

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## **Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему **Дослідження сучасних технологій безпроводового зв'язку  
Інтернету речей**

Виконав: студент 4 курсу, групи 401-ТТ

спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Лук'янець М. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Обіход Я. Я.

(прізвище та ініціали)

Рецензент: Шефер О. В.

(прізвище та ініціали)

Полтава - 2021 рік

## РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи «Дослідження сучасних технологій безпроводового зв'язку Інтернету речей»

Робота містить 59 сторінок, 22 ілюстрації, 3 таблиці, 29 використаних джерел.

Ключові слова: інтернет речей, технології безпроводового зв'язку, концепція Інтернету речей, протоколи передачі даних.

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є технології безпроводового зв'язку Інтернет речей, їх види та властивості, вплив та користь, а також значення в нашому житті.

Метою даної кваліфікаційної роботи є знайомство та вдосконалення знань та розуміння поняття інтернет речей, історією виникнення, а також їх різновиди, властивості та застосування в повсякденному житті.

В роботі представлена основна інформація стосовно концепції Інтернет речей та технологій передачі даних на різні відстані з різними швидкостями, а також їх порівняння. Розробка базової системи «Розумний будинок» з використанням Інтернету речей.

## ABSTRACT

qualification work " Research on modern wireless technologies of Internet of Things "

The work contains 59 pages, 22 illustrations, 3 tables, 29 sources used.

Keywords: Internet of Things, wireless technologies, concept of the Internet of Things, data transmission protocols.

The object of study of the qualification work is the wireless technology of Internet of Things, their types and properties, impact and benefits, as well as the importance in our lives.

The purpose of this qualification work is to acquaint and improve knowledge and understanding of the conception of Internet of Things, the history of their origin, as well as their varieties, properties and applications in everyday life.

The paper presents basic information about the conception of Internet of Things and data transmission technologies at different distances at different speeds, as well as their comparison. Development of a basic system "Smart Home" using Internet of Things.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та  
робототехніки  
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій  
Освітньо-кваліфікаційний рівень Бакалавр  
Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

## **ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри автоматки,  
електроніки та телекомунікацій**

\_\_\_\_\_ О.В. Шефер  
“ 11 ” травня 2021 р.

## **З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

**Лук'янцю Максиму Вячеславовичу**

1. Тема роботи «Дослідження сучасних технологій безпроводового зв'язку Інтернету речей»

керівник роботи Обіход Ярослав Якович, к.т.н., доцент  
затверджена наказом вищого навчального закладу від 03.03.2021 року № 158 -фа

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 15.06.2021 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) . Протоколи передачі даних в IoT, системи передачі IoT, система “Розумний будинок”.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Обґрунтування необхідності дослідження сучасних технологій безпроводового зв'язку Інтернету речей. Дослідження систем передачі даних Інтернет речей. Дослідження протоколів передачі даних в IoT мережах.

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

- 1) Титульний аркуш;
- 2) Мета та актуальність роботи;
- 3) Поняття, історія та можливості Інтернету речей;
- 4) Системи передачі даних Інтернету речей;

- 5) Протоколи передачі даних в IoT мережах;
- 6) Архітектура мережі LoRaWAN;
- 7) Bluetooth Low Energy;
- 8) Система «РОЗУМНИЙ БУДИНОК» з технологією IoT;
- 9) Висновки.

6. Дата видачі завдання 11.05.2021 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
1	Загальне поняття та історія виникнення терміну Інтернета речей.	18.05.21			
2	Різновиди та порівняння систем передачі даних Інтернет речей	02.06.21			
3	Протоколи передачі даних в IoT мережах	09.06.21			
4	Розробка базового застосування системи «Розумний будинок» з технологією Інтернет речей	11.06.21			
5	Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра.	15.06.21	II		

**Студент** \_\_\_\_\_ **Лук'янець М.В.**  
 ( підпис ) ( прізвище та ініціали )

**Керівник роботи** \_\_\_\_\_ **Обіход Я.Я.**  
 ( підпис ) ( прізвище та ініціали )

## ЗМІСТ

Вступ .....	8
1. Загальне поняття, історія, застосування, технології інтернет речей.....	10
1.1 Загальне поняття та історія виникнення терміну Інтернет речей.....	10
1.2 Технології Інтернет речей.....	12
1.3 Використання Інтернет речей в сьогоденні.....	15
Висновок.....	19
2. Різновиди та порівняння систем передачі даних Інтернет речей.....	20
2.1 ZigBee .....	20
2.2 WirelessHart.....	23
2.3 MiWi .....	26
2.4 6LoWPAN .....	28
2.5 LPWAN .....	31
2.6 Порівняння технологій передачі даних .....	33
Висновок .....	34
3. Протоколи передачі даних в IoT мережах .....	35
3.1 Протоколи та технології передачі даних на довгі відстані .....	35
3.1.1 LoRaWAN .....	35
3.1.2 SigFox.....	38
3.1.3 Weightless-P.....	40
3.1.4 Порівняльна характеристика технологій передачі даних на довгі відстані в мережі IoT.....	41
3.2 Протоколи та технології передачі даних на короткі відстані.....	42
3.2.1 Z-Wave.....	42

3.2.2 NFC .....	44
3.2.3 Bluetooth Low Energy .....	46
3.2.4 Wi-Fi HaLow .....	48
3.2.5 Порівняльна характеристика технологій передачі даних на короткі відстані в мережі IoT.....	49
Висновок.....	50
4. Розробка базового застосування системи «Розумний будинок» з технологією Інтернету речей .....	51
Висновок .....	55
Висновки .....	56
Список використаних джерел .....	57
Додаток А .....	60
Додаток Б .....	70

## ВСТУП

Ми живемо в світі технологій, де кожен день створюються нові пристрої, які згодом нас оточують та допомагають нам полегшити своє життя. Більшість людей, особливо ті, хто вперше зіштовхується з такими речами називають їх розумними і пов'язують з Інтернетом, бо він також розумний. Приблизно так і з'явилося словосполучення «Інтернет речей», хоча воно має зовсім інше значення.

Що ж приходить людям в голову коли вони чують словосполучення «Інтернет речей»? Чомусь люди з якоїсь причини починають думати про розумну кавоварку або холодильник, які можуть замовити або приготувати якусь їжу, але це все не так, це все дурниця. Насправді Інтернет речей це технології які нас оточують всюди: на вулицях, в офісах, в школах, університетах, фабриках, заводах, автомобілях і так далі. Наприклад, всі хто отримують штрафи за перевищення швидкості або неправильне паркування можуть відразу зрозуміти, що це інтернет речей, тому що камера, яка бачить перевищення швидкості і системи, які виписують штраф людям, які порушили, власне це і є система Інтернет речей.

Що таке Інтернет речей і чому це важливо? Спробуємо визначити. Якщо ми заглянемо в пошукову систему Google або будь-яку іншу і подивимося «що таке Інтернет речей?» система видає нам більше 1 мільярда результатів на Ваш запит, але, що найцікавіше, вона не буде говорити Вам не про розумний холодильник і не про розумний телевізор тощо. Вона буде Вам розповідати про всякі системи, які використовують на виробництві, в транспорті, всякої високої технології, будь-якої автоматизації. Це і є «Інтернет речей».

Що ми ще знаємо про «Інтернеті речей»? В Україні ця технологія тільки починає отримувати свою популярність. Перш за все, це пов'язано з тим, що економічно підприємства і компанії та органи державної влади, які впроваджують

ці системи, усвідомили що це економічно вигідна історія. Вона дозволяє підвищувати продуктивність праці, підвищувати прибуток, знижувати витрати і популярності це тільки набирає свої оберти. Якщо ми будемо дивитися, наприклад, по зайнятості людей, по кадрам, по вакансіях на наших порталах, які займаються пошуком роботи, то таких вакансій не дуже багато. У масштабах нашої країни, скажімо так, за масштабами вакансії додатків пов'язаних з Інтернетом речей набагато менше, ніж окремо взятий штат більш просунутих країн, наприклад, Америки.

Це і добре і погано одночасно. Погана новина полягає в тому, що ми відстаємо з автоматизацією від світових лідерів. Гарна новина полягає в тому, що попереду нас чекає велике зростання.

Все ж таки, що таке «Інтернет речей»? Пошукова система дає досить чітке і зрозуміле визначення цього феномену. «Це мережа фізичних предметів, оснащених вбудованими технологіями для взаємодії один з одним із зовнішнім середовищем, здатне перебудувати процеси, що виключає з частини дій і операцій необхідність участі людини». Тобто, це технологія яка дозволяє автоматизувати ті чи інші процеси. Інше формулювання, більш технологічне, більш ємне, це мережа мереж унікальних ідентифікованих об'єктів, що здійснюють інтелектуальну взаємодію без людського втручання через IP-подібне з'єднання.

Важливо підкреслити, ми знаходимося в полоні слова інтернет, яке міститься в терміні «Інтернет речей». Справа в тому, що в більшості пристроїв «Інтернету речей» і системи «Інтернету речей» інтернету ніякого немає. Це скоріше інтернет-подібні з'єднання, приватні телеметричні системи і ці системи, як правило, замкнуті від зовнішнього підключення до великого світу. Це не спроста, люди і організації, які знаходяться в здоровому глузді ніколи не будуть включати систему управління публічному інтернету.

# 1. ЗАГАЛЬНЕ ПОНЯТТЯ, ІСТОРІЯ ЗАСТОСУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

## 1.1 Загальне поняття та історія виникнення терміну Інтернет речей

Інтернет речей (Internet of Things, IoT) – концепція мережі передачі даних між фізичними об'єктами, оснащеними інтегрованими технологіями для взаємодії із зовнішнім світом або між собою. Мережа складається з фізичних пристроїв, в котрі вбудовані датчики. Передбачається, що організація такої мережі здатна створювати спільні економічні процеси та поєднувати процеси читання, програмування та ідентифікації, що дозволить керувати процесами без участі людини [1]. Концепція полягає в об'єднанні усіх технологій в одну єдину обчислювальну систему, яка обслуговується інтернет-протоколами, що сприяло її широкої популярності.

Концепція почала своє формування в 1999 році, як осмислення перспектив широкого застосування засобів радіочастотної ідентифікації для взаємодії фізичних предметів між собою та з навколишнім середовищем.

Започаткував цю концепцію британський інженер Кевін Ештон, одним з трьох засновників Центру автоматичної ідентифікації, під час презентації для керівництва Procter & Gamble для того, щоб фізичні об'єкти були пов'язані з датчиками та мережею Інтернет в одній системі [1].

В 2004 році в науковому журналі Scientific American була опублікована стаття, в якій мова йшла про «Інтернет речі». В статті наведена можливість концепції в побутовому застосуванні «Рисунок 1 - Можливість концепції» [2], що показує, як побутові прилади, датчики (руху, освітлення, тепла), домашні системи (охорони, освітленості, догляду за рослинами) та інші «речі» між собою за допомогою мереж зв'язку (радіочастотних, дротових, безпроводових чи інфрачервоних).

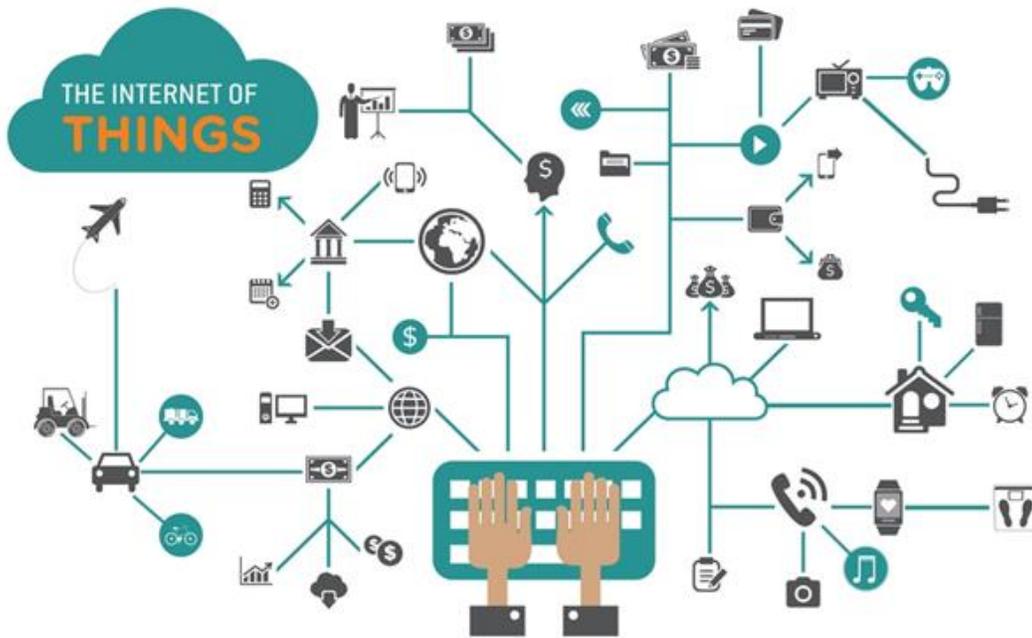


Рисунок 1. Можливість концепції

Період з 2008 по 2009 рік аналітики корпорації Cisco вважають «справжнім народженням "інтернету речей"», так як, за їхніми оцінками, саме в цьому проміжку кількість пристроїв, підключених до глобальної мережі, перевищила чисельність населення Землі, а це більше 7,674 мільярди людей, тим самим «інтернет людей» став «інтернетом речей».

На початку 2010-х років «інтернет речей» стає рушійною силою парадигми «туманних обчислень» (об'ємних обчислень та обробки даних з середини), що розповсюджує принципи хмарних обчислень від центрів обробки даних до величезної кількості взаємодіючих географічно розподілених пристроїв, яка розглядається як платформа «інтернету речей» [1].

Починаючи з 2011 року Gartner поміщає «інтернет речей» в загальний цикл хайпу (ступінь інтересу) нових технологій на етап «технологічного тригера».

## 1.2 Технології Інтернет речей

До основних технологій Інтернет речей відносять:

- Засоби ідентифікації. Участь об'єктів у фізичному світі, які не обов'язково оснащені можливістю підключення до мережі передачі даних, вимагає використання ідентифікаційних технологій. Хоча поштовхом для появи концепції стала технологія RFID, але в якості таких технологій можуть використовуватися всі засоби, що застосовуються для автоматичної ідентифікації: оптичні ідентифікатори (штрих-коди, QR-коди), засоби визначення місцезнаходження в режимі реального часу та інфрачервоні мітки [3]. Однак забезпечення унікальності ідентифікації вимагає стандартизації цих систем.

- Засоби вимірювання. Вони відіграють особливу роль у забезпеченні того, що інформація про навколишнє середовище перетворюється в дані для зчитування машинами і тим самим наповнюють середовище інформацією. Використовується широкий клас приладів вимірювання, від елементарних датчиків (температури, тиску, освітленості) «Рисунок 1.2.1 - Вимірювання даних» [1], приладів обліку споживання (таких, як інтелектуальні лічильники) до складних інтегрованих вимірювальних систем, а також складні вимірювальні комплекси та центри. Для автоматизації та міжмашинної взаємодії засобів вимірювання їх бажано забезпечити мережею (дротовою чи безпроводовою) та електропостачанням за рахунок джерел з альтернативною енергією, наприклад, сонячною батареєю чи вітряком, аби в майбутньому не витратити кошти на акумулятори.



