потужності і термістор, також з базовою інтегральною схемою аналого-цифрового перетворювача.

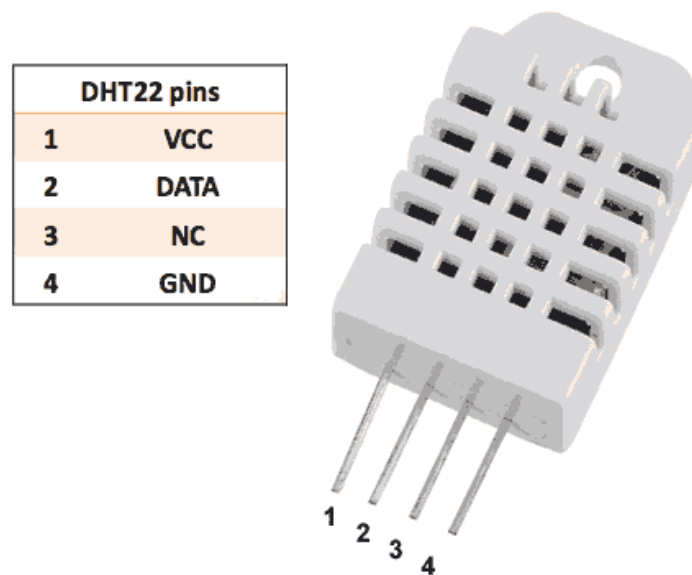


Рисунок 2.6 – Датчик DHT22

Хоча ці два датчики схожі фізично та мають однакову ідентифікацію штифта, їх характеристики дещо різняться:

DHT11:

- Блок живлення від 3,3В до 5В постійного струму;
- Максимальний струм 2,5 мА під час перетворення;
- Показання вологості з точністю +/- 5%;
- Показання температури з точністю +/- 2°C;
- Можливість вимірювання вологості від 20% до 80%;
- Можливість вимірювання температури від 0 до 50°C;
- Частота дискретизації не більше 1 Гц (один раз на секунду);
- Розміри: 15,5 мм x 12 мм x 5,5 мм.

DHT 22:

- Блок живлення від 3,3В до 5В постійного струму;
- Максимальний струм 2,5 мА під час перетворення;
- Показання вологості з точністю від +/- 2% до 5%;
- Показання температури з точністю +/- 0,5°C;
- Можливість вимірювання вологості від 0% до 100%;
- Можливість вимірювання температури від -40°C до 125°C;
- Частота дискретизації не більше 0,5 Гц (раз кожні дві секунди);
- Розміри: 15,1 мм x 25 мм x 7,7 мм.

Для того, щоб ці два датчики нормально працювали, до однієї з ніг необхідно підтянути резистор. Якщо заглибитися в фізичну реалізацію цього гігрометра, він належить до так званих резистивних датчиків. Вони складаються з двох електродів, поверх яких нанесена речовина з малим опором, який відчутно змінюється при найменшій зміні вологості. Для того, щоб зчитати цей опір, потрібно подати сигнал датчику про початок передачі інформації. Для цього на 18 мс до 0, а потім назад до 1. Через 20–40 мкс датчик повинен повідомити, що готовий передавати дані. Це досягається притягненням логічного рівня до 0 на 80 мкс, а потім назад до 1. Для того, щоб на піні постійно був високий рівень напруги — потрібен підтяжний резистор. Дані (а саме опір на електродах) записуються на невеликий блок пам'яті в самому датчику і передаються побітово у вигляді імпульсів.

BME280 є комбінованим цифровим датчиком вологості, тиску та температури. Він є дуже компактним та має розміри з площею всього $2,5 \times 2,5$ мм² і висотою 0,93 мм. Він має такі основні технічні характеристики:

- Напруга живлення: 1.8-5 В;
- Показання вологості з точністю +/- 3%;
- Показання температури з точністю від +/- 0.5 до 1 градусу °C;
- Можливість вимірювання вологості від 0% до 100%;
- Можливість вимірювання температури від -40 до 85°C;

- Можливість вимірювання тиску у діапазоні від 300 до 1100 гПа, що є від +9000 до -500 метрів над рівнем моря;
- Показання тиску з точністю 1 гПа;
- Інтерфейси: I2C (до 3.4 МГц, SDO LOW 0x76, SDO HIGH 0x77).

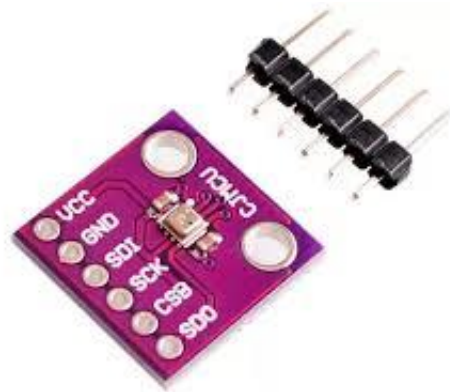


Рисунок 2.7 – Датчик DHT22

Даний модуль має два інтерфейси I2C та SPI. Для того, щоб підключити I2C, потрібно SDA(SDI) та SCL(SDK) у відповідні піни на платі (Для ESP32 це GPIO 22 і GPIO 21 відповідно). За замовчуванням адрес плати стоїть 0x76, однак, за необхідності є можливість змінити його на 0x77. Модуль SPI інтерфейс є трішки швидшим, однак займає більшу кількість пінів. Так для підключення SPI необхідно SCK, MOSI(SDI), MISO(SDO) та CS на піни мікросхеми (Для ESP32 це GPIO 18, GPIO 23, GPIO 19 і GPIO 5(або інший) відповідно).

Також для визначення параметрів якості повітря можна використати датчик MQ135

Датчик складається з мікро AL₂O₃ керамічної трубки, чутливого шару двоокису олова (SnO₂), вимірювального електрода та нагрівача, закріплених у кінці, виготовлених із пластику. і сітка з нержавіючої сталі. Обігрівач забезпечує необхідні умови для роботи чутливих компонентів. Огорнений MQ-135 має 6 контактів, 4 з яких використовуються для отримання сигналів, а інші 2 використовуються для забезпечення струму нагрівання.

Однак в процесі експлуатації, даний датчик не завжди показував коректний результат, тому замість нього можна використати більш дорогий варіант MHZ-19. Основними його характеристиками є:

- Вимірюваний газ: CO₂
- Робоча напруга: від 3.6 до 5.5 В
- Напруга логічних рівнів: 3,3
- Середній споживаний струм: <18 мА
- Рівень логічних сигналів: 3.3 В
- Вимірюваний діапазон: від 0 до 0.5%
- Вихідні сигнали: UART, PWM
- Час розігріву: 3 хвилини
- Час вимірювання: T₉₀ <60 s
- Робоча температура: від 0 до 50°
- Робоча вологість: від 0 до 95% RH
- Розміри: 33 мм × 20 мм × 9 мм
- Вага: 21 грам
- Показання вимірів CO₂: від 0 до 2000 ppm;
- Показання вимірів CO₂ з точністю: ± 50ppm+5%;

Звісно, даний датчик повинен розігрітися 3 хвилини, проте він має високу точність та його робочий діапазон відповідає вимогам даної системи.

