

А.В. Морозов, к.т.н., доц.
С.М. Нікітчук, ст. викладач
Д.С. Морозов, ст. викладач
О.М. Гераймович, ст. викладач
М.В. Дзюба, аспірант

Державний університет «Житомирська політехніка»

Аналіз та шляхи оптимізації інфраструктури бездротових Mesh-мереж для систем «розумного будинку»

Статтю присвячено комплексному аналізу та оптимізації інфраструктури бездротових Mesh-мереж для систем «розумного будинку», що є актуальним завданням в умовах стрімкого розвитку Інтернету речей (IoT) та масового впровадження / домінування стандарту Matter.

Проаналізовано недоліки традиційних мережевих топологій та обґрунтовано доцільність використання Mesh-топології для забезпечення надійного зв'язку в багатокімнатних приміщеннях. Здійснено порівняльний огляд ключових Mesh-технологій (Zigbee, Z-Wave, Thread/Matter), висвітлено їхні переваги, апаратні обмеження вузлів мережі та виклики масштабування. Встановлено, що використання сучасних Mesh-мереж на базі відкритих, IP-сумісних стандартів (таких як Thread/Matter) є ключовим напрямком для побудови надійних та масштабованих систем «розумного будинку», здатних проактивно реагувати на загрози. Визначено перспективи подальших досліджень, зокрема впровадження Edge AI для інтелектуального аналізу подій на кінцевих пристроях.

Keywords: «розумний будинок»; бездротова Mesh-технологія; Mesh-мережа; Інтернет речей (IoT); бездротові мережі; енергоефективність.

Постановка проблеми. У контексті стрімкого розвитку технологій «розумного будинку» та масового впровадження стандарту Matter, критично важливим аспектом є забезпечення надійного та стабільного зв'язку між усіма пристроями. Традиційні мережеві топології, такі як «зірка», де кожен пристрій підключений безпосередньо до центрального маршрутизатора (характерно для Wi-Fi мереж), часто не можуть забезпечити повного покриття в багатокімнатних приміщеннях, залишаючи так звані «мертві зони». Якщо пристрій знаходиться занадто далеко від центрального маршрутизатора або між ними є фізичні перешкоди (стіни, меблі), зв'язок може бути нестабільним або повністю відсутнім, що призводить до втрати пакетів та зростання часу затримки (латентності). Це обумовлює нестабільну роботу системи та її низьку відмовостійкість. Вирішенням цієї проблеми є використання сучасних Mesh-мереж на базі відкритих IP-стандартів (таких як Matter-сумісний Thread), які надають новий рівень надійності, масштабованості та гнучкості для систем «розумного будинку».

Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори. Сучасний ринок «розумного будинку» характеризується переходом від закритих, пропріетарних екосистем до відкритих, сумісних рішень. Численні дослідження як зарубіжних, так і вітчизняних вчених присвячені різним аспектам цієї еволюції [1–8].

Зокрема, у роботах [9–12] детально розглянуто архітектурні переваги та способи впровадження Mesh-технологій (Zigbee, Z-Wave, Thread) у сферу «розумних систем» як критично важливих компонентів екосистеми Інтернету речей (IoT). Автори цих досліджень обґрунтовують доцільність використання Mesh-топології як домінуючого архітектурного рішення для енергоефективних сенсорних мереж, на відміну від топології «зірка», яка зберігає свою ефективність переважно у медіа-системах з високою пропускну здатністю.

Окремої уваги заслуговують дослідження, присвячені аналізу впливу уніфікованого протоколу Matter та транспортного протоколу Thread на подолання проблеми інтероперабельності та стандартизацію ринку IoT [13–15]. Дослідники підкреслюють, що використання відкритих, загальноприйнятих стандартів є ключем до створення масштабованих та безпечних систем.

Таким чином, дослідження та аналіз «розумного будинку» з використанням сучасних Mesh-технологій на базі відкритих, міжнародних стандартів (Matter over Thread) є надзвичайно актуальною задачею сьогодення, що підтверджується вектором розвитку всієї IoT-індустрії.

