

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Дослідження та аналіз системи моніторингу і контролю якості повітря
на базі IoT для розумного будинку

Виконав: студент VI курсу, групи СНІМ-61
спеціальності 122 Комп'ютерні науки
(шифр і назва спеціальності)

Вирста В. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Никитюк В. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Дуда О. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Боднарчук І.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Боднарчук І.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

« 25 » травня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Вирсті Владиславу Михайловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження та аналіз системи моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку

Керівник роботи Никитюк Вячеслав Вячеславович, к.т.н., доцент кафедри КН
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 29 » листопада 2024 року № 4/7-1139

2. Термін подання студентом завершеної роботи 26 травня 2024р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові публікації про системи моніторингу та контролю якості повітря на базі IoT для розумних будинків задля дослідженню методів їх оцінки та аналізу ризиків впровадження.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. 1 Дослідження систем моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку. 2 Аналіз методів оцінки систем моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку. 3 Створення системи контролю і якості повітря та проведення експериментів. 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
1 Титульна сторінка. 2 Мета. 3 Завдання. 4 Актуальність (графік відсоткового співвідношення пристроїв які підтримують IoT напроти які не підтримують). 5 Актуальність (розмір ринку IoT 2023-2030). 6 Актуальність (наслідки впливу дрібнодисперсних частинок на організм людини). 7 Порівняльний аналіз комерційних систем. 8 Концептуальна модель. 9 Схеми електричні принципів. 10 Схеми електричних з'єднань. 11 Прототип. 12 Зведені результати відносної, максимальної похибки та заявленої виробником точності. 13 Кореляційна матриця результатів спостереження. 14 Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Сенчишин В.С., доцент		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Клепчик В.М., ст. викладач		

7. Дата видачі завдання 29 листопада 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	29.11.2024	Виконано
2.	Підбір наукових джерел про системи контролю та якості повітря для розумних будинків на базі IoT	02.12.2024-10.01.2025	Виконано
3.	Виконання дослідження згідно мети кваліфікаційної роботи	13.01.2025-14.03.2025	Виконано
4.	Оформлення розділу «Дослідження систем моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку»	17.03.2025-28.03.2025	Виконано
5.	Оформлення розділу «Аналіз методів оцінки систем моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку»	31.03.2025-11.04.2025	Виконано
6.	Оформлення розділу «Створення системи контролю і якості повітря та проведення експериментів»	14.04.2025-25.04.2025	Виконано
7.	Виконання завдання до підрозділу «Охорона праці»	28.04.2025-02.05.2025	Виконано
8.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека в надзвичайних ситуаціях»	28.04.2025-02.05.2025	Виконано
9.	Оформлення кваліфікаційної роботи	05.05.2025-09.05.2025	Виконано
10.	Нормоконтроль	12.05.2025-15.05.2025	Виконано
11.	Перевірка на плагіат	16.05.2025	Виконано
12.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	19.05.2025	Виконано
13.	Захист кваліфікаційної роботи	26.05.2025	

Студент

(підпис)

Вирста В. М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Никитюк В. В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дослідження та аналіз системи моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Магістр» // Вирста Владислав Михайлович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних наук, група СНм-61 // Тернопіль, 2025 // С. 73, рис. – 48, табл. – 6, ліст. – 7, додат. – 7, бібліогр. – 67.

Ключові слова: IoT, розумний будинок, система, моніторинг, контроль, повітря, якість.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню та аналізу систем моніторингу та контролю якості повітря для розумних будинків на базі IoT.

В першому розділі кваліфікаційної роботи описано проблематику дослідження та аналізу системи моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку. Проаналізовано комерційні системи моніторингу якості повітря шляхом створення порівняльної таблички комерційних систем моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку. Розглянуто наукові дослідження (архітектурні рішення, експериментальні дослідження).

В другому розділі кваліфікаційної роботи досліджено методи оцінки систем моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку. Проаналізовані ризики впровадження. Досліджено роль хмарних технологій у зборі та обробці даних, створено порівняльну таблицю IoT-платформ, описано архітектуру хмарних рішень. Досліджено норми якості повітря.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи спроєктовано систему контролю та якості повітря для розумного будинку на базі IoT. Описано основні методи та частинки коду модулів системи. Висвітлено процес тестування. Проаналізовані результати експериментальних досліджень системи контролю та якості повітря розумного будинку на базі IoT.

ANNOTATION

Research and Analysis of Air Quality Monitoring and Control Systems Based on IoT for Smart Houses // The educational level "Master" qualification work // Vladyslav Mykhailovych Vyrsta // Ternopil Ivan Pulyuy National Technical University, Faculty of Computer Information Systems and Software Engineering, Department of Computer Science, SNnm-61 group // Ternopil, 2025 // P. 73, fig. – 48, tables – 6, listing – 7, annexes – 7, ref. – 67.

Key words: IoT, smart home, system, monitoring, control, air, quality.

The qualification work is devoted to the research and analysis of IoT-based air quality monitoring and control systems for smart homes.

The first chapter of the qualification work describes the problems of research and analysis of the IoT-based air quality monitoring and control system for a smart home. Commercial air quality monitoring systems are analyzed by creating a comparison chart of commercial IoT-based air quality monitoring and control systems for a smart home. Scientific research (architectural solutions, experimental studies) is considered.

The second section of the qualification work investigates methods for evaluating IoT-based air quality monitoring and control systems for a smart home. The risks of implementation are analyzed. The role of cloud technologies in data collection and processing is investigated, a comparative table of IoT platforms is created, and the architecture of cloud solutions is described. The air quality standards are investigated.

In the third chapter of the qualification work, an IoT-based air quality control and monitoring system for a smart home is designed. The main methods and code parts of the system modules are described. The testing process is covered. The results of experimental studies of the IoT-based air quality control system for a smart home are analyzed.

ПЕРЕЛІК СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

CO – монооксид вуглецю.

CO₂ – діоксид вуглецю, вуглекислий газ.

LCD (англ. liquid crystal display) – електронний пристрій візуального відображення, рідкокристалічний дисплей.

SWOT (англ. Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) – метод аналізу сильних, слабких сторін, а також, можливостей та загроз проєкту.

Wi-Fi (від англ. Wireless Fidelity) – загальновживана назва для стандарту IEEE 802.11 передавання цифрових потоків даних по бездротових каналах передачі даних.

Arduino Nano – повнофункціональний мініатюрний пристрій на базі мікроконтролера ATmega328 (Arduino Nano 3.0) або ATmega168 (Arduino Nano 2.x), адаптований для використання з макетної плати.

IoT (англ. internet of things) – інтернет речей.

PM (англ. particulate matter) – мікроскопічні тверді частинки.

TVOCs (англ. Total Volatile Organic Compounds) – загальна кількість летких органічних сполук.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ І КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ НА БАЗІ ІОТ ДЛЯ РОЗУМНОГО БУДИНКУ	10
1.1 Проблематика дослідження та аналізу системи моніторингу і контролю якості повітря на базі ІоТ для розумного будинку.....	10
1.2 Комерційні системи моніторингу якості повітря	12
1.3 Огляд наукових досліджень у сфері дослідження систем контролю якості повітря на базі ІоТ	16
1.4 Висновок до першого розділу	21
2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНКИ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ І КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ НА БАЗІ ІОТ ДЛЯ РОЗУМНОГО БУДИНКУ	22
2.1 Методи оцінки систем моніторингу і контролю якості повітря на базі ІоТ для розумного будинку	22
2.1.1 SWOT аналіз	22
2.1.2 Метод опитувань	23
2.1.3 Порівняльний аналіз	24
2.2 Аналіз ризиків впровадження систем моніторингу і контролю якості повітря на базі ІоТ для розумного будинку.....	25
2.3 Роль хмарних технологій у зборі та обробці даних про якість повітря.....	26
2.3.1 Хмарні технології в ІоТ-системах моніторингу якості повітря .	26
2.3.2 Архітектура хмарних рішень для моніторингу якості повітря ..	30
2.3.3 Переваги та недоліки впровадження хмарних рішень у системах моніторингу	31
2.4 Норми якості повітря.....	33
2.5 Висновок до другого розділу.....	35
3 СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ І ЯКОСТІ ПОВІТРЯ ТА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ	36

3.1	Проектування системи контролю та якості повітря для розумного будинку на базі IoT	36
3.2	Написання тексту програми для системи контролю та якості повітря для розумного будинку на базі IoT	39
3.3	Тестування системи контролю та якості повітря розумного будинку на базі IoT	43
3.4	Постановка експериментальної задачі.....	46
3.5	Написання тексту програм та результати експериментів.....	47
3.6	Висновок до третього розділу	52
4	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	54
4.1	Організація безпечних умов праці при розробці та впровадженні систем моніторингу та контролю якості повітря для розумному будинку	54
4.2	Ергономіка робочого місця розробника програмного забезпечення для пристроїв IoT	57
4.3	Комп'ютерне забезпечення процесу оцінки радіаційної та хімічної обстановки	59
4.4	Висновок до четвертого розділу	63
	ВИСНОВКИ.....	64
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ	66
	ДОДАТКИ	

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасних умовах розвитку розумних технологій все більш актуальним стає впровадження систем моніторингу якості повітря в розумних будинках. Використання інтернету речей відкриває нові можливості для безперервного збору, аналізу та обробки даних про стан навколишнього середовища в режимі реального часу. Проблематика точності вимірювань, надійності передачі даних та ефективності обробки інформації безпосередньо впливають на комфорт, здоров'я мешканців і загальну ефективність системи розумного дому.

Якість повітря в приміщеннях має прямий вплив на здоров'я, продуктивність і загальне самопочуття людини. Коли повітря забруднене, це може призводити до розвитку алергічних реакцій, хвороб дихальної системи та інших значних проблем зі здоров'ям.

Мета і задачі дослідження. Метою даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» є дослідити наявні комерційні системи та наукові праці по моніторингу та контролю якості повітря в розумних будинках на основі IoT задля створення прототипу даної системи та проведенню експериментів. Для досягнення поставленої мети потрібно виконати ряд завдань, зокрема:

- дослідити та проаналізувати комерційні рішення систем моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку;
- дослідити існуючі наукові дослідження систем контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку;
- проаналізувати методи оцінок систем моніторингу та контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку;
- розробити прототип системи моніторингу та контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку;
- провести експериментальні дослідження на базі створеного прототипу системи моніторингу та контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку.

Об’єкт дослідження: архітектури систем моніторингу та контролю якості повітря для розумних будинків на базі IoT.

Предмет дослідження: методи оцінки систем моніторингу та контролю якості повітря для розумних будинків на базі IoT.

Наукова новизна одержаних результатів кваліфікаційної роботи полягає у архітектурному рішенні системи контролю та якості повітря для розумного будинку на базі IoT.

Практичне значення одержаних результатів. Виконано макетування та прототипування системи контролю та якості повітря для розумного будинку на базі IoT.

Апробація результатів магістерської роботи. Основні результати проведених досліджень обговорювались на XII науково-технічній конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» (м. Тернопіль, 2024 р.) та VI міжнародній науково-практичній конференції «Міжнародні наукові дослідження: інтеграція науки та практики як механізм ефективного розвитку» (м. Київ, 2025 р.).

Публікації. Результати кваліфікаційної роботи опубліковано у двох працях конференції (наведені у додатку А).

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури з 67 найменувань та 7 додатків. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи складає 73 сторінки, з них 53 сторінки основного тексту, який містить 48 рисунків, 6 таблиць та 7 лістингів.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ І КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ НА БАЗІ ІОТ ДЛЯ РОЗУМНОГО БУДИНКУ

1.1 Проблематика дослідження та аналізу системи моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку

Актуальність аналізу впровадження систем моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку аргументується кількома факторами. Перший з них – популярність IoT. Графік відсоткового співвідношення пристроїв які підтримують IoT навпроти пристроїв які не підтримують дану технологію наведено на рисунку 1.1 [1]. Можна побачити додатній приріст у відсотковому співвідношенні пристроїв, які підтримують IoT.

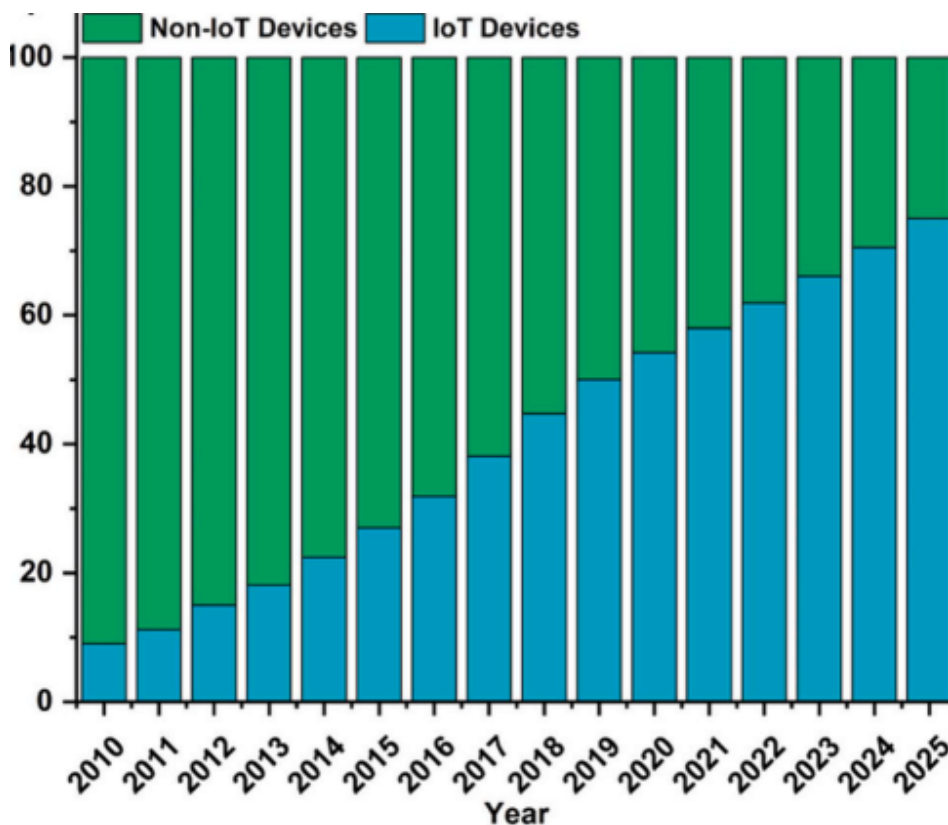


Рисунок 1.1 – Графік відсоткового співвідношення пристроїв які підтримують IoT навпроти пристроїв які не підтримують дану технологію [1]

Прогноз ринку IoT, який наведений на рисунку 1.2 [2].

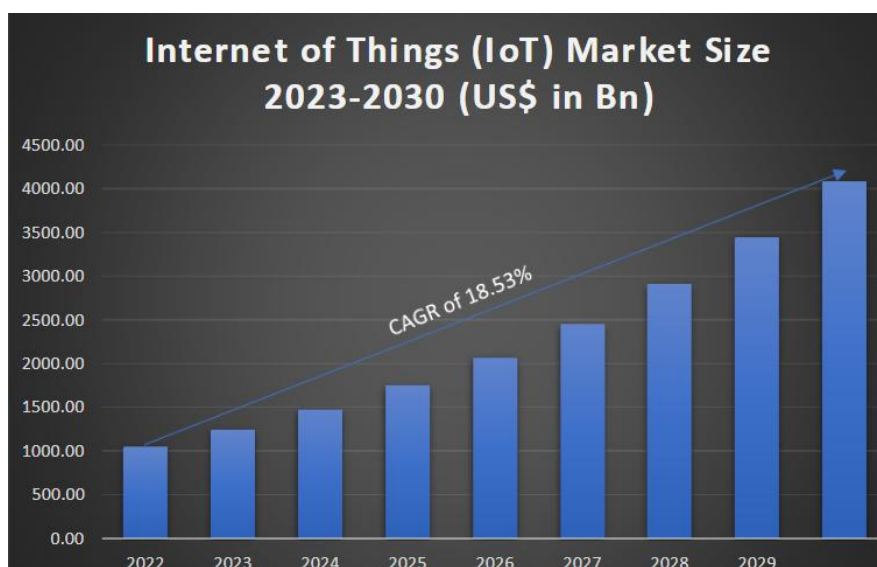


Рисунок 1.2 – Розмір ринку IoT 2023-2030 (у мільярдах доларів) [2]

Він демонструє додатній зріст ринку даного сегменту IoT [2]. Розмір ринку IoT оцінювався в 1046 млрд доларів США в 2022 році і за прогнозами досягне 4078 млрд доларів США до 2030 року із середньорічним темпом зростання в 18,53% протягом прогнозованого періоду 2023-2030 років.

Забруднення повітря суттєво впливає на здоров'я людини, сприяючи виникненню низки захворювань та підвищенню рівня смертності [3, 4]. На рисунку 1.3 наведено наслідки впливу дрібнодисперсних частинок на організм людини.

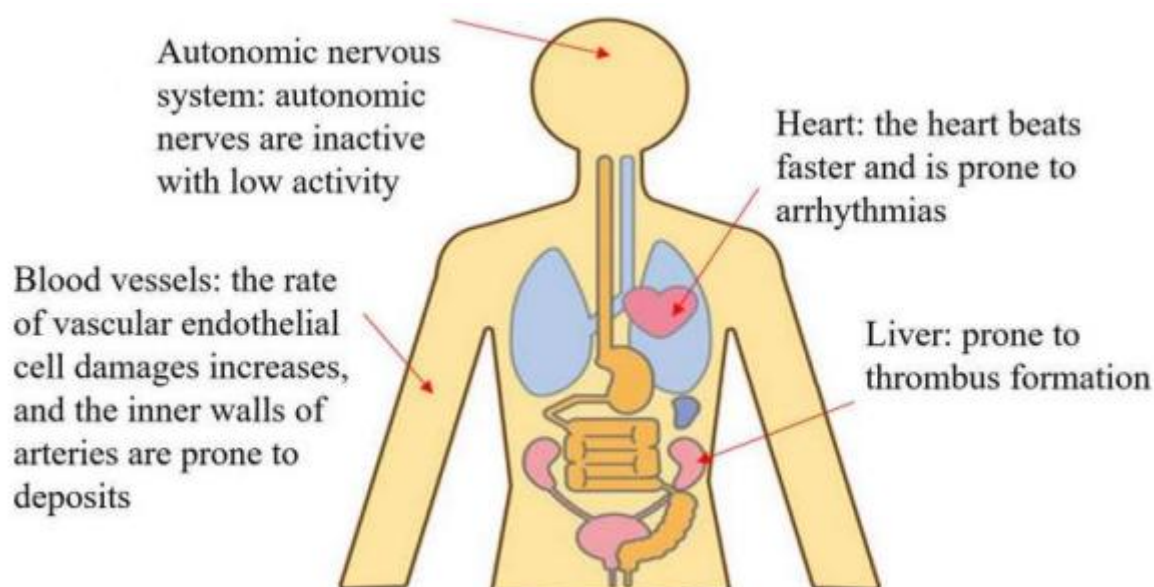


Рисунок 1.3 – Наслідки впливу дрібнодисперсних частинок на організм людини

Наслідки впливу дрібнодисперсних частинок на організм людини:

- вегетативна нервова система: вегетативні нерви неактивні з низькою активністю;
- серце: серце б'ється швидше і схильне до аритмій;
- печінка: схильна до утворення тромбів;
- кровоносні судини: збільшується швидкість пошкодження клітин ендотелію судин, а внутрішні стінки артерій схильні до відкладень [3].

Тривале вдихання викликає атеросклероз, гіпертонію, порушення згортання крові та навіть підвищену ймовірність інсульту або інфаркту.

1.2 Комерційні системи моніторингу якості повітря

1.2.1 Пристрій Awair Element

Awair Element – це розумний пристрій для моніторингу якості повітря, розроблений компанією Awair. Він відстежує п'ять ключових факторів навколишнього середовища:

- температуру;
- вологість;
- CO₂;
- сумарний рівень летких органічних сполук у повітрі (TVOCs);
- PM2.5 [5].

На рисунку 1.4 наведено зовнішній вигляд пристрою Awair Element.



Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд пристрою Awair Element

Даний пристрій дає персоналізовані рекомендації щодо покращення повітря та інтегрується з Google Assistant і Alexa. Однією з головних переваг Awair Element є його точність вимірювань та аналітичні можливості, що дозволяють користувачам розуміти вплив навколишнього середовища на здоров'я [5].

1.2.2 Пристрій IQAir AirVisual Pro

IQAir AirVisual Pro повідомляє про якість повітря у вашому домі, школі чи офісі. Вимірює забруднення повітря від приготування їжі, прибирання, спалювання дров, внутрішнього оздоблення, куріння, диму від лісових пожеж та забруднення від транспорту, що потрапляє в будівлю [6].

Зовнішній вигляд пристрою IQAir AirVisual Pro наведено на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд пристрою IQAir AirVisual Pro

Даний пристрій може працювати без підключення до інтернету, зберігаючи історію вимірювань. Присутній кольоровий дисплей [6].

1.2.3 Пристрій Netatmo Smart Indoor Air Quality Monitor

Netatmo Smart Indoor Air Quality Monitor – розумний датчик, що інтегрується з екосистемою Apple HomeKit, що дозволяє використовувати Siri

для отримання даних про якість повітря та автоматизації розумного будинку. Зовнішній вигляд даного пристрою наведено на рисунку 1.6 [7].



Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд пристрою Netatmo Smart Indoor Air Quality Monitor

Пристрій має мінімалістичний алюмінієвий дизайн, працює через мобільний додаток та надсилає сповіщення, коли параметри повітря виходять за норму [7].

