

УДК 004.9:681.5:620.91

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-4-19>

ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ (IIOT) ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НА ПІДПРИЄМСТВАХ

Ющук Інна Василівна,

старший викладач кафедри інформаційних
технологій, штучного інтелекту і кібербезпеки
Національного університету харчових технологій
ORCID ID: 0000-0003-1420-0356

Ющук Павло Олександрович,

аспірант кафедри автоматизації та комп'ютерних
технологій систем управління
Національного університету харчових технологій
ORCID ID: 0000-0001-8255-168X

У статті розглянуто концептуальні та прикладні аспекти впровадження промислового Інтернету речей (IIoT) як інструменту оптимізації енергоефективності на підприємствах. В умовах глобальної енергетичної нестабільності, зростання вартості енергоресурсів, загострення екологічних проблем, необхідності у зменшенні викидів парникових газів підприємства змушені переглядати традиційні підходи до управління енергоспоживанням. Для вирішення цих проблем актуальним стає впровадження інноваційних цифрових рішень у виробничі процеси. Застосування IIoT-технологій як об'єднання сенсорних пристроїв, систем аналітики, хмарних платформ та автоматизованих систем управління створює нові підходи до енергоменеджменту. IIoT-рішення відкривають нові можливості для контролю прозорості енергетичних процесів та своєчасного реагування на відхилення.

Розглянуто функціональну архітектуру IIoT-систем, механізми збору та аналізу даних, можливості прогнозування енергоспоживання й оптимізації енергетичних навантажень у режимі реального часу. Завдяки застосуванню промислового Інтернету речей із системами автоматизованого контролю, прогнозування навантажень і аналітики в реальному часі досягається зниження витрат у виробництві. Принципи побудови IIoT-інфраструктури включають хмарні сервіси обробки даних, інтелектуальні алгоритми та засоби візуалізації. Результати практичного застосування IIoT в енергомістких галузях, таких як у металургії, хімічній промисловості, машинобудуванні, показують реальне зниження енерговитрат на 10–20 %. Таких показників можна досягти за рахунок оптимізації режимів роботи обладнання, виявлення неефективних ділянок і скорочення простоїв. Описано застосування IIoT для управління мікрокліматом, освітленням, інженерними системами та альтернативними джерелами енергії.

Проведене дослідження підтверджує, що впровадження IIoT-технологій стає перспективним інструментом цифрової трансформації виробництва та модернізації енергетичного сектору підприємств.

Ключові слова: Інтернет речей, IIoT, енергоефективність, економія енергетичних ресурсів.

Yuschuk Inna, Yuschuk Pavlo. Using the industrial internet of things (IIoT) to optimise energy efficiency at enterprises

The article considers conceptual and applied aspects of the introduction of the Industrial Internet of Things (IIoT) as a tool for optimising energy efficiency at enterprises. In the context of global energy instability, rising energy costs, aggravation of environmental problems, and the need to reduce greenhouse gas emissions, enterprises are forced to reconsider traditional approaches to energy management. To solve these problems, the introduction of innovative digital solutions into production processes is becoming increasingly important. The use of IIoT technologies as a combination of sensor devices, analytics systems, cloud platforms and automated control systems creates new approaches to energy management. IIoT solutions open up new opportunities to control the transparency of energy processes and to respond to deviations in a timely manner. Results. The functional architecture of IIoT systems, mechanisms for data collection and analysis, and the ability to predict energy consumption and optimise energy loads in real time are considered. The use of the industrial Internet of Things with automated control systems, load forecasting and real-time analytics helps to reduce production costs. The principles of building an IIoT infrastructure include cloud data services, intelligent algorithms and visualization tools. The study confirms that the introduction of IIoT technologies is becoming a promising tool for the digital transformation of production and modernisation of the energy sector of enterprises.

Keywords: Internet of Things IIoT, energy efficiency, energy saving.

Вступ. Сучасне виробництво стикається з викликами, пов'язаними з нераціональним використанням енергетичних ресурсів. Такі недоцільні дії призводять до значних фінансових витрат підприємств, зниження їхньої конкурентоспроможності та забруднення навколишнього середовища. Водночас стрімке зростання тарифів на енергоносії змушує підприємства шукати ефективні шляхи енергозбереження.

Особливо актуальною ця проблема є для України. Питома енергоємність валового внутрішнього продукту країни залишається однією з найвищих у Європі. Її показники свідчать про низьку ефективність використання енергоресурсів.

