

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ
ДЕРЖАВНОГО НЕКОМЕРЦІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА
«ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»
Циклова комісія комп'ютерних систем та мереж
(повна назва циклової комісії)

Допустити до захисту

Голова випускової циклової комісії
комп'ютерних систем та мереж

(повна назва циклової комісії)


(підпис)

Ірина КРАВЧУК

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

« 10 » 06 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОГО СТУПЕНЯ
ФАХОВИЙ МОЛОДШИЙ БАКАЛАВР

Тема: «Застосування технології PON в системах «розумний будинок»

Група: 3-011 Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

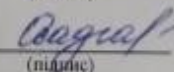
Здобувач освіти


(підпис)

Максим ЯЦЕНКО

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

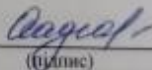
Керівник роботи


(підпис)

Оксана ОСАДЧА

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Консультант з оформлення
пояснювальної записки


(підпис)

Оксана ОСАДЧА

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

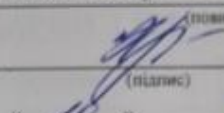
Кривий Ріг 2025 р.

КРИВОРІЗЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ
ДЕРЖАВНОГО НЕКОМЕРЦІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА
«ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»

Відділення комп'ютерної та програмної інженерії
Циклова комісія комп'ютерних систем та мереж
Освітньо-професійний ступінь фаховий молодший бакалавр
Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова випускової циклової комісії
комп'ютерних систем та мереж


(повна назва циклової комісії)
Ірина КРАВЧУК
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)
« 10 » 05 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ОСВІТИ

Яценко Максиму Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Застосування технології PON в системах «розумний будинок»

Керівник роботи Осадча Оксана Георгіївна, викладач вищої категорії

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по коледжу від « 04 » 04 2025 року № 50-ст

2. Строк подання здобувачем освіти роботи з _____ по _____

3. Вихідні дані до роботи функціональна схема архітектури інтеграції системи «розумний будинок» з інфраструктурою PON

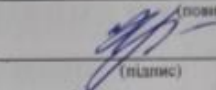
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
аналіз концепції «розумного будинку», його ключових характеристик, основних переваг та існуючих викликів; аналіз технологій пасивних оптичних мереж (PON) та їх потенціалу для інтеграції з системами «розумний будинок»; практичне проектування системи «розумний будинок», інтегрованої з PON.

КРИВОРІЗЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ
ДЕРЖАВНОГО НЕКОМЕРЦІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА
«ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»

Відділення комп'ютерної та програмної інженерії
Циклова комісія комп'ютерних систем та мереж
Освітньо-професійний ступінь фаховий молодший бакалавр
Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова випускової циклової комісії
комп'ютерних систем та мереж


(підпис)
« 10 » « 05 » 2025 р.

Ірина КРАВЧУК
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ОСВІТИ

Яценко Максиму Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Застосування технології PON в системах «розумний будинок»

Керівник роботи Осадча Оксана Георгіївна, викладач вищої категорії

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по коледжу від « 04 » 04 2025 року № 50-ст

2. Строк подання здобувачем освіти роботи з _____ по _____

3. Вихідні дані до роботи функціональна схема архітектури інтеграції системи «розумний будинок» з інфраструктурою PON

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз концепції «розумного будинку», його ключових характеристик, основних переваг та існуючих викликів; аналіз технологій пасивних оптичних мереж (PON) та їх потенціалу для інтеграції з системами «розумний будинок»; практичне проектування системи «розумний будинок», інтегрованої з PON.



Звіт подібності

Метадані

Назва організації
Ukrainian national aviation university
Заголовок
Яценко кваліфікаційна робота
Автор Науковий керівник / Експерт
ЯценкоОсадча О.
Назва документа
Криворізький Фаховий коледж

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначено, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в рамках джерел. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



КП 1

25

Діагональ форми для коефіцієнта подібності 2



КЦ

9356

Кількість слів

72968

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відлюдально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		0
Інтервали		0
Мікропробіли		10
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		16

Подібності за списком джерел

Нижче наведено список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз		Колір тексту
ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	http://ks.nau.edu.ua/article/4143	79 0.84 %
2	Сагайдак Іван Олександрович_3013_2025_123 Дата публікації: 6/9/2025 Ukrainian national aviation university (Криворізький Фаховий коледж)	35 0.37 %
3	Сагайдак Іван Олександрович_3013_2025_123 Дата публікації: 6/9/2025 Ukrainian national aviation university (Криворізький Фаховий коледж)	29 0.31 %

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Застосування технології *PON* в системах «розумний будинок» містить: 53 сторінки, 20 рисунків, 17 таблиць, 19 літературних джерел.

РОЗУМНИЙ БУДИНОК, *PON*, ГІБРИДНА АРХІТЕКТУРА, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, *SMART HUB*, ОПТОВОЛОКОННІ МЕРЕЖІ, АВТОМАТИЗАЦІЯ Мета кваліфікаційної роботи – проектування та обґрунтування архітектури системи «розумний будинок» з інтеграцією в інфраструктуру пасивних оптичних мереж (*PON*) та розрахунок орієнтовної вартості її реалізації.

У роботі детально проаналізовано концепцію «розумного будинку», висвітлено його ключові характеристики та переваги. Обґрунтовано вибір гібридної архітектури як найбільш ефективного рішення, що поєднує централізоване управління зі *Smart Hub* та децентралізовані елементи для забезпечення високої надійності та функціональності. Досліджено технології *PON* (*GPON*, *XGS-PON*), підтверджено їхню актуальність та оптимальність для використання як магістральної мережі в системах «розумний будинок» завдяки високій пропускній здатності та надійності. Розроблено функціональну схему архітектури інтеграції, яка наочно демонструє взаємодію між компонентами. Здійснено вибір конкретного обладнання для кожної підсистеми «розумного будинку» (безпека, клімат-контроль, освітлення тощо) з урахуванням критерію «ціна-якість». Виконано розрахунок орієнтовної вартості реалізації системи, що надає практичний інструмент для оцінки фінансових витрат.

5

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 КОНЦЕПЦІЯ ТА АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК».....	9
1.1 Визначення та ключові характеристики «розумного будинку»	9 1.2
Основні функціональні підсистеми «розумного будинку»	11 1.3

Типові архітектурні рішення системи «розумний будинок»	13	1.3.1
Централізована архітектура	13	1.3.2
Децентралізована архітектура.....	14	1.3.3
Гібридна архітектура	16	1.3.4
Порівняльний аналіз типових архітектур «розумного будинку».....	17	
РОЗДІЛ 2 КОМУНІКАЦІЙНІ АСПЕКТИ ІНТЕГРАЦІЇ <i>PON</i> У «РОЗУМНИЙ БУДИНОК».....	19	
2.1 Мережеві вимоги та задачі передачі даних у системах «розумний будинок».....	19	
2.2 Аналіз існуючих технологій зв'язку для систем «розумний будинок»	22	
2.2.1 Дротові технології.....	23	2.2.2
Бездротові технології.....	24	
2.2.3 Порівняльний аналіз технологій бездротового зв'язку для систем «розумний будинок»	27	
2.3 Технологія <i>PON</i> та її переваги в інфраструктурі «розумного будинку».....	30	
2.3.1 Загальні принципи технології <i>PON</i>	30	
2.3.2 Оптимальність технології <i>PON</i> для мережевої інфраструктури «розумного будинку».....	32	
		6
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ <i>PON</i> В СИСТЕМІ «РОЗУМНОГО БУДИНКУ».....	35	
3.1 Гібридна архітектура інтеграції <i>PON</i> та взаємодія підсистем «розумного будинку».....	35	
3.2 Вибір обладнання для реалізації системи «розумний будинок» на базі <i>PON</i>	38	

3.2.1 Компоненти <i>PON</i> -інфраструктури			
39	3.2.2	Мережеве обладнання домашньої мережі.....	40
	3.2.3	Центральний контролер (<i>Smart Hub</i>)	41
	3.2.4	Пристрої підсистем «розумного будинку».....	42
3.3	Орієнтовна вартість реалізації системи «розумний будинок»		
47			
ВИСНОВКИ.....			
50	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ		
ДЖЕРЕЛ.....			52

ВСТУП

В епоху стрімкого розвитку цифрових технологій та Інтернету речей (*IoT*), концепція «розумного будинку» перестає бути футуристичною ідеєю, перетворюючись на невід'ємну складову сучасного комфортного та безпечного життєвого простору. Сучасні тенденції до автоматизації побутових процесів, підвищення енергоефективності, забезпечення високого рівня безпеки та створення адаптивного середовища для користувача висувують нові вимоги до домашньої інфраструктури. Паралельно з цим, розвиток телекомунікаційних технологій, зокрема пасивних оптичних мереж (*PON*), відкриває безпрецедентні можливості для забезпечення високошвидкісного та надійного широкосмугового доступу, що є критично важливим для функціонування комплексних систем «розумного будинку». Завдяки *PON*, стає можливим не лише забезпечення стабільного інтернет-з'єднання для традиційних пристроїв, а й безперебійна робота численних датчиків, виконавчих механізмів, систем відеоспостереження та мультимедійних комплексів, які генерують значні обсяги даних. Таким чином, інтеграція технологій «розумного будинку» та інфраструктури *PON* набуває особливої актуальності, оскільки дозволяє створити вискоелективні, масштабовані та перспективні рішення для житлових приміщень, які відповідають

вимогам інформаційного суспільства та підвищують якість життя.

Мета кваліфікаційної роботи – це проектування та обґрунтування архітектури системи «розумний будинок» з інтеграцією в інфраструктуру пасивних оптичних мереж (*PON*) та розрахунок орієнтовної вартості її реалізації.

Для досягнення поставленої мети було визначено наступні завдання: 1) Проаналізувати сучасну концепцію «розумного будинку», визначити його ключові характеристики, переваги та виклики.

2) Дослідити існуючі архітектурні підходи до побудови систем «розумний будинок» та обґрунтувати вибір оптимальної архітектури.

8

3) Розглянути технології пасивних оптичних мереж (*PON*), їхні стандарти, архітектуру та ключові переваги для забезпечення високошвидкісного доступу до Інтернету в умовах «розумного будинку».

4) Розробити функціональну схему інтеграції системи «розумний будинок» з інфраструктурою *PON*, відобразивши взаємодію основних підсистем. 5) Здійснити вибір типового обладнання для кожної підсистеми «розумного будинку» та мережевої інфраструктури, враховуючи критерії «ціна-якість» та технічні вимоги.

6) Виконати розрахунок орієнтовної вартості реалізації запропонованої системи "розумний будинок" на базі обраного обладнання.

Об'єкт дослідження – система «розумний будинок» як комплексна інтелектуальна екосистема житлового простору.

Предметом дослідження виступає архітектура інтеграції системи «розумний будинок» з пасивними оптичними мережами (*PON*) та оптимізація вибору обладнання для її реалізації.

9

РОЗДІЛ 1

КОНЦЕПЦІЯ ТА АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»

Концепція «розумного будинку» (*Smart Home*) є одним із ключових напрямків розвитку технологій Інтернету речей (*IoT*) та кіберфізичних систем, спрямованих на підвищення комфорту, безпеки, енергоефективності та якості

життя мешканців за допомогою автоматизації та інтелектуального управління різноманітними домашніми пристроями та системами. В основі цієї концепції лежить ідея створення адаптивного середовища, яке здатне реагувати на потреби користувачів, зовнішні умови та внутрішні події, мінімізуючи при цьому втручання людини у повсякденні операції.

1.1 Визначення та ключові характеристики «розумного будинку»

«Розумний будинок» – це житловий простір, в якому інтегровані та взаємопов'язані технології та пристрої, що дозволяють автоматизувати та дистанційно керувати функціями будинку з метою підвищення його функціональності, безпеки, комфорту та енергоефективності. Сучасне розуміння «розумного будинку» виходить за рамки простого дистанційного керування окремими приладами, фокусуючись на взаємодії, інтелектуальній обробці даних та автономності.