- Засоби обробки даних. Не менш важлива складова «Інтернет речей», від неї залежить якість та вірність отриманих даних і перетворення їх в дії. Обробляти данні можна не лише за допомогою датчиків і засобів передачі даних, а й за допомогою хмарних систем [3], котрі забезпечують досить високу пропускну здатність та здатні швидко реагувати на певні ситуації (наприклад, зрозуміти за показаннями сенсорів, що в будинку нікого не має, а той чи інший електроприлад не вимкнтий чи вхідні двері не замкнуті).

- Виконуючі пристрої. Функціональні елементи системи автоматичного управління, котрі керують об'єктом управління «Рисунок 1.2.3 - Головний виконуючий пристрій» [4]. Вони здатні перетворювати цифрові електричні сигнали з джерел інформації у дію. Приводи підключаються до датчиків і ті в свою чергу повідомляють власника про певні події в будинку, а також контролюють всі системи. Таким чином, власник цієї системи може контролювати та керувати процеси за допомогою свого смартфона, який віддалено підключений до системи.



Рисунок 1.2.3 Головний виконуючий пристрій

### 1.3 Використання Інтернет речей в сьогодні

Сьогодні технологія «Інтернет речей» застосовується майже в кожній сфері і ця технологія значно покращує наше з Вами життя. Далі розберемо сфери та приклади використання «Інтернет речей».

- IoT-пристрої в агрокультурі. Останнім часом пристрої та датчики поширені в усій агрокультурі. Це значно полегшує та покращує вирощування сільсько-господарських культур та тварин "Рисунок 1.3.1 - Агрокультура на екрані" [7]. Наприклад, концентрація вологи в ґрунті для зернових - це головний фактор, від якого залежить майбутнє ґрунту. Сенсор контролює співвідношення вологості ґрунту та активує зрошувальну систему у випадку відхилення від стандарту. Інший приклад - трекер, який відстежує місцезнаходження тварин, їх здоров'я тощо.



Рисунок 1.3.1 Агрокультура на екрані

- Інтернет речі в промисловості. Ця сфера навіть має свій спеціальний термін – промисловий інтернет речей IIoT. Система об'єднаних комп'ютерних мереж із підключеними до них промислових об'єктів з вбудованими сенсорами та програм-ним забезпеченням, з можливістю віддаленого контролю, для отримання та обміну даними «Рисунок 1.3.2 IoT в промисловості» [8], а також їх аналіз для

більш точних розрахунків [6]. Основними компонентами ІоТ є вдосконалені інструменти аналітики, штучний інтелект та машинне навчання. Все це для того, щоб інтелектуальні машини могли підвищити продуктивність та виправляти людські помилки.



Рисунок 1.3.2 ІоТ в промисловості

- Інтернет речі у сфері охорони здоров'я. Найкраща та найкорисніша сфера технології «Інтернет речей». Вона показує наскільки важлива медицина, тому що вона впливає на наше життя та здоров'я. Завдяки цій технології лікарі можуть допомагати через Інтернет «Рисунок 1.3.3 - Медицина онлайн» [9], не треба ходити до лікарні щоб довгий час стояти в черзі на прийом до лікаря, лікуватися можна вдома, адже ІоТ знаходить підхід до кожного окремо. І не важливо це просто нежить від переохолодження взимку чи більш складне захворювання, технологія проаналізує стан пацієнта та прорахує індивідуальний метод лікування [6]. Не зважаючи на певні труднощі даної технології вона розвивається досить швидко.



Рисунок 1.3.3 Медицина онлайн

- Інтернет речі в торгівлі. У цій галузі система націлена на вдосконалення та скорочення часу придбання. Тут діє реклама, яка аналізує найкращі товари та пропонує їх, також ця реклама з'являється не з проста, а Ваш телефон, точніше його мікрофон, підслуховує Ваші розмови, операційна система телефону аналізує які дії ви робите найчастіше та чим Ви цікавитесь і тим самим буде Вам рекламу на цікаві для Вас товари. Також в цій сфері досить популярна система безконтактної оплати, яка дає можливість зберігати всі необхідні картки (банківські чи акційні) на Вашому телефоні, тим самим не треба носити купу пластику в гаманці.

- Розумний будинок. Найпопулярніший і широко використовуваний варіант технології «Інтернет речей». Ми можемо говорити про це довго, але це справді практична та ефективна система "Рисунок 1.3.5 - Система розумного будинку". За допомогою нього ви можете керувати багатьма процесами у вашому будинку або кімнаті. До основних задач можна віднести контроль вологості, температури повітря, освітленості в кімнаті, контроль електроприладів і таке інше, а головне – весь процес можна керувати за допомогою свого смартфона чи головного комп'ютера.

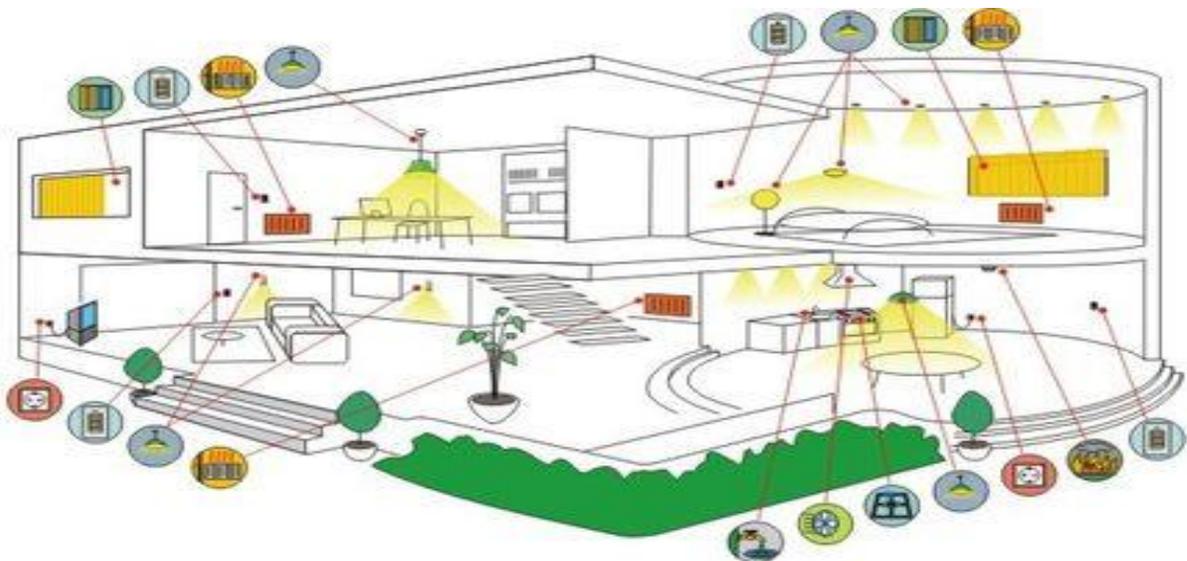


Рисунок 1.3.5 Система розумного будинку

- Розумні автомобілі. Досить цікава технологія у сфері «Інтернет речей», яка до недавнього часу вважалась містикою, проте вже зараз доволі розповсюджена. Сучасні автомобілі оснащують великою кількістю сенсорів, які разом утворюють штучний інтелект, що сприяє постійному обміну даними з навколишнім світом та надає можливість керувати авто без участі людини [6]. Прикладом є автомобілі з безпілотним керуванням «Рисунок 1.3.6 - Розумне авто» [11], а також з віддаленим керуванням дверми чи іншими системами в гаражі.



Рисунок 1.3.6 Розумне авто

- Розумне місто. Технологія ще не надійна через низьку потужність та відсутність деяких пристроїв, але розвивається досить швидко і має хороші надії. В деяких країнах вже з'явилися певні концепції розумного міста, наприклад, розумне паркування авто, розумні світлофори, освітлення чи навантаження дорожнього трафіку і тому подібне [6]. Усі ці технології допомагають покращити контроль та рух транспорту, а також підвищити безпеку на дорогах.

- Пристрої, які ми носимо. Серед простих пристроїв, які відстежують показники нашого здоров'я, існують різні фітнес-трекери «Рисунок 1.3.7 - Контроль показників здоров'я», вони слідкують за температурою тіла, артеріальним тиском та частотою серцебиття. Однак існують складніші прилади, наприклад, які постійно вимірюють та контролюють рівень глюкози в крові, що допомагає людині хворою цукровим діабетом вчасно реагувати на показники свого здоров'я.



Рисунок 1.3.7 Контроль показників здоров'я за

Висновок: ознайомившись з першим розділом даної кваліфікаційної роботи ми можемо зрозуміти, що «Інтернет речі» це не розумні пристрої, це розумні технології, які нас оточують та з кожним днем покращують наше життя адже використовуються практично всюди. Дані технології досить стрімко розвиваються, тому майбутні перспективи можна лише уявити.

## 2. РІЗНОВИДИ ТА ПОРІВНЯННЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

В попередньому розділі даної кваліфікаційної роботи вже були розглянуті системи передачі даних, але коротко. Даний розділ буде присвячений більш детальній інформації та аналізу систем передачі даних з метою ознайомлення та порівняння даних систем.

Перш за все пригадаємо, що передавати дані в технології «Інтернет речей» можливо з допомогою будь-яких існуючих способів – дротові або безпроводові мережі. Для безпроводового способу передачі даних слід приділити особливу увагу таким характеристикам, як ефективність в умовах низьких швидкостей, відмовостійкість, адаптивність та можливість самоорганізації. Щодо використання дротової мережі, то найчастіше використовують передачу даних лініями електропередачі, оскільки більша частина «Інтернет речей» (банкомати, торгові автомати, системи сповіщення) підключені саме до електромереж.

До найпоширеніших протоколів, які використовуються в безпроводових системах передачі даних відносять ZigBee, WirelessHart, MiWi, 6LoWPAN, LPWAN. Далі розглянемо та порівняємо кожен з цих протоколів передачі.

### 2.1 Протокол Zigbee

Zigbee - специфікація мережевих протоколів верхнього рівня - рівня додатків APS ( Application support sublayer) і мережевого рівня NWK, із використанням сервісів нижніх рівнів - рівня управління доступом до середовища MAC і фізичного рівня PHY, регульованих стандартом IEEE 802.15.4. Zigbee і IEEE 802.15.4 описують безпроводові персональні обчислювальні мережі (WPAN) [13].

Специфікація Zigbee орієнтована на програми, що вимагають гарантованої безпечної передачі даних при відносно низьких швидкостях і можливості тривалої експлуатації мережевих пристроїв за допомогою автономних джерел живлення (батарей).

Головна особливість технології Zigbee полягає в тому, що вона при малому енергоспоживанні підтримує не тільки прості топології мережі («точка-точка», «дерево» і «зірка»), а й самоорганізовує і самовідновлює порожнисту (mesh) топологію з ретрансляцією і маршрутизацією повідомлень. Крім того, специфікація Zigbee включає можливість вибору алгоритму маршрутизації на основі програмних вимог та стану мережі, механізм стандартизації додатків - профілі додатків, бібліотека стандартних кластерів, кінцеві точки, об'єднання, прив'язки, гнучкий механізм захисту, а також забезпечує легке розгортання, обслуговування, оновлення та модернізацію.

Zigbee використовують невеликі малопотужні цифрові трансивери, засновані на стандарті IEEE 802.15.4-2006 для безпроводових персональних мереж, таких як, наприклад, безпроводові навушники, з'єднані з мобільними телефонами за допомогою радіохвиль короткохвильового діапазону. Технологія визначається специфікацією Zigbee, розробленої з наміром бути простіше і дешевше, ніж інші персональні мережі, такі як Bluetooth [12]. Zigbee призначений для пристроїв, яким необхідна тривала робота від автономного носія живлення і безпека передачі даних.

Альянс Zigbee є органом, що забезпечує і публікує стандарти Zigbee, а також публікує профілі додатків, що дозволяє виробникам початкової комплектації створювати сумісні продукти. Список профілів додатків, котрі опубліковані та мають місце в нашому житті або ще знаходяться в розробці:

- Домашня автоматизація;
- Рациональне використання енергії (Zigbee Smart Energy 1.0 / 2.0);

- Автоматизація комерційного будівництва;
- Телекомунікаційні додатки;
- Персональний, домашній і лікарняний догляд;
- Іграшки.

Колоборація між IEEE 802.15.4 і Zigbee подібно до того, що було між IEEE 802.11 і альянсом Wi-Fi. Специфікація Zigbee 1.0 була ратифікована 14 грудня 2004 і доступна для членів альянсу Zigbee. 30 жовтня 2007 року була розміщена специфікація Zigbee 2007. Про перший профіль додатку - «Домашня автоматизація» Zigbee - було оголошено 2 листопада 2007 року. Як правило, у продажу є чіпи Zigbee «Рисунок 2.1 - Чіп Zigbee» [14], представлені інтегрованими радіо- і мікроконтролерами з розміром Flash-пам'яті від 60 К до 128 К [12]. Радіомодуль також можна використовувати окремо з будь-яким процесором і мікро-контролером. Зазвичай, виробники радіомодулів пропонують також стек програмного забезпечення Zigbee, хоча доступні й інші незалежні стеки.



Рисунок 2.1 Чіп Zigbee

Незалежність від самоорганізації та самовідтворення, захист, висока стійкість, низьке споживання енергії та відсутність необхідності отримувати дозвіл

на частоту мереж Zigbee є підходящою основою для безпроводової інфраструктури системи позиціонування в реальному часі.

Основними напрямками технології Zigbee є безпроводові сенсорні мережі, автоматизація житла, медичне обладнання, системи моніторингу та управління, а також побутова електроніка і «периферія» персональних комп'ютерів.

Типові області застосування:

- Домашні розваги і контроль - раціональне освітлення, просунутий температурний контроль, охорона і безпека, фільми і музика.
- Домашнє оповіщення - датчики води, енергії, задимлення і пожежі.
- Мобільні служби - мобільні оплата, моніторинг і контроль доступу.
- Промислове обладнання - контроль процесів, промислових пристроїв.

Існують три різних типи пристроїв Zigbee:

- Координатор Zigbee (ZC) - найбільш відповідальний пристрій, формує дерево шляху мережі і може зв'язуватися з іншими мережами. Кожна мережа має один координатор, котрий зберігає інформацію про мережі і ключі безпеки.
- Маршрутизатор Zigbee (ZR) - виступає в якості проміжного маршрутизатора, передаючи дані з інших пристроїв. Запускає функцію додатка.
- Кінцевий пристрій Zigbee (ZED) - його функціональна навантаженість дозволяє йому обмінюватися інформацією з материнським вузлом, але він не може передавати дані з інших пристроїв [13]. ZED вимагає мінімальну кількість пам'яті та невеликий енергоресурс батареї, і тому може бути дешевше, ніж ZR чи ZC.

## 2.2 WirelessHART

Безпроводовий зв'язок все швидше набуває актуальності в програмах автоматизації. Для автоматизації процесів проблема полягає не в обсязі даних,

а відстань, яку потрібно подолати. Коли архітектура заводу не дозволяє звичайну проводку, значення доступні лише при частих виїздах на місце.

WirelessHART пропонує економічно ефективне рішення. Вимірювані величини стають доступними на регулярній основі, що призводить до підвищення якості та більш економічної роботи технологічних установок.

