

Ніщенко Дмитро Олександрович

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ

Центральноукраїнський державний університет, Кропивницький

ORCID 0009-0006-1781-4109

Аронов Андрій Олексійович

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ

ORCID 0009-0000-7868-8341

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИК ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РОЗУМНИМ БУДИНКОМ З ВИКОРИСТАННЯМ ІОТ

Анотація. Розвиток Інтернет речей (IoT) значно трансформує підходи до управління житловими умовами, дозволяючи інтегрувати пристрої для моніторингу енергоспоживання, кліматичних параметрів та забезпечення безпеки. Проте зростання складності IoT-систем породжує нові виклики, зокрема, необхідність адаптивного управління, сумісності пристроїв та ефективної оптимізації ресурсів.

У рамках дослідження охарактеризовано поняття розумного будинку як інтегрованої системи, що базується на комбінації сенсорів, виконавчих пристроїв, централізованих систем управління та комунікаційних протоколів (MQTT, Zigbee, Z-Wave). Розглянуто методи прогнозування енергоспоживання, включаючи машинне навчання, нейронні мережі та статистичні моделі. Проаналізовано алгоритми оптимізації, такі як генетичні алгоритми та методи нечіткої логіки, що дозволяють забезпечити зниження енергоспоживання та підвищення комфорту. Особливу увагу приділено вбудованим операційним системам (FreeRTOS, RIOT OS, Zephyr OS), їх перевагам та недолікам у контексті енергозбереження, безпеки та підтримки мережевих протоколів.

Розглянуто проблеми інтеграції IoT-платформ, включаючи різноманіття протоколів та відсутність єдиних стандартів, що ускладнює взаємодію між пристроями різних виробників. Визначено, що найбільш перспективним для подальшого дослідження є використання Zephyr OS як універсальної платформи для розумних будинків завдяки її гнучкості, енергоефективності та підтримці ключових IoT-протоколів.

У висновках сформульовано пропозиції для подальших досліджень, зокрема вдосконалення методик прогнозування енергоспоживання, розробки алгоритмів оптимізації управління та створення уніфікованих інформаційних технологій для інтеграції IoT-пристроїв у єдину систему. Результати дослідження підкреслюють важливість удосконалення існуючих технологій для забезпечення енергоефективності, адаптивності та безпеки розумних будинків.

Ключові слова: Інтернет речей, розумний будинок, алгоритми прогнозування, генетичний алгоритм, вбудовані операційні системи, протоколи IoT.

Nishchemenko Dmytro

State university of information and communication technologies, Kyiv

Central Ukrainian State University, Kropyvnytskyi

ORCID: 0009-0006-1781-4109

Aronov Andrii

State university of information and communication technologies, Kyiv

ORCID: 0009-0000-7868-8341

RESEARCH OF METHODS FOR OPTIMIZATION OF SMART HOME CONTROL SYSTEM PARAMETERS USING IOT

Abstract. *The development of the Internet of Things (IoT) significantly transforms approaches to managing living conditions, enabling the integration of devices for monitoring energy consumption, climate parameters, and security. However, the increasing complexity of IoT systems poses new challenges, including the need for adaptive management, device compatibility, and efficient resource optimization.*

This study characterizes the concept of a smart home as an integrated system based on a combination of sensors, actuators, centralized management systems, and communication protocols (MQTT, Zigbee, Z-Wave). Methods for energy consumption forecasting, including machine learning, neural networks, and statistical models, are examined. Optimization algorithms, such as genetic algorithms and fuzzy logic methods, are analyzed for their potential to reduce energy consumption and enhance comfort. Special attention is given to embedded operating systems (FreeRTOS, RIOT OS, Zephyr OS), highlighting their advantages and disadvantages in terms of energy efficiency, security, and support for network protocols.

The study explores issues related to IoT platform integration, such as the diversity of protocols and the lack of unified standards, which complicate interoperability between devices from different manufacturers. Zephyr OS is identified as the most promising platform for further research due to its flexibility, energy efficiency, and support for key IoT protocols.

The conclusions outline proposals for future research, including improving energy consumption forecasting methods, developing optimization algorithms for smart home management, and creating unified information technologies for integrating IoT devices into a cohesive system. The findings emphasize the importance of advancing existing technologies to ensure the energy efficiency, adaptability, and security of smart homes.

Keywords: *Internet of Things, smart home, forecasting algorithms, genetic algorithm, embedded operating systems, IoT protocols.*

1. Вступ. Розвиток технологій Інтернету речей (IoT) значно трансформує підходи до управління різними системами, зокрема в контексті розумних будинків. Застосування IoT дозволяє інтегрувати численні пристрої для моніторингу енергоспоживання, кліматичних умов, безпеки та інших аспектів життя, що сприяє підвищенню ефективності використання ресурсів і комфортності проживання. Однак, з розвитком таких систем виникають нові виклики, пов'язані з необхідністю оптимізації керування системами для забезпечення ефективної роботи при зростаючій складності мережі підключених пристроїв.