Унікальною функцією є CO₂-індикатор, який змінює колір і сигналізує про необхідність провітрювання приміщення. Пристрій аналізує історію даних, допомагаючи користувачам покращити мікроклімат вдома чи в офісі. Відсутність вбудованого дисплея компенсується зручним доступом до даних у мобільному додатку, де можна переглядати графіки та отримувати персоналізовані рекомендації [7].

1.2.4 Пристрій uHoo Smart Air Monitor

Пристрій uHoo Smart Air Monitor вимірює 9 параметрів:

- CO₂;
- CO;
- PM2.5;

- PM10;
- TVOCs;
- температуру;
- вологість;
- атмосферний тиск;
- рівень озону [8].

Зовнішній вигляд пристрою uHoo Smart Air Monitor наведено на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7 – Зовнішній вигляд пристрою uHoo Smart Air Monitor

Він має хмарну аналітику, яка надає персоналізовані рекомендації для покращення мікроклімату. Пристрій підтримує інтеграцію з Google Assistant, Alexa та IFTTT, що дозволяє автоматизувати вентиляцію чи очищення повітря [8].

Головною унікальністю uHoo є можливість моніторингу рівня озону та CO, чого немає у більшості конкурентів. Він має детальну систему оповіщень, яка сповіщає користувача про погіршення повітря в реальному часі. Його хмарна платформа аналізує довгострокові тренди якості повітря, допомагаючи користувачам запобігати потенційним ризикам для здоров'я [8].

1.2.5 Порівняння комерційних рішень

Для проведення порівняльного аналізу комерційних рішень систем моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку було виділено наступні ключові атрибути:

- параметри вимірювання (CO₂, TVOCs, PM_{2.5}, PM₁₀, температура, вологість тощо);
- дисплей (LED-індикатор, LCD-дисплей, відсутність екрану);
- інтеграція з розумним будинком (підтримка Google Assistant, Alexa, HomeKit, IFTTT тощо).
- хмарний аналіз та прогнозування – можливість прогнозу забруднення та аналітики.
- джерело живлення (автономна робота або живлення від мережі).
- додаткові унікальні функції – специфічні особливості, що відрізняють пристрій від конкурентів.
- підключення – які мережеві технології використовує пристрій (Wi-Fi, Bluetooth, мобільні мережі тощо).

У додатку Б наведено порівняльну таблицьку комерційних рішень систем моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку. Атрибут підключення був прибраний із таблиці, оскільки всі представлені комерційні рішення використовують Wi-Fi як мережеву технологію.

Одержані результати дозволять зрозуміти функціонал комерційних рішень систем моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку.

1.3 Огляд наукових досліджень у сфері дослідження систем контролю якості повітря на базі IoT

На рисунку 1.8 наведено трьохрівневу архітектуру системи моніторингу повітря IdeAir.

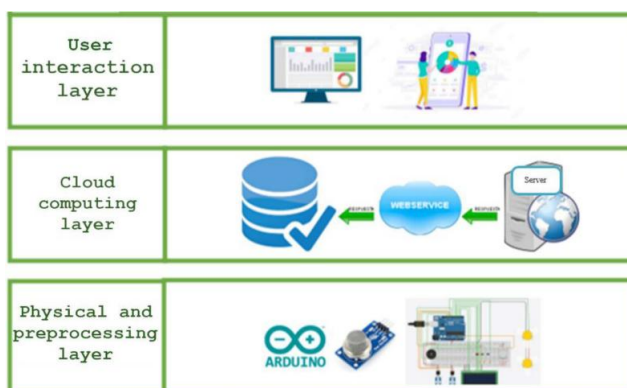


Рисунок 1.8 – Трьохрівнева архітектура системи моніторингу повітря IdeAir [9]

Архітектура системи IdeAir (див. рисунок 1.8) складається з трьох рівнів. Верхній рівень – це рівень взаємодії з користувачем, який включає веб та мобільні застосунки для доступу до системи. Нижній рівень – фізичний та попередньої обробки – відповідає за сенсори, виконавчі пристрої та моніторинг середовища. Хмарний рівень забезпечує зберігання, обробку даних і передачу інформації до бази даних і додатків у реальному часі.

Перевагами архітектури IdeAir є чітке розмежування функцій між рівнями та можливість обробки і доступу до даних у реальному часі через мобільні й вебзастосунки. Недолік – залежність від хмарної інфраструктури, що робить систему вразливою до перебоїв з інтернет-з'єднанням.

На рисунку 1.9 наведено архітектуру бездротової сенсорної мережі на базі ESP8266 та IoT для моніторингу якості повітря. Запропонований автором статті варіант є середньостатистичним (за компонентною складовою).

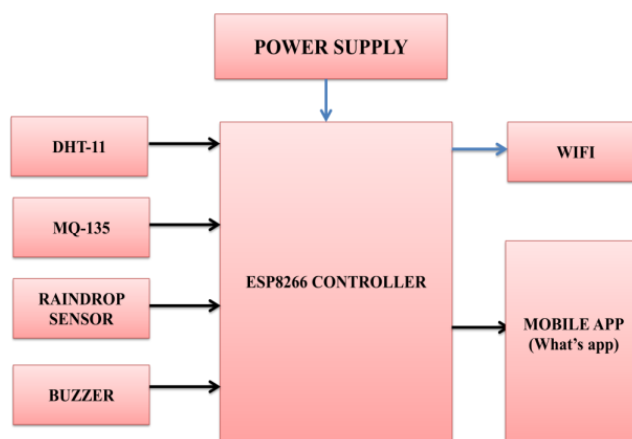


Рисунок 1.9 – Архітектура бездротової сенсорної мережі на базі ESP8266 та IoT для моніторингу якості повітря [10]

Система контролю якості повітря побудована на контролері ESP8266, до якого підключено сенсори DHT-11 (температура і вологість), MQ-135 (газовий сенсор), сенсор дощу та звуковий сигналізатор (buzzer). Зібрані дані передаються через Wi-Fi на мобільний застосунок (WhatsApp), а живлення забезпечується блоком Power Supply [10]. Переваги системи – простота реалізації, доступність компонентів. Недоліки – обмежена точність сенсорів, залежність від стабільного Wi-Fi-з'єднання для передачі даних.

На рисунку 1.10 наведено архітектуру бездротової сенсорної мережі на базі Arduino Uno та IoT для моніторингу якості повітря.

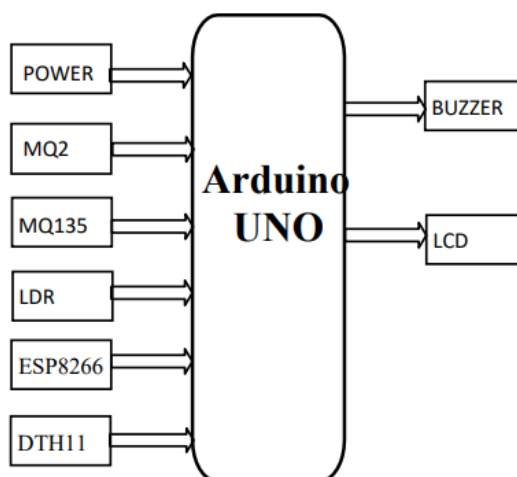


Рисунок 1.10 – Архітектура бездротової сенсорної мережі на базі Arduino Uno та IoT для моніторингу якості повітря [11]

Основна відмінність даної архітектури (див. рисунок 1.10) від попередньої архітектури (див. рисунок 1.9) – це мікроконтролери. В першому варіанті, це Arduino Uno, в другому – ESP8266.

З одного боку, краще використовувати за основу мікроконтролер ESP8266, оскільки він має вбудований Wi-Fi, що дозволяє передавати дані про якість повітря в реальному часі без додаткових модулів. Arduino Uno потребує зовнішнього Wi-Fi-модуля, тому менш зручний для IoT-систем. З іншого боку – Arduino Uno має стабільніший і простіший у використанні інтерфейс для роботи з великою кількістю сенсорів, менш чутливий до збоїв живлення, ніж ESP8266, і дозволяє точніше контролювати апаратну частину системи.

На рисунку 1.11 наведено модель моніторингу та контролю якості повітря у розумному домі (всередині та зовні приміщення).

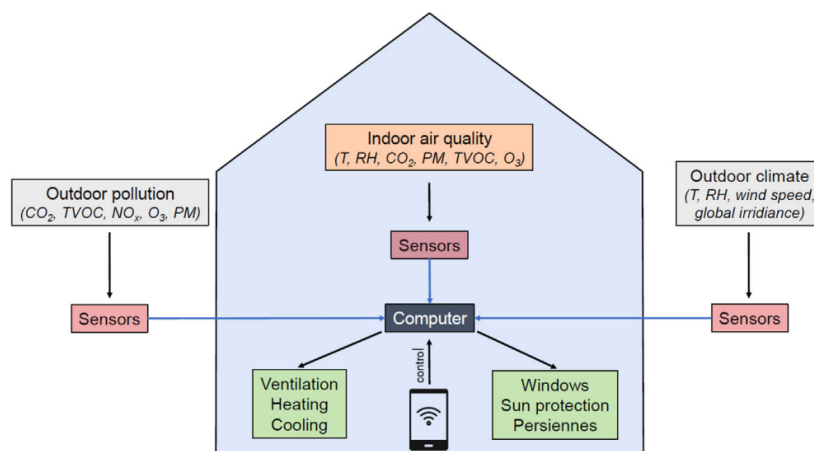


Рисунок 1.11 – Модель моніторингу та контролю якості повітря у розумному домі (всередині та зовні приміщення) [12]

Ця система (див. рисунок 1.11) розумного будинку контролює якість повітря всередині та зовні за допомогою сенсорів, що вимірюють параметри, такі як температура, вологість, CO₂, PM, TVOC, O₃ тощо. Зібрані дані обробляються комп'ютером, який керує вентиляцією, обігрівом, охолодженням, вікнами та захистом від сонця. Управління всіма процесами також може здійснюватися через мобільний застосунок [12, 13].

Присутні варіанти, і на основі Raspberry Pi. На рисунку 1.12 наведено варіант системи контролю якості повітря, оснований на платі Raspberry Pi.

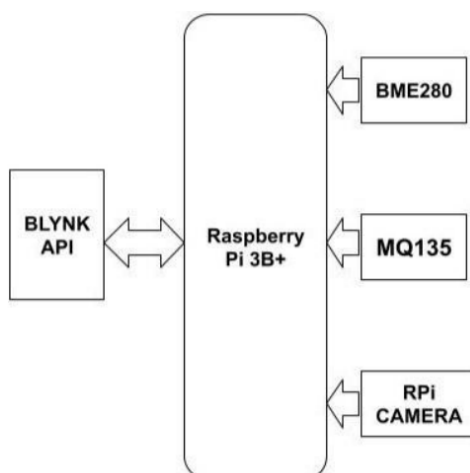


Рисунок 1.12 – Архітектура системи моніторингу якості повітря [14]

Система (архітектура якої наведена на рисунку 1.12) контролює якість повітря в приміщенні за допомогою сенсорів і надсилає сповіщення, коли рівень шкідливих газів (наприклад, CO₂, диму, NH₃, LPG) перевищує безпечний. Дані в PPM, а також температура, тиск і вологість відображаються у додатку Blynk. Raspberry Pi 3B+ збирає дані із сенсорів MQ135, BME280 і камери. Камера в даній системі – визначає кількість людей у кімнаті, це є також основною особливістю системи [14].

Щодо частини тестування: на рисунку 1.13 наведено результати тестування системи контролю якості повітря (а саме CO₂).

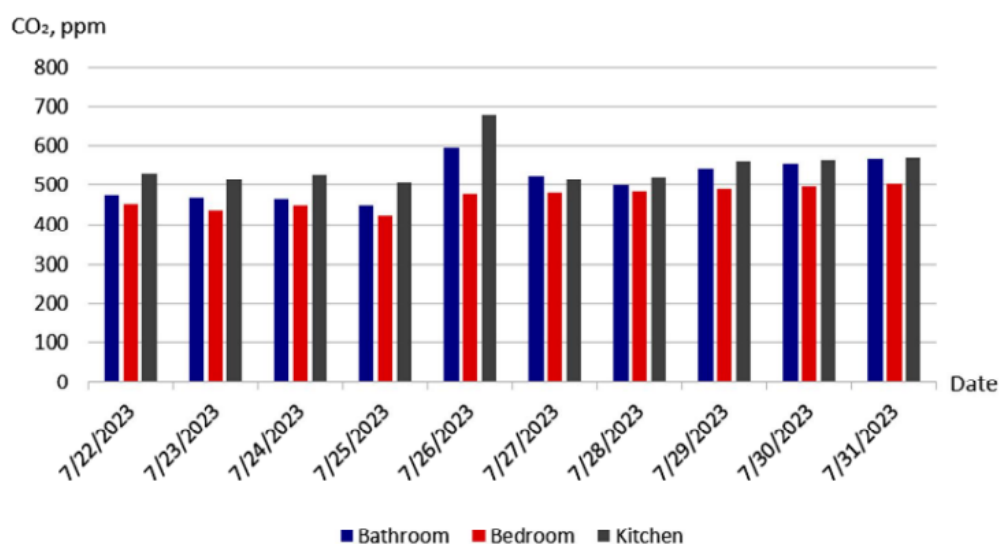


Рисунок 1.13 – Зібрані результати з датчиків системи якості повітря з різних кімнат [15]

У даному експерименті (див. рисунок 1.13), під час періоду у 10 днів, безперервно збиралися дані з датчиків. Щоденні записи були заплановані рівно на 13:00, щоб мінімізувати потенційні неточності та коливання, спричинені часовими варіаціями. перед кожним сеансом вимірювання проводився попередній півгодинний прогрів, який забезпечував оптимальну роботу датчика і точність протягом усього процесу збору даних [15].

На рисунку 1.14 наведено показники кореляції газу, температури та вологості влітку (на кухні).

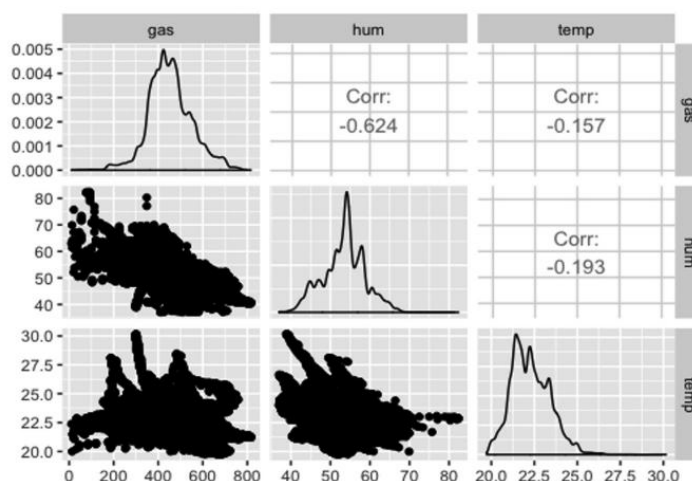


Рисунок 1.14 – Показники кореляції газу, температури та вологості влітку (на кухні) [16]

На графіку (див. рисунок 1.14) представлено кореляційний аналіз між концентрацією газів, вологістю (hum) і температурою (temp) на кухні влітку. Спостерігається помірно сильна негативна кореляція між рівнем газів і вологістю ($r = -0.624$), а також слабка негативна кореляція між газами й температурою ($r = -0.157$). Вологість і температура також мають слабкий зворотний зв'язок ($r = -0.193$) [16].

1.4 Висновок до першого розділу

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» описано проблематику тематики дослідження та аналізу систем моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку. Виділено три ключові проблеми. Висвітлені основні показники якості повітря. Проаналізовано вплив забруднення повітря на здоров'я людей.

Проаналізовано комерційні системи моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку. Результати були зведені у порівняльну таблицю (див. додаток Б). Досліджено відкриті проєкти на основі IoT. Проаналізовано компоненти для інтеграції систем моніторингу в екосистему розумного будинку.

2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНКИ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ І КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ НА БАЗІ ІОТ ДЛЯ РОЗУМНОГО БУДИНКУ

2.1 Методи оцінки систем моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку

Оцінювання системи моніторингу та контролю якості повітря на базі IoT у розумному будинку дозволяє виявити її ефективність, визначити ключові переваги й недоліки. Це сприятиме її подальшій оптимізації, підвищенню точності й надійності роботи. З економічної точки зору така оцінка допомагає з'ясувати доцільність впровадження конкретного рішення або необхідність інвестування в його модернізацію.

Серед методів оцінки IoT-систем моніторингу та контролю якості повітря в розумному будинку можна виділити SWOT-аналіз, опитування користувачів, порівняльний та комбінований аналіз, а також інші підходи.

2.1.1 SWOT аналіз

SWOT аналіз – метод, який дозволяє виділити сильні та слабкі сторони, потенційні загрози та можливості [17].

Можна виділити наступні види SWOT аналізу:

- класичний SWOT-аналіз – стандартний підхід, що оцінює сильні та слабкі сторони, можливості та загрози;
- SWOT-аналіз з урахуванням зовнішніх і внутрішніх факторів – деталізований розгляд впливу внутрішнього середовища (Strengths, Weaknesses) та зовнішнього (Opportunities, Threats);
- SWOT-матриця (TOWS-аналіз) – формування стратегій шляхом поєднання елементів SWOT;
- динамічний SWOT-аналіз – аналіз у режимі реального часу для швидкої адаптації до змін;

- SWOT-аналіз конкурентів – оцінка сильних і слабких сторін конкурентів для формування конкурентної стратегії [17, 18].

На рисунку 2.1 наведено приклад SWOT аналізу розумного будинку з AI.



Рисунок 2.1 – Результат SWOT аналіз із AI [19]

Приклад (див. рисунок 2.1) демонструє базовий підхід до застосування SWOT-аналізу для оцінки системи [19]. Аналіз показав, що категорія можливостей (opportunities) значно переважає інші, що свідчить про високий потенціал цієї тематики. Серед ключових можливостей відзначено такі аспекти, як енергетична безпека, підвищення рівня безпеки, можливість отримання прибутку в майбутньому та зручне керування з мобільних пристроїв.

2.1.2 Метод опитувань

Метод опитувань застосовується для отримання суб'єктивних оцінок користувачів щодо ефективності IoT-системи моніторингу якості повітря. Першим кроком є визначення цілей дослідження — наприклад, комфортність використання, зручність інтерфейсу, корисність або естетика застосунку. Далі формується анкета з питаннями, які можуть мати варіанти відповідей, шкальну оцінку або відкриту форму. Опитування проводиться серед цільової аудиторії, до якої належать власники, користувачі, експерти та критики розумних будинків. Анкети можуть бути електронними, паперовими або у формі інтерв'ю. На завершальному етапі проводиться аналіз відповідей, з виявленням трендів і статистичних закономірностей.

На рисунку 2.2 наведено результати опитувань на тему: уявлення потенційних користувачів про призначення та переваги технологій розумного дому.

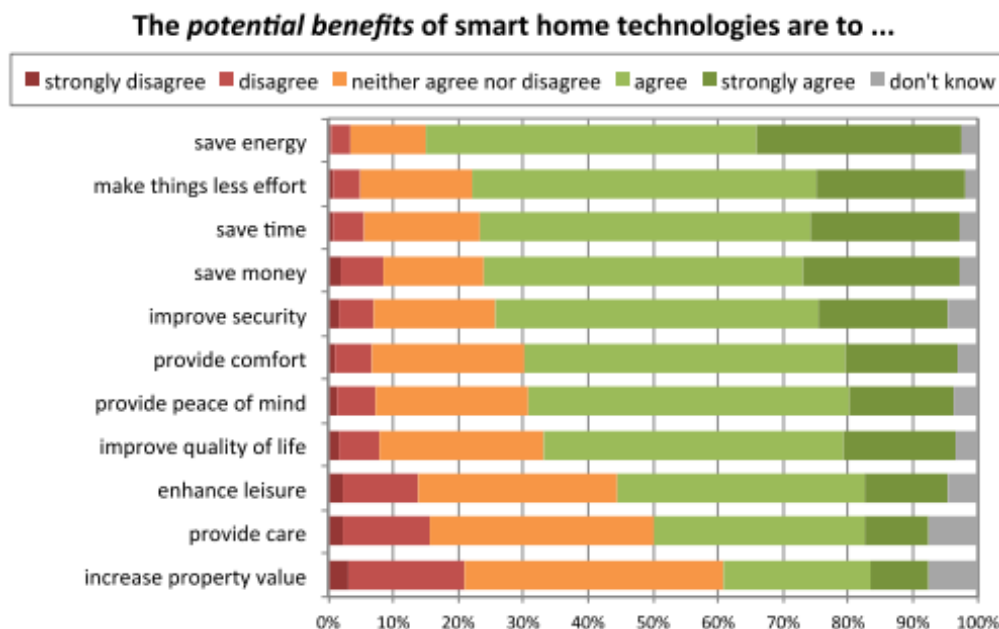


Рисунок 2.2 – Результати опитувань на тему: уявлення потенційних користувачів про переваги технологій розумного дому [20]

На основі результатів опитування (див. рисунок 2.2) можна зробити такі висновки: понад 70% респондентів вважають перевагою розумних систем можливість економії енергії, що робить атрибут «save energy» найважливішим серед запропонованих. Натомість характеристика «increase property value» набрала найменше підтримки — трохи більше 30%. Крім того, саме атрибути «provide care» та «increase property value» найчастіше отримували відповідь «don't know». Опитування проводилося серед 1025 власників розумних будинків у Великій Британії [20].

2.1.3 Порівняльний аналіз

Порівняльний аналіз – це про аналоги, їх різницю один від одного.