У мережі на базі WirelessHART кожен пристрій, що бере участь, одночасно функціонує як джерело сигналу та ретранслятор. Завдяки маршрутизації окремих сигналів по всій мережі стає можливою широка мережева структура.

Загалом WirelessHART або IEC 62591 - мережева технологія для безпроводових пристроїв, яка базується на протоколі HART (Highway Addressable Remote Transducer Protocol).

У 2004 році компанія Emerson спільно з низкою інших компаній, що входять в HART Communications Foundation, розпочала роботу над базовим програмним забезпеченням для промислового застосування безпроводових пристроїв. Після трьох років експлуатації, в 2007 році, був розроблений і затверджений новий надійний і економічно ефективний протокол WirelessHart [15].

Протокол використовує синхронізацію в часі, що самоорганізовується та самостійно відновлює коміркову архітектуру. Протокол працює в діапазоні частот 2400-2483,5 МГц для промислового, медичного та наукового обладнання стандарту IEEE 802.15.4.

Кожен безпроводовий польовий датчик в мережі може виконувати роль маршрутизатора для передачі повідомлень від інших датчиків. Це означає, що пристрій не повинен переходити безпосередньо до шлюзу, а просто надсилає своє повідомлення наступному сусідньому пристрою. Завдяки цьому розширюється масштаб мережі та забезпечується доступність додаткових каналів передачі даних для підвищення надійності.

Інженерами Emerson розроблено сімейство безпроводових рішень Smart Wireless, яке включає: датчики тиску, витрати, рівня, температури, вібрації, шлюзи з підтримкою безпроводового радіопротоколу зв'язку WirelessHART, а також діагностичне програмне забезпечення AMS Suite і польовий комунікатор 475.

Розглянемо декілька прикладів Smart Wireless:

- Smart Wireless THUM Перетворювач сигналу «Рисунок 2.2.1 - Перетворювач сигналу Smart Wireless THUM» [15]. На сьогодні більшість організацій має сотнями або навіть тисячами одиниць пристроїв з підтримкою протоколу HART, але, на жаль, інформація, яку вони готові передати, найчастіше, залишається невикористаною через складність доступу до неї традиційними дротяними методами зв'язку. Більшість підприємств не можуть повною мірою скористатися всіма перевагами інтелектуальних пристроїв через використання застарілих систем управління. Такі системи не оснащені засобами зв'язку з HART-протоколом для прийому інформації, зокрема, діагностичних даних або додаткових технологічних параметрів, які могли б виявитися корисними для оптимізації роботи підприємства.



Рисунок 2.2.1 Перетворювач сигналу Smart Wireless THUM

- Smart Wireless Шлюз «Рисунок 2.2.2 - Шлюз Smart Wireless» [15]. Рішення Smart Wireless легко масштабуються та інтегруються в дротову мережу підприємства. Безпроводова мережа є само організованою, що забезпечує високу

надійність і неперевершену легкість у використанні. Установка і введення в експлуатацію приладів на базі відкритого стандарту WirelessHART займає мінімальну кількість часу. Підключення додаткових приладів можливо в будь-який момент часу. Конфігурація каналів зв'язку не потрібна, оскільки шлюз має автоматичне управління мережею. Завдяки використанню цієї функції створюється високонадійне з'єднання з польовими пристроями WirelessHART.



Рисунок 2.2.2 Шлюз Smart Wireless

## 2.3 MiWi

MiWi - це запатентований безпроводовий протокол, який підтримує однорангове з'єднання в зіркоподібній мережі. Протокол був розроблений компанією Microchip Technology. MiWi використовує невеликі малопотужні цифрові радіомодулі на основі стандарту IEEE 802.15.4 і призначений для використання в сфері промислового моніторингу та управління, автоматизації будинку, а також для використання в малопотужних пристроях з обмеженим споживанням енергії, таких як системи дистанційного керування, радіодатчики,

освітлення, контроль і автоматичне зчитування показань лічильників. Протокол MiWi підтримується на модулях Microchip SAMR30 (в діапазоні субгігагерц) і SAMR21 (2,4 ГГц) [18].

Станом на 2019 рік сумісні реалізації сторонніх розробників не з'являлися. Неясно, чи є ці специфікації повними або досить точними, щоб виконувати ролі, відмінні від підтримки коду Microchip, або є ще одним приватним прикладом полегшеного стека WPAN. Багато розробників, які намагаються використовувати технології WPAN, помітили, що конкуруючий протокол Zigbee WPAN здається небажано складним. Відповідно, існує технічна ніша для простіших протоколів, прикладом якої є MiWi «Рисунок 2.3.1 - MiWi Demo Kit – 2.4 GHz» [16].

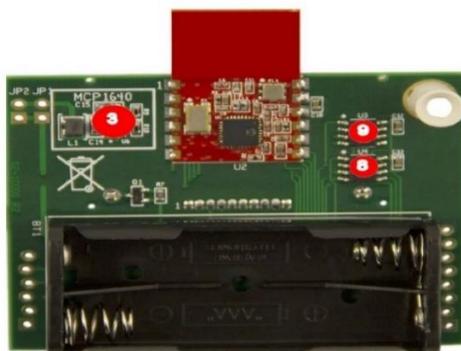


Рисунок 2.3.1 MiWi Demo Kit – 2.4 GHz

Протокол MiWi є альтернативою Zigbee для бюджетних пристроїв з обмеженою пам'яттю. Хоча програмне забезпечення MiWi можна безкоштовно завантажити з офіційного сайту, це приватне рішення, що вимагає використання тільки з мікроконтролерами Microchip «Рисунок 2.3.2 - MiWi Microchip» [17].

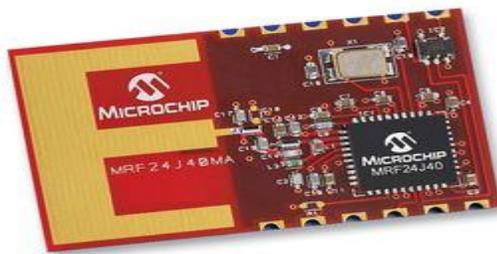


Рисунок 2.3.2 MiWi Microchip

Стек протоколів MiWi підтримує топології безпроводової мережі типу «зірка» та «peer-to-peer» (однорангова, децентралізована), що корисно для простого безпроводового зв'язку між вузлами на невеликих відстанях. Крім того, стек пропонує функції сплячого вузла, активного сканування і виявлення енергії, відповідаючи вимогам низького енергоспоживання пристроїв на батарейках.

## 2.4 6LoWPAN

Мережа Internet вже налічує кілька мільярдів вузлів і стоїть на порозі переходу на нову версію протоколу IP - IPv6, яка пропонує більш гнучку схему адресації і значний запас адресного простору.

Впровадження систем автоматики і автоматизації, незважаючи на часткову надмірність, зарекомендувало себе і показало свою ефективність. Все це базується на розгалужені мережі датчиків (сенсорів), керованих вузлів і механізмів. Навіть для невеликого автоматизованого об'єкта їх кількість може перевищувати кілька сотень. Крім того, сучасні завдання автоматизації вимагають прозорості міжмашинної взаємодії, розвинених сервісів, взаємодії з базами даних і навіть призначеного для користувача інтерфейсу [19]. Пряма підтримка протоколів Internet для переважної більшості вузлів сенсорних мереж неможлива, через:

- обмежені ресурси джерела живлення (автономні пристрої);
- недостатні обчислювальні можливості;
- малий обсяг пам'яті.

Також до цього додається досить великий обсяг заголовків і пакетів мережевих протоколів, що в свою чергу ускладнює процес.

Щоб подолати ускладнення даної ситуації IETF розроблений стек протоколів 6LoWPAN («IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks» - стандарт взаємодії по протоколу IPv6 поверх малопотужних бездротових персональних мереж стандарту IEEE 802.15.4) - версія протоколу IPv6 для безпроводових сенсорних мереж з низьким енергоспоживанням [19].

Ключовими особливостями мереж 6LoWPAN є:

- доступність будь-якого вузла мережі на його адресу;
- немає необхідності в шлюзі прикладного рівня для роботи з вузлами.

Оскільки 6LoWPAN є протоколом мережевого рівня, його можна використовувати з будь-яким фізичним і каналним рівнем, подібна ситуація зі стеком TCP / IP. Більш того, не обов'язково використовувати безпроводове середовище передачі. Для підтримки великих мереж вузли 6LoWPAN можуть виступати в ролі маршрутизаторів, є можливість маршрутизації з акцентом на рівень сигналу, що дозволяє передавати дані на низькій потужності, економлячи енергоресурс джерела живлення. Відсутня єдина точка відмови мережі.

Коротка характеристика 6LoWPAN

На даний момент запропонована реалізація стеку протоколів 6LoWPAN розрахована на субгігагерцовий діапазон, і це не випадково. Причина полягає в наступному. По-перше, даний діапазон не вимагає ліцензування майже у всіх країнах світу (так, чи інакше, ряд частотних смуг цього діапазону доступний для

вільного використання). По-друге, при однаковому споживанні енергії на прийом і передачу, в порівнянні з діапазоном 2,4 ГГц, за рахунок більшої довжини хвиль можна забезпечити стійкий зв'язок на більшій відстані. Також помітно менший вплив перешкод у вигляді стін, перегородок машин, дерев, що важливо для систем, що працюють в міських умовах. Це дозволяє застосовувати субгігагерцові приймачі для організації мереж як персонального (до 10 метрів), так і локального масштабу. Верхня межа дальності зв'язку коливається на позначці 800 метрів. Швидкості передачі даних також вистачає для типових застосувань сенсорних мереж - від 50 до 200 кбіт / с [19].

Цільові програми стеку 6LoWPAN включають в себе досить великі масштабовані мережі з підключенням до IP-мереж (Internet, intranet або extranet). Незважаючи на хорошу масштабованість, потенційно прозоре управління і легкий доступ до вузлів, вони підходять не для всіх застосувань. Зокрема, поточна версія стандарту стека протоколів вимагає постійної активності маршрутизаторів для коректної передачі даних. Однак ця особливість дозволяє мінімізувати займаний стеком 6LoWPAN обсяг flash-пам'яті (близько 20 кБ) в кінцевому пристрої (мережевий вузол), таким чином мінімізувати вартість мережевого процесора [18].

Деякі сфери перегукуються з низкою профайлів ZigBee, але не варто думати, що назріває конкуренція стандартів та рішень, скоріше - взаємодія і взаємодоповнення один одного, особливо з точки зору інтеграції сервісів, розширення зон дії мережі.

6LoWPAN фокусується на програмах, які потребують безпроводового підключення до інтернету з низькою швидкістю передачі даних для пристроїв з обмеженими можливостями продуктивності і потужності. Наприклад, автоматизація будинку, офісу та виробництва. Хоча такі мережі можуть працювати автономно. Забезпечення з'єднання до Інтернету може дозволити розробникам надати нові можливості при управлінні такою мережею.

## 2.5 LPWAN

LPWAN - «енергоєфективна мережа далекого радіусу дії» - безпроводова технологія для передачі невеликих за обсягом даних на великі відстані, призначена для розподілених мереж телеметрії, міжмашинної взаємодії та інтернету речей [20]. LPWAN є однією з безпроводових технологій, що забезпечують середу збору даних з різного устаткування: датчиків, лічильників та сенсорів.

### Принцип дії мережі LPWAN

В основі принципу передачі даних за технологією LPWAN на фізичному рівні РНУ лежить властивість радіосистем - збільшення енергетики, а значить і дальності зв'язку при зменшенні швидкості передачі. Чим нижче бітова швидкість передачі, тим більше енергії вкладається в кожен біт і тим простіше виділити його на тлі шумів в приймальній частині системи. Таким чином, низька швидкість передачі даних дозволяє домогтися більшого діапазону їх прийому.

Підхід, який використовується для побудови LPWAN-мережі, подібний до принципу роботи мереж мобільного зв'язку. LPWAN-мережа використовує топологію «зірка», де кожен пристрій взаємодіє безпосередньо з базовою станцією. Мережі міського або регіонального масштабу будуються з використанням конфігурації «зірка із зірок» [20].

Пристрій або модем з LPWAN-модулем передає дані по радіоканалу на базову станцію. Станція приймає сигнали від усіх пристроїв, що знаходяться в межах її діапазону, оцифровує їх і передає на віддалений сервер, використовуючи доступний канал зв'язку: Ethernet, стільниковий зв'язок чи VSAT.

Для передачі даних по радіоканалу, як правило, застосовується неліцензований спектр частот, дозволених до вільного використання в регіоні побудови мережі: 2,4 ГГц, 868/915 МГц, 433 МГц, 169 МГц.

### Переваги LPWAN:

- Велика дальність передачі сигналу у порівнянні з іншими безпроводовими технологіями використовуваними для телеметрії GPRS або ZigBee, до 10-15 км.
- Низький рівень споживання енергії у кінцевих пристроїв, завдяки мінімальним витратам енергії на передачу невеликого пакета даних.
- Висока проникаюча здатність радіосигналу в міській забудові при використанні частот субгігагерцового діапазону.
- Висока масштабованість мережі на великих територіях.
- Відсутність необхідності отримання частотного дозволу та плати за радіочастотний спектр, внаслідок використання неліцензованому частот.

### Недоліки LPWAN:

- Відносно низька пропускна здатність, внаслідок використання низької частоти радіоканалу. Варіюється в залежності від застосовуваної технології передачі даних на фізичному рівні, становить від кількох сотень біт до декількох десятків кбіт.
- Затримка передачі даних від датчика до кінцевого додатку, що пов'язана з часом передачі радіосигналу, може досягати від декількох секунд до декількох десятків секунд.
- Відсутність єдиного стандарту, який визначає фізичний шар і управління доступом до середовища для безпроводових LPWAN-мереж [18].

Таким чином, виходячи з цих переваг та недоліків можна сказати, що технологія LPWAN орієнтована на програми, що вимагають гарантованої передачі невеликого обсягу даних, можливості тривалої роботи мережевих пристроїв від автономних джерел живлення. Основними сферами застосування технології LPWAN є радіочастотні сенсорні мережі, автоматизація збору свідчень приладів

обліку, системи промислового моніторингу та управління.

До основних способів використання технології LPWAN можна віднести:

- Сільське господарство: контроль вологості і температури ґрунтів, спостереження за освітленістю і рівнем сонячної радіації, спостереження за станом складів та овочесховищ.
- Безпека і охоронні системи: резервування каналів зв'язку, контроль проникнення, контроль пожежної безпеки.
- Системи міського управління і «розумне місто»: управління освітленням, спостереження за автомобільними потоками, контроль зайнятості паркувальних місць, контроль температури, шуму, вологості, освітленості, забруднення повітря і тому подібне [20].

## 2.6 Порівняння технологій передачі даних

Розібравши найбільш розповсюдженні технології передачі даних можна створити порівняльну таблицю «Табл. 1» з перевагами та недоліками кожної технології та з'ясувати, яка з них краща та технологічніша. Критерії порівняння технологій: топологія, діапазон, швидкість та відстань передачі і таке інше.

Табл. 1.