Тема оптимізації управління розумним будинком є важливими, оскільки може значно знизити енергетичні витрати, покращити адаптивність систем до змінюваних умов і забезпечити високу надійність функціонування таких комплексів. У зв'язку з цим, розробка ефективних технологій для оптимізації систем розумних будинків стає важливим завданням, яке дозволяє максимізувати вигоди від використання IoT в енергозбереженні, забезпеченні безпеки та комфорту.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми. Розумні будинки, як одна з ключових сфер застосування технологій Інтернету речей (IoT), привертають значну увагу дослідників завдяки своєму потенціалу для підвищення ефективності енергоспоживання, комфорту та безпеки. У науковій літературі висвітлено різні підходи до автоматизації управління енергоресурсами, включаючи використання датчиків для моніторингу, алгоритмів прогнозування енергоспоживання та адаптивного управління системами освітлення, клімату та інших критичних підсистем [1, 2]. Значна увага приділяється використанню алгоритмів, таких як генетичні алгоритми, методи нечіткої логіки та пропорційно-інтегрально-диференціальні контролери, які забезпечують енергозбереження через інтеграцію в системи керування будинком [3].

Водночас літературні джерела відзначають низку проблем, які залишаються актуальними. Зокрема, управління енергоспоживанням часто є недостатньо адаптивним до змінюваних умов, таких як поведінка мешканців, погодні умови чи час доби. Це призводить до надмірного використання енергоресурсів або недостатньої ефективності роботи систем. Прогнозування енергоспоживання залишається складним завданням через багатofакторність, яка включає варіативність використання пристроїв, їх інтеграцію в

загальну мережу та обмеження обчислювальних ресурсів.

Іншою важливою проблемою є різноманіття платформ і протоколів, які використовуються для інтеграції пристроїв у розумному будинку. Відсутність єдиних стандартів ускладнює взаємодію між пристроями різних виробників, що знижує загальну ефективність та зручність управління [4]. Це також породжує виклики у створенні універсальних методологій для автоматизації та оптимізації роботи систем розумного будинку.

Вищезгадані аспекти вказують на необхідність розробки нових методологій управління розумними будинками, які базуватимуться на інтеграції IoT-технологій, прогнозуванні енергоспоживання та забезпеченні високої адаптивності систем.

3. Мета і задачі дослідження. Метою даного дослідження є огляд та аналіз сучасних методів і технологій оптимізації управління розумними будинками на основі IoT. Це дозволить оцінити ефективність існуючих підходів, визначити їх переваги, недоліки та перспективи подальшого розвитку для вирішення проблем.

Для досягнення мети поставлено такі завдання:

- Провести аналіз літературних джерел щодо методів прогнозування та оптимізації енергоспоживання в розумних будинках.
- Дослідити сучасні технології інтеграції IoT-платформ, їх сумісність і проблеми стандартизації.
- Виявити ключові виклики, що впливають на ефективність управління розумними будинками, та запропонувати напрямки їх вирішення.

4. Результати дослідження. Розвиток технологій автоматизації житлових приміщень привів до появи концепції розумного будинку, який поєднує різні цифрові рішення для підвищення комфорту, енергоефективності та безпеки. Така система функціонує як частина екосистеми Інтернету речей (IoT), що забезпечує взаємодію між пристроями та їхню безперебійну роботу. В її основі лежать сенсори, пристрої керування, а також системи моніторингу та обробки даних, які дозволяють як автоматичне, так і ручне регулювання параметрів середовища, зокрема освітлення, температури та рівня безпеки [5].

Тісний зв'язок між розумним будинком та Інтернетом речей обумовлений здатністю підключених пристроїв передавати, аналізувати та обмінюватися інформацією у реальному часі [6]. Завдяки цьому формується розподілена система, що включає такі елементи, як термостати, датчики руху, камери відеоспостереження та освітлювальні прилади. Взаємодія цих компонентів здійснюється за допомогою спеціалізованих протоколів зв'язку, що забезпечують узгоджену роботу пристроїв та дозволяють будинку адаптуватися до змін у навколишньому середовищі.

Функціонування розумного будинку базується на трьох ключових складових: сенсорах і виконавчих пристроях, комунікаційних платформах та централізованій системі управління. Основне завдання сенсорів полягає у зборі даних про стан середовища, зокрема температури, вологості, рівня освітлення та руху. Отримана інформація передається виконавчим пристроям, які реагують на зміну параметрів, наприклад, регулюють освітлення або підтримують оптимальний мікроклімат у приміщенні.

