

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Сумський державний університет**  
Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра електроніки, загальної та прикладної фізики

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Іван ПРОЦЕНКО  
\_\_\_\_\_ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**на здобуття освітнього ступеня бакалавр**

зі спеціальності 171 Електроніка освітньо-професійної програми  
«Електронні інформаційні системи»

на тему: **ІоТ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЖИТЛОВИХ  
ПРИМІЩЕНЬ**

Здобувача групи ЕП-91 Марченка Олександра Володимировича

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

Олександр МАРЧЕНКО

Керівник: доцент кафедри електроніки,  
загальної та прикладної фізики,  
к.ф.-м.н., доцент

Юрій ШАБЕЛЬНИК

**Суми – 2023**

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
Кафедра електроніки, загальної та прикладної фізики  
Спеціальність 171 – Електроніка, освітньо-професійна програма  
«Електронні інформаційні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри ЕЗПФ  
І.Ю. Проценко  
«16» травня 2023 року

**ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

**Марченка Олександра Володимировича**

1. Тема роботи: **ІоТ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЖИТЛОВИХ ПРИМІЩЕНЬ**

затверджена наказом по університету від «15» травня 2023р., №0499-VI

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 12 червня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи (актуальність, мета)

Сьогодні існує необхідність контролю та вимірювання майже всіх фізичних величин у великій кількості і майже в усіх галузях діяльності людини. Застосування сенсорів та пов'язаних з ними комунікаційних вузлів, а також розвиток бездротових сенсорних мереж дозволяє це зробити. Головний тренд у сфері технологій – зростаюча популярність Інтернету речей. Основною задачею при побудові нинішньої мережі промислового Інтернету речей є задача правильно побудувати і продумати архітектури для створення усіх необхідних вимог. Застосування ІоТ в житлових приміщеннях дозволяє створити "розумний дім", де всі електронні пристрої можуть спілкуватися між собою, обмінюватися даними та виконувати завдання автоматично.

З огляду на це, розроблення інформаційних технологій моніторингу навколишнього середовища в концепції ІоТ є актуальною науково-технічною задачею, що має важливе наукове та практичне значення.

Метою кваліфікаційної роботи є вивчення та критичний аналіз розробок ефективних і сучасних ІоТ-платформ, спрямованих на автоматизацію житлових приміщень.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить їх розробити)

1. У літературному огляді надати загальну характеристику IoT платформ для автоматизації житлових приміщень.

2. Проаналізувати переваги та недоліки використання IoT для автоматизації житлових приміщень.

3. Описати роботу двох IoT платформ – IoT від Xiaomi та Apple HomeKit.

4. Висновки.

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

Слайди №1-2 – Мета та актуальність роботи.

Слайди №3-5 – Загальна характеристика IoT платформ для автоматизації житлових приміщень (літературний огляд).

Слайди №6-8 – Переваги та недоліки використання IoT для автоматизації житлових приміщень.

Слайди № 9-12 – Використання IoT систем від Xiaomi та Apple.

Слайд № 13 – Висновки

6. Дата видачі завдання 16.05.2023 р.

#### **КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз літературних даних	до 21.05.2023 р.	<i>вик.</i>
2.	Проведення експерименту, моделювання, розрахунків, обробка результатів	до 04.06.2023 р.	<i>вик.</i>
3.	Оформлення тексту кваліфікаційної роботи.	до 11.06.2023 р.	<i>вик.</i>
4.	Попередній захист роботи	16.06.2023 р., онлайн	<i>вик.</i>
5.	Захист кваліфікаційної роботи	22.06.2023 р., 10-00 – 13-00 онлайн	

Здобувач вищої освіти

Марченко О.В.

Науковий керівник

Шабельник Ю.М.

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота викладена на 35 сторінках, зокрема, містить 13 рисунків, 1 таблиця, список використаних джерел із 26 найменувань.

Розробка IoT-платформ для автоматизації житлових приміщень має значний потенціал для вдосконалення якості життя людей і забезпечення енергоефективності. Одним з головних трендів у сфері технологій є зростаюча популярність Інтернету речей, що передбачає підключення різних пристроїв та сенсорів до мережі Інтернет. Застосування IoT в житлових приміщеннях дозволяє створити «розумний дім», де всі електронні пристрої можуть спілкуватися між собою, обмінюватися даними та виконувати завдання автоматично. В глобальному сенсі IoT прискорить створення та розвиток розумних міст.

Мета кваліфікаційної роботи полягає у вивченні, аналізі та розробці ефективних IoT-платформ, спрямованих на автоматизацію житлових приміщень з метою поліпшення комфорту, енергоефективності та безпеки для мешканців.

У результаті підготовки кваліфікаційної роботи був проведений літературний огляд IoT платформ для автоматизації житлових приміщень, проаналізовані недоліки та переваги на прикладі двох промислових систем – IoT від Xiaomi та Apple HomeKit.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** IoT, АВТОМАТИЗАЦІЯ ЖИТЛОВИХ ПРИМІЩЕНЬ, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, РОЗУМНИЙ БУДИНОК.

## ЗМІСТ

	С.
<b>ВСТУП</b> .....	6
<b>РОЗДІЛ 1. ІоТ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЖИТЛОВИХ ПРИМІЩЕНЬ</b> .....	7
1.1. Роль ІоТ в автоматизації приміщень.....	7
1.2. Системи автоматизації житлових приміщень.....	8
1.3. Технологія «Розумний будинок».....	10
<b>РОЗДІЛ 2. ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ЗАСТОСУВАННЯ ІоТ</b> .....	16
2.1. Платформа Інтернету речей (ІоТ).....	16
2.2. Переваги та недоліки застосування ІоТ.....	18
2.3. Конфіденційність користувачів.....	19
<b>РОЗДІЛ 3 ВИКОРИСТАННЯ ІоТ СИСТЕМ</b> .....	24
3.1. Система ІоТ від Xiaomi.....	24
3.2. Система Apple HomeKit.....	28
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	32
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	33

## ВСТУП

Промислові революції можна розділити на чотири фази. Перша революція відкрила нові джерела енергії для машин, такі як масовий видобуток вугілля і винахід парових електростанцій. Друга революція, відома як масове виробництво, супроводжувалася великим виробництвом чавуну і сталі, а також створенням великих заводів зі складальними лініями. Третя революція представила комп'ютер і комунікаційні технології, такі як система телефонії, які дозволили автоматизувати ланцюжки поставок.

Четверта промислова революція використовує широкий спектр сучасних технологій, таких як системи зв'язку (наприклад, 5G), інтелектуальні роботи та Інтернет речей (IoT), щоб розширити можливості промисловості. IoT з'єднує пристрої, людей, дані і процеси, що дозволяє їм взаємодіяти без проблем.

Завдяки бездротовому підключенню, IoT пристрої можуть комунікувати між собою без проблем та обмінюватися даними в режимі реального часу. Це відкриває безліч можливостей для вдосконалення різних сфер життя. Наприклад, в медицині IoT дозволяє віддалено відстежувати показники здоров'я пацієнтів, моніторити хронічні захворювання та швидко реагувати на екстрені ситуації. У розумних містах IoT допомагає оптимізувати використання енергії, води та інших ресурсів, забезпечує ефективну роботу громадського транспорту та поліпшує системи безпеки.

Однак, зростаюча кількість підключених пристроїв IoT також ставить перед нами виклики щодо безпеки і приватності даних. Зі збільшенням кількості пристроїв, які збирають і обмінюються даними, необхідно розробляти і впроваджувати надійні механізми захисту, щоб запобігти несанкціонованому доступу та зловживанню інформацією. Крім того, потрібно розробляти етичні стандарти та правові рамки, щоб забезпечити відповідну обробку та використання персональних даних. IoT вимагають постійного вдосконалення технологій, розвитку інфраструктури та співпраці між різними секторами суспільства.

# РОЗДІЛ 1

## ІоТ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЖИТЛОВИХ ПРИМІЩЕНЬ

### 1.1. Роль ІоТ в автоматизації приміщень

ІоТ – це мережа фізики всіх об'єктів, які містять вбудовані технології для спілкування і відчуття або зв'язку зі своїми внутрішніми станами або зовнішнім середовищем. Поєднання ефективних бездротових протоколів, дешевших процесорів, покращених датчиків, а також безлічі стартапів та відомих компаній, що розробляють необхідне програмне забезпечення для управління та застосування, нарешті зробило концепцію мейнстрімом ІоТ. Перш за все, розумний будинок, підключені прилади - це те, про що думають люди, коли чують ІоТ. Вони уявляють собі розумний будинок, запрограмований економити енергію і робити життя більш комфортним [1]. Системи опалення є синхронізовані з зовнішніми датчиками температури, будильники є синхронізовані з додатками дорожнього руху, які будуть синхронізовані з оцінкою витрат, освітлення буде реагувати, коли ми входимо в квартиру, як і наші кавоварки. Все це звучить так чужо для нас, але таких будинків, предостатньо. Крім того, ІоТ матиме різкий вплив на управління відходами. У супроводі плавної інтеграції світла, тепла та кондиціонування повітря, яка реагує на вас, на цих рахунках можна заощадити багато грошей. У нас є щоденні поїздки на роботу. Подумайте про те, що ви залишили свій будинок без ключа від будинку, ваш будинок скаже вам це. Автомобілі будуть передбачати нашу точку зору і відкриватися через датчик в наших телефонах. Інтелектуальне виявлення дорожнього руху дозволяє нашому пристрою направляти нас на найкоротший шлях до роботи та дому. Послуги таксі для ділових зустрічей будуть сплановані відповідно до вашого календаря, синхронізованого зі смартфоном [2]. У спорті пристрої будуть пов'язані з продуктивністю, ефективністю. Ви зможете відстежувати свій прогрес, помилки, силу, спритність, загальний рівень серцево-судинної підготовки та будь-яку змінну, яку ви можете собі уявити. Будь то для