### Порівняння технологій передачі даних

Мережа	ZigBee	WirelessHart	MiWi	6LoWPAN	LPWAN
Критерії					
Топологія	«точка- точка», «дерево», «зірка»	«зірка»	«зірка» та «peer-to-peer»	Малоспоживча чарункова мережа (low- power mesh)	«зірка», «зірка із зірок»

Продовження таблиці 1

Діапазон частот	2,4 ГГц, 915 МГц, 868 МГц.	2400 – 2483,5 МГц	2,4 ГГц	2,4 ГГц	2,4 ГГц, 868/915, 433, 169 МГц
Швидкість передачі	250 кбіт/с 40 кбіт/с 20 кбіт/с	250 кбіт/с	250 кбіт/с	від 50 до 200 кбіт / с	Менше 5 кбіт/с
Відстань передачі	10-75 м	До 50 м	20-100 м	До 800 м	10-15 км
Застосування	Безпроводові сенсорні мережі, автоматизація житла, медичне обладнання, системи промислового моніторингу та управління	Датчики тиску, витрати, рівня, температури, вібрації, шлюзи	Моніторинг та управління, автоматизація будинку, системи дистанційного керування, освітлення і зчитування показань лічильників.	Автоматизація будинку, офісу і виробництва	Бездротові сенсорні мережі, збір свідчень приладів обліку, системи промислового моніторингу та управління

Висновок: розглянувши системи передачі даних та враховуючи данні з «таблиці 1» можна сказати, що всі технології мають свої переваги і недоліки, і обрати найкращу досить тяжко, адже всі вони схожі між собою. На сьогодні, в наших реаліях раціональніше обрати технологію ZigBee та LPWAN, як найбільш розповсюджену та універсальну. Проте з перспективою на майбутнє, краще обрати технологію 6LoWPAN через більш ширші властивості перспективи та можливості.

### **3. ПРОТОКОЛИ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В ІОТ МЕРЕЖАХ**

#### **3.1 Протоколи та технології передачі даних на довгі відстані**

Зовсім скоро до Інтернету речей буде підключена значна кількість пристроїв. Більша частина цих пристроїв буде мати живлення від носіїв енергії. У зв'язку з цим, однією з основних характеристик є тривалість роботи обладнання без втручання людини.

Для того щоб розв'язати цю проблему спеціально для IoT були створені мережі LPWAN (Long Power Wide Area Network). Основними технологіями цих мереж є NB-IoT, Weightless, LoRa, SIGFOX та інші. Ці технології з'явилися через необхідність підключати велику кількість датчиків та приладів для централізованого збору інформації на хмарних серверах.

##### **3.1.1 LoRaWAN**

LoRaWAN (Long Range wide-area networks, глобальна мережа великого радіусу дії) - найвідоміший апаратний протокол LoRa, який призначений для управління зв'язком між LPWAN-шлюзами і кінцевими пристроями [18].

LoRa - одна з перших технологій сучасних мереж LPWAN, яка призначена для обслуговування IoT-пристроїв. LoRa - це частотне розширення спектра, яке було запатентовано в 2008 році компанією Cycleo (Франція). Компанія Cycleo розробила рішення для безпроводового зв'язку і напівпровідникових систем, розумні лічильники і різноманітні продукти як для споживчого, так і корпоративного ринку. Для просування нової технології були потрібні чималі

кошти. Каліфорнійський постачальник напівпровідників Semtech в 2012 придбав Cysleo, а разом з нею - активи і розробки. Згодом Semtech почав розробляти рішення LoRa, в тому числі - залучаючи такі великі компанії, як IBM і Cisco. Згодом ці IT-гіганти приєдналися до LoRa Alliance.

Завдання LoRa Alliance - глобальна підтримка мереж LoRaWAN. Станом на червень 2017 року в асоціацію входило понад 500 компаній. Серед них - розробники апаратного обладнання та програмного забезпечення, оператори LPWAN-зв'язку і т.д [21].

Експерти вважають, що популярність мережі зумавлена її перевагами: високою автономністю, низькою вартістю і широкою зоною покриття мережі.

LoRaWAN базується на топології «зірка». Більшість пристроїв по безпроводовому з'єднанню передають дані не на один шлюз, а відразу на кілька. Підключення між пристроями і шлюзами здійснюється на двосторонній основі. Зв'язок між шлюзами здійснюється через безпроводові рішення, які використовують широкосмугову модуляцію LoRa або FSK [22].

Потім шлюзи, які отримали інформацію, переадресовують пакети від кінцевого вузла до хмарного мережному серверу, підключеного через мобільний або супутниковий зв'язок, провідний або безпроводовий широкосмуговий доступ. Звідти дані надходять на сервери додатків.

Використання декількох шлюзів зручно, оскільки кінцеві вузли не мають прив'язки. Це дозволяє гарантувати передачу інформації та керувати пристроями, що перебувають в русі. Наприклад, безпроводові маячки, прикріплені до вантажних контейнерів, що переміщуються на тривалі відстані, зможуть обмінюватися даними без перешкод, оскільки вони не прив'язані до єдиного шлюзу.

Швидкість передачі даних між кінцевими пристроями і шлюзами варіюється від 0,3 до 50 кбіт / сек і може регулюватися самими шлюзами [22].

Архітектура LoRaWAN складається з таких основних елементів: кінцеві вузли, шлюзи, мережевий сервер, а також сервер додатків «Рис. 3.1.1 - Архітектура мережі LoRaWAN» [23].

У мережі LoRaWAN безліч переваг. Такі мережі розгортаються в діапазоні частот, які часто не вимагають ліцензування. Одна базова станція здатна обслуговувати кілька десятків тисяч пристроїв, завдяки великому захисту сигналу та високій завадостійкості. Крім того, термін служби акумулятора може досягати десяти років. При використанні сонячних панелей пристрій буде працювати автономно до тих пір, поки не закінчиться його ресурс.

Ключові переваги LoRaWAN - це не тільки дешевизна обслуговування, але й мінімальні витрати на придбання та технічне обслуговування датчиків. Датчики для роботи в мережах LoRaWAN, охоплюють, мабуть, максимально можливу кількість варіантів використання.

Завдяки конкурентним перевагам, на мережі припадуть мільярди середніх і недорогих контрактів. Крім того, мережі 5G, як мінімум до 2028 року не зможуть скласти серйозної конкуренції LoRaWAN [22].

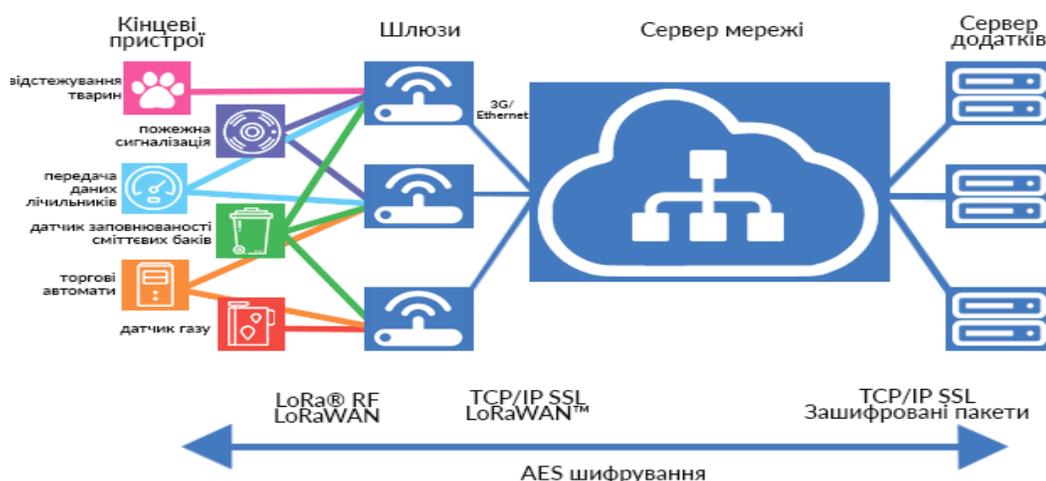


Рисунок 3.1.1 Архітектура мережі LoRaWAN

### 3.1.2 SigFox

Sigfox - глобальний оператор мережі, заснований у Франції у 2010 році, який будує безпроводові мережі для підключення об'єктів малої потужності, таких як лічильники електроенергії та розумні годинники, які повинні постійно працювати і передавати невеликі обсяги даних.

Sigfox використовує диференціальну двійкову фазову маніпуляцію (DBPSK) та маніпуляцію зі зміщенням частоти Гауса (GFSK), що забезпечує зв'язок за допомогою промислового, наукового та медичного радіодіапазону, який використовує 868 МГц у Європі та 902 МГц у США. Він застосовує широкосмуговий сигнал, який вільно проходить крізь тверді об'єкти і називається "надвузькосмуговий" і вимагає мало енергії, а також його називають "широкополосною мережею низької потужності" (LPWAN) [20]. Мережа базується на топології зіркових зірок і вимагає, щоб оператор мобільного зв'язку передавав генерований трафік. Сигнал також може використовуватися для легкого покриття великих територій та досягнення підземних споруд.

Sigfox співпрацює з компаніями у галузі LPWAN, таких як Texas Instruments, Silicon Labs та ON Semiconductor [18]. Радіодіапазони ISM підтримують обмежений двосторонній зв'язок. Існуюче стандартне підключення Sigfox підтримує до 140 вихідних повідомлень на день, кожне з яких може нести корисне навантаження в 12 октетів зі швидкістю передачі даних до 100 біт на секунду.

Зона, яку покриває SigFox складає близько 30-50 км в міський та сільський місцевості. В містах де дуже багато шумів, діапазон роботи 3-10 км.

SigFox використовує надвузьку смугу частот UNB (Ultra Narrow Band), засновану на радіотехніці, для підключення пристроїв до глобальної мережі. У

Європі широко використовується діапазон 868,8 МГц (як визначено в ETSI і CEPT), а у США 915 МГц (як визначено FCC) [18].

Пристрої передають свої повідомлення до базової станції SigFox. За допомогою протоколу point-to-point (P2P) базову станцію Sigfox підключають до своєї Інтернет бази даних, після отримання і декодування повідомлення, дані надсилаються до бази даних Інтернету. Нарешті, хмарний сервер SigFox посилає повідомлення на клієнтські сервери та ІТ платформи через інтерфейси прикладного програмування (APIs).

Технологія SigFox орієнтована на низьку вартість пристроїв, де потребується широка зона покриття. Існує цілий спектр додатків, яким необхідна ця технологія безпроводового зв'язку.

Стандарт має ряд переваг у порівнянні з іншими базовими технологіями LPWAN мереж. Серед переваг SigFox можна відзначити:

- велика зона покриття;
- висока проникаюча спроможність;
- довга робота від однієї батареї, приблизно до 20 років роботи сенсора від 2-х батарей типу AA;
- наднизьке енергоспоживання;
- низька вартість.

Як і всі технології сучасного світу, енергоефективна мережу SigFox, на жаль, також має і негативні характеристики:

- низька швидкість передачі даних;
- залежність від стільникової інфраструктури;
- обмежена завадостійкість.

### 3.1.3 Weightless-P

Weightless-P - це надвисокопродуктивна технологія підключення LPWAN для Інтернету речей. Він використовує вузькосмугову схему модуляції, яка пропонує можливість двостороннього зв'язку, щоб забезпечити бездоганну якість обслуговування (QoS) та додати функціональність. Стандарт забезпечить повністю визнані двосторонні комунікації, що пропонують як можливості висхідної, так і низхідної лінії зв'язку та найкращі у своєму класі QoS, необхідні для жорсткого промислового сектора IoT.

Weightless-P пропонує обіцяну продуктивність, надійність мережі та функції безпеки 3GPP-рішень, але раніше, ніж ці технології, з'являться на ринку. Крім того, стандарт значно зменшить витрати, порівняно з іншими технологіями LPWAN, і споживатиме енергію в режимі очікування менше 100 мкВт порівняно з більш ніж 3 мВт для найкращих стільникових технологій [18].

Weightless-P більш досконала технологія і вона підтримує гарантовану доставку повідомлень, тому їй не потрібно відправляти повідомлення по декілька разів, як в LoRa та SigFox, а отже економить заряд пристроїв. Також в цій технології використовується метод підтримки адаптивної швидкості передавання інформації і таким чином це забезпечує збільшення терміну служби батареї та підвищує продуктивність роботи мережі.

### 3.1.4 Порівняльна характеристика технологій передачі даних на довгі відстані в мережі IoT

На основі розглянутої інформації та властивостей LPWAN мережі для легшої аналітики та порівняння було створено порівняльну таблицю «Табл 3.1». В таблиці представлені основні критерії для оцінки та порівняння, а саме: метод модуляції, швидкість передачі, смуга частот, дальність передачі, безпека та максимальний час автономної роботи.

Таблиця 3.1

Порівняння основних технічних характеристик мереж з високою дальністю дії LPWAN

Характеристики	LoRaWAN	SigFox	Weightless-P
Метод модуляції	CSS	DBPSK/GFSK	GMSK/PSK
Діапазон	ISM	ISM	ISM
Швидкість	0,3-50 кбіт/с	100 кбіт/с	0,2-100 кбіт/с (адаптивна)
Смуга	Широка	Вузька	Вузька
	До 500 кГц	100 кГц	12,5 кГц
Частота	868,8 МГц (Європа) 915 МГц (США) 433 МГц (Азія)	868 МГц (Європа) 915 МГц (США)	169/433/470/ 780/868/915 МГц
Безпека	AES-64/128	AES з HMACs	AES128-256
Дальність	До 2,5 км у місті, до 45 км за містом	До 10 км у місті, до 50 км за містом	До 2 км у місті
Максимальний час автономної роботи	Менше 10 років	До 20 років	До 3-5 років

## 3.2 Протоколи та технології передачі даних на короткі відстані

Передача даних на великі відстані це неодмінно добре, проте при цьому швидкість передачі втрачається. Зараз ми живемо в світі, де все відбувається досить швидко, а отже і дані слід передавати швидко. Ось чому існують технології та протоколи передачі даних зі значно більшими швидкостями, але на короткі відстані. До сучасних та найбільш популярних технологій передачі даних на короткі відстані належать: Z-Wave, NFC, RFID, Bluetooth та Wi-Fi HaLow. Незважаючи на їх коротку відстань дії (20 см – 50 м) у порівнянні з вже розглянутими довгими відстанями (до 50 км), вони досить популярні та зручні у використанні. Їх найчастіше використовують в приміщеннях, де ми проводимо більшу частину свого життя (будинки, робота та інше).

### 3.2.1 Z-Wave

Z-Wave - це безпроводова радіо технологія з низьким енергоспоживанням, розроблена спеціально для дистанційного керування. На відміну від Wi-Fi та інших IEEE 802.11 стандартів передачі даних, розроблених в основному для великих потоків інформації, Z-Wave працює в діапазоні частот до 1 ГГц і оптимізований для передачі простих команд управління з малими затримками (наприклад, включити / виключити, змінити гучність, яскравість і т. д.) [18]. Вибір низькочастотного діапазону для Z-Wave зумовлений малою кількістю можливих джерел електромагнітних полів (на відміну від завантаженої смуги 2,4 ГГц, в якій доводиться вживати заходів для зменшення можливих перешкод від різних працюючих побутових безпроводових пристроїв - Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth).

Z-Wave призначений для створення дешевої та енергоефективної побутової електроніки, в тому числі пристроїв на батарейках, таких як пульти дистанційного керування, датчики диму, температури, вологості, руху та інших датчиків безпеки.

На цьому переваги не закінчуються, хоча це - складна система, вона дуже проста у використанні, а також вона ще й енергоефективна та економить наш дорогоцінний час.

