

<https://doi.org/10.31649/1997-9266-2023-169-4-39-45>

УДК 004. 738

Д. О. Сапожник¹
Д. Д. Плечистий¹

ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ДЛЯ ЕКОНОМІЇ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ

¹Державний університет «Житомирська політехніка»

Розглянуто проблематику енергоефективності в контексті сучасних викликів, таких як недовлік ресурсів, урбанізація, та екологічні регулятиви. Особливу увагу приділено потенціалу Інтернету речей (IoT) для автоматизації та оптимізації енергоспоживання. У контексті глобалізації та технологічного прогресу, дослідження Інтернету речей які інструменту для ефективного використання енергетичних ресурсів визначено як перспективний напрямок дослідження. Виділено публікації, що стосуються розумних будівель в Україні, зосереджуючись на їхній споживчій ролі в електроенергії та потенціалі IoT для оптимізації енергоспоживання. Дослідження «зеленого» IoT розглядає виклики та принципи енергоефективності для IoT-пристроїв. Проаналізовано інші дослідження можливостей Інтернету речей у секторі водопостачання та енергоефективності в будівельному секторі. Досліджено потенціал технології Інтернету речей для зменшення енергоспоживання. Основні завдання дослідження включають: аналіз архітектури IoT для кращого розуміння її структури та можливостей; вивчення ключових областей застосування Інтернету речей в секторах енергозбереження; а також визначення основних принципів використання IoT для оптимізації енергоспоживання. Розглянуто архітектуру Інтернету речей для глибокого розуміння структури та динаміки систем Інтернету речей, що відіграють важливу роль у визначенні, як максимально використовувати їх потенціал для зменшення використання енергії. Досліджено галузі застосування Інтернету речей у контексті енергозбереження, розумінні основних сфер в різних секторах, включаючи будівництво, промисловість та містобудування. Через детальний аналіз архітектури IoT та її можливостей, стаття виокремлює чотири ключові принципи для ефективного використання Інтернету речей в енергетиці в контексті економії енергетичних ресурсів. Принципи включають визначення конкретних енергетичних цілей, впровадження технологій для моніторингу та автоматизації, збір та аналіз даних для оптимізації споживання, та оцінку результатів для подальшого удосконалення систем. Робота підкреслює роль IoT як потужного інструмента для підвищення енергетичної ефективності та досягнення глобальних цілей сталого розвитку.

Мета статті — аналіз можливостей і принципів застосування технології Інтернету речей задля зменшення енергетичного споживання.

Ключові слова: Інтернет речей, IoT, енергетика, енергоефективність, розумні будинки, економія енергетичних ресурсів, стале використання ресурсів.

Постановка проблеми

Енергетика в XXI столітті стоїть перед низкою нагальних проблем, серед яких недовлік ресурсів, високі витрати та потреба в оптимізації споживання. Зокрема, вибуховий ріст урбанізації, зростання промисловості та жорсткіші екологічні регулювання вимагають розумного використання енергії. Однак, всупереч постійному зростанню кількості інновацій, у сфері енергетики все ще не досягнуто значного прориву в ефективності використання енергії, оскільки наявні системи управління енергією не використовують повний потенціал новітніх технологій.

Нині зростає популярність концепції Інтернету речей (Internet of Things — IoT), який здатний реалізувати автоматизацію та оптимізацію енергоспоживання на новому рівні. Інтернет речей становить собою систему взаємопов'язаних пристроїв, які мають можливість збору, оброблення та

обміну даними, що може відігравати вирішальну роль в енергоефективності [1].

Історія розвитку Інтернету речей почалася в 1990 році, коли один з розробників протоколу TCP/IP під'єднав до мережі свій тостер. Втім, реальний прорив в розвитку цього напрямку технологій відбувся лише на початку XXI століття, коли з'явилися масштабні проекти, спрямовані на створення всесвітньої мережі взаємопов'язаних пристроїв [1].

Сьогодні в умовах глобалізації та постійного зростання технологічного прогресу, питання ефективного використання енергії стає все актуальнішим. У світлі цього, вивчення можливостей Інтернету речей для економії енергетичних ресурсів вважається одним з найперспективніших напрямків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз останніх досліджень демонструє різні аспекти та можливості застосування Інтернету речей в контексті енергоефективності, сталого розвитку та охорони довкілля.

