

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-07>

УДК 004.89

Бунке Олександр Сергійович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-7945-7040>

Новіков Павло Валерійович к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-2790-5809>

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ В ЕНЕРГЕТИЦІ

Бунке О.С., Новіков П.В. Тенденції розвитку інтернету речей в енергетиці. У межах статті проведено огляд тенденцій розвитку Інтернету речей в енергетиці. Використання «Інтернету речей» сприяє досягненню стратегічних цілей розвитку та функціонування електроенергетичної галузі. Підкреслено, що за допомогою Інтернету речей створення єдиної інформаційної системи та відображення стану обладнання в режимі реального часу дозволяє підвищувати надійність енергосистеми, оптимізуючи перетікання енергії, завантажуючи найбільш надійне обладнання та знижуючи помилки персоналу при керуванні функціонуванням системи. Наголошується, що надійність енергосистеми безпосередньо пов'язана з її ефективністю та безпекою. З підвищенням надійності зменшується збиток енергокомпанії та споживача. Інформація про стан та параметри роботи обладнання в IoT дозволяє розглядати систему розподілених об'єктів енергосистеми як єдиний об'єкт (віртуальну електростанцію), включаючи енергосистему споживача та керуючи її режимами за допомогою інтелектуальних систем обліку. Зазначено, що зниження аварійності зменшує негативні впливи на довкілля, персонал компанії та енергосистему споживача. Технологічно IoT забезпечується за рахунок використання контролерів технічного стану обладнання, ізоляторів, які можуть виявити коронні розряди, датчики провисання проводів, «розумних» систем обліку енергії та багатьох інших елементів. Підкреслено, що технологія «Інтернету речей» дає імпульс не лише технологічному розвитку електроенергетики, а й дозволяє використовувати нові методи управління енергосистемами та змінити бізнес-моделі ринкових відносин у галузі, дозволяючи оптимізувати систему енергетики, що може призвести до кращого використання навколишнього середовища та природних ресурсів, що, у свою чергу, призведе до масштабних переваг розумних енергетичних систем.

Ключові слова: енергетика, галузь, енергосистема, Інтернет речей, перспективи, оптимізація, датчики.

Bunke O., Novikov P. Trends in the development of the internet of things in energy. Within the scope of the article, an overview of the trends in the development of the Internet of Things in the energy sector is carried out. The use of the "Internet of Things" contributes to the achievement of the strategic goals of the development and operation of the electric power industry. It is emphasized that with the help of the Internet of Things, the creation of a unified information system and the display of equipment status in real time allows to increase the reliability of the power system, optimizing the flow of energy, loading the most reliable equipment and reducing staff errors when managing the operation of the system. It is emphasized that the reliability of the power system is directly related to its efficiency and safety. With increased reliability, the loss of the energy company and the consumer decreases. Information about the state and parameters of equipment operation in IoT allows considering the system of distributed power system objects as a single object (virtual power plant), including the consumer's power system and managing its modes with the help of intelligent accounting systems. It is noted that the reduction of accidents reduces the negative impact on the environment, the company's personnel and the consumer's energy systems. Technologically, the IoT is provided through the use of equipment health controllers, isolators that can detect corona discharges, wire sag sensors, "smart" energy metering systems, and many other elements. It is emphasized that the Internet of Things technology gives impetus not only to the technological development of the electric power industry, but also allows the use of new methods of power system management and changes in business models of market relations in the industry, allowing to optimize the energy system, which can lead to better use of the environment and natural resources, which, in turn, will lead to large-scale benefits of smart energy systems.

Key words: energy, industry, energy system, Internet of things, prospects, optimization, sensors.