2.3 Порівняння показників датчиків DHT22 та BME280

В процесі виконання даної роботи, мною було проведено порівняння двох датчиків, які вимірюють температуру та вологість повітря. Ці два показники повітря є основними, адже саме вони найбільше впливають, як людей, тварин чи рослин, що мешкають, або тимчасово перебувають у даному приміщенні, так і на техніку, меблі та інші речі, що перебувають в середині. При певних показниках температури та вологості, в приміщенні можуть розвиватися небажані бактерії, або грибки, також це може спричинити швидке псування

речей та продуктів харчування. А також, якщо повітря надто сухе, можливі певні проблеми зі шкірою чи органами дихання, а людям, що мають проблеми з дихальними шляхами, так як вологість зменшує зумовлює осідання різних дрібних часточок, таких, як пил або пилок рослин і тому вони не потрапляють до органів дихання.

В процесі дослідження було порівняно, відрізняються показники цих двох датчиків, та як швидко вони відреагують на зміну температури та вологості повітря. Для цього було штучно змінено показники вологості та температури та проаналізовано виміри цих двох датчиків.

2.3.1 Порівняння результатів вимірів температури DHT22 та BME280

При проведенні цього дослідження було порівняно результати датчиків при стабільних умовах та при умовах різкої зміни температури, крок виміру по часу становить 2 секунди, всього вимірів було здійснено 10. Ввесь час вимірювання складав 18 с. Результати вимірювань було занесено до таблиці 2.1:

Датчики мають такі температурні характеристики:

DHT22

- Показання температури з точністю $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$;
- Можливість вимірювання температури від -40°C до 125°C .

BME280

- Показання температури з точністю від ± 0.5 до 1 градусу $^{\circ}\text{C}$;
- Можливість вимірювання температури від -40 до 85°C

За дійсну температуру вважатимемо значення, зняті з спиртового кімнатного термометра.(рис.2.8)



Рисунок 2.8 – Температура на спиртовому термометрі

Таблиця 2.1 – Дослідження вимірів температури датчиків DHT22 та BME280 за стабільних

Дослідження температури за стабільних умов	DHT22		BME280	Дійсна температура
Час вимірів, с	Температура, °C	Різниця температур, °C	Температура, °C	Температура, °C
2	19,2	0,1	19,1	19,6
4	19,2	0,1	19,1	19,6
6	19,2	0,2	19	19,6
8	19,2	0,2	19	19,6
10	19,2	0,2	19	19,6
12	19,2	0,2	19	19,6
14	19,2	0,1	19,1	19,6
16	19,2	0,1	19,1	19,6
18	19,2	0,2	19	19,6
20	19,2	0,2	19	19,6

За даними цієї таблиці (Табл. 2.1), побудуємо графік залежності температури від часу (Рис. 2.9).

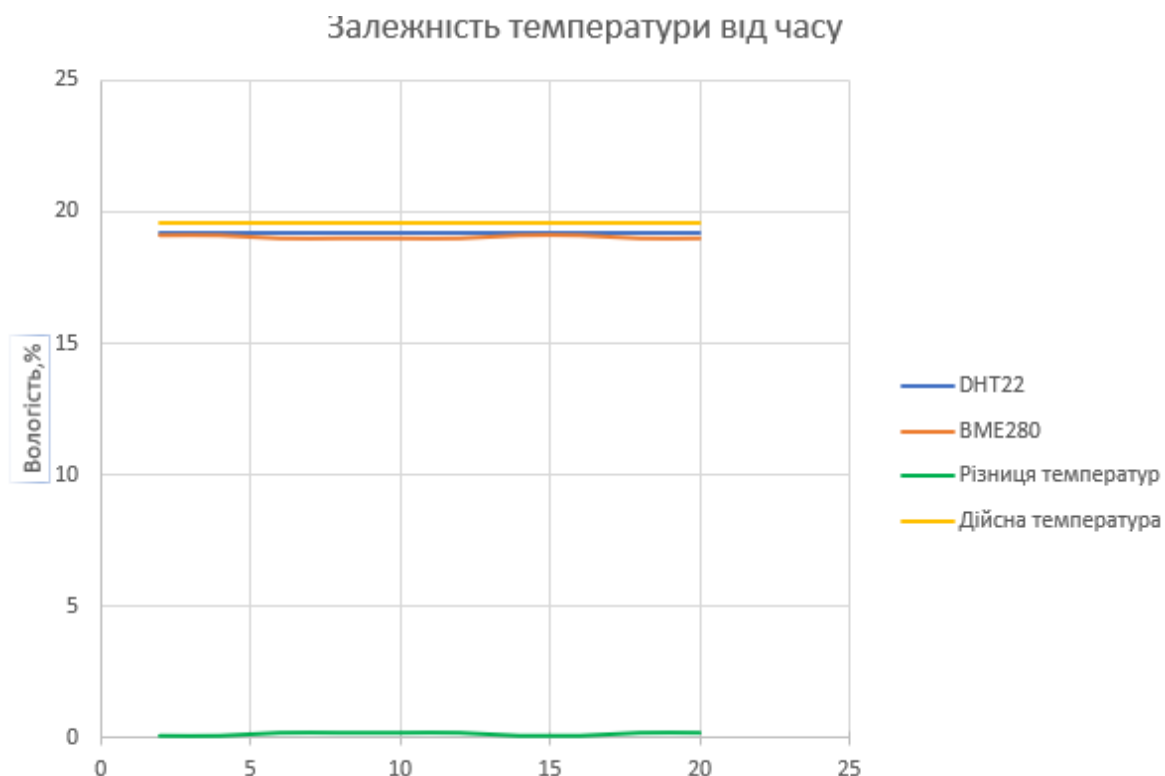


Рисунок 2.9 – Графік температур при стабільних умовах

Переглядаючи результати вимірів цієї таблиці, можна помітити, що обидва датчики працюють досить стабільно. За весь час вимірів температура на датчиках DHT22, BME280 залишалася майже незмінною протягом всього часу вимірювань. На графіку видно (Рис. 2.9), що обидва параметри за час дослідження не змінилися. Різниця між двома графіками становить приблизно 0,2 °C. При цьому, температура DHT22 лише на 0,4 °C відрізняється від дійсної, а BME280 на 0,6 °C. Це відповідає точності датчиків, за даними в їх характеристиках. Тому за цими даними можна стверджувати, що обидва датчики цілком підходять для даної системи.

Розглянемо чутливість цих датчиків. Для цього дещо змінимо температуру. Крок так само залишатиметься 2 секунди, проте зміниться кількість вимірів до 25. Дані занесемо до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Дослідження вимірів температури датчиків DHT22 та BME280 при зміні умов

Дослідження температури при зміні умов	DHT22		BME280
	Температура, °C	Різниця температур, °C	Температура, °C
2	19,7	1,5	21,2
4	19,8	2,3	22,1
6	19,8	2,6	22,4
8	19,8	1,9	21,7
10	19,8	1,7	21,5
12	19,8	1,6	21,4
14	19,8	1,3	21,1
16	19,8	1,2	21
18	19,7	1,1	20,8
20	19,7	1	20,7
22	19,7	0,9	20,6
24	19,7	0,8	20,5
26	19,7	0,8	20,5
28	19,7	0,7	20,4
30	19,7	0,6	20,3
32	19,7	0,5	20,2
34	19,6	0,5	20,1
36	19,6	0,5	20,1
38	19,6	0,5	20,1
40	19,6	0,4	20
42	19,6	0,4	20
44	19,6	0,4	20
46	19,5	0,5	20
48	19,5	0,5	20
50	19,5	0,4	19,9

За даними цієї таблиці (Табл. 2.2), побудуємо графік залежності температури від часу (Рис. 2.10).