У статті [2] розглянуто використання IoT для підвищення енергоефективності та збереження довкілля, особливо акцентується на розробці «розумних» будівель в Україні. У сучасному контексті будівельний комплекс стає одним з основних споживачів електроенергії. При цьому технологія Інтернету речей (IoT) виступає як критичний інструмент для оптимізації енергетичних витрат. Однак ключовим питанням залишається методологія точного вимірювання та оцінки економії енергії, що може бути досягнута внаслідок впровадження IoT-технологій.

Стаття “Green IoT: An Investigation on Energy Saving Practices for 2020 and Beyond” вивчає викилики зменшення споживання енергії IoT-пристроями та пропонує принципи для досягнення «зеленого» IoT. Автори розглядають ключові аспекти «зеленого» IoT, включаючи енергоефективні датацентри, передачу даних та політики [3]. У контексті енергоефективності критично важливо враховувати енергетичні витрати, які необхідні для оперативності IoT-систем. Виникає завдання оцінки кумулятивної ефективності, яке полягає в аналізі того, наскільки вигоди від оптимізації енергоспоживання через використання IoT-технологій компенсують потенційні енергетичні втрати, ініційовані функціонуванням цих самих IoT-пристроїв.

Аналізуючи можливості використання IoT і машинного навчання для інтегрованого управління водою, стаття “Gestión integral del agua con IoT y Machine Learning” розглядає низку проблем, які виникають у секторі водопостачання. Автори наводять приклади використання Інтернету речей та машинного навчання для різних аспектів управління водою, таких як контроль якості води, детектування витоків води, оптимізація споживання води та прогнозування попиту на воду [4]. Використання IoT та машинного навчання може істотно сприяти енергоефективності в секторі водопостачання, який є значущим споживачем електроенергії, і тим самим внести суттєвий внесок в економічну ефективність цього процесу.

В дослідженні, проведеному Національною лабораторією відновлюваної енергії (NREL), акцентовано на потенціалі економії енергії в будівельному секторі через впровадження пристроїв на базі Інтернету речей (IoT). Дослідження підкреслює можливість моніторингу енергоспоживання, виявлення ареалів для оптимізації енергетичної ефективності, автоматизації енергозалежних завдань (наприклад, управління освітленням чи температурним режимом) та сповіщення про несправності або потенційні енергетичні проблеми [5]. Однак для об'єктивної оцінки ефективності таких інноваційних систем важливо розуміти чіткі критерії та методології оцінювання, принципи інтегрування IoT-технологій у будівельній галузі.

Попри масштабність наукових досягнень за темою дослідження, питання застосування технології Інтернету речей для економії енергетичних ресурсів у сучасному світі залишається повністю не вивченим і потребує детального опрацювання, дослідження та розробки принципів впровадження Інтернету речей в контексті енергоефективності.

Постановка завдання

У контексті стійкого розвитку та свідомого використання енергетичних ресурсів, метою статті є аналіз можливостей і принципів застосування технології Інтернету речей задля зменшення енергетичного споживання. Така мета викликає потребу у виконанні низки конкретних завдань:

1. Проаналізувати архітектуру Інтернету речей: Це потрібно для глибокого розуміння структури та динаміки систем IoT, що відіграє важливу роль у визначенні — як можна максимально використовувати їхній потенціал для зменшення споживання енергії.

2. Дослідити сфери застосування Інтернету речей у контексті енергозбереження. Розуміння основних галузей застосування IoT для енергозбереження в різних секторах, таких як будівництво, промисловість та містобудування, є ключовим для виявлення ефективних методів їхнього впровадження та експлуатації.

3. Визначити принципи застосування технології Інтернету речей для енергозбереження від поняття та впровадження стратегій до виконання та аналізу результатів. Це завдання передбачає розуміння того, як технологія IoT може бути використана для моніторингу та оптимізації використання енергії на макро- та мікрорівнях.