Система працює за допомогою дистанційного керування і використовує радіохвилі малої потужності. Ця сіткоподібна мережа охоплює всі частини будинку, оскільки радіохвилі можуть проходити крізь стіни, підлогу та меблі, що робить спілкування майже на 100% надійним [18].

Станом на 2018 рік Z-Wave підтримується понад 700 виробниками по всьому світу і покриває широкий спектр споживчих і комерційних товарів в усьому світі. Нижні рівні протоколу, MAC і PHY, повністю сумісні у зворотньому напрямку. Відмінною особливістю Z-Wave є те, що всі ці продукти сумісні між собою.

В основі рішення Z-Wave лежить чарункова мережа (mesh мережу), в якій кожен вузол або пристрій може приймати та передавати сигнали від інших мережевих пристроїв за допомогою проміжних сусідніх вузлів.

В пізніших версіях Z-Wave був введений новий механізм вивчення топології мережі. Так звані дослідні кадри («explorer frames») можуть використовуватися для відновлення порушень маршруту, викликаних переміщенням або видаленням пристроїв [18]. Для передачі кадрів дослідження мережі використовується принцип дерева прийняття рішень з відсіканням гілок і, отже, інформація повинна надходити до цільового пристрою навіть без знання топології передавачем.

### 3.2.2 NFC

Near field communication, NFC («ближній безконтактний зв'язок») - технологія безпроводової передачі даних малого радіусу дії, яка дає можливість обміну даними між пристроями, що знаходяться на відстані приблизно 10 сантиметрів та анонсована в 2004 р.

Ця технологія є простим розширенням стандарту безконтактних карт (ISO 14443), яке поєднує інтерфейс смарт-карти і зчитувача в єдиний пристрій. Пристрій NFC може взаємодіяти з існуючими смарт-картами, і зі зчитувачами стандарту ISO 14443, та з іншими пристроями NFC і, тим самим, пристрій NFC сумісний із існуючою інфраструктурою безконтактних карток, яка вже використовується в системах громадського транспорту та платежів [24]. NFC спрямована насамперед на використання в цифрових мобільних пристроях.

NFC - це безпроводова технологія короткого діапазону, яка діє на відстані не більше 10 сантиметрів. NFC працює на частоті 13,56 МГц. Зв'язок NFC між двома пристроями також можливий, при умові, що обидва пристрої ввімкнено.

Завдяки своїм компактним розмірам та низькому енергоспоживанню NFC можна використовувати в невеликих пристроях. У смартфонах антена часто встановлюється на зворотній стороні пристрою, під кришкою. Щоб у користувачів не виникало питання, як саме прикладати гаджет для передачі даних (особливо така проблема характерна для планшетів через їх великого розміру і малого радіусу дії технології), місцезнаходження чіпа часто позначається спеціальною наклейкою на корпусі.

NFC використовується для взаємодії з пристроями радіочастотної ідентифікації RFID. Для забезпечення сумісності між картами RFID та мобільним телефоном різних виробників перевіряється цифровий протокол і проводиться

вимірювання всіх важливих властивостей радіочастотного сигналу: тимчасових характеристик, чутливості та амплітуди приймача в активному режимі, частоти несучої амплітуди сигналу [24].

При передачі інформації з активного пристрою до пасивного використовується амплітудна маніпуляція ASK. При обміні обидва пристрої рівноправні. Кожен пристрій має власне джерело живлення, тому сигнал несучої амплітуди відключається відразу після закінчення передачі.

За рахунок індуктивного зв'язку між опитуваним і прослуховуючим приладами пасивний пристрій впливає на активний. Зміна імпедансу прослуховуючого пристрою викликає зміну амплітуди або фази напруги на антені досліджуваного пристрою. Після цього відбувається з'єднання двох пристроїв та передача даних «Рисунок 3.2.2 - Принцип роботи модуля NFC». Як тільки ми роз'єднуємо два пристрої більш, ніж на 20 см, електромагнітне з'єднання порушується, і дані перестають передаватися автоматично.

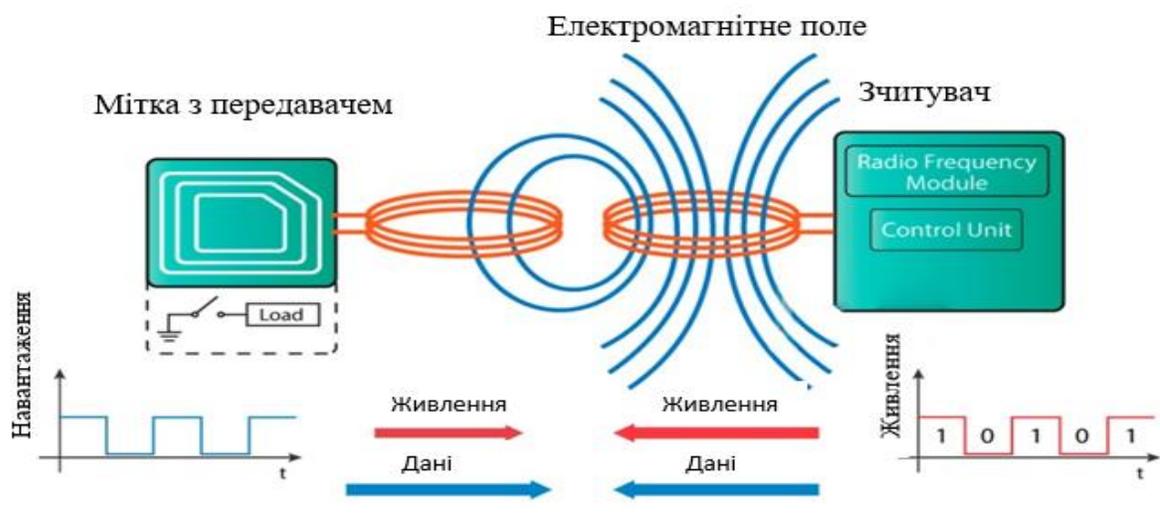


Рисунок 3.2.2 Принцип роботи модуля NFC

### 3.2.3 Bluetooth Low Energy

Bluetooth - виробнича специфікація безпроводових персональних мереж. Він забезпечує обмін інформацією між такими пристроями, як персональні комп'ютери (настільні чи ноутбуки), мобільні телефони, планшети, принтери, цифрові фотокамери, миші, клавіатури, джойстики, гарнітури і акустичні системи на надійній, безкоштовній, повсюдно доступній радіочастоті для ближнього зв'язку. Bluetooth дозволяє цим пристроям співпрацювати в радіусі близько 100 м в старих версіях протоколу і до 1500 м починаючи з версії Bluetooth 5. Дальність сильно залежить від перешкод, навіть в одному приміщенні.

Радіозв'язок Bluetooth здійснюється в ISM-діапазоні, який використовується в різних побутових приладах і безпроводових мережах. Частоти Bluetooth: 2.402-2.48 ГГц. У Bluetooth застосовується метод розширення спектра зі стрибкоподібною перебудовою частоти. Метод FHSS простий в реалізації, забезпечує стійкість до широкосмугових перешкод, а обладнання недороге.

Через необхідність використання технології Bluetooth для концепції Інтернету речей в грудні 2009 року було створено версію специфікації Bluetooth з низким рівнем енергоспоживання, під назвою Bluetooth Low Energy (BLE) із суттєвою перевагою, а саме: низьке пікове споживання енергії та середнє енергоспоживання в режимі простою [25].

Пристрої, що використовують Bluetooth з низьким енергоспоживанням, будуть споживати менше енергії, ніж інші Bluetooth-пристрої попередніх поколінь. У багатьох випадках пристрої зможуть працювати більше року на одній мініатюрної батарейці типу таблетка без підзарядки. Таким чином, можна буде мати, наприклад, невеликі датчики, що безперервно працюють, спілкуються з іншими пристроями, такими, як стільниковий телефон або КПК.

BLE призначений для тих пристроїв, які мають невеликі розміри, тобто для пристроїв, у яких важлива компактність і де неможливо встановити повноцінний акумулятор, або батарею великого об'єму.

Ця нова версія специфікації Bluetooth дозволяє підтримувати широкий діапазон додатків і зменшує розмір кінцевого пристрою для зручного користування в галузях охорони здоров'я, спорту, системах безпеки і розваг.

Крім перерахованих вище переваг, BLE має високу надійність, безпечність, низьку затримку при підключенні та низьку споживчу потужність.

На основі BLE 30 червня 2010 року Bluetooth SIG затвердив специфікацію Bluetooth 4.0. Ця версія включає в себе протоколи:

- Класичний Bluetooth,
- Високошвидкісний Bluetooth
- Bluetooth з низьким енергоспоживанням.

Протокол Bluetooth з низьким енергоспоживанням був розроблений для мініатюрних електронних датчиків (використовується в спортивному взутті, тренажерах, мініатюрних сенсорах, що розміщуються на тілі пацієнтів і т. д.). Низький рівень споживання енергії досягається за рахунок використання особливого алгоритму роботи. Передавач включається тільки на час відправки даних, що дає можливість роботи від однієї батарейки типу CR2032 протягом декількох років. Стандарт передбачає швидкість передачі даних 1 Мбіт / с при розмірі пакета даних 8-27 байт [25]. У новій версії два Bluetooth-пристрої зможуть встановлювати зв'язок швидше 5 мс і підтримувати його на відстані до 100 м.

16 червня 2016 року Bluetooth Special Interest Group (SIG) представила специфікацію Bluetooth 5.0, яка була створена, з акцентом на Інтернет речі. Це остаточно показало, що стандарт прагне "захопити" ринок пристроїв.

Порівняно з попередньою версією 4.0 швидкість передачі даних була збільшена майже до швидкостей HSPA і LTE ранніх версій, тоді як енергоспоживання залишилося незмінним [25]. Саме енергоефективність є важливим фактором для побудови мереж Інтернету речей.

### 3.2.4 Wi-Fi HaLow

Розробники вирішили порадувати споживачів новим протоколом Wi-Fi для інтернету речей. Однак не виключено, що безпека в процесі використання даного продукту буде набагато складніше, ніж раніше.

Новий протокол, заснований на стандарті 802.11ah від IEEE відомий як Wi-Fi HaLow. Він відрізняється від використовуваного в даний час Wi-Fi, типового для більшості сучасних пристроїв, кількома ключовими характеристиками:

- По-перше, це малопотужний протокол, він працює в діапазоні до 1 ГГц.
- По-друге, у нового продукту набагато більша дальність, ніж у традиційного Wi-Fi, і саме завдяки цій функції він буде надзвичайно ефективний в додатках, що регулюють функціонування світлофорів і камер спостереження в розумних містах [26].

Нова версія Wi-Fi також може стати в нагоді для підключення невеликих пристроїв з малою потужністю, таких як розумний-годинник, фітнес-браслет з іншими корисними аксесуарами і предметами одягу, для забезпечення зв'язку з якими зараз використовується Bluetooth. Wi-Fi Alliance запевняє, що Wi-Fi HaLow є розширеною і покращеною версією існуючого протоколу [26].

Wi-Fi HaLow чудово відповідає унікальним потребам розумного будинку, розумного міста та промислових ринків завдяки низькій енерговитратності, здатності працювати через стіни. Більш того, дальність протоколу істотно перевищує показники сучасного Wi-Fi.

Пристрої з підтримкою Wi-Fi HaLow також працюватимуть у діапазонах 2,4 та 5 ГГц, що дозволить можливість інтегрування в екосистему, яка на даний момент налічує вже більше 7 млрд пристроїв. Також Wi-Fi HaLow матиме підтримку підключення по IP, це дозволить працювати з хмарами, що дуже важливо для IoT. Також буде можливість підключатися до одієї точки доступу близько 1000 пристроїв [26].

Але, як і будь-який новий протокол або система, впровадження Wi-Fi HaLow створює додаткові проблеми в сфері безпеки. Однією з головних проблем в цьому контексті - забезпечити надійний захист всіх версій протоколу. Багато пристроїв, котрі готові до роботи на новому протоколі - виготовляються компаніями, які не приділяють належної уваги моделювання потенційних загроз та можливих атак.

### **3.2.5 Порівняльна характеристика технологій передачі даних на короткій відстані в мережі IoT**

На основі розглянутої інформації та властивостей LPWAN мережі для легшої аналітики та порівняння було створено порівняльну таблицю «Табл 3.2».

Таблиця 3.2

## Порівняння основних технічних характеристик мереж з малою дальністю дії

Характеристики	Z-Wave	NFC	Bluetooth	WiFi HaLow
Смуга частот	868/915 МГц	13,56 МГц	2,4 ГГц	1 ГГц
Швидкість передачі	9,6/40/100 кбіт/с	500 кбіт/с	1 Мбіт/с	До 4 Мбіт/с
Радіус дії	100 м	10-20 см	70 м	100-1000 м
Модуляція	FSK, GFSK	ASK, BPSK	GFSK	16-/64-/256-QAM, OFDM
Топологія	Сітка	Peer-to-peer	Односкачкова	Зірка
Безпека	AES-128	Шифрування	AES-128	WPA
Пропускна здатність	300/400 кГц	Змінна	40 каналів шириною 2 МГц	1/2/4/8/16 МГц

Висновок: в цьому розділі було розглянуто технології передачі даних на довгі та короткі відстані та здійснено їх порівняльну характеристику. Серед технологій великого радіусу дії в технології LPWAN були розглянуті: LoRaWAN, SigFox та Weightless-P, а серед малого радіусу технологія WPAN та WLAN: Z-Wave, NFC, Bluetooth і WiFi-HaLow. Порівняння здійснювалися за критеріями: топологія, безпека, пропускна здатність, швидкість, радіус дії, частота та модуляція.

#### 4. РОЗРОБКА БАЗОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК» З ТЕХНОЛОГІЄЮ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

На сьогодні існує безліч різних датчиків і кожен з них має своє призначення. Найчастіше в приміщеннях почали використовувати датчики руху та освітлення (наприклад VIDEX VL-SPC24W); температури та вологості (Термометр-гігрометр Xiaomi Miija Bluetooth Thermometer 2) і тому подібні, котрі реагують та впливають на різні зовнішні показники і тим самим змінюють наше життя. Кошують вони по різному, від простих і дешевих до нескінченно крутих, складних та дорогих, все залежить від властивостей і потреб. Разом вони створюють систему «Розумного будинку» і покращують та полегшують наше життя.

Насправді, система «Розумний будинок», це лише невелика частина технології Інтернет речей, яку ми бачимо і можемо зрозуміти. Якщо поринути глибше в технологію IoT можна зрозуміти, що практично усі речі, які нас оточують пов'язані з цією технологією.

Проте в цьому розділі, на основі жилого будинку «Рисунок 4.5 - Схема будинку», зпроектовано систему освітлення, опалення та безпеки на базі датчиків руху та температури повітря, а також датчиків проти пожежної безпеки. Деякі датчики мають мікро-чіпи на технології Bluetooth та Wi-Fi.

За основу взято:

- Інфрачервоний датчик освітленості VIDEX VLSPC24W «Рисунок 4.2»;

Даний датчик дозволяє керувати системою освітлення та фіксує переміщення об'єктів. Датчик автоматично вмикає та вимикає освітлення у приміщенні в залежності від виявлення руху у своєму полі дії. Широко використовується для

освітлення промислових, складських, паркових, прибудинкових територій, зон відпочинку, доріг.