Вступ та постановка проблеми. В умовах сьогодення, енергія є основою сучасного світу. Для підвищення ефективності та функціональності енергетичних, інформаційних та комунікаційних технологій (ІКТ) інтеграція є ключовим рушієм. Енергетика являє собою складну, багаторівневу та багатовимірну сферу, враховуючи інтеграцію ІКТ, яка призвела до сфери розумної енергетики. Парадигма інтелектуальної енергії розвивалася протягом багатьох років, щоб охопити багато технологій, таких як інтелектуальна мережа, інфраструктура автоматизованого вимірювання, управління активами, енергетичний баланс, відновлювана енергетика, міжсекторальний контроль, тощо. Термін «розумна енергія» використовувався в різних значеннях, але більшою мірою він передає зміну парадигми від односекторного підходу [1].

Облік є важливою функціональністю інтелектуальних енергетичних систем і дозволяє точно оцінювати стан системи. Інтелектуальний лічильник є одним із основних компонентів сучасних енергетичних систем, що забезпечує функціональність вимірювання. Як правило, розумний лічильник складається з сенсорної, обчислювальної та комунікаційної підсистем. Кожен із компонентів зазвичай визначається для сектору енергетики, в якому буде працювати лічильник.

Однак для сценарію інтелектуальної енергетики потрібен зростаючий рівень інтеграції. Обчислювальні та комунікаційні технології розвивалися блискавично протягом багатьох років, керуючись законом Мура та динамічним прагненням до програмного забезпечення та комунікаційних технологій, щоб збільшити швидкість зв'язку, що призвело до складних конструкцій і безлічі завдань для обчислювальних платформ, які еволюціонували, у сучасний час, від простих мікроконтролерів до складних одноплатних комп'ютерів для сфери, у якій відбувається впровадження інтелектуального лічильника. Відповідно, можливості операційної системи також були розширені, а просте вимірювання та звітування поступилися місцем вдосконаленим конструкціям на основі штучного інтелекту для різноманітних розширених функцій, таких як виявлення втручання, ненав'язливий моніторинг навантаження, зменшення піків, оцінка сітки, тощо. Подібним чином, еволюція обчислювального обладнання приносить із собою гнучкість і, як результат, складність конфігурації та програмного забезпечення. Щоб переглянути обчислювальну інфраструктуру інтелектуального лічильника, знову доречно порівняти її з еволюцією обчислювальних пристроїв, що дає змогу вказати на очевидні прогалини та втрачені можливості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасній науковій площині з'являються роботи присвячені дослідженням розвитку Інтернету речей в енергетиці для підвищення рівня якості моніторингу та реалізації виконавчих функцій.

Огляд у [2] вказав на кілька варіантів використання терміну «розумна енергетика» та згрупував їх у два класи, у яких перша група в першу чергу зосереджена на розумних мережах, а потім на їх розширеннях, таких як міжгалузеве управління та моделювання. Кілька авторів зосередили свої роботи на механізмах міжгалузевої інтеграції [3, 4], у [5] на компонентах більш складної інтерактивної системи систем або [6] на компоненті інтеграції відновлюваної енергії. Ці сценарії представляють зміну парадигми системного мислення щодо енергії.

Із зарубіжних авторів варто відмітити роботи таких науковців як: Рамасуббаредді Сомула, Йонгюн Чо, Бхабенду Кумар Моханта [7], Ван Бінцюань, Ляо Сюе [8], Ахмед Мухаммад, Міо Тірейн, Асері М., Баромі Бадар, Кайзер М., Шрімал Вошан [9], Деван Ріту, Нагпал Тапсі, Ахмад Шарік, Кумар Арун, Іслам Сардар [10], Калайчелві Нагараджан, Гаятрі С. П. [11], Гаятрі С. П., Віджаялакшмі С. [12], Хан Талха, Віду Сандіп, Рац Андрас, Афшанг Мерназ, Хеглунд Андреас, Бергман Йохан [13], Чініпардаз Мар'ям, Хорамфар Алі, Амраї Сомає [14] та інших.

Однак незважаючи на масштабність наукових досліджень питання актуальності даної роботи не викликає сумнівів.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження тенденцій розвитку Інтернету речей в енергетиці.

