

УДК 378.046

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.5.3>

## ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ІОТ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

**Зайцев Є. О.** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник  
Інституту електродинаміки Національної академії наук України  
ORCID ID: 0000-0003-3303-471X

**Березниченко В. О.** – Ph.D., науковий співробітник  
Інституту електродинаміки Національної академії наук України  
ORCID ID: 0000-0002-9961-1703

**Панчик М. В.** – Ph.D., провідний інженер  
Інституту електродинаміки Національної академії наук України  
ORCID ID: 0000-0003-3633-2632

**Антоненко А. В.** – кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри стандартизації та сертифікації сільськогосподарської продукції  
Національного університету біоресурсів і природокористування України  
ORCID ID: 0000-0001-9397-1209

**Тонких О. Г.** – кандидат економічних наук, доцент,  
доцент кафедри менеджменту підприємств  
Національного технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
ORCID ID: 0000-0001-7823-4761

У статті показано, можливості та переваги використання технології Інтернету речей для електропостачання підприємств. Наведено інфраструктуру мережі побудовану у відповідності з основними положеннями концепції мереж Smart Grid на основі компонентів такої структури заснованих на технології Internet of Things (IoT), які полягають на міжмашинній взаємодії та телеуправлінні можуть використовуватися в галузі для побудови «розумних» мереж. Показано, що впровадження концептуальних рішень основаних на технології IoT дозволяють інтегрувати інформаційні дані та додатки на основі IoT у структуру енергетичних об'єктів. При цьому енергетичний сектор робить крок вперед щодо моніторингу енергоресурсів в реальному часі. Зазначено, що енергетичні мікрогрид мережі промислових підприємств, які побудовані із застосування IoT технологій дозволяють аналізувати наявні данні з метою забезпечення зниження споживання енергії, систематизувати великі об'єми даних та збільшити ефективність роботи енергообладнання. Це дозволяє промислового підприємству переходити від моделі класичного споживача до проактивного споживача, який ефективно інтегрує ресурси своєї енергетичної та комунікаційної інфраструктури в загальну енергетичну систему сприяючи переходу від традиційної мережі розподілу та споживання електроенергії до цифрових розумних електромереж. Розумні електромережі із широкою інтеграцією IoT технологій в своїй структурі є найкращою альтернативою звичайним енергосистемам. Однак для того, щоб зробити ці мережі більш економічними та стабільними, потрібні ефективні методи та інструменти управління енергією. Розробка та впровадження, яких дозволить контролювати енергоспоживання, стан компонентів енергомережі та створювати розумну структуру енергетичного ринку. Проаналізовано та наведено умови для

створення глобального середовища із енергоефективними системами електропостачання промислових підприємств на базі технологій IoT.

**Ключові слова:** цифрові технології, інтернет речей, IoT, розподільні мережі, електрична енергія, мікрогрід, проактивні споживачі, розумні підприємства.

**Zaitsev Ie. O., Bereznychenko V. O., Panchik M. V., Antonenko A. V., Tonkykh O. H. Implementation of IOT technologies in power supply systems of industrial enterprises**

*In paper was shows that the use of Internet of Things(IoT) technology in the energy sector provides enormous opportunities and advantages. The infrastructure of a smart grid network built in accordance with the main provisions of the concept of Smart Grid networks presented. Shown that the components of such a structure based on the IoT technology, which consist of machine-to-machine interaction and remote control used in the industry to build "smart" networks. Shown that the implementation of conceptual solutions based on the IoT technology allows the integration of information data and applications based on the IoT into the structure of energy facilities. At the same time, the energy sector is taking a step forward in terms of monitoring energy resources in real time. It is noted that energy microgrids of networks of industrial enterprises, which built using IoT technologies, allow analyzing available data in order to ensure a reduction in energy consumption, systematize large volumes of data and increase the efficiency of power equipment. This allows the industrial enterprise to move from the model of a classic consumer to a proactive consumer, which effectively integrates the resources of its energy and communication infrastructure into the overall energy system, facilitating the transition from the traditional network of distribution and consumption of electricity to digital smart grids. Smart power grids with extensive integration of IoT technologies in their structure are the best alternative to conventional energy systems. However, effective energy management methods and tools needed to make these networks more economical and stable. Development and implementation that will allow monitoring energy consumption, the state of energy network components and create a reasonable structure of the energy market. Analyzed conditions for creating a global environment with energy-efficient power supply systems for industrial enterprises based on IoT technologies.*

**Key words:** digital technologies, Internet of Things, IoT, distribution networks, electric energy, microgrid, prosumer, smart enterprises.