їзди на велосипеді, тенісі чи футболі, всі можуть використовувати датчики, і вони будуть використовувати їх на повну ефективність. Розвиток сприятливих технологій, таких як смартфони, вбудовані системи, хмарні мережі, мережева віртуалізація, нано-електроніка, зв'язок, датчики та програмне забезпечення, буде важливим для забезпечення речей можливістю бути підключеним весь час скрізь. Це також підтримає важливі майбутні інновації продуктів IoT, що впливають на багато різних промислових секторів. Основною метою IoT є створення розумних середовищ та просторів та самосвідомих речей для енергії, мобільності, клімату, продуктів харчування, цифрового суспільства та додатків для здоров'я. Майбутній час Розробки IoT будуть стосуватися високо розподілених додатків IoT, що включають високий ступінь розподілу та обробки на межі мережі за допомогою платформ, які надають комп'ютерні послуги, зберігання та мережеві послуги між периферійними пристроями та обчислювальними центрами обробки даних. Інструменти аналізу великих даних здатні обробляти величезні обсяги даних, що генеруються з пристроїв IoT, які створюють безперервний потік інформації [3].

Поширення бездротового підключення в пристроях Інтернету речей (IoT) швидко розширюється. Це призводить до запуску та інтеграції багатьох служб та програм IoT. IoT - це технологія, яка широко використовується для з'єднання пристроїв через Інтернет. Він використовується в багатьох додатках і областях, таких як безпека, електронна охорона здоров'я, домашня автоматизація, надзвичайні ситуації, логістика, розумні вимірювання, промисловий контроль і розумні міста. Останнім часом до платформ IoT застосовується концепція, яка передбачає сприйняття умов мережі, аналіз зібраних знань, прийняття розумних рішень та адаптивне виконання дій. Це націлене на максимізацію продуктивності всієї мережі [4].

## **1.2 Системи автоматизації житлових приміщень**

Системи автоматизації житлових приміщень зазвичай називають системами створення розумного дому або розумного будинку. Розумний дім — це середовище



для проживання, вдосконалене автоматичними системами. Розумний дім здається "розумним", оскільки його щоденна діяльність контролюється комп'ютером. Розумний дім складається з багатьох технологій що слугують для покращення якості життя за допомогою домашніх мереж. Розумний дім — це місце, оснащене високорозвиненими автоматичними системи управління та моніторингу — системами керування освітленням, температурою, різноманітними приладами, мультимедійним обладнанням, системами охорони та багатьма іншими функціями [5-7]. На сьогоднішній день розробка системи управління розумним будинком є одним з пріоритетних напрямів розвитку автоматизованих систем. У сучасній системі розумного будинку, кожна з систем працює в оптимальному режимі за рахунок взаємообміну даними з іншими системами будівлі, що в підсумку дозволяє максимізувати ефективність роботи всієї системи в цілому. Існують наступні методи управління розумним будинком:

- автоматичне керування розумним будинком на основі датчиків;
- управління розумним будинком за допомогою пульта дистанційного управління і панелі керування;
- віддалене керування.

Система керування будинком на основі датчиків і мікроконтролерів використовується для керування такими системами, як: системи клімат контролю, системи безпеки, системи контролю освітлення, системи контролю доступу тощо. В системі містяться наступні типи датчиків: датчик присутності, датчик диму, датчик руху, датчик температури, датчик освітлення, датчик протікання води тощо [2]. Розвиток систем автоматизації споруд тісно пов'язаний із технологіями інтернету речей. Інтернет речей, як випливає з назви — це зв'язок повсякденних пристроїв між собою. З розвитком технологій численні пристрої використовують датчики, приводи, вбудовані комп'ютерні системи та хмарні обчислення. Це дозволило пристроям спілкуватися між собою. Простіше кажучи, Інтернет речей дає можливість пристроям (речам) взаємодіяти та координувати один з одним, тим самим зменшуючи втручання людини в основні повсякденні завдання [3].

### 1.3 Технологія «Розумний будинок»

Системи домашньої автоматизації привернули чималу увагу з розвитком комунікаційних технологій. Розумний будинок (SH) – це програма Інтернету речей (IoT), яка дозволяє користувачам керувати і контролювати побутову техніку в режимі реального часу через інтернет. SH – це будинок з автоматизованою системою, яка включає датчики, виконавчі механізми та контролери для підвищення комфорту, автоматизації, безпеки та безпеки для кращої якості життя мешканців. Як сучасному світі розумні пристрої, такі як смартфони, смарт-телевізори (телевізори), розумні пральні машини, розумні холодильники та розумні датчики стали залучені до кожного аспекту повсякденного життя людей (рис. 1.1). Такі розумні пристрої здатні спілкуватися і взаємодіяти один з одним для формування розумного середовища. Система автоматизації повинна бути розроблена для управління зв'язком між інтелектуальними пристроями всередині SH [8-9].

Розроблено багато систем автоматизації, а деякі з них використовуються як комерційні продукти на ринку. Деякі з цих продуктів прийняті для контролю вдома побутова техніка локально або віддалено. З винаходом мікроконтролерів витрати на електронне управління стрімко знизилися в кінці минулого століття, з'явилася домашня автоматизація. Системи домашньої автоматизації не були широкими поширилися, і такі системи все ще вважалися сферою любителів або багатіїв. Різні технології автоматизації, такі як пульт дистанційного керування для телевізорів, вентиляторів, кондиціонерів та музичних плеєрів, були використані для оснащення побутової техніки необхідними системами для легкого моніторингу і управління. З широким впровадженням електрики в будинках і швидким розвитком інформаційних технологій, почалася нова ера управління побутовою технікою з використанням мобільних пристроїв з ближнім зв'язком іонними інтерфейсами, такими як Bluetooth і ZigBee, а також мережами Wi-Fi і модулями GSM. Всі ці системи і технології корисні для внутрішнього управління побутовою технікою і дозволяють мешканцям контролювати своє житло. Хоча такі системи дозволяють взаємодіяти з інгібіторами для забезпечення зручності, комфорту, безпеки та

енергоефективності в будь-який час, вони мають безліч обмежень по функціональності і дальності зв'язку. Більшість цих систем не використовують потужні особливості нової технології IoT, яка спрямована на підключення мільярдів смарт-пристроїв (телефонів, ноутбуків, датчиків і виконавчих механізмів) до Інтернету.

В даний час більшість будинків мають деяку «розумність», оскільки різні пристрої мають вбудовані датчики або контролери електронних приладів. Пристрої всередині системи SH можуть бути пов'язані один з одним і досягатися через точку доступу для моніторингу домашніх умов і управління побутовою технікою. Наприклад, освітлення, термостати, телевізори, дверні замки, камери, пральні машини та холодильники можна контролювати та керувати за допомогою універсальної системи автоматизації SH. Така система стає системою автоматизації на основі IoT, коли їй надається доступ до мережі інтернет. Системи домашньої автоматизації мають безліч переваг, таких як зниження споживання електроенергії та витрат на електроенергію.

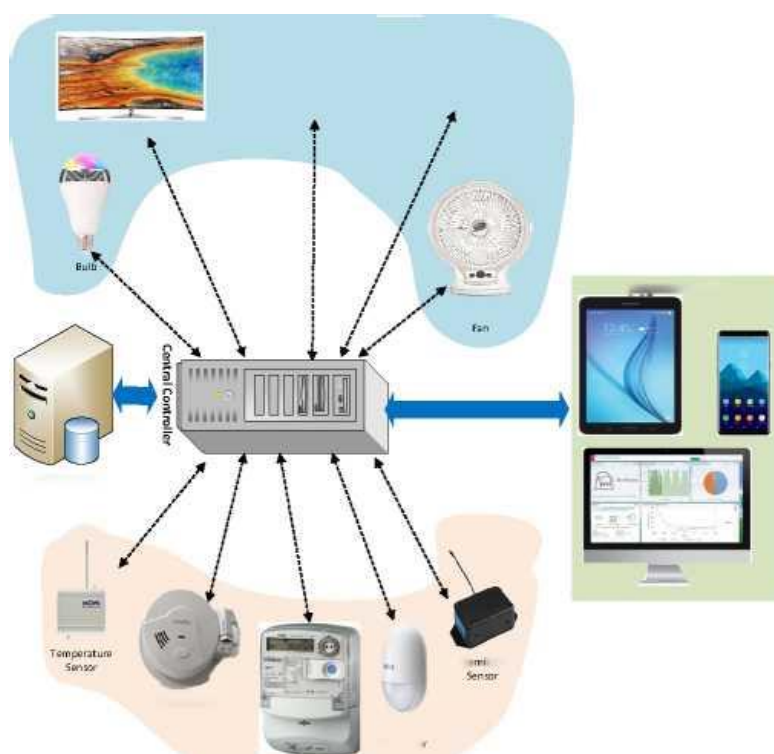


Рисунок 1.1 – Середовище SH. Із роботи [10]

Крім того, системи домашньої автоматизації підвищують безпеку і безпеку будинку. Наприклад, деякі системи можуть сповіщати домовласників, коли вдома виявляється будь-який рух, поки вони не є поряд, а деякі прилади можуть повідомляти пожежні станції у разі пожежі. IoT може бути використаний для вдосконалення існуючих систем домашньої автоматизації шляхом введення основного контролю над інтернетом.