Викладення основного матеріалу дослідження. Системи датчиків для розумних лічильників вимірюють споживану енергію. Залежно від типу та використання енергії, що подається, сенсорні системи бувають різних типів; однак найпоширенішими типами вимірюваних змінних в області енергії є електрика, тепло та газ, причому електрика є найпоширенішою; тепло, у більшості випадків, є похідною змінною або від електричного, або від газового постачання, але через його вплив воно зазвичай вимірюється окремо. У деяких випадках саме тепло безпосередньо постачається споживачеві. Хоча про інтегрований інтелектуальний лічильник для вимірювання всіх величин не повідомлялося, окремо ці змінні все частіше вимірюються, контролюються, обробляються та контролюються для сценаріїв інтелектуальної енергії [6]. Наразі інтегрований сценарій застосування також не реалізується на фізичному рівні; скоріше, ці змінні обробляються на вищому рівні інтеграції та абстракції, як правило, на рівні програм і в хмарі, що призводить до перешкод робочому механізму, та може призвести до недостатнього використання даних та інших артефактів збору даних. Розробники інтелектуальних лічильників зазвичай розглядають техніку вимірювання як зовнішній фактор, прикладом чого є той факт, що більшість досліджень розумних лічильників знімають готові компоненти, тоді як у промисловості різні типи лічильників у різних сценаріях призводять до різних конструкцій.

Теплова енергія або тепло вимірюється шляхом інтегрування потоку рідини з різницею температур рідини, яка постачає або відводить тепло. Базове вимірювання підведеного або відведеного тепла отримують шляхом множення масового потоку рідини на питому теплоту та різницю температур між поданою та зворотною рідиною. Системи теплопостачання використовують або пару, або іншу рідину, при цьому рідинні системи стають все більш поширеними. Різниця температур вимірюється за допомогою датчика температури, тоді як потік вимірюється динамічним або статичним методом. Динамічні методи використовують рухому

механічну частину, таку як робоче колесо або турбіна, для вимірювання масової витрати, тоді як статичні вимірювачі використовують електронні методи, причому найпоширенішими є ультразвукова та магнітна індукція. Лічильники теплового потоку також стають звичним явищем у сучасних будівельних системах для вимірювання теплового потоку через ізоляцію для кращого контролю температури навколишнього середовища.

Обчислювальна платформа складається з апаратного забезпечення, наприклад одноплатних комп'ютерів, мікроконтролерів, системи на чіпі та програмного забезпечення, наприклад інструментів API. Комунікаційна технологія складається з протоколів передачі даних і проміжного програмного забезпечення.

Найбільш ранні роботи з вимірювання прихованої теплоти за допомогою механічних витратомірів, таких як робочі колеса та поворотні датчики, виконані в [15]. Ультразвуковий лічильник для вимірювання витрати в теплотічильниках виправив помилки, викликані коливаннями температури, що призвело до збільшення динамічного діапазону для вимірювання теплового потоку.

Базуючись на твердій теоретичній основі, існує велика кількість практично побудованих лічильників теплового потоку, починаючи від простих і закінчуючи лічильниками з електронною інтеграцією.

Про інтеграцію системи опалення в бізнес-аналітику та інтеграцію проміжного програмного забезпечення зазвичай не повідомляється, а різноманітність методів, які можуть бути використані не відображається в цих сценаріях. Доцільно виміряти вплив збурень і методи установки на вищому рівні інтеграції та включити опалення як компонент у сценарії інтелектуальної енергії.

У сферах розумної енергетики газові лічильники використовуються для вимірювання загального об'єму газоподібного палива, що подається системою, яка зазвичай знаходиться під постійним тиском. Вимірювання газу зазвичай є складними, оскільки об'ємні показання з вимірювань витрати є громіздкими та схильними до помилок через залежність об'єму від температури та тиску. Вимірювання потоку є дуже активною дослідницькою сферою, і було розроблено та повідомлено про численні методи, але існує дуже мало комерційно застосованих методик через складний характер правових і комерційних стандартів.