Кінцевою метою цих завдань є формування комплексного розуміння можливостей технології Інтернету речей у впровадженні стійких та ефективних рішень для енергозбереження.

Викладення основного матеріалу

Архітектура Інтернету речей є фундаментом, який дозволяє розуміти взаємодію та координацію між різними компонентами IoT. Вона включає кілька ключових шарів, кожен з яких має свої власні особливості та функції, але всі вони працюють разом, щоб забезпечити ефективне використання технології. На рис. 1 показано структуру Інтернету речей.

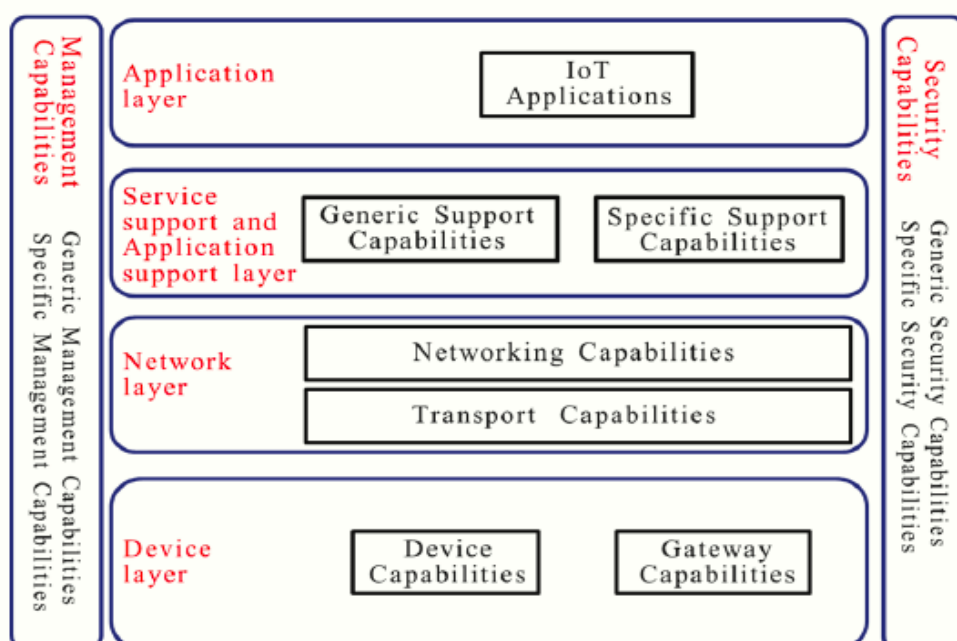


Рис. 1. Модель IoT з рекомендацій Y.2060/4000

– *Шар пристроїв (Devices Layer):* Цей шар складається з фізичних пристроїв або вузлів мережі, які можуть бути об'єднані в IoT-системи. Це можуть бути різні типи датчиків, актуаторів, камер, РК-дисплеїв, RFID-міток тощо. Вони збирають та передають дані в реальному часі [1].

– *Шар збору та передачі даних (Data Acquisition and Transmission Layer):* Тут відбувається збір даних від пристроїв, а також їхнє кодування та передача до наступного шару. Використовуються різні протоколи та методи передачі даних, включаючи Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth, LTE тощо [1].

– *Шар обробки та управління даними (Data Processing and Management Layer):* Цей шар відповідає за обробку та аналіз великого обсягу даних, отриманих від пристроїв. Він включає сервери, обчислювальні системи, бази даних та хмарні платформи [1].

– *Шар додатків (Application Layer):* Цей шар включає конкретні застосунки IoT, які використовуються кінцевими користувачами. Додатки можуть бути різними, в залежності від сфери застосування, наприклад, для дому, офісу, промисловості, медицини, транспорту та інших [1].

– *Шар безпеки (Security Layer):* Цей шар перекриває всі інші шари архітектури, оскільки безпека є критично важливою для IoT-систем. Він включає технології та процедури для захисту даних, пристроїв та мереж [1].

У контексті архітектури Інтернет речей відкриває безліч можливостей для оптимізації та енергозбереження:

– *Шар пристроїв* зосереджується на використанні енергоефективних датчиків, які активуються лише за певних умов. Це дозволяє мінімізувати споживання енергії, використовуючи режими «сну» для пристроїв, які в цей момент неактивні.