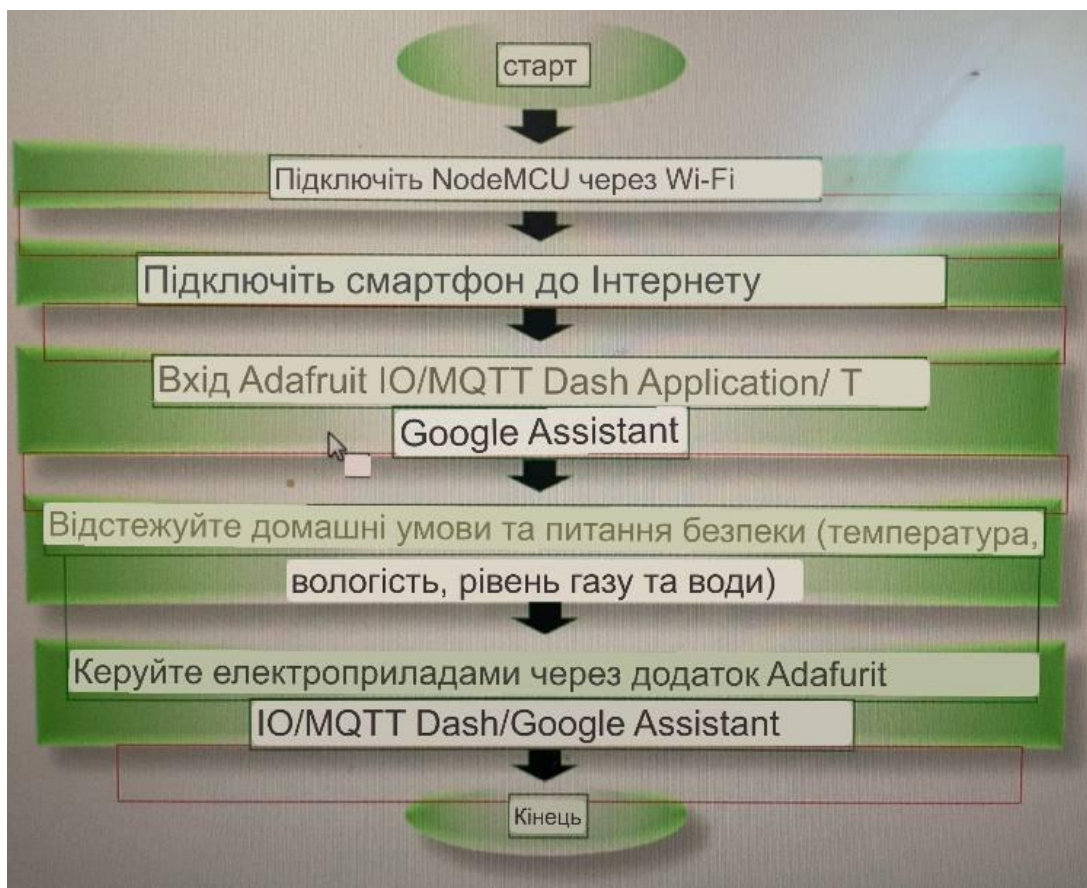


Рисунок 1.2 – Блок-схема роботи системи NodeMCU.Адаптовано із роботи [11]

Основною частиною системи домашньої автоматизації на базі IoT є мікроконтролер. Вузловий блок мікроконтролера (NodeMCU) на базі плати контролера на базі Wi-Fi є платформою з відкритим вихідним кодом для додатків IoT і використовується в якості основного мікроконтролера в цьому проекті. NodeMCU в основному використовується для збору даних, отриманих датчиками, і завантажує дані на сервер IoT. Крім того, даний мікроконтролер отримує команди, що подаються користувачами через смартфони/ноутбуки для виконання конкретних завдань NodeMCU складається з фізичної програмованої плати,

подібної до будь-якої іншої плати розробки, такої як Arduino або Raspberry Pi. NodeMCU може бути запрограмований на програмне забезпечення Arduino, яке є інтегрованим середовищем розробки (IDE) для запису кодів інструкцій і завантаження їх в мікроконтролер. Вдосконаленою формою системи автоматизації SH є використання гаджетів для доступу та управління всією побутовою технікою та датчиками. Часто використовувані гаджети розробляються як мобільні додатки поверх операційних систем смартфонів, таких як Android/iOS або як веб-інформаційні панелі, інтегровані в платформи IoT з відкритим кодом. За допомогою серверів хмарних обчислень IoT, всі дані, отримані від датчиків, агрегуються та аналізуються, щоб стати цінною інформацією для вирішення конкретних вимог, коли вони завантажуються на сервер. Всі дані можуть бути використані для відображення шаблонів читання в термінах графіків і виявлення можливих виникаючих проблем і надання рекомендацій або рекомендацій користувачеві. IoT може створити нові інноваційні концепції, які можуть бути використані для розробки SH для забезпечення інтелекту, комфорту, безпеки та кращої якості життя.

У цьому дослідженні представлено розробку, виготовлення та перевірку портативної системи автоматизації на основі IoT під назвою IoT@HoMe (рис. 1.2) для SH. Це дозволяє автоматизувати IoT та моніторинг SH, використовуючи NodeMCU як мікроконтролер та Інтернет-шлюз.

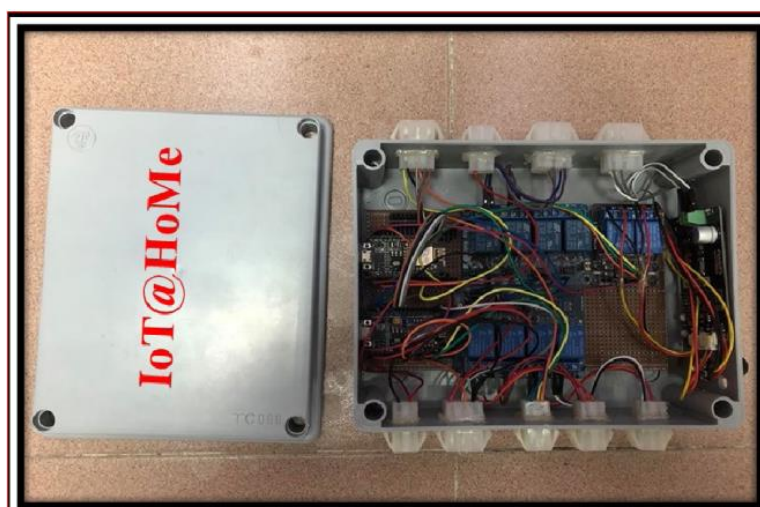


Рисунок 1.3 – Портативна система IoT@HoMe. Із роботи [12]

IoT@HoMe використовує кілька датчиків для моніторингу різних параметрів, пов'язаних з будинком, таких як температура, вологість, витік газу, рух, радіочастотна ідентифікація (RFID) та рівень води. Кілька виконавчих механізмів використовуються для виконання керуючих дій побутової техніки, таких як перемикання світла і вентиляторів, управління дверима і вікнами і робота двигунів та насосів. Крім того, зручний графічний інтерфейс користувача (GUI) розроблений для полегшення взаємодії між користувачами та SH. Прототип SH побудований для реалізації та перевірки ефективності запропонованої системи IoT@HoMe. Розроблений система спрямований на автоматизацію побутової техніки, підвищення безпеки та захисту, а також підвищення якості та зручності життя [12-14].

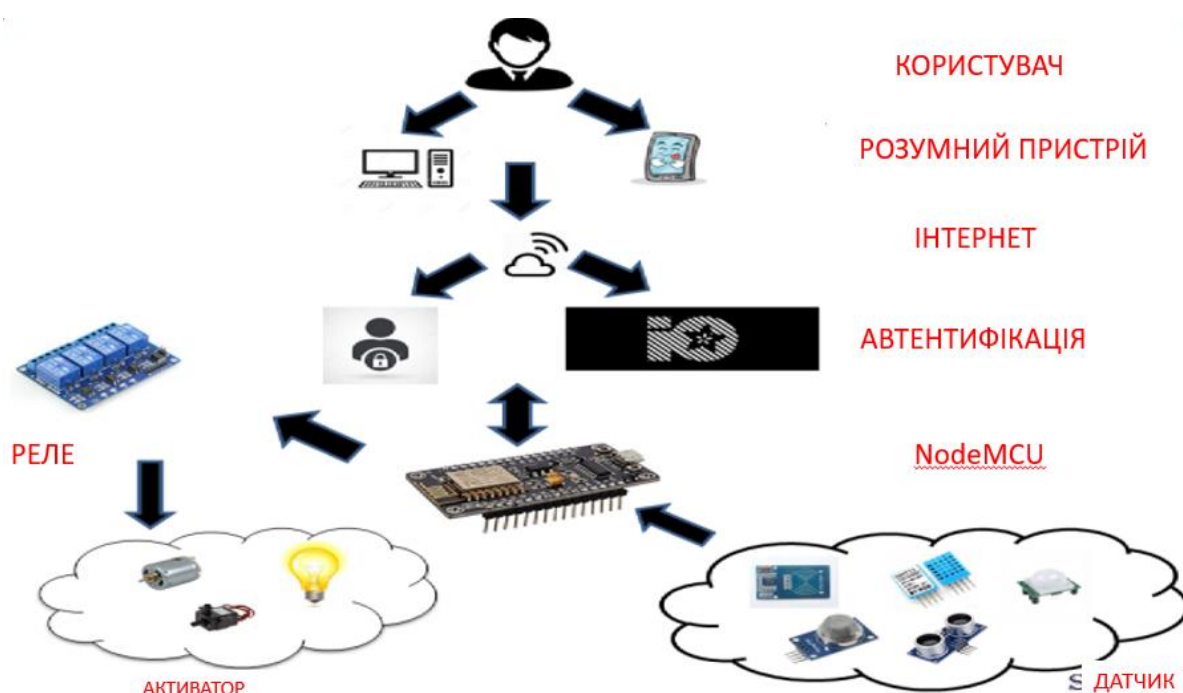


Рисунок 1.4 – Iot@HoMe системна архітектура. Із роботи [13]