До динамічних лічильників відносяться мембранні лічильники та витратоміри на основі механічних ротаційних вимірювальних пристроїв. Мембранні витратоміри є найпоширенішими, мають найбільшу споживчу та промислову базу встановлення; вони надійні та достатньо точні, особливо для енергетичних газів. Більшої точності та діапазону можна досягти за допомогою механічно оброблених ротаційних лічильників, які вимірюють швидкість газового потоку і визначають об'ємну швидкість потоку. Динамічні лічильники схильні до зношування, дрейфу вимірювання та обмеженої швидкості відгуку. Статичні лічильники використовують процеси вимірювання, які не вимагають руху вимірювальних елементів для вимірювання витрати, такі як ультразвукові лічильники та вимірювачі ефекту Коанда; отже, вони більш надійні щодо помилок, зносу та втоми, що призводить до кращої продуктивності, довговічності та меншого розміру.

Ультразвукові лічильники зазвичай не використовуються в побутових і промислових вимірюваннях паливного газу через вартість, складність і динамічний діапазон, але знаходять все більше застосування в метрології. Іншим типом статичного лічильника є витратомір Коріоліса, який використовує коливальні трубки, чії коливання змінюються зі зміною масової витрати, таким чином безпосередньо вимірюючи масову витрату замість використання об'ємної витрати; це робить лічильник Коріоліса, мабуть, найточнішим лічильником у вимірюванні потоку, з тривалим терміном служби і широким промисловим використанням у харчовій промисловості, виробництві напоїв та хімічній промисловості. Нарешті, кілька міжнародних організацій розробили проекти стандартів газової метрології для побутових і комерційних установок, таких як довідковий документ OIML R-137, частина 1 і 2, який визначає вимоги та технічні рекомендації для внутрішньої газової метрології. На основі проектів було впроваджено два типи побутових газових лічильників, що використовують механічний датчик, обладнаний електронним індексом, і ультразвуковий механізм з температурною компенсацією, де обидва ці лічильники обладнані механізмом електронного зв'язку для інтелектуального обліку. Радіомодуль для автоматичного зчитування з'єднується з імпульсним інтерфейсом лічильника газу для передачі спожитого об'єму.

Платформа автоматизованого зчитування лічильників для домену інтелектуального обліку може інтегрувати автоматичне виставлення рахунків за допомогою даних про споживання.

Електроенергія є найпоширенішим типом енергії, що виробляється та розподіляється для споживання в побутових, промислових та інших секторах завдяки легкості виробництва, розподілу та контролю, а також ефекту масштабу на кожному рівні в електроенергетиці; це також робить її однією з найдоступніших енергетичних рішень у всьому світі.

Електромережа постійно розвивалася разом з еволюцією технологій і методів генерації, мереж розподілу та інтеграції обчислювальних і комунікаційних технологій в електроенергетичну екосистему, що призвело до появи сучасної концепції розумної мережі, яка все частіше впроваджується в етап реалізації на різних рівнях. Ця концептуальна та практична еволюція електричної мережі призвела до більш тісної інтеграції різних компонентів у різних сферах. Чистий вимір, розподілена генерація, введення реактивної потужності, стабільність і контроль мережі, зменшення пікових навантажень тощо – це лише деякі приклади такої інтеграції, яка дозволяє точно контролювати споживання та виробництво, аж до кінцевого користувача, і потім знову до основного виробничого об'єкта, щоб оптимізувати все більш складні функції витрат, такі як мінімізація вуглецевого сліду, тощо. Така тісна інтеграція та зростаюча складність призвели до реалізації дієвих методів вимірювання для моніторингу споживання електроенергії, що, у свою чергу, призвело до появи різних типів лічильників на різних рівнях, які зараз все частіше називають датчиками розумної мережі та, які містять методи, що виходять за межі простих побутових лічильників. На відміну від інших енергетичних мереж, які обговорювалися раніше, швидка еволюція та міжрівнева інтеграція електричної мережі вимагає більш комплексного перегляду методів вимірювання в мережеских шарах, оскільки вплив кожного вимірюваного значення може поширюватися через мережу, навіть до кінцевого користувача.

