УДК 621.311:004.77

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ У ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ

Андрій Руденко

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

Науковий керівник: Л. О. Борян,
старший викладач Миколаївський національний аграрний університет

Сучасна трансформація глобального та національного енергетичного сектору безпосередньо пов’язана з інтенсивним впровадженням цифрованих рішень, серед яких особливе місце посідають технології Інтернету речей (IoT). В умовах стрімкого зростання навантаження на розподільчі мережі, збільшення частки відновлюваних джерел енергії та високого ризику виникнення технологічних порушень постає нагальна потреба у створенні високоточних систем моніторингу та управління вимірювальною інфраструктурою в режимі реального часу.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підвищення надійності, енергоефективності та безперебійності електропостачання шляхом мінімізації людського фактора і послідовного переходу до концепції інтелектуальних енергетичних мереж (Smart Grid). Метою даної роботи є комплексне висвітлення теоретичних, прикладних та нормативно-правових засад функціонування Інтернету речей в електроенергетиці, а також оцінка його практичної ефективності для оптимізації технологічних процесів виробництва, транспортування і розподілу електричної енергії. Введення в основну частину передбачає детальний розгляд архітектури IoT-рішень, систем смарт-обліку, автоматизованого виявлення пошкоджень, засобів збереження енергоресурсів, логістичного забезпечення екстреного обслуговування та правових механізмів, що регулюють функціонування цифрової енергетичної інфраструктури на сучасному ринку електричної енергії.

Стрімкий розвиток цифрових технологій створює міцний фундамент переходу традиційних електромереж на якісно новий рівень функціонування та автоматизації. Як зазначають у своїх працях М. Стаднік та співавтори, впровадження інтелектуальних систем моніторингу вимірювальних приладів забезпечує безперервний контроль параметрів електричної енергії та суттєво зменшує ризики виникнення технологічних порушень [1]. Автори підкреслюють, що автоматизований аналіз даних у режимі реального часу дає змогу завчасно прогнозувати критичні навантаження на обладнання та запобігати аварійним вимкненням. Це означає, що первинне розгортання мережі датчиків температури, напруги та струму безпосередньо на трансформаторних підстанціях створює єдине інформаційне поле для диспетчерських служб. Завдяки безперервному надходженню телеметричних даних повністю зникає потреба в планових фізичних обстеженнях віддалених об'єктів, адже будь-які відхилення від нормальних режимів фіксуються миттєво. Додатково це створює передумови для розробки гнучких алгоритмів автоматичного перерозподілу потоків потужності під час локальних пікових навантажень. Системне поєднання смарт-датчиків та аналітичних платформ формує надійний бар'єр проти каскадних аварій, максимізуючи загальний термін експлуатації коштовного силового устаткування. Завдяки цьому оператори систем розподілу отримують можливість переходити від реактивного ремонту до стратегії запобіжного обслуговування на основі фактичного стану матеріальних активів.

Систематичне розширення сфер застосування цифрових сенсорів вимагає впровадження нових інтелектуальних методів обробки даних безпосередньо в мережах. Як зазначають у своїх працях М. Стаднік та співавтори, використання нейронних мереж і методів машинного навчання у складі інтелектуальних систем забезпечує високу точність розпізнавання нестандартних режимів роботи електроенергетичного обладнання [1]. Науковці наголошують на тому, що поєднання штучного інтелекту з фізичними вимірювачами дає змогу виявляти складні взаємопов'язані дефекти ще на стадії їх зародження. Завдяки цьому цифрова інфраструктура стає здатною самостійно класифікувати рівень загрози для стабільності всієї системи, знижуючи навантаження на людський персонал диспетчерських пунктів. Інтеграція предиктивних алгоритмів дозволяє авторегуляторам коригувати напругу та коефіцієнт потужності з урахуванням прогнозованого графіку енергоспоживання на

декілька годин уперед. У результаті суттєво підвищується стійкість розподільчих мереж до раптових технологічних збурень та знижуються втрати при передачі електроенергії. Використання самонавчальних алгоритмів на базі первинних даних IoT-датчиків формує основу для створення повністю автономних підстанцій нового покоління.