Забезпечення ефективної взаємодії між усіма компонентами системи відбувається завдяки використанню різних протоколів зв'язку, серед яких Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave та Bluetooth. Ці технології гарантують безперебійну передачу даних, що є необхідною умовою для стабільної та адаптивної роботи розумного будинку. Таким чином, інтеграція сучасних комунікаційних рішень разом із сенсорними технологіями та виконавчими механізмами дозволяє створювати автоматизовані системи, які не лише покращують якість життя мешканців, а й сприяють раціональному використанню енергоресурсів.

В інфраструктурі розумного будинку для забезпечення взаємодії між різними

пристроями та системами застосовується централізована система управління (Hub). В ході роботи Hub збирає та обробляє дані від сенсорів, передає команди виконавчим пристроям, надає інтерфейс для взаємодії користувача з системою через мобільні додатки або голосових помічників.

Керування та оптимізація енергоспоживання в сучасних системах є ключовими завданнями, що забезпечують їхню ефективність та екологічну стійкість. Одним із підходів до розв'язання цієї проблеми є використання алгоритмів прогнозування енергоспоживання, які базуються на методах машинного навчання та статистичного аналізу [7]. Вони дозволяють визначати майбутні потреби в ресурсах, спираючись на історичні дані, що сприяє більш раціональному використанню енергії.

Доповненням до прогнозних методів є адаптивні системи управління, здатні змінювати свої параметри відповідно до динамічних умов експлуатації [8]. Такі системи враховують різноманітні фактори, зокрема поведінку користувачів, погодні умови та час доби, що дозволяє автоматично регулювати енергоспоживання відповідно до реальних потреб.

Ще одним ефективним підходом є застосування методів оптимізації, зокрема генетичних алгоритмів, методів нечіткої логіки та ПІД-регуляторів [9]. Вони забезпечують автоматичне налаштування параметрів систем таким чином, щоб мінімізувати витрати енергії без втрати продуктивності. Комплексне поєднання цих підходів дає змогу створювати високоефективні системи управління енергоспоживанням, які адаптуються до мінливих умов та забезпечують сталий розвиток енергетичних технологій.

Схема роботи системи розумного будинку виглядає наступним чином та показана на рис. 1. Сенсори збирають дані (температура, вологість, рівень освітлення) і передають їх до хаба. Хаб аналізує отриману інформацію за допомогою алгоритмів прогнозування та оптимізації. На основі аналізу хаб автоматично коригує параметри роботи системи, наприклад, включає або вимикає освітлення чи регулює температуру в приміщенні. Користувач може втручатися в процес через інтерфейс (додаток або голосовий помічник), змінюючи налаштування або отримуючи звіти про стан системи.

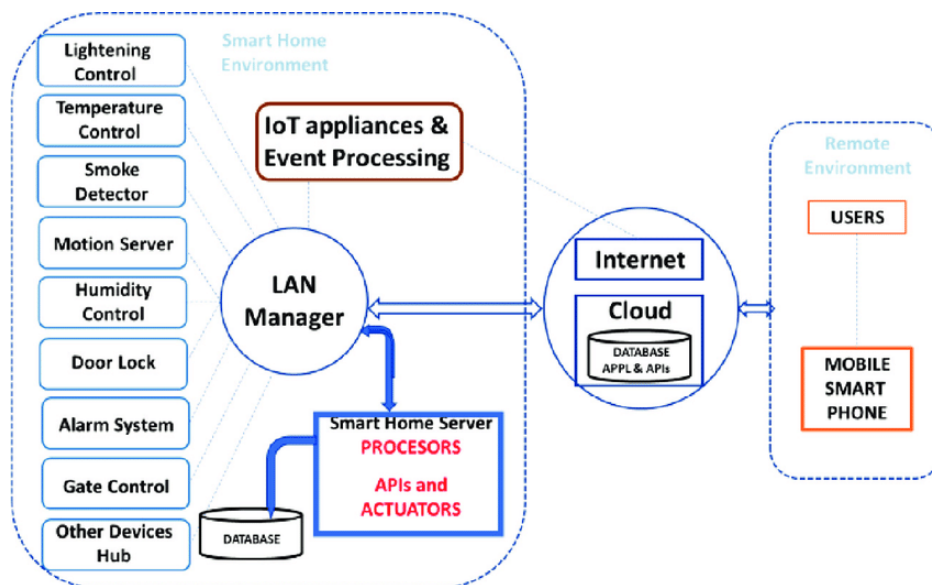


Рис. 1. Схема роботи системи розумного будинку у житловому будинку [5]

Таким чином, інтеграція IoT-технологій у розумні будинки дозволяє автоматизувати управління ресурсами та підвищити ефективність їх використання, що особливо важливо для забезпечення енергозбереження та підвищення комфортності проживання.