На фундаментальному рівні вимірювання електроенергії полягає у вимірюванні миттєвих значень струмів і напруг. Напряга вимірюється шляхом пропускання дуже невеликої кількості струму через вузли, між якими необхідно виміряти різницю потенціалів за допомогою високого значення опору в послідовності з датчиком напруги. Спочатку датчики напруги використовують силу, яку відчуває провідник струму в магнітному полі, і зазвичай включають котушку постійного магніту, що рухається, електродинамометр та індукційні лічильники. Індукційний тип лічильника найчастіше використовується в побутових і промислових лічильниках електроенергії. Випрямний тип лічильника є ще одним поширеним методом вимірювання напруги, який використовує діодний міст і датчик з рухомою котушкою постійного магніту для вимірювання напруги змінного струму. Електростатичні лічильники використовують ємнісний зв'язок, щоб викликати рух, пропорційний напрузі, що прикладається до пластини конденсатора. Цифрові вольтметри використовують компаратор і ланцюг імпульсів для вимірювання рівня напруги вхідного сигналу та перетворення його в потік двійкових цифр, причому кожна цифра вказує на результат компаратора для кожного імпульсу. Різноманітність дизайну цифрового датчика напруги величезна і в основному поділяється на ізольовані та неізольовані методи; обидва вони використовують високопродуктивні АЦП з високою пропускну здатністю, програмованим коефіцієнтом підсилення та універсальні аналого-цифрові перетворювачі з високим динамічним діапазоном для високопродуктивних інструментів.

Вимірювання струму виконується або за допомогою неізольованої методики, що передбачає розміщення дуже низького опору в послідовності зі схемою вимірювання струму, або за допомогою ізольованої методики, яка передбачає вимірювання електромагнітного поля, створюваного поточним струмом. Основним методом є метод шунтового резистора, який вимірює падіння напруги на резисторі на шляху струму та використовує ізолюючий підсилювач для забезпечення підсилення, намагаючись мінімізувати вплив електричного контакту, який вносить омичні втрати за рахунок погіршення пропускну здатності і точності разом із дрейфом у звітних значеннях. В основному шунтові датчики струму зазвичай є коаксіальними шунтами або серією поверхневих шунтів, де перші використовуються для імпульсів високої величини з жорсткими перехідними характеристиками, такими як швидкий час наростання, тоді як другі використовуються в силовій електроніці та промислових, побутових і електронних системах.

Ізольоване вимірювання струму дозволяє безконтактно вимірювати плаваючу напругу за допомогою магнітного поля, створюваного потоком струму, що забезпечує більший динамічний діапазон і електричну безпеку. Магнітне поле можна відчути за допомогою індукції або за допомогою датчиків магнітного поля.

Трансформатори струму використовують просту трансформаторну дію для індукції струму на вторинній/чутливій стороні за допомогою змінного магнітного поля, створюваного первинним струмом, і, можливо, є найбільш широко використовуваними пристроями вимірювання струму в

перетворенні потужності через їх низьку вартість. Сумісний з АЦП сигнал, пропорційний вихід, який не потребує інтеграції, і надійне низькочастотне застосування. Основними недоліками трансформаторів струму є насичення, падіння та гістерезис через індуктивність намагнічування, втрати в сердечнику, особливо на високих частотах, і вимоги до відновлення сердечника в імпульсному режимі.

Крім використовуваної техніки вимірювання, також необхідно враховувати інші важливі аспекти рівня системи, які зазвичай впроваджуються в інфраструктуру вимірювання. Аналогові датчики майже завжди пов'язані з аналого-цифровим (A/D) інтерфейсом, який перетворює вимірювані значення в цифрову область, де основними проблемами на рівні сітки є частота дискретизації, частота звітування, і точність. Іншим аспектом є кількість фаз, типова кількість яких становить одну або три. З'єднання чутливого пристрою з інтерфейсом живлення визначає тип вимірювання, яке виконується як «лінія-нейтраль» або «лінія-лінія». Значення, що записуються, зазвичай є RMS і усереднені для зменшення шуму. Записані значення додатково обробляються статистично для вимірювання поширення та тенденції споживання та виробництва.