Переваги систем автоматизації SH включають легкість і доступність, зниження енергії, зручність, комфорт, душевний спокій, розваги, безпеку і безпеку. Проведено дослідження з метою виявлення проблем в існуючих системах домашньої автоматизації. Більшість існуючих систем непридатні для багатьох користувачів через їх високу вартість і складності в обслуговуванні. Крім того,



існуючі системи домашньої автоматизації не мають технологій IoT і мають недружні користувальницькі інтерфейси. Деякі системи автоматизації SH не враховують безпеку. Безпека та безпека є важливими елементами в будь-якій SH, щоб уникнути інцидентів. Деякі існуючі SH мають недостатні функції та функціональні можливості, оскільки оригінальний інсталятор може не мати адекватних знань про встановлення та введення в експлуатацію системи. Існуючі системи мають обмежений діапазон бездротового підключення до передачі, оскільки вони використовують бездротові інтерфейси короткого радіусу дії, такі як ZigBee, Bluetooth і Wi-Fi [15-16].

На ринку доступні значні стебла домашньої автоматизації. Ці системи можна розділити на дві основні категорії, а саме місцеве управління та дистанційне/глобальне управління, які відрізняються залежно від своєї концепції експлуатації. В основному, локальні системи управління використовують домашній контролер зі стаціонарною або бездротовою технологією зв'язку для підключення до центрального хаба або шлюзу, а користувачі можуть керувати побутовою технікою лише локально. Системи дистанційного/глобального управління дозволяють користувачам керувати побутовою технікою з будь-якої точки Інтернету за допомогою своїх смартфонів/ноутбуків.

## РОЗДІЛ 2

### ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ЗАСТОСУВАННЯ ІОТ

Застосування ІоТ в різних секторах і галузях широко обговорювалося і розглядалося в літературі. Більше того, виклики та можливості щодо розгортання однієї або групи технологій ІоТ отримали високий рівень технічної оцінки, наприклад, датчиків або мережі 5G. Що стосується енергетичного сектору, більшість досліджень були зосереджені на одному конкретному під секторі, наприклад, будівлях або технічному потенціалі певної технології ІоТ в енергетичному секторі. Наприклад, програми розумного будинку ІоТ та перспективу інтеграції цих програм у середовище з підтримкою ІоТ, останні досягнення та впровадження 5G вивчаються лише з акцентом на стороні попиту на енергію.

Однак, на відміну від оглядової літератури, де основна увага зазвичай приділяється або конкретному під сектору в енергетичному секторі, або певним технологіям ІоТ, у цій статті розглядається застосування ІоТ в енергетичному секторі, від виробництва енергії до передачі та розподілу (Т&D) та стороні попиту. Таким чином, основним внеском цього документа є розширення існуючої літератури, надаючи розробникам енергетичної політики, економістам, енергетичним експертам та менеджерам загальний огляд можливостей, єдності та проблем застосування ІоТ у різних частинах усього енергетичного сектору. У зв'язку з цим, ми коротко представляємо структуру ІоТ та її сприятливі технології, щоб сформуванати основу для обговорення їх ролі в енергетичному секторі [17].

Був проведений систематичний пошук для збору та перегляду недавньої літератури про роль ІоТ в енергетичному секторі.

#### 2.1 Платформа Інтернету речей (ІоТ)

Платформа ІоТ (рис. 2.1) є важливим компонентом великої екосистеми ІоТ, яка підтримує та з'єднує всі компоненти системи.



Платформа IoT – це багаторівнева технологія, яка забезпечує нескладне надання, управління та автоматизацію підключених пристроїв у всесвіті Інтернету речей. Він принципово підключає ваше обладнання, яким би різноманітним воно не було, до хмари, використовуючи стійкі варіанти підключення, механізми безпеки корпоративного рівня та широкі можливості обробки даних. Платформа IoT надає набір готових до використання функцій, які дуже прискорюють розробку додатків для підключених пристроїв, а також піклуються про масштабованість і сумісність між пристроями. Зазвичай його називають проміжним програмним забезпеченням, коли ми говоримо про те, як він підключає віддалені пристрої до користувацьких додатків і обробляє всі взаємодії між апаратним і прикладним рівнями. Платформи IoT виникли у формі проміжного програмного забезпечення IoT, основною метою якого було функціонувати як посередник між шарами застосування та апаратним забезпеченням. Його основна дія включає збір даних пристроїв за різними протоколами та мережевими топологіями, управління пристроями, віддалене налаштування та керування пристроями, а також покращення бездротової прошивки. У реальних різних екосистемах IoT,

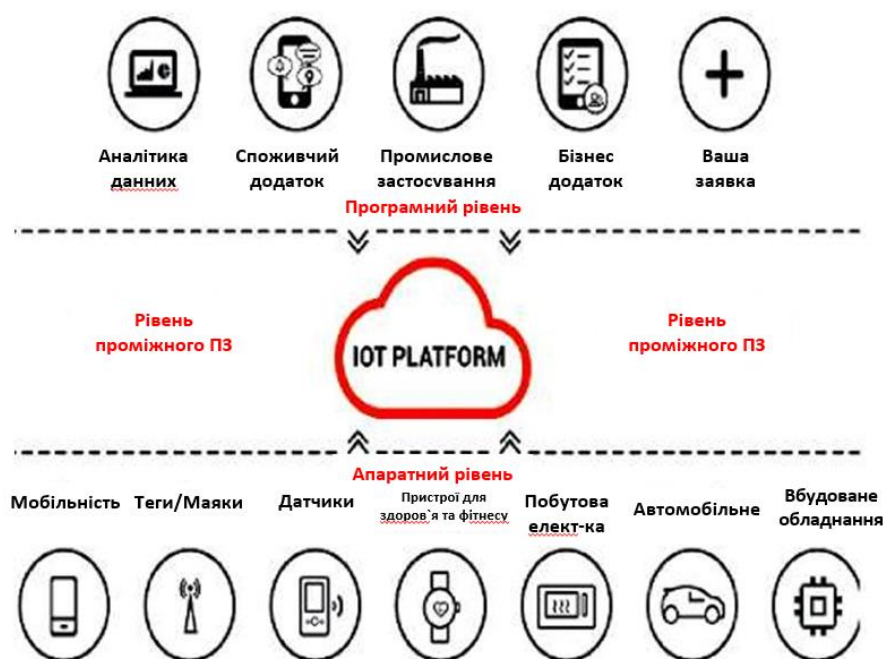


Рисунок 2.1 – Платформа IoT. Адаптовано з роботи [18]

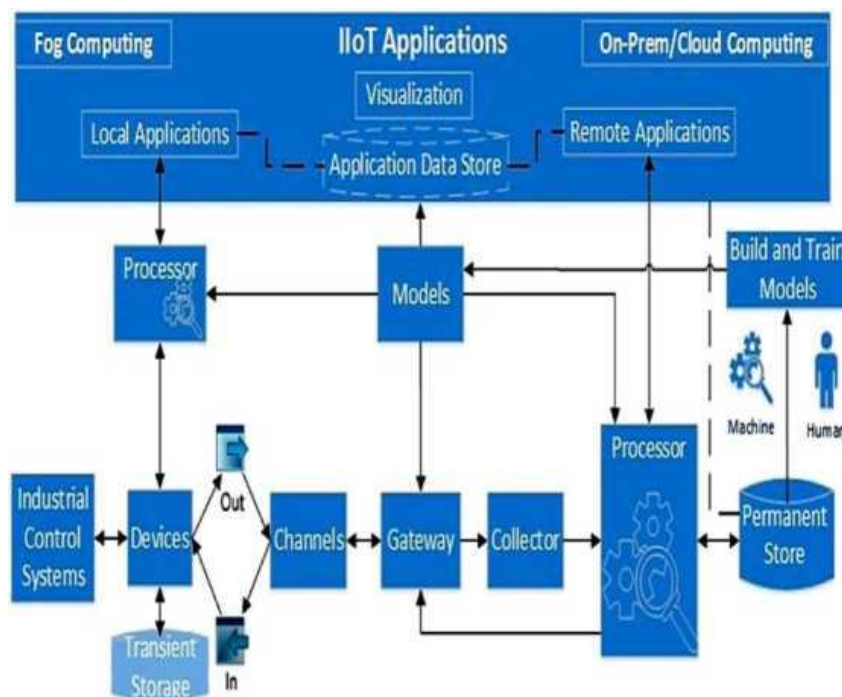


Рисунок 2.2 – Структура замкненої системи ІоТ. Із роботи [15]

Очікується, що проміжне програмне забезпечення ІоТ підтримуватиме конкорд практично з будь-яким підключеним пристроєм та комбінацію зі сторонніми додатками, що використовуються пристроєм. Ця свобода від базового апаратного та нависає програмного забезпечення дозволяє одній платформі ІоТ обробляти будь-який тип підключеного пристрою таким же легким способом.