Викладення основного матеріалу. Mesh-мережа – це мережева топологія, в якій кожен пристрій (вузол) може динамічно формувати постійні або тимчасові з'єднання з кількома іншими вузлами. На відміну від «зірки», у Mesh-мережі пристрої можуть передавати дані один одному, діючи як ретранслятори (рис. 1). Це означає, що пристрій, який знаходиться далеко від центрального шлюзу, може передати свої дані до шлюзу через найближчий до нього вузол.

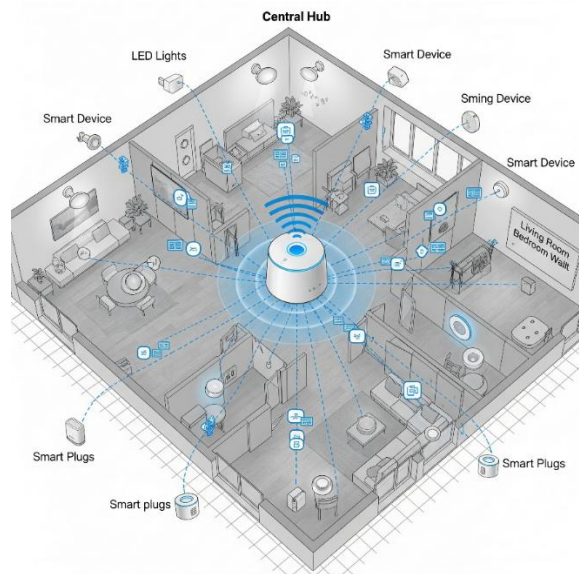


Рис. 1. Mesh-мережа в «розумному будинку»

На рисунку 1 показано, що сигнали від пристроїв (наприклад, датчика в дальній кімнаті) можуть передаватися не безпосередньо до центрального хабу, а через інші, ближчі пристрої (наприклад, розумні лампи). Це забезпечує розширене покриття та стабільну роботу системи по всьому будинку.

Станом на 2026 рік домінуючими технологіями для створення Mesh-мереж у «розумному будинку» є стандарти, що базуються на Matter, а також Zigbee та Z-Wave, які вже здобули популярність серед користувачів. Matter – це протокол прикладного рівня, який працює поверх транспортних протоколів. Ключовим транспортом для енергоефективних Mesh-пристроїв у рамках екосистеми Matter став Thread, що працює в парі з Wi-Fi (для пристроїв з живленням від мережі) [8, 9]. Вони були розроблені спеціально для пристроїв з низьким енергоспоживанням та великою кількістю вузлів. Також існують реалізації на базі Bluetooth Mesh та Wi-Fi Mesh. Наразі питання сумісності пристроїв від різних виробників значною мірою вирішене завдяки масовому впровадженню Matter.

Вибір технології для побудови Mesh-мережі залишається критичним етапом проектування системи «розумного будинку», і основні відмінності між ними полягають у балансі між енергоефективністю, пропускну здатністю та кількістю підтримуваних пристроїв. Узагальнені результати порівняльного аналізу ключових характеристик бездротових Mesh-технологій, актуальних для ринку «розумного будинку», представлено у таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняння технологій Mesh-мереж для «розумного будинку»

Критерій порівняння	Matter (over Thread/Wi-Fi)	Zigbee	Z-Wave	Bluetooth Mesh
Роль на ринку (2026 рік)	Домінуючий відкритий стандарт	Велика інсталювана база	Нішевий, надійний стандарт	Спеціалізований (освітлення, маяки)
Тип транспорту для Mesh	Thread (на основі IPv6)	Zigbee PRO (власний)	Z-Wave Mesh (власний)	Bluetooth Mesh (власний)
Нативна IPv6 підтримка	Так	Ні (через шлюз)	Ні (через шлюз)	Ні (через шлюз)
Сумісність	Максимальна (крос-платформна)	Висока (у межах Zigbee 3.0)	Дуже висока (сертифікація Z-Wave)	Середня / низька (залежить від виробника)
Пропускна здатність	250 Кбіт/с (Thread) / до Гбіт/с (Wi-Fi)	250 Кбіт/с	до 100 Кбіт/с	до 1 Мбіт/с (на фізичному рівні)
Енергоефективність	Дуже висока	Висока	Висока	Висока
Для доступу до TCP/IP мереж	Низька (не потрібне перетворення протоколів)	Висока (потрібен повний ретранслятор)	Висока (потрібен повний ретранслятор)	Середня