Крім базового вимірювання на простих кінцевих вузлах, як правило, вдома та в офісі, лічильники повинні виконувати розширений аналіз на вищих рівнях інтеграції та складних кінцевих вузлах, таких як підприємства чи будівлі. Таке вимірювання враховує безперервний, а також комплексний характер струму та у сталому стані. Перехідні реакції також вимірюються та записуються для вдосконалених систем вимірювання, що дозволяє реалізувати ідентифікацію несправностей і профілактичне технічне обслуговування на системному рівні разом з іншими алгоритмами вищого рівня та статистичними висновками. Коливальні реакції в енергетичних системах дуже важливі з огляду на велику кількість інформації, яку вони містять, особливо стабільність системи. Зазвичай на лічильнику виконується модальний аналіз із використанням методів декомпозиції в частотній області, частотно-часовому або фундаментальному режимах, а дані використовуються вищим рівнем інтелектуального рішення для виявлення подій, або лічильник також можна дистанційно запрограмувати для звітування щодо конкретних подій з використанням методів штучного інтелекту, серед іншого, таких як статистична обробка, для виявлення конкретних подій і звітування.

Фазорні вимірювання також є важливим аспектом сучасних вимірювальних систем, які вимірюють фазу струму та напруги разом із величиною за допомогою блоків вимірювання фази (PMU), які виділяють компонент основної частоти за допомогою перетворення Фур'є та виділяють дійсні та уявні компоненти для опису повного вектора. Додавання прив'язки часу до різних PMU дасть синхрофазор, який може забезпечувати вимірювання частоти в сітці для виявлення подій у сітці, які викликають зміни частоти. Синхрофазори також використовуються для вимірювання відносної різниці фазового кута (RAPD), яка може бути використана для виявлення складного потоку потужності, відключення та міжзональних коливань на вищих рівнях обробки даних. Коли різниця фаз вимірюється на тому самому PMU, отримується векторний диференціал (PD), який можна використовувати для виявлення зміни частоти щодо локальної події та для обчислення диференціального синхрофазора шляхом поєднання вимірювань від різних PMU, які використовуються щоб виявити ту саму подію, вимірявши її вплив у різних місцях об'єднаної енергосистеми. PMU також використовуються для виявлення фазового дисбалансу та пов'язаних з ним подій. На вищих рівнях обробки даних алгоритми оцінки стану даних PMU можуть надати детальну картину стану інтелектуальної енергетичної системи, забезпечуючи контроль і оптимізацію всієї системи.

Миттєве вимірювання напруги та струму надає корисну інформацію про стан системи, але енергосистема за своєю суттю є безперервною системою, і вимірювання, орієнтоване на форму сигналу, може надати додаткову інформацію, особливо у випадку несинусоїдальних форм сигналу, які виникають через спотворення. Такі інструменти, є датчиками форми хвилі, вони бувають різних типів, наприклад вимірювачі якості електроенергії (PQ) і цифрові реєстратори несправностей (DFR). Загальні вимірювання, які виконуються вимірювачами PQ, включають гармоніки напруги, амплітудний коефіцієнт, загальне гармонічне спотворення, індекс фазової гармоніки та інтергармоніки. DFR відстежують безперервні сигнали та фіксують миттєве зображення у разі запуску, яке називається знімком сигналу, який встановлюється шляхом порівняння поточної форми сигналу (віконного сигналу) з еталонною формою сигналу, якою зазвичай є попередній екземпляр сигналу. Подія запускається, коли порівняння перевищує встановлене порогове значення протягом принаймні мінімального встановленого періоду часу, причому популярними методами порівняння