Практична реалізація концепції Інтернету речей в енергетичному секторі супроводжується суттєвим розширенням функціональних можливостей постачальних та розподільчих компаній. У публікації на корпоративному блозі Kyivstar Business Hub наголошується, що залучення технологій Інтернету речей у сферу енергетики дозволяє оперативно отримувати точні показники споживання, оптимізувати операційні витрати та забезпечувати високий рівень безпеки мережевої інфраструктури [2]. У даному джерелі акцентується увага на комерційній вигоді від автоматизації збору даних та зниженні обсягів понаднормових втрат. Впровадження розумних лічильників (smart meters) дозволяє повністю виключити людський чинник із процесу фіксації обсягів спожитої електроенергії, унеможливлюючи викривлення інформації чи несанкціонований відбір. Окрім цього, автоматизоване виявлення точок витоку струму та несанкціонованих підключень дозволяє операторам систем розподілу миттєво реагувати на факти розкрадань. Двосторонній обмін даними між споживачем та енергопостачальником сприяє впровадженню багаторарифних систем обліку, зацікавлюючи клієнтів переносити енергоємні процеси на нічний час. Такий підхід вирівнює добовий графік навантаження та знижує знос основного обладнання генерації. У підсумку створюються сприятливі умови для формування прозорих фінансових відносин між учасниками ринку та підвищення якості обслуговування споживачів.

Функціонування цифрових елементів у структурі вітчизняного енергоринку чітко регламентується чинним законодавством України. Згідно зі статтею 68 Закону України «Про ринок електричної енергії», комерційний облік електричної енергії здійснюється по постачальникам, операторам систем та споживачам відповідно до правил комерційного обліку, які визначають вимоги до приладів, порядок отримання та обробки даних [3]. Ця норма закріплює юридичні підстави для обов'язкового використання сертифікованих інтелектуальних засобів вимірювальної техніки. Нормативна стандартизація каналів передачі вимірювальної інформації забезпечує високий рівень легітимності електронних первинних даних, що надходять від IoT-пристроїв до систем комерційного обліку (АСКОЕ). Надійний юридичний базис гарантує, що цифрові показники фіксуються як офіційні юридичні факти для розрахунку балансу потужності та фінансових розрахунків між учасниками ринку. Це створює сприятливе інвестиційне середовище для впровадження смарт-інфраструктури, оскільки енергокомпанії отримують гарантії захисту своїх вкладень у цифровізацію. До того ж чітка регламентація спрощує процедуру інтеграції розподіленої генерації та приватних електростанцій до загальної енергосистеми. Законодавче закріплення правил збору інформації унеможливлює виникнення спірних ситуацій при формуванні балансів електроенергії.

Специфіка застосування бездротових сенсорних мереж охоплює не лише внутрішні процеси передачі енергії, а й логістичні ланцюги обслуговування. Як зазначено в дослідженнях Ю. Семененка, використання Інтернету речей у виробничих та логістичних операціях забезпечує наскрізну прозорість процесів, дозволяючи контролювати стан технічних ресурсів на всіх етапах їх експлуатації [4]. Автор підкреслює важливість інтеграції IoT-модулів у систему матеріально-технічного забезпечення для запобігання простоям та оптимізації маршрутів. В енергетиці це проявляється у створенні автоматизованого контролю за станом аварійного запасу обладнання, трансформаторного масла, кабельної продукції та пересувних ремонтних бригад. Завдяки GPS-моніторингу та датчикам стану матеріалів диспетчерський центр здатний за лічені хвилини сформувати та направити найближчу бригаду з необхідним комплектом запчастин до місця аварії. Такий рівень координації мінімізує час вимушеного відключення споживачів та покращує показники надійності мережі. Крім того, підтримання оптимізованого складу запчастин на основі реальних даних про знос обладнання суттєво зменшує заморожування обігових коштів підприємств енергетичного сектору. Використання інтелектуальних датчиків у логістиці дає змогу суттєво скоротити час відновлення електропостачання після природних катаклізмів чи технологічних аварій.