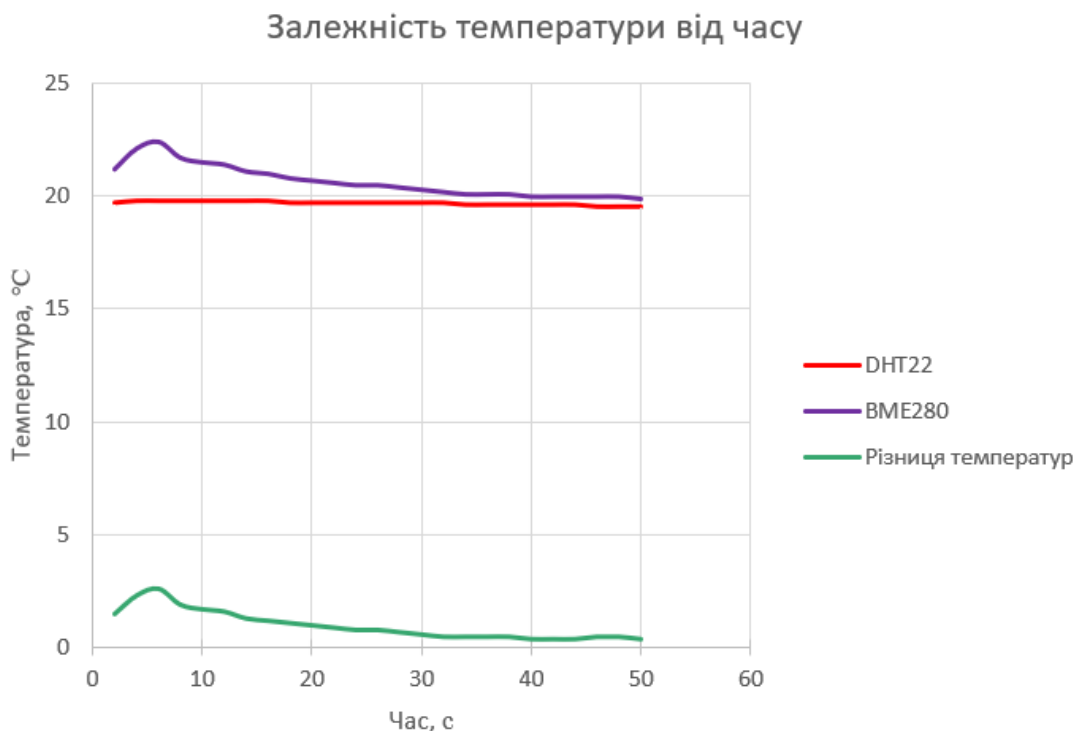


Рисунок 2.10 – Графік температур при зміні умов

Тож, згідно з результатами вимірів, можна помітити, що датчик BME280 фіксує зміни значно швидше за DHT22. Як бачимо, за однаковий час показники DHT22 змінювалися дуже повільно, тоді як BME280, дуже швидко відреагував як на підвищення температури, так і на спад.

2.3.2 Порівняння результатів вимірів вологості DHT22 та BME280

Як і в попередньому випадку, проводячи це дослідження було порівняно результати датчиків при стабільних умовах та при умовах різкої зміни, крок виміру по часу становить 2 секунди, всього вимірів було здійснено 10. Ввесь час вимірювання складав 18 с. Результати вимірювань було занесено до таблиці 2.3:

Датчики мають такі температурні характеристики:

DHT22

- Показання вологості з точністю від +/- 2% до 5%;
- Можливість вимірювання вологості від 0% до 100%;

BME280

- Показання вологості з точністю +/- 3%;
- Можливість вимірювання вологості від 0% до 100%;

Таблиця 2.3 – Дослідження вимірів вологості датчиків DHT22 та BME280 за стабільних умов

Дослідження вологості за стабільних умов	DHT22		BME280
	Вологість, %	Різниця вологості, %	Вологість, %
Час вимірів, с			
2	32,7	2,3	35
4	32,4	1,9	34,3
6	32	1,9	33,9
8	31,8	1,9	33,7
10	31,5	2	33,5
12	31,3	2,1	33,4
14	31,1	2,1	33,2
16	30,9	2,2	33,1
18	30,7	2,3	33
20	30,6	2,4	33

За даними цієї таблиці (Табл. 2.3), побудуємо графік залежності вологості від часу (Рис. 2.10).

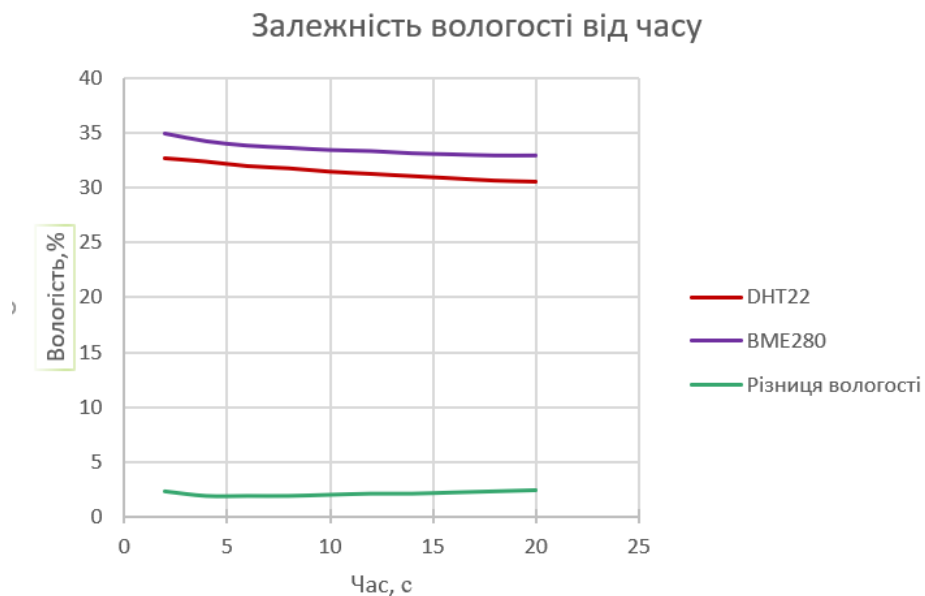


Рисунок 2.10 – Графік вологості при стабільних умовах

При аналізі результатів вимірювання, можна вважати, що датчики показували досить стабільні дані. За весь час вимірів температура на датчиках DHT22, BME280 лише трішки змінили свої показники. На графіку видно (Рис. 2.8), що обидва параметри за час дослідження зазнали ледь помітних змін, так як вологість є менш стабільним показником. Різниця між двома графіками становить 2,11 %. Це відповідає точності датчиків, за даними в їх характеристиках. Тому за цими даними можна стверджувати, що обидва датчики цілком підходять для даної системи.

Розглянемо чутливість цих датчиків. Для цього дещо змінимо температуру. Крок так само залишатиметься 2 секунди, проте зміниться кількість вимірів до 25. Дані занесемо до таблиці 2.2.