4.1. Методи прогнозування енергоспоживання.

Прогнозування енергоспоживання в розумних будинках є складним завданням, яке

включає використання різноманітних методів, таких як машинне навчання, нейронні мережі та статистичні моделі. Ці методи дозволяють моделювати споживання енергії на основі даних, зібраних сенсорами, і робити прогнози про майбутнє споживання.

Алгоритми машинного навчання, зокрема методи класифікації та регресії, використовуються для виявлення складних патернів в енергоспоживанні [10]. Зазвичай застосовуються методи як-от підтримка векторних машин (SVM), дерева рішень, та ансамблеві методи. Наприклад, методи регресії можуть бути використані для прогнозування точного рівня енергоспоживання на основі вхідних змінних, таких як час доби, погодні умови чи рівень використання електричних пристроїв.

Глибокі нейронні мережі, зокрема рекурентні нейронні мережі (RNN) та довготривалі короткочасні пам'яті (LSTM), застосовуються для моделювання часових рядів, що дозволяє точніше прогнозувати енергоспоживання, враховуючи складні та динамічні фактори, такі як зміна поведінки користувачів або погодні умови. Ці моделі можуть навчатися на великому обсязі даних, що робить їх дуже ефективними для складних прогнозів.

Традиційні статистичні методи, такі як авторегресивні моделі (ARIMA), також використовуються для прогнозування енергоспоживання. Вони засновані на аналізі історичних даних і можуть бути ефективними, якщо є достатньо історії енергоспоживання для побудови моделі. Однак ці моделі часто менш ефективні в умовах, коли система має динамічні зміни в режимі роботи.

Моделі машинного навчання, особливо нейронні мережі, мають вищу точність при прогнозуванні енергоспоживання в умовах складних, нелінійних взаємозв'язків між змінними, оскільки можуть враховувати більше факторів і обробляти велику кількість даних. Однак вони вимагають значних обчислювальних ресурсів для навчання і можуть бути складними у використанні. Статистичні моделі, з іншого боку, можуть бути менш точними, але вони мають перевагу в простоті та швидкості обчислень.

Методи очищення даних є важливою частиною процесу підготовки даних для прогнозування енергоспоживання, оскільки дані, зібрані з різних сенсорів і пристроїв розумного будинку, можуть містити помилки, шуми або пропуски. Очищення даних покращує якість моделей і забезпечує точніші прогнози.

Пропуски у даних можуть виникнути через неполадки сенсорів або тимчасову відсутність зв'язку. Для заповнення пропусків використовують методи інтерполяції (лінійна або поліноміальна), заповнення середнім значенням або використання статистичних методів, таких як регресія чи k -найближчих сусідів (k -NN) для прогнозування відсутніх значень на основі інших параметрів.

Шум у даних може виникнути через випадкові сплески або помилки в сенсорах. Для його зменшення застосовуються різноманітні методи згладжування, такі як рухоме середнє (moving average) або методи фільтрації, наприклад, фільтр Калмана, який ефективно вирівнює дані, зменшуючи вплив шуму на результати.

Аномалії або незвичайні значення можуть бути результатом помилок у вимірюваннях або відхилення від нормальних умов експлуатації. Для їх виявлення використовують алгоритми машинного навчання, такі як методи класифікації або статистичні підходи, що дозволяють ідентифікувати дані, які суттєво відрізняються від загальної тенденції.

Для коректного порівняння значень з різних джерел (сенсорів, пристроїв) здійснюється нормалізація або стандартизація, що дозволяє привести всі дані до єдиного масштабу. Це важливо для алгоритмів машинного навчання, які чутливі до масштабів змінних.

Аналіз даних Управління енергетичної інформації США (EIA) щодо погодинного попиту, зібраних від балансуєчих органів (BAs), дозволяє оцінити динаміку споживання електроенергії на рівні міст. Це охоплює промисловий, транспортний, будівельний та сільськогосподарський сектори як у міських, так і в прилеглих сільських районах.

Як показано на рис. 2, сезонні відмінності у споживанні електроенергії є суттєвими. Влітку пік навантаження припадає на 18:00, тоді як у решту сезонів крива навантаження

залишається більш рівномірною. Найбільша різниця між робочими та вихідними днями спостерігається у години пік, тоді як у нічний час вона мінімальна. У столичному районі Сакраменто влітку зафіксоване найбільше відношення пікового до базового навантаження, тоді як у Нью-Йорку найбільші коливання між робочими та вихідними днями.