**Вступ.** Забезпечення стабільної та ефективної роботи систем електропостачання промислових підприємств будь-якого типу значною мірою залежить від стабільної та безперебійної роботи енергетичного обладнання, яке використовується для виробництва, передавання та розподілу електричної енергії. Моніторинг енергоспоживання, контроль технічної справності обладнання, запобігання аварійним ситуаціям в енергомережах та тощо – це лише декілька з можливостей, які дозволяє забезпечити впровадження технології Інтернету речей в структуру енергетичної мережі. У зв'язку з чим на сьогоднішній день, впровадження технологій Internet of Things (IoT) є пріоритетним напрямком розвитку систем електропостачання промислових підприємств.

**Постановка проблеми.** За даними статистики, кількість підключених до Інтернету речей пристроїв до 2025 року зросте до 21,5 мільярда, що свідчить про значний розвиток технологій IoT [1–3]. Застосування IoT в системах електропостачання промислових підприємств може підвищити якість обслуговування та забезпечити більш комфортні умови для споживачів, операторів та виробників електроенергії [4]. Зокрема, IoT може бути використаний для автоматизації процесів, дистанційного керування й контролю за станом обладнання, підвищення ефективності роботи персоналу, контролю якості послуг, зниження витрат на енергоспоживання, а також для забезпечення безпеки та конфіденційності даних [5–10].

Незважаючи на розпочату реформу широкого використання інформаційних систем та широкого використання інноваційних технологій впровадження IoT в системи електропостачання промислових підприємств стикається з рядом проблем, таких як складність інтеграції з існуючими системами, забезпечення безпеки

даних, ризики від збоїв в системі та інші. Тому вище наведене обумовлює актуальність аналізу різних аспектів впливу технології IoT на розвиток систем електропостачання промислових підприємств.

**Мета дослідження.** Метою роботи є стан впровадження технології IoT в мікрогрід мережах систем електропостачання промислових підприємств.

Об'єкт дослідження процес вивчення впливу технології Інтернету речей (IoT) на електропостачання промислових підприємств.

Предмет дослідження технології Інтернету речей (IoT).

Методами дослідження є методи аналізу, які використовуються під час проведення досліджень можливості застосування технологій Інтернету речей (IoT), його функцій, можливостей і переваг задля забезпечення побудови мікрогрід мереж систем

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питаннями застосування технології IoT висвітлено на сторінках праць багатьох вчених із різних сфер людської діяльності, так праці Г.В. Антонова, А.В. Кедич, О.В. Ковирьова присвячені питанням впливу Інтернету речей на сучасне землеробство [10], О.А. Баранова на сферу охорони здоров'я, сільського господарства, транспорту [11, 12, 13], А.П. Гненного, Ю.Г. Гордієнко на функціонування промислових підприємств [10], В.І. Журавель, Т.Ю. Ткачука, Д.С. Борковського на медичну сферу [14, 15], К. Коцюбівської, В. Прісич, О. Яворського на забезпечення функціонування та розвиток сучасних Розумних міст [16, 17], Кириленко О.В., Блінов І.В., Денисюк С.П., Журавська І.М. на електроенергетику [18, 19] та інших. Незважаючи на масштабність наукових досліджень та публікацій, як вітчизняних науковців так і закордонних, питанням впливу впровадження технологій Інтернету речей (IoT) в системах електропостачання промислових підприємств приділено не достатню увагу і їх вивчення та систематизація наявного матеріалу потребує проведення подальших детальних досліджень.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Технології Internet of Things засновані на міжмашинній взаємодії та телеуправлінні, тому можуть використовуватися в галузі для побудови «розумних» мереж та інфраструктури у відповідності із основними положеннями концепції мереж Smart Grid (рис. 1), основною метою якої є підвищення рівня моніторингу та керування всією енергетичною



Рис. 1. Інфраструктура Smart Grid

системою [4]. На рис. 1 наведено типову інфраструктуру Smart Grid мережі реалізовану за допомогою сенсорів, підключених до загального хмарного або online-сервісу, що дозволяє забезпечити дотримання єдиних вимог щодо інформаційного обміну та комунікацій на всіх ієрархічних рівнях енергосистеми [3].