## 2.2. Переваги та недоліки застосування ІоТ

Окрім усіх переваг ІоТ для енергозбереження, розгортання ІоТ в енергетичному секторі представляє проблеми, які необхідно вирішити. У цьому розділі розглядаються проблеми та існуючі рішення для застосування енергетичних систем на основі ІоТ. Крім того, в таблиці 4 ми підсумовуємо виклики та поточні рішення використання ІоТ в енергетичному секторі.

Споживання енергії. В енергетичних системах, основні зусилля платформ ІоТ - це економія енергії. В енергетичних системах, щоб забезпечити зв'язок за допомогою ІоТ, величезна кількість пристроїв ІоТ передають дані. Для запуску системи ІоТ і передачі величезної кількості даних, що генеруються з пристроїв ІоТ,

необхідна значна кількість енергії. Тому енергоспоживання систем IoT залишається важливою проблемою. Однак різні підходи намагалися знизити енергоспоживання систем IoT. Наприклад, налаштувавши датчики переходити в сплячий режим і просто працювати, коли це необхідно. Широко вивчено розробку ефективних протоколів зв'язку, які дозволяють використовувати розподілені обчислювальні методи, що дозволяють енергоефективні комунікації. Застосування методів оптимізації радіозв'язку, таких як оптимізація модуляції та кооперативний зв'язок, було розглянуто як рішення. Більш того, енергоефективні методи маршрутизації типу S кластерних архітектур і використання методів багатопроменевої маршрутизації розумілися як інше рішення.

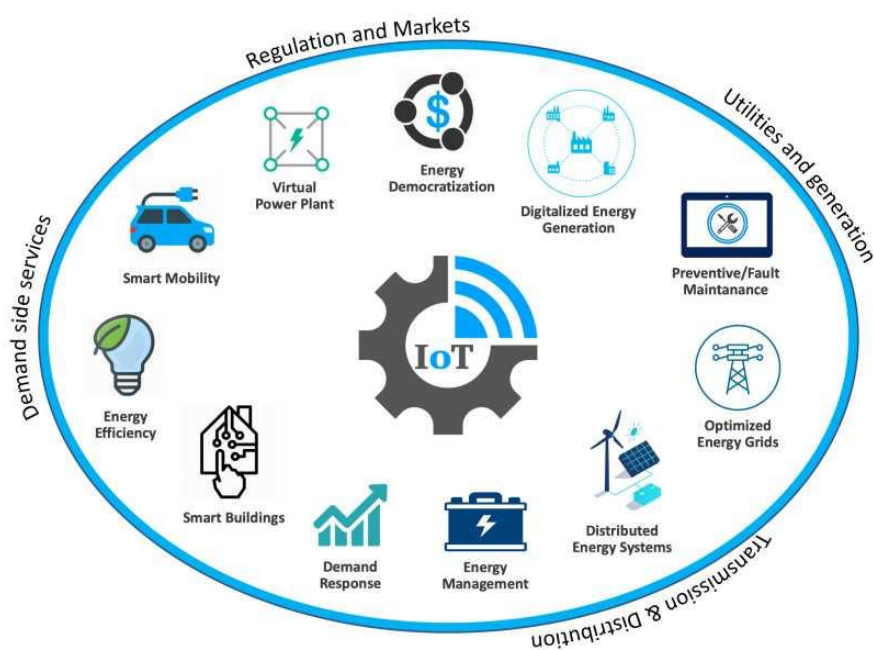


Рисунок 2.3 – Застосування IoT в інтегрованій розумній енергетичній системі. Із роботи [18]

### 2.3 Конфіденційність користувачів

Конфіденційність відноситься до права окремих або кооперативних споживачів енергії зберігати конфіденційність своєї особистої інформації, коли вона передається організації. Таким чином, доступ до належних даних, таких як

кількість споживачів енергії, а також кількість і типи приладів, які використовують енергію, стає неможливим. Дійсно, ці типи даних, які можуть бути зібрані за допомогою IoT, дозволяють краще приймати рішення, які можуть впливати на виробництво, розподіл та споживання енергії. Однак, щоб зменшити порушення конфіденційності користувачів, рекомендується звертатися до постачальників енергії за дозволом користувача на використання їхньої інформації, гарантуючи, що інформація користувачів не буде передана іншим сторонам. Іншим рішенням також було б довічне управління конфіденційністю, де споживачі енергії мають контроль над своєю інформацією та пропонується конфіденційність [19].

Безпека. Використання IoT та інтеграція комунікаційних технологій в енергетичних системах посилюють загрози та кібератаки на інформацію користувачів та енергетичні системи від виробництва, передачі та розподілу до споживання. Ці теми визначають безпекові виклики в енергетичному секторі. Більше того, енергетичні системи на основі IoT широко розгорнуті у великих географічних районах енергетичного сектора, щоб запропонувати послуги SE. Велике розгортання систем IoT піддає їх більшому ризику піддатися кібератакам. Щоб подолати цю проблему, дослідження вводять схему шифрування для захисту енергетичної інформації від кібератак. Крім того, пропонується розподілені системи управління, які дозволяють керувати на різних системних рівнях IoT, для зниження ризику кібератак та підвищення безпеки системи [20].

Безпека протоколів IoT. Забезпечення безпеки для платформ IoT є ще однією проблемою, яку слід розглянути на всіх рівнях мережі, розглянутих у попередніх розділах. Звичайні механізми безпеки, такі як криптографія та інфраструктура відкритих ключів, звучать непрактично з платформами IoT через їх складність та споживання ресурсів. Отже, нові стандарти розробляються з легкими конструкціями безпеки. Крім того, існує кілька стандартів IoT, що спеціалізуються на забезпеченні безпеки, як показано раніше на (рис. 2.1) У цьому розділі ми обговорюємо декілька з цих стандартів безпеки, проекти та дослідницькі роботи [21].

Таблиця 1 – Виклики та поточні рішення використання IoT в енергетичному секторі

<b>Проблеми</b>	<b>Випуск</b>	<b>Приклад рішення</b>	<b>Користь</b>
Архітектурне проектування	Забезпечення надійного Наскрізного зв'язку	Використання різнорідних еталонних архітектур	Взаємозв'язок речей і людей
	Різноманітні технології	Застосування відкритого стандарту	Масштабованість
Інтеграція IoT з підсистемами	Управління даними IoT	Проектування Коімітаційні моделі	Дані в режимі реального часу між пристроями
	Об'єднання IoT з існуючими системами	Моделювання інтегрованих енергетичних систем	Зниження витрат на обслуговування
Стандартизації	Масове розгортання пристроїв IoT	Визначення системи систем	Узгодженість між різними пристроями IoT
	Невідповідність між пристроями IoT	Відкриті інформаційні моделі та протоколи	Покриття Різні технології

## Продовження таблиці 1

Споживання енергії	Передача високої швидкості передачі даних	Розробка ефективних протоколів зв'язку	Економія енергії
	Ефективне споживання енергії	Розподілених обчислювальна техніка	Економія енергії
Безпека IoT	Загрози та кібератаки	Схеми шифрування, розподілені системи управління	Покращена безпека
Конфіденційність користувачів	Збереження особистої інформації користувачів	Запит дозволу користувачів	Забезпечує краще прийняття рішень

Безпека в межах рівнів протоколу IoT. Загрози безпеці IoT охоплюють всі рівні, включаючи рівні каналу передачі даних, мережі, сеансу та застосування, що мотивує стандарти, що обговорюються в цій статті, включати безпеку в їх дизайн. Протоколи, такі як 802.15.4e, WirelessHART, 6LoWPAN і RPL, пропонують деякі функції безпеки для захисту зв'язку у відповідних рівнях.

MAC 802.15.4e пропонує різні режими безпеки, використовуючи "біт безпеки ввімкнено" в полі керування кадром у заголовку. Вимоги безпеки включають конфіденційність, аутентифікацію, цілісність, механізми контролю доступу та захищені комунікації, синхронізовані за часом.

Стандарт WirelessHART забезпечує надійні функції безпеки, використовуючи найновіші та широко використовувані методи безпеки. Такі методи включають унікальну безпеку для кожного повідомлення шифруванням AES-128, цілісність даних та аутентифікацію, каналів для захисту, індикацію невдалого доступу до

даних, а також звіти про цілісність повідомлень та помилки аутентифікації. Таким чином, він забезпечує різні рівні безпеки, залежно від програми, використовуючи новітні методи. Кілька документів IETF, які мають відношення до 6LoWPAN, обговорюють загрози безпеці та вимоги 6LoWPAN та пропонують рішення. Наприклад, в RFC 4944 розглядається можливість дублювання адрес інтерфейсу EUI-64, які повинні бути унікальними. RFC 6282 обговорює питання цікавості, які виникають через проблеми, введені в RFC 4944. RFC 6568 розглядає можливі механізми прийняття безпеки в рамках обмежених бездротових сенсорних пристроїв. Крім того, в декількох недавніх проектах обговорюються механізми досягнення безпеки в LPWAN. Також RPL пропонує різні рівні безпеки, використовуючи поле "Безпека" у своєму заголовку. Інформація в цьому полі вказує на рівень безпеки та алгоритм криптографії, який використовується для шифрування повідомлення. RPL пропонує підтримку автентичності або даних, семантичну безпеку, захист від атак повтору, конфіденційність та управління ключами. Рівні безпеки в RPL включають: незахищений, попередньо встановлений і аутентифікований. Загрози RPL включають вибіркоче пересилання атаки відмови в обслуговуванні. RFC 7416 обговорює загрози безпеці та можливі атаки на RPL, включаючи атаки конфіденційності, доступності та цілісності з їх можливими контрзаходами [22].

