

УДК 621.311

DOI: 10.31673/2412-9070.2021.022327

М. Ю. БОЙКО, студент;

В. Р. МИКОЛАЙЧУК, ст. викладач;

В. О. ВЛАСЕНКО, канд. техн. наук, доцент,

Державний університет телекомунікацій, Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗУМНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ В ІНТЕРНЕТІ РЕЧЕЙ

Розглянуто та досліджено розумну енергосистему в Інтернеті речей. Метою статті є дослідження інтелектуальної мережі. Дано відповідь на запитання «Що таке розумна енергосистема?». Порівняно традиційні та розумні енергосистеми. Визначено технологічні критерії та удосконалену інфраструктуру вимірювання. Розглянуто протоколи та стандарти.

Актуальність теми пов'язано зі зростанням попиту і споживання на електричну енергію. Розвиток концепцій розумної енергосистеми в різних електромережах з'єднує величезна кількість пристроїв, багато з яких працюють через застарілі протоколи автоматизації та внутрішні інформаційні системи. Оскільки багато з цих пристроїв мало або зовсім не вказують семантику своїх даних, прийнято вручну створювати цю інформацію (через громіздкість, дорожнечу і схильність до помилок). Інтернет речей — це наступний крок в еволюції нашого сьогодишнього інтернету, де будь-який фізичний об'єкт, оснащений обчислювальними і комунікаційними можливостями, може бути легко інтегрований у різні сфери нашого життя. А отже, постає потреба в інтелектуальній мережі, котра може ефективно вирішувати різні аспекти передавання та розподілу, знизивши навантаження на енергосистему, зробивши її надійною та захищеною. Однак безпека та надійність розглядається як один з основних чинників, що перешкоджають швидкому і великомасштабному впровадженню і розгортанню як концепції Інтернету речей, так і розумної енергосистеми. Очікується, що інтелектуальна мережа та Інтернет речей здійснять революцію в різних сферах побуту, промисловості та бізнесу.

Ключові слова: розумна енергосистема; інтелектуальна мережа; Інтернет речей; удосконалена інфраструктура вимірювання.

ВСТУП

Технології Інтернету речей та розумної енергосистеми зазнали безпрецедентного зростання за останнє десятиліття через їх широке застосування і низькі загальні витрати. Інтернет речей (IoT) — це величезна динамічна глобальна мережна інфраструктура, що складається з підімкнених до Інтернету сутностей із веб-сервісами.

Концепція розумної енергосистеми в Інтернеті речей об'єднує низку технологій, вирішень для кінцевих користувачів (рис. 1). Тут немає єдиного чіткого визначення. Європейська технологічна платформа визначає так: «Smart Grid — це електрична мережа, яка може інтелектуально інтегрувати дії всіх підімкнених до неї користувачів: виробників, споживачів і тих, хто робить і те, і інше [3]».

Розумна енергосистема («smart grid», «інтелектуальна мережа») — це електрична мережа з сис-

темами автоматизації, котра розподіляє, передає і зберігає енергію. Атрибут «розумний» відбиває рівень інтелекту, доданий до енергосистеми, який здатний вимірювати умови енергосистеми, взаємодіяти з виробниками і користувачами та реагувати на будь-які несподівані умови. Інтелектуальна мережа слугує кільком цілям, і перехід від традиційних електричних мереж до інтелектуальних мереж зумовлено безліччю факторів, включно з дерегулюванням енергетичного ринку, еволюцією вимірювань, змінами в рівні виробництва, розподіленням енергії, мінливими правилами.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Порівняння традиційних та інтелектуальних мереж

Фактично, нинішня система подавання енергії є механічною системою з обмеженим використанням давачів та без електронного керування.