На першому рівні інфраструктуру Smart Grid розташовані додаткові пристрої, які збирають дані з навколишнього середовища. Ці пристрої можуть бути сенсорами, які можуть сприймати зміни у навколишньому середовищі, дисплеями, мікроконтролерами, промисловими комп'ютерами тощо. Ця інфраструктура утворює рівень сприйняття. Збирання даних технології сприйняття та ідентифікації є основою Інтернету речей. Сенсорні технології дозволяють контролювати процеси електропостачання в режимі реального часу і полегшують отримання безлічі інформативних параметрів, які дозволяють швидко визначити несправності в мережі та забезпечити їх усунення. Всі пристрої та засоби рівня інфраструктури повинні бути здатні передавати дані по бездротовій мережі до центральної системи збору та аналізу даних.

Другий рівень – це мережевий рівень технологій IoT, який включає провідні та бездротові мережі, які обмінюються даними та зберігають оброблену інформацію або локально, або в централізованому місці, наприклад у хмарному середовищі, що включає в себе великі серверні кластери для зберігання та обробки даних. Хмарне середовище дозволяє зберігати великі обсяги даних, забезпечує їх аналіз та розподіл у реальному часі. Крім того, цей рівень забезпечує безпеку даних, так як інформація може бути зашифрована та збережена у захищених серверних базах даних.

Зв'язок між пристроями та їх компонентами побудованими за технологією IoT може відбуватися на низьких, середніх та високих частотах, причому останні є основним напрямом розвитку Інтернету речей. До них належать технології зв'язку ближньої дії, такі як RFID, бездротові сенсорні мережі, Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi та глобальні системи мобільного зв'язку. Надіслані дані зберігаються локально або надсилаються на централізований сервер хмар. Хмарні обчислення для підтримки надання медичних послуг мають багато переваг, оскільки вони повсюдні, гнучкі та масштабуються з точки зору збору, зберігання та передачі даних між пристроями, підключеними до хмари.

Третій рівень – додаткові сервіси, що забезпечують доступ до даних з будь-якого IoT пристрою з підключенням до Інтернету та дозволяють забезпечити швидку інтерпретацію отриманих або необхідних даних. Тобто на цьому рівні відбувається інтерпретація та застосування даних у відповідності до потреб кінцевого споживача, відповідаючи за надання користувачеві конкретної інформації для надання послуг із постачання електроенергії до визначеного споживача. Сервіси цього рівня можуть включати в себе системи аналітики даних, додатки для моніторингу, сервіси сповіщення, системи управління та інші. Вони дозволяють користувачам аналізувати дані, отримувати повідомлення про стан обладнання та приймати рішення на основі аналітики даних.

Всі ці рівні пов'язані між собою та взаємодіють для забезпечення плавного та ефективного функціонування системи IoT.

Загалом Інтернет речей можна описати як глобальну мережу, що включає в себе комп'ютери, сенсори та актуатори, які з'єднуються між собою через інтернет-протокол IP (Internet Protocol).

Створення єдиної мережі «розумних речей» має вирішальне значення для покращення якості життя людей і вносить вагомий вклад у розвиток людської діяльності.

Ці пристрої можуть взаємодіяти один з одним, обмінюючись даними із використанням різних моделей взаємодії, таких як «Річ-Річ» (Thing-Thing), «Річ-Користувач» (Thing-User) та «Річ-веб Об'єкт» (Thing-Web Object).