є THD, RMS або порівняння точка-точка та порівняння підциклів. Ідентифікація меж циклу та компенсація коливань частоти є важливими аспектами порівняння між точками, що створює складності, які призводять до таких методів, як порівняння підциклів. Обробку подій і сигналів також можна виконувати на похідних формах сигналу, таких як диференціальна форма сигналу, яка отримується шляхом віднімання двох синхронних частин форми сигналу. Подібним чином, гармонійні сигнали можна аналізувати для різних параметрів шляхом розкладання сигналів за допомогою перетворення Фур'є та додатково позначати часові позначки для генерації гармонійних синхрофазорних сигналів, які забезпечують розріджену основу для оцінки стану сітки.

Синхронізація вимірювань форми сигналу породжує одиниці вимірювання форми сигналу (WMU), які все частіше використовуються в аналізі перехідних процесів. Типовим параметром, який повідомляють WMU, є відносна різниця форм сигналу (RVWD), яка може використовуватися для виявлення подій і класифікації в лініях передачі. Нарешті, виміряні напруга та струм використовуються для отримання потужності, яка фактично повідомляється та широко використовується для різних застосувань у інтелектуальному обліку. Різні типи обчислених параметрів потужності – це реактивна потужність, коефіцієнт навантаження, справжній коефіцієнт потужності, коефіцієнт потужності зміщення, профілі навантаження тощо, які використовуються для оцінки мережі, керування навантаженням на стороні попиту, зменшення пікових навантажень, програм прогнозування енергії, тощо.

Сучасний рівень вимірювання енергії розвивається з новими параметрами та парадигмами, а методи продовжують розвиватися, вимагаючи вдосконалення обчислень і зв'язку, які, як правило, не відстають від цього прогресу. Це являє собою наступний компонент сенсорного вузла на фізичному рівні, обчислювальну та комунікаційну інфраструктуру.

Висновки. У рамках статті проведено огляд тенденцій розвитку Інтернету речей в енергетиці. Варто відзначити, що в умовах сьогодення, технології впровадження, які пропонує екосистема IoT, не використовуються повною мірою. По-перше, використовується апаратне забезпечення, яке, як правило, з одновузловою архітектурою, тоді як сучасні варіанти конструкції апаратного забезпечення дозволяють реалізувати кілька невеликих розподілених вузлів, які ще не повністю використані в реалізаціях розумних лічильників. Іншим аспектом є конструкція фреймворку, хоча існує кілька рішень щодо датчиків, вимірюваних значень, попередньої обробки, області застосування, алгоритмів штучного інтелекту та екосистем розробки, узгодженого фреймворку, який можна використовувати як автоматизоване розгортання рішень бракує. З появою інтелектуальних рішень і зростаючою складністю, з якою очікується, що інтелектуальна система вимірювання впорається з такими інтелектуальними рішеннями, така автоматизована система розгортання може виявитися корисною та надати доступ до постійно зростаючих опцій, доступних розробникам інтелектуальних лічильників із прозорою складністю і портативністю.

На сьогоднішній день, створення та впровадження інтелектуальних енергетичних систем, які базуються на передових технологіях датчиків, зв'язку та обчислень, підвищать ефективність і функціональність. Використання різнорідних і розподілених вузлів з автоматизованим проектуванням та інтеграцією означає використання розширених парадигм програмного забезпечення, які дозволяють обробляти складні реалізації. Така інтеграція вимірювальної інфраструктури може призвести до масштабних переваг розумних енергетичних систем.

Майбутні дослідження платформ розумних лічильників вказують на підвищення функціональності, інтеграції та гнучкості. Забезпечення більш потужної інфраструктури та інтелекту на рівні інтелектуального вимірювання може призвести до революції, а не до еволюції розумних енергетичних систем, дозволяючи оптимізувати систему енергетики, що може призвести до кращого використання навколишнього середовища та природних ресурсів.