Рекомендована висота встановлення-2,2-4м. Затримка - 10с-7хв. Має високий ступінь пиле- та вологозахисту IP54. Час спрацювання - 0.6-1.5м/с. Дозволяє регулювати світловий поріг спрацювання в діапазоні від 10Лк - до 2000Лк. Дистанція виявлення від 2м до 8м (за температури <math><24^{\circ}</math>) [27].



Рисунок 4.1 Датчик руху та освітленості VIDEX VLSPC24W

- Термометр Xiaomi Miija Bluetooth Thermometer 2 «Рисунок 4.2»;

Нова версія розумного Термометр-гігрометра з дисплеєм LCD, Який призначений для вимірювання температури і вологості в приміщенні. Термометр має лаконічний дизайн, який підійде під будь-який інтер'єр. З додатком Mihome Можна не тільки читати інформацію зі смартфона, перебуваючи далеко від дому, а й отримувати повідомлення про аномальні перепади температури і вологості. У термометра використовується датчик промислового класу від Sensirion на базі Bluetooth 4,2 BLE. Має довгий час роботи до 1 року від однієї батарейки, зручний, компактний, а головне – недорогий [28].



Рисунок 4.2 Термометр-гігрометр Xiaomi Miija Bluetooth Thermometer 2

- Безпроводовий датчик пожежної безпеки Аоке СС-168 «Рисунок 4.3»;  
 СС-168 – безпроводовий датчик диму, принцип роботи якого заснований на фотоелектронній камері. Досить ефективно рішення для встановлення в квартирах, приватних будинках, а також безлічі інших закладів (магазинах, ресторанах тощо). Фотоелектронні датчики досить швидко реагують не тільки на пожежу, а й легкий табачний дим [29]. Відстань від приладу до станції управління може сягати до 100 м (у відкритому просторі) та до 30 м (у приміщенні). Датчик працює на малопотужній частоті 433 МГц але з великим радіусом дії технології LoRaWAN. Через малу потужність датчика, срок служби від однієї батареї – приблизно 1,5 роки. Цей датчик досить універсальний, адже він недорогий.



Рисунок 4.3 Датчик пожежної безпеки Аоке СС-168

- Примітивні датчики температури, котрі вбудовані в побутові прилади;
- Газовий котел Beretta Ciao 24 C.S.I N. «Рисунок 4.4» [30].

Двоконтурний газовий котел Beretta Ciao 24 C.S.I N. спроектований для якісного опалення приміщення і забезпечення гарячого водопостачання. Модель з закритою камерою згоряння, потужністю, яка дорівнює 24 кВт, опалювальною площею до 240 квадратних метрів. Технологічно передбачено коаксіальний димохід, що забезпечує безпечну утилізацію продуктів згоряння. Компактні розміри і прийнятна вартість роблять її затребуваною у власників приватних будинків. Можлива установка в квартирах [30].

Виробник подбав про комфорт експлуатації, забезпечивши техніку опцією протекції від низьких температур і блокування насоса. Котел поставляється в готовому до встановлення вигляді, підвішується до стіни, має нейтральний дизайн. На лицевій стороні корпусу розміщена панель управління, яка з'єднується з датчиками температури та вологості за технологією BLE, що робить систему опалення повністю автоматичною.



Рисунок 4.4 - Газовий котел Beretta Ciao 24 C.S.I N.

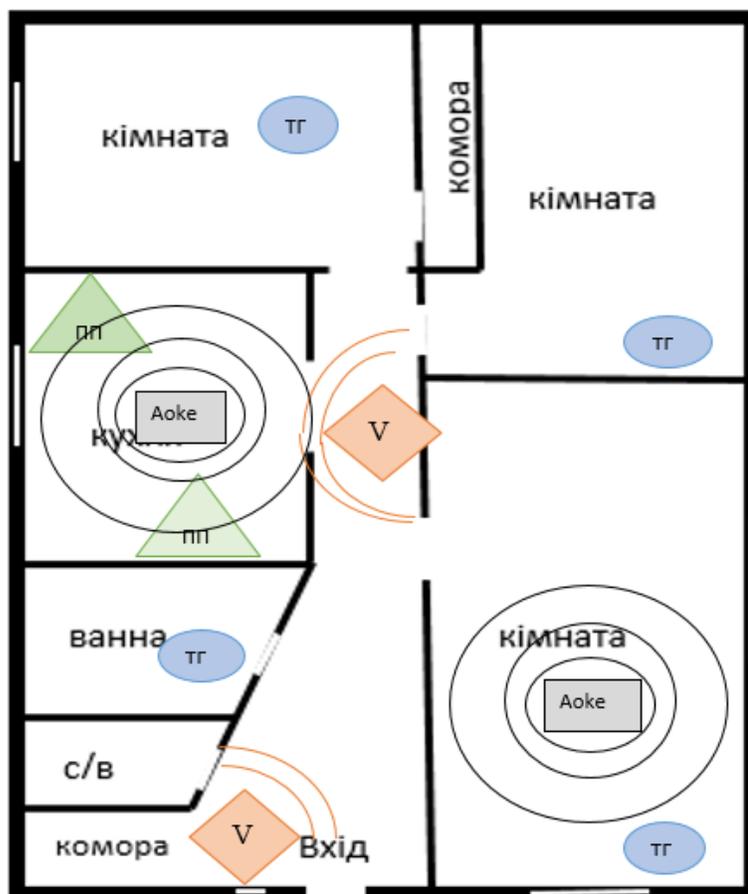


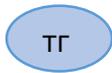
Рисунок 4.5 Схема будинку



V – VIDEX VLSPC24W датчик руху та освітлення



Аоке – Аоке СС-168 датчик пожежної безпеки



ТГ – Термометр-гігрометр Xiaomi Bluetooth Thermometer 2



ПП – Побутовий прилад з примітивним датчиком

Висновок: таким чином, на базі розглянутих в попередніх розділах технологій безпроводового зв'язку на довгі та короткі відстані було розроблено базову систему «Розумний будинок», яка досить чітко та ефективно працює вже протягом певного часу. Це говорить про простоту та надійність технології та можливість її використання в будь-якій оселі.

## ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі були розглянуті такі речі, як:

1) Загальне поняття терміну «Інтернет речей», який почав свою історію існування ще у 1999 році і мав за мету впровадження практичних рішень для реалізації в інформаційних технологіях, завдяки поширенню безпроводових мереж, появи хмарних обчислень, розвитку технологій взаємодії машин, початку активного переходу на IPv6 і освоєння програмно-визначених мереж.

2) Розглянули основні технології «Інтернет речей», а саме: засоби ідентифікації, вимірювання, передачі і обробки даних, а також виконуючі пристрої.

3) Розглянули основні сфери використання концепції такі, як: агрокультура, промисловість, охорона здоров'я, торгівля, розумний будинок, місто, авто, канал постачання та пристрої щоденного використання.

4) Розібрали та порівняли безпроводові системи передачі даних (ZigBee, WirelessHart, MiWi, 6LoWPAN та LPWAN) за такими критеріями оцінки: топологія, діапазон частот, швидкість та відстань передачі і сфери застосування.

5) Детально розглянули та порівняли сучасні протоколи передачі даних на довгі та короткі відстані за критеріями: метод модуляції, частота, швидкість та дальність передачі, смуга пропускання, безпека та максимальний час автономної роботи. Серед протоколів передачі даних на довгі відстані LPWAN мережі розглянуті основні протоколи, це NB-IoT, Weightless, LoRa, SIGFOX, а серед протоколів передачі даних на короткі відстані WLAN та WPAN мереж розглянуті протоколи: Z-Wave, NFC, RFID, Bluetooth та Wi-Fi HaLow

6) Створено примітивний проект з використанням технології «Інтернет речей» в жилому приміщенні.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електронний ресурс – [ Вікіпедія ] - Інтернет речей – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B5%D1%82\\_%D0%B2%D0%B5%D1%89%D0%B5%D0%B9](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B5%D1%82_%D0%B2%D0%B5%D1%89%D0%B5%D0%B9) -(рос.мова )
2. Рисунок – Концепція Інтернет речей - URL: <https://prisma-group.com.ua/wp-content/uploads/2019/01/mceclip0-1524719126435.png>
3. Електронний ресурс – [ IT enterprise ] - технології Інтернет речей - URL: <https://www.it.ua/ru/knowledge-base/technology-innovation/internet-veschej-internet-of-things-iot> - ( рос. мова )
4. Рисунок – Виконуючі пристрої (Розумний будинок) - URL: <https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/listmusor/production/afisha/37643/5a3781da455e8.jpeg>
5. Рисунок – Канал зв'язку - URL: <https://fs01.vseosvita.ua/010052wl-8fab/010-0x0.jpg>
6. Електронний ресурс – [ blog.imena.ua ] – 10 найпопулярніших сфер використання Інтернет речей - URL: <https://www.imena.ua/blog/top-10-scope-iot/>
7. Рисунок – IoT технології в агрокультурі - URL: [https://iot.ru/upload/resize\\_cache/iblock/e6d/860\\_490\\_1/e6dccaedcd52deacca2e44640c12ce8c.jpg](https://iot.ru/upload/resize_cache/iblock/e6d/860_490_1/e6dccaedcd52deacca2e44640c12ce8c.jpg)
8. Рисунок - IoT на виробництві - URL: <https://www.nextgenmakers.co.uk/wp-content/uploads/2019/12/robots.jpg>
9. Рисунок – Медицина онлайн - URL: <https://liliaglecova.files.wordpress.com/2011/12/d0b8d0bdd182d0b5d180d0bdd0b5d182-d0bcd0b5d0b4d0b8d1-86d0b8d0bdd0b0.jpg?w=584>
10. Рисунок – IoT технології та автомобіль - URL: <https://t1.daumcdn.net/cfile/tistory/99395C375A2F7C7E13>
11. Електронний ресурс - [ Умный дом Xiaomi ] – Zigbee - URL: <https://xiaomi-smarthome.ru/zigbee/> - ( рос. мова )

12. Электронный ресурс - [ [ferra.ru](http://ferra.ru) ] – Zigbee - URL: <https://www.ferra.ru/review/smarthome/SmartHome-ZigBee.htm> - ( рос. мова )
13. Рисунок – ZigBee чип - URL: [https://1wire.com.ua/image/cache/data/shop/Modules/bluetooth/cc2531\\_usb\\_sniffer\\_01-500x500.jpg](https://1wire.com.ua/image/cache/data/shop/Modules/bluetooth/cc2531_usb_sniffer_01-500x500.jpg)
14. Электронный ресурс - [ [pepperl+fuchs](http://pepperl+fuchs) ] – WirelessHART - URL: [https://www.pepperl-fuchs.com/russia/ru/classid\\_2434.htm](https://www.pepperl-fuchs.com/russia/ru/classid_2434.htm) - ( рос. мова )
15. Рисунок - MiWi Demo Kit – 2.4 GHz - URL: [https://www.terraelectronica.ru/images/TI/3/DM182016\\_1\\_Board\\_2\\_Full.jpg](https://www.terraelectronica.ru/images/TI/3/DM182016_1_Board_2_Full.jpg)
16. Рисунок - RF Transceiver Radio Module, 250Kbps, PCB Antenna, 2.483 GHz - URL: [https://il.farnell.com/productimages/standard/en\\_GB/1630202-40.jpg](https://il.farnell.com/productimages/standard/en_GB/1630202-40.jpg)
17. Видавництво Перри Ли – Архітектура інтернет речей - пер. с англ. М. А. Райтмана. – Москва: ДМК Пресс, 2019 – 454 с.
18. Электронный ресурс - [ [Компел](http://compel.ru) ] – 6LoWPAN - URL: <https://www.compel.ru/lib/53862> - ( рос. мова )
19. Электронный ресурс - [ [стриж](http://strij.tech) ] – LPWAN - что это такое? - URL: <https://strij.tech/tehnologiya-strizh> - ( рос. мова )
20. Электронный ресурс - [ [OrinM2M](http://orion-m2m.com) ] – LoRaWAN: Широкие возможности сети дальнего радиуса - URL: [http://orion-m2m.com/ru/news/lorawan-shirokie-vozmozhnosti-seti-dalnegoradiusa/?gclid=Cj0KCQjw4cOEBhDMARIsAA3XDRjpscUErBp5-3eDqcraaQaNmitJ2rxLYZ4OVV1zbqY0dth\\_VqjZIHb4aAugkEALw\\_wcB](http://orion-m2m.com/ru/news/lorawan-shirokie-vozmozhnosti-seti-dalnegoradiusa/?gclid=Cj0KCQjw4cOEBhDMARIsAA3XDRjpscUErBp5-3eDqcraaQaNmitJ2rxLYZ4OVV1zbqY0dth_VqjZIHb4aAugkEALw_wcB)
21. Электронный ресурс - [ [iotji](http://iotji.io) ] – Обзор технологий LoRa - URL: <https://iotji.io/ru/osobennosti-lorawan/> - ( рос. мова )
22. Рисунок - Архітектура мережі LoRaWAN - URL: [https://romsat.ua/upload/medialibrary/4f1/news\\_s1\\_17\\_03\\_20\\_ua.png](https://romsat.ua/upload/medialibrary/4f1/news_s1_17_03_20_ua.png)
23. Электронный ресурс - [Блог] – Что такое NFC и как его можно использовать? - URL: [https://blog.allo.ua/chto-takoe-nfc\\_2017-09-38/](https://blog.allo.ua/chto-takoe-nfc_2017-09-38/) - ( рос. мова )

24. Электронний ресурс - [Харб] – Bluetooth Low Energy: гайд для начинающих - URL: <https://habr.com/ru/post/532298/> - ( рос. мова )

25. Электронний ресурс - [The verge] – Wi-Fi HaLow - URL: <https://www.theverge.com/2016/1/4/10691400/new-wifi-halow-standard-announced-iot-ces-2016>

26. Электронний ресурс - [VIDEX] - Датчик руху та освітленості VIDEX VL-SPC24W - URL: [https://videx.ua/products/datchik-dvizheniya-osvescheniya-videx-vlspc24w-220v-1200winfrakrasnyj?gclid=Cj0KCQjwk4yGBhDQARIsACGfAeu0X-xsIWHnZFDjRc4TMI6iR8MyuRThD7IuRIgFLIGkYsWsjetZkyN0aAgpEALw\\_wcB](https://videx.ua/products/datchik-dvizheniya-osvescheniya-videx-vlspc24w-220v-1200winfrakrasnyj?gclid=Cj0KCQjwk4yGBhDQARIsACGfAeu0X-xsIWHnZFDjRc4TMI6iR8MyuRThD7IuRIgFLIGkYsWsjetZkyN0aAgpEALw_wcB)

27. Электронний ресурс - [Smart Hata] - Термометр-гигрометр Xiaomi Mijia - URL: [https://smart-xata.com.ua/product/xiaomi-mijia-bluetooth-thermometer-2/?utm\\_source=Google%20Shopping&utm\\_campaign=SMARTXATA%20Feed&utm\\_medium=cpc&utm\\_term=6238&gclid=Cj0KCQjwk4yGBhDQARIsACGfAesITzRQr1fh2hyETMxBYsFGaSDHvcguWZ7l0rhn7IjOxuxWYxpaV00aAmWMEALw\\_wcB](https://smart-xata.com.ua/product/xiaomi-mijia-bluetooth-thermometer-2/?utm_source=Google%20Shopping&utm_campaign=SMARTXATA%20Feed&utm_medium=cpc&utm_term=6238&gclid=Cj0KCQjwk4yGBhDQARIsACGfAesITzRQr1fh2hyETMxBYsFGaSDHvcguWZ7l0rhn7IjOxuxWYxpaV00aAmWMEALw_wcB)