Аналіз, наведений в таблиці 1, свідчить про кардинальну зміну парадигми вибору технології порівняно з попередніми роками. Якщо раніше основними критеріями були пропускна здатність та енергоефективність на фізичному рівні (де Zigbee та Z-Wave демонструють схожі високі показники), то наразі ключовим фактором стає нативна сумісність та підтримка протоколу Matter. Як видно з даних таблиці 1, Matter, працюючи поверх транспорту Thread, дозволяє використовувати високий рівень крос-платформної сумісності та нативну підтримку IPv6, що спрощує архітектуру шлюзів та інтеграцію пристроїв у глобальну мережу.

Технології Zigbee та Z-Wave, незважаючи на наявність значної кількості старих пристроїв у користувачів, у 2026 році сприймаються як застарілі рішення. Це обумовлено необхідністю використання складних шлюзів для перетворення протоколів та нижчим рівнем сумісності пристроїв від різних виробників, що підтверджується порівнянням відповідних критеріїв у таблиці 1.

Окремо варто відзначити роль Bluetooth Mesh, яка, згідно з даними таблиці 1, зберігає свою ефективність у спеціалізованих застосуваннях, зокрема у системах розумного освітлення, завдяки поєднанню високої енергоефективності та достатньої пропускної здатності, хоча й поступається Matter у питаннях глобальної інтеграції.

Таким чином, дані таблиці 1 дозволяють зробити висновок, що для побудови сучасної та масштабованої системи «розумного будинку» найбільш обґрунтованим є вибір рішень, що базуються на екосистемі Matter (over Thread/Wi-Fi), тоді як використання інших технологій потребує додаткового обґрунтування технічною необхідністю.

Однак необхідно зазначити ряд апаратних обмежень обладнання, що змушують зменшувати реальну кількість вузлів у будь-якій Mesh-мережі:

1. Оперативна пам'ять координатора. Кожен вузол у мережі вимагає запису у таблиці маршрутизації центрального координатора, який визначає, через які вузли передається сигнал до конкретного датчика. У результаті чіпи з малою пам'яттю починають перевантажуватися вже при 100–150 вузлах (залежно від архітектури чіпа та типу використовуваної маршрутизації);

2. Обчислювальна потужність процесора. Mesh-мережі постійно займаються пошуком оптимальних шляхів передавання даних. При надходженні на обробку одночасно великої кількості запитів на передачу, процесор хаба має швидко відсортувати ці пакети та надіслати підтвердження. З урахуванням необхідності додаткового шифрування кожного повідомлення недостатня обчислювальна потужність процесора обумовлює затримку обробки запитів, що призводить до втрати пакетів вузлів по тайм-ауту;

3. Глибина стека та затримки. Кожен перехід сигналу через ретранслятор збільшує сумарну апаратну часову затримку на обробку пакетів даних між вузлами та хабом. Якщо ланцюг занадто довгий, то пакет даних може бути видалений системою як застарілий ще до того, як дійде до хаба. Ретранслятори мають обмежений буфер для зберігання чужих пакетів, тому вони просто скидають дані від інших пристроїв при великій кількості пакетів;

4. Пропускна здатність радіоканалу. Тільки один пристрій може передавати дані в конкретний момент часу на одній частоті. Якісне передавання цифрових даних забезпечується при мінімально необхідному значенні відношення сигнал / шум на вході демодулятора вузла мережі. Більша кількість одночасно працюючих передавачів створює вищий рівень фонового радіошуму. Тому при великій кількості вузлів можливе погіршення якості бездротового передавання даних для віддалених датчиків через збільшення рівня радіошуму. Передавання даних кожним вузлом супроводжується формуванням службових сигналів. У великих мережах службова інформація може займати до 50–70 % всього трафіку, зменшуючи обсяг корисної інформації.

Незважаючи на зазначені обмеження, в сучасних системах розумного будинку Thread (як основа Matter), ZigBee та Z-Wave залишаються лідерами для побудови сенсорних мереж завдяки їхній здатності працювати роками від однієї батарейки. Wi-Fi Mesh є незамінним у випадках, де потрібна велика пропускна здатність, наприклад, для інтелектуальних відеосистем, зокрема у контексті розпізнавання облич.