Рисунок 1.1 – Ключові характеристики системи «Розумний будинок»

10

Ключові характеристики системи «розумний будинок» представлені на рисунку 1.1. та включають [1]:

- Автоматизація (*Automation*): здатність системи виконувати певні дії без прямого втручання користувача на основі заздалегідь визначених правил, сценаріїв, розкладів або подій (наприклад, автоматичне вимкнення світла при виявленні відсутності руху, регулювання температури за розкладом).

- Дистанційне керування (*Remote Control*): можливість керувати пристроями та системами будинку з будь-якої точки світу за допомогою мобільних пристроїв (смартфонів, планшетів), веб-інтерфейсів або голосових помічників.

- Енергоефективність (*Energy Efficiency*): оптимізація споживання енергії шляхом автоматичного керування освітленням, опаленням, кондиціонуванням, вентиляцією та електроприладами на основі аналізу зовнішніх умов, присутності людей та їхніх уподобань. Це не тільки знижує витрати, а й сприяє зменшенню негативного впливу на довкілля.

- Безпека (*Security*): забезпечення захисту мешканців та майна за допомогою систем відеоспостереження, датчиків руху, датчиків відкриття дверей/вікон, датчиків диму та газу, а також систем контролю доступу. Інтеграція цих елементів дозволяє оперативно реагувати на нештатні ситуації та сповіщати власників.

- Комфорт та зручність (*Comfort and Convenience*): створення оптимальних умов для проживання шляхом автоматичного налаштування параметрів освітлення, температури, вологості, звукового супроводу, а також спрощення рутинних операцій.

- Адаптивність та інтелект (*Adaptability and Intelligence*): здатність системи навчатися з часом, адаптуватися до звичок мешканців та зовнішніх умов, надавати персоналізовані послуги, а також інтегруватися з іншими інформаційними системами та сервісами (наприклад, прогнозами погоди, календарями).

- Взаємодія (*Interoperability*): можливість сумісної роботи пристроїв різних виробників та використання різних протоколів зв'язку завдяки стандартизації або через центральні контролери, що підтримують множинні протоколи.

1.2 Основні функціональні підсистеми «розумного будинку»

Система «розумний будинок» зазвичай складається з декількох

взаємопов'язаних функціональних підсистем, кожна з яких відповідає за певну сферу автоматизації та контролю. Ці підсистеми працюють інтегровано, забезпечуючи комплексне управління житловим простором. Загальну структуру та різноманіття пристроїв, що входять до типового «розумного будинку», візуалізовано на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Основні функціональні підсистеми типового «розумного будинку»

До основних функціональних підсистем «розумного будинку» належать [13]: -

Підсистема освітлення відповідає за автоматичне керування світлом, що включає вмикання/вимикання за рухом, рівнем освітленості або заданим розкладом, а також регулювання яскравості (димірування) та зміну кольору освітлення. Вона дозволяє створювати індивідуальні світлові сценарії, як-от

12

«кіновечір» чи «ранкове пробудження». До складу цієї підсистеми входять розумні лампи, диммери, вимикачі, світлодіодні стрічки, а також датчики руху та освітленості.

- Підсистема клімат-контролю забезпечує підтримання оптимальних параметрів температури та вологості в приміщеннях. Її функціонал охоплює автоматичне керування системами опалення (котлами, радіаторами), кондиціонування та вентиляції, а також реалізацію зонального контролю клімату для окремих приміщень з метою підвищення енергоефективності. Типовими компонентами є розумні термостати, термоголовки для радіаторів, а також відповідні датчики температури та вологості.

- Підсистема безпеки та відеоспостереження, яка гарантує захист мешканців та їхнього майна. Вона включає охоронну сигналізацію з датчиками відкриття, руху та розбиття скла, а також сповіщення про надзвичайні події, такі як пожежа (через датчики диму), витік газу чи протікання води. Відеоспостереження здійснюється за допомогою *IP*-камер з можливістю віддаленого доступу та запису. Крім того, система може реалізовувати імітацію присутності та контроль доступу через розумні замки та домофони.

- Підсистема мультимедіа та розваг централізує керування аудіо- та відеосистемами, дозволяючи відтворювати різний контент у різних зонах будинку (мультирум). Вона забезпечує інтеграцію з домашніми кінотеатрами, керування телевізорами, проєкторами та звуковими системами, а також доступ до потокових сервісів. Її елементами є розумні телевізори, медіаплеєри, аудіосистеми, *AV*-ресивери та системи *HDMI-over-IP*.

- Підсистема контролю електроживлення та побутової техніки дозволяє керувати розумними розетками та вимикачами, моніторити енергоспоживання, автоматично відключати невикористовувані прилади та здійснювати керування розумною побутовою технікою, такою як пральні машини, холодильники та кавоварки.

- Підсистема керування шторами та жалюзі забезпечує автоматичне відкриття/закриття віконних покриттів за розкладом, рівнем освітленості,

температурою або в залежності від присутності мешканців. До її складу входять моторизовані карнизи, жалюзі та ролети з вбудованими контролерами.

Всі перелічені підсистеми взаємодіють між собою під управлінням центрального контролера або мобільного додатку. Це забезпечує синергічний ефект, підвищуючи загальну функціональність, комфорт та безпеку житлового простору.

1.3 Типові архітектурні рішення системи «розумний будинок»

Архітектура системи «розумний будинок» визначає спосіб взаємодії між її компонентами, розподіл функціональності та управління. Вона є ключовим фактором, що впливає на надійність, масштабованість, швидкість реакції та складність впровадження системи. Залежно від принципу організації управління та взаємодії пристроїв, розрізняють три основні типові архітектури: централізовану, децентралізовану та гібридну. Розглянемо кожен з них більш детально.

1.3.1 Централізована архітектура

В основі централізованої архітектури лежить принцип підпорядкування всіх інтелектуальних пристроїв та підсистем «розумного будинку» єдиному центральному контролеру, який часто називають хабом або сервером (рисунок 1.3). Цей контролер є «мозком» системи, що збирає дані від усіх підключених датчиків, обробляє їх, приймає рішення на основі заздалегідь запрограмованих сценаріїв та алгоритмів, і віддає команди виконавчим пристроям. Всі логічні операції, обробка даних та керування зосереджені в одному вузлі [4].



Рисунок 1.3 – Централізована архітектура системи «розумний будинок»

Переваги такої архітектури включають високу ступінь координації та інтеграції підсистем, що дозволяє реалізовувати складні комплексні сценарії автоматизації. Централізований підхід також забезпечує єдину точку управління для всієї системи, спрощуючи її налаштування та моніторинг через єдиний інтерфейс. Центральний сервер може володіти значними обчислювальними потужностями для аналізу великих обсягів даних.

Однак, недоліком є наявність єдиної точки відмови: вихід з ладу центрального контролера призводить до повної непрацездатності всієї системи «розумний будинок». Крім того, існує залежність від сумісності всіх нових пристроїв з обраним центральним контролером, а велика кількість запитів до центрального елемента може потенційно вносити затримки у реакцію системи.

1.3.2 Децентралізована архітектура

Децентралізована архітектура базується на принципі автономності окремих розумних пристроїв або груп пристроїв (рисунок 1.4): кожен компонент системи має власний інтелект та здатність до безпосереднього обміну даними з іншими

пристроями без обов'язкової участі центрального посередника. Комунікація між пристроями здійснюється за допомогою стандартизованих протоколів, таких як

Zigbee, Z-Wave або *Wi-Fi Direct*, що дозволяє їм приймати локальні рішення та виконувати функції автономно. Центральний контролер у цій моделі може бути присутнім для забезпечення мосту до зовнішніх мереж, надання користувацького інтерфейсу або для виконання складніших, некритичних сценаріїв, але його відмова не зупинить базову взаємодію між пристроями [4].



Рисунок 1.4 – Децентралізована архітектура системи «розумний будинок»

Перевагами децентралізованої архітектури є висока надійність та відмовостійкість, оскільки вихід з ладу одного пристрою не впливає на роботу інших підсистем. Вона також відзначається гнучкістю та масштабованістю, оскільки дозволяє легко додавати нові пристрої різних виробників, що підтримують спільні протоколи. Локальна обробка даних забезпечує швидку реакцію системи на зміни.

Серед недоліків можна виділити потенційно вищу складність налаштування та інтеграції взаємодії між різними пристроями, а також обмежені можливості для реалізації дуже складних, комплексних сценаріїв, що вимагають глибокої координації багатьох підсистем без центрального «диригента».

1.3.3 Гібридна архітектура

Гібридна архітектура «розумного будинку» є компромісним рішенням, що прагне поєднати переваги централізованого та децентралізованого підходів,

мінімізуючи їхні недоліки. Вона передбачає наявність центрального контролера (*Smart Hub*), який виконує координуючу роль для основних підсистем, реалізації складних сценаріїв та забезпечення доступу до хмарних сервісів. Водночас, як показано на рисунку 1.5, окремі підсистеми або групи пристроїв (наприклад, освітлення на *Zigbee*) мають певну автономність та здатність до локального функціонування, спілкуючись між собою безпосередньо. Це дозволяє базовим та критично важливим функціям продовжувати працювати навіть у разі відмови центрального контролера або втрати зовнішнього інтернет-з'єднання.



Рисунок 1.5 – Гібридна архітектура системи «розумний будинок»

На рисунку 1.5 представлена комплексна схема гібридної архітектури «розумного будинку», що ілюструє поєднання централізованих та децентралізованих елементів. У центрі схеми розташовано «*Smart Hub*», який виступає як центральний контролер. До нього підключаються пристрої та підсистеми через різні локальні бездротові протоколи, такі як *Wi-Fi* (зліва) та *Zigbee*

17

(у верхній частині). Ці протоколи дозволяють інтегрувати різноманітні «розумні» пристрої, які можуть мати як прямий зв'язок зі *Smart Hub*, так і взаємодіяти між собою в рамках локальних мереж (наприклад, «*Sigbi Pub*» та «*Zluti.oboth*» у *Zigbee*

мережі).

Схема також показує зв'язок *Smart Hub* з хмарними сервісами («*Conereal Biluteeted*», «*Acturol Services*»), що забезпечує віддалене керування та доступ до розширених функцій. Окремі блоки та стрілки вказують на функціональні групи пристроїв, такі як «*Peripatepim pevices*» (периферійні пристрої) з «*Focal Gatewning*» (можливий локальний шлюз), «*Srvice*» та «*Sembont*» (сервіси та компоненти), а також «*Sronne Poinpties*» (точки контролю). Загалом, рисунок підкреслює гнучкість гібридного підходу, де централізований контроль поєднується з локальною автономністю для оптимізації продуктивності та надійності системи.

Перевагами гібридної архітектури є поєднання гнучкості та ефективної координації, що забезпечується центральним контролером, та підвищена надійність, яка досягається за рахунок здатності критичних функцій працювати локально та автономно. Такий підхід дозволяє оптимізувати навантаження на центральний контролер, розподіляючи обробку простих завдань на периферійні пристрої, що зменшує затримки.

Основним недоліком є вища складність проектування та налаштування порівняно з чисто централізованими або децентралізованими системами. Необхідне ретельне планування механізмів взаємодії між центральним контролером та локальними підсистемами для уникнення конфліктів у керуванні.

1.3.4 Порівняльний аналіз типових архітектур «розумного будинку»

Ефективність та функціональність системи «розумний будинок» значною мірою залежать від обраної архітектури її побудови. Порівняльний аналіз розглянутих типових архітектур «розумного будинку» представлено у таблиці 1.1.

