



КИРИЛЕНКО
Олександр Васильович — академік НАН України, академік-секретар Відділення фізико-технічних проблем енергетики НАН України, директор Інституту електродинаміки НАН України

ЗАХОДИ ТА ЗАСОБИ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ НА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНУ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНУ СИСТЕМУ

Доповідь на науковій сесії Загальних зборів НАН України 17 лютого 2022 року

Перехід від домінування джерел електроенергії на основі вуглеводневого палива до низьковуглецевої енергетики зумовлює необхідність трансформації всіх складових енергетичної системи, створення децентралізованого ринку енергії, розвитку інтелектуальних мереж і систем відповідно до концепції Smart Grid у поєднанні з розвитком технологій та ринку зберігання електроенергії, а також з появою активних споживачів енергії.

Світова тенденція з декарбонізації економіки, зокрема орієнтація на низьковуглецеву енергетику, передбачає перехід до глобального використання електричної енергії як базового джерела. При цьому цей тренд супроводжується відмовою від домінування джерел електроенергії на основі вуглеводневих видів палива та орієнтацією на постійно зростаюче використання відновлюваних джерел енергії. Відповідні зміни торкнулися й України, яка сьогодні рухається в напрямі загальних світових тенденцій.

У цьому аспекті одним з базових нормативних документів став Національний план дій з розвитку відновлюваної енергетики до 2020 року, який, однак, було виконано не в повному обсязі. Проте частка відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в електроенергетиці навіть перевищила плановий показник у 11 %, дещо пом'якшивши відставання у тепловій енергетиці та транспортному секторі. Базовими джерелами відновлюваної енергії є сонячна та вітрова енергія.

Слід зазначити, що ВДЕ мають низку переваг перед традиційними джерелами енергії. Серед них — відновлюваність джерел; практична безкоштовність і доступність ресурсів; короткий інвестиційний цикл (за винятком «великої» гідроенергетики); прийнятний екологічний тиск на довкілля. Для вітрової

та сонячної енергетики великою перевагою є також відсутність необхідності використовувати воду у виробничих процесах.

До недоліків слід віднести залежність від погодних умов; нерівномірний територіальний розподіл ресурсів; відносно низький коефіцієнт корисної дії сонячних панелей (від 5–7 % для панелей з аморфного кремнію і до 22 % для панелей з монокристалічного кремнію).

На рис. 1 наведено дані щодо сумарних обсягів впроваджених в Україні потужностей ВДЕ за останні 5 років. Так, у 2021 р. 731 МВт потужностей ВДЕ отримали «зелений» тариф, тоді як у 2020 р. цей показник був майже вдвічі вищим — 1337 МВт. Зокрема, найбільше потужностей минулого року додалося у вітроенергетиці (ВЕС). Сонячні електростанції (СЕС) традиційно лідирують у галузі, при цьому особливо динамічно зростає кількість приватних будинкових станцій (СЕСд) на фоні сповільнення темпів росту великих промислових станцій (СЕСп).

Загалом проблема декарбонізації багатоплавною і містить цілу низку складових. Я зупинюся лише на проблемах, які притаманні електроенергетиці і пов'язані з впровадженням ВДЕ в Об'єднану енергетичну систему (ОЕС) України. Слід зазначити, що ОЕС України не повною мірою готова до переходу до низьковуглецевої енергетики. Система має низку недоліків, які стримують темпи такого переходу. Назву найголовніші з них:

- недостатність балансуєчих потужностей;
- низька гнучкість системи — ОЕС України одна із найбільш негнучких систем у Європейському співтоваристві;
- нестача ресурсів для ефективного регулювання потужності та частоти;
- спрацьованість і технічна застарілість електроенергетичного та електротехнічного обладнання;
- застарілість систем регулювання частоти і потужності;
- недостатня пропускна спроможність деяких перетинів;
- недостатні обсяги засобів регулювання напруги та компенсації реактивної потужності;