Розповсюдження розумних пристроїв зробило недоцільним використання традиційної моделі «Клієнт-Сервер» для обміну даними через Інтернет. У зонах з великою кількістю розумних пристроїв часто важко забезпечити швидкі канали з низькою затримкою, а пристрої мають достатньо власної обчислювальної потужності для обробки інформації. У таких умовах концепція «туманних обчислень» (Fog Computing) стає більш підходящою. Мікроконтролери, які об'єднуються в розподілену обчислювальну мережу, здійснюють зберігання та обробку даних, надаючи обчислювальну потужність для вирішення різних задач. Виконані на цьому рівні оброблені дані можуть бути передані до систем хмарних обчислень через спеціалізовані інтерфейси програмування додатків (API), в тому числі залучаючи людські ресурси для подальшої обробки.

Зараз для організації бездротового зв'язку використовують протоколи, розроблені Інститутом інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE), які поділяються на чотири типи:

- персональні WPAN (бездротові мережі особистого доступу);
- локальні WLAN (бездротові локальні мережі);
- міські WMAN (бездротові міські мережі);
- глобальні WWAN (бездротові широкомасштабні мережі).

Утворення мережі мереж, що об'єднує розумні об'єкти за допомогою IP-протоколу, призводить до збору великої кількості телеметричних даних. Визначальну роль при цьому відіграють протоколи прикладного рівня, які працюють поверх мережі. Основне завдання полягає в ідентифікації кожного пристрою, для чого найкраще підходить унікальна IPv6 адреса. Цей ідентифікатор використовується не лише для маршрутизації пакетів, але і для зіставлення з фізичними параметрами пристроїв (такими як mac-адреса, RFID, Electronic Identification (EID), QR-коди тощо). Завдяки унікальному ідентифікатору розумні об'єкти можуть передавати потоки даних зі збираються сенсорів, а також виконувати команди для зміни стану підключених до них пристроїв в залежності від їх конструкції.

Застосування багаторівневої системи, що включає сенсори і контролери, встановлені на вузлах і агрегатах промислового об'єкта, в електроенергетиці дозволить проводити моніторинг поточного стану мережі, зберігати дані на хмарних сервісах, визначати ступінь ризику подальшої експлуатації об'єкта та необхідність втручання ремонтно-сервісних служб. У цьому разі багаторівнева система відображає варіанти сучасних технологій віддаленого доступу до промислового обладнання для об'єктів, що не працюють під управлінням класичних SCADA-систем, та об'єктів з уже впровадженими АСУ ТП, де різні SCADA-системи містять активні компоненти, що реалізують збір даних, зберігання історичних значень, візуалізацію та керування технологічними процесами.

Впровадження технологій IoT в електроенергетику дозволить інтегрувати інформаційні потоки від різних сенсорів з електроенергетичних об'єктів, у тому числі на основі відновлюваних джерел енергії та розподіленої генерації в єдину мережу. При цьому IoT використовується для розробки повністю підключеної та гнучкої системи, яка дозволить аналізуючи наявні дані знизити споживання енергії, систематизувати великі об'єми даних та збільшити ефективність роботи енергообладнання. Інтелектуальні системи моніторингу допомагають швидко виявляти несправності у системах електропостачання промислових підприємств. Це чудово підходить як



для споживачів, так і для виробників електроенергії так і для операторів ринку, оскільки значно знижується небаланс електричної енергії в мережі.

Застосування IoT у секторі електропостачання промислових підприємств дозволяє побудувати а проактивну систему електропостачання із значною часткою в ній проактивних промислових споживачів. Проактивні споживачі (Prosumer) електроенергії – це споживачі, які одночасно споживають та виробляють енергію використовуючи сучасні IoT технології, такі як системи моніторингу та управління споживанням, із гнучким алгоритмом врахування ринкових цін на електроенергію, щодо врахування ефективності виробництва, зберігання та продажу електроенергії [21–23]. На рисунку 2 наведено ключові компоненти проактивного промислового споживача електричної енергії.