## РОЗДІЛ 3

### ВИКОРИСТАННЯ ІОТ СИСТЕМ

#### 3.1. Система IoT від Xiaomi

Компанія Xiaomi випускає як окремі пристрої, так і різноманітні набори, призначені для впровадження системи розумного будинку. У самому центрі розумного будинку знаходиться шлюз, який об'єднує пристрої та передає інформацію між ними. Встановивши набір пристроїв, можна задати їм сценарій, за яким система буде діяти в різних ситуаціях, будь то витік води або проникнення до будинку.

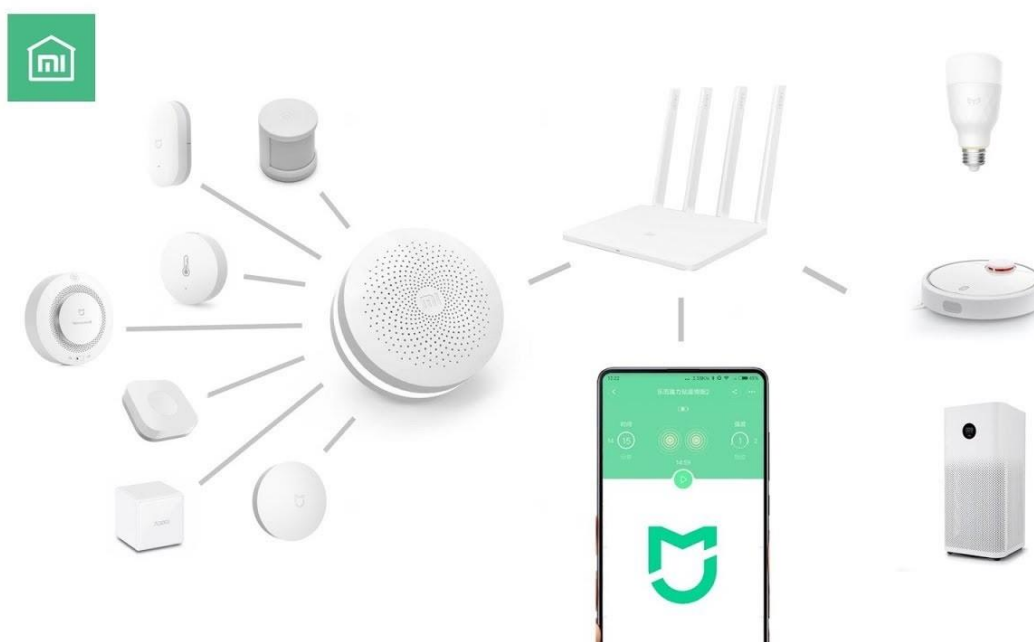


Рисунок 3.1 – Система розумного дому із датчиків та пристроїв організована на основі Xiaomi IoT [23]

Систему автоматизації Xiaomi можна розділити на 3 типи пристроїв:

1. Пристрої, що працюють за протоколом ZigBee, з живленням від батарейки та вимагають наявності одного зі шлюзів управління для об'єднання пристроїв у єдину мережу.
2. Пристрої, що працюють за протоколом Wi-Fi, з живленням від



електромережі.

### 3. Пристрої, що підключаються через Bluetooth.

Керування пристроями здійснюється через спеціальну програму Mi Home, до якої після реєстрації необхідно додати всі пристрої. Xiaomi IoT має велику кількість пристроїв та датчиків.

Шлюз є найголовнішим компонентом при налаштуванні розумного будинку. З його допомогою можна зв'язувати між собою пристрої та задавати необхідні сценарії. Девайс зв'язується з датчиками по протоколу ZigBee, а з мобільним пристроєм - WiFi. До одного шлюзу можна підключити до 30 девайсів. Крім основної своєї функції, шлюз виконує роль нічника, музичного обладнання з радіо, а також передає оповіщення, надсилаючи повідомлення на телефон і надаючи звуковий сигнал [21].



Рисунок 3.2 – Шлюз від Xiaomi для IoT [24]

Протокол ZigBee розроблений для створення надійних та енергоефективних мереж умного дому. Він працює на низькій потужності, що дозволяє пристроям працювати довгий час від батареї. Основні особливості протоколу ZigBee включають маршрутизацію мережі, мережеве керування, безпеку та споживчі можливості. Завдяки механізмам маршрутизації, пристрої можуть комунікувати між собою, проходячи сигнали через інші пристрої, що забезпечує розширення покриття мережі. Завдяки топології мережі та використанню спеціальних

алгоритмів, мережа ZigBee при обриві одного з'єднання прокладає обхідний маршрут і сигнал доходить до одержувача по новому шляху. На відміну від протоколу Wi-Fi, в якому усі пристрої зв'язуються з маршрутизатором. Мережеве керування дозволяє організовувати та керувати пристроями в мережі, забезпечуючи оптимальне використання ресурсів.

Протокол ZigBee також надає високий рівень безпеки для передачі даних між пристроями. Він використовує шифрування та аутентифікацію для захисту від несанкціонованого доступу. Це особливо важливо для розумних пристроїв, які обробляють чутливу інформацію про користувача або керують важливими системами в будинку [25].

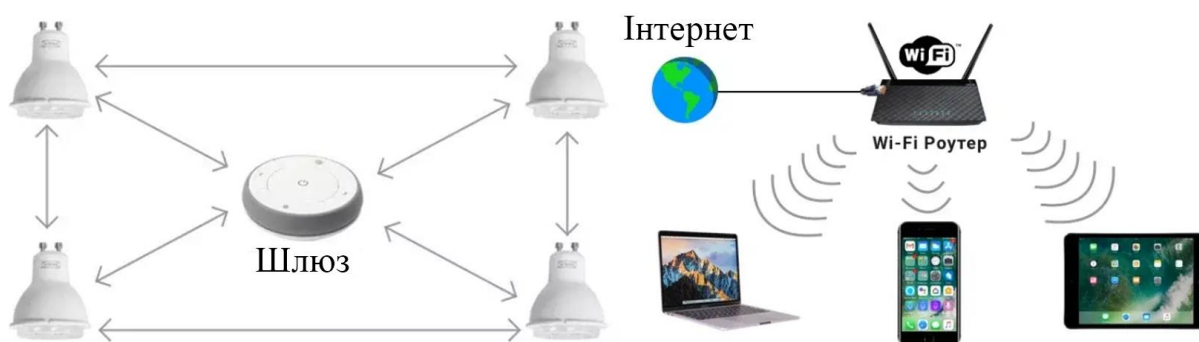


Рисунок 3.3 – Схема організації протоколу ZigBee в порівнянні з Wi-Fi [25]

Також до системи IoT входить велика кількість датчиків. Прикладом є датчик газу, що може сповіщувати про виток газу, або іншій небезпечній ситуації. Важливо встановити датчик безпосередньо поруч із приладами, що працюють на газі. Якщо датчик виявить витік газу, то видасть гучний звуковий сигнал, а на телефон буде надіслано сповіщення. Остання функція особливо важлива, якщо ви часто відсутня вдома. Схожим є детектор диму, який може зафіксувати дим, вуглекислий газ та підвищення температури повітря. Після детектування, сенсор подає звуковий та світловий сигнал, а також надсилає повідомлення на телефон власника. За схожими принципами працюють детектори протікання води, відкриття дверей, або вікон. Для датчику відкриття існують наступні сценарії використання: сценарій сигналізації, при розмиканні спрацює звуковий сигнал і надійдуть повідомлення на телефон. Сценарій освітлення встановлюється для

датчика на дверях. Так, при відкритті дверей може увімкнутися світло або нічник. Працюють датчики за температури від -10 до +50 градусів.

Датчик руху є найпоширенішим пристроєм, який використовується у сценаріях освітлення, відеоспостереження та сигналізації. Датчик має малі розміри. При установці датчика руху необхідно враховувати, що його максимальна дальність виявлення становить 7 метрів, а з боків лише 3 метри. Кута огляду становить 170 градусів. Також важливо звернути увагу на параметри переміщення в яких буде розміщено датчик. Температура повітря не повинна опускатися нижче 10 градусів та не перевищувати 45 градусів. Датчик не вимагає підключення до розетки та працює на батарейках.

Бездротова кнопка є універсальним пристроєм, так як для неї можна налаштувати будь-який сценарій.