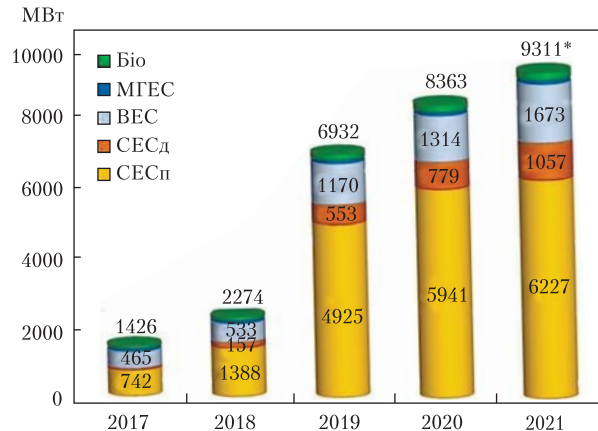


Рис. 1. Зростання потужностей відновлюваної енергетики в Україні (* дані щодо СЕСд наведено станом на III кв. 2021 р.)

• недостатній рівень оснащення засобами телемеханіки, релейного захисту і автоматики, діагностики та недосконалість контрольно-вимірювальної апаратури;

• недосконалість систем диспетчерського керування.

Без вирішення цих проблем (особливо трьох перших) подальший рух ОЕС України в цьому напрямі стає практично неможливим. Так, постійне нарощування потужностей ВДЕ зумовлює необхідність трансформації наявної структури генерації (рис. 2), впровадження нових балансуєчих потужностей і проведення змін у всіх складових енергетичної системи відповідно до нових умов, які виникають при використанні ВДЕ. Така трансформація енергетики має відбуватися згідно з концепцією, відомою як 3D (декарбонізація, децентралізація, диджиталізація), що й зумовлює сутність енергетичного переходу.

На сьогодні можна визначити певні ознаки енергетичного переходу. Йдеться про перехід від домінування джерел електроенергії на основі вуглеводневого палива та вертикально інтегрованих компаній з потужним обладнанням до більш гнучкої архітектури енергетичних систем завдяки зростанню частки відновлюваної та розподіленої генерації. При цьому відбувається також перехід до децентралізованого ринку енергії, розвитку інтелектуальних

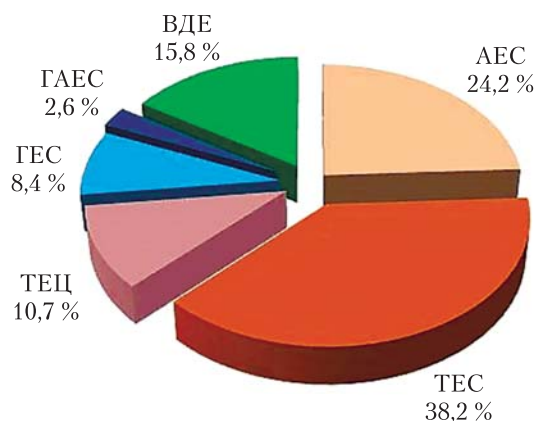


Рис. 2. Структура потужностей в ОЕС України

мереж і систем відповідно до концепції Smart Grid (розумна мережа) у поєднанні з розвитком технологій та ринку зберігання електроенергії, а також з появою активних споживачів енергії.

У рамках такого переходу змінюється архітектура системи — від централізованих електричних мереж з односпрямованими потоками електроенергії (тобто від генератора до споживача) до нового пакету технологій, таких як розподілена генерація електроенергії на основі ВДЕ, застосування силової електроніки, систем зберігання енергії, водневої енергетики тощо. Особливого значення набуває трансформація системи регулювання ринку електроенергії.

Розглянемо окремі складові концепції 3D.

Декарбонізація — це перехід до екологічно чистої «безвуглецевої» економіки та енергетики, пов'язаний зі збільшенням частки ВДЕ в енергетичному балансі, розвитком електричного транспорту, високими податками на використання викопних палив.