Таблиця 2.4 – Дослідження вимірів вологості датчиків DHT22 та BME280 при зміні умов

Дослідження вологості при зміні умов	DHT22		BME280
	Вологість, %	Різниця вологості, %	Вологість, %
Час вимірів, с			
2	99,9	33,5	66,4
4	99,9	31,3	68,6
6	99,9	30,5	69,4
8	99,9	31,6	68,3
10	99,9	32	67,9
12	96,7	29	67,7
14	91,3	25,1	66,2
16	79	15,4	63,6
18	72,6	10,8	61,8
20	67,9	7,1	60,8
22	64	5	59
24	60,2	2,5	57,7
26	57,5	0,8	56,7
28	54,8	0,2	55
30	52,8	1,3	54,1
32	50,7	1	51,7

34	48,3	1,9	50,2
36	46,2	2,7	48,9
38	44,5	3,4	47,9
40	43	4	47
42	41,8	4,4	46,2
44	40,6	4,7	45,3
46	39,5	4,9	44,4
48	38,6	6,8	45,4
50	39,10	6,4	45,5

За даними цієї таблиці (Табл. 2.4), побудуємо графік залежності температури від часу (Рис. 2.11).

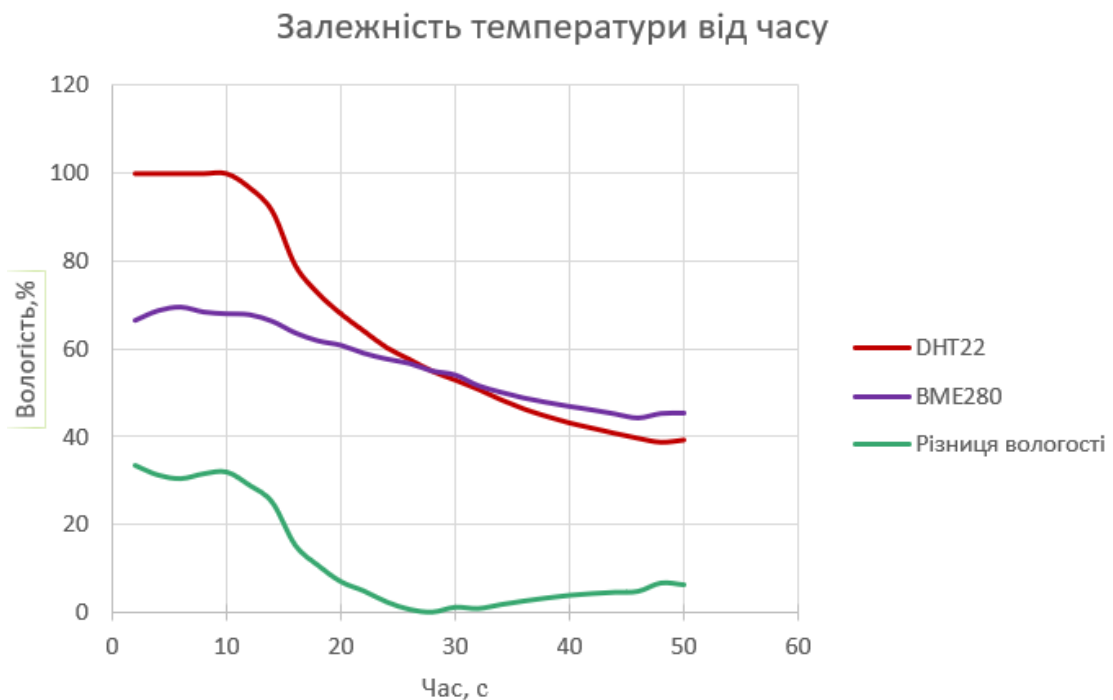


Рисунок 2.11 – Графік температур при зміні умов

Тож, згідно з результатами вимірів, бачимо зворотну ситуацію, де DHT22 відразу ж відреагував на зміну вологості на відміну від BME280. За однаковий час показники DHT22 змінювалися дуже швидко, тоді як BME280, не дійшов до максимальної вологості, та навіть при різкому зменшенні поступався DHT22.

2.3.3 Висновки по результатам дослідження.

Результати дослідження показали, що кожен з цих двох датчиків, можна використовувати при розробці систем мікроклімату. По результатам обидва датчики виявилися достатньо точним, а у випадку з DHT22, то цей датчик при всьому має досить низьку ціну.

При дослідженні температури, точність датчика BME280 не сильно відрізнялися від DHT22 проте він виявився більш чутливим, що дає йому деяку перевагу. Це важливо тому, що якщо датчик швидше реагуватиме на зміни показників, то система швидше ввімкне та вимкне прилади, для підтримки температури, тому час роботи приладів зменшиться, що забезпечить кращу енергоефективність. Причиною, чому DHT22 повільніше реагує на зміну температури може слугувати корпус датчика, адже при збільшенні температури, спершу йому потрібно нагрітися, а вже потім датчик може зчитати показники температури.

Звісно, BME280 в плані температури, є досить хорошим датчиком, проте, для вимірів температури значно вигідніше придбати датчик DS18B20, який є в рази дешевшим і досить компактним, до того ж він має такі ж самі характеристики вимірів температури. Звісно, якщо є необхідність у вимірі атмосферного тиску, то придбати все в одному модуль є кращим варіантом, проте, якщо це не потрібно, то ліпше взяти більш дешевший аналог. Та й у випадку з BME280 є проблеми з підключенням декількох датчиків, бо по-перше, для його підключення необхідно як мінімум два піни, якщо говорити про I2C, до того ж він має лише дві адреси для ідентифікації 0x76 та 0x77, а у випадку з SPI він займає ж 4 піни, на відміну від DS18B20, який займає лише один і їх можна підключити декілька.

Що ж стосується вологості, то в цьому випадку кращим виявився DHT22, адже він, в цьому випадку швидше змінював виміри при зміні умов. Звісно, можна помітити, що в один момент BME280 почав відразу знижувати

показники вологи, як тільки вона почала зменшуватися, однак DHT22 робив це швидше. Причиною такої реакції міг бути знову корпус DHT22, який на певний час затримав вологу в собі. Шукаючи аналоги цьому датчику, я наткнувся лише на HR31, проте з ним є деякі труднощі, так як він живиться від змінного струму.

3 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕРЕЖЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Обираючи метод передавання інформації, першим, що приходить на думку, це мережа Wi-Fi. І не дивно, адже за останній час вона набрала значної популярності. Завдяки цьому можна передавати інформацію через інтернет та зчитувати її в будь-якому місці. Проте вона також має свої недоліки, так як якість зв'язку погіршується від кількості абонентів. Якщо ж до неї під'єднується велика кількість абонентів і через неї проходять великі об'єми інформації, то вони можуть просто завантажити весь трафік і інформація від плати буде надходити з деякими затримками. Звісно, якщо плата одна, то це ще не ж проблемою, але якщо в нас є декілька плат, які передають один одному інформацію, то вже можуть виникати деякі труднощі.

Звісно, можна кожен з них підключити через мережевий кабель, проте по перше, це складно реалізувати, по друге, це дорого, і по третє, це додаткові піни на мікроконтролері. Однак, можна підключити лише одну плату через патч-корд, а для інших використати бездротову передачу інформації.