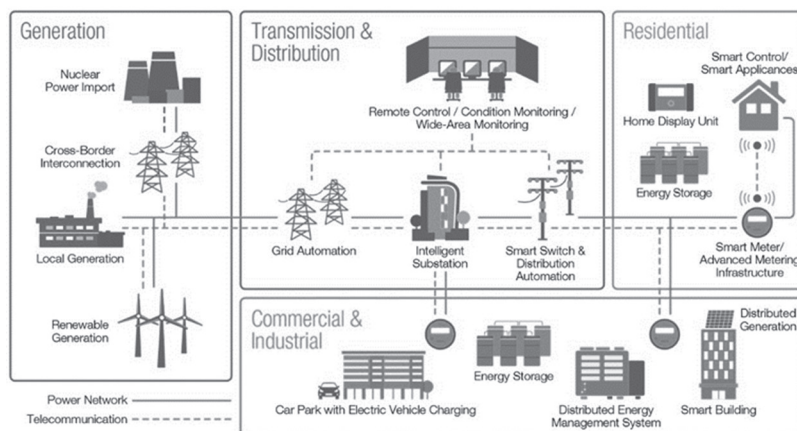


Рис. 1. Загальна концепція розумної енергосистеми

© М. Ю. Бойко, В. Р. Миколайчук, В. О. Власенко, 2021

А інтелектуальна мережа використовує цифрові технології, такі як Інтернет речей, хмарні технології, штучний інтелект для поліпшення надійності, ефективності та прозорості. Порівняння традиційної та інтелектуальної мереж наведено в табл. 1.

Виявлення і вимірювання: основні обов'язки — оцінювання перевантаження і стабільності мережі, моніторинг стану обладнання, запобігання крадіжці енергії і підтримання стратегій керування [5]. Технології містять у собі: обладнання

Таблиця 1

Порівняння традиційної та інтелектуальної мереж

Характеристика	Традиційна мережа	Інтелектуальна мережа
Активна співпраця зі споживачами енергії	Однорідні споживачі без співпраці	Споживачі добре проінформовані, залучені і активні, керують своєю енергетичною залежністю, споживанням і ресурсами
Якість енергії	Низький рівень відповідальності за якість енергії	Якість енергії є важливим фактором співвідношення ціна/якість
Сумісність виробництва і зберігання енергії	Переважають основних джерел генерації	Розподілена генерація, увагу надано відновлюваній енергії
Нові продукти, послуги та ринки	Обмежений і погано інтегрований оптовий ринок, обмежені можливості споживачів	Зрілий, добре інтегрований оптовий ринок. Зростання нових ринків електроенергії
Оптимізація витрат та операційної ефективності	Низький ступінь інтеграції з інформацією та великі витрати	Повна інтеграція з інформацією та низькі витрати енергоресурсів

Основні характеристики розумної мережі:

- **гнучкість:** інфраструктура передавання і розподілу розумної енергосистеми краще справлятиметься з можливими двобічними потоками енергії, ніж класичні мережі, забезпечуючи балансуювання;

- **ефективність:** підвищена гнучкість інтелектуальної мережі дає можливість ширше використовувати поновлювані джерела енергії з високою варіативністю, такі як сонячна енергія та енергія вітру, навіть без додавання нагромаджувачів енергії;

- **надійність:** використовуються такі технології, як оцінювання стану, котрі покращують виявлення помилок й уможливають самовідновлення мережі без експлуатації;

- **ринкові можливості:** забезпечує систематичне спілкування між постачальниками та споживачами. Дає змогу як постачальникам, так і споживачам бути більш гнучкими та витонченими у своїх операційних стратегіях [5].

У міру того, як електрична мережа переходить від аналогової до цифрової, майже кожен пристрій і частина устаткування зажадають вбудованого, безпечного, взаємозв'язаного інтелекту. Будуть потрібні комп'ютери нового покоління, підімкнені датчики IoT і розширена аналітика даних, а також підтримання хмарних обчислень та мережна інфраструктура.

Технології розумної енергосистеми

Щоб побудувати та модернізувати розумну енергосистему, потрібно використати або розробити широкий спектр технологій, які мають бути впроваджені.