Розумна камера здатна знімати відео з роздільною здатністю 1080P, має інфрачервоний датчик, завдяки якому пристрій може перемикатися в нічний режим та функцію встановлення карти пам'яті до 32Гб. Кут огляду камери складає 130 градусів, а реагування на рух починається від 10 метрів. Зверніть увагу, що камера не буде включати запис при фіранках, що дозволяє рухати пам'ять [23]. Переваги Xiaomi IoT:

1. Широкий асортимент продуктів, який пропонує Xiaomi. Розумні пристрої, такі як датчики, розетки, освітлення, камери безпеки та багато інших. Це дозволяє користувачам створювати інтегровану систему управління розумним будинком, вибираючи саме ті пристрої, які відповідають їх потребам.
2. Невелика ціна та якість, якими відома Xiaomi через свою політику доступних цін без зниження якості. Вони пропонують розумні пристрої, які здатні конкурувати зі своїми дорожчими аналогами в інших брендів.

Недоліки Xiaomi IoT:

1. Обмежена сумісність через власний протокол комунікації, деякі розумні пристрої можуть бути обмежені в сумісності зі сторонніми пристроями або платформами, які використовують інші протоколи. Це може бути

проблемою, якщо у вас вже є інші розумні пристрої, які не підтримують Хіаомі протокол.

2. Залежність від екосистеми Хіаомі. Щоб повністю використовувати потенціал Хіаомі IoT, користувачам може знадобитись використання мобільного додатку [24].

### **3.2. Система Apple HomeKit**

Apple HomeKit - це платформа для розумного будинку, розроблена компанією Apple. Система управління домашніми побутовими приладами. Вона надає зручний і безпечний спосіб керування різноманітними розумними пристроями та автоматизацією домашнього середовища через мобільні пристрої, такі як iPhone, iPad або Apple Watch.

За задумкою, HomeKit дозволяє об'єднати різні розумні пристрої різних виробників під одним інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом. За допомогою додатків HomeKit або голосового помічника Siri, користувачі можуть керувати освітленням, термостатами, датчиками, розетками та іншими підключеними пристроями з одного мобільного пристрою.

Але, у результаті компанія не випустила драйвери для розумних приладів інших виробників. Натомість Apple випустила спеціальну програму для керування із закритим програмним інтерфейсом. Отже, виробники повинні самі адаптувати свої розумні пристрої під фреймворк Apple HomeKit, використовуючи програму MFi і всі пристрої повинні мати співпроцесор шифрування. Для домашніх приладів, які не адаптовані під систему розумного будинку, таким чином, можливі інші способи підключення: за допомогою одноплатного комп'ютера RaspberryPi через шлюз або використовуючи сервер HomeBridge.

HomeKit дозволяє створювати різні сценарії та автоматичні правила, які активуються за певних умов або за запитом користувача. Ви можете налаштувати сценарій "Доброго ранку", що включає світло, відкриває жалюзі та запускає вашу улюблену музику, все це лише натиснувши одну кнопку або вимовивши команду Siri.

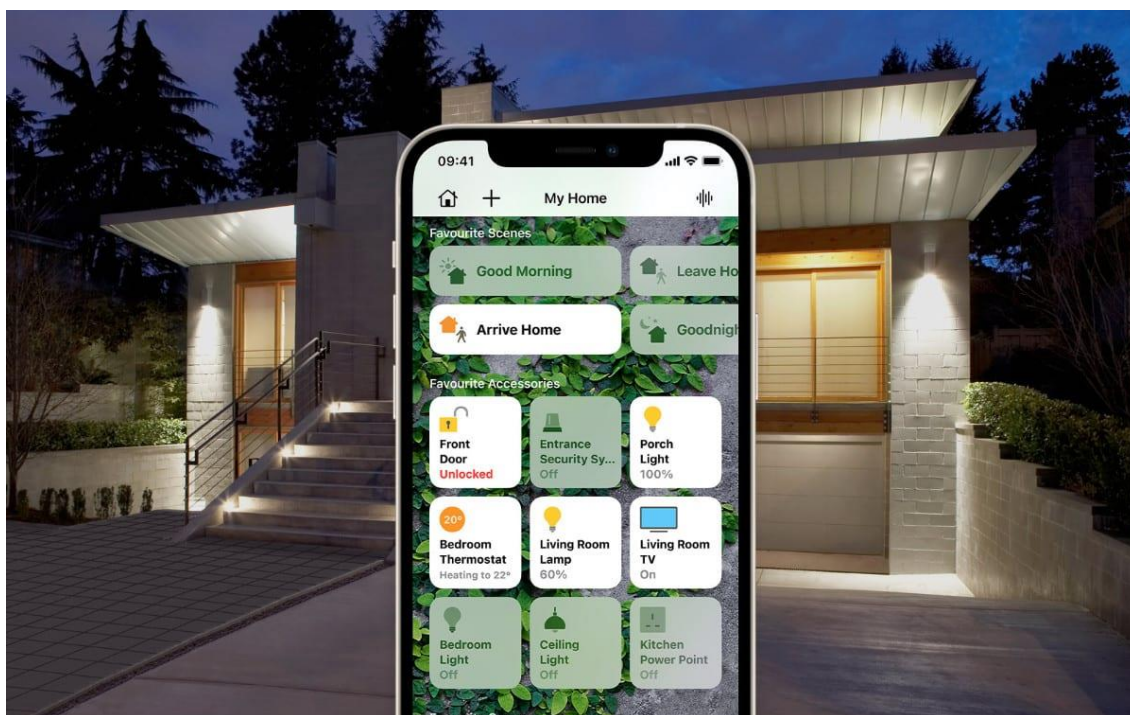


Рисунок 3.4 – Система керування Apple HomeKit [26]

Принцип дії HomeKit побудований на тому, що деякі пристрої підключені до хабу через з'єднання Wi-Fi. Інші мають бути в зоні дії Bluetooth хабу, що може бути складно, якщо ви хочете керувати пристроями, розташованими на відстані понад 10 метрів. Але можна використовувати розширювачі діапазону Bluetooth, які діють як мости Bluetooth-Wi-Fi для розширення діапазону Bluetooth ваших пристроїв, але буде виникати більша затримка з'єднання. Також важливо зазначити, що одночасне використання багатьох пристроїв, що використовують одну мережу призводить до погіршення якості Wi-Fi мережі і може викликати труднощі при роботі з Bluetooth пристроями.

Програма може генерувати величезну кількість сценаріїв роботи домашніх гаджетів, їх включення та вимкнення залежно від обставин. HomeKit самостійно реагує на такі параметри довкілля, як: Мікроклімат приміщення, сценарій при падінні температури в приміщенні нижче встановленої норми – запрацює пристрій для обігріву. Іншим є день тижня та час. Як приклад можна навести включення та вимкнення вуличного освітлення залежно від часу доби. Визначення місцезнаходження. Програма може реагувати на переміщення мешканців по дому та регулювати освітлення залежно від того, знаходитесь хтось у приміщенні чи ні.

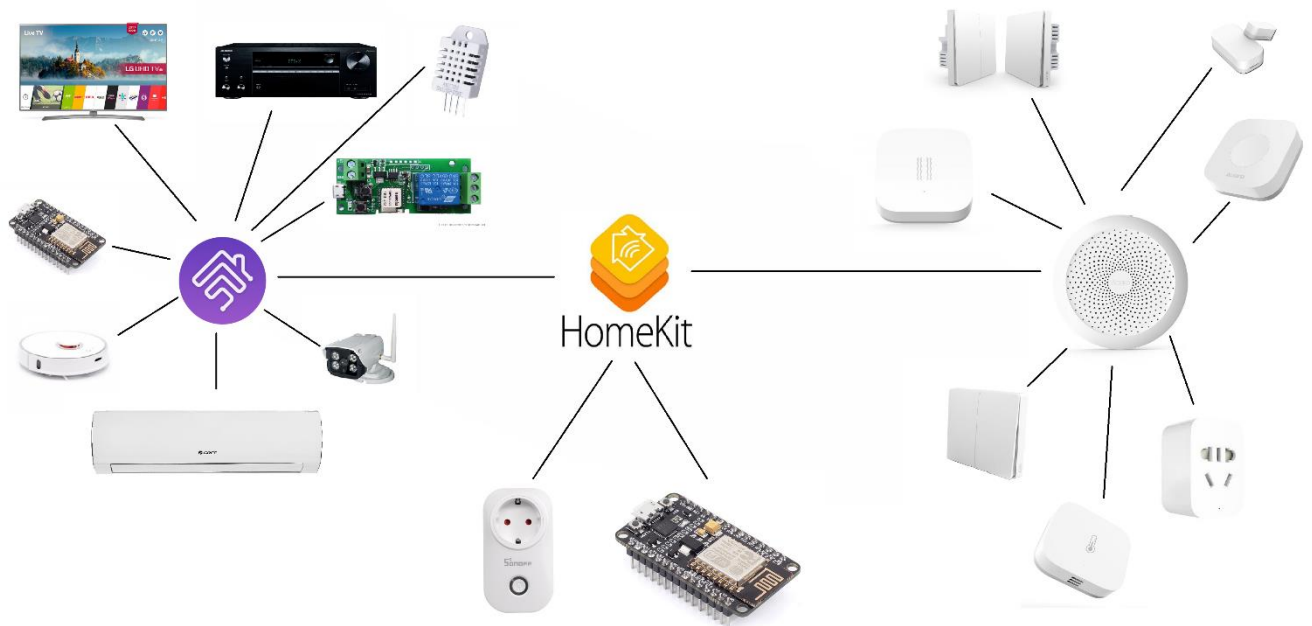


Рисунок 3.5 – Приклад організації мережі IoT на базі HomeKit [26]