Отже, перевагами Mesh-мереж для «розумного будинку» є:

- розширення зони покриття, адже Mesh-мережа вирішує проблему «мертвих зон». Наприклад, сигнал від датчика температури в підвалі може пройти через «розумну» лампочку на кухні та камеру в коридорі, щоб дістатися до центрального шлюзу, як показано на рисунку 2;

- стійкість до збоїв – якщо один із пристроїв виходить з ладу, мережа автоматично знаходить альтернативний маршрут для передачі даних. Завдяки цій «самовідновлюваності» система залишається працездатною навіть при поломці окремих компонентів, а множинність зв'язків робить систему стійкою до радіоперешкод та фізичних перепон;

- енергоефективність – пристрої не завжди мають передавати дані на велику відстань, достатньо встановити з'єднання з сусіднім вузлом, що дозволяє використовувати менше енергії. Це особливо важливо для датчиків, які працюють від батарейок.

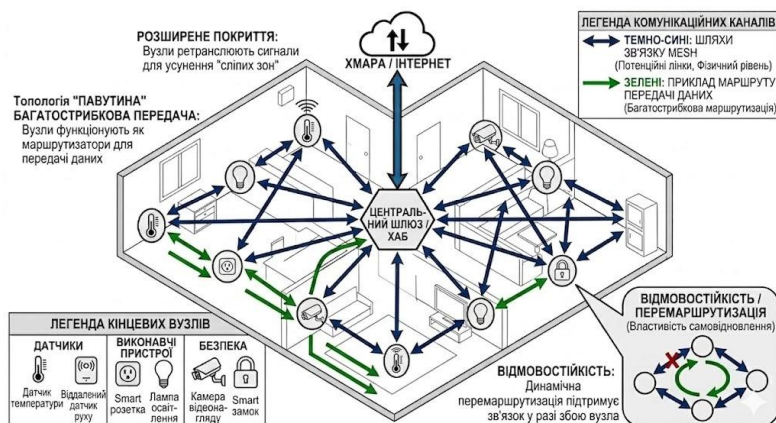


Рис. 2. Децентралізована схема Mesh-мережі

Приклад надійної передачі тривоги зображено на рисунку 3. У центрі системи знаходиться Центральний шлюз/Хаб, який виконує роль координатора мережі та забезпечує зв'язок із «Хмара/Інтернет». Датчик диму в дальній кімнаті виявляє загрозу – фіксує критичну зміну показників у своїй зоні. Датчик може бути недоступним для прямого зв'язку з центральним шлюзом через значну відстань або наявність фізичних перешкод (стіни, меблі). Оскільки прямий зв'язок з Хабом часто неможливий, пристрій передає сигнал не безпосередньо до контролера, а до найближчого вимикача. Замість спроби встановити з'єднання безпосередньо з контролером, пристрій передає пакет даних своєму найближчому сусіду (наприклад, розумному вимикачу). Кожен вузол у мережі є ретранслятором, що дозволяє пересилати дані від одного пристрою до іншого в напрямку до центрального шлюзу і назад.

Вимикач своєю чергою передає сигнал наступному пристрою, поки він не досягне контролера / центрального шлюзу. Це гарантує, що важливе сповіщення буде доставлено швидко та надійно, навіть якщо прямий зв'язок з пультом управління відсутній. Описаний процес базується на принципах децентралізованого управління та динамічної маршрутизації, які є основою роботи Mesh-мереж у системах «розумного будинку».