Традиційні методи моніторингу та контролю споживання енергії часто виявляються недостатніми. Відсутність гнучкості, затримки у зборі даних та обмежена можливість оперативного реагування знижують ефективність управлінських рішень. Це створює потребу в упровадженні інноваційних підходів, які б забезпечували безперервне, точне та динамічне управління енергоспоживанням.

У цьому контексті особливу увагу привертає концепція промислового Інтернету речей (IIoT). Ідея промислового Інтернету речей передбачає інтеграцію датчиків, пристроїв, програмного забезпечення та аналітичних систем в інфраструктуру виробництва. IIoT дає змогу здійснювати глибоку аналітику в режимі реального часу, виявляти енергетичні втрати, прогнозувати споживання та оптимізувати виробничі процеси з урахуванням енергетичних параметрів.

Метою статті є дослідження можливостей використання промислового Інтернету речей технологій IIoT для підвищення енергоефективності на підприємствах та формування підходів до впровадження таких рішень в українському промисловому середовищі.

Енергоефективність економіки країни характеризується здатністю суспільства раціонально використовувати енергетичні ресурси під час виробництва товарів і надання послуг із максимально продуктивним результатом та мінімальним споживанням енергії.

За результатами аналізу даних, опублікованих Світовим економічним форумом [1], було розраховано індекси енергоефективності національних економік країн світу. За цією методологією найвищий Глобальний індекс енергоефективності мають Швейцарія, Норвегія, Швеція, Данія та Франція. Ці країни демонструють високі показники ефективного використання енергетичних ресурсів у поєднанні з конкурентоспроможною економікою та дотриманням екологічних стандартів. Україна займає 73-є місце

у світовому рейтингу. Наша країна має суттєвий потенціал для вдосконалення енергетичної політики та впровадження сучасних технологій енергозбереження [2, с. 23].

Для зниження енергоємності валового внутрішнього продукту України можуть ефективно використовуватися економіко-математичні моделі, які здатні інтегрувати ключові макроекономічні показники, прогнозувати їх динаміку та узгоджуватися із цілями державної політики в економічній, енергетичній та екологічній сферах [3].

Вітчизняним підприємствам необхідно активно впроваджувати енергоефективні технології, модернізувати виробничі потужності, здійснювати підготовку кадрів у сфері раціонального енергоспоживання та формувати партнерства з державними структурами, освітніми закладами та професійними об'єднаннями [4].

Згідно з положеннями Директиви 2012/27/ЄС, Україна взяла на себе низку міжнародних зобов'язань щодо впровадження реформ енергоефективності. Вона вимагає більш ефективного використання енергії за всіма напрямками постачання, транспортування та споживання енергії [5].

Українські наукові дослідники у сфері енергоефективності зосереджують увагу на інтеграції новітніх цифрових технологій у виробничі процеси. Одним із ключових напрямів дослідження стало застосування промислового Інтернету речей. Він розглядається як основа побудови інтелектуальних енергетичних систем підприємства [6]. Такі IIoT-технології дають змогу знизити загальні енергозатрати на 10–18 %.

Закордонні науковці пропонують концептуальну архітектуру енергетично ефективного виробництва майбутнього [7]. Таке підприємство використовує хмарні обчислення, сенсорні мережі та інтелектуальні аналітичні модулі для мінімізації споживання енергії на всіх етапах виробництва. Упровадження IIoT-технологій демонструє потенціал використання великих даних і машинного навчання для виявлення патернів енергоспоживання та автоматичного коригування параметрів технологічного процесу.

Методики та методи дослідження. Промисловий Інтернет речей (Industrial Internet of Things, IIoT) являє собою інноваційний підхід до цифрової трансформації виробництва, який поєднує апаратні пристрої (датчики, контролери, приводи) з програмним забезпеченням і хмарними аналітичними платформами.

За даними дослідного відділу Statista [9], за прогнозами, до 2025 р. буде використовуватися понад 75 млрд приладів, підключених до Інтернету речей (рис. 1).