У додатку В наведено порівняльну характеристику програмного забезпечення для розумних будинків. Було представлено 17 аналогів (Fibaro,

Grenton, F&Home, F-Home Radio, DEIMIC та інші), порівняно за 9 атрибутами (функціонал, система HVAC (опалення, вентиляція, кондиціонування), безпека, управління мультимедіа, управління побутовими приладами та інші). Шкала оцінювання – від одного балу до п'яти, де п'ять – це максимальна задоволеність атрибутом [21].

2.2 Аналіз ризиків впровадження систем моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку

У дослідженні було проведено аналіз ризиків впровадження систем моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку за допомогою вагового (Weighted) SWOT аналізу. Елементи SWOT аналізу були оцінені за п'ятибальною шкалою, де 1 – маловажлива характеристика, 5 – архіважлива характеристика для системи моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку [22]. У додатку Д наведено ваговий SWOT аналіз впровадження систем моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку (табличний формат).

Точний контроль якості повітря означає безперервний збір даних із сенсорів у режимі реального часу. Персоналізація системи полягає в адаптації її функціоналу до індивідуальних потреб користувачів, наприклад, автоматичне вмикання очищувача повітря при виявленні підвищеної концентрації пилу. Мобільний доступ забезпечує можливість керування та моніторингу даних зі смартфонів або планшетів. До недоліків належить висока вартість впровадження через складне обладнання та програмне забезпечення. Загрози включають сильну конкуренцію на ринку, що ускладнює комерціалізацію, а також чутливість системи до перебоїв з електропостачанням, що впливає на якість даних.

Кругова діаграма вагового SWOT аналізу впровадження систем моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку наведена на рисунку 2.3.

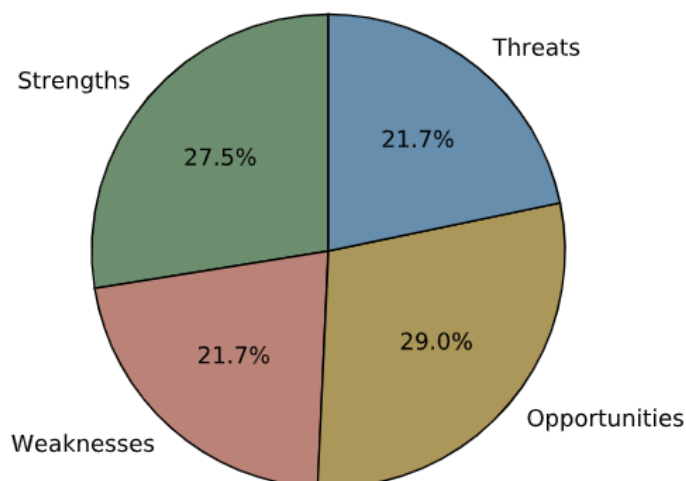


Рисунок 2.3 – Кругова діаграма вагового SWOT аналізу впровадження систем моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку [22]

На круговій діаграмі (див. рисунок 2.3) можемо побачити, що найбільшу вагу у SWOT-аналізі мають можливості (Opportunities) – 29 % або 20 балів, що свідчить про значний потенціал теми. Проведений аналіз показує, що сильні сторони та наявні можливості здатні компенсувати наявні загрози та слабкі місця. Основними перевагами впровадження IoT-систем моніторингу є висока точність та можливість інтеграції з іншими технологіями. Водночас головними бар'єрами залишаються висока вартість та складність налаштування. Для ефективного функціонування важливо зменшити кіберризики та забезпечити стабільне енергоживлення [22].

2.3 Роль хмарних технологій у зборі та обробці даних про якість повітря

2.3.1 Хмарні технології в IoT-системах моніторингу якості повітря

Хмарні обчислення дозволяють забезпечити безперервний моніторинг, аналіз та збереження великих обсягів даних з IoT-сенсорів якості повітря. Вони забезпечують централізоване керування інформацією, що дозволяє інтегрувати дані з різних джерел (локальні сенсори, метеостанції, супутникові дані) для підвищення точності результатів [23].

Хмарні платформи моніторингу та оповіщення в режимі реального часу дозволяють здійснювати безперервний моніторинг якості повітря, а дані в режимі реального часу доступні через мобільні або вебдодатки [24, 25]. Наприклад користувачі можуть отримувати оповіщення, коли рівні забруднення перевищують порогові значення безпеки, що дозволить вчасно втрутитися іншим допоміжним компонентам розумного дому або ж фізично людиною [26-28].

Одним із прикладів хмарної технології в IoT є Blynk (скріншот експлуатації даного сервісу наведено на рисунку 2.4) – платформа для створення інтерфейсів керування IoT-пристроями за допомогою смартфона.

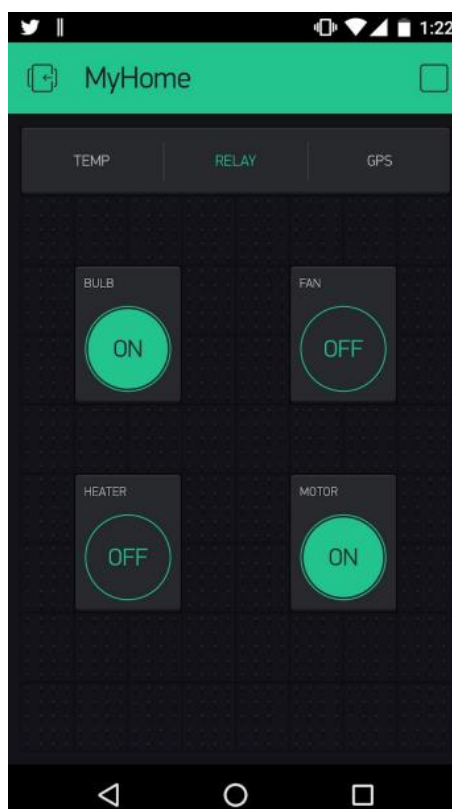


Рисунок 2.4 – Скріншот роботи програми Blynk розумного будинку [29]

Вона дозволяє підключити мікроконтролери (ESP8266, ESP32, Arduino) до хмарного сервера, а також створити мобільний застосунок з віртуальними кнопками, слайдами та графіками – без необхідності програмувати інтерфейс вручну [30]. Blynk підтримує протоколи Wi-Fi, Ethernet, Bluetooth і забезпечує швидку інтеграцію через просту бібліотеку [31].

Ubidots – це хмарна IoT-платформа, орієнтована на збір, зберігання та візуалізацію даних з пристроїв, зосереджена на веб-дашбордах, аналітиці та автоматизації. На рисунку 2.5 наведено панель керування системою у Ubidots.



Рисунок 2.5 – Панель керування системою безпеки Ubidots [32]

Ubidots більше підходить для аналітики IoT-даних і візуалізації. Вона надає веб-дашборди [33], API для інтеграції, можливості обробки великих обсягів даних, створення правил та тригерів. Часто використовується у промислових, аграрних або освітніх проєктах, де важливо не лише керування, а й аналіз показників з багатьох пристроїв [34, 35].

На рисунку 2.6 наведено дашборд Arduino IoT Cloud, який використовується для моніторингу стану навколишнього середовища.

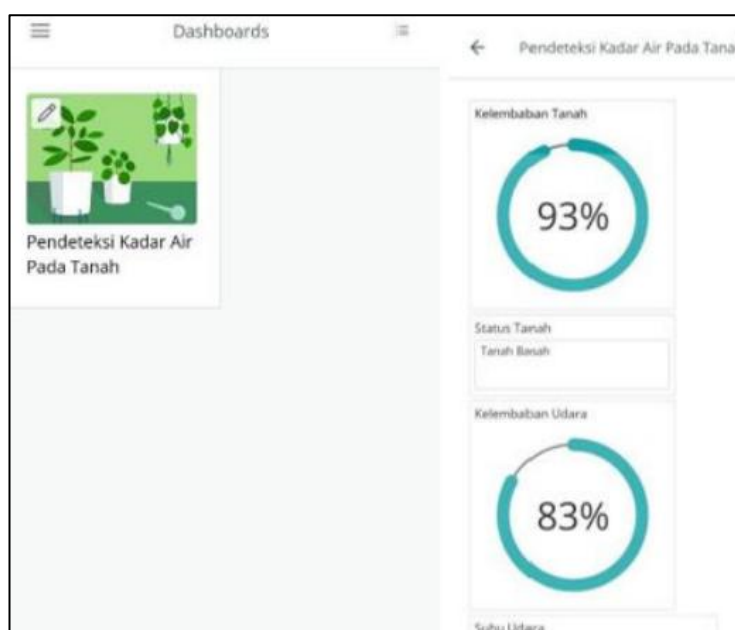


Рисунок 2.6 – Дашборд Arduino IoT Cloud, який використовується для моніторингу стану навколишнього середовища [36]

Arduino IoT Cloud – це офіційна хмарна платформа від Arduino для простого підключення, моніторингу та керування пристроями через веб-інтерфейс або мобільний застосунок [37, 38]. Вона забезпечує автоматичну синхронізацію змінних між пристроєм і хмарою, має просту інтеграцію з платами Arduino, підтримку ESP32/ESP8266, а також можливість створення дашбордів без складного коду [39].

У таблиці 2.1 наведено порівняльну таблицю трьох популярних IoT-платформ: Blynk, Ubidots та Arduino IoT Cloud. Вона демонструє відмінності за наступними критеріями: функціональність, протоколи зв'язку, сумісність пристроїв та типи віджетів.

Таблиця 2.1 – Порівняльна таблиця IoT-платформ: Blynk, Ubidots та Arduino IoT Cloud

Характеристика	Blynk	Ubidots	Arduino IoT Cloud
Основна функція	Керування IoT-пристроями через мобільний застосунок	Візуалізація, зберігання й аналітика IoT-даних	Хмарне підключення та моніторинг Arduino/ESP-плат
Протоколи зв'язку	HTTP, MQTT, WebSockets	MQTT, HTTP, TCP/UDP	MQTT
Підтримувані пристрої	Arduino, ESP8266/ESP32, Raspberry Pi тощо	Будь які з підтримкою MQTT/HTTP	Arduino, ESP8266, ESP32
Віджети, дашборди	Віртуальні кнопки, графіки, LCD, слайдери	Інтерактивні графіки, табличні дані, геолокація	Слайдери, діаграми, текстові поля тощо

Кожна платформа має свої сильні сторони: Blynk є найкращим вибором для простого управління IoT-пристроями через мобільний додаток, Ubidots – для складної візуалізації та аналітики даних, а Arduino IoT Cloud ідеально підходить

для проєктів, зосереджених на пристроях Arduino та ESP з мінімальними налаштуваннями.

2.3.2 Архітектура хмарних рішень для моніторингу якості повітря

Можна виділити наступні архітектурні моделі хмарних платформ для IoT-моніторингу:

- PaaS (Platform as a Service) – використовується для централізованої обробки даних (Google Cloud IoT, AWS IoT, Microsoft Azure IoT).
- SaaS (Software as a Service) – забезпечує доступ до даних для кінцевих користувачів через мобільні додатки або веб-інтерфейси.
- Edge Computing – зменшує затримки передачі даних, виконуючи попередню обробку безпосередньо на пристроях.

На рисунку 2.7 наведено структуру-алгоритм аналітики Інтернету речей за допомогою Azure Data Explorer і Azure IoT Hub.

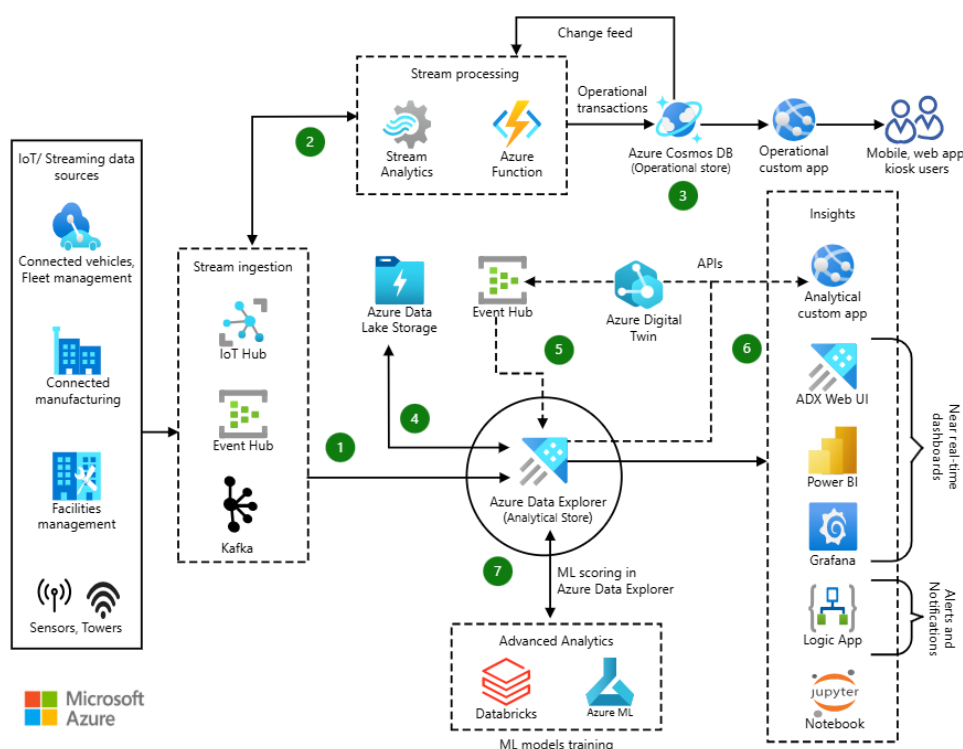


Рисунок 2.7 – Структуру-алгоритм аналітики Інтернету речей за допомогою Azure Data Explorer і Azure IoT Hub [40]

Azure Event Hubs, Azure IoT Hub і Kafka збирають великі потоки даних у реальному часі, зокрема логи, події та дії користувачів. Azure Functions або Azure Stream Analytics оперативно обробляють ці дані. Потім Azure Cosmos DB зберігає їх у форматі JSON для використання у додатках. Для аналітики Azure Data Explorer приймає ці дані, забезпечуючи високу швидкість обробки [40-43].

Дані можна завантажувати з Azure Blob Storage або Azure Data Lake Storage через Event Grid. Крім того, можна експортувати дані у Parquet-формат і запитувати їх у Azure Data Explorer. Для одночасної роботи з операційними та аналітичними даними вони можуть надходити паралельно в Azure Data Explorer і Azure Cosmos DB або спочатку у Cosmos DB, а потім у Data Explorer [40].

2.3.3 Переваги та недоліки впровадження хмарних рішень у системах моніторингу

Впровадження хмарних рішень у системи моніторингу якості повітря дозволяє значно покращити точність аналізу та автоматизацію управління мікрокліматом у розумних будинках. Завдяки використанню потокової аналітики та машинного навчання, такі сервіси, як Azure Stream Analytics, Google Cloud AI та AWS IoT, забезпечують оперативне виявлення змін рівня забруднення та адаптацію систем житлових і комерційних приміщень до нових умов [44, 45]. Наприклад, при виявленні підвищеного рівня CO₂ або шкідливих частинок система може автоматично активувати вентиляцію, змінювати параметри роботи кондиціонерів або сповіщати користувачів через мобільний додаток [46-49].

Серед переваг впровадження хмарних рішень у системах моніторингу якості повітря можна виокремити:

- масштабованість та гнучкість – можливість підключення великої кількості сенсорів без потреби у власній серверній інфраструктурі.
- обробка в реальному часі, який передбачає в собі швидкий аналіз даних та автоматичне реагування (наприклад, вмикання вентиляції або очищувачів повітря).

- інтеграція з AI та ML, наприклад, прогнозування рівня забруднення за допомогою алгоритмів машинного навчання.
- глобальний доступ до даних – користувачі можуть контролювати якість повітря через веб інтерфейси та мобільні додатки з будь якої точки світу.
- автоматичне резервування даних, що сприяє зниженню ризику втрати інформації завдяки розподіленому зберіганню в хмарі.

Попри всі переваги, залишається питання надійності та швидкості обробки даних, особливо у випадках нестабільного інтернет-з'єднання або високих навантажень на хмарні сервери. Щоб мінімізувати ці ризики, використовують гібридні підходи, поєднуючи локальну обробку даних із хмарними аналітичними платформами. Це дозволяє зберігати критично важливу інформацію локально та лише періодично синхронізувати її з хмарними сервісами для глибшого аналізу та довгострокового прогнозування. У майбутньому покращення алгоритмів обробки, розширення можливостей периферійних обчислень (edge computing) і впровадження 5G-зв'язку допоможуть ще більше підвищити ефективність таких систем [50-52].

На основі дослідження даної тематики виділено основні недоліки впровадження хмарних рішень у системах моніторингу якості повітря:

- залежність від інтернету – у разі перебоїв у з'єднанні система може втрачати доступ до даних у режимі реального часу;
- безпекові ризики (загрози кібератак, несанкціонований доступ до даних);
- затримки в обробці – при великому потоці інформації можливе сповільнення аналізу та реакції системи;
- правові обмеження (регулювання збереження та обробки даних у різних країнах різне, і це може ускладнювати використання міжнародних хмарних платформ).

Хмарні рішення значно покращують ефективність моніторингу якості повітря, особливо при використанні оптимізованих стратегій безпеки та комбінованих локально-хмарних підходів.

2.4 Норми якості повітря

В Україні немає чітких норм, які б регулювали якість повітря. Для прикладу, норми якості повітря були поділені на чотири рівні CO та запропоновані Міністерством праці та соціальних питань Іспанії. Рівень ppm CO наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Норма рівня CO у приміщеннях, запропоновані Міністерством праці та соціальних питань Іспанії [9]

Рівень	Якість	Концентрація (ppm)
1	Добра	≤ 350
2	Помірна	(350, 500]
3	Низька	(500, 800]
4	Критична	> 800

Щоб контролювати рівень CO₂ у приміщенні, слід регулярно провітрювати та використовувати датчики для моніторингу. Також важливо дотримуватись міжнародних норм якості повітря.

У дослідженні авторів зведені рекомендовані рівні вологості повітря в різних країнах у приміщеннях [53]. Дана інфографіка наведена на рисунку 2.8.

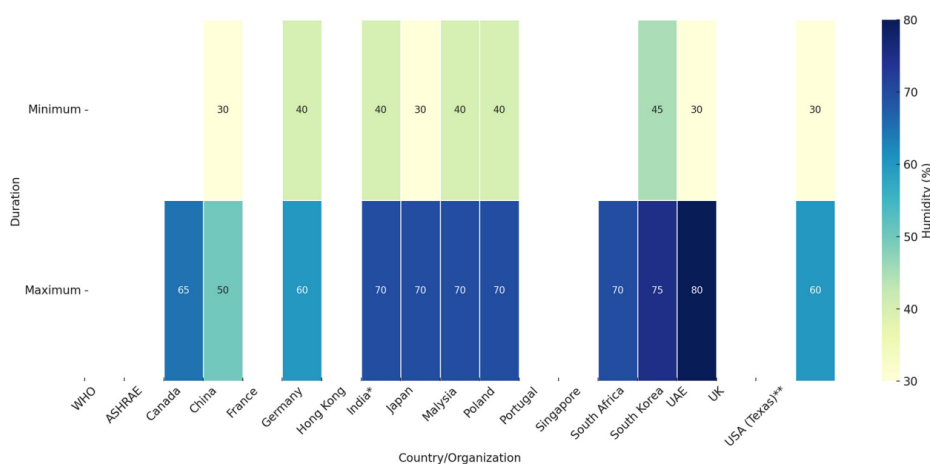


Рисунок 2.8 – Рекомендовані норми вологості повітря у приміщеннях різних країн світу [53]

По нормах в ОАЕ вологість повітря повинна коливатися у межах від 30-80% .Також, є зведені рекомендовані рівні температури повітря в різних країнах у приміщеннях [53]. Дана інфографіка наведена на рисунку 2.9. За нормами, у Японії температура повітря повинна бути в межах 22 до 25°C, у Великобританії – не більше 28°C.

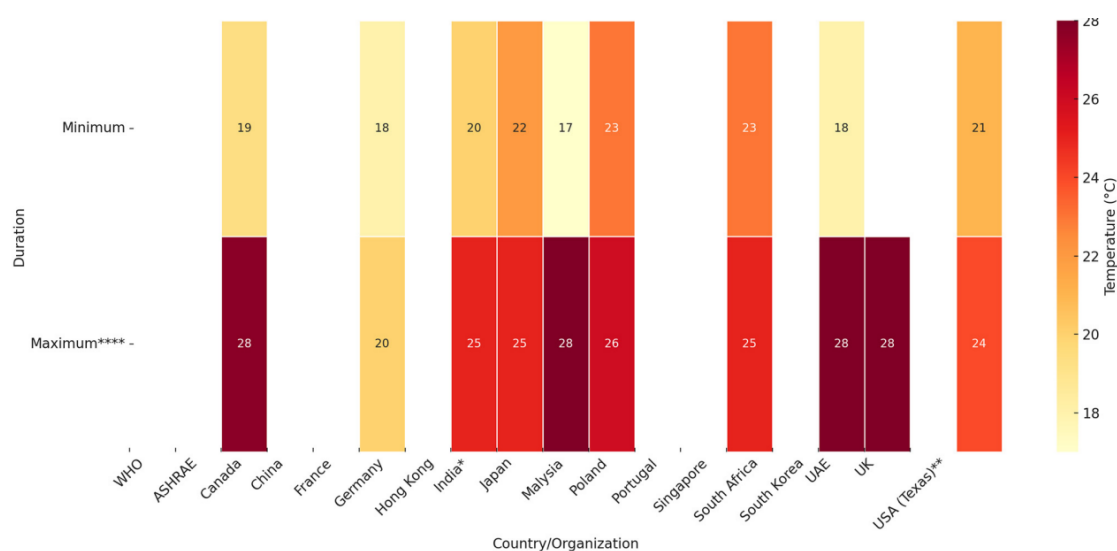


Рисунок 2.9 – Рекомендовані норми температури повітря у приміщеннях різних країн світу [53]

Одним із можливих варіантів для контролю якості повітря може бути MG-811, зовнішній вигляд якого наведений на рисунку 2.10.



Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд датчика вимірювання CO₂ MG-811

Датчик вимірювання CO₂ MG-811 призначений виключно для CO₂, тобто, є спеціалізованим та є придатним для моніторингу побутового рівня CO₂.

Його аналогом є SCD30, зовнішній вигляд якого наведено на рисунку 2.11.

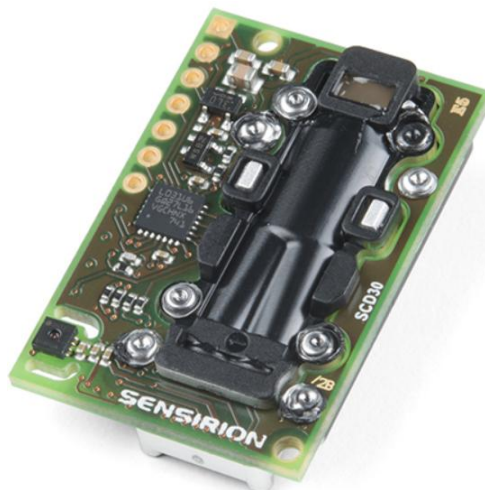


Рисунок 2.11 – Зовнішній вигляд датчика вимірювання CO₂ SCD30

Його основна особливість – вимірює не тільки CO₂, а ще температуру та вологість повітря. Точність вимірів даного датчика – $\pm (30 \text{ ppm} + 3\%)$.

2.5 Висновок до другого розділу

В другому розділі кваліфікаційної роботи рівня «Магістр» описано методи дослідження систем моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку. На основі одного із них, проаналізовано ризики впровадження системи моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку.

Досліджено роль хмарних технологій у зборі та обробці даних про якість повітря. Створено порівняльну таблицю для хмарних технологій в IoT. Виділені переваги та недоліки впровадження хмарних рішень у системи моніторингу. Описано норми якості повітря.

3 СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ І ЯКОСТІ ПОВІТРЯ ТА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

3.1 Проєктування системи контролю та якості повітря для розумного будинку на базі IoT

На рисунку 3.1 наведено концептуальну модель системи контролю і якості повітря на основі IoT.

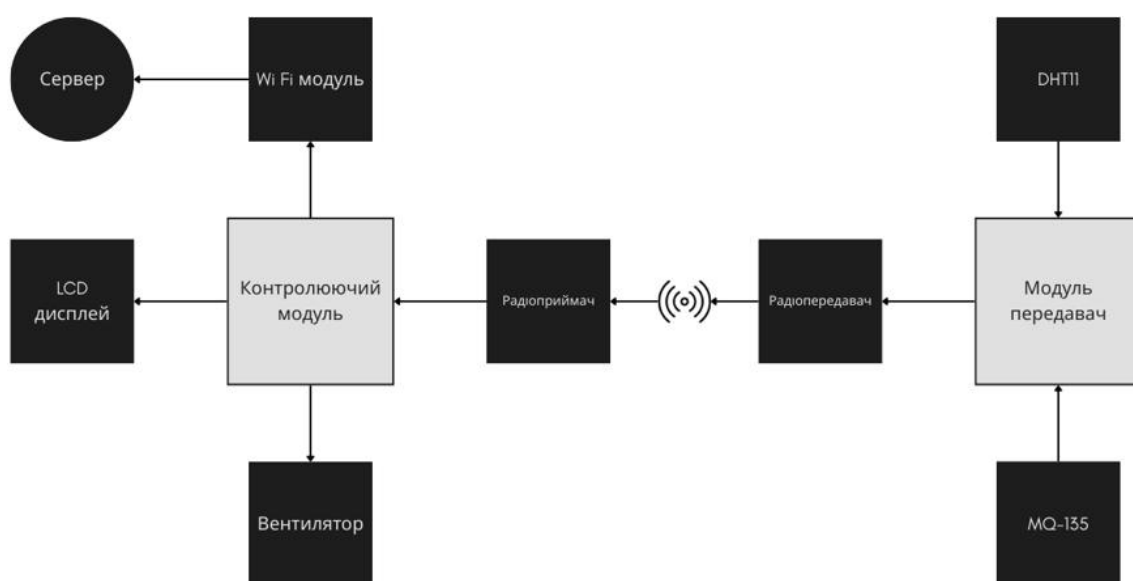


Рисунок 3.1 – Концептуальна модель системи контролю і якості повітря на основі IoT

Основними компонентами даної моделі є контролюючий модуль і модуль передавач. Два контролера Arduino Nano виконують дану роботу. Модуль передавач – збирає інформацію із датчиків, при цьому контролюючий – виконує функції вентиляції, відправляє дані на сервер та LCD дисплей.

Керуючий модуль оперує збором інформації з двох датчиків: MQ-135 (модуль якості повітря) та DHT-11 (датчика якості повітря та датчика температури та вологості, зовнішній вигляд якого наведений на рисунку 3.2).

Виконавчий модуль керує вихідними пристроями (вітряком та LCD-дисплеєм), а також передає дані на сервер, на якому, в будь який момент часу користувач може переглянути дані.

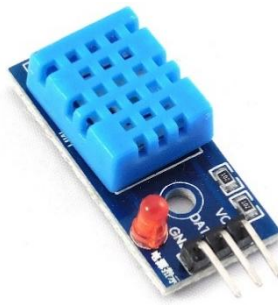


Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд датчика вологості та температури повітря DHT11

Список компонентів системи контролю і якості повітря на основі IoT наведений у Додатку Е.

Схема електрична принципова для передавача наведена на рисунку 3.3.

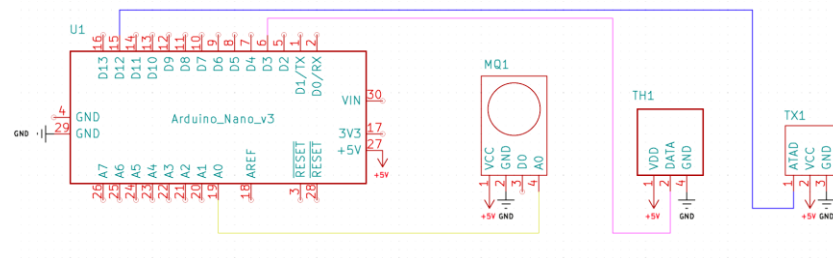


Рисунок 3.3 – Схема електрична принципова модуля передавача системи контролю і якості повітря на основі IoT

Схема електрична принципова для контролюючого модуля наведена на рисунку 3.4.

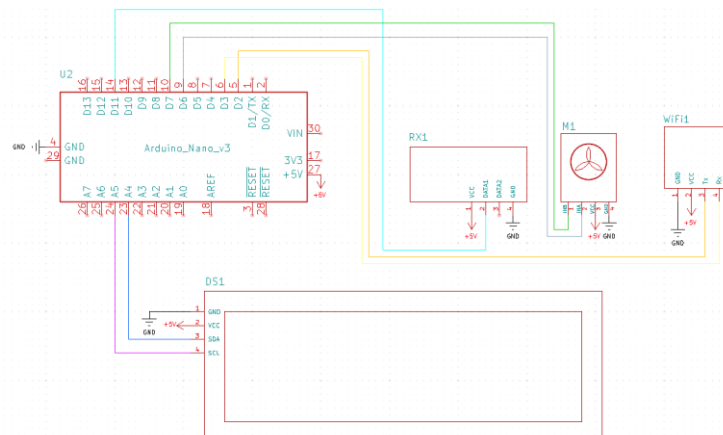


Рисунок 3.4 – Схема електрична принципова контролюючого модуля системи контролю і якості повітря на основі IoT

Схема електричних з'єднань системи моніторингу та контролю якості повітря (модуля передавача) наведена на рисунку 3.5.

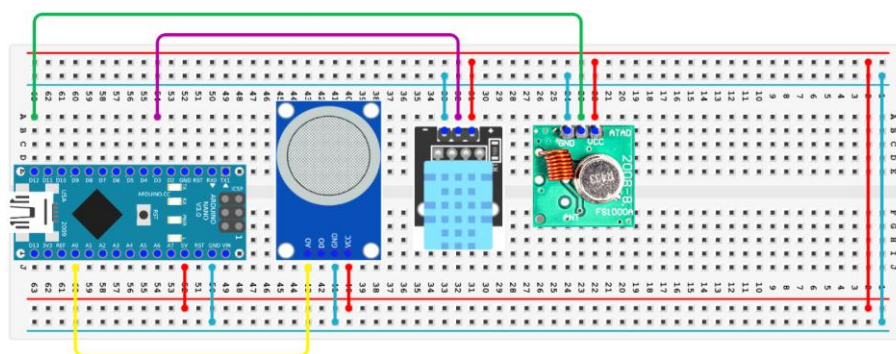


Рисунок 3.5 – Схема електричних з'єднань системи моніторингу та контролю якості повітря (модуля передавача)

Схема електричних з'єднань системи моніторингу та контролю якості повітря (керуючого модуля) наведена на рисунку 3.6.

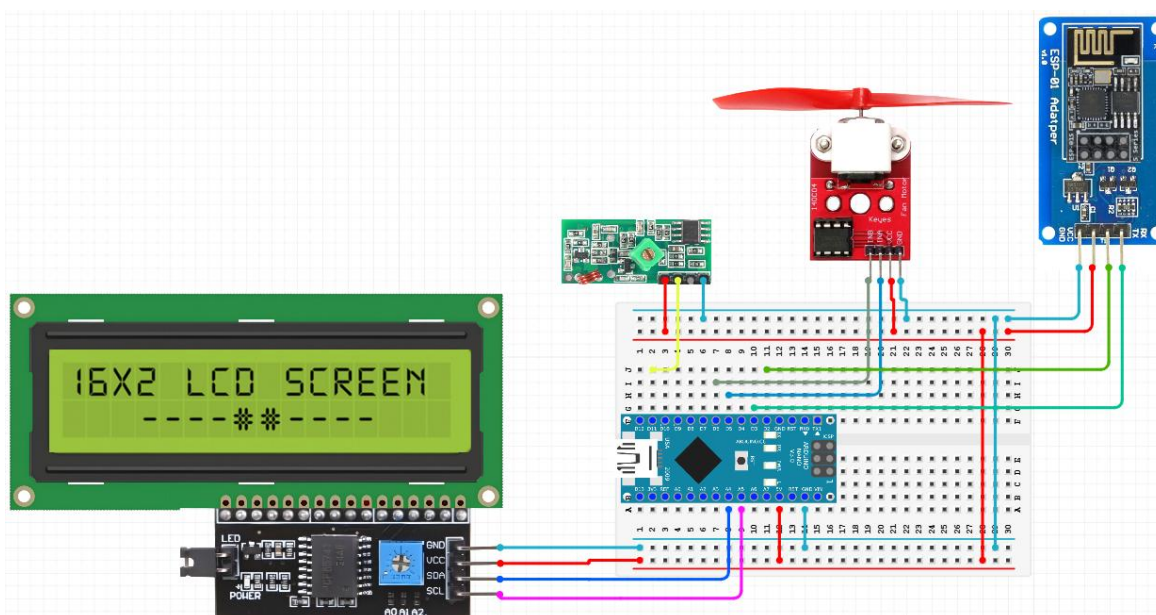


Рисунок 3.6 – Схема електричних з'єднань системи моніторингу та контролю якості повітря (керуючого модуля)

Особливість даної системи контролю та якості повітря на базі IoT для розумного будинку є дворівнева архітектура (розділення на два рівні, збір даних і контроль, підвищує стабільність роботи, забезпечує надійність та зменшує навантаження на кожен окремий модуль). Її основний функціонал здатний

працювати без інтернет з'єднання. При наявності інтернет з'єднання, можна переглянути інформацію з датчиків системи у мобільному або десктопному додатку Blynk.

3.2 Написання тексту програми для системи контролю та якості повітря для розумного будинку на базі IoT

Тексти програми для системи моніторингу та контролю якості повітря була реалізована в програмному середовищі Arduino IDE, зовнішній вигляд якої наведений на рисунку 3.7.

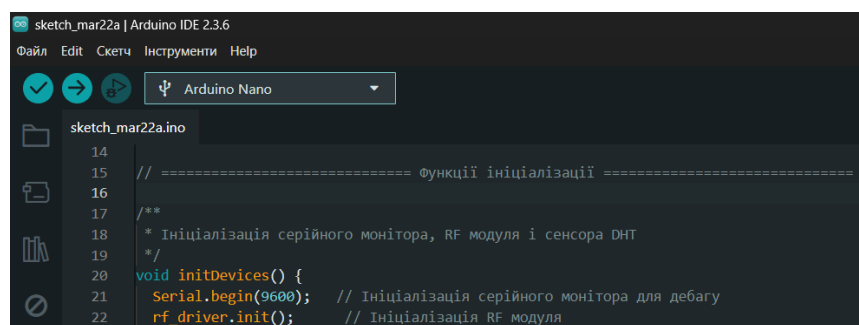


Рисунок 3.7 – Процес написання текстів програми у середовищі Arduino IDE

Алгоритм роботи модуля контролюючого модуля наведено у додатку Ж. Для зчитування інформації з датчика температури і вологості та датчика якості повітря було створено функцію `readSensorData()`. Як результат вона повертає стрічку, яку в подальшому буде відправлено на приймач. Для зчитування вологості, температури повітря було написано наступний код:

```
float h = dht.readHumidity(); // Вологість
float t = dht.readTemperature(); // Температура (в Цельсіях)
int airQ = analogRead(airQpin); // Якість повітря
```

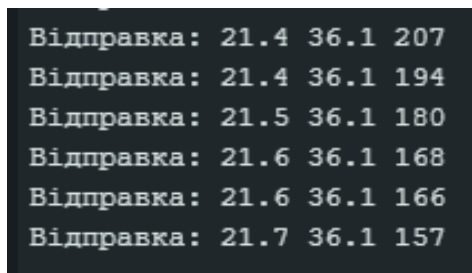
Код стрічки для пересилання інформації, в результаті конкатенації наведено нижче:

```
String message = String(t, 1) + " " + String(h, 1) + " " +
String(airQ);
```

Для надсилення даних створено наступну функцію:


```
void sendRFMessage(String message) {
  Serial.println("Відправка: " + message);
  rf_driver.send((uint8_t *)message.c_str(), message.length());}
```

Дана функція надсилає дані на іншу частину системи, яка контролює та опрацьовує інформацію про показники якості повітря. Сформована стрічка для пересилання інформації (виведена на Serial Monitor) наведена на рисунку 3.8.



```
Відправка: 21.4 36.1 207
Відправка: 21.4 36.1 194
Відправка: 21.5 36.1 180
Відправка: 21.6 36.1 168
Відправка: 21.6 36.1 166
Відправка: 21.7 36.1 157
```

Рисунок 3.8 – Сформована стрічка для пересилання інформації Serial Monitor

Алгоритм роботи контролюючого модуля наведено у додатку 3.

Модуль приймач має складні для ініціалізації компоненти, було прийнято рішення про створення додаткових функцій. Для ініціалізації LCD дисплею було створено метод, який наведено у лістингу 3.1.

Лістингу 3.1 – Метод для ініціалізації LCD дисплею

```
void initLCD() {
  lcd.init();           // Ініціалізація LCD
  lcd.backlight();      // Включення підсвічування
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Waiting for data...");
}
```

Ініціалізація RF модуля наведена у лістингу 3.2.

Лістингу 3.2 – Метод для ініціалізації RF модуля

```
void initRF() {
  if (!rf_driver.init()) {
    Serial.println("Помилка ініціалізації RF модуля!");
  } else {
    Serial.println("RF модуль готовий.");
  }
}
```

Для виводу інформації на фізичний дисплей було створено метод `displayData`. Код даного методу наведено у лістингу 3.3.

Лістингу 3.3 – Метод для виводу інформації на фізичний дисплей

```
void displayData(float temp, float hum, int airQ) {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("T:");
    lcd.print(temp, 1);          // Температура з 1 знаком після коми
    lcd.print((char)223);        // Символ градуса
    lcd.print("C H:");
    lcd.print(hum, 0);           // Вологість без знаків після коми
    lcd.print("%");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("AirQ:");
    lcd.print(airQ);
}
```

Метод для отримання інформації з передавача наведений у лістингу 3.4.

Лістинг 3.4 – Метод для отримання інформації з передавача

```
void handleMessage(char* message) {
    char* token = strtok(message, " ");
    if (token != NULL) {
        float temperature = atof(token);
        token = strtok(NULL, " ");
        if (token != NULL) {
            float humidity = atof(token);
            token = strtok(NULL, " ");
            if (token != NULL) {
                int airQuality = atoi(token);
                // Виведення даних
                displayData(temperature, humidity, airQuality);
            }
        }
    }
}
```

Даний метод приймає стрічку `message`. В результаті виконання даного методу, перш за все, перевіряється, чи коректно було передані дані. Після, викликається метод `displayData` для виводу даних на LCD дисплей. Алгоритм роботи модуля приймача наведено у додатку Е.

У лістингу 3.5 наведено частинка коду, яка задає умову для ввімкнення вентиляції. Якщо температура більша рівна 25 градусів Цельсія наступні три

заміри, то вмикається вентилятор, якщо температура менше – вентилятор вимикається.

Лістинг 3.5 – Частина коду, яка задає умову для ввімкнення вентиляції

```
if (temperature >= THRESHOLD) {
    tempCounter++;
    Serial.print("Підтвердження: ");
    Serial.println(tempCounter);
} else {
    tempCounter = 0;
    Serial.println("Умова не виконана – лічильник скинуто");
    stopMotor();
}
if (tempCounter >= CONFIRM_COUNT) {
    startMotor();
}
delay(1000); // Чекати 1 секунду між зчитуваннями}
```

Код конфігурації Blynk та Wi-Fi наведено у лістингу 3.6. Дана частина відповідає за налаштування авторизаційного токена Blynk, встановлення з'єднання між Arduino та ESP-01 та використання програмного UART (порти 2 та 3) для обміну даних.

Лістинг 3.6 – Конфігурація Blynk і Wi-Fi

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "*****"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "*****"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "*****"
char ssid[] = "*****";
char pass[] = "*****";
SoftwareSerial EspSerial(2, 3); // RX, TX
#define ESP8266_BAUD 9600
ESP8266 wifi(&EspSerial);
```

Для надсилання даних на віртуальні потоки даних, було використано наступну частинку коду:

```
Blynk.virtualWrite(V0, temperature);
Blynk.virtualWrite(V1, humidity);
Blynk.virtualWrite(V2, airQuality);
```

У головному циклі програми, викликано наступну функцію для стабільної роботи Arduino з Blynk:

```
Blynk.run();
```

Дана функція:

- забезпечує обслуговування внутрішніх процесів бібліотеки Blynk;
- відповідає за утримання активного з'єднання з сервером Blynk;
- приймає та надсилає дані через ESP1 (в режимі AT-команд);
- дозволяє обробляти події, такі як вхідні команди з мобільного застосунку або надсилання даних до віджетів інтерфейсу користувача.

Якщо цю функцію пропустити або затримати (наприклад, великим `delay()`), з'єднання з сервером буде втрачено, і передача даних припиниться.

3.3 Тестування системи контролю та якості повітря розумного будинку на базі IoT

Після реалізації апаратної та програмної частини системи було проведено поетапне тестування роботи кожного модуля, а також комплексна перевірка працездатності системи в цілому

На рисунку 3.9 наведено прототип модуля передавача системи контролю та якості повітря основаної на базі IoT для розумного будинку.

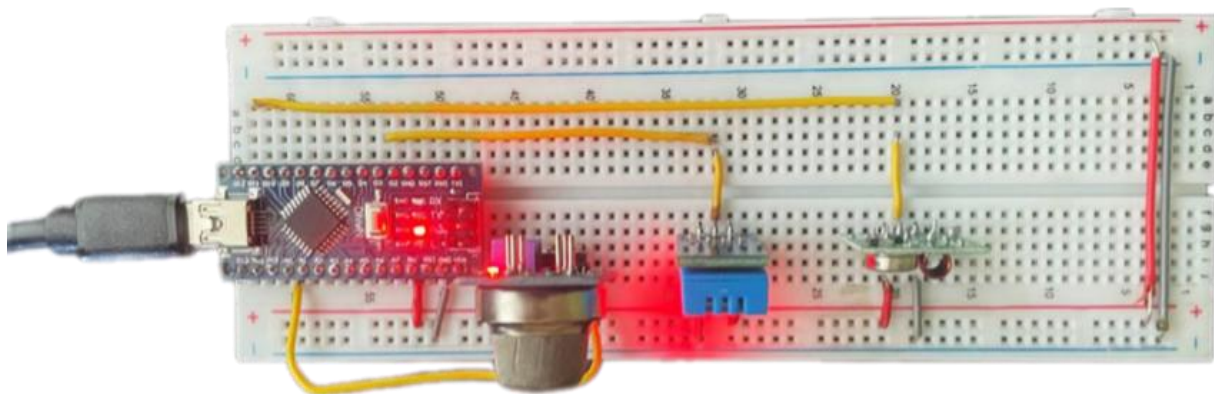


Рисунок 3.9 – Прототип модуля передавача системи контролю та якості повітря основаної на базі IoT для розумного будинку

На рисунку 3.10 наведено прототип модуля приймача системи контролю та якості повітря основаної на базі IoT для розумного будинку.

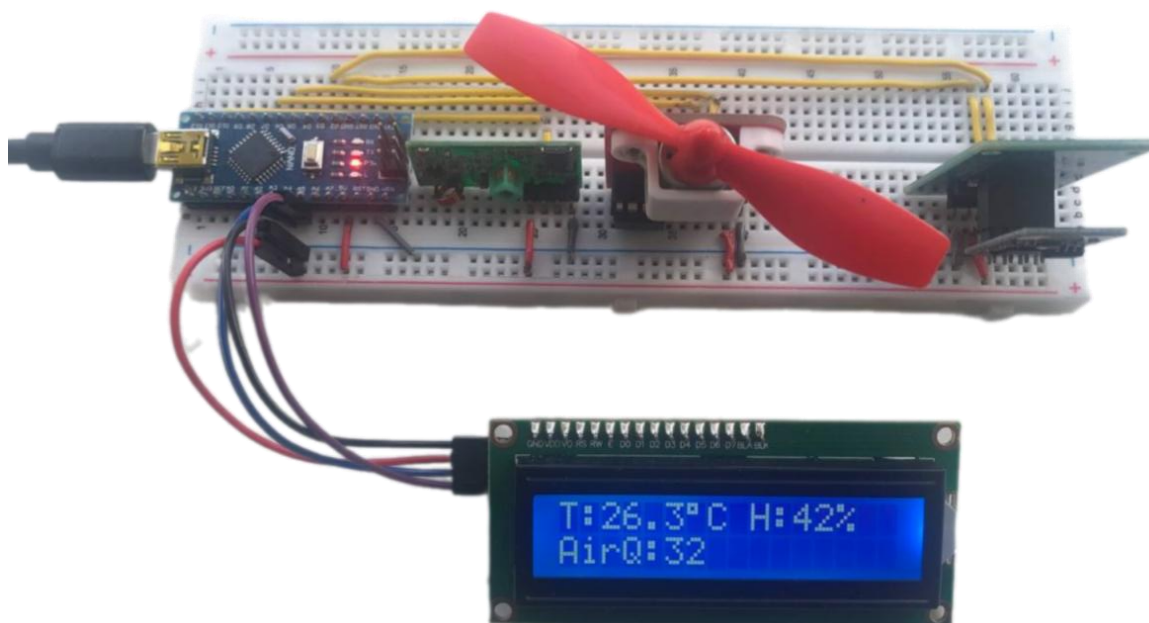


Рисунок 3.10 – Прототип модуля приймача системи контролю та якості повітря основаної на базі IoT для розумного будинку

На першому етапі тестувалася робота радіомодуля 433 МГц, який відповідає за прийом даних з модуля передавача, де підключено сенсори температури, вологості та якості повітря. Для перевірки коректності прийому використовувався серійний монітор Arduino IDE. Результат роботи наведено на рисунку 3.11.