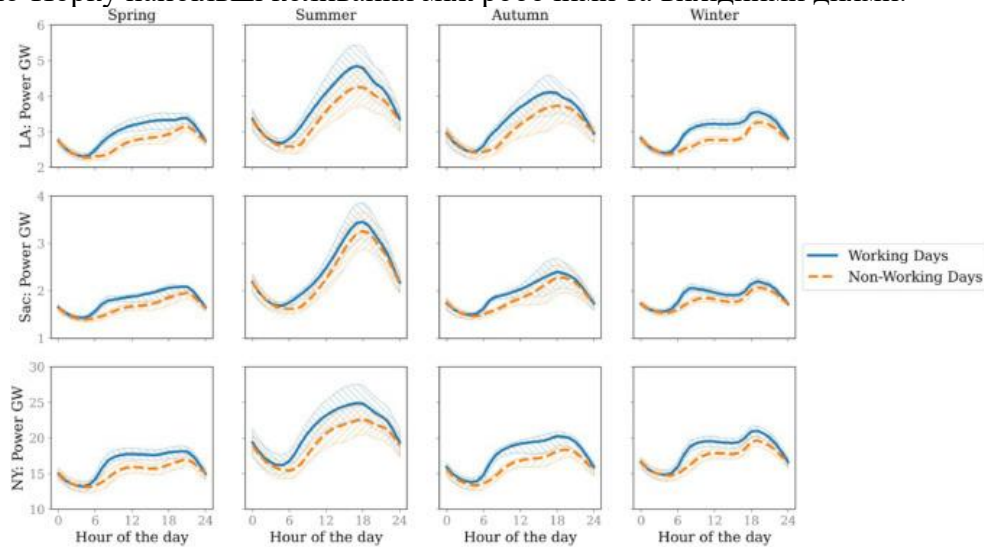


Рис. 2. Погодинне споживання електроенергії у чотири сезони [11]

Оскільки енергоспоживання часто має сезонні коливання або циклічні тренди, важливо застосовувати методи обробки таких компонентів у даних, щоб виокремити реальні зміни у споживанні енергії. Для цього можуть використовуватися сезонні декомпозиції, усунення трендових складових, методи нормалізації даних, що дозволяють коректніше аналізувати динаміку енергоспоживання.

4.2. Технології оптимізації управління енергоресурсами.

Оптимізація управління енергоресурсами в розумних будинках є ключовим аспектом для забезпечення енергоефективності та зниження витрат. Для досягнення цих цілей застосовуються різноманітні алгоритми оптимізації, такі як генетичні алгоритми та методи нечіткої логіки, а також інтелектуальні контролери, які дозволяють більш ефективно керувати споживанням енергії.

Генетичні алгоритми (GA) є еволюційними методами пошуку, натхненними біологічними процесами природного відбору [12]. Вони широко використовуються для розв'язання складних оптимізаційних задач, у тому числі й в енергетичних системах розумних будинків. Генетичний алгоритм працює через популяцію потенційних рішень, які піддаються операціям кросингверу, мутації та відбору, щоб еволюціонувати в напрямку до оптимального рішення. У контексті оптимізації енергоспоживання в розумних будинках, генетичні алгоритми допомагають знаходити найкращі стратегії для розподілу енергоресурсів завдяки їхній здатності працювати з великими обсягами змінних і знаходити оптимальні рішення в умовах складної взаємодії.

Методи нечіткої логіки (fuzzy logic) є потужними інструментами для прийняття рішень в умовах невизначеності та варіативності, що особливо корисно при управлінні енергоспоживанням у розумних будинках. Простий приклад застосування нечіткої логіки у розумному будинку: управління системами опалення та кондиціонування, де температура в приміщенні може знаходитися в межах нечітких категорій (наприклад, «помірно тепла»). Алгоритми нечіткої логіки можуть інтерпретувати такі значення та на їх основі коригувати роботу пристроїв для підтримки оптимального комфорту при мінімальному енергоспоживанні.

Інтелектуальні контролери використовуються для автоматизації та оптимізації різних процесів, таких як контроль за температурою, освітленням та іншими системами. Основною

функцією інтелектуальних контролерів є адаптація до змінних умов і поведінки мешканців, що дозволяє знижувати енергоспоживання та підвищувати комфорт.

Інтелектуальні контролери часто використовують алгоритми машинного навчання, щоб оптимізувати управління енергоспоживанням у реальному часі. Вони можуть враховувати різноманітні фактори, такі як зміни погодних умов, рівень освітлення, активність користувачів, а також історичні дані для прогнозування потреб у ресурсах і коригування роботи систем без потреби втручання людини.