для зчитування показань, системи глобального моніторингу (зазвичай засновані на онлайн-свідченнях), вимірювання/аналіз електромагнітного підпису — інструменти ціноутворення в реальному часі, сучасні перемикачі та кабелі, технологію зворотного розсіювання і захисні реле.

Інтелектуальні лічильники електроенергії: забезпечують двобічний зв'язок між постачальниками електроенергії та кінцевими споживачами, щоб автоматизувати збір даних для виставлення рахунків, виявляти відмови пристроїв і набагато швидше відправляти ремонтні бригади в точне місце.

Балансування автономної розподільної мережі — це менш поширена технологія. Використовуючи централізовану систему керування, автономні точки поширення або, що ймовірніше, комбінацію того та іншого, комп'ютерне програмне забезпечення взаємодіє з даними в реальному часі, щоб вносити коригування в розподіл без втручання людини. Це знижує ймовірність помилки оператора, збільшує швидкість реакції і покращує як якість електроенергії, так і надійність розподільної мережі.

Інтегровані комунікації: ключ до технології розумних мереж — це інтегровані комунікації. Вони мають бути настільки швидкими, щоб задовольняти потреби системи в реальному часі. Залежно від потреби в розумній енергосистемі зв'язку використовується безліч різних технологій, зокрема програмований логічний контролер (ESP8266), безпроводовий та мобільний зв'язок (5G, ZigBee, Wi-Fi), SCADA (диспетчерське керування і збір даних) [6].

Розподільна мережа з датчиками — сторона розподілу електроенергії в мережі, котра передає

електроенергію споживачам, заповнена датчиками і конфігураціями. У мережах, які раніше зчитувалися і налаштовувалися вручну, помилки можуть довше залишатися непоміченими, що призводить до зниження якості електроенергії для споживачів і надмірних витрат. Зараз більшість датчиків є інтелектуальними, вони передають дані назад в операційні центри без ручного втручання. Це дає можливість аналітикам швидко визначати дисбаланс і точніше налаштовувати параметри для забезпечення найкращої якості електроенергії та надійності мережі. Також можна налаштовувати дистанційно через інтерфейси SCADA, що уможливує виконання більш швидкого налаштування з меншими витратами.

Вимірювач фаз (PMU) — це пристрій, що застосовується для оцінювання розміру та фазового кута електричних фаз (наприклад, напруги або струму) в електричній мережі з використанням загального джерела часу для синхронізації.

Розумні підстанції: перевіряють роботу станції та критичні і некритичні дані, які можуть контролювати потужність та безпеку.

Чотири критерії розумної енергосистеми

Для досягнення перспектив інтелектуальних мережних послуг потрібно виконати чотири загальних технологічних критерії: аналітику, зв'язок, безпеку і керованість.

Аналітика. Інтелектуальна мережа надає мільйони точок даних, які допомагають здійснювати моніторинг інформації. Прогнозна аналітика може забезпечити більш точне планування генерації та балансування навантаження [2].

Зв'язок. Інтелектуальні мережі містять у собі взаємозв'язані пристрої та системи, що обмінюються інформацією один з одним. Різні протоколи (від 3G до WAN), необхідні для передавання даних у локальних мережах і зовні в центральну точку. Для цього потрібні спільні, засновані на відкритих галузевих стандартах структури, щоб оператори мережних систем могли забезпечити можливість взаємодії без прив'язки своєї мережної екосистеми до вирішення однієї компанії [2].

Безпека. Розумні енергосистеми — це великі, цінні та критично важливі об'єкти, для яких потрібно тривимірний підхід до безпеки: захист устаткування, захист додатків і захист від кіберзагроз. Додатковим методом боротьби з утвореними кіберзагрозами є віртуалізація і консолідація окремих систем моніторингу та керування енергосистемою. Потім керування погрозами може здійснюватися на єдиній платформі, що надає більш ефективні зусилля в забезпеченні кібербезпеки.