```

Вивід  Монітор порту X
Повідомлення (Введіть повідомлення для відпр
Отримане повідомлення: 21.9 46.5 45
Температура: 21.90 °C
Вологість: 46.50 %
Якість повітря: 45
Умова не виконана — лічильник скинуто
Отримане повідомлення: 22.0 46.4 45
Температура: 22.00 °C
Вологість: 46.40 %
Якість повітря: 45
Умова не виконана — лічильник скинуто
  
```

Рисунок 3.11 – Перевірка коректності прийому інформації з модуля приймача за допомогою серійного монітору

Результат перевірки коректності прийому інформації з модуля приймача за допомогою рідкокристалічного дисплею наведено на рисунку 3.12.



Рисунок 3.12 – Перевірка коректності прийому інформації з модуля приймача за допомогою рідкокристалічного дисплею

За допомогою компонента ESP8266 ESP-01 було створено зв'язок між сервером (платформа Blynk) та модулем керування. Результат роботи даної системи на сервері наведено на рисунку 3.13.

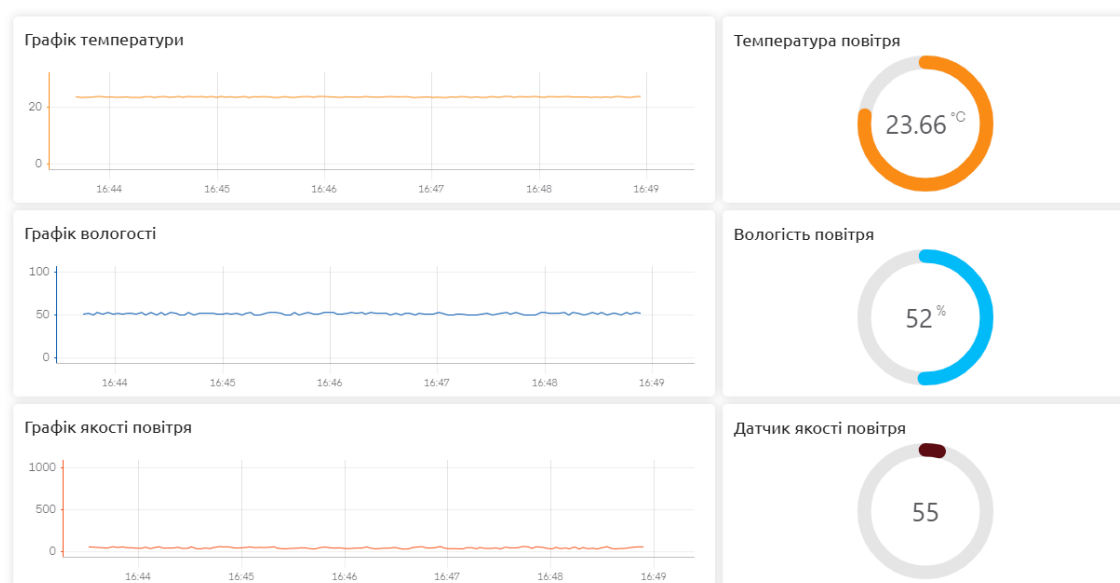


Рисунок 3.13 – Результат роботи системи контролю та якості повітря основаної на базі IoT для розумного будинку на платформі Blynk

На сервісі Blynk інформацію було виведено у двох форматах: у форматі графіків та у форматі датчика (радіальне представлення).

3.4 Постановка експериментальної задачі

Дана частина роботи складається з наступних експериментів над системою контролю та якості повітря для розумних будинків на базі IoT:

- знаходження відносної похибки системи;
- знаходження максимальної похибки системи;
- проаналізовано результати кореляції показників температури, вологості та якості повітря.

Мета даних експериментів – проаналізувати точність системи, дослідити кореляцію результатів показників температури вологості та якості повітря.

В експерименті по знаходженню відносної похибки системи, у стабільному режимі, після «прогріву» компонентів системи на протязі 30хв, було скопійовано та завантажено скрипт на Arduino Nano, який 50разів, щосекундно, робив заміри з датчиків температури та вологості. Як результат, ми отримали набір даних з рядками коду. Обчислено середнє значення та стандартне відхилення (σ). Чим менша σ – тим більша стабільність системи.

В експерименті по знаходженню максимальної похибки системи, як і в експерименті по знаходженню відносної похибки, у стабільному режимі, після «прогріву» компонентів системи на протязі 30хв, було скопійовано та завантажено скрипт на Arduino Nano, який 50разів, щосекундно, робив заміри з датчиків температури та вологості. Як результат, ми отримали набір даних з рядками коду. Далі, було знайдено максимальне та мінімальне значення системи. Після, від максимальної похибки віднімали мінімальну та ділили на два. Тобто, було знайдено найбільше можливе відхилення від середнього значення в межах цієї вибірки.

В експериментальній частині дослідження результати кореляції показників температури, вологості та якості повітря було взято за період 24-ох годинного

спостереження. Як результат, знайдено залежності між результатами: наскільки температура впливає на вологість, тощо.

3.5 Написання тексту програм та результати експериментів

Для зчитування даних з csv файлів було використано наступний метод:

```
df = pd.read_csv("dht_mq135_data.csv")
```

Для обчислення середньо арифметичного та стандартного відхилення було використано частинку коду, яка наведена у лістингу 3.7.

Лістинг 3.7 – Обчислення середньо арифметичного та стандартного відхилення

```
metrics = {
    'Temperature': {'mean': df['Temperature'].mean(), 'std':
df['Temperature'].std()},
    'Humidity': {'mean': df['Humidity'].mean(), 'std':
df['Humidity'].std()},
    'MQ135_raw': {'mean': df['MQ135_raw'].mean(), 'std':
df['MQ135_raw'].std()}, }
```

На рисунку 3.14 наведено вибірку температури з системи контролю та моніторингу якості повітря для розумного будинку на базі IoT.

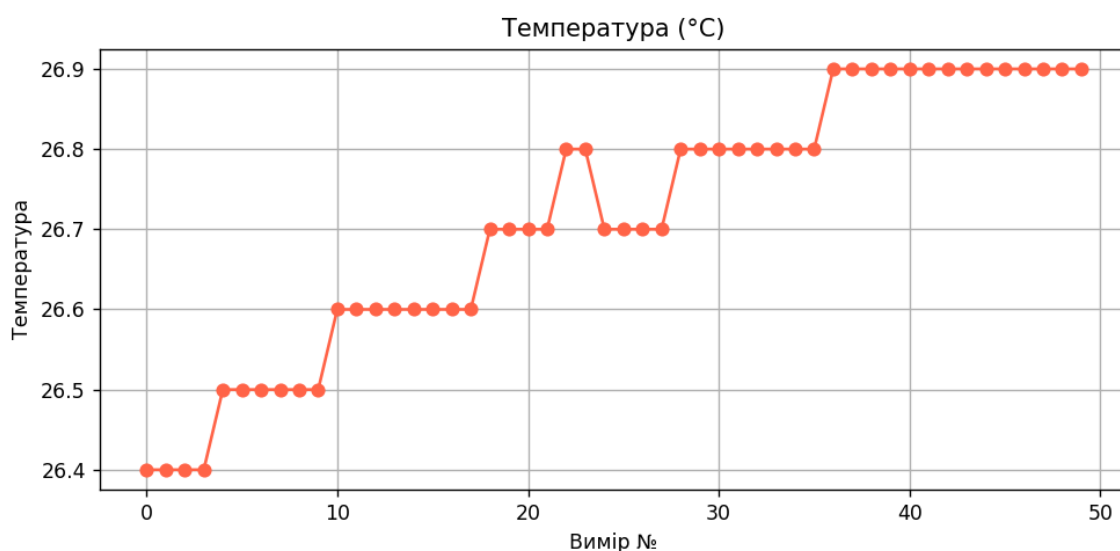


Рисунок 3.14 – Вибірка температури з системи контролю та моніторингу якості повітря для розумного будинку на базі IoT

На рисунку 3.15 наведено вибірку вологості з системи контролю та моніторингу якості повітря для розумного будинку на базі IoT.

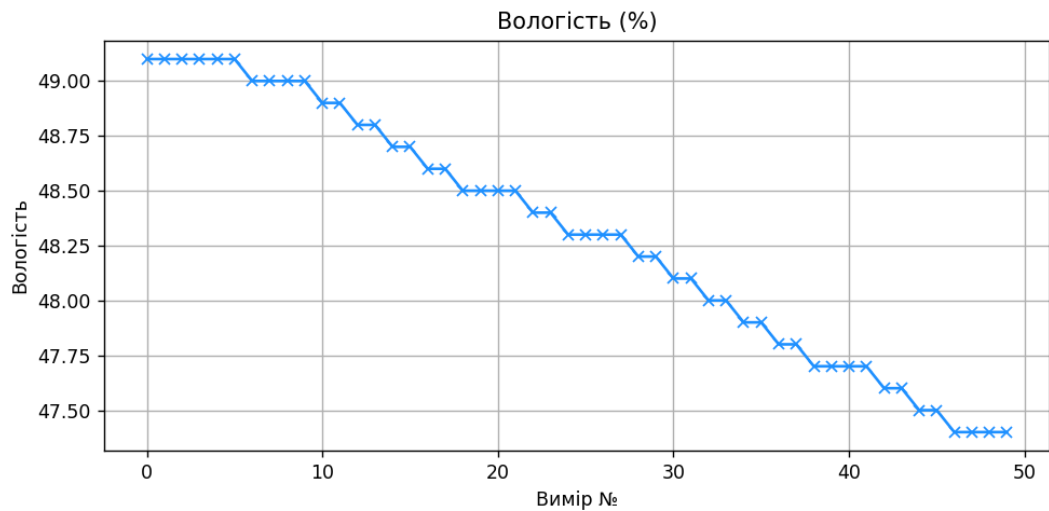


Рисунок 3.15 – Вибірка вологості з системи контролю та моніторингу якості повітря для розумного будинку на базі IoT

На рисунку 3.16 наведено вибірку якості повітря з системи контролю та моніторингу якості повітря для розумного будинку на базі IoT.

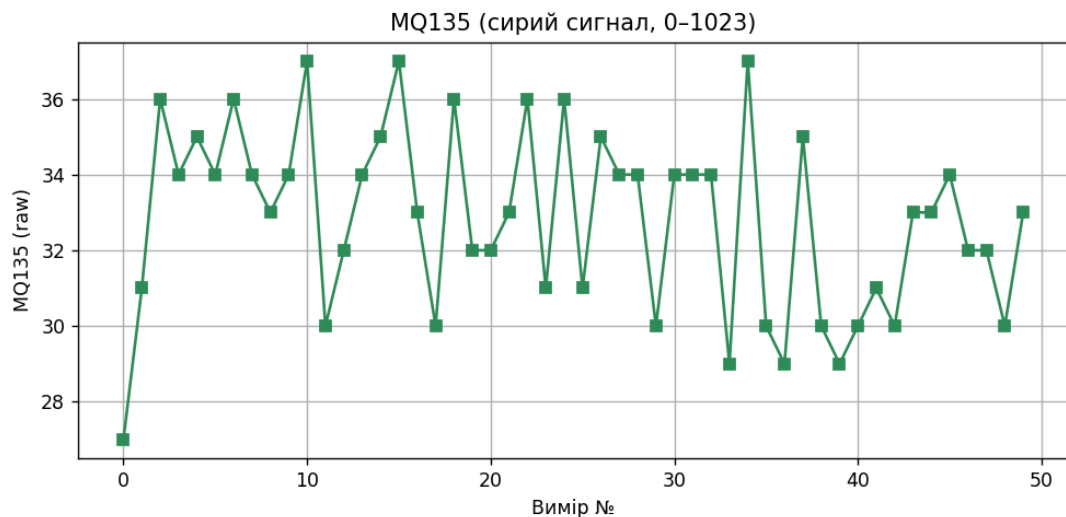


Рисунок 3.16 – Вибірка якості повітря з системи контролю та моніторингу якості повітря для розумного будинку на базі IoT

Середні арифметичні обраховані значення, а також, значення відносної похибки температури, вологості та якості повітря системи моніторингу та контролю якості повітря наведені у таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Середні арифметичні обраховані значення, а також, значення відносної похибки температури, вологості та якості повітря системи моніторингу та контролю якості повітря

Атрибут	Середнє арифметичне	Відносна похибка	Відносна похибка (%)
Температура (°C)	26.71	0.16	0.16%
Вологість (%)	48.30	0.57	0.57%
Якість повітря	32.82	2.46	2.46%

Для визначення максимальної похибки було використано наступний метод:

```
def max_error(series):
    return (series.max() - series.min()) / 2
```

Для виводу інформації використовується наступна частинка коду:

```
print(f"Максимальна похибка температури: {temp_error:.2f}")
print(f"Максимальна похибка вологості: {hum_error:.2f}")
print(f"Максимальна похибка MQ135: {mq135_error:.2f}")
```

Обраховані значення максимальної похибки температури, вологості та якості повітря системи моніторингу та контролю якості повітря наведені у таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Обраховані значення максимальної похибки температури, вологості та якості повітря системи моніторингу та контролю якості повітря

Атрибут	Середнє арифметичне	Максимальна похибка	Максимальна похибка (%)
Температура (°C)	26.71	0.25	0.94%
Вологість (%)	48.30	0.85	1.76%
Якість повітря	32.82	5.00	15.23%

Зведено результати в одну табличку із заявленою точністю від виробника. Вона представлена у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Зведені результати відносної, максимальної похибки та заявленої виробником точності

Атрибут	Відносна похибка	Максимальна похибка	Заявлена точність
Температура (°C)	0.16	0.25	2
Вологість (%)	0.57	0.85	5
Якість повітря	2.46	5.00	N/A

Щодо датчика вимірювання температури та вологості DHT11: відносна і максимальна похибка у межах заявленої точності. Варто зазначити, що датчик вимірювання диму MQ-135 немає заявленої точності і потребує калібрування в «ідеальних умовах».

Для проведення експерименту по визначення залежності атрибутів системи, були зібрані дані з системи контролю якості повітря у розумному будинку на базі IoT у csv файл (вибірка – 200, кожен рядочок якого був зібраний із частотою у 20 секунд).

На рисунку 3.17 наведено вибірку температури з системи контролю та моніторингу якості повітря для розумного будинку на базі IoT (200 рядків).

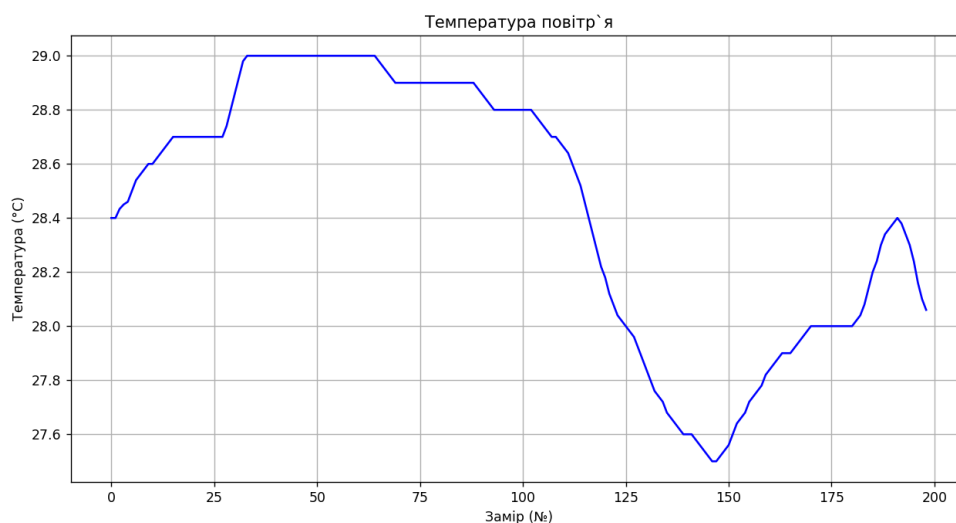


Рисунок 3.17 – Вибірка температури з системи контролю та моніторингу якості повітря для розумного будинку на базі IoT (200 рядків)

На рисунку 3.18 наведено вибірку вологості з системи контролю та моніторингу якості повітря для розумного будинку на базі IoT (200 рядків).

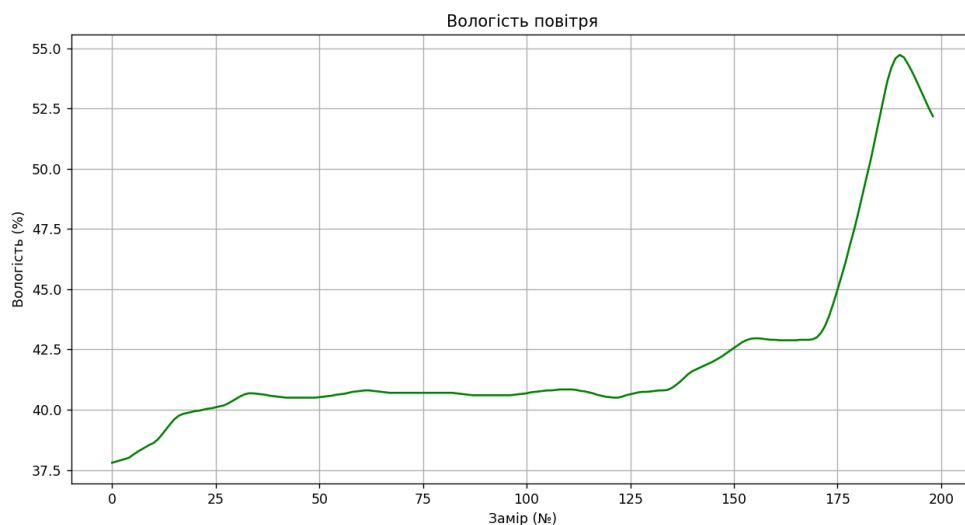


Рисунок 3.18 – Вибірka вологості з системи контролю та моніторингу якості повітря для розумного будинку на базі IoT (200 рядків)

На рисунку 3.19 наведено вибірку якості повітря з системи контролю та моніторингу якості повітря для розумного будинку на базі IoT (200 рядків).

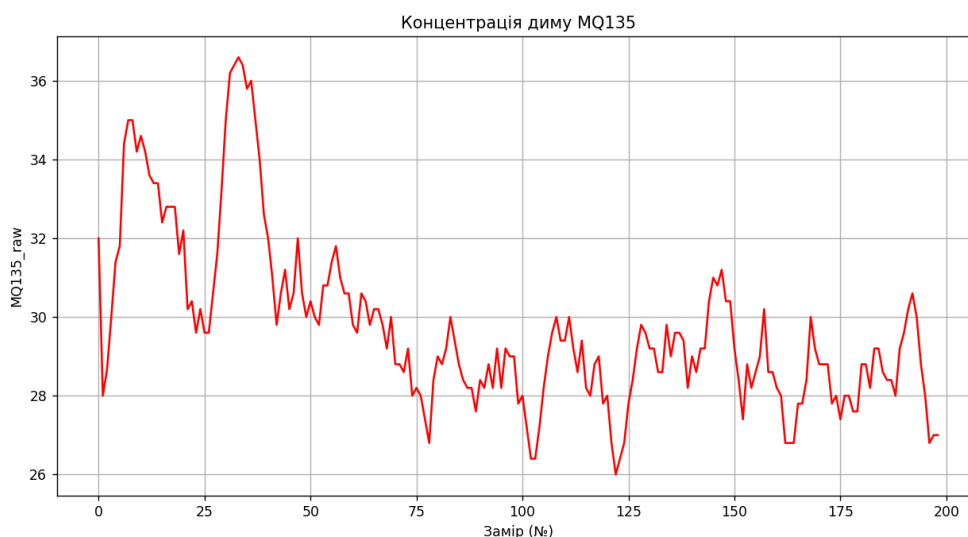


Рисунок 3.19 – Вибірka якості повітря з системи контролю та моніторингу якості повітря для розумного будинку на базі IoT (200 рядків)

Кореляційна матриця результатів спостереження наведена на рисунку 3.20.

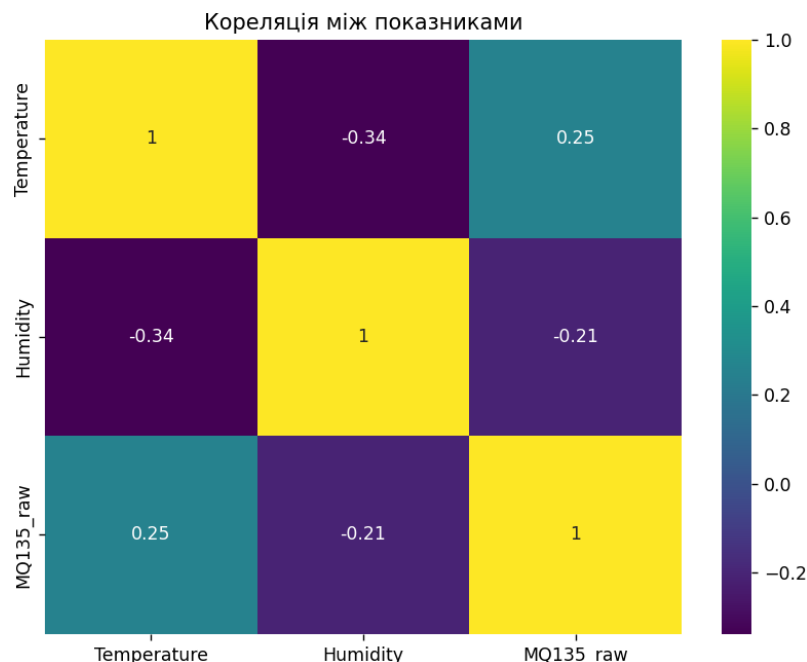


Рисунок 3.20 – Кореляційна матриця результатів спостереження за системою моніторингу і контролю якості повітря для розумного будинку на базі IoT

Кореляція між результатами температури та вологості повітря = 0,34. Це говорить про слабку зворотню залежність. Чим вища температура, тим нижча вологість. Залежність температури від концентрації диму = 0,25. Це говорить про те, що чим більша температура, тим більше забруднення повітря. Щодо залежності вологості повітря до якості повітря, тут бачимо негативну кореляцію (0,21), що говорить про наступне: чим вища вологість, тим чистіше повітря (проте, зв'язок слабкий).

Як висновок даного експерименту: найсильніший кореляційний зв'язок між температурою та вологістю. Проте, сильних кореляцій між показниками немає.

3.6 Висновок до третього розділу

В третьому розділі кваліфікаційної роботи рівня «Магістр» було створено прототип системи контролю та якості повітря для розумного будинку на базі IoT, та на основі нього виконано ряд експериментів. В результаті, було створено концептуальну модель системи, схеми електричні принципи (для передавача та для контролюючого Arduino Nano), створених у програмному забезпеченні KiCad.

Створено схеми електричних з'єднань (у програмному забезпеченні Circuit Designer IDE). Описано код програм контролерів.

В експериментальній частині розділу було визначено відносну та максимальну похибки системи. Зроблені висновки, що система працює коректно, адже знайдені значення похибок не перевищують допустимі значення виробником. Проаналізовано результати кореляції показників температури, вологості та якості повітря. Результат – сильних кореляційних зв'язків не знайдено.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Організація безпечних умов праці при розробці та впровадженні систем моніторингу та контролю якості повітря для розумного будинку

Розробка та впровадження систем моніторингу якості повітря в «розумному» будинку охоплює широкий спектр діяльності, від електронного проектування до налаштування програмного забезпечення.

Така діяльність має специфічні ризики, пов'язані з впливом фізичних, хімічних, електромагнітних та психофізіологічних факторів. Забезпечення безпечних умов праці є обов'язковим компонентом на всіх етапах життєвого циклу таких систем. Для дотримання безпечних умов праці при розробці та впровадженні систем моніторингу та контролю якості повітря для розумного будинку необхідно дотримуватися стандартів:

- ДСН 3.3.6.042-99;
- ДСТУ 7237:2011;
- ДСанПіН 3.3.6.096-2002.

Згідно з ДСН 3.3.6.042-99 мікрокліматичні умови робочої зони характеризуються такими показниками:

- для легких робіт у холодний період року температура повинна бути в межах 22–24 °С, у теплий період – 23–25 °С;
- відносна вологість повітря 40–60 %;
- швидкість руху повітря не повинна перевищувати 0,1 м/с для легких робіт у холодний період року [54].

Недотримання цих параметрів може призвести до зниження працездатності, виникнення теплового або холодового стресу, порушення терморегуляції організму та інших негативних наслідків для здоров'я працівників. Результати вимірювань порівнюються з нормативними значеннями, встановленими ДСН 3.3.6.042-99 [54]. У разі виявлення відхилень вживаються відповідні заходи для нормалізації мікрокліматичних умов [55].

Нормалізація несприятливих мікрокліматичних умов здійснюється за допомогою комплексу заходів та способів, які включають:

- раціональне розміщення обладнання, використання теплоізоляційних матеріалів, організація зонування приміщень;
- оптимізацію режимів роботи, чергування періодів праці та відпочинку, впровадження автоматизованих систем контролю мікроклімату;
- встановлення систем вентиляції, кондиціонування, опалення та зволоження повітря;
- використання спеціального одягу, що захищає від перегрівання або переохолодження;
- проведення медичних оглядів, надання рекомендацій щодо харчування та режиму праці [55].

У рамках впровадження систем моніторингу та контролю якості повітря в розумному будинку особливе значення має питання електробезпеки. Компоненти таких систем працюють на електроживленні, включаючи датчики, контролери, шлюзи передачі даних, системи вентиляції з автоматичним регулюванням. Функціонування цих елементів має супроводжуватись чітким дотриманням вимог електробезпеки як на етапі розробки, так і під час монтажу й експлуатації. Ключовим нормативним документом, що регламентує такі вимоги є ДСТУ 7237:2011. Відповідно до положень, у проєктуванні та впровадженні інтелектуальних систем моніторингу повітря необхідно передбачати такі аспекти електробезпеки:

- використання ізоляційних матеріалів і подвійної ізоляції для компонентів, які працюють під напругою;
- впровадження заземлення та занулення у системах енергоживлення, що живлять датчики та контролери;
- розміщення елементів у захисних корпусах;
- врахування класифікації видів захисту відповідно до умов експлуатації (вологість, температура, наявність пилу тощо) [56].

Ці заходи спрямовані на запобігання електротравмам та забезпечення безпечної експлуатації електрообладнання в системах розумного будинку.

Для забезпечення безпечних умов праці від впливу електромагнітних полів, що виникають від роботи електронного обладнання та бездротових сенсорних мереж використовується стандарт ДСанПіН 3.3.6.096-2002, який передбачає:

- дотримання допустимих рівнів напруженості електричного та магнітного полів у робочій зоні;
- екранування джерел випромінювання, використання захисних кожухів та інших засобів для зниження рівня електромагнітного поля;
- обмеження часу перебування працівників у зонах з підвищеним рівнем електромагнітного випромінювання, проведення інструктажів та навчання персоналу [57].

Наукові дослідження не виявили переконливих доказів шкідливого впливу Wi-Fi на здоров'я людини при дотриманні встановлених норм експлуатації. Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) зазначає, що рівні електромагнітного випромінювання від Wi-Fi-пристроїв значно нижчі за встановлені міжнародні межі безпеки [58].

В Україні встановлено гранично допустимі рівні електромагнітного випромінювання (ЕМВ) для захисту населення від пристроїв, що працюють у діапазоні Wi-Fi (2.4 ГГц, 5 ГГц, 6 ГГц). Ці норми регламентуються наказом МОЗ України від 01.08.1996 № 239. У межах забезпечення безпечних умов праці при роботі з пристроями, що випромінюють електромагнітні поля, встановлюються наступні допустимі рівні щільності потоку енергії:

- для населення – 100 мкВт/см^2 (1 Вт/м^2) для радіотехнічних об'єктів, що працюють у діапазонах мікрохвильового випромінювання (ГГц), включаючи Wi-Fi пристрої.
- для робочих місць – 1000 мкВт/см^2 (10 Вт/м^2) для ультрависоких частот ($>2\text{--}3 \text{ ГГц}$), що охоплює діапазони Wi-Fi [59].

Wi-Fi-роутери зазвичай мають потужність сигналу в межах 0.1–1 Вт, що значно нижче встановлених гранично допустимих рівнів [58].

Для забезпечення безпечних умов праці при розробці та впровадженні систем моніторингу та контролю якості повітря в умовах розумного будинку

необхідно дотримуватися чинних нормативно-правових актів у сфері охорони праці та гігієни праці: ДСН 3.3.6.042-99, ДСТУ 7237:2011, ДСанПіН 3.3.6.096-2002.

4.2 Ергономіка робочого місця розробника програмного забезпечення для пристроїв IoT

Розробка програмного забезпечення для пристроїв IoT вимагає не лише високого рівня технічних знань, а й тривалого сидіння за комп'ютером у статичному положенні. Це створює значне навантаження на опорно-руховий апарат, зір та психофізіологічний стан розробника.

Згідно ДСТУ 8604:2015, робоче місце для виконання робіт у положенні сидючи має відповідати ергономічним вимогам:

- висота робочої поверхні – 700-800 мм, глибина – 600-800 мм;
- відстань між сидінням і робочою поверхнею – 250-300 мм;
- відстань між сидінням і підлокітниками – ≥ 200 мм;
- відстань між підлокітниками – ≥ 500 мм;
- висота підлокітників – 250-300 мм від сидіння;
- кут нахилу спинки – 100° - 110° ;
- глибина сидіння – 380-460 мм, ширина – 400–500 мм;
- висота сидіння – 400-500 мм від підлоги [60].

Ергономічне облаштування робочого місця наведено на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 – Ергономічне облаштування робочого місця [61]

Мишу слід тримати так, щоб руки були розташовані під кутом 90° або менше. Зап'ястя не повинні напружуватися, вони не мають відчувати дискомфорт під час використання. На рисунку 4.2 наведено правильне розміщення руки на комп'ютерній миші [61].

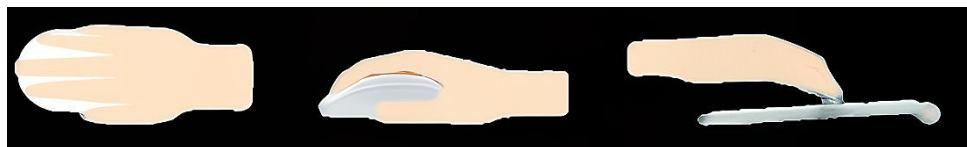


Рисунок 4.2 – Правильне розміщення руки на комп'ютерній миші [61]

З метою забезпечення правильного положення опорно-рухового апарату розробник [62] запропонував рішення для контролю правильної постави на основі датчиків глибини та алгоритмів машинного навчання, в рамках концепції «розумного офісу». Такий прилад забезпечить підтримку ергономіки робочого місця. Система містить наступні технології та інструменти:

- камери глибинного навчання для розпізнавання силуету співробітника;
- сидіння зі зворотним зв'язком;
- браслети та носимі пристрої для аналізу положення тіла;
- програмне забезпечення з повідомленнями про зміну пози [62].

Ці пристрої можуть працювати автономно або як частина загальної системи моніторингу умов праці, що особливо актуально в середовищі IoT [62].

Структурна схема запропонованої системи приведена на рисунку 4.3.

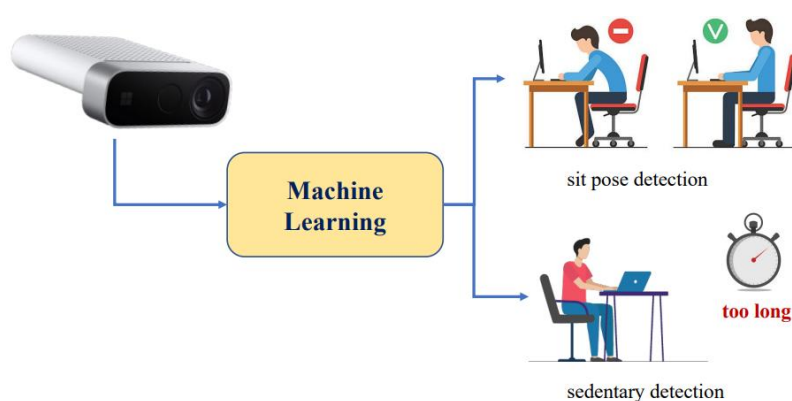


Рисунок 4.3 – Система для виявлення в реальному часі сидячої пози та малорухливої поведінки [62]

Для дотримання ергономічних вимог праці, а саме, правильного положення опорно-рухового апарату запропоновано систему для виявлення в реальному часі сидячої пози та малорухливої поведінки. Вона дозволить підвищити продуктивність праці, зменшити втому та ризик професійних захворювань, пов'язаних із тривалим сидінням.

4.3 Комп'ютерне забезпечення процесу оцінки радіаційної та хімічної обстановки

У надзвичайних ситуаціях, таких як аварії на радіаційно-небезпечних об'єктах або хімічних інцидентах, необхідно оперативно оцінювати радіаційну та хімічну обстановку для прийняття ефективних рішень щодо цивільного захисту.

Системи радіаційного моніторингу можна поділити на два типи:

- стаціонарні системи моніторингу, що складаються з датчиків, підключених до центрального комп'ютерного центру;
- мобільні системи, включаючи дрони та роботизовані платформи, оснащені детекторами радіації [63].

Програмне забезпечення для виявлення радіаційної обстановки:

- системи збору та аналізу даних, такі як DataEXPERT 10, які дозволяють візуалізувати рівні радіації на картографічних матеріалах;
- прогностичні моделі, які використовують метеорологічні дані для оцінки поширення радіоактивних речовин [63].

Комплексний моніторинг хімічної ситуації здійснюється за допомогою стаціонарних і мобільних датчиків, які фіксують концентрацію токсичних газів і парів. Сучасне програмне забезпечення агрегує ці дані для побудови повної карти розподілу шкідливих речовин у повітрі. Такі системи підтримують інтеграцію з географічними інформаційними системами (ГІС), що дозволяє відображати хімічні загрози в геопросторовому контексті [64].

Ключовими компонентами системи комп'ютерного забезпечення оцінки радіаційної та хімічної обстановки є:

- модулі збору інформації;
- модулі верифікації даних;
- аналітичний блок для оцінки рівнів зараження;
- блок моделювання просторового розповсюдження забруднювачів;
- інтерфейс користувача для візуалізації результатів [65].

На базі моделей розсіювання, що враховують топографію місцевості, швидкість та напрямок вітру, температуру повітря, система формує карти прогнозованих зон ураження. Це дозволяє своєчасно ухвалювати рішення щодо евакуації населення, визначення меж санітарної охорони, а також заходів із ліквідації наслідків забруднення [65].

Зазвичай система інтегрується з єдиними державними або відомчими платформами управління безпекою, що забезпечує обмін інформацією в режимі реального часу. Також передбачено функції резервування даних, автоматичного сповіщення відповідальних осіб та ведення журналу подій. Високий ступінь автоматизації дозволяє зменшити людський фактор в умовах стресу, підвищити точність оцінки та оперативність реагування [65]. Крім того, система підтримує навчальний режим, що використовується для підготовки персоналу, моделювання надзвичайних ситуацій та відпрацювання алгоритмів дій [64].

Після аварії на Чорнобильській АЕС комп'ютерні системи використовувалися для моніторингу радіаційної ситуації, збираючи дані з дозиметрів, розкиданих по всьому регіону. Використання ГІС дозволило нанести на карту зони забруднення і спрогнозувати поширення радіоактивних хмар з урахуванням погодних умов [64].

При викиді токсичних хімічних речовин у повітря на хімічному підприємстві BASF застосовувалися мобільні лабораторії і стаціонарні сенсори для оперативного збору даних. Програмне забезпечення здійснювало аналіз концентрацій забруднень і генерувало рекомендації щодо зон евакуації. Інтеграція з метеорологічними моделями допомогла передбачити напрямок розповсюдження токсичних парів [64].

Україна впроваджує комплексну систему моніторингу навколишнього середовища, яка включає радіаційні та хімічні датчики, підключені через ІТ-

платформи. Програмне забезпечення аналізує рівні забруднення в режимі реального часу, генерує звіти та інтерактивні карти для державних органів та громадськості. Система підтримує прогнозування та автоматичне сповіщення про перевищення норм [64].

Однією з тенденцій сучасного цивільного захисту є створення уніфікованих платформ, які об'єднують радіаційні та хімічні дані в єдину систему аналізу. Це дозволяє отримати цілісне уявлення про ситуацію, підвищує точність прогнозів та пришвидшує прийняття управлінських рішень. Подібні рішення використовуються в багатьох країнах, в тому числі і в Україні, що підвищує рівень готовності до надзвичайних ситуацій [66].

Комп'ютерні системи, що забезпечують моніторинг радіаційної та хімічної обстановки, працюють з критично важливою інформацією, яка впливає на безпеку населення, екологічний стан та оперативність реагування на надзвичайні ситуації. Саме тому захист цих даних і кібербезпека систем є надзвичайно важливими аспектами. У таблиці 4.1 наведено основні загрози для комп'ютерних систем моніторингу радіаційної та хімічної обстановки.

Таблиця 4.1 – Основні загрози для комп'ютерних систем моніторингу радіаційної та хімічної обстановки

Загроза	Короткий опис
1	2
Несанкціонований доступ	Зловмисники отримують доступ до системи, можуть змінювати або видаляти дані, спотворюючи оцінку
DDoS-атаки	Масове перевантаження мережі або серверів, що призводить до відмови в обслуговуванні системи
Впровадження шкідливого ПЗ	Віруси, трояни що блокують доступ або пошкоджують систему та її дані.
Перехоплення даних	Незахищена передача інформації, що дозволяє зловмисникам перехоплювати конфіденційні дані.
Фізичне пошкодження	Навмисне або випадкове руйнування апаратного забезпечення, датчиків або комунікаційних ліній.

Продовження таблиці 4.1

1	2
Внутрішні загрози	Помилки або зловмисні дії співробітників із правами доступу до системи.
Застаріле оновлення	Використання застарілого ПЗ та систем з відомими вразливостями, які можуть бути використані хакерами.

Основні методи захисту:

- Шифрування даних: дані, що передаються між датчиками, серверами та користувачами, повинні бути зашифровані за допомогою сучасних протоколів (наприклад, TLS). Це забезпечує захист від перехоплення і несанкціонованого читання.
- Аутентифікація і контроль доступу – використання багатофакторної аутентифікації (MFA) для доступу до системи та розмежування прав користувачів дозволяє обмежити можливості доступу лише уповноваженим особам.