4.3. Вбудовані операційні системи.

Вбудовані пристрої, що використовуються для моніторингу та управління енергоспоживанням, потребують спеціалізованих операційних систем. Операційні системи для вбудованих пристроїв (embedded systems) є критичними для функціонування розумних будинків, оскільки вони забезпечують управління та взаємодію між різними компонентами IoT-системи. Вони мають особливі вимоги, зокрема до ефективності використання ресурсів, надійності та швидкості обробки даних. У таких системах часто застосовуються операційні системи реального часу (RTOS), оскільки вони гарантують своєчасне виконання важливих задач, що особливо актуально для управління енергоспоживанням та безпекою.

У розумному будинку важливо мати ОС, яка здатна забезпечити обробку даних в реальному часі, керувати різноманітними пристроями (датчиками, виконавчими механізмами) і забезпечувати їх взаємодію.

Підтримка апаратних платформ має значення для сумісності з різноманітними пристроями, що використовуються в розумному будинку. Наприклад, якщо ОС підтримує різні платформи, це дозволяє інтегрувати широкий спектр пристроїв від різних виробників, що підвищує універсальність та гнучкість системи. Важливо, щоб ОС була сумісна з малими і потужними пристроями, а також мала можливість масштабування.

Мережеві можливості та підтримка протоколів обміну даними є основою для інтеграції пристроїв у єдину мережу. В умовах розумного будинку з великою кількістю підключених пристроїв важливо забезпечити їх взаємодію через надійні та швидкі протоколи. Це дозволяє здійснювати моніторинг і контроль в режимі реального часу, що необхідно для оптимізації енергоспоживання та забезпечення безпеки будинку. Протоколи, такі як MQTT, CoAP, та 6LoWPAN, дозволяють знижувати затримки та підвищувати надійність зв'язку, що важливо для управління розумним будинком в реальному часі.

Енергозбереження є одним із найважливіших аспектів для систем розумного будинку, оскільки ці системи повинні працювати на низькому енергоспоживанні, знижуючи витрати на електроенергію та збільшуючи ефективність роботи пристроїв [13]. ОС, що підтримує функції енергозбереження, дозволяють пристроям переходити в сплячі режими або регулювати свою активність в залежності від умов навколишнього середовища.

Підтримка безпеки є необхідною для захисту даних і пристроїв від зовнішніх загроз. Враховуючи, що розумний будинок складається з численних підключених пристроїв, важливо мати ОС з вбудованими механізмами шифрування даних та захисту від несанкціонованого доступу.

Ліцензія визначає доступність та гнучкість використання ОС. Вибір відкритих або комерційних ліцензій може впливати на можливість адаптації ОС під специфічні потреби користувача чи розробника, а також на рівень підтримки і оновлень.

В табл. 1 проаналізовано популярні на даний момент вбудовані операційні системи.

Для подальшого використання у дослідженнях щодо оптимізації управління енергоресурсами в розумних будинках на основі Інтернету речей, найбільш оптимальною вбудованою операційною системою є Zephyr OS [14]. Ця система має низку переваг, які роблять її вигідною для IoT-додатків, таких як розумні будинки.

Zephyr підтримує широкий спектр апаратних платформ, що підходить для інтеграції різноманітних пристроїв від різних виробників. Це дозволяє створювати масштабовані та гнучкі IoT-системи.

Порівняльний аналіз вбудованих операційних систем

Характеристика	FreeRTOS	RIOT OS	Zephyr OS
Призначення	RTOS для малих пристроїв	Легка RTOS для IoT	RTOS для IoT
Підтримка апаратних платформ	ARM Cortex, AVR, MSP430, PIC	ARM Cortex, x86, мікроконтролери AVR	ARM, x86, RISC-V, платформи на основі MCU
Підтримувані протоколи обміну даними	MQTT, CoAP, HTTP	MQTT, CoAP, HTTP, LWM2M, 6LoWPAN	MQTT, CoAP, HTTP, Bluetooth LE, Thread
Енергозбереження	Високий рівень енергозбереження, підтримка сну	Інтеграція з режимами енергозбереження	Інтеграція з режимами низького споживання
Підтримка безпеки	Основні засоби безпеки, підтримка SSL/TLS	Підтримка безпеки на рівні мережі та даних	Підтримка криптографії, SSL/TLS, DTLS
Ліцензія	MIT	LGPL	Apache 2.0

В Zephyr є підтримка ключових IoT-протоколів, такі як Bluetooth, 6LoWPAN, CoAP та MQTT, що є необхідним для ефективного керування мережами пристроїв у розумних будинках. Це дозволяє забезпечити швидкий, надійний зв'язок між пристроями та їх інтеграцію в єдину систему. Операційна система підтримує механізми енергозбереження, що важливо для розумних будинків, де пристрої повинні функціонувати на обмежених ресурсах, знижуючи споживання енергії без втрати продуктивності.