Окрім суто технічних питань, впровадження IoT-компонентів створює правовідносини щодо володіння та безпечного використання майна цифрової інфраструктури. Згідно зі статтею 319 Цивільного кодексу України, власник володіє, користується, розпоряджається своїм майном на власний розсуд та має право вчиняти щодо нього будь-які дії, що не суперечать закону [5]. Визначення цієї норми підкреслює правовий статус фізичних елементів Інтернету речей: сенсорів, контролерів та серверного обладнання - як об'єктів права власності енергетичних компаній. Захист недоторканності цих матеріальних активів є необхідною умовою для безпечного функціонування критичної інфраструктури держави. Правова визначеність щодо володіння цифровими пристроями дозволяє операторам мереж укладати договори на їх технічне обслуговування, страхувати ризики пошкодження або кібератак, а також передавати окремі функції в аутсорсинг. Водночас власники зобов'язані підтримувати на належному рівні кіберзахист розумних пристроїв, оскільки фізичний або програмний злам IoT-вузла може створити загрозу для всієї об'єднаної енергосистеми. Отже, цивільно-правове регулювання є основою балансу між правами власників інфраструктури та інтересами загальної національної безпеки. Чіткий розподіл юридичної відповідальності сприяє захисту інвестицій у цифровізацію та підвищує надійність функціонування усього енергетичного комплексу.

Аналіз сучасних світових та вітчизняних тенденцій підтверджує стрімке зростання масштабів інтеграції розширеної аналітики в електроенергетику. На думку О. Бунке та П. Новікова, ключовими векторами розвитку Інтернету речей в енергетичній галузі є перехід до концепції Smart Grid, впровадження хмарних обчислень для обробки великих масивів даних (Big Data) та застосування штучного інтелекту для прогнозування [6]. Науковці зазначають, що майбутнє галузі полягає у створенні повністю самовідновлювальних мереж, здатних локалізувати пошкодження без участі людини. Практична реалізація таких векторів передбачає побудову багаторівневої архітектури, де граничні обчислення (Edge Computing) здійснюються безпосередньо на розумних контролерах підстанцій. Це дозволяє приймати критичні рішення про відключення пошкоджених ділянок за мілісекунди, уникаючи поширення системних аварій. Автоматична адаптація мережі до коливань генерації від сонячних та вітрових електростанцій стає можливою саме завдяки щільній сітці IoT-датчиків. Зрештою, об'єднання цих тенденцій формує стійку технологічну основу для цифрової трансформації енергетичного сектору. Гнучке поєднання хмарних рішень та локальної аналітики створює передумови для автономного функціонування мікромереж (Microgrids) у разі масштабних збоїв у централізованій системі.

Питання збереження енергоресурсів та оптимізації їх споживання належить до пріоритетних завдань сучасної енергетики. Як зазначають у своїх працях Д. О. Сапожник та Д. Д. Плечистий, застосування засобів Інтернету речей відкриває широкі можливості для підвищення рівня енергозбереження завдяки точному вимірюванню, контролю та автоматизованому управлінню режимами роботи обладнання [7]. Дослідники акцентують на тому, що впровадження інтелектуального обліку дозволяє виявити приховані втрати енергії та розробити дієві заходи з їх усунення. Завдяки постійному моніторингу температури провідників, стану контактних з'єднань та рівня завантаження трансформаторів удається виявити середньострокові деградаційні зміни в мережі ще до виникнення аварійного пробою. Автоматизовані системи здатні динамічно змінювати коефіцієнт трансформації та регулювати напругу в вузлах споживання, мінімізуючи втрати на нагрівання ліній передач. Це створює вагомий екологічний та економічний ефект, оскільки кожен збережений кіловат-годинний обсяг зменшує потребу у спалюванні викопного палива на теплових електростанціях. Систематичне зниження технологічних витрат електроенергії є важливим чинником підвищення конкурентоспроможності всієї економіки країни.