28. Электронний ресурс - [Ohrana.ua] – Бездротовий датчик пожежної безпеки Аоке СС-168 - URL: [https://ohrana.ua/datchiki/besprovodnoy-datchik-dima-aoke-cc-168.html?gm&utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=1205-0823282&utm\\_term=&utm\\_content=490930671787&utm\\_position=&utm\\_matchtype=&utm\\_placement=&utm\\_network=u&gclid=Cj0KCQjwk4yGBhDQARIsACGfAeuScSVYMBnPF9RZfDNNug7qeKQoujdwH1iFDf9aY8U93UqdacXRctMaAk6PEALw\\_wcB](https://ohrana.ua/datchiki/besprovodnoy-datchik-dima-aoke-cc-168.html?gm&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=1205-0823282&utm_term=&utm_content=490930671787&utm_position=&utm_matchtype=&utm_placement=&utm_network=u&gclid=Cj0KCQjwk4yGBhDQARIsACGfAeuScSVYMBnPF9RZfDNNug7qeKQoujdwH1iFDf9aY8U93UqdacXRctMaAk6PEALw_wcB)

29. Электронний ресурс - [Leyka] – Газовий котел Beretta Ciao 24 C.S.I N - URL: [https://leyka.com.ua/gazovye-kotly/beretta-ciao-24-c-s-i-chao?gclid=CjwKCA-jw2ZaGBhBoEiwA8pfP\\_idisnUBvqaYqEyOs7vOcS6eL\\_XWfKsNsSq9\\_3BePU7rLRv-wlKgjhOCXxQQA\\_vD\\_BwE](https://leyka.com.ua/gazovye-kotly/beretta-ciao-24-c-s-i-chao?gclid=CjwKCA-jw2ZaGBhBoEiwA8pfP_idisnUBvqaYqEyOs7vOcS6eL_XWfKsNsSq9_3BePU7rLRv-wlKgjhOCXxQQA_vD_BwE)

## Додаток А

# 1. GENERAL CONCEPTION, HISTORY OF APPLICATION AND TECHNOLOGIES OF INTERNET OF THINGS

## 1.1 General conception and history of the term Internet of Things

Internet of Things (IoT) is the conception of data network between physical objects which are equipped with integrated technologies to interact with the outside world or with each other. The network consists of physical devices fitted with sensors. It is assumed that the organization of such a network is able to create common economic processes and combine the processes of reading, programming and identifying that control processes without human participation [1]. The concept is to bring all of the technologies together into a single computer system served by Internet protocols, that has contributed to its widespread popularity.

The conception started to form in 1999 as an understanding of the prospects for the wide use of radio frequency identification for the interaction of physical objects with one another and with the environment.

The conception was initiated by the British engineer Kevin Ashton, one of the three founders of the Automatic Identification Center, during the presentation for the leaders of Procter & Gamble to ensure physical objects to be connected with sensors and Internet in one system [1].



In the early 2010s, Internet of Things became the driving force of Foggy Computing paradigm, which extend cloudy computing principles from data centers to a variety of interacting geographically dispersed devices as a platform for Internet of Things [1].

Since 2011 Gartner has placed “Internet of Things” in the general hype (degree of interest) of new technologies at the “technological trigger” level.

## **1.2 Technologies for Internet of Things**

The main technologies of Internet of Things include:

- Means of identification. The participation of objects in physical world which are not necessarily equipped with the ability to connect to the data network requires the use of identification technologies. Although the conception was initiated by RFID technology, all tools for automatic identification can be used as: optical identifiers (barcodes, QR codes), tools location at real-time regime and infra-red marks [3]. However, ensuring the uniqueness of identification requires standardization of these systems.

- Means of measuring. They play a special role in converting environmental information into machine-readable data and thus fill the environment with information. A broad class of measuring devices is used, from elementary sensors (temperature, pressure, light) " Picture 1.2.1 - data measurement" [1], consumption meters (e.g. smart meters) to complex integrated measuring systems and complex measuring systems and centers. For the automation and interaction between the machines of measuring devices, it is desirable to provide them with a network (wired or wireless) and a power supply from alternative energy sources such as solar panels or windmills in order not to waste resources on batteries.



- Data processing tools. No less important is a part of "Internet of Things", it depends on the quality and accuracy of the obtained data and its implementation. Data can not only be processed with the help of sensors and data media [3], but also with the help of cloud systems which provide a relatively high bandwidth and are able to react quickly on certain situations (e.g. nobody in the house or another device is switched off or the front door is not locked).

- Executing devices. Functional elements of the automatic control which check the object "Picture 1.2.3 - main actuator" [4]. They are able to convert digital electrical signals from information sources into actions. The devices are connected with the sensors and the sensors notify the owner of certain events in the house and monitor all systems. It means that the owner of this system can control and monitor the processes with his smartphone, which is remotely connected with the system.



Picture 1.2.3 - main actuator

### 1.3 Using Internet of Things today

Today, the technology of "Internet of Things" is used in almost every field and this technology significantly improves our lives. Then we will analyze the areas and examples of using "Internet of Things".

- IoT devices in agriculture. Recently, different devices and sensors are often used in agriculture. It greatly facilitates and improves the cultivation of crops and animals " Picture 1.3.1 - Agriculture on the screen" [7]. For example, the moisture concentration in the soil for cereals is the main factor on which the future of the soil depends. The sensor monitors the soil moisture ratio and activates the irrigation system in case of deviation from the standard. Another example is a tracker which watch the location of animals, their health, and so on.



Picture 1.3.1 - Agriculture on the screen

- Internet of Things in industry. This area even has its own special term - industrial Internet of Things IIoT. It's a system of integrated computer networks connected with industrial facilities fitted with sensors and software, with the possibility of remote control, to receive and exchange data " Picture 1.3.2 IoT in industry" [8], as well as their analysis for more accurate calculations [6]. The main components of IIoT are advanced analytical tools, artificial intelligence and machine learning. Everything is done for increasing productivity of intelligent machines and correcting human errors.



Picture 1.3.2 IoT in industry

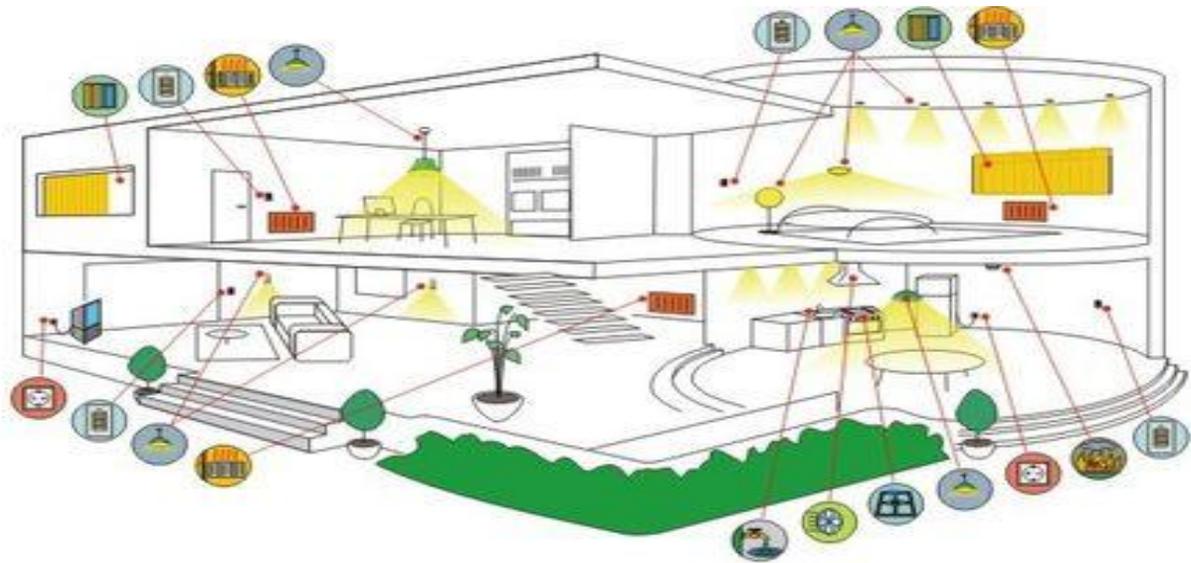
- The Internet of Health. The best and most useful field of Internet of Things technology. It shows how important medicine is because it affects our lives and health. Thanks to this technology, doctors can help by means of Internet " Picture 1.3.3 - Medicine online" [9], you do not need to go to the hospital to stand in line for a long time to see a doctor, you can be treated at home, because IoT finds an approach to each person separately. And it doesn't matter if it's just a cold from winter hypothermia or a more complex disease, the technology will analyze the patient's condition and calculate an individual method of treatment [6]. Despite some difficulties of this technology, it is developing quite rapidly.



Picture 1.3.3 - Medicine online

- Internet of Things in commerce. In this area, the system aims to improve and reduce acquisition time. There is advertising which analyzes the best products and offers them, and this advertising is not simple, but your phone, or rather its microphone, overhears on your conversations, the phone's operating system analyzes what actions you do most often and what you are interested in and thus constructs you advertising for products of interest to you. Also in this area it is quite popular contactless payment system, which allows you to store all the necessary cards (bank or promotional) on your phone, so you do not need to carry a bunch of plastic in your wallet.

- Sensible home. The most popular and widely used version of Internet of Things technology. We can talk about this sphere for a long time, but it is a really practical and effective system " Picture 1.3.5 - Smart Home System". With it, you can control many processes in your house or room. The main tasks include control of humidity, air temperature, lighting in the room, control of electrical appliances and so on, and most importantly - the whole process can be controlled using your smartphone or chief computer.



Picture 1.3.5 - Smart Home System

- Sensible cars. Quite an interesting technology in the field of "Internet of Things", which until recently has been considered a mystery, but it is already quite common. Modern cars are equipped with a large number of sensors that together form artificial intellect, which facilitates the constant exchange of data with the outside world and allows you to drive a car without human participation. Cars with pilotless control are examples " Picture 1.3.6 - Sensible car" [11], as well as with remoting control of doors or other systems in the garage.



Picture 1.3.6 - Sensible car

- Sensible city. The technology is not yet reliable due to low power and lack of some devices, but there are technologies evolving quite rapidly and have good perspectives. In some countries, there are or have been certain concepts of a sensible city, such as sensible car parking, sensible traffic lights, lighting or traffic, and so on [6]. All these technologies help to improve traffic control, as well as to increase safety on the roads.

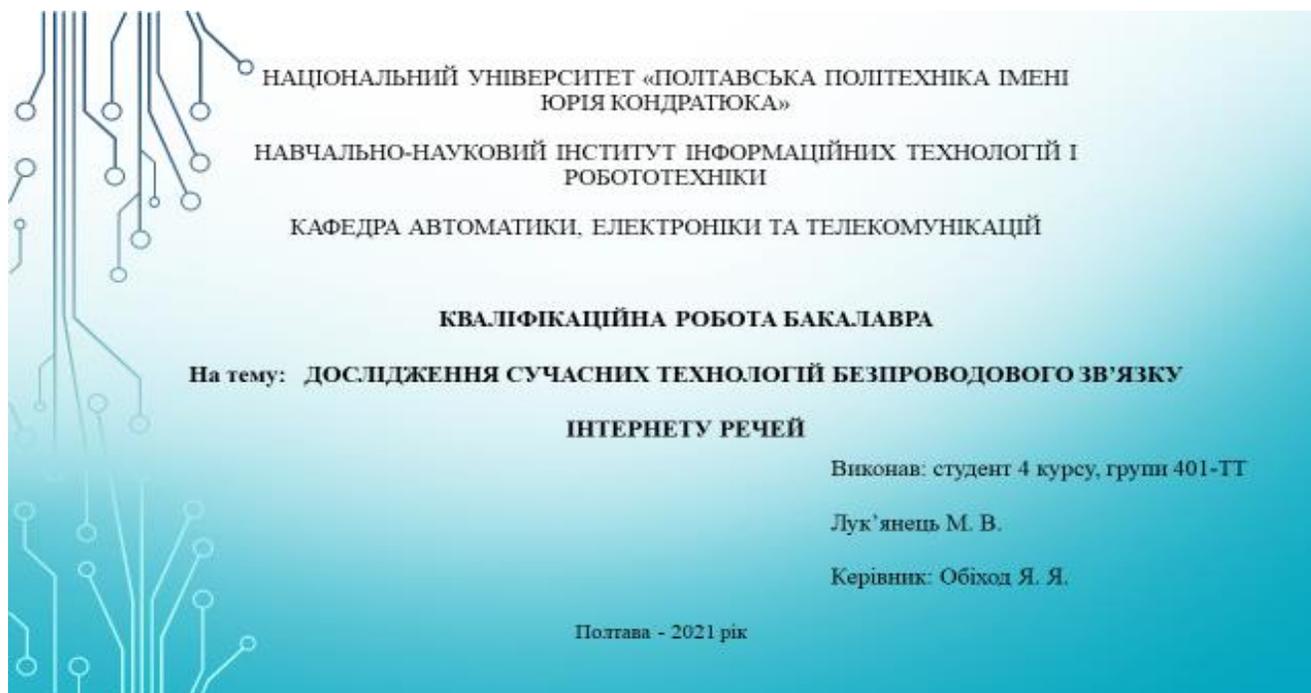
- Devices we carry. Among the simple devices that monitor our health, are various fitness trackers " Picture 1.3.7 - Monitoring health with IoT", they monitor body temperature, blood pressure and heart rate. However, there are more sophisticated devices, such as those ones which constantly measure and monitor blood glucose levels to help a person with diabetes to preserve his health.



Picture 1.3.7 - Monitoring health with IoT

Conclusion: after reading the first section of this qualification work, we can understand that the "Internet of Things" are not sensible devices, they are sensible technologies that surround us and improve our lives every day because they are used almost everywhere. These technologies are evolving quite rapidly, so future perspectives can only be imagined.