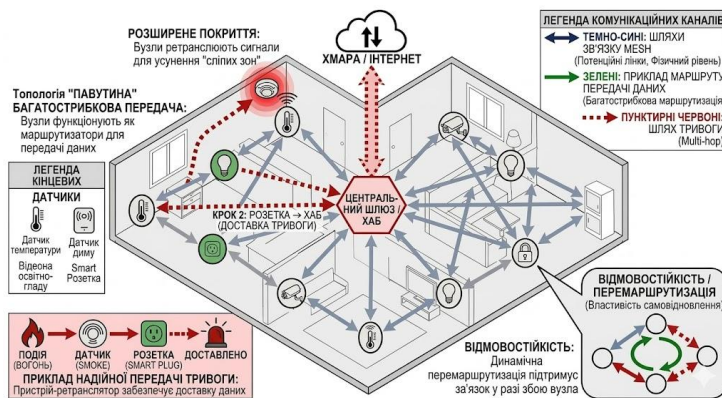


Рис. 3. Приклад децентралізованої схеми Mesh-мережі

Рисунок 3 ілюструє ключові функціональні можливості системи – багатострибкову передачу даних та відмовісткість / перемаршрутизацію. Цей підхід робить систему масштабованою та придатною для створення високонадійних систем безпеки (зокрема проведених досліджень у межах проекту WIDE AcrossEU).

Незважаючи на значні переваги технології, Mesh-мережі мають деякі питання, що потребують подальшого вдосконалення:

- створення та масштабування великої Mesh-мережі може вимагати ретельного планування та конфігурації;
- хоча існують стандартні технології, в сучасних системах розумного будинку головний виклик попередніх років – інтероперабельність – значною мірою подолано завдяки впровадженню протоколу Matter. Масове прийняття Matter дозволяє пристроям різних виробників нативно взаємодіяти між собою, усуваючи необхідність у розробці складних спеціалізованих шлюзів для конвертації протоколів прикладного рівня;

- у великих мережах з великою кількістю з'єднань можуть виникати невеликі затримки, що, хоч і не критично для більшості застосунків, може бути проблемою для систем, які вимагають миттєвої реакції.

У процесі виконання дослідження технології штучного інтелекту використовувались як допоміжний інструмент візуалізації для кращого представлення окремих розроблених схем за власним описом.

Формування наукових положень, постановка мети і завдань дослідження, проведення експериментів, обробка результатів та формулювання висновків виконані авторами самостійно. Технології штучного інтелекту не використовувались для генерування тексту чи формулювання результатів.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Використання Mesh-мереж є ключовим напрямком у розвитку «розумного будинку». Вони забезпечують не тільки розширення зони покриття, а й підвищують надійність та стійкість усієї системи.

Подальший розвиток запропонованої системи контролю «розумним будинком», зокрема на базі розроблених радіомодулів, буде зосереджений на впровадженні інтелектуальних алгоритмів децентралізованого управління. Основними напрямами досліджень є:

- розробка адаптивної багатострибкової маршрутизації: впровадження логіки, за якої вузол мережі (наприклад, датчик диму) за відсутності прямого зв'язку з центральним хабом автоматично обирає оптимальний шлях через найближчі ретранслятори (розумні вимикачі або розетки). Це дозволить гарантувати доставку критичних сповіщень у реальному часі навіть у складних гетерогенних середовищах;

- впровадження механізмів «самовідновлення»: створення алгоритмів, що дозволяють мережі динамічно перенаправляти потоки даних у разі виходу з ладу окремих вузлів, забезпечуючи високу відмовостійкість системи;

- мінімізація затримок у розгалужених мережах: оптимізація кількості «стрибків» та пріоритизація трафіку для систем безпеки, що вимагають миттєвої реакції;

- підвищення енергоефективності: розробка протоколів, які мінімізують витрати енергії на підтримку Mesh-зв'язку, що є критично важливим для автономних датчиків, які працюють від батарейок;

- інтеграція Edge AI для проактивного захисту: використання інтелектуальних алгоритмів безпосередньо на кінцевих пристроях для первинного аналізу подій та зменшення навантаження на мережу.

Впровадження цих рішень дозволить трансформувати пасивну систему моніторингу в активний інтелектуальний комплекс, здатний проактивно реагувати на загрози та забезпечувати максимальний рівень комфорту та безпеки мешканців.

The paper « Analysis and ways to optimize the infrastructure of wireless Mesh networks for smart home systems » has been developed within the framework of the project «Widen performance in research and innovation capacity and competence Across EU» / «WIDE AcrossEU» 101 158 561 Horizon Europe program. Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the authors only and do not necessarily reflect those of the European Union or European Research Executive Agency. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.