– *Шар збору та передачі даних* фокусується на оптимізації протоколів передачі даних, що зменшує час активності мережі й, таким чином, споживання енергії. Протоколи, такі як ZigBee, використовуються для забезпечення енергоефективності.

– *Шар обробки та управління даними* акцентує увагу на ефективних алгоритмах обробки даних, що знижують обчислювальне навантаження на серверах. Крім того, хмарні платформи можуть використовувати зелені джерела енергії або оптимізовані дата-центри, що сприяє зменшенню вуглецевого сліду.

– *Шар додатків* пропонує рішення для моніторингу та управління споживанням енергії в реальному часі. Через IoT можлива автоматизація систем, таких як освітлення або опалення, що сприяє зменшенню загального споживання енергії.

– *Шар безпеки* гарантує захист інфраструктури IoT від атак, які можуть призвести до втрати енергії або збою системи. Хоча цей шар може не мати прямого впливу на енергозбереження, його роль у забезпеченні стабільності та надійності системи є критичною.

Отже, шари архітектури Інтернету речей сприяють створенню систем, які не тільки ефективні, але й енергоощадні.

Сфери застосування Інтернету речей у контексті енергозбереження

Ефективне використання енергетичних ресурсів є одним з головних напрямів сучасного світу, і технологія Інтернету речей відкриває нові можливості в цьому напрямку. Спектр застосування IoT є надзвичайно широким і постійно розширюється, але особливо значущими галузями, де ця технологія може принести значну користь в контексті енергозбереження, є будівництво, промисловість та містобудування [6]. На рис. 2 показані основні галузі застосування IoT у контексті енергозбереження.



Рис. 2. Основні галузі застосування Інтернету речей у контексті енергозбереження

У секторі будівництва IoT відкриває можливості для використання розумних систем управління енергоспоживанням, за допомогою розумних датчиків та пристроїв автоматизації можливо відстежувати споживання енергії в реальному часі, ідентифікувати надлишкове або неефективне використання енергії та вживати відповідних корективних заходів. Це відноситься як до житлових будівель, так і до комерційних та промислових об'єктів, де IoT може допомогти оптимізувати витрати на опалення, кондиціонування, освітлення та інші системи [7].

У промисловості IoT стає потужним інструментом для автоматизації процесів, моніторингу та контролю виробничих ліній, що сприяє зменшенню витрат на енергію і підвищенню ефективності виробництва. Розумні системи можуть виявляти несправності в обладнанні або неправильні режи-

ми роботи, що спричиняють надмірне споживання енергії, і своєчасно повідомляти про це відповідний персонал. Це не тільки дозволяє економити енергію, але і підвищує надійність обладнання і продуктивність праці.

У галузі містобудування інтеграція IoT технологій дозволяє створювати так звані «розумні міста», де різноманітні компоненти інфраструктури, включаючи освітлення вулиць, системи водопостачання, транспортні мережі, можуть бути автоматизовані та оптимізовані з метою енергозбереження. Це не тільки дозволяє знизити витрати на енергію, але й поліпшує якість життя місцевого населення шляхом поліпшення сервісу та зниження впливу на довкілля.

Ця технологія, використовуючи свої широкі можливості, може стати важливим інструментом в реалізації стратегій енергоефективності на національному та глобальному рівнях.

Принципи застосування технології Інтернету речей для енергозбереження

Технологія Інтернету речей відкриває нові перспективи для оптимізації використання енергії, цього можна досягти шляхом застосування низки принципів. Від початкового поняття та впровадження стратегій до виконання та аналізу результатів, ці принципи допомагають забезпечити ефективне використання технології IoT для моніторингу та оптимізації використання енергії на макро- та макрорівнях [8].

Перший принцип полягає в необхідності визначення конкретних цілей та очікувань результатів застосування IoT. Це може бути, до прикладу, зменшення витрат на енергію в будівлі або підвищення ефективності виробничого процесу. Важливо чітко визначити, як IoT може допомогти досягти цих цілей, і планувати відповідні стратегії.