На сьогодні в результаті накопиченого досвіду в Україні під час повномасштабного вторгнення агресора (лютий 2022 р.) і чисельних ракетних атак критичної інфраструктури (жовтень 2022 р. – березень 2023 р.) енергетична система країни зазнала значних руйнувань [16]. Разом із розподільчими мережами зруйновані та пошкоджені генеруючі потужності, головним чином, енергоблоків теплових електростанцій все частіше в електроенергетичних системах проактивних промислових споживачів використовуються акумуляторні системи накопичення енергії разом із сонячною фотоелектричною енергією та генераторами в мікромережах промислових об'єктів [25–26]. Це дозволяє полегшити роботу мікромереж промислових об'єктів у режимі поза мережею, забезпечуючи синтетичну інерцію. На додаток до цього, акумуляторні системи накопичення енергії є корисними в енергосистемі для згладжування небалансів попиту та пропозиції, чому перешкоджає переривчастий характер сонячної фотоелектричної енергії або коливання навантажень [26]. Застосування акумуляторні системи накопичення енергії також дозволяє підвищити продуктивність системи з точки зору забезпечення стабільності роботи системи під час підключень електроенергії та відновлення системи під час поставарійних сценаріїв.

Окрім акумуляторні системи накопичення енергії проєктивні промислові споживачі використовують і інші енергоефективні технології, які зменшують загальне споживання енергії. До них належать:

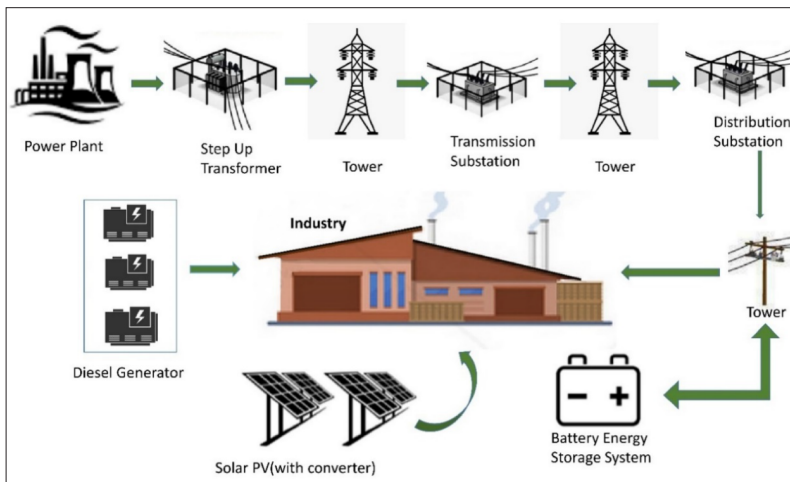


Рис. 2. Інфраструктура енергетичної мережі проактивного споживача

- високоефективна техніка та освітлення реалізована за принципами технологій IoT;
- використання енергоефективних вікон;
- використання можливостей геотермального опалення та охолодження, які використовують теплову енергію землі для ефективного обігріву та охолодження будинку;
- розумний термостат, який підтримує в домі оптимальну температуру;
- теплоелектросистему, яка генерує електроенергію та забезпечує тепло для гарячої води та/або опалення приміщень.

Хоча окреме підприємство, ймовірно може не використовувати всі наведені елементи, але поєднання лише деяких з них значно мінімізує витрати на купівлю енергії, необхідної для задоволення виробничих потреб. Звісно ці зміни не можливі без застосування й додаткових технологічних рішень із пристроями побудованими із застосуванням IoT технологій. До таких пристроїв можна віднести: smart техніку, адаптивне освітлення, електромобілі та тощо.

Використання наведених технологій, заохочують проактивних споживачів залишатися на зв'язку з розподільчою компанією, щоб отримати економічну вигоду від продажу надлишків електроенергії. Задля забезпечення можливості проактивних споживачів є необхідним обладнання свого вузла обліку електроенергії інтелектуальним лічильником і інтелектуальним інвертором, який перетворює вироблену електроенергію або накопичену електроенергію акумуляторів до визначеного в системі розподілу необхідного та якості електроенергію. Засоби обліку та перетворення електроенергії не працюватимуть і не оптимізуватимуться самі по собі, тому для керування усім цим потрібна система управління енергією. Основною метою таких систем є надання зручних засобів для налаштування роботи електроенергетичної мікрогрід мережі підприємства з урахуванням тарифів постачальника енергетичних послуг. Правильна оптимізація налаштувань дозволить забезпечити зменшення рахунку за електроенергію наприкінці кожного місяця.