Керованість. Керованість охоплює три широкі сфери: обладнання, програмне забезпечення та безпеку [2]. Зокрема, коли активи географічно

розосереджені або важкодоступні з інших причин, можливості дистанційної діагностики, керування і ремонту можуть значно підвищити доступність обладнання та знизити витрати.

Рух Інтернету речей пов'язаний з інтеграцією підімкнень до обладнання та пристроїв, а також з використанням аналітики даних для вилучення з них значущої і дієвої інформації. Для розумної енергосистеми IoT це означає розподіл обчислювальної інформації по всій інфраструктурі.

Основна проблема впровадження розумних мереж — це зв'язок різнорідних розподілених елементів. Проміжне програмне забезпечення працює як інтерфейс сервісів і програмних додатків в архітектурі зв'язку, щоб полегшити цю взаємодію, приховуючи складність операційної системи для розробників прикладного програмного забезпечення [1]. Проміжні програми допомагають з інтеграцією різнорідних об'єктів, збором інформації, безпекою в процесі обміну даними і оцінюванням ситуації в інтелектуальній мережі.

Удосконалена інфраструктура вимірювання

Удосконалена інфраструктура вимірювання (AMI, рис. 2) — це архітектура для запрограмованого двобічного зв'язку між споживчим інтелектуальним приладом (який має IP-адресу для зв'язку) і постачальником послуг [4]. Завдання полягає в тому, щоб надавати статистику споживання енергії постачальникам послуг у режимі реального часу. Очікується, що в найближчому майбутньому споживачі отримуватимуть актуальну інформацію про використання енергії на основі тарифів у реальному часі.

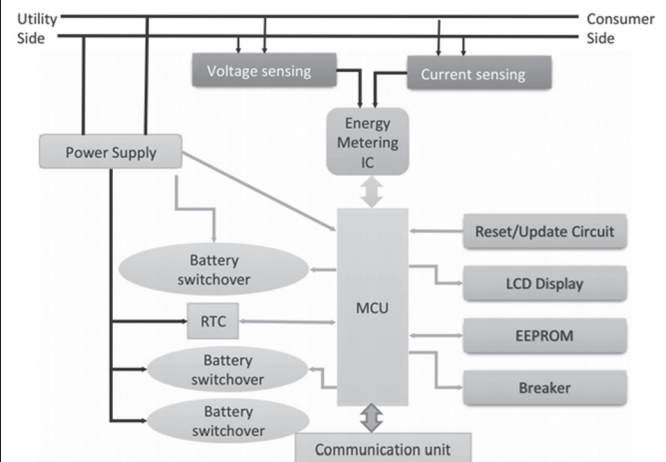


Рис. 2. Загальна структура технології АМІ

АМІ на основі IoT пропонує безмежну перспективу оптимізації та керування енергоспоживанням за допомогою ефективного обміну даними із системами. Вона містить у собі різні типи пристроїв (освітлення, реле, вимикачі, розетки), підімкнені до інтелектуальної енергосистеми, які зби-

рають і передають дані в режимі реального часу постачальникам послуг для ефективного керування енергоспоживанням [4]. Більш того, за допомогою розумної енергосистеми в цій інфраструктурі споживач може дистанційно керувати своїми пристроями, тим самим ефективно контролюючи використання енергії.

Передавання даних в удосконаленій інфраструктурі вимірювання є важливою частиною, де дані миттєво збираються і передаються для їх оброблення, а потім відправляються відгуки споживачам. Розумна енергосистема покриває велику географічну область, отже, структуру зв'язку згруповано за регіонами, щоб гарантувати якість обслуговування під час передавання даних. Комунікаційні регіони можна поділити на три основні. Перший — це локальна мережа, яка описує схему зв'язку між споживачами і розумною енергосистемою. Другий — це регіон NAN, який здебіль-

шобі три основних учасника: видавця, передплатника і брокера;

- XMPP — це один із відкритих стандартних протоколів IoT, який підтримує асинхронну та синхронну модель публікації, тобто передплати, забезпечуючи обмін повідомленнями у форматі XML [1];

- AMQP — створений як відкритий стандартний протокол, який забезпечує взаємодію між системами під час обміну повідомленнями незалежно від постачальника-брокера повідомлень або використовуваної платформи. Клієнти повідомлень, що використовують AMQP, повністю незалежні;

- CORBA — це специфікація проекту для брокера об'єктних запитів, де ORB надає механізм, необхідний для розподілених об'єктів для зв'язку один із одним, локально або на віддалених пристроях, написаних на різних мовах або в різних місцях у мережі.