18

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика типових архітектур «розумного будинку»

Характеристика	Централізована архітектура	Децентралізована архітектура	Гібридна архітектура
----------------	----------------------------	------------------------------	----------------------

Керуючий елемент	Єдиний центральний контролер/сервер	Кожен пристрій/локальна група	Центральний контролер + локальні пристрої/групи
Взаємодія пристроїв	Всі пристрої взаємодіють через центральний контролер	Пристрої взаємодіють безпосередньо між собою (P2P)	Пристрої можуть взаємодіяти P2P, але координуються контролером
Точка відмови	Єдина (центральний контролер)	Відсутня (висока відмовостійкість)	Знижена (критичні функції працюють локально)
Надійність	Низька (при відмові контролера)	Висока	Висока (особливо для базових функцій)
Складність налаштувань	Проста (через єдиний інтерфейс)	Вища (потрібне налаштування кожного пристрою)	Вища (комбінація двох підходів)
Масштабованість	Залежить від потужності контролера та підтримки протоколів	Висока	Висока
Швидкість реакції	Можливі затримки (через центральну обробку)	Висока (локальна обробка)	Висока (для локальних сценаріїв)
Вартість	Залежить від типу контролера, може бути високою	Часто нижча на початковому етапі (менше інфраструктури)	Може бути вищою через складність та різноманіття

Вибір архітектури «розумного будинку» залежить від конкретних потреб, бюджету, бажаного рівня надійності та функціональності. Централізовані системи прості у впровадженні для базових потреб, децентралізовані пропонують високу надійність, а гібридні архітектури, як правило, забезпечують оптимальний баланс між гнучкістю, надійністю та централізованим контролем, що робить їх все більш популярним вибором для сучасних комплексних рішень «розумного будинку».

КОМУНІКАЦІЙНІ АСПЕКТИ ІНТЕГРАЦІЇ PON У «РОЗУМНИЙ БУДИНОК»

2.1 Мережеві вимоги та задачі передачі даних у системах «розумний будинок»

Ефективне функціонування системи «розумний будинок» нерозривно пов'язане з належним виконанням задач передачі даних, які визначають особливості мережевих вимог. Зростаюча кількість взаємопов'язаних пристроїв та різноманітність їхніх функцій створюють унікальні виклики для комунікаційної інфраструктури, висуваючи на перший план такі критерії, як надійність, швидкість, безпека та можливість пріоритизації трафіку. Ключові вимоги до мережевої інфраструктури для ефективного функціонування "розумного будинку" візуалізовані на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Ключові мережеві вимоги для ефективного функціонування «розумного будинку»

Для забезпечення безперебійної та ефективної роботи системи «розумний будинок» до комунікаційної мережі висуваються специфічні вимоги, що

стосуються таких ключових аспектів як надійність, швидкість, безпека та пріоритизація трафіку [2].

1) **Надійність (Reliability)** – ця вимога є фундаментальною для всіх підсистем, але особливо критичною для систем безпеки та охорони (пожежна сигналізація, датчики витоку газу/води, охоронні датчики). Будь-яка втрата даних або збій у зв'язку може мати серйозні наслідки – від втрати комфорту до загрози життю та майну.

Надійність передачі даних у «розумному будинку» забезпечується такими механізмами, як:

- наявність надлишкових шляхів передачі (*Mesh*-топологія): у разі відмови одного вузла або затухання сигналу, дані можуть бути перенаправлені через інші пристрої в мережі (характерно для *Zigbee*, *Z-Wave*, *Thread*);

- механізми підтвердження доставки (*acknowledgement*): протоколи мають вбудовані функції, що підтверджують отримання пакету даних, а у випадку його втрати – ініціюють повторну передачу;

- стійкість до перешкод: використання частотних діапазонів, менш схильних до інтерференції (наприклад, суб-гігагерцові частоти для *Z-Wave*), або технологій, що адаптуються до змін у радіоефірі (наприклад, адаптивне переналаштування частоти в деяких протоколах);

- низький коефіцієнт помилок: забезпечення цілісності даних під час передачі.

2) **Швидкість (Speed) та затримка (Latency)**. Хоча більшість пристроїв «розумного будинку» (датчики температури, вологості, відкриття дверей/вікон) не потребують високої пропускну здатності, швидкість реакції на події є важливою для комфорту та безпеки.

Низька затримка (*low latency*) критично важлива для інтерактивних сценаріїв (наприклад, миттєве увімкнення світла при вході в кімнату, керування замком) або систем безпеки, що потребують миттєвого спрацювання та оповіщення. Затримки навіть у кількості мілісекунд можуть бути помітними для користувача або критичними у надзвичайній ситуації.

Висока пропускна здатність (*high bandwidth*) необхідна для передачі мультимедійного контенту (потокowe відео з *IP*-камер високої роздільної здатності, музика) або для швидкого завантаження оновлень програмного забезпечення для пристроїв. Для таких задач *Wi-Fi* та *Ethernet* є оптимальним вибором.

3) **Безпека (Security)**. Захист даних від несанкціонованого доступу, перехоплення або модифікації є абсолютною вимогою, враховуючи конфіденційність інформації та можливість керування фізичними об'єктами. Мережева безпека в системах «розумний будинок» охоплює:

- шифрування даних: застосування надійних алгоритмів шифрування (наприклад, *AES* 128-біт) для всіх переданих даних, що запобігає їх перехопленню та прочитанню злоумисниками;

- аутентифікація: механізми перевірки автентичності пристроїв та користувачів, що гарантує, що тільки авторизовані особи та пристрої можуть взаємодіяти з системою;

- цілісність даних: захист від модифікації даних під час передачі; - захист від *DoS*-атак: стійкість мережі до спроб перевантаження, що може заблокувати її функціонування;

- захист від несанкціонованого доступу: запобігання підключенню до мережі "розумного будинку" сторонніх пристроїв.

4) **Пріоритизація трафіку в умовах інтенсивного використання**. В умовах зростаючої кількості «розумних» пристроїв та різноманіття їхніх функцій, домашня мережа може зіткнутися з проблемою інтенсивного використання, що призводить до конкуренції за пропускну здатність. Це особливо актуально, коли одночасно передається відео з камер, потокова музика, оновлення програмного забезпечення та сигнали від датчиків безпеки.

Пріоритизація трафіку (*Quality of Service, QoS*) є механізмом, що дозволяє виділяти певним типам даних вищий пріоритет у передачі. Це означає, що критично важливі для безпеки або комфорту дані (наприклад, сигнал тривоги,

команда на вимкнення пристрою, відеопотік з камери безпеки) отримують перевагу

22

перед менш чутливим до затримок трафіком (наприклад, завантаженням великого файлу або оновленням прошивки розумної лампи).

Основні аспекти пріоритизації трафіку в системах «розумний будинок» включають:

- класифікація трафіку: розподіл даних на категорії за їхньою важливістю та чутливістю до затримок (наприклад, трафік безпеки – найвищий пріоритет, голосовий трафік – високий, відео – середній, звичайні дані – низький);

- механізми чергування та планування: маршрутизатори та контролери системи можуть використовувати різні алгоритми (наприклад, *Weighted Fair Queuing*, *Priority Queuing*), щоб забезпечити передачу трафіку з високим пріоритетом в першу чергу;

- обмеження пропускної здатності (*Bandwidth throttling*): для менш критичного трафіку може бути встановлено обмеження на використання смуги пропускання, щоб забезпечити вільні ресурси для пріоритетних завдань;

- використання різних протоколів: гібридна архітектура, що поєднує протоколи з різними характеристиками, є природним способом пріоритизації. Наприклад, критичні датчики можуть використовувати енергоефективні та надійні *Mesh*-протоколи (*Zigbee/Thread/Z-Wave*), тоді як відеопотоки передаються через *Wi-Fi* або *Ethernet*. Це дозволяє уникнути конкуренції за ресурси в рамках однієї мережі для різних типів трафіку.

Ефективна реалізація пріоритизації трафіку є запорукою стабільної роботи системи «розумний будинок» навіть в умовах високого навантаження, забезпечуючи своєчасну реакцію на події та безперебійне функціонування всіх підсистем.

2.2 Аналіз існуючих технологій зв'язку для систем «розумний будинок»

Ефективне функціонування системи «розумний будинок» значною мірою залежить від надійних та сумісних технологій зв'язку, які забезпечують взаємодію між численними пристроями та підсистемами. Вибір протоколу зв'язку є критично

23

важливим етапом проектування, оскільки він впливає на швидкість передачі даних, енергоспоживання пристроїв, радіус дії, безпеку та загальну масштабованість системи. Сучасний ринок пропонує широкий спектр протоколів, кожен з яких має свої особливості та оптимальні сфери застосування.

2.2.1 Дротові технології

Ethernet є однією з найбільш поширених та надійних дротових мережевих технологій, яка активно використовується в системах "розумний будинок" для забезпечення високошвидкісного та стабільного зв'язку між ключовими компонентами.

Принцип роботи: *Ethernet* використовує виділені мідні кабелі (найчастіше виту пару, наприклад, *Cat5e*, *Cat6*) або оптичне волокно для передачі даних. З'єднання відбувається за принципом «точка-точка» або через комутатори, що дозволяє створювати складні мережеві топології.

Переваги:

- висока швидкість та пропускна здатність: сучасні стандарти *Ethernet* (*Fast Ethernet*, *Gigabit Ethernet*, *10 Gigabit Ethernet*) забезпечують швидкості від 100 Мбіт/с до 10 Гбіт/с і вище, що ідеально підходить для передачі великих обсягів даних, таких як потокове відео високої роздільної здатності з *IP*-камер або швидкого завантаження оновлень;

- низька затримка (*Latency*): дротове з'єднання мінімізує затримки, що критично важливо для додатків, які потребують миттєвої реакції, наприклад, для систем безпеки або керування освітленням;

- висока надійність та стабільність: на відміну від бездротових технологій, *Ethernet* не схильний до радіоперешкод, забезпечуючи стабільне та безперебійне

з'єднання. Це особливо важливо для центрального контролера «розумного будинку» (*Smart Hub*), який часто підключається до маршрутизатора через *Ethernet*;

- високий рівень безпеки: фізичний доступ до кабелю є необхідним для перехоплення даних, що робить *Ethernet* більш захищеним від зовнішніх кібератак порівняно з бездротовими мережами. Додаткові протоколи безпеки можуть бути легко інтегровані;

24

- Живлення через *Ethernet (PoE)*: деякі пристрої (наприклад, *IP*-камери, точки доступу *Wi-Fi*) можуть отримувати живлення безпосередньо по *Ethernet* кабелю, що спрощує їх встановлення та зменшує кількість необхідних проводів. Недоліки:

- складність монтажу: прокладання кабелів вимагає планування та виконання монтажних робіт, що може бути проблематично в уже збудованих будинках;

- відсутність мобільності: пристрої жорстко прив'язані до місця підключення кабелю;

- вартість: може бути вищою порівняно з бездротовими рішеннями, особливо для великих об'єктів.

2.2.2 Бездротові технології

До найбільш популярних та широко використовуваних технологій бездротового зв'язку для систем «розумний будинок» належать *Wi-Fi*, *Bluetooth*, *Zigbee*, *Z-Wave*, а також новіші протоколи *Thread* та *Matter* (рисунок 2.2) [3].



Рисунок 2.2 – Популярні технології бездротового зв'язку для систем «розумний будинок»

25

Детальний аналіз цих технологій представлений нижче.