Zephyr є відкритою ОС, що дозволяє розробникам вільно використовувати, адаптувати та оновлювати систему відповідно до потреб конкретних досліджень або проектів.

4.4. Проблеми інтеграції IoT-платформ.

Інтеграція різноманітних пристроїв у розумному будинку, що використовують різні технології Інтернету речей (IoT), стикається з кількома проблемами, пов'язаними з сумісністю різних протоколів, стандартів і платформ.

У IoT використовуються різні мережеві протоколи для забезпечення зв'язку між пристроями. Серед них можна виділити MQTT, Zigbee, Z-Wave, кожен з яких має свої характеристики і призначення:

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) є популярним протоколом для передачі даних в реальному часі, особливо для додатків з обмеженими ресурсами, таких як сенсори та виконавчі пристрої [15]. Він простий у використанні, але для досягнення високої ефективності з MQTT необхідно забезпечити надійне з'єднання та інфраструктуру для масштабування.

Zigbee і Z-Wave використовуються для створення бездротових мереж з низьким енергоспоживанням, що підходять для побутових пристроїв. Однак проблеми виникають через те, що різні пристрої можуть використовувати різні версії стандартів цих протоколів, що призводить до проблем сумісності [16, 17].

Однією з основних проблем є відсутність єдиних стандартів для інтеграції різноманітних IoT-пристроїв. Різні постачальники використовують різні технології та протоколи для забезпечення взаємодії пристроїв. Наприклад, пристрої, що підтримують Zigbee, не завжди можуть безперешкодно взаємодіяти з тими, що використовують Z-Wave, навіть якщо обидва протоколи спрямовані на забезпечення аналогічної функціональності у розумних будинках.

Протокол MQTT добре працює для масштабованих систем з низьким

енергоспоживанням, але може бути обмеженим у великих системах через складність управління великим обсягом повідомлень та інфраструктури для забезпечення високої доступності.

Zigbee та Z-Wave забезпечують надійний зв'язок між пристроями з низьким енергоспоживанням, але проблеми сумісності між різними версіями протоколів та платформами обмежують їх використання в системах з різними виробниками пристроїв. Ці технології мають обмежену пропускну здатність для передачі великих обсягів даних, що може бути обмеженням для деяких IoT-застосунків.

5. Висновки. У дослідженні було проведено огляд існуючих підходів до прогнозування енергоспоживання з використанням методів машинного навчання, нейронних мереж та статистичних моделей, а також розглянуті методи оптимізації, включаючи генетичні алгоритми, методи нечіткої логіки та інтелектуальні контролери. Визначено їх ефективність та обмеження для застосування в системах розумного будинку

Розглянуто основні протоколи та технології для інтеграції пристроїв у систему розумного будинку, зокрема MQTT, Zigbee, Z-Wave. Визначено проблема сумісності між різними платформами та протоколами, включаючи труднощі, які виникають через відсутність єдиних стандартів у сфері IoT, що ускладнює інтеграцію пристроїв різних виробників та знижує загальну ефективність системи.

Аналіз показав, що однією з головних проблем є недостатня адаптивність систем до змінних умов, таких як поведінка користувачів або зміни погоди. Запропоновано шляхи вирішення цієї проблеми через інтеграцію більш гнучких методів прогнозування енергоспоживання та покращення алгоритмів управління. Ісвітлено важливість розробки уніфікованих стандартів для платформ IoT, що дозволять підвищити сумісність і знизити витрати на інтеграцію.

На основі проведеного аналізу сформульовано пропозиції для подальших досліджень, спрямованих на підвищення ефективності управління розумними будинками.

По-перше, важливим завданням є удосконалення методики прогнозування енергоспоживання. Це дозволить підвищити точність аналізу споживання ресурсів, враховуючи численні змінні фактори, зокрема поведінкові аспекти мешканців, погодні умови та динамічні навантаження на системи. Інтеграція вдосконалених моделей прогнозування сприятиме зниженню витрат енергії та оптимізації роботи ключових підсистем будинку.

По-друге, необхідно приділити увагу удосконаленню методів оптимізації управління розумним будинком. Використання сучасних алгоритмів, таких як генетичні алгоритми або методи нечіткої логіки, може забезпечити ефективне управління енергоресурсами. Інтеграція таких рішень у систему дозволить збільшити адаптивність і точність виконання задач при мінімальних витратах.