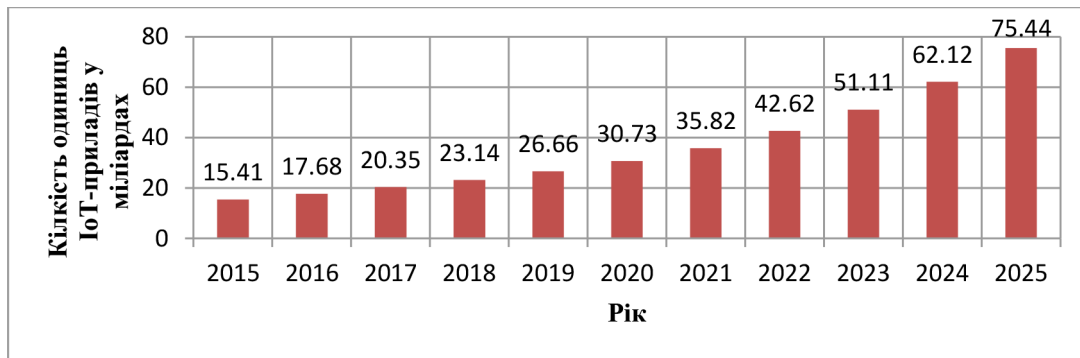


Рис. 1. Кількість підключених IoT-приладів із 2015 по 2025 р.

Застосування IIoT-систем виходить за межі традиційних енергосистем. Воно поширюється на такі напрями, як інтелектуальні енергетичні будівлі, системи моніторингу енергоспоживання, технології збору та збереження енергії, оптимізація графіків енергетичного навантаження, ефективна обробка даних, інтеграція різнорідних енергетичних джерел, упровадження розумних мереж, підвищення стійкості енергосистем та автоматизоване управління енергетичними процесами.

Основні компоненти IIoT-рішень взаємодіють у межах єдиної інформаційної екосистеми. Це можуть бути сенсорні системи, технології передачі даних, аналітичні платформи та засоби автоматизованого управління. Архітектура IIoT-систем включає кілька взаємопов'язаних рівнів. Кожен рівень виконує важливі функції. На початковому рівні здійснюється збір даних за допомогою датчиків на виробничому обладнанні. Датчики реєструють показники енергоспоживання, температурні параметри, рівень вологості, тиск та інші технологічні характеристики. Передача цих даних здійснюється через бездротові та дротові мережі, включаючи Wi-Fi, LoRaWAN, ZigBee та 5G. Дані проходять оперативну обробку та аналіз. Подальше застосування алгоритмів штучного інтелекту дає змогу здійснювати прогнозування можливих енергетичних переважань та запобігати аварійним ситуаціям. На заключному етапі реалізуються адаптивні механізми регулювання споживання енергоресурсів за допомогою інтеграції IIoT-рішень з автоматизованими системами управління.

Одними з найважливіших перспектив використання IIoT є моніторинг та прогнозування споживання енергії у режимі реального часу. Технології збору та аналізу даних дають змогу ідентифікувати аномалії у функціонуванні обладнання, оцінювати динаміку витрат енергоресурсів та формувати рекомендації щодо їх оптимізації. Інтелектуальні алгоритми, які

інтегровані у IIoT-системи, здійснюють не лише аналіз поточного енергоспоживання, а й проводять прогнозування пікових навантажень. Така взаємодія аналізу та прогнозу сприяє зниженню надмірних витрат енергії.

Застосування автоматизації в управлінні енергоспоживанням — ще один із важливих напрямів застосування IIoT. За допомогою даних, отриманих від сенсорів, система може автоматично регулювати роботу технологічного обладнання, зменшуючи потужність його роботи або переводячи його в енергозберігаючий режим. Регулювання відбувається без необхідності втручання людини. Подібні рішення особливо ефективні у разі використання енергоємного обладнання, яке працює у багатозмінному режимі виробництва.

Упровадження IIoT-технологій дає змогу швидко виявляти технічні несправності в системі та звести до мінімуму їхній вплив на рівень енергоспоживання. Аналіз температурних параметрів та вібраційних характеристик технологічного обладнання може виявити налаштування його неефективної роботи. Технології промислового Інтернету речей дають змогу виявити можливі відхилення у функціонуванні устаткування і запобігти аваріям та нераціональному споживанню енергоресурсів.

Ще одним важливим аспектом доцільності підключення IIoT-технологій є їх інтеграція з альтернативними джерелами енергії. Приєднання інтелектуальних систем управління до сонячних панелей, вітрових генераторів та акумуляторних станцій дає змогу ефективно координувати режим їхньої роботи. Це забезпечує раціональний розподіл навантаження між різними джерелами живлення. Застосування прогнозних алгоритмів дає змогу аналізувати нестабільність відновлюваних джерел енергії, ураховуючи їх змінну генерацію, підвищити ефективність їх використання.