Децентралізація — це збільшення частки розосереджених джерел електроенергії місцевого значення (ВДЕ, накопичувачі енергії тощо), які утворюють локальні кластери виробництва чи споживання та підключені до загальної мережі або працюють автономно.

Диджиталізація — перехід до реалізації концепції Smart Grid електричних мереж, створення та впровадження нових бізнес-моделей,

сервісів і ринків на основі цифрових технологій, використання smart-лічильників, нових давачів інформації, системи дистанційного керування та автоматизації мережі. Це дозволяє керувати мережею та її підключеними ресурсами в режимі реального часу і збирати дані про мережу й параметри поточних режимів. Йдеться насамперед про «інтелектуальні» мережі, які дають можливість використовувати нові методи для контролю різноманітних відновлюваних ресурсів. Застосування нових методів керування дозволяє уникнути скорочування постачання від ВДЕ-ресурсів через мережеві обмеження, що зменшить потребу в посиленні мережі та полегшить умови для участі ВДЕ-генерації на ринку.

Отже, реалізація цієї концепції передбачає перехід до нової функціональної архітектури ОЕС України, розвиток розумних мереж, технологій зберігання енергії, а також появу активних (розумних) споживачів. Це перехід на новий технологічний пакет та нові бізнес-моделі, насамперед перехід від традиційного ланцюга формування доданої вартості «генерація — торгівля — передача — продаж» до моделі «інтернет-енергетики», а також перехід від підтримки ВДЕ та конкуренції на ринку електроенергії до пріоритету підтримки споживачів.

До ключових елементів, орієнтованих на реалізацію концепції Smart Grid, належать розосереджені пристрої і давачі, які реалізують функції контролю, вимірювання, передачі даних до центрів оперативного управління. Крім того, в мережі передачі та розподілу встановлюють цифрові розумні (smart) лічильники, блоки вимірювання фаз та інтелектуальні електронні системи, які виконують функції контролю та обліку. До таких елементів відносять також комунікаційні мережі, що реалізують функції обміну даними між пристроями та системами, системи керування інформацією та обчислювальні додатки, які забезпечують аналіз даних, що надходять від цифрових пристроїв, та здійснюють їх обробку для надання консультативних послуг операторам системи.

Впровадження концепції Smart Grid дозволяє говорити про створення розумних енер-

гетичних систем, орієнтованих на вирішення проблем оптимізації загальної ефективності та балансу взаємопов'язаних енергетичних технологій і процесів, які реалізуються в рамках системи. Це досягається завдяки динамічному керуванню попитом і пропозицією; посиленому моніторингу електричних, теплових і паливних складових; контролю та оптимізації обладнання, приладів та послуг; забезпеченню інтеграції розподіленої енергії до системи, а також мінімізації витрат як для постачальників, так і для споживачів.

Розумна енергетична система, побудована на основі концепції Smart Grid, — це система, яка може інтегрувати дії всіх підключених до неї користувачів (генераторів, споживачів та інших об'єктів) для ефективного забезпечення стабільного, економічного та безпечного постачання електроенергії.

Реалізація цієї концепції пов'язана з виконанням низки завдань. Йдеться про полегшення підключення та забезпечення умов роботи генераторів усіх потужностей і технологій; надання дозволу споживачам брати активну участь в оптимізації роботи системи, забезпечення їх необхідною інформацією і створення для споживачів можливостей вибору варіантів рішень.

Концептуальна модель NIST Smart Grid у загальному вигляді дає уявлення про склад систем і додатків електричних мереж. Така модель відображає значне збільшення кількості та типів розподілених енергетичних ресурсів, що використовуються по всій мережі, зростання значення систем розподілу, а також підвищення ролі постачальників послуг у системі розподілу. Концепція передбачає тісну взаємодію між усіма виробниками та постачальниками електроенергії, забезпечення умов для торгівлі електроенергією та послугами. При цьому режимне керування енергосистемою здійснюється через прямі трансакції між користувачами. Тобто така система передбачає рівноправність усіх учасників та реалізацію архітектури «рівний до рівного» (peer-to-peer), у якій окремі елементи системи можуть взаємодіяти один з одним напряму.