Поряд із технологічним удосконаленням обладнання вагоме значення має оптимізація споживання безпосередньо на боці кінцевого користувача. Як зазначають у своїх працях Д. О. Сапожник та Д. Д. Плечистий, автоматизація систем вимірювання та управління споживанням енергоресурсів є необхідним кроком для реалізації системного енергозбереження та переходу до «зеленої» економіки [7]. Науковці підкреслюють, що залучення кінцевих споживачів до процесів регулювання через системи Demand Side Management дає змогу суттєво зменшити пікові

навантаження в мережах. На практиці це реалізується через встановлення розумних домашніх та промислових енергоменеджерів, які автоматично відключають непрофільні прилади в періоди найвищої вартості електроенергії. Такий підхід створює економічні стимули для населення та підприємств, сприяючи більш рівномірному використанню наявних потужностей протягом доби. У результаті зменшується потреба в залученні високовитратних маневрених потужностей вугільної та газової генерації. Загальна інтеграція споживачів у єдиний цифрований простір управління є вагомим внеском у досягнення декарбонізації енергетичної галузі.

Синтез технічних, економічних та правових аспектів застосування Інтернету речей свідчить про формування якісно нової парадигми управління електроенергетичним комплексом. Застосування смарт-сенсорів у поєднанні з аналітикою даних перетворює традиційну пасивну мережу на динамічно керовану інтелектуальну систему. Висока щільність первинних вимірювань створює можливість створення цифрових двійників (Digital Twins) силових трансформаторів та розподільчих пунктів, що дає змогу моделювати їх поведінку за будь-яких екстремальних погодних чи режимних умов. Така глибина цифровізації дозволяє відмовитися від застарілої системи планово-попереджувальних ремонтів на користь обслуговування за фактичним технічним станом (Predictive Maintenance). У результаті суттєво знижуються експлуатаційні витрати енергопідприємств при одночасному зростанні показників безвідмовності та якості електропостачання кінцевих споживачів. Інтеграція IoT-технологій перетворює споживачів на активних учасників ринку, які можуть самостійно регулювати власне енергоспоживання залежно від поточних ринкових цін на електроенергію.

Узагальнюючи викладений матеріал, можна зробити висновок, що застосування Інтернету речей в електроенергетиці є ключовим рушієм інноваційного розвитку та цифровізації галузі. Комплексне впровадження розумних лічильників, бездротових сенсорних мереж та аналітичних платформ забезпечує підвищення надійності функціонування електромереж, мінімізацію аварійності та підвищення ефективності збереження енергоресурсів. Чітке законодавче забезпечення комерційного обліку та правового статусу майна критичної інфраструктури створює надійне підґрунтя для подальшого залучення інвестицій у розбудову інтелектуальних мереж Smart Grid.

Список використаних джерел

1. Застосування інтелектуальних систем для підвищення надійності та ефективності функціонування електроенергетичних мереж / М. Стаднік та ін. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*. 2025. Т. 347, № 1. С. 291–299. URL: https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-347-38(дата звернення: 04.10.2026).

2. Інтернет речей в енергетиці: у чому користь? | Kyivstar Business Hub. *Kyivstar Business Hub – корпоративний блог для бізнесу*. URL: https://hub.kyivstar.ua/articles/internet-rechej-v-energeticzi-u-chomu-koristi(дата звернення: 04.10.2026).

3. Про ринок електричної енергії : Закон України від 13.04.2017 № 2019-VIII : станом на 1 жовт. 2026 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text(дата звернення: 04.10.2026).

4. Семененко Ю. Використання інтернету речей у виробництві та логістиці. *Наукові інновації та передові технології*. 2024. № 4(32). URL: https://doi.org/10.52058/2786-5274-2024-4(32)-814-826(дата звернення: 04.10.2026).

5. Цивільний кодекс України : Кодекс України від 16.01.2003 № 435-IV : станом на 5 серп. 2026 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/435-15#Text(дата звернення: 04.10.2026).

6. Bunke O., Novikov P. Тенденції розвитку інтернету речей в енергетиці. *COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION*. 2024. № 54. С. 53–59. URL: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-07(дата звернення: 04.10.2026).

7. Sapozhnyk D. O., Plechystyi D. D. Using the Internet of Things for Energy Resource Conservation. *Visnyk of Vinnytsia Politechnical Institute*. 2023. Т. 169, № 4. С. 39–45. URL: https://doi.org/10.31649/1997-9266-2023-169-4-39-45(дата звернення: 04.10.2026).