- Моніторинг безпеки – постійний аналіз логів і поведінки користувачів допомагає вчасно виявляти підозрілі дії і реагувати на можливі загрози.
- Оновлення та патчі – регулярне оновлення операційних систем, програмного забезпечення і вбудованих систем захисту мінімізує ризики, пов'язані з відомими вразливостями.
- Резервне копіювання – створення резервних копій даних і конфігурацій системи забезпечує швидке відновлення працездатності у разі інцидентів [67].

Для покращення ситуаційної обізнаності використовуються методи машинного навчання, які прогнозують подальший розвиток подій на основі історичних та поточних даних. Це особливо важливо для швидкого реагування у випадку надзвичайних ситуацій. Штучний інтелект допомагає розпізнавати патерни забруднення та оптимізувати рекомендації для служб реагування [66, 67].

4.4 Висновок до четвертого розділу

В четвертому розділі кваліфікаційної роботи описано безпечні умови праці щодо мікроклімату, електробезпеки та електромагнітного випромінювання. Розглянуто ергономічні аспекти робочого місця розробника програмного забезпечення для пристроїв IoT, зокрема габарити робочого місця. Для забезпечення ергономічних умов праці та контролю положення опорно-рухового апарату запропоновано систему, яка дозволяє розпізнавати сидячу позу та фіксувати малорухливу активність за допомогою камер глибинного навчання, сидіння із зворотнім зв'язком, браслетам та носимими пристроями для аналізу положення тіла. Це сприятиме підвищенню ефективності роботи, зниженню рівня втоми та зменшенню ймовірності розвитку професійних захворювань, викликаних тривалим сидячим способом життя.

Комп'ютерні системи відіграють ключову роль у своєчасному виявленні та оцінці радіаційної й хімічної обстановки в умовах надзвичайних ситуацій. Поєднання мобільних і стаціонарних сенсорів, сучасного програмного забезпечення, ГІС та прогнозних моделей забезпечує оперативність і точність аналізу. Важливим аспектом є кібербезпека, оскільки системи працюють з критично важливими даними, які можуть впливати на рішення щодо евакуації чи ліквідації наслідків. Перспективним напрямом є впровадження штучного інтелекту для автоматичного виявлення загроз і формування рекомендацій у реальному часі.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи освітнього рівня "Магістр" було досягнуто поставленої мети дослідження: дослідити наявні комерційні системи та наукові праці по моніторингу та контролю якості повітря в розумних будинках на основі IoT задля створення прототипу даної системи та проведенню експериментів. Особливість даної системи контролю та якості повітря на базі IoT для розумного будинку є дворівнева архітектура (розділення на два рівні, збір даних і контроль, що підвищує стабільність роботи, забезпечує надійність та зменшує навантаження на кожен окремий модуль). Її основний функціонал здатний працювати без інтернет з'єднання. При наявності інтернет з'єднання, можна переглянути інформацію з датчиків системи у мобільному або десктопному додатку Blynk.

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр»:

- розглянуто проблематику дослідження та аналізу системи моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку;
- проаналізовано комерційні рішення моніторингу якості повітря для розумних будинків, і як результат, було створено порівняльну таблицьку;
- оглянуто наукові дослідження у сфері систем контролю якості повітря (як архітектуру системи, так і наукові дослідження, де їх об'єктом стали власне і прототипи);
- сформовано висновки до першого розділу кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр».

В другому розділі кваліфікаційної роботи:

- описано методи оцінки систем моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумних будинків;
- висвітлено та проаналізовано ризики впровадження системи моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумних будинків;
- подано переваги та недоліки впровадження хмарних рішень у системах моніторингу;
- висвітлено норми якості повітря;

- сформовано висновки до другого розділу кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр».

В третьому розділі кваліфікаційної роботи:

- запропоновано, спроектовано та реалізовано прототип системи контролю та якості повітря для розумних будинків на базі IoT;

- підтверджено справність системи, за допомогою виміру похибок пристроїв;

- створено кореляційну матрицю для параметрів температури, вологості та якості повітря, їх залежності один від одного;

- сформовано висновки до третього розділу кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр».

Основні наукові та практичні результати виконання кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» було виконано.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

1. Chakraborty, A., Lucarelli, G., Xu, J., Skafi, Z., Castro-Hermosa, S., Kaveramma, A. B., ... & Brown, T. M. (2024). Photovoltaics for indoor energy harvesting. *Nano Energy*, 109932.
2. Yugandhara, R. Y. (2023, April). Industrial IoT Platform Market Size and Growth Report 2023. SNS Insider. <https://www.snsinsider.com/reports/industrial-iot-platform-market-1269>.
3. Sung, W. T., & Hsiao, S. J. (2021). Building an indoor air quality monitoring system based on the architecture of the Internet of Things. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2021, 1-41.
4. Pratiwi, Y. E., Taufik, F. F., Habibi, J., & Wibowo, A. C. (2023). The Impact of Particulate Matter on the Respiratory System. *Jurnal Respirasi*. <https://doi.org/10.20473/jr.v9-i.3.2023.237-245>.
5. Kuncoro, C. B. D., Adristi, C., & Asyikin, M. B. (2022). Smart Wireless Particulate Matter Sensor Node for IoT-Based Strategic Monitoring Tool of Indoor COVID-19 Infection Risk via Airborne Transmission. *Sustainability*, 14(21), 14433. <https://doi.org/10.3390/su142114433>.
6. Atfeh, B., Kristóf, E., Mészáros, R., & Barcza, Z. (2020). Evaluating the effect of data processing techniques on indoor air quality assessment in Budapest.
7. Coney, J., Pickering, B., Dufton, D., Lukach, M., Brooks, B., & Neely III, R. R. (2022). How useful are crowdsourced air temperature observations? An assessment of Netatmo stations and quality control schemes over the United Kingdom. *Meteorological Applications*, 29(3), e2075.
8. Robinson, J. A., Kanduč, T., Sarigiannis, D., & Kocman, D. (2024). Personal airborne particulate matter exposure and intake dose, indoor air quality, biometric, and activity dataset from the city of Ljubljana, Slovenia. *Data in Brief*, 52, 109877.
9. Guerrero-Ulloa, G., Andrango-Catota, A., Abad-Alay, M., Hornos, M. J., & Rodríguez-Domínguez, C. (2023). Development and Assessment of an Indoor Air

Quality Control IoT-Based System. *Electronics*, 12(3), 608.
<https://doi.org/10.3390/electronics12030608>.

10. Kauser, L., Quadri, S. G. M., Sufiyanuddin, S., & Ali, S. H. (2024). Wireless Sensor Networks Empowered by IOT for Air Quality Monitoring. *International Journal For Multidisciplinary Research*.
<https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i03.19675>.

11. Edupuganti, S., Sai, N., Tenneti, S., Iqbal, M. M., & Rajaram, G. (2023). An IoT Implemented Dynamic Air Pollution Monitoring System. *EAI Endorsed Transactions on Internet of Things*. <https://doi.org/10.4108/eetiot.v9i4.4316>.

12. Schieweck, A., Uhde, E., Salthammer, T., Salthammer, L. C., Morawska, L., Mazaheri, M., & Kumar, P. (2018). Smart homes and the control of indoor air quality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 705-718.

13. Dozorskyi, V., Nykytyuk, V., Dozorska, O., Dediv, L., & Yavorska, E. (2020, September). The method of selection and pre-processing of electromyographic signals for bio-controlled prosthetic of hand. In *2020 IEEE 15th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)* (Vol. 1, pp. 188-191). IEEE.

14. Indoor Air Pollution Monitoring System. (2023). *International Journal For Multidisciplinary Research*, 5(3). <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2023.v05i03.3281>.

15. Rudavskyi, I., Klym, H., & Popov, A. I. (2023). Design and evaluation of a smart indoor air quality monitoring system. *Measuring Equipment and Metrology*, 84(3), 23–30. <https://doi.org/10.23939/istcmtm2023.03.023>.

16. Wall, D., McCullagh, P., Cleland, I., & Bond, R. (2021). Development of an Internet of Things solution to monitor and analyse indoor air quality. *Internet of Things*, 14, 100392.

17. Грабіна, К. І., Шендрик, В. В., Данченко, О. Б., & Мазуркевич, А. Г. (2021). Застосування SWOT-аналізу для ідентифікації ризиків проекту. In *Управління проектами у розвитку суспільства: Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції* (м. Київ, травень 2021) (pp. 133–137). Київ: КНУБА.

18. Грабіна, К. І., Шендрик, В. В., Данченко, О. Б., & Мазуркевич, А. Г. (2021). Застосування SWOT-аналізу для ідентифікації ризиків проекту. In *Управління проектами у розвитку суспільства: Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції* (м. Київ, травень 2021) (pp. 133–137). Київ: КНУБА.
19. TOMAŞ, M. (2020). Smart house with artificial intelligence. *European Journal of Science and Technology*, 686–693. <https://doi.org/10.31590/ejosat.689634>
20. Ferreira, L., Oliveira, T., & Neves, C. (2023). Consumer's intention to use and recommend smart home technologies: The role of environmental awareness. *Energy*, 263, 125814. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125814>
21. Woliński, M., & Szymczyk, T. (2022). Comparative analysis of software for smart homes. *Journal of Computer Sciences Institute*, 23, 84–88. <https://doi.org/10.35784/jcsi.2842>
22. Вирста, В. М. (2024). Аналіз ризиків впровадження систем моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку. Матеріали XII науково-технічної конференції „Інформаційні моделі, системи та технології“, 19-20.
23. Zolfaghari, B., Yazdinejad, A., Dehghantanha, A., Krzciok, J., & Bibak, K. (2022). The dichotomy of cloud and iot: Cloud-assisted iot from a security perspective. *arXiv preprint arXiv:2207.01590*.
24. Deng, H., Xu, X., Wang, K., Xu, J., Loisel, G., Wang, Y., ... & Gligorovski, S. (2022). The effect of human occupancy on indoor air quality through real-time measurements of key pollutants. *Environmental Science & Technology*, 56(22), 15377-15388.
25. Nykytyuk, V., Dozorsky, V., Kunanets, N., Pasichnyk, V., Matsiuk, O., & Bodnarchuk, I. (2021). Electrical Probe-Signal Processing and Criterion for the Determination of Time Parameters of the Teeth Filling Material Polymerization Process in Dentistry. In *IDDM* (pp. 54-63).
26. Considine, E. M., Braun, D., Kamareddine, L., Nethery, R. C., & deSouza, P. (2023). Investigating use of low-cost sensors to increase accuracy and equity of real-time air quality information. *Environmental science & technology*, 57(3), 1391-1402.

27. Duda, O., Kunanets, N., Martsenko, S., Nykytyuk, V., & Pasichnyk, V. (2021, September). Information technology platform for the selection and analytical processing of information on COVID-19. In 2021 IEEE 16th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT) (Vol. 2, pp. 231-238). IEEE.
28. Duda, O., Kunanets, N., Martsenko, S., Nykytyuk, V., & Pasichnyk, V. (2021, September). COVID-19 data collections and analytical processing. In 2021 IEEE 16th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT) (Vol. 2, pp. 252-257). IEEE.
29. Bohara, B., Maharjan, S., & Shrestha, B. R. (2020). IoT based smart home using Blynk framework. arXiv preprint arXiv:2007.13714.
30. Artiyasa, M., Kusumah, I. H., Suryana, A., Sidik, A. D. W. M., & Junfithrana, A. P. (2020). Comparative Study of Internet of Things (IoT) Platform for Smart Home Lighting Control Using NodeMCU with Thingspeak and Blynk Web Applications. *FIDELITY: Jurnal Teknik Elektro*, 2(1), 1-6.
31. Dwiansyah, R. O., & Prasetya, D. A. (2022). Smart Home System With Radio Frequency Using Blynk Application. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 22(2), 177-184.
32. Guneet, S. (2020). IoT based Smart Home (Master's thesis, České vysoké učení technické v Praze. Vypočetní a informační centrum.).
33. Chong, C. M. (2021). Smart Universal Remote Using Mobile for Home Automation (Doctoral dissertation, UTAR).
34. Mohammed, N. S., & Selman, N. H. (2021). Real-time monitoring of the prototype design of electric system by the ubidots platform. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 11(6), 5568-5577.
35. Santhosh, C., Kanakaraja, P., Kumar, M. R., Sravani, C. S., Ramjee, V., & Asish, Y. (2023). IoT-Enabled Patient Assisting Device Using Ubidots Webserver. In *Modern Approaches in IoT and Machine Learning for Cyber Security: Latest Trends in AI* (pp. 345-355). Cham: Springer International Publishing.
36. Santhosh, C., Kanakaraja, P., Kumar, M. R., Sravani, C. S., Ramjee, V., & Asish, Y. (2023). IoT-Enabled Patient Assisting Device Using Ubidots Webserver.

In Modern Approaches in IoT and Machine Learning for Cyber Security: Latest Trends in AI (pp. 345-355). Cham: Springer International Publishing.

37. Alsbou, N., Thirunilath, N. M., & Ali, I. (2022, June). Smart home automation iot system for disabled and elderly. In 2022 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS) (pp. 1-5). IEEE.

38. Sridhar, H. S., Somvanshi, S., Ramsinghani, M., & HC, N. (2022, December). Designing of smart home automation using IOT. In 2022 Fourth International Conference on Emerging Research in Electronics, Computer Science and Technology (ICERECT) (pp. 1-6). IEEE.

39. Kadiyan, V., Singh, M., Kumar, A., Saini, A., & Singh, H. (2023). Smart home automation system based on IoT. International Journal of Scientific Research in Engineering and Management (IJSREM), 7(5), 1-8.

40. Microsoft. IoT using Azure Data Explorer. Microsoft Learn. <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/solution-ideas/articles/iot-azure-data-explorer>.

41. Nykytyuk, V., Dozorskyi, V., Dozorska, O., Karnaukhov, A., & Matiichuk, L. (2022, November). The Method of User Identification by Speech Signal. In ITTAP (pp. 225-232).

42. Bodnarchuk, I., Skorenkyi, Y., Kramar, T., Duda, O., & Nykytyuk, V. (2022, November). Use of Analytical Hierarchy Process in Scenarios Design for a Digital Museum with XR components. In ITTAP (pp. 414-425).

43. Kryazhych, O., Itskovych, V., Iushchenko, K., Hrytsyshyna, V., Bruvier, D., Nykytyuk, V., & Bodnarchuk, I. (2023). The use of abstract Moore automaton to control the sensors of a service-oriented alarm and emergency notification network. Вісник Тернопільського національного технічного університету, 109(1), 111-120.

44. Issa, W., Moustafa, N., Turnbull, B., Sohrabi, N., & Tari, Z. (2023). Blockchain-based federated learning for securing internet of things: A comprehensive survey. ACM Computing Surveys, 55(9), 1-43.

45. Ferrag, M. A., Friha, O., Hamouda, D., Maglaras, L., & Janicke, H. (2022). Edge-IIoTset: A new comprehensive realistic cyber security dataset of IoT and

IIoT applications for centralized and federated learning. *IEEE Access*, 10, 40281-40306.

46. Song, Z., Ye, W., Chen, Z., Chen, Z., Li, M., Tang, W., ... & Fan, Z. (2021). Wireless self-powered high-performance integrated nanostructured-gas-sensor network for future smart homes. *ACS nano*, 15(4), 7659-7667.

47. Dediv, L., Dozorska, O., Kukuruza, V., Nykytyuk, V., & Kovalyk, S. (2023). Computer Simulation Modeling of Voice Signals in the Matlab Environment for the Task of Computerized Diagnostic Systems Testing. In *CITI* (pp. 257-262).

48. Dozorskyi, V., Dediv, I., Sverstiuk, S., Nykytyuk, V., & Karnaukhov, A. (2023, June). The Method of Commands Identification to Voice Control of the Electric Wheelchair. In *The 1st International Workshop on «Computer Information Technologies in Industry 4.0»(CITI-2023)*. CEUR Workshop Proceedings.

49. Sverstiuk, A., Matiichuk, L., Polyvana, U., Stanko, A., & Nykytyuk, V. (2024). Analytical analysis of approaches to assessing the quality of life in smart cities.

50. Akhtar, J., Garcia, A. L., Saenz, L., Garcia, G., Kuravi, S., Shu, F., ... & Garcia, A. (2025). Combined Intervention Removes More Aerosols From the Environment—A Quantitative Assessment. *Indoor Air*, 2025(1), 1785997.

51. Siddiki, A., & Arif, I. (2024). AI-Driven Adaptive Ventilation Systems For Real-Time Pollution Control In Industrial And Urban Settings: A Systematic Review. 1(01), 56–73. <https://doi.org/10.70008/jeser.v1i01.48>.

52. Koroliuk, R., Nykytyuk, V., Tymoshchuk, V., Soyka, V., & Tymoshchuk, D. (2025). Automated monitoring of bee colony movement in the hive during winter season. *arXiv preprint arXiv:2501.01170*.

53. Siddique, A., Al-Shamlan, M. Y., Al-Romaihi, H. E., & Khwaja, H. A. (2025). Beyond the outdoors: indoor air quality guidelines and standards—challenges, inequalities, and the path forward. *Reviews on Environmental Health*, 40(1), 21-35.

54. Міністерство охорони здоров'я України. (1999). Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень (ДСН 3.3.6.042-99).

55. Одарченко, А. М., Одарченко, М. С., Степанов, В. І., & Черненко, Я. М. (2017). Основи охорони праці. Підручник.

56. Державне агентство з технічного регулювання та метрології України. (2011). Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту (ДСТУ 7237:2011).
57. Міністерство охорони здоров'я України. (2002). Державні санітарні норми та правила при роботі з джерелами електромагнітних полів (ДСанПіН 3.3.6.096-2002).
58. Ніконенко, В. (2021). Вплив електромагнітного випромінювання технології Wi-Fi на здоров'я людини. У Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки: Збірник матеріалів двадцять п'ятої Всеукраїнської науково-методичної конференції (с. 151–155). https://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2021/11/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%84_25.pdf.
59. Міністерство охорони здоров'я України. (1996, 1 серпня). Наказ № 239 Про затвердження державних санітарних правил та норм.
60. Державне агентство з технічного регулювання та метрології України. (2015). Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги (ДСТУ 8604:2015).
61. Зайцева, А. М. (2021). Ергономіка робочого місця. Збірник наукових праць Таврійського державного агротехнологічного університету, (2021), с. 16. <http://www.tsatu.edu.ua/kn/wp-content/uploads/sites/16/zbirnyk-2021.pdf#page=16>.