Wi-Fi є широко поширеним бездротовим протоколом, який використовується для створення локальних комп'ютерних мереж та забезпечення доступу до Інтернету. Його переваги включають високу пропускну здатність та швидкість передачі даних, а також широкий діапазон підключення, що дозволяє покривати значні площі. Завдяки цим характеристикам, *Wi-Fi* часто застосовується в системах «розумного будинку» для пристроїв, що потребують значної пропускну здатності, таких як камери відеоспостереження високої роздільної здатності, а також для деяких розумних термостатів та мультимедійних пристроїв (рисунок 2.3). Однак, відносно високе енергоспоживання робить його менш придатним для пристроїв з батарейним живленням [3].



Рисунок 2.3 – Застосування *Wi-Fi* в системах «розумного будинку»

Bluetooth — це технологія бездротового зв'язку малого радіусу дії, призначена для прямого з'єднання двох або більше пристроїв. Цей протокол є чудовим рішенням для початкових етапів автоматизації або для керування окремими пристроями, оскільки кожен сучасний смартфон має вбудований модуль *Bluetooth*. Він ідеально підходить для підключення таких пристроїв, як бездротові колонки, навушники, а також периферійні пристрої комп'ютера. У контексті

26

"розумного будинку", *Bluetooth* часто використовується для безпосереднього керування окремими розумними лампочками або замками, а також для тимчасового з'єднання з датчиками. Незважаючи на низьке енергоспоживання у версії *Bluetooth Low Energy (BLE)*, його обмежена дальність дії та топологія "точка-точка" можуть обмежувати масштабованість для великих інсталяцій [3].

Z-Wave є бездротовим протоколом, спеціально розробленим для домашньої автоматизації та управління. Цей протокол працює на нижчих радіочастотах порівняно з *Wi-Fi*, що дозволяє уникнути перешкод від інших бездротових мереж. *Z-Wave* вирізняється високою захищеністю мережевого протоколу, низьким енергоспоживанням та стабільністю зв'язку. Він також підтримує можливість керування пристроями на відстані до 100 метрів у прямої видимості. Ключовою особливістю *Z-Wave* є створення *Mesh*-мережі, де кожен пристрій з постійним

живленням може виступати ретранслятором сигналу, розширюючи зону покриття та підвищуючи надійність комунікації. *Z-Wave* ефективно використовується для керування освітленням, розумними розетками, системами безпеки та контролю доступу [19].

Zigbee – це ще один енергоефективний бездротовий протокол, призначений для побудови бездротових сенсорних мереж з низьким енергоспоживанням та низькою швидкістю передачі даних. Однією з головних переваг *Zigbee* є його здатність створювати пористу (*Mesh*) мережу, де кожен дротовий пристрій може виступати в ролі хаба або ретранслятора, передаючи дані між віддаленими пристроями та центральним контролером. Це значно збільшує радіус дії та надійність мережі. Дані, що передаються між пристроями *Zigbee*, зашифровані, що забезпечує підвищений рівень безпеки. Завдяки низькому енергоспоживанню, *Zigbee* ідеально підходить для датчиків (руху, температури, відкриття) та невеликих виконавчих пристроїв, що працюють від батарейок, таких як реле освітлення або термоголовки [18].

Thread є відносно новим протоколом бездротового зв'язку, який, за своєю суттю, схожий на *Zigbee*, але має важливі зміни та вдосконалення. Він базується на інтернет-протоколі *IPv6*, що дозволяє кожному пристрою в мережі мати унікальну

27

IP-адресу, спрощуючи інтеграцію з Інтернетом та хмарними сервісами. *Thread* підтримує роботу кількох хабів в одній екосистемі та є більш енергоефективним порівняно з попередніми протоколами, а також відзначається високою надійністю та безпекою. Подібно до *Zigbee*, *Thread* також формує *Mesh*-мережу, забезпечуючи розширене покриття та відмовостійкість [3].

Matter є глобальним протоколом, розробленим для уніфікації взаємодії між різними пристроями «розумного будинку» від різних виробників та платформ. Його основна мета полягає в тому, щоб пристрої «розумного будинку» «спілкувалися однією зрозумілою мовою радіозв'язку». *Matter* використовує існуючі *IP*-технології (як правило, *Wi-Fi* та *Thread*) як базовий транспортний рівень, що дозволяє спростити процес налаштування та експлуатації *smart* продуктів. Він забезпечує безпечний обмін даними між додатками *IoT* та суттєво

спрошує інтеграцію пристроїв у єдину екосистему, вирішуючи проблему фрагментації ринку «розумних будинків».

2.2.3 Порівняльний аналіз технологій бездротового зв'язку для систем «розумний будинок»

Для кращого розуміння та порівняльного аналізу ключових характеристик розглянутих протоколів, наведемо їхні основні параметри у таблиці 2.1 та візуалізацію їх застосування у таблиці 2.2. систем «розумний будинок»

Характеристика	Технологія				
	Wi-Fi	Bluetooth	Z-Wave	Zigbee	
Призначення	Загальна мережа, інтернет-доступ	Короткодіючий зв'язок	Домашня автоматизація	Домашня автоматизація, <i>IoT</i>	<i>IoT</i> , авто
Частота	2.4 / 5 ГГц	2.4 ГГц	868 / 908 МГц (різні регіони)	2.4 ГГц	2.4 ГГц
Швидкість	Висока (до Гбіт/с)	Середня (до 2 Мбіт/с <i>BLE</i>)	Низька (до 100 Кбіт/с)	Низька (до 250 Кбіт/с)	Низька (до 100 Кбіт/с)
Дальність	Середня-Висока (10-100+ м)	Низька (до 10 м)	Середня (до 100 м, ретрансляція)	Середня (10-100 м, <i>Mesh</i> -мережа)	Середня (до 100 м, <i>Mesh</i> -мережа)
Енергоспоживання	Високе	Низьке (<i>BLE</i>)	Дуже низьке	Дуже низьке	Дуже низьке
Топологія мережі	"Зірка"	"Точка-точка", "Зірка" (<i>Mesh</i> в <i>BLE</i> 5.0)	<i>Mesh</i> -мережа	<i>Mesh</i> -мережа	<i>Mesh</i> -мережа (<i>IPv6</i>)
Масштабованість	Велика (залежить від роутера)	Обмежена	До 232 пристроїв	Тисячі пристроїв	Тисячі пристроїв
Безпека	WPA2/WPA3	Шифрування	Висока захищеність	Зашифровані дані	Висока захищеність

Типові пристрої	Камери, термостати, медіа	Навушники, смарт-замки, фітнес-трекери	Реле, датчики, замки, розумні розетки	Датчики, освітлення, реле	Датч осві розу
Сумісність	Широка, залежить від платформи	Обмежена	Обмежена (виробник)	Обмежена (виробник)	Зро
IP-адресація	Так	Ні (тільки <i>Bluetooth PAN</i>)	Ні	Ні	Так

Таблиця

2.1 – Порівняльна характеристика протоколів зв'язку для

Таблиця 2.2 – Типові застосування протоколів зв'язку у «розумному будинку»

Протокол	Типові пристрої/ Підсистеми	Обґрунтування застосування
Wi-Fi	IP-камери, розумні телевізори, медіаплеєри, розумні термостати, побутова техніка з високим трафіком	Висока пропускну здатність дозволяє передавати відео високої роздільної здатності. Широка поширеність домашніх <i>Wi-Fi</i> мереж спрощує інтеграцію. Підходить для пристроїв з постійним живленням, що потребують швидкого доступу до Інтернету або обміну великими обсягами даних.
Bluetooth	Розумні замки, окремі лампи, фітнес-трекери, бездротові колонки, елементи безпеки з низьким споживанням	Ідеальний для прямого керування "точка-точка" з близької відстані (наприклад, розблокування замка зі смартфона). Висока енергоефективність (<i>BLE</i>) дозволяє використовувати його в пристроях з батарейним живленням. Поширеність <i>Bluetooth</i> у смартфонах робить його зручним для початкового налаштування або тимчасового підключення.
Z-Wave	Розумні розетки, реле освітлення, датчики відкриття/руху, розумні замки, контролери воріт, термостати	Оптимізований для домашньої автоматизації завдяки низькій частоті (менше перешкод), низькому енергоспоживанню та надійній <i>Mesh</i> мережі. Це дозволяє охоплювати весь будинок та забезпечувати стабільний зв'язок для пристроїв, що не потребують високої пропускну здатності, але критичні для функціонування системи (наприклад, безпека).

Zigbee	Датчики руху, температури, вологості, освітленості, розумні лампи, вимикачі, реле, термоголовки	Висока енергоефективність та <i>Mesh</i> -топологія роблять його ідеальним для великої кількості датчиків з батарейним живленням. Забезпечує надійне покриття великих площ. Добре підходить для систем освітлення та клімат-контролю, де потрібне швидке та надійне керування багатьма низькошвидкісними пристроями.
Thread	Датчики, розумні лампи, контролери <i>IoT</i> , розумна побутова техніка (потенційно)	Забезпечує <i>Mesh</i> -мережу на базі <i>IPv6</i> , що робить кожен пристрій унікально адресованим в Інтернеті. Це підвищує масштабованість та інтеграцію з хмарними сервісами. Низьке енергоспоживання робить його конкурентом <i>Zigbee</i> для пристроїв з батарейним живленням, пропонуючи при цьому переваги <i>IP</i> -адресації.
Matter	Універсальний протокол для всіх типів розумних пристроїв, що забезпечує взаємодію між різними екосистемами та виробниками	Створений для подолання фрагментації ринку "розумних будинків". Використовує існуючі <i>IP</i> мережі (<i>Wi-Fi</i> , <i>Thread</i>) як транспортний рівень, спрощуючи налаштування та забезпечуючи сумісність пристроїв від різних виробників під єдиним стандартом. Це майбутній стандарт для забезпечення універсальної взаємодії в рамках розумного будинку.

2.3 Технологія PON та її переваги в інфраструктурі «розумного будинку»

2.3.1 Загальні принципи технології PON

Пасивна оптична мережа (*PON – Passive Optical Network*) є ключовою технологією широкосмугового доступу, що базується на використанні оптичного волокна як основного середовища передачі даних від центрального офісу провайдера до абонента. На відміну від активних мереж, де для розподілу сигналу використовуються активні елементи з живленням, *PON* застосовує пасивні оптичні сплітери (розгалужувачі), що не потребують електроживлення. Це значно знижує експлуатаційні витрати, підвищує надійність мережі та спрощує її розгортання. Загальна структура *PON*-мережі представлена на рисунку 2.4.

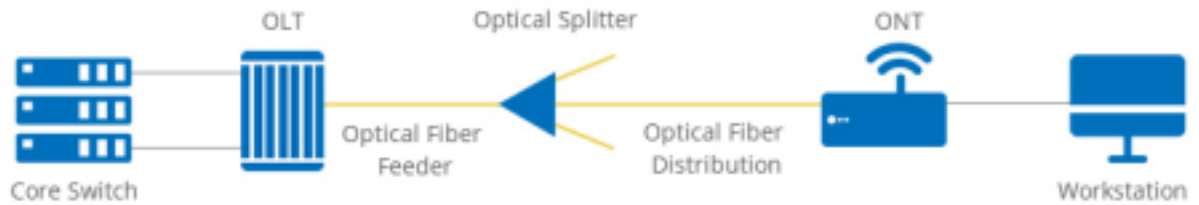


Рисунок 2.4 – Загальна структура пасивної оптичної мережі (*PON*)

Основні компоненти *PON* включають [14]:

- оптичний лінійний термінал (*OLT – Optical Line Terminal*) – розташований на центральному офісі провайдера, є «головою» *PON*-мережі, агрегує трафік від абонентів та передає його до магістральних мереж;

- оптична розподільча мережа (*ODN – Optical Distribution Network*): складається з оптичного волокна, пасивних сплітерів, роз'ємів та конекторів, що забезпечують розподіл оптичного сигналу до кінцевих абонентів;

- оптичний мережевий термінал (*ONT – Optical Network Terminal*) або оптичний мережевий блок (*ONU – Optical Network Unit*) – розташований на стороні абонента (безпосередньо в «розумному будинку»), перетворює оптичний сигнал у електричний, надаючи інтерфейси для підключення кінцевого обладнання (*Ethernet, Wi-Fi, телефонні лінії* тощо).