Список бібліографічного опису

1. Вакуленко І. Розгортання "розумних" енергетичних мереж як елемент системи модернізації енергетичного сектору економіки України. Науковий вісник Полісся, 2019. №2 (18), С. 097-106.
2. Стан і перспективи розвитку технологій «інтелектуальних» електромереж, управління попитом та систем режимного управління в умовах розвитку поновлюваних джерел енергії у зарубіжній енергетичній сфері 2018. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/04/1.-Stan-rozvytku-smart-grid.pdf> (дата звернення 13.01.2024)
3. Півень Д. А. Фактори використання розумних енергетичних мереж в промисловості. Сучасний менеджмент і економічний розвиток : матеріали міжнар. наук.-практ. інтернет конф., м. Суми. Суми, 2020. URL: <https://me.fem.sumdu.edu.ua/>

4. Мареха І. С., Колосок С. І., Макаренко Т. Ю. Глобальна оцінка економіко-технологічних факторів розвитку «розумної» енергетики. Держава, галузі, підприємства, бізнес: реалії і тенденції економічного, інформаційного та технічного розвитку : монографія / за ред. Л.М. Савчук, Л.М. Бандоріної. Дніпро, 2020. С. 362–378.
5. Мареха І. С. Детермінанти ефективного розвитку технологічної концепції SMART GRID в умовах глобального енергетичного простору // Держава та регіони. 2020. № 3. С. 49-54. DOI: 10.32840/1814-1161/2020-3-32.
6. Бойко, С. Аналіз перспектив впровадження провідної енергетики в енергетичний баланс підприємств авіаційної галузі / Бойко Сергій, Котов Олексій, Вишневецький Святослав та ін. // Вісник Хмельницького національного університету. Сер. : Технічні науки. 2022. № 6, т. 1. С. 282-286. – DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6-282-286>.
7. Накашидзе Л. В. Енергоефективні системи забезпечення кліматичних умов в приміщеннях на основі використання енергії Сонця та оточуючого середовища. – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.08 – перетворення відновлюваних видів енергії. – Інститут відновлюваної енергетики НАН України. – Київ, 2018. 435 с.

References

1. Ramasubbareddy Somula, Yongyun Cho, Bhabendu Kumar Mohanta. SWARAM: Osprey Optimization Algorithm-Based Energy-Efficient Cluster Head Selection for Wireless Sensor Network-Based Internet of Things. *Sensors*. 2024. №24. 521 p. DOI: 10.3390/s24020521.
2. Wang Bingquan, Liao Xue. A trusted routing mechanism for multi-attribute chain energy optimization for Industrial Internet of Things. *Neural Computing and Applications*. 2023. № 35. P. 1-11. DOI: 10.1007/s00521-023-08215-7.
3. Ahmed Muhammad, Myo Thirein, Aseeri M., Baroomi Badar, Kaiser M., Srimal Woshan. Internet of Things-Based Smart Building for Energy Efficiency. 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-33906-6_8.
4. Dewan Ritu, Nagpal Tapsi, Ahmad Sharik, Kumar Arun, Islam Sardar. Security and Energy Efficiency Enhancement for the Internet of Things: Challenges, Architecture and Future Research. 2023. DOI: 10.1007/978-981-99-6755-1_24.
5. Kalaichelvi Nagarajan, Gayathri S. P. Internet of Things Toward Leveraging Renewable Energy. 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-15044-9_5.
6. Gayathri S. P., Vijayalakshmi S. Empowering Renewable Energy Using Internet of Things. 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-15044-9_10.
7. Khan Talha, Veedu Sandeep, Rácz András, Afshang Mehrnaz, Höglund Andreas, Bergman Johan. Towards 6G Zero-Energy Internet of Things: Standards, Trends, and Recent Results. 2023. DOI: 10.36227/techrxiv.170327143.35314208/v1.
8. Chinipardaz Maryam, Khoramfar Ali, Amraee Somaieh. Green internet of things and solar energy. *Environmental science and pollution research international*. 2023. DOI: 10.1007/s11356-023-31141-z.