Список використаної літератури:

1. *Sovacool B.K.* Smart home technologies in Europe: A critical review of concepts, benefits, risks and policies / *B.K. Sovacool, D.D.F. Del Rio* // Renewable and sustainable energy reviews. – 2020. – Vol. 120. – P.109663 [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119308688>.
2. Prototype design of smart home systems using internet of things / *T.S. Gunawan, I.R.H. Yaldi, M.Kartiwi and other* // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. – 2017. – Vol. 7, № 1. – P. 107–115 [Electronic resource]. – Access mode : https://www.researchgate.net/profile/TeddyGunawan/publication/319345708_Prototype_Design_of_Smart_Home_System_using_Internet_of_Things/links/5a7e3eaeaca272a73765cd3a/Prototype-Design-of-Smart-Home-System-usingInternet-of-Things.pdf.
3. Можливості та переваги українського ринку технологій «розумний будинок» / *Ю.Рябчун, Д.Середа, В.Кохан, О.Доля* // Управління розвитком складних систем. – 2023. – № 56. – С. 181–187. DOI: 10.32347/2412-9933.2023.56.181-187.
4. *Строкань О.* Система управління «розумний будинок» на основі технології Internet of Things / *О.Строкань, С.Назаров* // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія : Нові рішення у сучасних технологіях. – 2022. – № 2 (12). – С. 42–47. DOI: 10.20998/2413-4295.2022.02.06.
5. Інтернет речей та охоронні системи / *О.Л. Коренівська, О.В. Коротун, Т.М. Нікітчук, В.П. Манойлов* // Інформаційно-комп'ютерні технології : тези XIII Міжнар. наук.-техн. конф., 30–31 березня. – Житомир : Житомирська політехніка, 2023. – С. 129–130 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://conf.ztu.edu.ua/>.
6. Integration of video systems and access control systems based on intelligent computer-integrated technologies in a «smart home» / *O.Geraymovych, M.Dzyuba, O.Voznyi and other* // Science and technology: challenges, prospects and innovations : proceedings of the 13th International scientific and practical conference, 14–16 August. – Osaka, Japan : CPN Publishing Group, 2025. – P. 54–58 [Electronic resource]. – Access mode : <https://sci-conf.com.ua/xiii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiyascience-and-technology-challenges-prospects-and-innovations-14-16-08-2025-osakayaponiya-arhiv/>.

7. Research and implementation of Mesh networks in «smart home» systems / *S.Nikitchuk, O.Geraymovych, V.Matsiievskiy and other* // Science and technology: challenges, prospects and innovations : proceedings of the 13th International scientific and practical conference, 14–16 August. – Osaka, Japan : CPN Publishing Group, 2025. – P. 83–88 [Electronic resource]. – Access mode : <https://sci-conf.com.ua/xiii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiyascience-and-technology-challenges-prospects-and-innovations-14-16-08-2025-osakayaponiya-arhiv/>.
8. Краші системи «Розумний будинок» по виробниках 2023 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://vencon.ua/ua/articles/rejting-sistem-umnyy-dom-po-proizvoditelyam>.
9. *Akyildiz I.F.* Wireless Mesh Networks / *I.F. Akyildiz, X.Wang*. – Wiley, 2009. DOI: 10.1002/9780470059616.
10. *Farahani B.* ZigBee Wireless Networks and Transceivers / *B.Farahani*. – Newnes [Electronic resource]. – Access mode : <https://10.1016/B978-0-7506-8393-7.X0001-5>.
11. *Джусь О.* Аналіз стану та проблем функціонування безпроводових AD HOC та MESH мереж / *О.Джусь, М.Лобур* // Кібербезпека: освіта, наука, техніка. – Т. 2, № (30). – С. 727–751. DOI: 10.28925/2663-4023.2025.30.914.
12. *Хажанець Ю.* Класифікація протоколів маршрутизації Mesh-мереж / *Ю.Хажанець, О.Білоус* // Повітряна міць України. – Т. 1, № (6). – С. 56–62. DOI: 10.33099/2786-7714-2024-1-6-56-62.
13. *Зоря Р.І.* Дослідження протоколів та стандартів IoT / *Р.І. Зоря, О.В. Іванчук, В.М. Козел* // Сучасні комп'ютерні системи та мережі в управлінні : матеріали VI Всеукраїнської наук.-практ. Інтернет-конф. здобувачів вищої освіти та молодих вчених, 30 листопада, м. Хмельницький, Херсон / за ред. А.А. Григорової. – Херсон : ФОП Вишемирський В.С., 2023. – С. 173–174.
14. *Іванчук О.В.* Дослідження моделей та методів оптимізації енерговитрат систем Інтернету речей : дис. ... д-ра філософії : 126 / *О.В. Іванчук*. – Хмельницький : ХНТУ, 2025. – 137 с.
15. *Salman T.* Огляд архітектур, технологій та існуючих проєктів з відкритим кодом для IoT / *T.Salman, R.Jain* // arXiv. – 2017 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/1711.11119>.