По-третє, важливим напрямком є розробка інформаційної технології управління розумним будинком на основі IoT, що забезпечить інтеграцію гетерогенних пристроїв, уніфікацію протоколів зв'язку та створення адаптивної системи управління. Така технологія дозволить вирішити проблему сумісності пристроїв різних виробників, підвищуючи функціональність і безпеку всієї системи.

Результати дослідження вказують на важливість удосконалення існуючих методик та технологій для оптимізації керування системами розумного будинку, таким чином оптимізуючи енергоспоживання та створення єдиних стандартів для подальшого розвитку розумних будинків на основі IoT.

Список використаної літератури

1. Chakraborty A., Islam M., Shahriyar F., Islam S., Zaman H., Hasan M. Smart Home System: A Comprehensive Review // Journal of Electrical and Computer Engineering. 2023.

30. P. 1–30. DOI: 10.1155/2023/7616683.

2. Xiong X., Wei Y. The Analysis and Prediction of Energy Use in Smart Homes Based on Machine Learning // Proceedings of the 2020 5th International Conference on Computer and Data Science (CONF-CDS). P. 381–386. DOI: 10.1109/CDS49703.2020.00080
3. Hosseinian H., Damghani H. Smart home energy management, using IoT system // Proceedings of the 5th International Conference on Knowledge-Based Engineering and Innovation (KBEI). 2019. DOI: 10.1109/KBEI.2019.8734979
4. Poyyamozi M., Murugesan B., Rajamanickam N., Shorfuzzaman M., Aboelmagd Y. IoT—A Promising Solution to Energy Management in Smart Buildings: A Systematic Review, Applications, Barriers, and Future Scope // Buildings. 2024. Vol. 14. Article 3446. DOI: 10.3390/buildings14113446
5. Domb M. Smart Home Systems Based on Internet of Things // IoT and Smart Home Automation. 2019. URL: <https://doi.org/10.5772/intechopen.84894>
6. Gubbi J., Buyya R., Marusic S., Palaniswami M. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions // Future Generation Computer Systems. 2013. Vol. 29, No. 7. P. 1645–1660. DOI: 10.1016/j.future.2013.01.010
7. Deligiannis P., Koutroubinas S., Koronias G. Predicting Energy Consumption Through Machine Learning Using a Smart-Metering Architecture // IEEE Potentials. 2019. Vol. 38. P. 29–34. DOI: 10.1109/MPOT.2018.2852564.
8. Shah A. S., Nasir H., Fayaz M., Lajis A., Shah A. A Review on Energy Consumption Optimization Techniques in IoT Based Smart Building Environments // Information (Switzerland). 2019. Vol. 10. Article 108. DOI: 10.3390/info10030108
9. Gupta S., Natarajan K. P. Fuzzy Logic Based Smart Home Energy Management System // Proceedings of the 9th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT). 2018. DOI: 10.1109/ICCCNT.2018.8493744
10. Alzoubi A. Machine Learning for Intelligent Energy Consumption in Smart Homes // International Journal of Computations, Information and Manufacturing (IJCIM). 2022. Vol. 2. DOI: 10.54489/ijcim.v2i1.75
11. Predicting city-scale daily electricity consumption using data-driven models / Z. Wang та ін. Advances in Applied Energy. 2021. Т. 2. С. 100025. URL: <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2021.100025> (дата звернення: 30.12.2024).
12. Chukwuka A., Bakare-Bolaji M., Dibba B. Optimizing energy consumption in smart homes using GA-LSTM // International Journal of Science and Research Archive. 2024. Vol. 12. P. 809–819. DOI: 10.30574/ijrsra.2024.12.1.0792
13. RIOT Documentation. URL: <https://doc.riot-os.org/> (дата звернення: 30.11.2024).
14. Zephyr Project Documentation. Zephyr Project. URL: <https://docs.zephyrproject.org/latest/index.html> (дата звернення: 30.11.2024)
15. MQTT Version 5.0 OASIS Standard. MQTT. URL: <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.html> (дата звернення: 30.11.2024)
16. ZigBee Specification. ZigBee Document 05-3474-21. Davis, CA: ZigBee Alliance, 2015. – [Дата звернення 30.11.2024].
17. Z-Wave Based Design of Remote Control System for Smart Home / C. Gao та ін. Applied Mechanics and Materials. 2013. Т. 397-400. С. 1833–1836. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.397-400.1833> (дата звернення: 30.11.2024)
18. Zhebka V., Skladannyi P., Bazak Y., Bondarchuk A., Storchak K. Methods for Predicting Failures in a Smart Home / CEUR Workshop Proceedings. 2024, 3665, p. 70–78