Другий принцип включає в собі впровадження відповідних технологій Інтернету речей, а саме, встановлення датчиків для моніторингу споживання енергії, впровадження систем управління для автоматизації процесів, формування платформи для збору та аналізу даних.

Третій принцип — це збір та аналіз даних, що є важливим елементом використання IoT для енергозбереження. Дані, зібрані від датчиків та інших IoT-пристроїв, можуть бути використані для виявлення шаблонів використання енергії, ідентифікації проблемних областей, а також для контролю та оптимізації використання енергії в реальному часі.

Фінальний четвертий принцип є не менш важливим, оцінка результатів та внесення коректив у стратегії та практику використання IoT дозволяє виявити слабкі місця, усунути помилки та виконати необхідні налаштування, щоб підвищити енергетичну ефективність.

Таким чином, застосування цих принципів дозволяє максимально використовувати потенціал технології IoT для енергозбереження. Через це, IoT стає могутнім інструментом для досягнення енергетичної ефективності в сучасному світі.

Проаналізувавши архітектуру IoT, досліджуючи галузі застосування та визначаючи принципи використання цієї технології, надається необхідна основа для розробки та реалізації IoT-рішень, що відповідають специфічним потребам енергозбереження. Це може охоплювати впровадження IoT у виробництво для автоматизації та контролю енергоспоживання, створення розумних будівель або міст, що автоматично адаптуються до змін умов енергоспоживання, та багато іншого. Розуміння ролі IoT в енергозбереженні означає визнання її як потужного інструменту для зменшення витрат на енергію та збільшення енергетичної ефективності на глобальному рівні. Використання IoT може зробити значний внесок у досягнення глобальних цілей сталого розвитку, спрямованих на створення екологічних, чистих та ефективних способів використання енергії.

Отже, завдання, поставлені в цій роботі, сприяють формуванню комплексного розуміння того, як IoT може бути ефективно використаний для зменшення використання енергії та підвищення енергетичної ефективності.

Висновки

У процесі дослідження основний акцент зроблено на використанні технології Інтернету речей (IoT) з метою енергозбереження. Проаналізовано архітектуру IoT та її ключові компоненти, досліджено взаємодію між ними та розглянуто можливості їхньої адаптації з метою підвищення енергоефективності. Зокрема, розглянуто застосування IoT в таких галузях, як будівництво, промисловість та містобудування.

Встановлено, що за допомогою IoT можна автоматизувати процеси, контролювати споживання енергії та вирішувати проблеми, пов'язані з її надмірним використанням. Для енергозбереження за

допомогою IoT запропоновано принципи, які включають розробку стратегій, впровадження та аналіз результатів, з метою моніторингу та оптимізації енергоспоживання на різних рівнях.

Здійснений аналіз підтвердив значущість використання IoT у контексті енергозбереження, що може сприяти зниженню витрат на енергію та підвищенню енергетичної ефективності глобально. Отримані результати свідчать про великий потенціал технології Інтернету речей для використання у різних галузях (будівництво, промисловість, містобудування та інші) з метою економії енергетичних ресурсів.

Незважаючи на це, варто врахувати деякі обмеження та виклики, пов'язані з інтеграцією IoT у системи енергозбереження. По-перше, велика кількість пристроїв IoT може створювати додаткові навантаження на мережі, особливо під час пікових навантажень. По-друге, безпека є ключовим питанням: IoT пристрої мають бути захищені від зовнішніх загроз та вторгнень. Нарешті, є потреба в стандартизації технологій та протоколів комунікації для забезпечення сумісності та оптимальної роботи пристроїв.