Серед існуючих варіантів можна використати Bluetooth Low Energy (BLE), який є вбудованим інтерфейсом, для ESP32. Дана технологія є доволі енергоефективною, проте має невеликий радіус дії, тому згодиться для побудови в квартирі чи невеликому будинку. Якщо ж потрібно передавати дані на великі відстані, то в даному випадку можна використати технологію LoRa, яка має значно більший радіус дії, та також є досить енергоефективною. Тож розглянемо деякі можливі варіанти передачі даних, та їх основні характеристик і поглянемо і порівняємо, який варіант буде кращим для тоо чи іншого випадку.

3.1 Використання технології Wi-Fi

Даний метод є найпростішим, адже ця технологія є надзвичайно поширеною, тому введення системи клімат контролю на основі цієї технології

не с стане надто складною задачею. Тим паче снують мікроконтролери з вбудованим модулем Wi-Fi.

Дана мережа працює на радіодіапазонах 2,4 гігагерца (120 мм) UHF і 5 гігагерц (60 мм) SHF. Та належить до бездротової інтернет мережі, а отже підтримує стек протоколів моделі OSI. Тому, як і кожен вузол, мережеві пристрої, що використовують цей метод передачі інформації, використовують, як фізичний MAC-адрес пристрою, так і мережевий IP-адрес, для ідентифікації себе в мереж.

Для того, щоб побувати таку систему, необхідно або точка доступу, або з можливістю передавати дані по радіозв'язку. Є безліч різних моделей роутерів з різними характеристиками і швидкостями. І те, як працюватиме дана система залежить від того, до якого обладнання вона буде під'єднана. З іншого боку, дана система не передає якихось великих пакетів даних, до того ж, якщо нема про що сигналізувати, то вона взагалі може нічого не передавати та чекати, коли якийсь параметр вийде за межі норми, щоб сповістити про це користувачів, або ж коли сам користувач не захоче переглянути дані з датчиків, або ж змінити налаштування.

Однак, через навантаженість мережі іншими пристроями, які передають великі об'єми даних, дана система може працювати дещо з затримками. Це залежить від типу обладнання та його характеристик, а також від стандартів, які використовує це обладнання для передачі даних.

Якщо звернути увагу на характеристики Wi-Fi, для плати ESP32, то вона підтримує стандарти 802.11 b/g/n, що забезпечує можливість передавати дані зі швидкістю до 150 Мбіт/с. Цього цілком достатньо для того, щоб швидко передавати дані. До того ж плата може бути під'єднана до будь-якої точки доступу, що дозволяє їй передавати дані не лише в межах однієї мережі, але й в будь куди, де є доступ до мережі.

Дальність передачі даних від однієї точки доступу становить 50-100 метрів. А швидкість залежить від підтримуваного стандарту обладнання Wi-Fi

мережі. Найпоширенішим стандартом на сьогоднішній день є 802.11 n, який забезпечує швидкість передачі даних 150 Мбіт/с.

В більшості випадків цього достатньо, для побудови такої мережі. Проте існують й інші способи передачі інформації, якщо цього вимагає ситуація.

3.2 Використання технології BLE

Bluetooth Low Energy це технологія Bluetooth, що з'явилася у 2010 році у версії 4.0 та основною функцією якої було забезпечення передачі даних бездротовим шляхом, для пристроїв з низьким енергоспоживанням. Дана технологія працює по типу клієнт/сервер, де клієнтом виступає пристрій, що приймає дані від серверів. Клієнтом може бути, як смартфон чи комп'ютер, так і інший пристрій, що збирає та обробляє дані. Сервером є пристрій, що знімає і передає дані. Це може бути годинник, що вимірює серцевий ритм, або пристрій, що знімає дані з навколишнього середовища. Дана система має топологію зірка і дає можливість підключитися декільком серверам до одного клієнта. Як правило, вона призначена для передавання невеликих об'ємів інформації, чого цілком достатньо для побудови системи клімат контролю.

Розглядаючи на прикладі системи дистанційного керування мікрокліматом, то серверами будуть прилади, що знаходяться по різних кімнатах, та знімають показники даних. Ці ж прилади самостійно вмикають та вимикають прилади за потреби, а також передають дані на інший пристрій, що представлений, як клієнт, а також реагувати на команди, отримані від клієнта. Клієнтом виступає інший мікроконтролер, наприклад плата ESP32. Його основною функцією є отримання, та обробка даних, що надходять з серверів, керування цими серверами та передача даних на пристрої користувачів даної системи. Клієнт може бути під'єднаний до мережі інтернет за допомогою провідного, або ж безпроводного Wi-Fi модуля. У випадку з провідним, можна використати плату або модуль, Ethernet порта, або плату WT32-ETH01 на базі ESP32, де вже є вбудований Ethernet порт, що значно полегшує задачу, та дає

можливість під'єднати до пристрою, ще якісь датчики чи дисплеї, або ж використати її, як ще один додатковий модуль в системі. Якщо ж використовувати бездротове підключення до інтернету, то в будь якому випадку, доведеться докупляти окремий модуль Wi-Fi. Звісно, ESP32 має вбудований модуль Wi-Fi, проте він використовує одну і ту саму антену і для Bluetooth з'єднання, тому виникають труднощі з використання обох інтерфейсів одночасно. Ще одним недоліком підключення через безпроводне з'єднання може стати те, що як Bluetooth і Wi-Fi можуть працювати на одній частоті, а саме 2,4 ГГц, що створює додаткові завади для їх роботи і знижує швидкість передачі даних.

Проведемо невеличке дослідження, щоб подивитися, як вплине використання Bluetooth на роботу Wi-Fi роутера Mi Router C4. Для цього скористаємося сайтом Speedtest для вимірювання швидкості передачі даних. Для цього зробимо підключим плату ESP32 до телефону, покладемо недалеко від роутера і зробимо по 10 вимірів з використанням і без використання Bluetooth.



Рисунок 3.1 – Mi Router C4

Таблиця 3.1 – Дослідження вимірів швидкості передачі даних через Wi-Fi

Дослідження швидкості передачі даних через Wi-Fi	
З Bluetooth, Мбіт	Без Bluetooth Мбіт
29.27	44.15
25.41	41.38
33.16	46.45
30.38	47.61
32.14	45.91
39.47	47.22
43.59	46.73
31.3	46.58
41.85	38.93
39.75	48.24

На основі цих даних (табл. 3.1) побудуємо графік (рис.3.2).



Рисунок 3.2 – Залежність швидкості Wi-Fi від Bluetooth

Як можна помітити, при використанні Bluetooth швидкість передачі даних знизилась в середньо на 10 Мбіт. Це може суттєво вплинути на роботу

бездротової мережі, тому в такому випадку, потрібно використовувати інші частоти для Wi-Fi мережі, наприклад 5 ГГц.

Розглянемо основні характеристик BLE:

- Частотний діапазон: 2.400 – 2.4835 ГГц.
- Весь частотний діапазон поділено на 40 каналів по 2 МГц кожен.
- Відстань покриття: 10 - 30 метрів (150 метрів на вулиці).
- Споживаний струм приладу: ~15 мА.
- Швидкість передачі даних: до 2 Mbps.
- Схема модуляції: GFSK.
- Вихідна потужність: 10 дБм.
- Режими пристрою: Подвійний режим (підтримує BLE і традиційний Bluetooth), одиночний режим (підтримує BLE).
- Режими бездротової мережі «точка-точка» та «зірка».
- Надійність системи: Адаптивне перемикання частоти з 24-бітним CRC у пакеті.
- Безпека: 128 біт AES CCM.
- Час передачі даних від одного кінця до іншого (тобто затримка): 3 мс.
- Струм споживання в режимі сну: 1 мкА.