Результати. В Україні застосування IIoT для підвищення енергоефективності ще перебуває

Таблиця 1

Ефект упровадження IIoT-технологій у виробництво

№	Галузь виробництва	IIoT-рішення / Технології	Результати впровадження
1	Металургія	Датчики споживання електроенергії; система аналітики на базі SCADA	Зниження енергоспоживання на 12 %
2	Харчова промисловість	Вбудовані IoT-сенсори на виробничому обладнанні; мобільна платформа моніторингу	Зменшення використання газу на 15 %
3	Хімічне виробництво	Інтеграція IIoT з ERP; прогнозна аналітика на основі ШІ	Зниження пікових навантажень на 10 %
4	Машинобудівне виробництво	Комплексна система енергоменеджменту з IIoT та MES	Зниження споживання електроенергії на 14 %

на початковій стадії, однак демонструє позитивну динаміку. У 2023–2024 рр. зросла кількість пілотних проєктів у галузі металургії, аграрному секторі, енергетиці та харчовій промисловості.

У звіті Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України за 2024 р. відзначено, що частка підприємств, які впровадили цифрові технології енергомоніторингу, зросла майже вдвічі порівняно з 2021 р. [10]. При цьому середньостатистичне зниження енергоспоживання становило 8–15 % уже в перший рік експлуатації систем. Успішні приклади демонструють підприємства хімічної та машинобудівної промисловості, які інтегрували модулі дистанційного контролю за споживанням газу, води та електроенергії з можливістю адаптивного керування технологічними установками в реальному часі. В Україні також спостерігається тенденція до впровадження IIoT-рішень на підприємствах важкої промисловості, зокрема у феросплавній. Установлення систем розумного обліку (Smart Metering), мережевих терморегуляторів, вібраційних сенсорів та аналізаторів якості електроенергії дає змогу не лише зменшити споживання, а й подовжити строк експлуатації обладнання.

У табл. 1 показано узагальнений ефект зниження енергоспоживання у відсотках на

українських підприємствах різних галузей промисловості після впровадження технологій промислового Інтернету речей (IIoT).

Поряд із перевагами існують певні труднощі, які ускладнюють широке застосування IIoT у промисловості України. Упровадження таких технологій у виробництво потребує значних фінансових вкладень, пов'язаних із закупівлею обладнання, встановленням серверних платформ та адаптацією програмного забезпечення. Підключення виробничих систем до мережі створює потенційні ризики для несанкціонованого доступу до критично важливої інформації. Тому виникає питання забезпечення належного рівня кібербезпеки. Також спостерігається проблема недостатньої цифрової грамотності обслуговуючого персоналу.

Висновки. Попри зазначені труднощі перспективи розвитку IIoT у сфері енергоефективності залишаються значними. Подальша інтеграція IIoT із технологіями штучного інтелекту, машинного навчання та хмарних обчислень сприятиме створенню повністю автономних систем управління енергоресурсами. Практика показує, що впровадження IIoT-рішень дає змогу досягти суттєвого скорочення енергетичних витрат, зниження операційних витрат і підвищення загальної ефективності виробництва.

ЛІТЕРАТУРА:

1. НБУ суттєво погіршив прогноз відновлення економіки. *Економічна правда*. 26.01.2023. URL: <https://www.epravda.com.ua/news/2023/01/26/696389/> (дата звернення: 24.04.2025).
2. Забезпечення енергоефективності економіки: можливості імплементації зарубіжного досвіду / Л. Г. Квасний та ін. *Academy review*. 2024. Т. 1(60). С. 20–35. DOI: 10.32342/2074-5354-2024-1-60-2
3. Котіна Г. М., Степура М. М., Григоренко А. І. Фінансові важелі впливу на енергоємність економіки: виклики та перспективи реалізації в Україні. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія «Економіка і управління»*. 2020. Т. 31(70). № 4. С. 89–95. URL: <https://doi.org/10.32838/2523-4803/70-4-41>
4. Грінченко Р. В., Орленко О. М. Енергоефективність в Україні: стан та перспективи покращення. *Науковий вісник Одеського національного економічного університету*. 2024. Т. 1–2(314–351). С. 117–125. URL: <https://doi.org/10.32680/2409-9260-2024-1-2-314-315-117-125>
5. Дашко І. М., Крилов Д. В. Енергоефективність: проблеми оцінки та наявний стан. *Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки*. 2021. № 3. С. 108–112. DOI: 10.31891/2307-5740-2021-294-3-17