31

Передача даних у *PON* відбувається за принципом «точка-багато точок» (*point-to-multipoint*). Для передачі даних «вниз» (від *OLT* до *ONT*) використовується ширококомвна передача сигналу до всіх абонентів, з подальшою фільтрацією даних кожним *ONT* для ідентифікації власного трафіку. Для передачі даних «вгору» (від *ONT* до *OLT*) використовується технологія множинного доступу з тимчасовим розділенням каналів (*TDMA – Time Division Multiple Access*), що дозволяє різним *ONT* передавати дані у виділені часові інтервали, уникаючи колізій.

Технологія *PON* постійно розвивається, адаптуючись до зростаючих вимог мереж. Розвиток стандартів *PON* відображає постійне збільшення вимог до пропускної здатності, що є критично важливим для підтримки зростаючої

кількості пристроїв та сервісів у сучасних «розумних будинках». Еволюцію стандартів *PON* та їхні характерні швидкості демонструє рисунок 2.5.

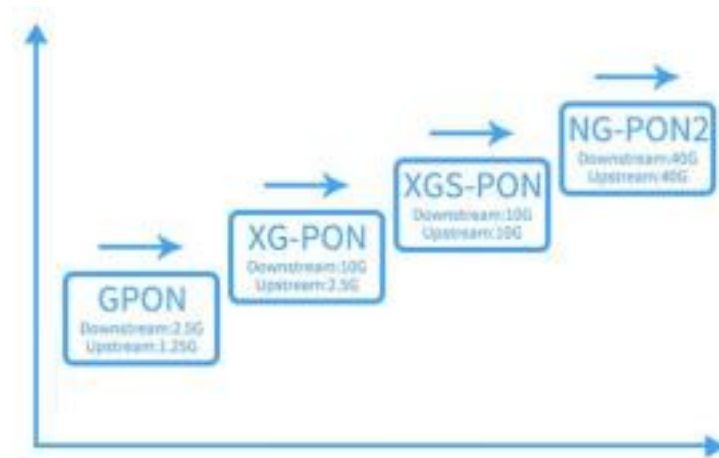


Рисунок 2.5 – Еволюція стандартів *PON* та їхні швидкості

Типові стандарти *PON* включають [13]:

- *GPON* (*Gigabit Passive Optical Network*): один з найбільш поширених стандартів, що забезпечує асиметричні швидкості передачі даних. Для низхідного потоку (від провайдера до абонента) швидкість досягає 2.488 Гбіт/с, а для висхідного (від абонента до провайдера) – 1.244 Гбіт/с;

- *XG-PON* / *XGS-PON*: наступні покоління технології *PON*, які значно збільшують доступну пропускну здатність. *XG-PON* пропонує асиметричні швидкості до 10 Гбіт/с для низхідного потоку та 2.5 Гбіт/с для висхідного, тоді як

32

XGS-PON забезпечує симетричні швидкості до 10 Гбіт/с як для низхідного, так і для висхідного потоків;

- *NG-PON2*: найновіший стандарт, що дозволяє агрегувати декілька хвиль (різних довжин світла) на одному оптичному волокні. Це забезпечує сукупну швидкість до 40 Гбіт/с, що є значним кроком уперед для задоволення майбутніх потреб у пропускій здатності.

2.3.2 Оптимальність технології *PON* для мережевої інфраструктури «розумного будинку»

Інтеграція *PON* в інфраструктуру «розумного будинку» є стратегічно доцільною, оскільки вона безпосередньо задовольняє ключові мережеві вимоги, визначені у попередньому підрозділі. Взаємозв'язок між вимогами «розумного будинку» та перевагами технології *PON* представлено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Роль *PON* у задоволенні мережевих вимог «розумного будинку»

Мережева вимога "розумного будинку"	Роль/ Переваги <i>PON</i> у задоволенні вимоги
Висока пропускна здатність	<i>PON</i> (зокрема, стандарти <i>GPON</i> , <i>XGS-PON</i> , <i>NG-PON2</i>) забезпечує гігабітні та десятигігабітні швидкості до абонента, усуваючи "вузькі місця" на рівні зовнішнього підключення. Це критично для потокового 4K/8K відео, <i>VR/AR</i> , онлайн-ігор та великої кількості <i>IoT</i> -пристроїв.
Низька затримка (Latency)	Завдяки пасивній архітектурі та мінімальній кількості активних елементів на шляху сигналу, <i>PON</i> гарантує надзвичайно низькі затримки передачі даних. Це забезпечує миттєву реакцію систем безпеки, голосових асистентів та функцій віддаленого керування.
Надійність та стабільність з'єднання	Відсутність активних компонентів у вуличній інфраструктурі <i>PON</i> та стійкість оптичного волокна до електромагнітних перешкод забезпечують високу надійність та стабільність зв'язку. Це мінімізує ризики збоїв для критичних підсистем (безпека, клімат контроль).
Масштабованість	<i>PON</i> є масштабованою технологією, яка дозволяє легко модернізувати пропускну здатність (шляхом заміни <i>OLT</i> та <i>ONT</i> без перекладання оптоволокна) до наступних поколінь стандартів (наприклад, від <i>GPON</i> до <i>XGS-PON/NG-PON2</i>). Це гарантує готовність інфраструктури до майбутнього зростання кількості пристроїв та потреб у даних.

Продовження таблиці 2.3

Високий рівень безпеки даних	Фізична природа оптичного волокна ускладнює несанкціоноване підключення та перехоплення сигналу. Крім того, протоколи <i>PON</i> включають вбудовані механізми шифрування (наприклад, <i>AES 128</i>), що забезпечує конфіденційність та цілісність переданих даних "розумного будинку".
-------------------------------------	---

Енергоефективність	Відсутність потреби в живленні для пасивних оптичних сплітерів та інших елементів оптичної розподільчої мережі <i>PON</i> значно знижує загальне енергоспоживання інфраструктури, сприяючи "зеленому" підходу до будівництва мереж.
Централізоване підключення та керування	<i>PON</i> забезпечує підключення <i>ONT</i> в будинку, до якого через стандартний <i>Ethernet</i> підключається центральний контролер (<i>Smart Hub</i>). Це створює єдину, надійну та високошвидкісну точку доступу до Інтернету для всієї екосистеми "розумного будинку", дозволяючи <i>Smart Hub</i> ефективно керувати пристроями, обробляти дані та забезпечувати віддалений доступ.

Таким чином, інтеграція *PON* в архітектуру «розумного будинку» не просто забезпечує високошвидкісний доступ до Інтернету, а створює надійну, масштабовану та високопродуктивну основу, що відповідає всім ключовим вимогам функціонування сучасної інтелектуальної житлової системи та готує її до майбутніх викликів.

Для повного розуміння переваг *PON* у контексті «розумного будинку», доцільно провести порівняльний аналіз цієї технології з традиційним *Ethernet* підключенням, яке історично домінувало в широкосмуговому доступі. Хоча обидва підходи забезпечують високошвидкісний доступ до Інтернету, *PON* пропонує значні переваги на рівні інфраструктури «останньої милі», що безпосередньо впливає на можливості та надійність «розумного будинку».

Порівняння *PON* та класичного *Ethernet*-підключення наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Порівняльний аналіз *PON* та класичного *Ethernet*-підключення

Критерій порівняння	PON (Passive Optical Network)	Класичне Ethernet- підключення (на основі міді або активних опт. комутаторів)
Середовище передачі	Оптичне волокно (до абонента)	Мідні кабелі (<i>UTP</i>) або оптичне волокно (до активного комутатора/медіаконвертера)
Активні елементи в ODN	Відсутні (лише пасивні сплітери)	Присутні (комутатори, маршрутизатори, медіаконвертери)

Енергоспоживання мережі	Низьке (завдяки пасивності <i>ODN</i>)	Вище (активні елементи потребують живлення)
Пропускна здатність	Дуже висока (Гігабітні, 10 Гбіт/с та вище, масштабована до 40 Гбіт/с)	Висока (1 Гбіт/с, рідше 10 Гбіт/с, але залежить від типу кабелю та обладнання)
Дальність передачі	Значна (до 20-40 км без ретрансляторів)	Обмежена (до 100 м для міді без комутаторів, для оптики – залежить від активного обладнання)
Стійкість до перешкод	Висока (оптоволокно не чутливе до ЕМП)	Середня (мідні кабелі чутливі до ЕМП)
Надійність	Дуже висока (менше точок відмови через пасивність)	Середня (більше точок відмови через активне обладнання)
Масштабованість	Висока (легка модернізація до нових стандартів <i>PON</i> без заміни оптоволокна)	Середня (часто потребує заміни активного обладнання та/або кабелів для значного апгрейду)
Безпека	Висока (важко несанкціоновано перехопити сигнал, є шифрування)	Середня (легше перехопити сигнал на мідних кабелях, безпека залежить від протоколів)
Складність розгортання	Високі початкові витрати на прокладання оптики, але простіше обслуговування	Нижчі початкові витрати на мідь, але більше активного обладнання та його обслуговування

Використання *PON* є стратегічно доцільним та важливим кроком для інтеграції пристроїв «розумного будинку». Завдяки її здатності забезпечити високу пропускну здатність, стабільне з'єднання та низьку затримку, *PON* ефективно підтримує вимогливі сервіси та відповідає майбутнім потребам. Навіть попри те, що центральний контролер «розумного будинку» підключається до *ONT* через стандартний *Ethernet*, саме *PON* на рівні інфраструктури провайдера створює надійну та високопродуктивну основу для функціонування складної екосистеми «розумного будинку». Враховуючи експоненційне зростання кількості підключених пристроїв та обсягів генерованих ними даних, а також постійно зростаючі вимоги до швидкості та надійності, інтеграція *PON* в інфраструктуру «розумного будинку» забезпечує стабільну, масштабовану та високопродуктивну основу для функціонування всіх інтелектуальних підсистем.

РОЗДІЛ 3

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ PON В СИСТЕМІ «РОЗУМНОГО БУДИНКУ»

3.1 Гібридна архітектура інтеграції *PON* та взаємодія підсистем «розумного будинку»

Ефективна інтеграція інтелектуальних пристроїв «розумного будинку» з глобальною мережею є ключовим аспектом для реалізації їх повного потенціалу. Технологія *PON*, завдяки своїм високим швидкісним характеристикам та надійності, створює ідеальний фундамент для цієї інтеграції. Враховуючи переваги, визначені в розділі 1, оптимальною архітектурою для сучасного «розумного будинку» є гібридна, що поєднує в собі елементи централізованого та децентралізованого управління. Цей підхід дозволяє максимально використовувати переваги різних технологій зв'язку та забезпечувати високу надійність, гнучкість та функціональність системи.

Загальна гібридна архітектура підключення, що демонструє ключові компоненти та їхнє розташування, представлена на рисунку 3.1.