В топології «точка-точка» використовуються два пристрої, один з яких є клієнтом, а інший є сервером. В свою чергу топологія «зірка» використовується при кількох з'єднаннях BLE. У цьому випадку клієнт виступає центральним вузлом, а всі інші під'єднуються до нього. Bluetooth пристрої ідентифікуються за допомогою 48-ми бітної адреси, що схожа на MAC-адресу.

Протокол BLE дозволяє бездротову передачу даних з пристроями з низьким енергоспоживанням (маяками); Після ввімкнення маяк продовжує слухати канал, доки інший пристрій не запитає з'єднання з ними.

BLE маяки транслюють пакети даних через бездротовий зв'язок (через діапазон 2,4 ГГц), розподілені за часовими рамками з можливістю налаштування (Інтервал трансляції). Цей переданий рядок даних називається

пакетом виявлення (advertising). Підключення до маяка відбувається за принципом Клієнт/Сервер. Клієнт має завдання керувати зв'язком (початок, синхронізація, завершення), а сервер виконує вказівки. Клієнт може відкривати декілька з'єднань із серверами одночасно, але сервер може бути з'єднаний лише з одним клієнтом одночасно.

Прикладом архітектури клієнт/сервер є зв'язок між смартфоном і маяком: смартфон продовжує прослуховувати канал, куди маяки (сервер) надсилають власні пакети виявлення (advertising). Отримавши пакет виявлення, смартфон може встановити з'єднання з одним або декількома маяками (максимум 8).

Адвертайзинг (advertising) полягає у розсилці широкомовних пакетів виявлення за трьома первинними каналами. Це дає можливість виявити широкомовний пристрій та прочитати його дані. Після цього пристрій, що сканує, може ініціювати з'єднання, якщо широкомовний пристрій дозволяє підключення.

Стек BLE (Рис3.3) був спеціально розроблений з урахуванням малопотужних програм. Його архітектура має три головних блоки – додаток, хост і контролер.

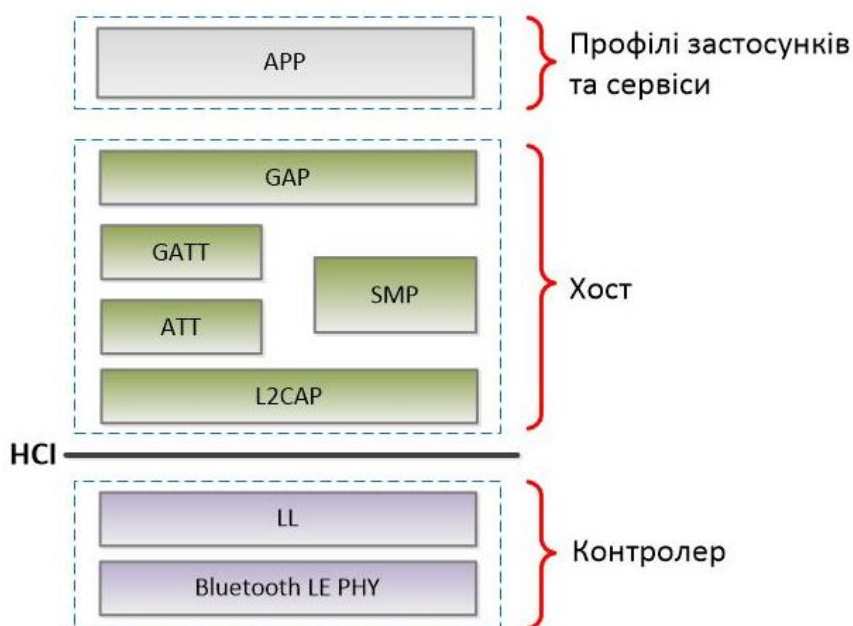


Рисунок 3.3 – Архітектура BLE

На рисунку 3.4 порівнюється стек протоколів Bluetooth LE з еталонною моделлю взаємозв'язку відкритої системи (OSI):

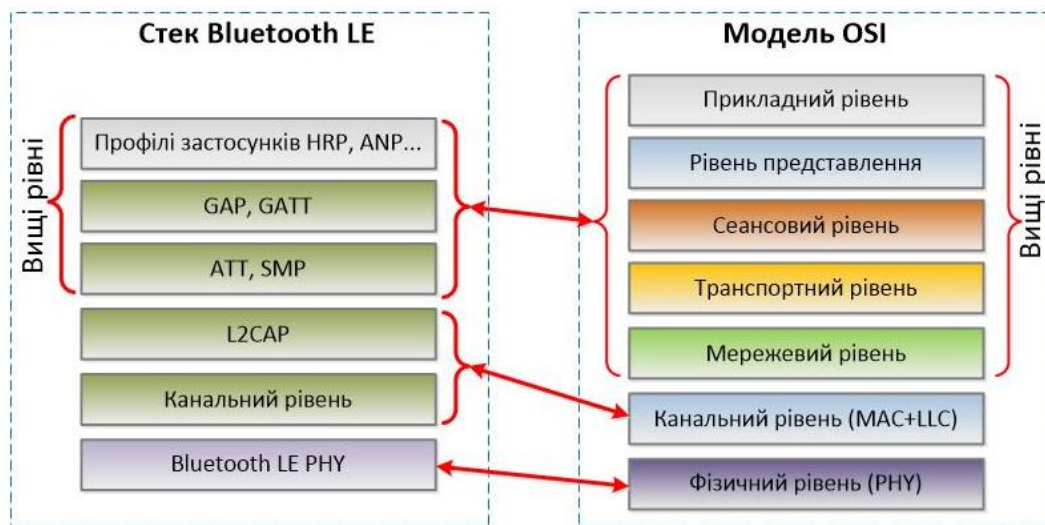


Рисунок 3.4 – Архітектура BLE

3.3 Використання технології LoRa

За останні роки, все ідея розумного міста (Smart City), з усіма спеціальними комунікаціями та інформаційними технологіями, стає все популярнішою. Головною метою даного проекту є поліпшення якості роботи та збільшення ефективності у різних сферах, таких, як агросектор, міські служби із різними галузями комунікаційних транспортних послуг та в енергетиці, а також в приватному секторі. Це спонукає, до використання смарт технологій, щоб підвищити якість життя, та комфорт громадян, та вирішити важливі завдання, для ефективнішого споживання ресурсів і зменшення витрат, що необхідні для повноцінного функціонування міської архітектури.

У процесі здійснення цієї концепції значно збільшується кількість датчиків, які використовуються для взаємодії між пристроями (M2M) та з'єднання цифрового світу з фізичним. Для забезпечення надійного підключення великої кількості сенсорів та їхньої тривалої роботи потрібна перспективна мережева технологія, в ролі якої виступає прогресивна технологія LoRaWAN (глобальна мережа великого радіусу дії).

Протокол LoRa складається з різного типу рівнів, що включають включаючи прикладну програму та рівень пристрою для безпечного зв'язку, шифрування в мережі. Кожен окремий шлюз LoRa може обслуговувати велику кількість вузлів. Завдяки своїм особливостям, сигнали можна відправляти на значні відстані, тож чи даліше може дістатися сигнал, тим меншою є структура мережі, а отже і менш складнішою та більш надійнішою та значно дешевшою.