У реалізації положень концепції Smart Grid слід особливо відзначити випереджаюче зростання ролі локальних систем енергозабезпечення, так званих систем Microgrid, зокрема еволюцію Microgrid як системи взаємодії активних споживачів та віртуальних електростанцій (Virtual Power Plant — VPP) при широкому використанні джерел розосередженої генерації.

Система Microgrid — це група взаємопов'язаних навантажень та розосереджених енергетичних ресурсів у чітко визначених електричних межах, яка відносно зовнішньої мережі діє як єдиний керований об'єкт. Вона може підключатися або відключатися від мережі, що забезпечує їй можливість працювати або як учасник загальної мережі, або окремо, в острівному режимі. Така інтегрована енергетична система складається з п'яти основних елементів, які визначають основу її функціонування (рис. 3):

- 1) мікроджерела енергії або розосереджені генератори;
- 2) гнучкі навантаження;
- 3) розосереджені накопичувачі енергії;
- 4) системи керування;
- 5) точки загального підключення компонентів.

Така система здатна працювати в керованому або узгодженому режимі.

Стрімка еволюція систем Microgrid пов'язана насамперед з формуванням так званих активних споживачів. Споживач може бути пасивним, тобто з керованим навантаженням, солідарним чи активним. Активний споживач стає споживачем інтелектуальним, з функціями партнерства на основі рівноправності з енергопостачальною компанією. При цьому до сучасних активних споживачів висувають абсолютно нові вимоги. Це передусім передбачуваність, поведінка з урахуванням попиту, зростання ролі такого споживача в системі як рівноправного елемента. При цьому активні споживачі мають можливості для формування співтовариства — так званих об'єднань активних споживачів.

З точки зору розвитку систем генерації в Microgrid формується підхід, орієнтований