Звісно, всі наведені технологічні рішення для мікрогрід мереж на базі IoT технологій доступні вже сьогодні. Але для їх повної інтеграції в мікрогрід мережі підприємств необхідна докорінна модернізація енергетичних мереж, яка може бути проведена під час відновлення зруйнованих та пошкоджених сегментів енергетичної мережі.

В зв'язку з цим розробка, удосконалення та впровадження технологій IoT та пристроїв реалізованих на цій технології в мікрогрід мережах систем електропостачання промислових підприємств є одним із пріоритетних напрямів забезпечення енергетичної безпеки та стабільності роботи енергетичної системи, як окремих підприємств так і Об'єднаної енергетичної системи України.

**Висновки.** Впровадження технологій IoT та засобів реалізованих на їх основі дозволяють створити глобальне середовище із енергоефективними системами електропостачання промислових підприємств, як проактивних споживачів електричної енергії. Для такого впровадження, як показали проведені дослідження потрібне виконання наступних пунктів:

- інтеграція технологій IoT в компоненти та підсистемами мікрогрід мережі підприємств;
- забезпечення стандартизацію протоколів передачі даних мікрогрід мережах між компоненти реалізованими із застосуванням технологій IoT різних виробників, що дозволить забезпечити уніфіковане підключення та зв'язок між підключеними пристроями;

- організувати первинний аналіз даних про умови споживання електроенергії на рівні робочих пристроїв та обладнання;
- розробити програмне забезпечення, за допомогою якого користувачі змогли б отримувати інформацію про результати аналізу даних;
- забезпечити впровадження та розвиток протоколів забезпечення криптографічної безпеки даних та їх конфіденційність, а також забезпечити стійкість самої системи до зовнішніх кібернетичних атак.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Nguyen B., Simkin L. The Internet of Things (IoT) and marketing: the State of play, future trends and the implications for marketing. *Journal of marketing management*, 2017. (33).
2. Pan F., Yang Y., Zhao C., Zhao J., Fan Y., Liu R. Power prosumer internet of things: architecture, applications, and challenges. *Front. Energy Res.* 2022.
3. Da X., Li, Wu H., Shancang Li. Internet of things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2014. (4)
4. Зайцев Є.О., Березниченко В.О. Застосування технології IOT в енергетичній галузі. Збірник матеріалів п'ятої міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні тенденції розвитку інформаційних систем і телекомунікаційних технологій», НУХТ. 2023.
5. Зайцев Є., Березниченко В., Закусило С., Антоненко А. SMART засоби визначення аварійних станів в розподільних електричних мережах міст. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 2022. (5).
6. Łowczowski K., Olejnik B. Monitoring, detection and locating of transient earth fault using zero-sequence current and cable screen earthing current in medium voltage cable and mixed feeders. *Energies* 2022, (15).
7. Roberts J., Altuve H.J., Hou D. Review of ground fault protection methods for grounded, ungrounded, and compensated distribution systems; SEL: Pullman, WA, USA. 2005.
8. Welfonder T., Leitloff V., Fenillet R., Vitet S. Location strategies and evaluation of detection algorithms for earth faults in compensated MV distribution systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*. vol. 15, 2000. (4).
9. Зайцев Є., Кучанський В., Гунько І. Підвищення експлуатаційної надійності та ефективності роботи електричних мереж та електроустаткування. Вінниця: ГО «Європейська наукова платформа», 2021.
10. Антонова Г.В., Кедич А.В., Ковирьова О.В. Інтернет речей та бездротові смарт-мережі в точному землеробстві. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2019. (18).
11. Баранов О.А. Інтернет речей і охорона здоров'я. *Інтернет речей: теоретико-методологічні основи правового регулювання* : монографія. 2-ге вид. Сфери застосування, ризики і бар'єри, проблеми правового регулювання. Харків, 2018. (1).
12. Баранов О.А. Інтернет речей і сільське господарство. *Інтернет речей: теоретико-методологічні основи правового регулювання* : монографія. 2-ге вид. Сфери застосування, ризики і бар'єри, проблеми правового регулювання. Харків, 2018. (1).
13. Баранов О.А. Інтернет речей і транспорт. *Інтернет речей: теоретико-методологічні основи правового регулювання* : монографія. 2-ге вид. Харків, 2018. (1).
14. Гненний А.П., Гордієнко Ю.Г. Інтернет речей як головний чинник впровадження ІТ-технологій на сучасному підприємстві. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технол. процесах*. 2018. (1).
15. Дідич З. «Інтернет речей»: можливості та перспективи його використання у сільському господарстві України. *Аграрна економіка*. 2018. (11).
16. Журавель В.І., Ткачук Т.Ю., Борковський Д.С. Інтернет речей у системі медичної допомоги: можливості та безпека. *Актуальні проблеми клініч. та профілакт. медицини*. 2019. (1).