Таблиця 2

Порівняння характеристик протоколів

Протоколи IoT	Захист даних	Транспортний рівень	Пріоритизація повідомлень	Складність	Використання
MQTT	TLS SSL	TCP	-	Низька	Розумний дім, лічильник
XMPP	TLS	TCP	-	Висока	Програма для розумних мереж
AMQP	SSL	UDP	-	Середня	Системи автоматизації підстанцій
CORBA	TLS SSL	TCP	+	Низька	Розширені інтерфейси вимірювання

шого є середовищем зв'язку, що містить шлюзи для виконання певних процесів (агрегації і кодування даних) із даними, які надходять від Smart grid, перед їх передаванням у хмару. Третій регіон — це глобальна мережа, котра відповідає за передавання даних між хмарою і місцем призначення.

Стандарти та протоколи розумних енергосистем

Існує безліч можливих протоколів, стандартів та конфігурацій для зв'язку в інтелектуальній мережі. Зазвичай застосовуваний стандарт зв'язку IEC 61850 рекомендує використовувати протокол виробничих специфікацій повідомлень для зв'язку в локальній мережі та розширений протокол обміну повідомленнями та присутності в широкосмуговій мережі [1].

Основними IoT-протоколами, що використовують розумна енергосистема, є такі (табл. 2):

- MQTT — це відкритий стандартний протокол, який може працювати через TCP/IP і містить у

MultiSpeak створив специфікацію, яка підтримує функції розподілу інтелектуальної мережі. Має надійний набір визначень інтеграції, який підтримує майже всі програмні інтерфейси, необхідні для розподільної утиліти або для розподільної частини вертикально інтегрованої утиліти [5]. Інтеграція MultiSpeak визначається за допомогою розширюваної мови позначення (XML) і веб-служб.

OpenADR — це метод для диспетчера неперервно транслювати сигнал DR для клієнта. Це дає клієнтові постійну видимість оптових цін і краще допомагає збалансувати пропозицію та попит. Альянс OpenADR описує перевагу цього підходу як: «сприяння своєчасній та передбачуваний реакції системного оператора, одночасно надаючи можливість вибору кінцевим споживачем». Протокол ADR 2.0 створює загальну мову для передавання подій DR через мережу на основі IP (наприклад, Інтернет). Зараз багато постачальників підтримують цей протокол, який забезпечує працездатність, коли системний оператор викликає подію.

ВИСНОВОК

Найбільша цінність інтелектуальних мереж і Інтернету речей полягає в тому, що вони допомагають реалізувати потенціал даних, які зберігаються в наявній не підімкненій інфраструктурі. Згідно з оцінками глобальний ринок інтелектуальних мереж прогнозує середньорічний темп зростання 9,83% протягом прогнозного періоду з 2021 по 2028 рік. Завдяки моніторингу в реальному часі та керуванню, заснованому на технологіях Інтернету речей, різні інфраструктури можуть збирати дані про всі аспекти ланцюжка постачання електроенергії. Тому розумні енергосистеми допоможуть сформуванню більш точних прогнозів за широким спектром чинників від стану мережі до погодних умов, створюючи різні моделі і сценарії та дозволяючи будувати різні системи.