References:

1. Sovacool, B.K. and Del Rio, D.D.F. (2020), «Smart home technologies in Europe: A critical review of concepts, benefits, risks and policies», *Renewable and sustainable energy reviews*, Vol. 120, 109663 p., [Online], available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119308688>
2. Gunawan, T.S., Yaldi, I.R.H., Kartiwi, M. et al. (2017), «Prototype design of smart home systems using internet of things», *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, Vol. 7, No. 1, pp. 107–115, [Online], available at: https://www.researchgate.net/profile/TeddyGunawan/publication/319345708_Prototype_Design_of_Smart_Home_System_using_Internet_of_Things/links/5a7e3eaeaca272a73765cd3a/Prototype-Design-of-Smart-Home-System-usingInternet-of-Things.pdf
3. Riabchun, Yu., Sereda, D., Kokhan, V. and Dolia, O. (2023), «Mozhlyvosti ta perevahy ukrainskoho rynku tekhnologii “rozumnyi budynok”», *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*, No. 56, pp. 181–187, doi: 10.32347/2412-9933.2023.56.181-187.
4. Stokan, O. and Nazarov, Ye. (2022), «Systema upravlinnia “rozumnyi budynok” na osnovi tekhnologii Internet of Things», *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. Seriya. Novi rishennia u suchasnykh tekhnolohiiakh, No. 2 (12), pp. 42–47, doi: 10.20998/2413-4295.2022.02.06.
5. Korenivska, O.L., Korotun, O.V., Nikitchuk, T.M. and Manoilov, V.P. (2023), «Internet rechei ta okhoronni systemy», *Informatsiino-kompiuterni tekhnolohii, tezy KhIII Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii*, 30–31 bereznia, Zhytomyrska politekhnika, Zhytomyr, pp. 129–130, [Online], available at: <https://conf.ztu.edu.ua/>
6. Geraymovych, O., Dzyuba, M., Voznyi, O. et al. (2025), *Integration of video systems and access control systems based on intelligent computer-integrated technologies in a «smart home»*, in *Science and technology: challenges, prospects and innovations : proceedings of the 13th International scientific and practical conference*, 14–16 August, CPN Publishing Group, Osaka, Japan, pp. 54–58, [Online], available at: <https://sci-conf.com.ua/xiii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiyascience-and-technology-challenges-prospects-and-innovations-14-16-08-2025-osakayaponiya-arhiv/>
7. Nikitchuk, S., Geraymovych, O., Matsiievskiy, V. et al. (2025), *Research and implementation of Mesh networks in «smart home» systems*, in *Science and technology: challenges, prospects and innovations : proceedings of the 13th International scientific and practical conference*, 14–16 August, CPN Publishing Group, Osaka, Japan, pp. 83–88, [Online], available at: <https://sci-conf.com.ua/xiii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiyascience-and-technology-challenges-prospects-and-innovations-14-16-08-2025-osakayaponiya-arhiv/>
8. *Krashchi systemy «Rozumnyi budynok» po vyrobnykakh 2023 roku*, [Online], available at: <https://vencon.ua/ua/articles/rejting-sistem-umnyy-dom-po-proizvoditelyam>
9. Akyildiz, I.F. and Wang, X. (2009), *Wireless Mesh Networks*, Wiley, doi: 10.1002/9780470059616.
10. Farahani, B., *ZigBee Wireless Networks and Transceivers*, Newnes, [Online], available at: <https://10.1016/B978-0-7506-8393-7.X0001-5>
11. Dzhus, O. and Lobur, M., «Analiz stanu ta problem funktsionuvannia bezprovodovykh AD HOC ta MESH мереж», *Kiberbezpeka: osvita, nauka, tekhnika*, Vol. 2, No. (30), pp. 727–751, doi: 10.28925/2663-4023.2025.30.914.
12. Khazhanets, Yu. and Bilous, O., *Klasyfikatsiia protokoliv marshrutyatsii Mesh-meresh*, Povitriana mits Ukrainy, Vol. 1, No. (6), pp. 56–62, doi: 10.33099/2786-7714-2024-1-6-56-62.
13. Zoria, R.I., Ivanchuk, O.V. and Kozel, V.M. (2023), *Doslidzhennia protokoliv ta standartiv IoT*, in Hryhorovoi, A.A. (ed.), *Suchasni kompiuterni systemy ta merezhi v upravlinni, materialy VI Vseukrainskoi nauk.-prakt. Internet-konf. zdobuvachiv vyshchoi osvity ta molodykh vchenykh*, 30 lystopada, m. Khmelnytskyi, Kherson, FOP Vyshemyrskiy, V.S., pp. 173–174.
14. Ivanchuk, O.V. (2025), *Doslidzhennia modelei ta metodiv optymizatsii enerhovytrat system Internetu rechei*, Abstract of the dissertation PhD thesis, 126, KhNTU, Khmelnytskyi, 137 p.
15. Salman, T. and Jain, R. (2017), «Ohliad arkhitektur, tekhnolohii ta isnuuychkh proiektiv z vidkrytym kodom dlia IoT», *arXiv*, [Online], available at: <https://arxiv.org/abs/1711.11119>