## Додаток Б



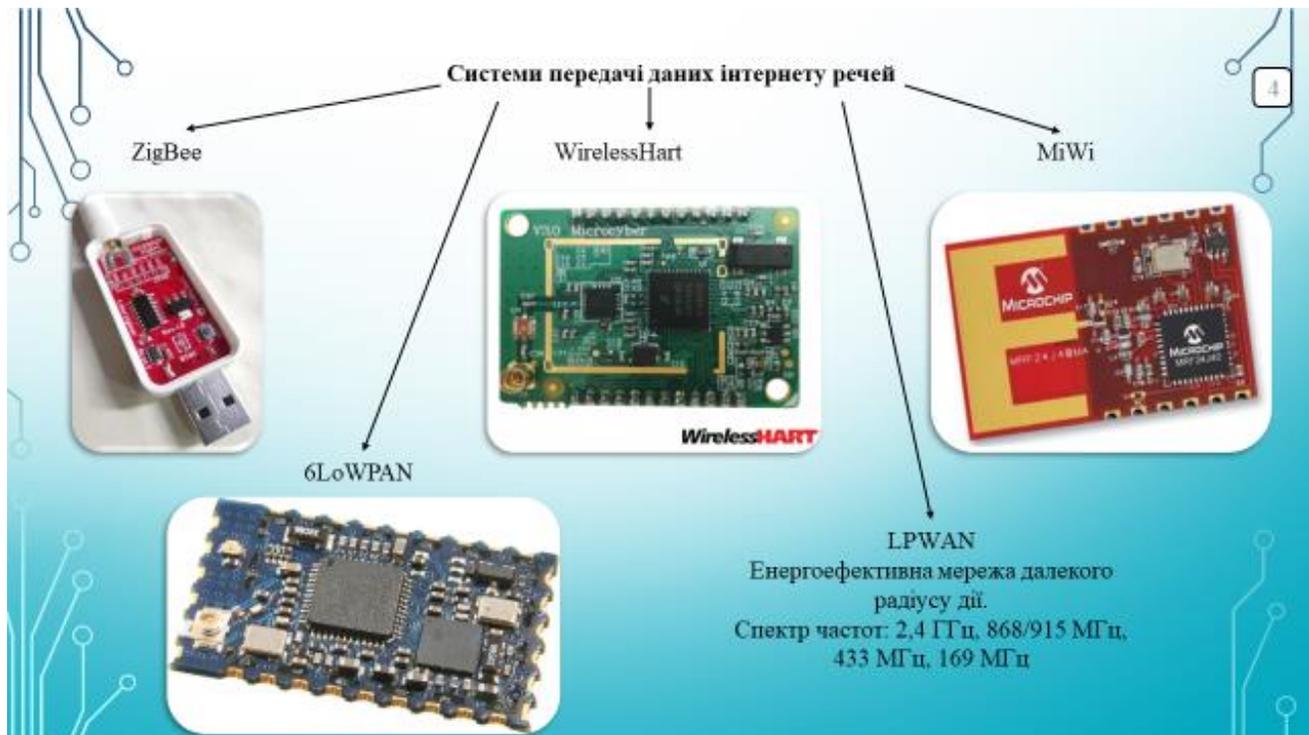
Слайд 1 - Титульний аркуш



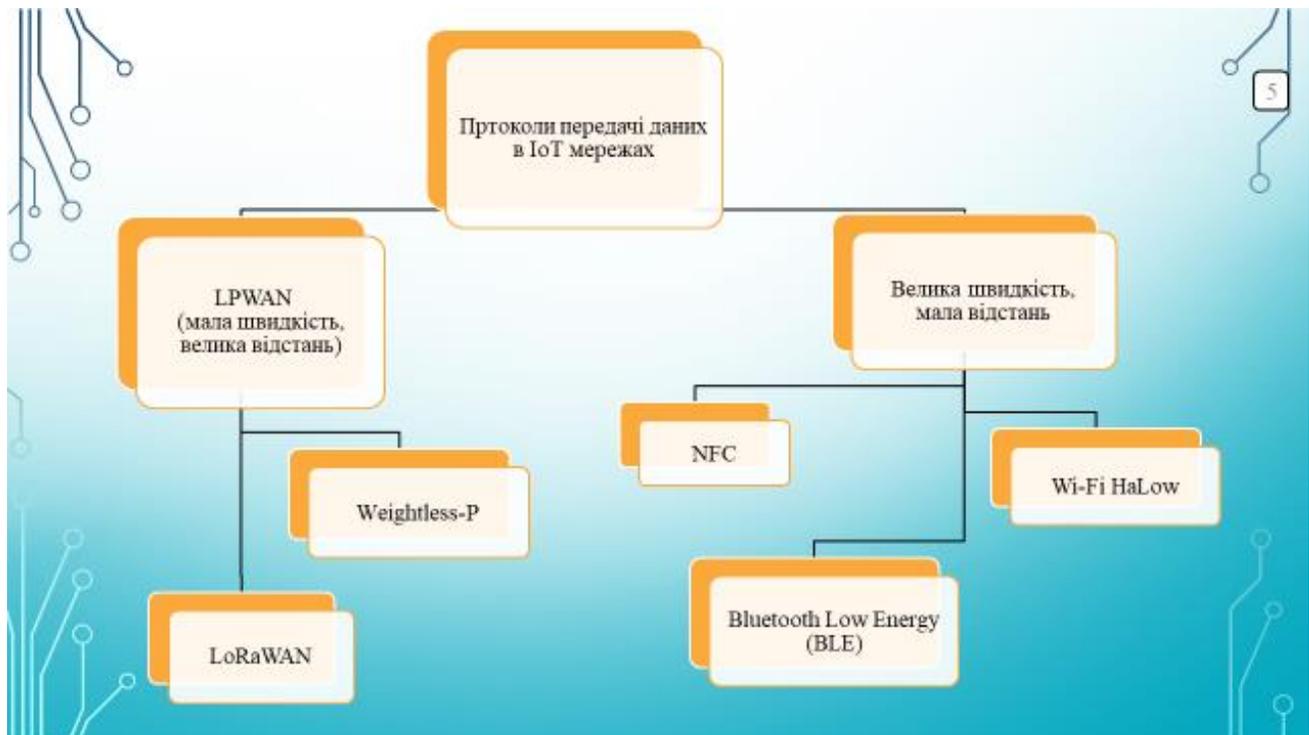
Слайд 2 - Мета та актуальність роботи



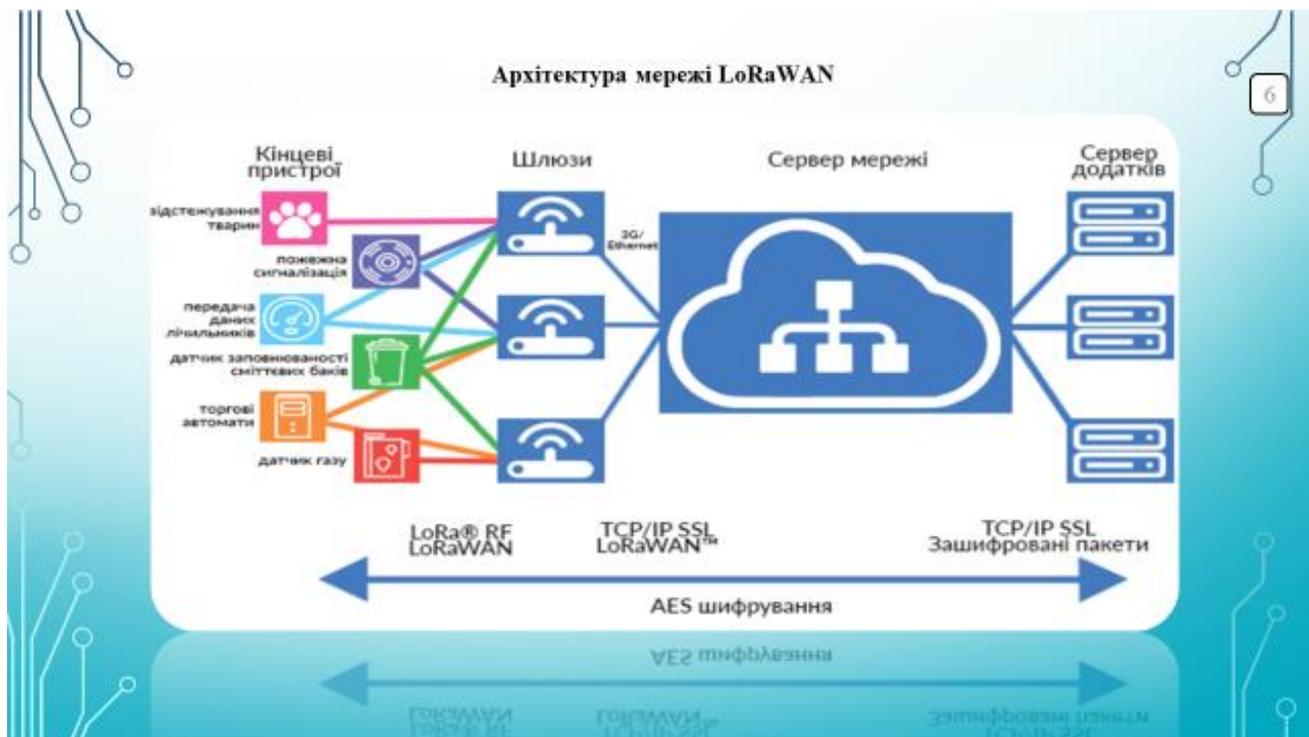
Слайд 3 – Поняття та історія «Інтернету речей»



Слайд4 – Системи передачі даних Інтернету речей



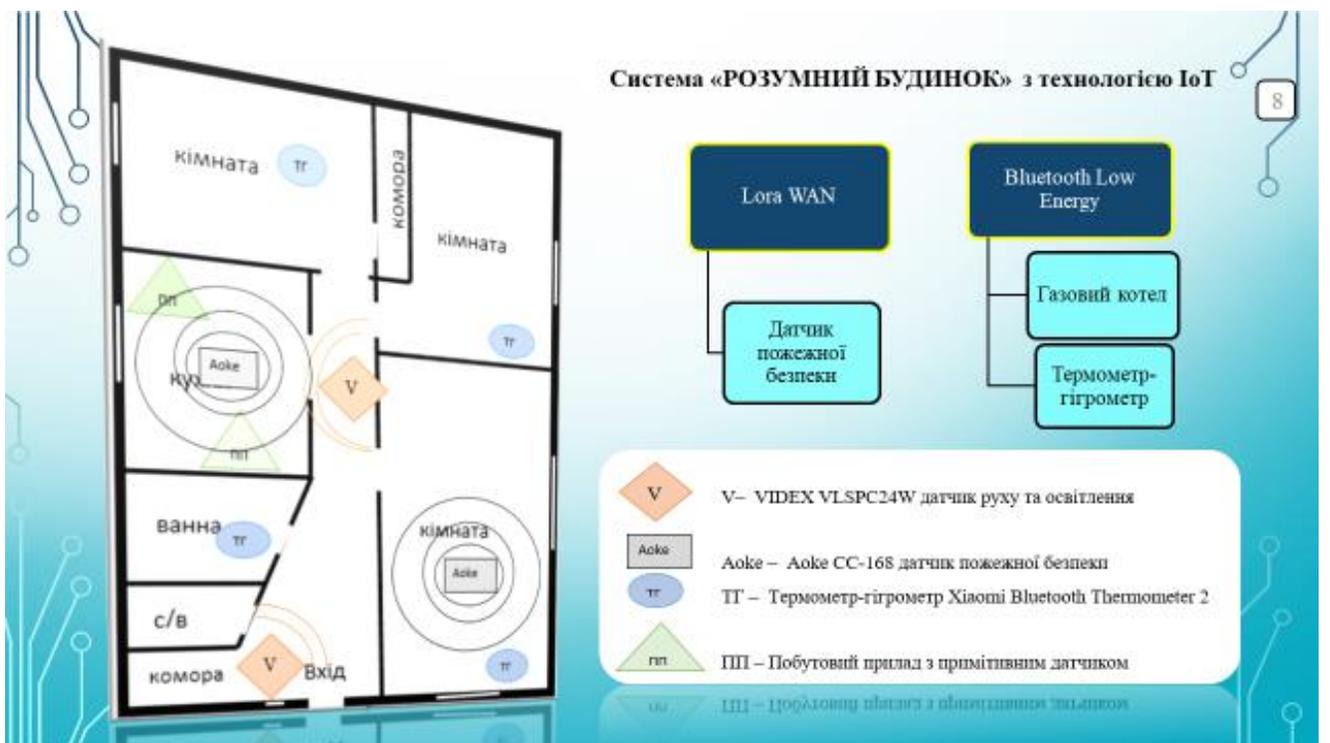
Слайд 5 – Протоколи передачі даних в IoT мережах



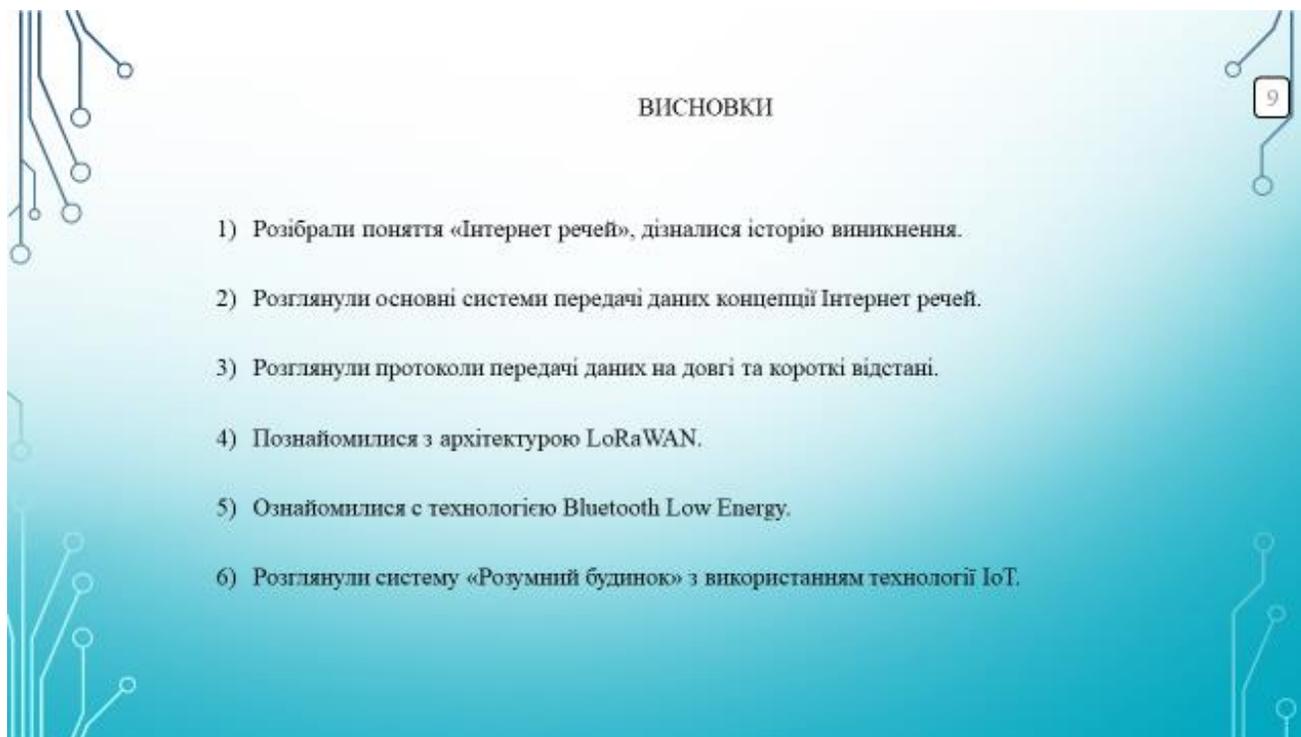
Слайд 6 – Архітектура LoRaWAN



Слайд 7 - Bluetooth Low Energy



Слайд 8 – Система «Розумний будинок» з використання технології IoT



9

ВИСНОВКИ

- 1) Розібрали поняття «Інтернет речей», дізналися історію виникнення.
- 2) Розглянули основні системи передачі даних концепції Інтернет речей.
- 3) Розглянули протоколи передачі даних на довгі та короткі відстані.
- 4) Познайомилися з архітектурою LoRaWAN.
- 5) Ознайомилися с технологією Bluetooth Low Energy.
- 6) Розглянули систему «Розумний будинок» з використанням технології IoT.

Слайд 9 – Висновки



10

**Дякую за Вашу увагу!**

Слайд 10 – Дякую за увагу!