Список використаної літератури

1. <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/11/2762> A Comprehensive Review on IoT Protocols Features in Smart Grid Communication;
2. <https://www.intel.com/content/www/us/en/energy/energy-overview.html> Energy;
3. <http://e4uhu.com/download/smart%20grid%20technology/JanakaGrid.pdf> - Smart Grid technology and applications 2012;
4. https://www.researchgate.net/publication/350201887_IoT_Enabled_Smart_Energy_Grid_Applications_and_Challenges-IoT-Enabled_Smart_Energy_Grid:_Applications_and_Challenges;
5. https://en.wikipedia.org/wiki/Smart_grid#Reliability Smart grid;
6. <https://www.elprocus.com/overview-smart-grid-technology-operation-application-existing-power-system/> Overview of Smart Grid Technology And Its Operation and Application (For Existing Power System).

М. Ю. Бойко, В. Р. Миколайчук, В. А. Власенко

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗУМНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ В ИНТЕРНЕТЕ ВЕЩЕЙ

Рассмотрена и исследована разумная энергосистема в Интернете вещей. Целью статьи является исследование интеллектуальной сети. Дан ответ на вопрос «Что такое умная энергосистема?». Сравнили традиционные и умные энергосистемы. Определена инфраструктура измерения и технологические критерии. Рассмотрены протоколы и стандарты.

Актуальность темы связана с ростом спроса и потребления на электрическую энергию. Развитие концепций разумной энергосистемы в различных электросетях соединяет огромное количество устройств, многие из которых работают через устаревшие протоколы автоматизации и внутреннюю информационную систему. Поскольку многие из этих устройств мало или совсем не указывают семантику своих данных, принято вручную создавать эту информацию, являющуюся громоздкой, дорогой и склонной к ошибкам. Интернет вещей — это следующий шаг в эволюции нашего сегодняшнего интернета, где любой физический объект, оснащенный вычислительными и коммуникационными возможностями, может быть легко интегрирован в различные сферы нашей жизни. Таким образом, появляется потребность в интеллектуальной сети, которая может эффективно решить различные аспекты передачи и распределения, снизив нагрузку на энергосистему, сделав ее надежной и защищенной. Однако безопасность и надежность рассматривается как один из основных факторов, препятствующих быстрому и крупномасштабному внедрению и развертыванию как концепции Интернета вещей, так и разумной энергосистемы. Ожидается, что интеллектуальная сеть и Интернет вещей сделают революцию в различных сферах быта, промышленности и бизнеса.

Ключевые слова: умная энергосистема; интеллектуальная сеть; Интернет вещей; усовершенствованная инфраструктура измерения.

M. Y. Boiko, V. R. Mykolaichuk, V. O. Vlasenko

RESEARCH OF A SMART ENERGY SYSTEM IN THE INTERNET THINGS

The work considers and investigates the intelligent power system in the Internet of Things. The purpose of the article is to study the intelligent network. The answer to the question «What is a smart energy system?». We compared traditional and smart power systems. Defined measurement infrastructure and technological criteria. Protocols and standards are reviewed.

The relevance of the topic is because every day the demand and consumption for electrical energy is growing. The evolution of smart grid concepts in various power grids connects a huge number of devices, many of which are due to outdated automation protocols and internal information systems. Since many of these devices provide little or no indication of the semantics of their data, it is customary to manually create this information, which is cumbersome, expensive, and prone to errors. The Internet of Things is the next step in the evolution of our today's Internet, where any physical object equipped with computing and communication capabilities can be easily integrated into various areas of our life. Thus, there is a need for an intelligent grid that can effectively solve various aspects of transmission and distribution, reducing the load on the power system, making it reliable and secure. One option to meet peak demand is to reinforce the distribution network with thicker cables and more powerful power systems. Another, more sustainable solution is the introduction of smart grid technology to balance energy demand and supply by increasing the flexibility of the electricity grid through the use of information and communication technologies and remote control in real time, for example, with the Internet of things, artificial intelligence, cloud computing and others. However, security and reliability is seen as one of the main obstacles to the rapid and large-scale implementation and deployment of both the IoT concept and smart grid. It is expected that the smart grid and the Internet of Things will revolutionize various spheres of everyday life, industry and business.

Keywords: Smart Grid; Internet of Things; Advanced Measurement Infrastructure.