Морозов Андрій Васильович – кандидат технічних наук, доцент, проректор з науково-педагогічної роботи Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0003-3167-0683>.

Наукові інтереси:

- комбінаторна оптимізація;
- інформаційні технології.

E-mail: morozov@ztu.edu.ua.

Нікітчук Сергій Миколайович – старший викладач Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0009-0004-4125-0249>.

Наукові інтереси:

- IoT-системи;
- системи відеосигналізації, відеонагляду та контролю доступу.

E-mail: knbrui_a_nsm@ztu.edu.ua.

Морозов Дмитро Сергійович – старший викладач Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0002-0807-590X>.

Наукові інтереси:

- бездротові мережі;
- антенні системи.

Гераймович Олександр Миколайович – старший викладач Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0009-0004-5881-5592>.

Наукові інтереси:

- IoT-системи;
- системи відеосигналізації, відеонагляду та контролю доступу.

E-mail: kktumtt_gom@ztu.edu.ua.

Дзюба Микола Володимирович – старший викладач Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0009-0006-5208-9125>.

Наукові інтереси:

- системи відеосигналізації, відеонагляду та контролю доступу

E-mail: phd172232_dmv@student.ztu.edu.ua.

Morozov A.V., Nikitchuk S.M., Morozov D.S., Heraymovych O.M., Dziuba M.V.

Analysis and ways to optimize the infrastructure of wireless Mesh networks for smart home systems

The article is devoted to the comprehensive analysis and optimization of the infrastructure of wireless Mesh networks for «smart home» systems, which is a relevant task in the context of the rapid development of the Internet of Things (IoT) and the mass implementation/domination of the Matter standard.

The shortcomings of traditional network topologies are analyzed and the feasibility of using Mesh topology to ensure reliable communication in multi-room premises is substantiated. A comparative review of key Mesh technologies (Zigbee, Z-Wave, Thread/Matter) is carried out, their advantages, hardware limitations of network nodes and scaling challenges are highlighted. It is established that the use of modern Mesh networks based on open, IP-compatible standards (such as Thread/Matter) is a key direction for building reliable and scalable «smart home» systems capable of proactively responding to threats. Prospects for further research are identified, in particular, the implementation of Edge AI for intelligent analysis of events on end devices.

Keywords: smart home; wireless Mesh technology; Mesh network; Internet of Things (IoT); wireless networks; energy efficiency.

Стаття надійшла до редакції 14.01.2026.