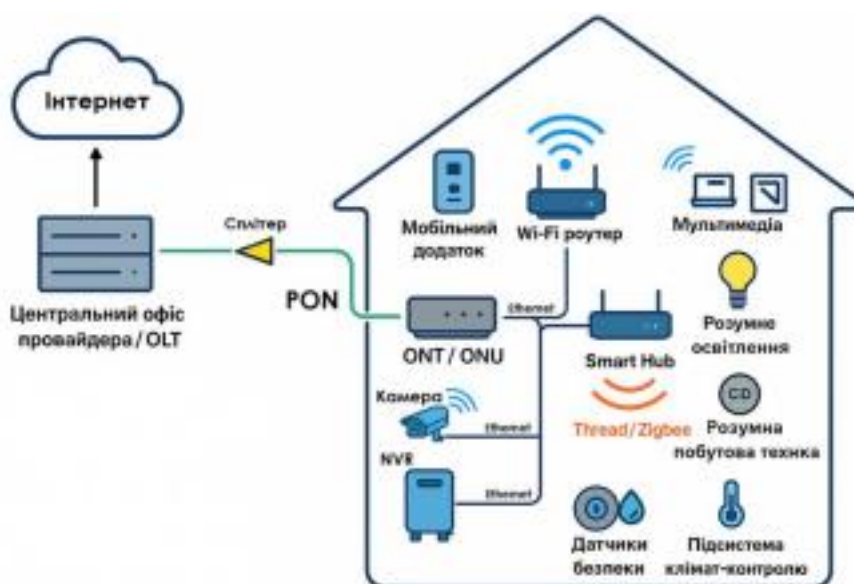


Рисунок 3.1 – Гібридна архітектура інтеграції *PON* та взаємодія підсистем «розумного будинку»

Оптичний лінійний термінал (*OLT*), розташований на центральному офісі провайдера, є точкою виходу до мережі Інтернет.

Оптичний мережевий термінал (*ONT/ONU*) встановлюється безпосередньо в «розумному будинку» та є кінцевою точкою *PON*-мережі, яка перетворює оптичний сигнал у електричний.

До *ONT/ONU* підключається *Wi-Fi* роутер та центральний контролер (*Smart Hub*). Це з'єднання реалізується переважно за допомогою *Ethernet*, що забезпечує надійний та високошвидкісний магістральний канал зв'язку для всієї домашньої мережі. Вибір *Ethernet* для цього критично важливого підключення зумовлений такими факторами:

- висока та стабільна пропускна здатність: *Ethernet* забезпечує гарантовані гігабітні швидкості, що є критичним для основного інтернет-каналу, який буде обслуговувати всі пристрої «розумного будинку» (від мультимедійних систем до камер високої роздільної здатності);

- надійність та стійкість до перешкод: дротове *Ethernet*-з'єднання не схильне до радіочастотних перешкод, які можуть впливати на бездротові сигнали, гарантуючи стабільну та безперебійну роботу основного шлюзу до Інтернету;

- низька затримка: мінімальні затримки передачі даних по *Ethernet* є важливими для чутливих до часу сервісів та швидкого відгуку системи; - безпека: дротове підключення за своєю природою є більш захищеним від несанкціонованого перехоплення даних ззовні, порівняно з бездротовими каналами;

- стандартизація та сумісність: *Ethernet* є універсальним стандартом, що забезпечує легку інтеграцію роутерів та *Smart Hub*'ів від різних виробників з *ONT*. Після встановлення зв'язку з мережею *PON* через *ONT*, внутрішня інфраструктура «розумного будинку» починає функціонувати як єдина екосистема. У цій гібридній архітектурі Центральний контролер (*Smart Hub*) виступає як «мозок» системи, агрегуючи дані від різних пристроїв, обробляючи їх та керуючи

виконавчими командами. Він є головним вузлом, що координує роботу більшості підсистем «розумного будинку», підтримуючи взаємодію через різні протоколи.

37

Підсистема безпеки (відеоспостереження): *IP*-камери спостереження та мережевий відеореєстратор (*NVR*) підключаються до *Wi-Fi* роутера. Для максимальної стабільності та пропускну здатності, особливо для високоякісних відеопотоків, переважним способом підключення є *Ethernet*. Проте, в місцях, де прокладка кабелю ускладнена, деякі *IP*-камери можуть використовувати *Wi-Fi* з'єднання. *PON*-з'єднання забезпечує передачу відеопотоків до хмарних сервісів та віддалений доступ до камер.

Підсистема безпеки (датчики): Датчики руху, відкриття дверей/вікон, датчики розбиття скла, датчики диму, витoku води/газу підключаються до *Smart Hub*. Для цих пристроїв, які вимагають низького енергоспоживання та високої надійності, використовуються бездротові протоколи, такі як *Thread* або *Zigbee*, які підтримують *mesh*-мережу для розширення покриття та забезпечення безперервності зв'язку. *Smart Hub* обробляє сигнали від цих датчиків, активує сценарії безпеки та відправляє оповіщення користувачу через *PON*.

Підсистема контролю електроживлення та побутової техніки: Розумні розетки та розумні лампи підключаються до *Smart Hub*, також використовуючи протоколи *Thread* або *Zigbee*. Це дозволяє *Smart Hub*'у дистанційно керувати подачею електроенергії, освітленням, налаштовувати сценарії та моніторити споживання, сприяючи енергозбереженню.

Підсистема клімат-контролю: Розумні термостати та датчики температури/вологості підключаються до *Smart Hub* за рахунок *Thread* або *Zigbee*. *Smart Hub* аналізує дані про мікроклімат та надсилає команди системам опалення, вентиляції та кондиціонування для автоматичного підтримання комфортних умов та оптимізації енергоспоживання.

Підсистема мультимедіа та розваг: Пристрої, що потребують високої пропускну здатності, такі як телевізори, медіа-плеєри, ігрові консолі, підключаються до *Wi-Fi* роутера за рахунок *Wi-Fi*. Для найвимогливіших сценаріїв (наприклад, 8K-відео) також може використовуватися дротове *Ethernet*-з'єднання до роутера. *Smart Hub* може інтегруватися з цими пристроями для керування

спільними сценаріями (наприклад, "сценарій кіно" включає вимкнення світла та запуск проектора).

Інтерфейси керування: Керування всією системою «розумного будинку» здійснюється за допомогою зручних інтерфейсів, таких як мобільний додаток, голосовий помічник або веб-інтерфейс. Завдяки надійному інтернет-з'єднанню через *PON*, ці інтерфейси, взаємодіючи зі *Smart Hub*'ом та *Wi-Fi* роутером, забезпечують повноцінний контроль над будинком з будь-якої точки світу.

Таким чином, запропонована архітектура є гібридною. Вона використовує централізований підхід для управління значною частиною *IoT*-пристроїв через *Smart Hub* (протоколи *Thread/Zigbee*), забезпечуючи їх ефективну координацію та інтеграцію. Одночасно, вона включає децентралізовані елементи, такі як пряме підключення *IP*-пристроїв (камери, мультимедіа) до *Wi-Fi* роутера через *Ethernet* або *Wi-Fi*, що дозволяє цим пристроям функціонувати як незалежні мережеві вузли. Цей гібридний підхід максимально використовує переваги як централізованого контролю (для складних сценаріїв та уніфікації), так і розподіленої мережі (для надійності та високої пропускної здатності окремих підсистем), забезпечуючи оптимальну продуктивність та гнучкість усієї системи «розумний будинок» на базі *PON*.

3.2 Вибір обладнання для реалізації системи «розумний будинок» на базі *PON*

Реалізація функціоналу «розумного будинку» з використанням мережі *PON* вимагає ретельного вибору обладнання, що забезпечує сумісність, надійність та оптимальну продуктивність. Нижче представлені типові категорії пристроїв та приклади їх реалізації, що відповідають гібридній архітектурі, описаній у пункті 3.1. Для кожної категорії наведено порівняльну таблицю з ключовими характеристиками та приклади конкретних пристроїв, обраних з урахуванням критерії «ціна-якість» (на основі загальнодоступної ринкової інформації та репутації брендів).

3.2.1 Компоненти *PON*-інфраструктури

Оптичний мережевий термінал (*ONT/ONU*): Цей пристрій найчастіше надається провайдером Інтернет-послуг і є ключовою точкою входу *PON*-мережі у будинок. Вибір конкретної моделі *ONT* зазвичай не залежить від кінцевого користувача, проте важливо переконатися, що він підтримує необхідний стандарт *PON* та має достатню кількість портів *Gigabit Ethernet* для підключення іншого мережевого обладнання. Типові характеристики *ONT/ONU*, що задовольняють поставленій задачі, представлені в таблиці 3.1 [11].

Таблиця 3.1 – Типові характеристики *ONT/ONU*

Характеристика	<i>GPON ONT</i> (типовий)	<i>XGS-PON ONT</i> (сучасний)
Стандарт <i>PON</i>	<i>ITU-T G.984 (GPON)</i>	<i>ITU-T G.9807.1 (XGS-PON)</i>
Макс. швидкість (Down/Up)	2.5 Гбіт/с / 1.25 Гбіт/с	10 Гбіт/с / 10 Гбіт/с
Порти Ethernet	1-4 x <i>GE (Gigabit Ethernet)</i>	1-4 x <i>GE</i> , може бути 1 x <i>2.5GE</i> або <i>10GE</i>
Підтримка Wi-Fi	Часто вбудований <i>Wi-Fi 4/5 (802.11n/ac)</i>	Часто вбудований <i>Wi-Fi 5/6 (802.11ac/ax)</i>
Ключова перевага	Поширений, достатній для більшості потреб	Висока пропускна здатність, перспективний
Рекомендований пристрій (приклад)	Huawei OptiXstar EG8145V5 (як поширений та надійний <i>GPON</i> варіант)	Huawei OptiXstar EG8145X6 (як збалансований <i>XGS-PON</i> варіант з <i>Wi-Fi 6</i>)

Зовнішній вигляд рекомендованих пристроїв представлено на рисунку 3.2.



3.2.2 Мережеве обладнання домашньої мережі

Wi-Fi роутер (маршрутизатор): Для забезпечення оптимального співвідношення ціна-якість варто обирати роутери з підтримкою *Wi-Fi 6* (802.11ax), які пропонують значно покращену продуктивність та ефективність порівняно з *Wi-Fi 5*, при цьому залишаючись доступними. Характеристики рекомендованих *Wi-Fi* роутерів наведені в таблиці 3.2 [8,17].

Таблиця 3.2 – Типові характеристики *Wi-Fi* роутерів

Характеристика	Середній клас (<i>Wi-Fi 6</i>)	Високий клас (<i>Wi-Fi 6E/7</i>)
Стандарт <i>Wi-Fi</i>	802.11ax (<i>Wi-Fi 6</i>)	802.11ax (<i>Wi-Fi 6E</i>) / 802.11be (<i>Wi-Fi 7</i>)
Сукупна швидкість <i>Wi-Fi</i>	AX1800 - AX3000 (до 3000 Мбіт/с)	AXE5400 - BE24000 (до 24000 Мбіт/с)
Діапазони частот	2.4 ГГц, 5 ГГц	2.4 ГГц, 5 ГГц, 6 ГГц
Порти <i>Ethernet</i> (WAN/LAN)	1xGE WAN / 4xGE LAN	1xGE/2.5GE/10GE WAN / 4-8xGE/2.5GE/10GE LAN
Підтримка <i>Mesh</i>	Так (часто пропріетарні системи)	Так (часто стандартизовані <i>Mesh</i> системи)
Рекомендований пристрій (приклад)	TP-Link Archer AX55 (AX3000) (як один з найбільш збалансованих варіантів за ціною та продуктивністю <i>Wi-Fi 6</i>)	ASUS RT-AX86U Pro (AX5700) (для тих, кому потрібна вища продуктивність <i>Wi-Fi 6</i> та ігрові функції за розумну ціну)

Зовнішній вигляд рекомендованих пристроїв представлено на рисунку



3.3.

Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд *Wi-Fi* роутерів:
 а) *TP-Link Archer AX55 (AX3000)*; б) *ASUS RT-AX86U Pro (AX5700)*

41

Мережевий комутатор (*Switch*): Якщо потрібна розширена кількість дротових підключень, слід обирати некеровані *Gigabit Ethernet* комутатори від перевірених виробників, типові характеристики яких представлені в таблиці 3.3 [17].