17. Коцюбівська К., Прісич В., Яворський О. Впровадження технологій інтернету речей під час створення системи «Розумний дім». Цифрова платформа. Інформаційні технології в соціокультурній сфері. 2019. (2).

18. Журавська І.М. IoT-мережа на базі Bluetooth-модулів для автоматизованого керування споживанням енергоресурсів. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, вир-во. 2018. (30).

19. Кириленко О.В., Денисюк С.П., Блинов І.В., и др. Интеллектуальные электроэнергетические системы: элементы и режимы. Под общ. ред. акад. НАН Украины А.В. Кириленко. К.: Ин-т электродинамики НАН Украины. 2014.

20. Зайцев Є., Березниченко В., Закусило С., Комісаренко О. Моніторинг та ідентифікація аварійних станів в розподільних електричних мережах SMART міст. Міжнародна конференція Інтелектуальні транспортні системи: екологія, безпека, якість, комфорт. 2022.

21. Al-Turjman F., Abujubbeh M. IoT-Enabled Smart Grid via SM: An Overview. *Future Gener. Comput. Syst.*, 2019. (96).

22. Mazzola, S.; Astolfi, M.; Macchi, E. A Detailed Model for the Optimal Management of a Multigood Microgrid. *Appl. Energy*, 2015. (154).

23. Amad A., Muqet H. A., Khan T., Hussain A., Waseem M., Niazi. K.A.K. IoT-enabled campus prosumer microgrid energy management, architecture, storage technologies, and simulation tools: a comprehensive study, *Energies*, 2023. (4).

24. Кенсіцький О.Г., Левицький А.С., Зайцев Є.О. Відновлення та модернізація турбогенераторів електростанцій України в повоєнний період. Праці Інституту електродинаміки НАН України. 2023. (65).

25. Zheng S., Shahzad M., Asif H.M., Gao, J., Muqet H.A. Advanced optimizer for maximum power point tracking of photovoltaic systems in smart grid: a roadmap towards clean energy technologies. *Renew. Energy*, 2023. (15).

26. Ding K., Li W., Qian Y., Hu P., Huang Z. Application of user side energy storage system for power quality enhancement of premium power park. *Sustainability*, 2022. (14).

#### REFERENCES:

1. Nguyen B., Simkin L. (2017) The Internet of Things (IoT) and marketing: the State of play, future trends and the implications for marketing. *Journal of marketing management*, (33).

2. Pan F., Yang Y., Zhao C., Zhao J., Fan Y., Liu R. (2022) Power prosumer internet of things: architecture, applications, and challenges. *Front. Energy Res.*

3. Da X., Li, Wu H., Shancang Li. (2014) Internet of things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*.

4. Zaitsev E.O., Bereznychenko V.O. (2023) Application of IoT technology in the energy sector. Collection of materials of the fifth international science and practice conf. "Modern trends in the development of information systems and telecommunication technologies", NUHT.

5. Zaitsev Ie., Bereznychenko V., Zakusylo S., Antonenko A. (2022) SMART means of determining emergency conditions in distribution electric networks of cities. *Taurian Scientific Herald. Series: Technical sciences*, (5).