Основні характеристики бездротового зв'язку LoRa:

- Забезпечення дальності: від 15 км у сільській місцевості та від 5 км в міських районах, що дозволяє охоплювати масштаб міста.
- Потужність: чіпи LoRa завдяки своєму низькому енергоспоживанню, дозволяє датчикам працювати 5-10+ років на одному заряді акумулятора, що значно знижує затрати на обслуговування.
- Захист інформації: 128-бітове шифрування AES захищає дані та запобігає підробці.
- Точна геолокація: сигнали можуть визначити місцезнаходження з точністю до десятків метрів без GPS.
- Смути глобального спектру: LoRa працює на неліцензійних діапазонах ISM, як 433, 868, і 915 МГц, що забезпечує сумісність у всьому світі.
- Двонаправлений зв'язок: комунікаційні пристрої LoRa підтримують дистанційне керування.
- Висока місткість: один шлюз LoRa може обробляти мільйони повідомлень щодня з тисяч пристроїв.

Мережева архітектура LoRa (рис. 3.4) складається з декількох ключових елементів, до яких належать:

- Кінцевий пристрій (один або декілька) — призначений для здійснення функцій керування або вимірювання. Він містить набір необхідних датчиків та елементів керування;
- Шлюз — пристрій, що приймає дані від кінцевих пристроїв за допомогою радіоканалу та передає їх у транзитну мережу. В якості такої мережі

можуть виступати Ethernet, Wi-Fi, стільникові мережі та будь-які інші телекомунікаційні канали. Шлюз і кінцеві пристрої утворюють мережеву топологію типу зірка. Зазвичай цей пристрій містить багатоканальний приймач для обробки сигналів у декількох каналах одночасно або навіть декількох сигналів в одному каналі. Відповідно, декілька таких пристроїв забезпечують зону покриття мережі та прозору двосторонню передачу даних між кінцевими вузлами та сервером;

- Мережевий сервер — призначений для управління мережею: завданням розкладу, адаптацією швидкості, зберіганням і обробкою отриманих даних;
- Сервер додатків — може віддалено контролювати роботу кінцевих вузлів і збирати необхідні дані з них.

Як правило, в межах LoRa власником шлюзів і центрального сервера є оператор мережі, а кінцевих пристроїв — абоненти, передаючи дані двонаправлено і забезпечуючи належний захист.

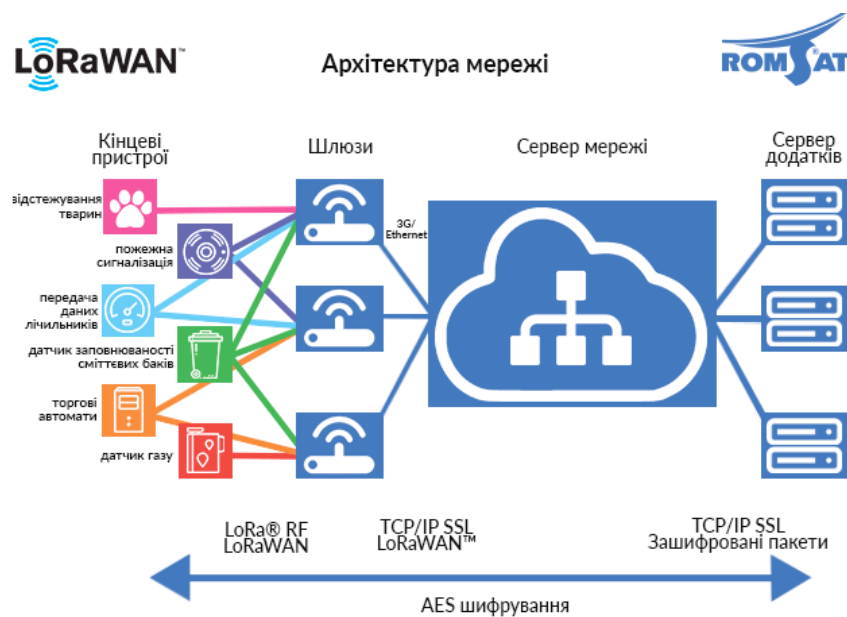


Рисунок 3.5 – Архітектура мережі LoRa

При побудові системи клімат контролю, дана технологія може бути дуже корисною, так як вона може охоплювати великі території. Звісно в забудовах сигнал слабшає, через велику кількість перешкод, таких як стіни будинки та

багато чого іншого, проте, якщо в приватному секторі є декілька різних приміщень, де потрібно регулювати параметри повітря, але там немає Wi-Fi покриття, дальність покриття мережі LoRa, дасть можливість забезпечити передачу даних між пристроями по всій території. Також для даної системи можна використати плату TTGO LoRa32 OLED.

Дана технологія має низьку енергозатратність, та може передавати невеликі об'єми інформації, що цілком підходить для побудови даної системи. Працюючи на низьких частотах, сигнал має високу надійність, та дальність передачі. LoRa використовує модуляцію з розширеним спектром (CSS), що є компромісним рішенням між чутливістю та швидкістю передачі даних. Адаптивна швидкість передачі даних (Adaptive Bitrate Streaming –ABR) – це метод LoRa для динамічної оптимізації швидкості передачі даних між пристроями кінцевих вузлів і шлюзами. Використання ADR, вузли можуть переходити на більш високі швидкості передачі даних, коли перешкоди низькі, і переходити на більш надійні швидкості передачі даних, коли перешкоди збільшуються.

Оскільки LoRa працює в діапазонах частот ISM (433 МГц, 868 МГц і 915 МГц), випромінювана потужність передачі обмежена. Для збільшення радіусу дії, чутливість приймача була значно покращена за допомогою LoRa. Приймач LoRa все ще може успішно приймати та декодувати корисний сигнал LoRa до 20 дБ нижче рівня шуму, що призводить до максимальної чутливості приймача до -149 дБм.

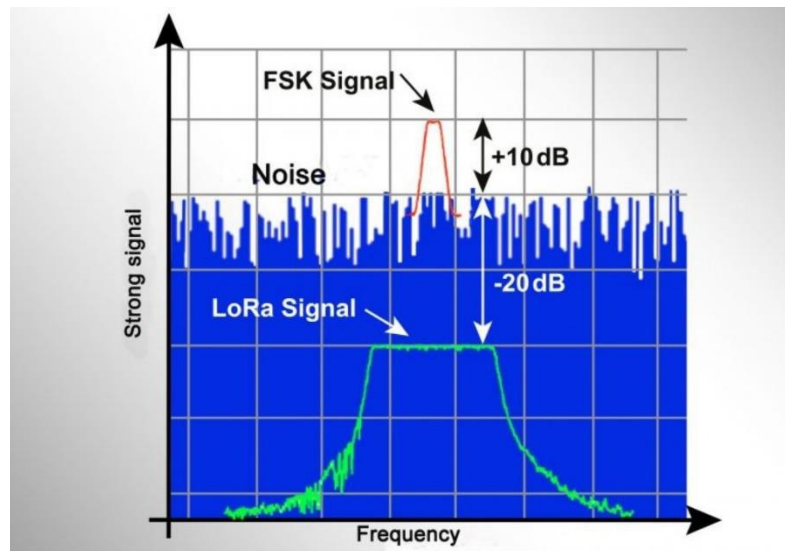


Рисунок 3.6 – Графік сигналу LoRa

Завдяки своїй здатності приймати корисний сигнал 20 дБ нижче рівня шуму (рис. 3.6), LoRa є більш стійкою до радіоперешкод. У найкращому випадку системи LoRa можуть приймати корисний сигнал, якщо сигнал перешкод на 20 дБ сильніший за корисний сигнал.