Таблиця 3.3 – Типові характеристики мережевих комутаторів

Характеристика	Некерований комутатор (<i>Gigabit</i>)
Кількість портів	5, 8, 16, 24
Швидкість портів	10/100/1000 Мбіт/с (<i>Gigabit Ethernet</i>)
Підтримка <i>PoE</i> (<i>Power over Ethernet</i>)	Опціонально (<i>PoE</i> , <i>PoE+</i> , <i>PoE++</i>)
Керування	Відсутнє
Рекомендований пристрій (приклад)	TP-Link TL-SG1008D (8-портовий) (стандартний надійний комутатор для домашнього використання)

Зовнішній вигляд рекомендованого пристрою представлено на рисунку



3.4.

Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд комутатора *TP-Link TL-SG1008D*

3.2.3 Центральний контролер (*Smart Hub*)

При виборі важливо звернути увагу на підтримку необхідних протоколів (*Thread, Zigbee*) та можливість інтеграції з обраними пристроями та платформами (*Google Home, Alexa*). Типові характеристики *Smart Hub* детально описані в таблиці 3.4 [6].

42

Таблиця 3.4 – Типові характеристики *Smart Hub*

Характеристика	Опис / Типове значення
Підтримувані протоколи	<i>Zigbee, Thread, Z-Wave, Wi-Fi, Bluetooth</i> (часто)
Порти підключення	<i>Ethernet</i> (для підключення до роутера), <i>USB</i>
Операційна система	Власна прошивка, <i>Linux</i> -базовані системи
Хмарна інтеграція	<i>Google Home, Amazon Alexa, Apple HomeKit, IFTTT</i>
Локальне керування	Можливість роботи сценаріїв без Інтернету (частково)
Рекомендований пристрій (приклад)	Aeotec SmartThings Hub V3 (широка підтримка протоколів та велика екосистема) Hubitat Elevation Hub C-8 (для більшої локальної обробки та контролю приватності)

Зовнішній вигляд рекомендованих пристроїв представлено на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд *Smart Hub*:
 а) *Aeotec SmartThings Hub V3*; б) *Hubitat Elevation Hub C-8*

3.2.4 Пристрої підсистем «розумного будинку»

Підсистема безпеки (відеоспостереження) складається з *IP*-камер та мережевого відеореєстратора (*NVR*), типові характеристики яких представлені в таблицях 3.5, 3.6 [16,17].

43

Таблиця 3.5 – Типові характеристики *IP*-камер

Характеристика	Стандартна <i>IP</i> -камера (<i>Wi-Fi/Ethernet</i>)
Роздільна здатність	<i>Full HD</i> (1080p), 2K (1440p), 4K (2160p)
Кут огляду (FoV)	90° - 180° (фіксований), 360° (<i>PTZ</i>)
Нічне бачення	ІЧ-підсвічування (до 10-30 м), <i>Starlight/Color Night Vision</i>
Підключення	<i>Wi-Fi</i> (2.4/5 ГГц), <i>Ethernet</i> (з <i>PoE</i> або без)
Локальне сховище	Слот для <i>microSD</i> картки (до 256 ГБ)
Додаткові функції	Детекція руху/звуку, двосторонній звук, відстеження об'єктів
Рекомендований пристрій (приклад)	Reolink RLC-810A (4K PoE) (відмінне співвідношення ціна якість для дротових камер 4K) TP-Link Tapo C200 (1080p Wi-Fi) (бюджетний варіант поворотної <i>Wi-Fi</i> камери для внутрішнього використання)

Зовнішній вигляд рекомендованих пристроїв представлено на рисунку

3.6.

Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд IP-камер:

а) *Reolink RLC-810A*; б) *TP-Link Tapo C200*

Таблиця 3.6 – Типові характеристики мережевих відеореєстраторів (NVR)

Характеристика	Типовий NVR
Макс. кількість каналів	4, 8, 16, 32
Макс. роздільна здатність запису	До 4K/8K на канал
Підтримка HDD	1-4 HDD (ємність від 1 ТБ до 16 ТБ на HDD)
Порти PoE	4, 8, 16 (вбудовані PoE порти для камер)
Віддалений доступ	Мобільний додаток, веб-інтерфейс
Рекомендований пристрій (приклад)	Reolink RLN8-410 (8-канальний PoE NVR) (популярний вибір для домашніх систем <i>Reolink</i>) Dahua DHI-NVR2108HS-8P-S2 (збалансований варіант від великого виробника)

44

Підсистема безпеки складається з датчиків: руху, відкриття, диму, витоку води/газу, типові характеристики яких представлені в таблиці 3.7 [7].
Таблиця 3.7 – Типові характеристики датчиків безпеки

Характеристика	Датчик руху /Датчик відкриття /Датчик диму/ Датчик витоку
Протокол зв'язку	<i>Thread / Zigbee</i>

Джерело живлення	Батарея (CR2032, CR123A)
Термін служби батареї	2-5 років
Додаткові особливості	Рух: Кут/дальність виявлення Відкриття: Магнітний Дим: Звукова сигналізація, сповіщення Витік: Сповіщення про воду/газ
Рекомендований пристрій (приклад)	Aqara Motion Sensor P1 (Zigbee) Aqara Door and Window Sensor (Zigbee) (висока якість за доступну ціну, велика екосистема)

Зовнішній вигляд рекомендованих пристроїв представлено на рисунку

3.7.

Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд датчиків безпеки

Підсистема контролю електроживлення та побутової техніки складається з розумних розеток/вимикачів та розумних ламп, типові характеристики яких наведено у таблицях 3.8, 3.9 [7,12,15,17].

Таблиця 3.8 – Типові характеристики розумних розеток/вимикачів

Характеристика	Розумна розетка / Розумний вимикач
Протокол зв'язку	<i>Thread / Zigbee / Wi-Fi</i>
Макс. навантаження	10A-16A (2.3 кВт - 3.6 кВт)
Моніторинг енергії	Так (для деяких моделей)
Рекомендований пристрій (приклад)	Aqara Smart Plug (Zigbee) (компактні, надійні, часто з моніторингом енергії) TP-Link Tapo P100 (Wi-Fi) (дуже доступні <i>Wi-Fi</i> розетки)

Зовнішній вигляд рекомендованих пристроїв представлено на рисунку

3.8.

Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд розумних розеток:

а) *Aqara Smart Plug (Zigbee)*; б) *TP-Link Tapo P100 (Wi-Fi)*

Таблиця 3.9 – Типові характеристики розумних ламп

Характеристика	Опис / Типове значення
Протокол зв'язку	<i>Thread / Zigbee / Wi-Fi</i>
Яскравість	600 - 1600 люмен (еквівалент 40W - 100W лампи розжарювання)
Колірна температура	2200K (теплий) - 6500K (холодний), <i>RGB</i> для кольорових
Тип цоколя	<i>E27, E14, GU10</i> тощо
Рекомендований пристрій (приклад)	Philips Hue White E27 (Zigbee) (як еталон якості, хоч і дорожчий) IKEA TRÅDFRI E27 (Zigbee) (дуже бюджетний та надійний варіант)

Зовнішній вигляд рекомендованих пристроїв представлено на рисунку

3.9.

Рисунок 3.9 – Зовнішній вигляд розумних ламп:

а) *Philips Hue White E27 (Zigbee)*; б) *IKEA TRÅDFRI E27 (Zigbee)*

46

Підсистема клімат-контролю, для функціонування якої потрібно правильно підібрати розумні термостати, типові характеристики яких представлені в таблиці 3.10 [7].

Таблиця 3.10 – Типові характеристики розумних термостатів

Характеристика	Опис / Типове значення
Протокол зв'язку	<i>Thread / Zigbee / Wi-Fi</i>
Сумісність з HVAC	Більшість систем опалення/кондиціонування
Функції	Програмовані сценарії, геофенсинг, датчики присутності, моніторинг якості повітря
Рекомендований пристрій (приклад)	Aqara Thermostat E1 (Zigbee) (бюджетний, але функціональний для радіаторів) Google Nest Thermostat (популярний, якщо є сумісність з вашою системою опалення)

Зовнішній вигляд рекомендованих пристроїв представлено на рисунку 3.10.

Рисунок 3.10 – Зовнішній вигляд розумних термостатів:
 а) *Aqara Thermostat E1 (Zigbee)*; б) *Google Nest Thermostat*

Підсистема мультимедіа та розваг. Її рекомендовані пристрої та їх типові характеристики представлені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Типові характеристики *Smart TV / Медіаплеєр*

Характеристика	<i>Smart TV / Медіаплеєр</i>
Підключення	<i>Wi-Fi (802.11ac/ax), Ethernet (Gigabit)</i>
Роздільна здатність	<i>Full HD, 4K, 8K</i>
Операційна система	<i>WebOS, Tizen, Android TV, Google TV, tvOS</i>
Додаткові функції	Голосове керування, інтеграція з стрімінговими сервісами, <i>Chromecast/AirPlay</i>
Рекомендований пристрій (приклад)	Xiaomi Mi Box S 4K (для доступного та функціонального 4K медіаплеєра) Samsung Crystal UHD 4K Smart TV (як представник доступних <i>Smart TV</i> з хорошою якістю)

3.3 Орієнтовна вартість реалізації системи «розумний будинок»

Для оцінки приблизної вартості реалізації системи «розумний будинок» на базі *PON* будемо використовувати рекомендовані приклади обладнання, зазначені у пункті 3.2. Важливо зазначити, що наведені ціни є орієнтовними та можуть суттєво відрізнятись залежно від постачальника, регіону, актуальних акцій та змін на ринку. Розрахунок буде здійснюватися у національній валюті (гривнях).

Методологія розрахунку:

- для кожного типу обладнання, що входить до складу системи, буде визначена орієнтовна ціна за одиницю;

- буде вказана необхідна кількість одиниць для типового «розумного будинку» (наприклад, для квартири або невеликого приватного будинку); -

загальна вартість для кожного типу обладнання обчислюватиметься як добуток ціни за одиницю на кількість;

- сумарна вартість проекту буде отримана шляхом додавання вартостей усіх компонентів.

Примітка: *ONT* (Оптичний мережевий термінал) зазвичай надається провайдером Інтернет-послуг в оренду або за символічну плату при підключенні, тому його вартість не включається в загальний розрахунок капітальних витрат на обладнання «розумного будинку». Проте, якщо *ONT* купується, його ціна може бути додана.

Таблиця 3.12 – Орієнтовна вартість обладнання для системи «розумний будинок»

Категорія обладнання	Найменування обладнання (з п. 3.2)	Орієнтовна ціна за одиницю (грн.)	Необхідна кількість (шт.)	Загальна вартість (грн.)
Мережеве обладнання	<i>Wi-Fi</i> роутер (<i>TP-Link Archer AX55</i> або аналог)	3 000 - 4 000	1	3 000 -4 000
	Мережевий комутатор (<i>TP-Link TL-SG1008D</i> або аналог)	600 - 1 000	1 (за потреби)	600 - 1 000
Центральний контролер	<i>Smart Hub (Aeotec SmartThings Hub V3</i> або аналог)	2 500 - 3 500	1	2 500 -3 500

Продовження таблиці 3.12

Підсистема безпеки (відео)	<i>IP</i> -камера (<i>Reolink RLC-810A</i> або аналог)	2 000 - 3 000	2 - 4	4 000 -12 000
	<i>NVR (Reolink RLN8-410</i> або аналог)	4 000 - 6 000	1	4 000 - 6 000
Підсистема безпеки (датчики)	Датчик руху (<i>Aqara Motion Sensor P1</i> або аналог)	400 - 600	2 - 4	800 - 2 400

	Датчик відкриття (Aqara Door and Window Sensor або аналог)	300 - 500	3 - 5	900 - 2 500
	Датчик диму (Aqara Smoke Detector або аналог)	800 - 1 200	1 - 2	800 - 2 400
	Датчик витоку води (Aqara Water Leak Sensor або аналог)	500 - 800	1 - 2	500 - 1 600
Контроль електроживлення	Розумна розетка (Aqara Smart Plug або аналог)	400 - 700	4 - 8	1 600 - 5 600
	Розумна лампа (IKEA TRÅDFRI E27 або аналог)	200 - 400	5 - 10	1 000 - 4 000
Клімат-контроль	Розумний термостат (Aqara Thermostat E1 або аналог)	1 500 - 2 500	1 - 2	1 500 - 5 000
Мультимедіа та розваги	Медіаплеєр (Xiaomi Mi Box S 4K або аналог)	1 500 - 2 500	1 - 2	1 500 - 5 000
Монтажні та пусконаладжувальні роботи	Оціночно (10-20% від вартості обладнання)	-	-	2 000 - 6 000+
Загальна орієнтовна вартість проекту (без ONT)	-	-	-	~ 24 700 – 56 000+

Пояснення до розрахунку:

- Ціни: наведені ціни є усередненими та можуть коливатися.