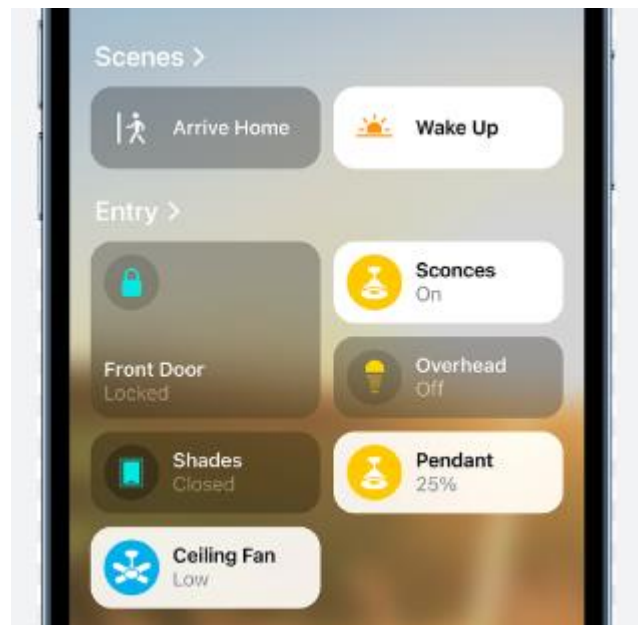


Рисунок 3.6 – Приклад сценаріїв створених у HomeKit [26]

Самі види і типи датчиків не відрізняються за своїм функціоналом та можливостями від розглянутих раніше для Xiaomi IoT [26].

Перевагою HomeKit є простота користування і зрозумілий інтерфейс. Керувати системою зможе навіть недосвідчений користувач, адже додаток Home влаштований дуже логічно і впоратися з ним можна навіть на інтуїтивному рівні. Всі пристрої оптимізуються для роботи у одному середовищі, тому робота з ними не викликає труднощів. Іншою перевагою є функціонал. HomeKit легко управляється з усіма пристроями будинку. Система поєднує автоматично різні датчики та прилади, та здатна синхронізувати та впорядкувати їхню роботу так, як це буде зручно власнику.

Недоліком є сумісність з розумними пристроями, так як не всі пристрої можуть працювати з HomeKit, бо потребують сертифікації Apple. Іншою проблемою при користуванні є операційна система. HomeKit можна керувати лише з приладів на операційній системі Apple. Також існують проблеми в базовій комплектації та потреби у переході на одну систему.

## ВИСНОВКИ

1. Було проаналізовано існуючі рішення для різних систем автоматизації житлових приміщень, розглянуті їх переваги та недоліки. Bluetooth системи автоматизації характеризуються гнучкістю і низькою вартістю, така система може працювати лише в короткому діапазоні бездротової мережі Bluetooth.

2. Система домашньої автоматизації на базі Інтернету речей може працювати лише за наявності Інтернету по протоколам 802.15.4e, WirelessHART, 6LoWPAN і RPL.

3. IoT@Home використовує кілька датчиків для моніторингу різних параметрів, пов'язаних з будинком, таких як температура, вологість, витік газу, рух, радіочастотна ідентифікація (RFID) та рівень води.

4. Систему автоматизації Xiaomi можна розділити на 3 типи пристроїв: а) пристрої, що працюють за протоколом ZigBee, з живленням від батарейки та вимагають наявності одного зі шлюзів управління для об'єднання пристроїв у єдину мережу; б) пристрої, що працюють за протоколом Wi-Fi, з живленням від електромережі; в) пристрої, що підключаються через Bluetooth.

5. Універсальність Apple HomeKit проявляється в можливості генерації великої кількості сценаріїв роботи домашніх гаджетів, що включає такі параметри, як вологість, температура, зовнішнє освітлення, місцезнаходження мешканців будинку тощо.



**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. H. Hui, Y. Ding, Q. Shi, F. Li, Y. Song, J. Yan, 5G network-based Internet of Things for demand response in smart grid: A survey on application potential // *Appl. Energy*. – 2020. – V. 257. – ID 113972.
2. P.K. Khatua, V.K. Ramachandramurthy, P. Kasinathan, J.Y. Yong, J. Pasupuleti, A. Rajagopalan, Application and Assessment of Internet of Things toward the Sustainability of Energy Systems: Challenges and Issues // *Sustain. Cities Soc.* – 2019. – ID 101957.
3. M. Collotta, G. Pau, A Novel Energy Management Approach for Smart Homes Using Bluetooth Low Energy // *IEEE J. Sel. Areas Commun.* – 2015. – V. 33. – P. 2988-2996.
4. M. Collotta, G. Pau, A solution based on bluetooth low energy for smart home energy management // *Energies*. – 2015. – V. 8. – P. 11916-11938.
5. N. Batista, R. Melicio, J. Matias, J. Catalao, Photovoltaic and wind energy systems monitoring and building/home energy management using ZigBee devices within a smart grid // *Energy*. – 2013. – V. 49. – P. 306-315.
6. L. Reinfurt, M. Falkenthal, U. Breitenbücher, F. Leymann, Applying IoT Patterns to Smart Factory Systems // *Proceedings of the 2017 Advanced Summer School on Service Oriented Computing (Summer SOC), Hersonissos, Greece, 25-30 June 2017*.
7. A. Dorri, S.S. Kanhere, R. Jurdak, P. Gauravaram, Blockchain for IoT security and privacy: The case study of a smart home // *Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops), Kona, HI, USA, 13-17 March 2017*; pp. 618-623.
8. J. Paek, O. Gnawali, M. Vieira, S. Hao, Embedded IoT systems: network, platform, and software // *Mobile Information Systems*. – 2017. – ID 5921523.
9. David Bregman, Smart Home Intelligence - The eHome that Learns, *International Journal of Smart Home*. – 2010. – V. 4 No 4. – P. 35-46.

10. M. Skubic, G. Alexander, M. Popescu, M. Rantz, J. Keller, A smart home application to eldercare:Current status and lessons learned // *Technology and Health Care.* – 2009. – V. 17 No 3. – P.183-201.
11. W. Li, T. Logenthiran, V.-T. Phan, W.L. Woo, A Novel Smart Energy Theft System (SETS) for IoT based Smart Home // *IEEE Internet of Things Journal.* – 2019.
12. H. Ning, F. Shi, T. Zhu, Q. Li, L. Chen A novel ontology consistent with acknowledged standards in smart homes // *Computer Networks.* – 2019. – V. 148. – P 101-107.
13. A. A. Zaidan, et al. A survey on communication components for IoT-based technologies in smart homes // *Telecommunication Systems.* – 2018. – V. 69 No 1. – P. 1-25.
14. E. Ganesh, Implementation of IoT Architecture for Smart Home using GSM Technology // *International Journal of Computer Techniques.* – 2017. – P. 2394-2231.
15. S. Badabaji, V.S. Nagaraju, An IoT Based Smart Home Service System // *International Journal of Pure and Applied Mathematics.* – 2018. – V. 119 No 16. – P. 4659-4667.
16. S. Kaur, R. Singh, N. Khairwal, P. Jain, Home Automation and Security System // *Advanced Computational Intelligence: An International Journal (ACII).* – 2016. – V. 3 No 3.
17. S.G. Varghese, C.P. Kurian, V. George, A. John, V. Nayak, A. Upadhyay, Comparative study of zigBee topologies for IoT-based lighting automation // *IET Wireless Sensor Systems.* – 2019.
18. W. Ejaz, A. Anpalagan, Internet of Things for Smart Cities: Overview and Key Challenges // *Internet of Things for Smart Cities.* – 2019. – P. 1-10.
19. S.J. Ramson, D.J. Moni, Wireless sensor networks based smart bin // *Computers & Electrical Engineering.* – 2017. – V. 64. – P. 337-353.
20. S. Jino Ramson, D. Jackuline Moni, A. Alfred Kirubaraj, S. Senith, Self-powered wireless sensor network framework to monitor bin level // *The Journal*

- of Solid Waste Technology and Management. – 2017. – V. 43 No 4. – P. 295-304.
21. E. Kim, D. Kaspar, J. Vasseur, Design and Application Spaces for IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPANs) // IETF RFC 6568. – 2017.
22. P. Pongle, G. Chavan, A Survey: Attacks RPL and 6LowPAN in IoT // International Conference on Pervasive Computing (ICPC 2015), Pune, India, 2015, pp. 1-6.
23. Xiaomi and the future of IoT. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.linkedin.com/pulse/xiaomi-future-iot-valentin-vincendon/> (Дата доступа: 10.05.2023 г.).
24. XIAOMI Mi Smart Home Multifunction Gateway. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.moyo.ua/shlyuz\\_dlya\\_umnogo\\_doma\\_xiaomi\\_mi\\_smart\\_home\\_multifunction\\_gateway\\_dgnwg02lm/410111.html](https://www.moyo.ua/shlyuz_dlya_umnogo_doma_xiaomi_mi_smart_home_multifunction_gateway_dgnwg02lm/410111.html) (Дата доступа: 12.05.2023 г.).
25. Zigbee. Microchip. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.microchip.com/en-us/products/wireless-connectivity/zigbee> (Дата доступа: 12.05.2023 г.).
26. Apple Insider. HomeKit –devices, features, specs, prices. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://appleinsider.com/inside/homekit> (Дата доступа: 12.05.2023 г.).