ВИСНОВКИ

В процесі виконання кваліфікаційної роботи було проведено дослідження ефективності датчиків системи клімат контролю в приміщенні, а саме DHT22 та BME280. Обидва датчики мають здатність виміряти температуру та вологість, а останній до того ж ще й атмосферний тиск, що фактично може бути домашньою метеостанцією.

В результаті було виявлено, який датчик є ліпшим в побудові такої системи. В результаті, обидва датчики показали хороші результати, однак BME280 виявився дещо кращим в вимірюванні температури, а DHT22 зрештою показав кращі результати у вимірюванні вологості. У висновку можна зазначити, датчик BME280 є дещо специфічним, а властивість вимірювати атмосферний, не є важливою в такій системі, адже це залежить від погодних умов, тому, можна використовувати лише, як додаткову інформацію, за потреби, а щодо DHT22, він є чудовим варіантом, адже і температуру вимірює досить точно і по вологості є також непоганим, проте, якщо потрібно датчик з вищою чутливістю до температури, то на цю роль цілком може згодитися DS18B20.

Щодо самої системи, то можна сказати, що вона є дуже актуальною у багатьох сферах і в подальшому її можна буде зустріти все частіше. До того ж її можна реалізувати на різних платформах, від власного WEB-сайту, то безкоштовного месенджера Telegram. При дана система передає невеликі об'єми інформації тому може використовувати широкий спектр існуючих систем для бездротової передачі інформації, що робить його зручним в експлуатації. А низька енергозатратність цих може забезпечити ї без джерела живлення, на тривалий термін лише на заряді акумулятора, а ще й зекономити на комунальних послугах.

В процесі виконання також було зроблено огляд напрямків для застосування цієї системи, а також датчиків, приладів та керуючих елементів, які можна використати в її побудові.

Так можна зазначити, що в даному випадку, різні варіації мікроконтролера ESP32 можуть цілком згодитися на роль керуючого елемента даної системи, адже в нього є різні варіації з можливістю використання, як провідного Ethernet порта на платі WT32-ETH01 на базі ESP32 де він є вбудованим, разом з Bluetooth та Wi-Fi, або ж навіть з можливістю використання технології LoRa на платі TTGO LoRa32 OLED. При виборі інших датчиків, окрім DHT22 розглянутого в дослідженні, було знайдено альтернативу датчику газу MQ135, який подекуди показував некоректні виміри, та розглянуто варіант MHZ-19, що є дорожчим, та також має свої недоліки, проте разом з тим є дещо точнішим за свого попередника.

Також, було розглянуто різні варіанти схем підключення та комунікацій між керуючими елементами, в різних варіаціях з використанням різних технологій передачі даних Wi-Fi, BLE та Lora. Також проведено невелике дослідження впливу Bluetooth на швидкість передачі даних через Wi-Fi. Причиною цього є те, що вони працюють на однаковій частоті і тим самим можуть створювати завади один одному.

В результаті виконання роботи було виявлено найоптимальніший варіант для побудови даної системи, на момент підбору датчиків, а також розглянуто варіанти побудови мережі з урахуванням різних умов.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Системи вентиляції та кондиціонування. Теорія та практика. Вид. 3-тє. - М.: Євроклімат, 2001р. - 416 с. Ананьєв ВА., Балусєва Л. Н., Гальперін А. Д., Міст А. К., Єрьомін М. Ю., Звягінцева СМ., Мурашко В. П., Сєдих І. В.
2. Спосіб автоматичного регулювання параметрів мікроклімату в приміщенні. Патент UA №112127. Муратов В. Г., Ананський Д. В. 2016.
3. ДБН В.2.5-67:2013 затверджено на заміну СНиП 2.04.05-91. Чинний з 01 січня 2014 року ДБН «Опалення, вентиляція та кондиціонування»і
4. Мікроклімат в теплиці. Управління парниками, як створити параметри, підтримання в зимку [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://jak.koshachek.com/articles/mikroklimat-v-teplici-sistema-upravlinnja-parnikiv.html>
5. Клімат на склад. Вентиляція складських приміщень [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ovekon-servis.com.ua/ua/climat-sklad/>
6. Мікроклімат в будинку: параметри, вимоги і контроль [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://navyflex.com.ua/mikroklimat-v-budynku-parametry-vymogy-i-kontrol/>
7. Мікроклімат в будинку: параметри, вимоги і контроль [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://navyflex.com.ua/mikroklimat-v-budynku-parametry-vymogy-i-kontrol/>
8. Управління кліматом в будинку. Вентиляція і кліматичні системи [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://remontu.com.ua/upravlinnya-klimatom-v-budinku-ventilyaciya-i-klimatichni-sistemi>
9. ESP32 Fingerprint Sensor Based Door Lock Security System [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://how2electronics.com/esp32-fingerprint-sensor-security-system/>

10. Advice on battery powered ESP32 with NFC Design [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://electronics.stackexchange.com/questions/453687/advice-on-battery-powered-esp32-with-nfc-design>

11. Datasheet ESP32 Series [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf

12. Sensor de humedad y temperatura DHT 11 y DHT22 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://datasheetpdf.com/pdf-file/792209/ABCPROYECTOS/DHT22/1>

13. Датчики вологості і температури для вимірювання рівня вологості повітря принцип дії різних типів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://sitemasters.com.ua/elektroobladnannja/datchiki-vologosti-i-temperaturi-dlja/>

14. BME280 Combined humidity and pressure sensore [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BME280_DS001-10.pdf

15. ESP32 with BME280 Sensor using Arduino IDE (Pressure, Temperature, Humidity) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-bme280-arduino-ide-pressure-temperature-humidity/>

16. Нідченко І.А, Розвиток технологій Інтернету речей в задачі вибору стеку протоколу зв'язку для управління інформацією [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/58031/1/Nydchenko_magistr.pdf

17. Intelligent Infrared CO2 Module (Model: MH-Z19) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://arduino.ua/docs/MH-Z19_CO2_Manual_V2.pdf

18. Technical data MQ-135 gas sensor [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/605077/Hanwei/MQ135/1>

19. DHT11, DHT22 and AM2302 Sensors [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mouser.com/datasheet/2/737/dht-932870.pdf>.

20. Wi-Fi [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>

21. BLE протокол [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://itmaster.biz.ua/directory/standarts/ble.html>

22. ESP32 BLE Server and Client (Bluetooth Low Energy) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-ble-server-client/>

23. Технологія LoRaWAN [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://romsat.ua/news/company/lorawan-technology/>

24. BotFather (Telegram) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://t.me/BotFather>.

25. Get My ID (Telegram) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://t.me/getmyid_bot

26. Система дистанційного керування мікрокліматом навчальних аудиторій / С.І. Вознюк, О.Л. Коренівська. – ДУ «Житомирська політехніка», 2022 – 92 с.