Рекомендується перевірити актуальні ціни на ринку на момент фактичної закупівлі; - Кількість: кількість пристроїв є приблизною та залежить від розміру будинку/квартири, кількості кімнат, зон, які потребують моніторингу, та бажаного рівня автоматизації. Зазначений діапазон (наприклад, 2-4 камери) дає розуміння базового та розширеного набору;

- Монтажні роботи: вартість монтажу та налаштування може значно варіюватися. Вона залежить від складності системи, необхідності прокладки кабелів (для *Ethernet*-пристроїв), наявності прихованих робіт та тарифів інсталятора. Тут наведено дуже приблизну оцінку.

Ця таблиця надає чітке уявлення про потенційні витрати на реалізацію системи «розумний будинок» з обраними компонентами. Користувач може легко адаптувати її під свої потреби та актуальні ціни.

50

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було розглянуто комплекс питань, пов'язаних з концепцією, архітектурою, технологіями та практичною реалізацією систем «розумний будинок» на базі пасивних оптичних мереж (*PON*).

У першому розділі було детально проаналізовано концепцію «розумного будинку», визначено його ключові характеристики, основні переваги та існуючі виклики. Було встановлено, що сучасний «розумний будинок» виходить за рамки простого дистанційного керування, фокусуючись на інтелектуальній автоматизації, взаємодії пристроїв та підвищенні комфорту, безпеки та енергоефективності. Розгляд основних архітектурних підходів – централізованого та децентралізованого – дозволив виявити їхні сильні та слабкі сторони. В результаті, було обґрунтовано, що найбільш ефективним та перспективним рішенням для реалізації сучасного «розумного будинку» є гібридна архітектура, яка поєднує переваги централізованого керування (для обробки даних та складних сценаріїв) та децентралізованих елементів (для підвищення надійності та швидкості обміну даними між пристроями). Цей підхід забезпечує оптимальний баланс між функціональністю, масштабованістю, надійністю та гнучкістю системи.

Другий розділ був присвячений глибокому аналізу технологій пасивних оптичних мереж (*PON*) та їхньому потенціалу для інтеграції з системами «розумний будинок». Були розглянуті ключові стандарти *PON*, зокрема *GPON* та *XGS-PON*, висвітлені їхні архітектурні особливості та переваги, такі як висока

пропускна здатність, надійність, низькі експлуатаційні витрати та стійкість до електромагнітних перешкод. Було доведено, що *PON*-технологія є ідеальною магістральною мережею для «розумного будинку», здатною забезпечити стабільний та високошвидкісний доступ до мережі Інтернет для всіх підсистем, включаючи потокове відео високої роздільної здатності, хмарні сервіси та віддалене керування. Крім того, наголошено на еволюції *PON* до гнучкіших та багатосервісних рішень, що ще більше посилює її привабливість для інтелектуальних домашніх екосистем.

51

У третьому розділі було виконано практичне проєктування системи «розумний будинок», інтегрованої з інфраструктурою *PON*. Розроблена детальна функціональна схема архітектури підключення наочно демонструє реалізацію гібридного підходу, де *Smart Hub* виступає як централізований «мозок» для пристроїв з низьким енергоспоживанням (*Zigbee*, *Thread*), а *Wi-Fi* роутер забезпечує *IP*-зв'язок для камер, мультимедіа та доступу до Інтернету. Був проведений ретельний вибір конкретного обладнання для кожної підсистеми «розумного будинку», при цьому особливу увагу було приділено критерію «ціна якість», що відображено у порівняльних таблицях та рекомендованих пристроях. На підставі цього вибору, була розрахована орієнтовна вартість реалізації проєкту, що надає практичну оцінку фінансових витрат. Загальний результат підтверджує, що сучасна система «розумний будинок» на базі *PON* є не тільки функціональною та надійною, а й економічно обґрунтованою інвестицією в комфорт, безпеку та енергоефективність житла.

52

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Чому «розумний будинок» актуальний? Стаття з сайту *Teploradost*. URL: <https://teploradost.com.ua/ua/pochemu-umnyiy-dom-aktualen> (дата звернення:)
2. Що таке потокова домашня автоматизація *IoT*? *Eloutput*. URL: <https://uk.eloutput.com/> (дата звернення:)
3. Що таке протокол для «розумного будинку»? 6 популярних видів. Стаття з сайту *WiseHome*. URL: <https://wisehome.ua/ua/scho-take-protokol-dlya-rozumnogo>

[budinku-6-populyarnih-vidiv](#) (дата звернення:)

4. Якими бувають «розумні будинки»: види і особливості. *SmartHouse*. URL: <https://www.smarthouse.ua/ua/kakie-byvayut-umnye-doma-vidy-i-osobennosti.html> 5.

5G vs Fiber Optics: Which One Suits IoT Connectivity the Best? *Spiceworks*. URL: <https://www.spiceworks.com/tech/networking/articles/5g-vs-fiber-optics-which-one-suits-iot-connectivity-the-best/> (дата звернення:) 6. *Aeotec: SmartThings* та інші

пристрої URL: <https://aeotec.com/> (дата звернення:)

7. *Aqara* Україна: Розумні сенсори та хаби URL: <https://aqara.com.ua/> (дата звернення:)

8. *ASUS* Україна: Офіційний сайт URL: <https://www.asus.com/ua-ua/> (дата звернення:)

9. *Cisco. What Is Passive Optical Networking (PON)?* URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/switches/what-is-passive-optical-networking.html>

10. *Djumanazarov O., Väänänen A., Haataja K., Toivanen P. An Overview of IoT Based Architecture Model for Smart Home Systems.* URL: https://www.academia.edu/79304697/An_Overview_of_IoT_Based_Architecture_Model_for_Smart_Home_Systems

11. *Huawei Enterprise*: Офіційний сайт URL: <https://e.huawei.com/> (дата звернення:)

53

12. *IKEA* Україна: Розумне освітлення URL: <https://www.ikea.com/ua/uk/> (дата звернення:)

13. *Mokhtari G., Anvari-Moghaddam A., Zhang Q. A New Layered Architecture for Future Big Data-driven Smart Homes // IEEE Access, 2024. – URL: https://vbn.aau.dk/files/294755350/A_New_Layered_Architecture_IEEE_ACCESS.pdf*

14. *Passive Optical Network Tutorial. FS.com.* URL: <https://www.fs.com/blog/passive-optical-network-tutorial-9504.html> (дата звернення:)

15. *Philips Hue. Smart Lighting* URL: <https://www.philips-hue.com/en-us> (дата звернення:)

16. *Reolink* Україна: Відеоспостереження URL: <https://reolink.in.ua/> (дата

звернення:)

17. *TP-Link*: Офіційний сайт URL: <https://www.tp-link.com/uk-ua/> (дата звернення:)

18. *Wi-Fi* або *Zigbee* – яка технологія краще для вашого дому? *ENGO Controls*. URL: <https://surl.li/birrfx> (дата звернення:)

19. *Zigbee vs Z-Wave vs WiFi LedyiLighting*. URL: <https://www.ledyilighting.com/uk/zigbee-vs-z-wave-vs-wifi/> (дата звернення:)

КРИВОРІЗЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ
ДЕРЖАВНОГО НЕКОМЕРЦІЙНОГО ПІДПРИСМСТВА
«ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»

РЕЦЕНЗІЯ
на кваліфікаційну роботу

випускника спеціальності: 123 «Комп'ютерна інженерія»

відділення: комп'ютерної та програмної інженерії

циклова комісія: комп'ютерних систем та мереж

Максим ЯЦЕНКО

(ім'я, прізвище)

1. Актуальність теми: тема кваліфікаційної роботи «Застосування технології PON в системах «розумний будинок» є актуальною та сучасною.
2. Кваліфікаційна робота відповідає темі, затвердженій наказом.
3. Завдання на виконання кваліфікаційної роботи виконано у повному обсязі.
4. У роботі послідовно розкриваються як теоретичні основи "розумного будинку" та PON-технологій, так і практичні питання їх інтеграції, вибору обладнання та оцінки вартості.
5. Матеріал викладено чітко, логічно та послідовно. Текст роботи добре структурований, мова викладу наукова, термінологія відповідає фаховій. Оформлення роботи відповідає встановленим вимогам.
6. До незначних недоліків роботи можна віднести недостатньо розгорнуті аргументи щодо вибору конкретних моделей обладнання.
7. Кваліфікаційна робота заслуговує оцінку «добре».

Рецензент _____ викладач вищої категорії
(науковий ступінь, посада)

« ____ » _____ 2025 р. _____
(підпис)

Світлана ДАЦЕНКО
(ім'я, прізвище)

З рецензією ознайомлений _____
(підпис)

Максим ЯЦЕНКО
(ім'я, прізвище)

КРИВОРІЗЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ
ДЕРЖАВНОГО НЕКОМЕРЦІЙНОГО ПІДПРИСМСТВА
«ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»

ВІДГУК
керівника кваліфікаційної роботи

випускника спеціальності: 123 «Комп'ютерна інженерія»

відділення: комп'ютерної та програмної інженерії

циклова комісія: комп'ютерних систем та мереж

Максим ЯЦЕНКО

(ім'я, прізвище)

1. Кваліфікаційна робота на тему: «Застосування технології PON в системах «розумний будинок».
2. Метою кваліфікаційної роботи є проєктування та обґрунтування архітектури системи «розумний будинок» з інтеграцією в інфраструктуру пасивних оптичних мереж (PON) та розрахунок орієнтовної вартості її реалізації.
3. Кваліфікаційна робота відповідає темі, затвердженій наказом начальника коледжу.
4. Кваліфікаційна робота виконана здобувачем освіти самостійно.
5. Максим ЯЦЕНКО продемонстрував здатність до самостійного пошуку інформації, аналізу даних, прийняття інженерних рішень та їх обґрунтування. Усі етапи роботи, від теоретичного дослідження до практичного розрахунку, виконані відповідально та з високим ступенем автономності.
6. Кваліфікаційна робота оформлена згідно з встановленими вимогами. Виклад матеріалу чіткий, послідовний. Рисунки та таблиці виконані якісно, ілюструють та доповнюють текстову частину. Мова викладу коректна, термінологія відповідає фаховій.
7. Рівень виконаної кваліфікаційної роботи заслуговує оцінку «відмінно», відповідає набутих випускником знань, умінь та навичок, вимогам освітньої характеристики фахівця і можливість присвоєння йому кваліфікації фахівця освітнього ступеня «Фаховий молодший бакалавр» спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія».

Керівник кваліфікаційної роботи

«09» 06 2025 р. Осадча Оксана ОСАДЧА
(підпис) (ім'я, прізвище)