Не зважаючи на те, що IoT пропонує значні можливості для енергозбереження важливо підходити до його впровадження в обдуманий і критичний спосіб, зосереджуючись на максимізації переваг та мінімізації потенційних ризиків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Wikipedia. *Internet of things*. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things . Accessed: 5 Mai, 2023.
- [2] «Впровадження цифрових технологій Інтернету речей для поліпшення енергоощадних технологій у будівлях,» *Наукові записки міжнародного гуманітарного університету*. [Electronic resource]. Available: <http://sci-notes.mgu.od.ua/archive/v37/36.pdf> . Accessed: 5 Mai, 2023.
- [3] *Green IoT: An Investigation on Energy Saving Practices for 2020 and Beyond*. [Electronic resource]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7997698> . Accessed: 14 Mai, 2023.
- [4] Redacción The New Now, “Gestión integral del agua con IoT y Machine Learning,” 2021. [Electronic resource]. Available: <https://www.thenewnow.es/tecnologia/gestion-integral-agua-iot-machine-learning/> . Accessed: 13 Mai, 2023.
- [5] *Advancing Replicable Solutions for High-Performance Homes in the Southeast*. [Electronic resource]. Available: <https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/65258.pdf> . Accessed: 13 Mai, 2023.
- [6] *10 Amazing Cases of IoT Applications Taken from the Real Life*. [Electronic resource]. Available: <https://medium.datadriveninvestor.com/10-amazing-cases-of-iot-applications-taken-from-the-real-life-a8682cdb48d0> . Accessed: 21 Mai, 2023.
- [7] *Evolution of Smart Home Energy Management System Using Internet of Things and Machine Learning Algorithms*. [Electronic resource]. Available: <https://ceur-ws.org/Vol-3283/Paper76.pdf> . Accessed: 13 Mai, 2023.
- [8] *Принципи застосування технології Інтернет речей у сучасному світі техніки*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2020/6_2020/part_1/26.pdf . Accessed: 15 Jun, 2023.

Рекомендована кафедрою комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 15.06.2022

Сапожник Дмитро Олегович — аспірант кафедри інженерії програмного забезпечення, e-mail: asp_sdo@student.ztu.edu.ua ;

Плечистий Дмитро Дмитрович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук, e-mail: kkn_pdd@ztu.edu.ua .

Державний університет «Житомирська політехніка», Житомир

D. O. Sapozhnyk¹
D. D. Plechystyi¹

Using the Internet of Things for Energy Resource Conservation

¹State University “Zhytomyr Polytechnic”

The article explores the issue of energy efficiency in the context of contemporary challenges such as resource scarcity, urbanization, and environmental regulations. Particular attention is devoted to the potential of the Internet of Things (IoT) for automation and optimization of energy consumption. In the backdrop of globalization and technological advancement, re-

search on IoT as a tool for efficient energy resource utilization is identified as a promising avenue for exploration. Publications related to smart buildings in Ukraine are highlighted, focusing on their consumer role in electricity consumption and the potential of IoT for optimization. The study delves into the concept of "green" IoT, examining challenges and principles of energy efficiency specific to IoT devices. The analysis of additional research concerning IoT capabilities in the water supply sector and energy efficiency in the construction industry is provided. The paper aims to investigate the technology's potential for reducing energy consumption. Principal research tasks include: analyzing the architecture of IoT for a better understanding of its structure and capabilities; studying key areas of IoT application in the sectors like construction and industry for energy conservation; outlining fundamental principles for IoT utilization in optimizing energy consumption. The architecture of IoT systems is studied in-depth to fully understand their structure and dynamics, playing a crucial role in maximizing their potential for energy conservation. The authors focus on investigating the areas where IoT finds application in energy conservation, understanding key spheres across various sectors, including construction, industry, and urban planning. Through detailed analysis of IoT architecture and its capabilities, the paper identifies four key principles for the effective use of IoT technology in the energy sector. These principles encompass setting specific energy goals, implementing technologies for monitoring and automation, data collection and analysis for consumption optimization, and evaluation of outcomes for further system improvement. The work emphasizes the role of IoT as a potent tool for enhancing energy efficiency and achieving global sustainable development goals. Overall, the paper seeks to contribute to existing knowledge about the capabilities of IoT in the context of energy conservation, prompting further discussion and research in this field.

Keywords: Internet of Things, IoT, energy, energy efficiency, smart homes, energy resource conservation, sustainable resource usage.

Sapozhnyk Dmytro O. — Post-Graduate Student of the Chair of Software Engineering, e-mail: asp_sdo@student.ztu.edu.ua ;

Plechystyi Dmytro D. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Computer Science, e-mail: kkn_pdd@ztu.edu.ua