62. Jin, H., He, X., Wang, L., Zhu, Y., Jiang, W., & Zhou, X. (2024). SitPose: Real-Time Detection of Sitting Posture and Sedentary Behavior Using Ensemble Learning With Depth Sensor. IEEE Sensors Journal. <https://arxiv.org/abs/2412.12216>.
63. Rout, S., Mishra, D. G., Ravi, P. M., Pulhani, V., & Tripathi, R. M. (2020). RADCOM: Radiation dose computation model-a software for radiological impact assessment. Progress in Nuclear Energy, 118, 103141.
64. Oancea, C., Marek, L., Vuolo, M., Jakubek, J., Soharová, E., Ingerle, J., ... & Granja, C. (2024). TraX Engine: Advanced Processing of Radiation Data Acquired by Timepix Detectors in Space, Medical, Educational and Imaging Applications. arXiv preprint arXiv:2410.10242.

65. Смольц, Б. В. (2022). Інформаційна система моніторингу радіаційної обстановки (Магістерська кваліфікаційна робота). Вінницький національний технічний університет. <https://iq.vntu.edu.ua/repository/getfile.php/5687.pdf>.

66. Гринь, Г. І., Мохонько, В. І., Суворін, О. В., Кузнецов, П. В., Гринь, С. О., Ожередова, М. А., ... & Азаров, М. І. (2019). Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища.

67. Garmash, S. M., Plis, M. M., Gerasimenko, V. A., & Shatalin, D. B. (2020). Сучасний стан державної системи нормативного регулювання в галузі хімічної безпеки. Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, (6), 61-68.

ДОДАТКИ

Матеріали конференцій

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ІВАНА ПУЛЮЯ
НАУКОВЕ ТОВАРИСТВО ім. ШЕВЧЕНКА

МАТЕРІАЛИ

ХІІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»



18–19 грудня 2024 року

ТЕРНОПІЛЬ
2024

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Голова: Приймак Микола – професор кафедри комп'ютерних систем та мереж, д.т.н., професор.

Співголови: Марущак Павло – проректор з наукової роботи, докт. техн. наук, професор.

Баран Ігор – канд. техн. наук, доцент, декан факультету ФІС.

Науковий секретар: Надія Крива – старший викладач.

Члени: Василь Кривень – завідувач кафедри математичних методів в інженерії д.ф.-м.н., професор; Галина Осухівська – завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж, к.т.н., доцент; Микола Карпінський - професор кафедри кібербезпеки, д.т.н., професор; Жанна Баб'як - завідувач кафедри української та іноземних мов, к.пед. н., доцент; Ярослав Литвиненко – професор кафедри комп'ютерних наук, д.т.н., професор; Михайло Петрик - завідувач кафедри програмної інженерії, д.ф.-м.н., професор; Наталія Загородна – завідувач кафедри кібербезпеки, к.т.н., доцент.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова: Скоренький Юрій Любомирович – канд. техн. наук, доцент кафедри фізики.

Члени: доцент кафедри комп'ютерних наук, к.т.н. В. Никитюк; доцент кафедри програмної інженерії, к.т.н. Д. Михалик; доцент кафедри кібербезпеки, к.т.н. М. Стадник; доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж, к.т.н. Є. Тиш; ст. викладач Л. Джиджора.

Матеріали XII науково-технічної конфіції «Інформаційні моделі, системи та технології»
М34 Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя,
(Тернопіль, 18–19 грудня 2024 р.). – Тернопіль : Тернопільський національний
технічний університет імені Івана Пулюя, 2024. – 238 с.

Адреса оргкомітету: ТНТУ ім. І. Пулюя, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, 46001,
тел. (0352) 52-41-33, факс (0352) 25-49-83.

E-mail: confis2024@gmail.com

Редагування, оформлення та верстка: Надія Крива

СЕКЦІЇ КОНФЕРЕНЦІЇ, ЯКІ ПРЕДСТВЛЕНІ В ЗБІРНИКУ

- Математичне моделювання
- Інформаційні системи та технології, кібербезпека
- Комп'ютерні системи та мережі
- Програмна інженерія та моделювання складних розподілених систем
- Новітні фізико-технічні та освітні технології

В збірнику надруковано тези доповідей XII науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» (Тернопіль, 18–19 грудня 2024 р.) за такими науковими напрямками: математичне моделювання; інформаційні системи та технології, кібербезпека; комп'ютерні системи та мережі; програмна інженерія та моделювання складних розподілених систем; новітні фізико-технічні та освітні технології.

Розрахований на науковців, викладачів та студентів вузів.

За зміст тез та дотримання норм академічної доброчесності відповідальність несе автор.

АНАЛІЗ РИЗИКІВ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ І КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ НА БАЗІ ІОТ ДЛЯ РОЗУМНОГО БУДИНКУ

UDC 004.942:004.6

V. M. Vyrsta

RISK ANALYSIS OF IOT-BASED AIR QUALITY MONITORING AND CONTROL SYSTEMS FOR SMART HOMES

Актуальність проблематики аналізу ризиків впровадження систем моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку аргументується кількома факторами. Перший з них – популярність IoT. Можна побачити додатній приріст у відсотковому співвідношенні пристроїв, які підтримують IoT (станом на 2024 рік він становить близько 75%) [1].

Другою причиною є глобальні виклики, які постають в сьогоденні: чинники війн, природні та техногенні катастрофи тощо. Приблизні дані в загальному смертей від природних катастроф за 2023 рік становить 95 000 людей [2].

По третє, прогноз ринку систем моніторингу якості повітря на 10 років. Даний ринок демонструє зріст сегменту IoT [3].

Було проведено аналіз ризиків впровадження систем моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку за допомогою вагового (Weighted) SWOT аналізу. Результат даного дослідження зведений у таблиці 1. Оцінено елементи SWOT аналізу були за п'ятибальною шкалою, де 1 – маловажлива характеристика, 5 – архіважлива характеристика для системи моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку.

Таблиця 1. Ваговий SWOT аналіз впровадження систем моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку (табличний формат)

№	Сильні сторони (оцінка)	Слабкі сторони (оцінка)	Можливості (оцінка)	Загрози (оцінка)
1	Точний контроль якості повітря (5)	Висока вартість впровадження (5)	Ріст ринку IoT (5)	Конкуренція на ринку (3)
2	Інтеграція з іншими системами (4)	Складність налаштування (4)	Підвищення обізнаності про екологію (4)	Регуляторні обмеження (4)
3	Персоналізація (3)	Вразливість до кіберзагроз (3)	Державні ініціативи та субсидії (3)	Енергетична нестабільність (3)
4	Економія ресурсів (4)	Обмежений термін служби обладнання (3)	Розвиток алгоритмів штучного інтелекту (4)	Недовіра до IoT (2)
5	Мобільний доступ (3)	-	Збільшення попиту серед алергіків (4)	Залежність від Інтернету (3)

Під точним контролем якості повітря (див. таблицю 1) мається на увазі, характеристика збору інформації з датчиків в режимі реального часу. Під персоналізацією – можливість налаштування системи під конкретні потреби мешканців (наприклад, активація очищувача повітря при досягненні певного рівня пилу), під мобільним доступом – керування і відстеження інформації з датчиків через смартфони, планшети тощо.

Однією з слабких сторін є висока вартість впровадження (складні датчики, програмне забезпечення є дорогим для початкового встановлення). Серед загроз – конкуренція на ринку даного продукту (див. рисунок 1). Це ускладнює вартість розробки та заробіток. Перебої зі світлом негативно впливають на статистичні характеристики даної системи.

Відображено результати вагового SWOT аналізу за допомогою кругової діаграми. Кругова діаграма вагового SWOT аналізу впровадження систем моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку наведена на рисунку 1.

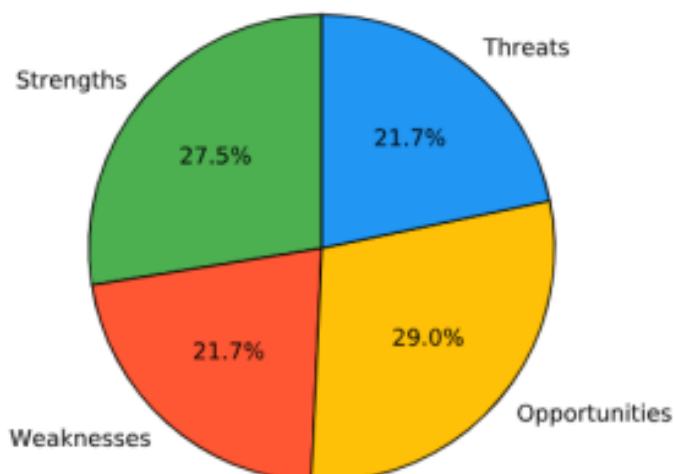


Рисунок 1. Кругова діаграма вагового SWOT аналізу впровадження систем моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку

З рисунку 1, ми можемо побачити, що найбільш вагомим показником є можливості (Opportunities) – 29 % (20 балів). Це говорить про високий потенціал даної тематики.

Висновки: в результаті проведення вагового SWOT аналізу було визначено, що загрози і слабкості мінімізуються сильними сторонами та можливостями. Впровадження IoT-систем моніторингу якості повітря має високий потенціал завдяки точності та інтеграції з іншими технологіями. Висока вартість і складність налаштування є основними перешкодами. Для успішного впровадження системи важливо мінімізувати кіберзагрози, забезпечити енергетичну стабільність.

Література

1. Internet of Things (IoT) and non-IoT active device connections worldwide from 2010 to 2025. statista. URL: <https://www.statista.com/statistics/1101442/iot-number-of-connected-devices-worldwide/> (date of access: 01.11.2024). <https://www.iii.org/fact-statistic/facts-statistics-global-catastrophes>.
2. Lörinc M., Hotový O., Podlaha A. 2023 Weather, Climate and Catastrophe Insight. AON. URL: <https://www.aon.com/weather-climate-catastrophe/index.aspx> (date of access: 05.11.2024).
3. Zoting S. Air Quality Monitoring System Market Size, Share and Trends 2024 to 2034. Precedence Research. URL: <https://www.precedenceresearch.com/air-quality-monitoring-system-market> (date of access: 14.11.2024).

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
Науково-навчальний центр прикладної інформатики

ІНСТИТУТ ІННОВАЦІЙНОЇ ОСВІТИ

**МІЖНАРОДНІ НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ:
ІНТЕГРАЦІЯ НАУКИ ТА ПРАКТИКИ ЯК
МЕХАНІЗМ ЕФЕКТИВНОГО РОЗВИТКУ**

МАТЕРІАЛИ

VI Міжнародної науково-практичної конференції

***29–30 квітня 2025 р.
м. Київ***



Київ – Запоріжжя
Інститут інноваційної освіти
2025

**Підготовку до видання спільно здійснюють ГО «Інститут інноваційної освіти»
і Науково-навчальний центр прикладної інформатики НАН України**

*До збірника увійшли матеріали наукових робіт (тези доповідей, статті),
надані згідно з вимогами, що були заявлені на конференції.*

Роботи друкуються в авторській редакції, мовою оригіналу.

*Автори несуть всю повноту відповідальності за зміст поданих матеріалів,
достовірність та оригінальність інформації, коректність цитування наукових джерел і
посилання на них, згідно із Законом України від 01.12.2022 р. № 2811-IX.*

*Редакція не завжди поділяє думки авторів і не несе відповідальності за
недостовірність публікованих даних. Претензії до організаторів не приймаються.*

При передруку матеріалів посилання на авторів і видання є обов'язковим.

ISBN 978-966-488-320-4

**М43 Міжнародні наукові дослідження: інтеграція науки та практики як
механізм ефективного розвитку : Матеріали VI Міжнародної науково-практичної
конференції (м. Київ, 29–30 квітня 2025 р.) / ГО «Інститут інноваційної освіти»;
Науково-навчальний центр прикладної інформатики НАН України. – Київ–
Запоріжжя : АА ТанDEM, 2025. – 104 с.**

*Матеріали конференції рекомендуються освітянам, науковцям, викладачам, здобувачам
вищої освіти, аспірантам, докторантам, студентам вищих навчальних закладів тощо¹.*

Відповідальний редактор: С.К. Бурма
Коректор: П.А. Немкова

Матеріали видано в авторській редакції.

УДК 001(063):378.4 (Укр)

ISBN 978-966-488-320-4

© Усі права авторів застережені, 2025
© Інститут інноваційної освіти, 2025
© АА ТанDEM, 2025

¹ Відповідає п. 8 Порядку присудження (позбавлення) наукових ступенів Затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р. № 1197; п. 28 Постанови Кабінету Міністрів України від 30 грудня 2015 р. № 1187 «Про затвердження Ліцензійних умов провадження освітньої діяльності»; п. 13 Постанови Кабінету Міністрів України від 12 липня 2004 р. № 882 «Про питання стипендіального забезпечення»

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ INFORMATION TECHNOLOGY

Вирста В.М.,

здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя

МЕТОДИ ОЦІНКИ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ І КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ НА БАЗІ ІОТ ДЛЯ РОЗУМНОГО БУДИНКУ

Методи оцінки системи моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку дозволять визначити якість системи, їх переваги та недоліки. В свою чергу, це відкриє шлях до оптимізації системи, підвищення точності та надійності. Якщо говорити про економічну складову – це сприятиме оцінці: чи варто використовувати конкретну IoT-систему або інвестувати в її вдосконалення.

SWOT аналіз – метод, який дозволяє виділити сильні та слабкі сторони, потенційні загрози та можливості [1].

Можна виділити наступні види SWOT аналізу:

- класичний SWOT-аналіз – стандартний підхід, що оцінює сильні та слабкі сторони, можливості та загрози;
- SWOT-аналіз з урахуванням зовнішніх і внутрішніх факторів – деталізований розгляд впливу внутрішнього середовища (Strengths, Weaknesses) та зовнішнього (Opportunities, Threats);
- SWOT-матриця (TOWS-аналіз) – формування стратегій шляхом поєднання елементів SWOT;
- динамічний SWOT-аналіз – аналіз у режимі реального часу для швидкої адаптації до змін;
- SWOT-аналіз конкурентів – оцінка сильних і слабких сторін конкурентів для формування конкурентної стратегії [1, 2].

На рисунку 1 наведено приклад SWOT аналізу розумного будинку з AI.



Рисунок 1 – Результат SWOT аналіз розумного будинку із AI

Джерело: [3]

Даний приклад (див. рисунок 1) є базовим прикладом варіанту методу оцінки SWOT аналізу [3]. Як висновок, можемо побачити велику кількість можливостей (opportunities), порівняно з іншими категоріями. Це говорить про перспективність даної тематики. Серед можливостей було виділені наступні атрибути: захищеність джерел енергії, можливість досягти максимального рівня безпеки, подальший прибуток, легкість керування з мобільних пристроїв.

Метод опитувань використовується для збору суб'єктивних оцінок користувачів щодо роботи IoT-системи моніторингу повітря. На рисунку 2 наведено результати опитувань на тему: уявлення потенційних користувачів про призначення та переваги технологій розумного дому.

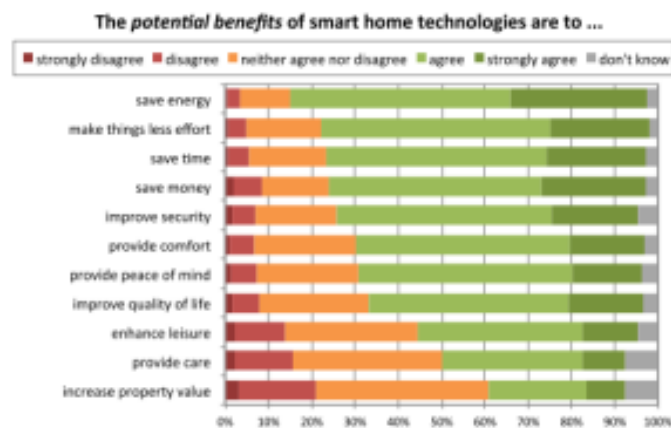


Рисунок 2 – Результати опитувань на тему: уявлення потенційних користувачів про переваги технологій розумного дому

Джерело: [4]

Опитування проводилося серед власників розумних будинків в Великій Британії (кількість корисподентів – 1025) [4].

Порівняльний аналіз – це про аналоги, їх різницю один від одного.

На рисунку 3 наведено порівняльну характеристику програмного забезпечення для розумних будинків. Було представлено 17 аналогів (Fibaro, Grenton, F&Home, F-Home Radio, DEIMIC та інші), порівняно за 9 атрибутами (функціонал, система HVAC (опалення, вентиляція, кондиціювання), безпека, управління мультимедіа, управління побутовими приладами та інші). Шкала оцінювання – від одного балу до п'яти, де п'ять – це максимальна задоволеність атрибутом [5].

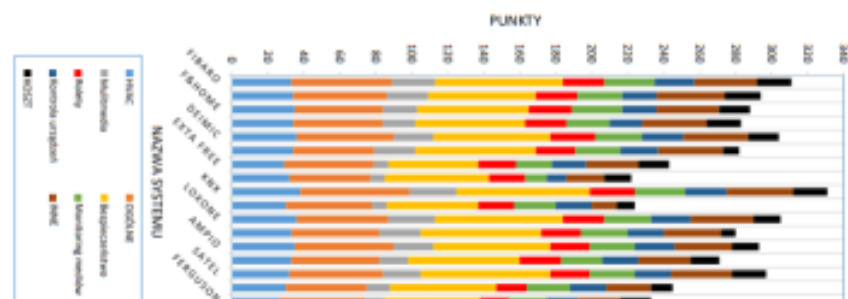


Рисунок 3 – Порівняльний аналіз програмного забезпечення для розумного будинку

Джерело: [5]

Висновки: в результаті, були проаналізовані три методи оцінки системи моніторингу і контролю якості повітря на базі IoT для розумного будинку, а саме SWOT-аналіз, метод опитувань, порівняльний аналіз.

Список використаних джерел

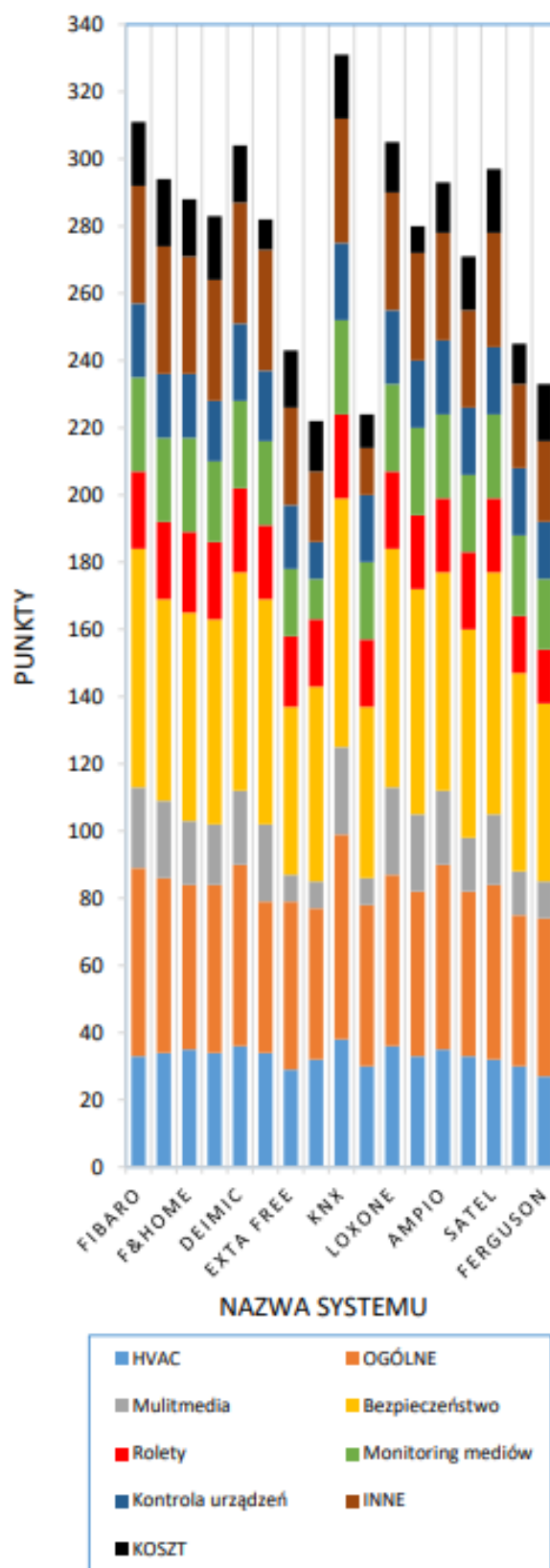
1. Грабіна, К. І., Шендрік, В. В., Данченко, О. Б., & Мазуркевич, А. Г. (2021). Застосування SWOT-аналізу для ідентифікації ризиків проекту. Управління проектами у розвитку суспільства. XVIII Міжнародна науково-практична конференція (м. Київ, травень 2021). Київ: КНУБА, 133–137.
2. Оголь, А. (2021). Чому SWOT-аналіз необхідний практично кожному бізнесу? Retrieved November 30, 2024, from <https://esputnik.com/uk/blog/swot-analiz-iz-prikladami>.
3. TOMAŞ, M. (2020). Smart house with artificial intelligence. European Journal of Science and Technology, 686–693. <https://doi.org/10.31590/ejosat.689634>.
4. Wilson, C., Hargreaves, T., & Hauxwell-Baldwin, R. (2017). Benefits and risks of smart home technologies. Energy Policy, 103, 72–83. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.12.047>.
5. Woliński, M., & Szymczyk, T. (2022). Comparative analysis of software for smart homes. Journal of Computer Sciences Institute, 23, 84–88. <https://doi.org/10.35784/jcsi.2842>.

**Порівняльний аналіз комерційних системи моніторингу і контролю якості
повітря на базі IoT для розумного будинку**

Атрибут	Awair Element	IAQAir AirVisual Pro	Netatmo Smart Indoor Air Quality Monitor	uHoo Smart Air Monitor
Параметри вимірювання	CO ₂ , TVOCs, PM2.5, темп., вологість	CO ₂ , PM2.5, PM10, темп., вологість, AQI	CO ₂ , темп., вологість, шум	CO ₂ , CO, PM2.5, PM10, TVOCs, темп., вологість, тиск, озон
Дисплей	LED-індикатор	Кольоровий LCD	Відсутній	Відсутній
Інтеграція з розумним будинком	Google Assistant, Alexa	Відсутня	Apple HomeKit	Google Assistant, Alexa, IFTTT
Хмарний аналіз та прогнозування	Ні	Так, AI- прогнозування	Ні	Так
Джерело живлення	Мережа	Акумулятор + мережа	Мережа	Мережа
Додаткові унікальні функції	Персоналізовані рекомендації	Прогнозування забруднення, CO ₂ -індикатор вентиляції	CO ₂ - індикатор, інтеграція з HomeKit	Вимірювання озону та CO, детальна аналітика

Порівняльний аналіз програмного забезпечення для розумного будинку

[20]



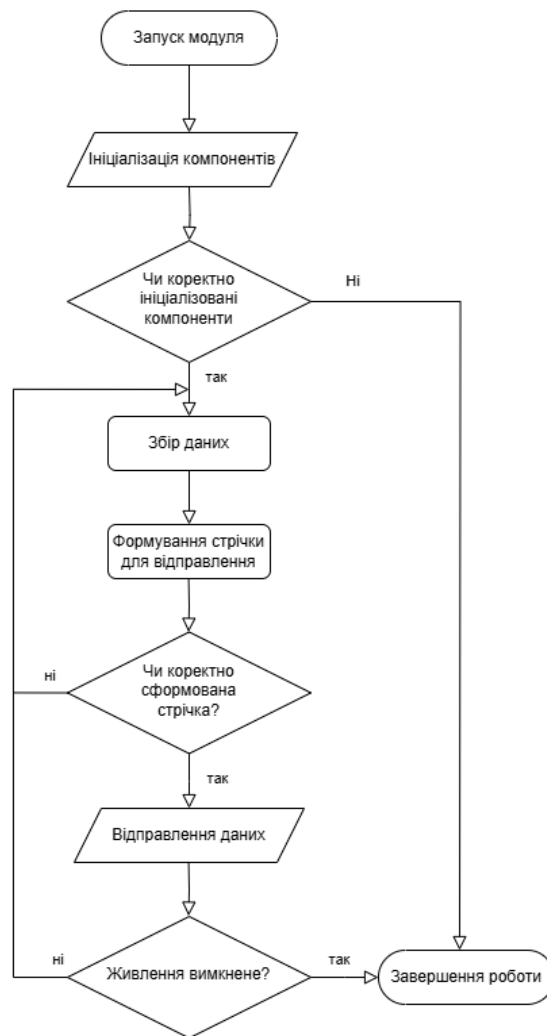
**Ваговий SWOT аналіз впровадження систем моніторингу і контролю
якості повітря на базі IoT для розумного будинку (табличний формат)**

№	Сильні сторони (оцінка)	Слабкі сторони (оцінка)	Можливості (оцінка)	Загрози (оцінка)
1	Точний контроль якості повітря (5)	Висока вартість впровадження (5)	Ріст ринку IoT (5)	Конкуренція на ринку (3)
2	Інтеграція з іншими системами (4)	Складність налаштування (4)	Підвищення обізнаності про екологію (4)	Регуляторні обмеження (4)
3	Персоналізація (3)	Вразливість до кіберзагроз (3)	Державні ініціативи та субсидії (3)	Енергетична нестабільність (3)
4	Економія ресурсів (4)	Обмежений термін служби обладнання (3)	Розвиток алгоритмів штучного інтелекту (4)	Недовіра до IoT (2)
5	Мобільний доступ (3)	-	Збільшення попиту серед алергіків (4)	Залежність від Інтернету (3)

**Список компонентів, використаних для створення системи контролю та
якості повітря**

Позначення	Найменування	Кількість	Коментар
U1, U2	Arduino Nano	2	U1 – для збору даних та передачі, U2 – для керування системою вентиляції, відправлення їх на сервер
MQ1	MQ-135	1	Сенсор вимірювання диму, який замінятиме МН-Z19С
TH1	DHT11	1	Датчик вимірювання температури та вологості
TX1	FS1000A	1	Радіопередавач
RX1	XY-MK-5V	1	Радіоприймач
DS1	LCD 1602 + I2C/ІІС	1	LCD 1602 з модулем швидкого старту I2C/ІІС
WiFi1	ESP8266	1	ESP8266 для передачі даних на сервер
M1	L9110	1	Моторний драйвер з пропелером, який замінятиме повноцінну систему вентиляції

Алгоритм роботи програми модуля передавача



Алгоритм роботи програми керуючого модуля