6. Łowczowski K., Olejnik B. (2022) Monitoring, detection and locating of transient earth fault using zero-sequence current and cable screen earthing current in medium voltage cable and mixed feeders. *Energies*. (15).

7. Roberts J., Altuve H.J., Hou D. (2005) Review of ground fault protection methods for grounded, ungrounded, and compensated distribution systems; SEL: Pullman, WA, USA.

8. Welfonder T., Leitloff V., Fenillet R., Vitet S. (2000) Location strategies and evaluation of detection algorithms for earth faults in compensated MV distribution systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*. (4).

9. Zaitsev Ie., Kuchanskyi V., Gunko I. (2021) Increasing operational reliability and efficiency of electrical networks and electrical equipment. Vinnytsia: NGO "European Scientific Platform".
  10. Antonova G.V., Kedych A.V., Kovryyova O.V. (2019) Internet of Things and Wireless Smart Networks in Precision Agriculture. Computer facilities, networks and systems. (18).
  11. Baranov O.A. (2018) Internet of things and health care. Internet of things: theoretical and methodological foundations of legal regulation: monograph. 2nd edition Kharkiv, (1).
  12. Baranov O.A. (2018) Internet of things and agriculture. Internet of things: theoretical and methodological foundations of legal regulation: monograph. 2nd edition Kharkiv, (1).
  13. Baranov O.A. (2018) Internet of things and transport. Internet of things: theoretical and methodological foundations of legal regulation: monograph. 2nd edition Kharkiv, (1).
  14. Hnenny A.P., Gordienko Y.G. (2018) The Internet of Things as the main factor in the implementation of IT technologies in a modern enterprise. Measuring and computing equipment in technol. processes. (1).
  15. Didych Z. (2018) "Internet of things": possibilities and prospects of its use in agriculture of Ukraine. Agrarian economy. (1).
  16. Zhuravel V.I., Tkachuk T.Yu., Borkovskyi D.S. (2019) Internet of things in the medical care system: possibilities and security. Current clinical problems. and prevention. of medicine. (1).
  17. Kotsyubivska K., Prisykh V., Yavorskyi O. (2019) Implementation of Internet of Things technologies during the creation of the "Smart Home" system. Digital platform. Information technologies in the socio-cultural sphere. (2).
  18. I.M. Zhuravska (2018) IoT network based on Bluetooth modules for automated management of energy consumption. Computer-integrated technologies: education, science, development. (30).
  19. Kirylenko O.V., Denisyuk S.P., Blynov I.V., et al. (2014) Intelligent electric power systems: elements and regimes. Under the municipality ed. Acad. NAS of Ukraine A.V. Kirylenko. K.: Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine.
  20. Zaitsev Ie., Berezhnychenko V., Zakusylo S., Komisarenko O. (2022) Monitoring and identification of emergency conditions in distribution networks of SMART cities. International conference Intelligent transport systems: ecology, safety, quality, comfort.
  21. Al-Turjman F., Abujubbeh M. (2019) IoT-Enabled Smart Grid via SM: An Overview. Future Generation. Comput. Syst., (96).
  22. Mazzola, S.; Astolfi, M.; Macchi, E. (2015) A Detailed Model for the Optimal Management of a Multigood Microgrid. Appl. Energy, (154).
  23. Amad A., Muqet H.A., Khan T., Hussain A., Waseem M., Niazi. K.A.K. (2023) IoT-enabled campus prosumer microgrid energy management, architecture, storage technologies, and simulation tools: a comprehensive study, Energies, 16 (4).
  24. Kensitytskyi O.G., Levitskyi A.S., Zaitsev Ie.O. (2023) Restoration and modernization of turbine generators of power plants of Ukraine in the post-war period. Proceedings of the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine. (65).
  25. Zheng S., Shahzad M., Asif H.M., Gao, J., Muqet H.A. (2023) Advanced optimizer for maximum power point tracking of photovoltaic systems in smart grid: a roadmap towards clean energy technologies. Renew. Energy, (15).
  26. Ding K., Li W., Qian Y., Hu P., Huang Z. (2022) Application of user side energy storage system for power quality enhancement of premium power park. Sustainability, (14).
-