6. Сапожник Д. О., Плечистий Д. Д. Використання Інтернету речей для економії енергетичних ресурсів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2023. Т. 4. С. 39–45. URL: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2023-169-4-39-45>
7. Bagdadee A. H., Zhang L., Saddam Hossain Remus M. A brief review of the IoT-based energy management system in the smart industry. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1056 (2020), pp. 443–459. DOI: 10.1007/978-981-15-0199-9_38
8. A Reliable Communication Framework and Its Use in Internet of Things (IoT). URL: https://www.researchgate.net/publication/325645304_A_Reliable_Communication_Framework_and_Its_Use_in_Internet_of_Things_IoT
9. База встановлених пристроїв, підключених до Інтернету речей (IoT), у всьому світі з 2015 по 2025 р. <https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/> (дата звернення: 24.04.2025).
10. Публічний звіт Голови Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України про підсумки діяльності у 2024 році. <https://saee.gov.ua/static-objects/saee/sites/1/uploaded-files/publicnii-zvit-golovi-2024.pdf> (дата звернення: 24.04.2025).

REFERENCES:

1. National Bank of Ukraine. (2023, January 26). NBU суттєво погіршив прогноз відновлення економіки [NBU significantly worsened the forecast for economic recovery]. *Ekonomichna Pravda*. Retrieved April 24, 2025, from <https://www.epravda.com.ua/news/2023/01/26/696389/> [in Ukrainian]
2. Kvasnii, L. H. (2024). Zabezpechennia enerhoefektyvnosti ekonomiky: mozhlyvosti implementatsii zarubizhnogo dosvidu [Ensuring the energy efficiency of the economy: opportunities for the implementation of foreign experience]. *Academy Review*, 1(60), 20–35. <https://doi.org/10.32342/2074-5354-2024-1-60-2> [in Ukrainian]
3. Kotina, H. M., Stepura, M. M., & Hryhorenko, A.I. (2020). Finansovi vazheli vplyvu na enerhoiemnist ekonomiky: vyklyky ta perspektyvy realizatsii v Ukraini [Financial levers for influencing the energy intensity of the economy: challenges and implementation prospects in Ukraine]. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Taurida National University. Series: Economics and Management*, 31(70), 4, 89–95. <https://doi.org/10.32838/2523-4803/70-4-41> [in Ukrainian]
4. Hrinchenko, R. V., & Orlenko, O. M. (2024). Enerhoefektyvnist v Ukraini: stan ta perspektyvy pokrashchennia [Energy efficiency in Ukraine: current state and prospects for improvement]. *Scientific Bulletin of the Odesa National Economic University*, 1–2(314–351), 117–125. <https://doi.org/10.32680/2409-9260-2024-1-2-314-315-117-125> [in Ukrainian].
5. Dashko, I. M., & Krylov, D. V. (2021). Enerhoefektyvnist: problemy otsinky ta naiavnyi stan [Energy efficiency: assessment problems and current state]. *Bulletin of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences*, (3), 108–112. <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2021-294-3-17> [in Ukrainian].
6. Sapozhnyk, D. O., & Plechystyi, D. D. (2023). Vykorystannia internetu rechei dlia ekonomii enerhetychnykh resursiv [Use of the Internet of Things for energy resource saving]. *Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute*, 4, 39–45. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2023-169-4-39-45> [in Ukrainian].
7. Bagdadee, A. H., Zhang, L., & Hossain Remus, M.S. (2020). A brief review of the IoT-based energy management system in the smart industry. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1056, 443–459. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0199-9_38
8. A Reliable Communication Framework and Its Use in Internet of Things (IoT). (n.d.). Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/325645304_A_Reliable_Communication_Framework_and_Its_Use_in_Internet_of_Things_IoT
9. Statista. (2025). Baza vstanovlenykh prystroiv, pidkliuchenykh do Internetu rechei (IoT), u vsomu sviti z 2015 po 2025 rik [Number of connected devices worldwide in the Internet of Things (IoT) from 2015 to 2025]. Retrieved April 24, 2025, from <https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/> [in Ukrainian].
10. Publicnyi zvit Holovy Derzhavnoho ahentstva z enerhoefektyvnosti ta enerhozberezhennia Ukrainy pro pidsumky diialnosti u 2024 rotsi [State Agency on Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine]. (2024). Public report of the Head of the State Agency on the results of activity in 2024. Retrieved April 24, 2025, from <https://saee.gov.ua/static-objects/saee/sites/1/uploaded-files/publicnii-zvit-golovi-2024.pdf> [in Ukrainian].