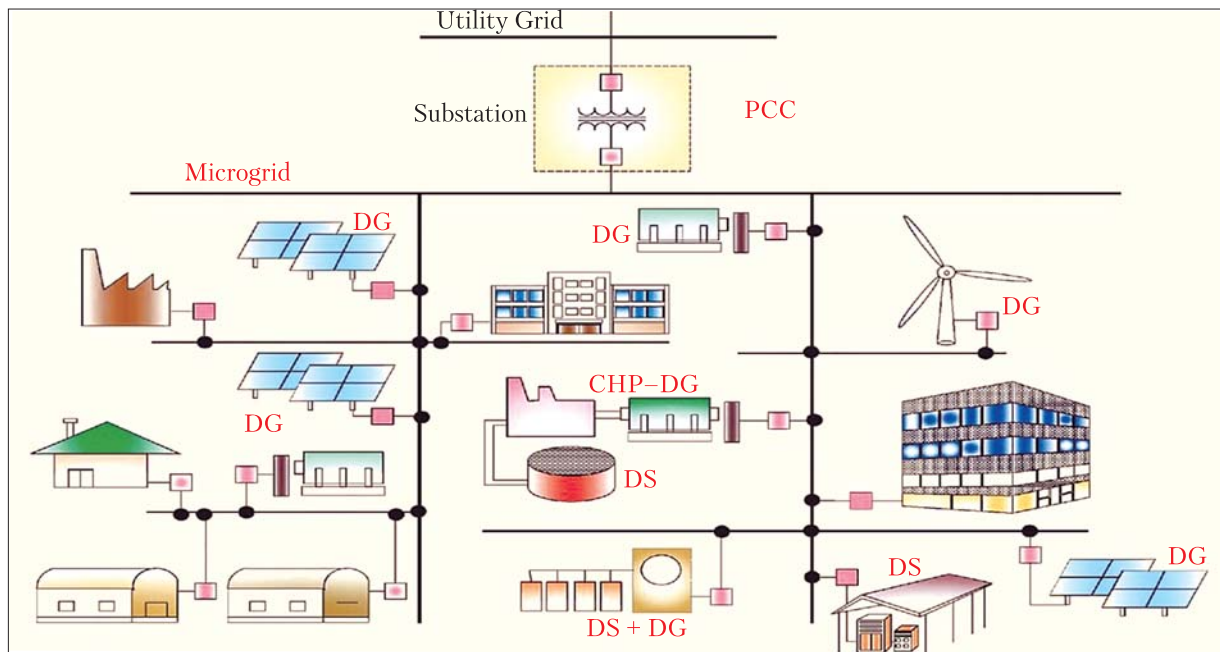


Рис. 3. Узагальнена структура Microgrid: DS – групи навантажень; DG – розосереджені джерела генерування; CHP – накопичувачі енергії, Utility Grid – зовнішня мережа; PCC – підстанційний трансформатор, через який DG та CHP підключені до зовнішньої мережі

на створення віртуальних електростанцій. Це група об'єктів типу джерел розподіленої генерації, споживачі з регульованим (керованим) навантаженням, система акумулювання і передачі енергії з єдиним автоматизованим керуванням, яка при взаємодії з централізованою електроенергетичною системою імітує традиційний генеруючий об'єкт.

Розумна, чи як її ще називають – інтелектуальна мережа є сполучною ланкою між мережами вищого рівня та Microgrid. Вона автоматично відстежує потоки енергії та, відповідно, адаптується до змін у попиті та пропозиції. У поєднанні з інтелектуальними системами вимірювання розумні мережі охоплюють і споживачів, і постачальників, надаючи інформацію про споживання електроенергії в реальному часі. За допомогою розумних лічильників споживачі можуть регулювати своє споживання енергії як у часі, так і за обсягом, адаптувати його до різних протягом доби цін на електроенергію, заощаджуючи свої кошти внаслідок

споживання більших обсягів енергії у більш низькі цінові періоди.

Свою назву розумні мережі здобули завдяки можливості реалізації в них цілої низки функцій, таких як самодіагностування, самовідновлення після аварії, розширене технічне обслуговування, наявність високоефективних та високоякісних мереж передачі, гнучка керуваність, підвищення надійності передачі тощо.

До основних функціональних систем розумної мережі належать такі:

- система управління генерацією (generation management system);
- гнучкі системи передачі змінного струму (FACTS for grids);
- система енергетичного менеджменту (energy management system);
- система запобігання системним аваріям в енергосистемі (blackout prevention system);
- вдосконалена система управління розподілом (advanced distribution management system);

- система автоматизації розподілу (distribution automation system);
- система автоматизації роботи підстанцій (substation automation system);
- система управління розосередженими енергетичними ресурсами (distributed energy resources operation system);
- удосконалена інфраструктура обліку енергії (advanced metering infrastructure);
- система управління ринками (market places system).

Реалізація енергетичного переходу та гарантування стабільності мережі в контексті розподіленої генерації робить роль операторів систем розподілу (DSO) вирішальною. Це особливо важливо при розгляді завдань системи Microgrid. Роль системи розподілу пов'язана з керуванням та координацією розподіленого генерування на локальному рівні. Крім того, вона забезпечує легкий доступ до мереж передачі та розподілу.

З огляду на завдання, які постали перед електроенергетикою України щодо вирішення проблем декарбонізації економіки, слід відзначити важливість розробленого Міністерством енергетики проекту Концепції комплексного впровадження розумних мереж в Україні до 2035 року та Плану заходів з її реалізації. В проекті Концепції визначено найбільш актуальні та першочергові завдання, пов'язані з реалізацією положень концепції Smart Grid, а саме:

- інтеграція ВДЕ та розподілена генерація;
- підвищення якості та безпеки електропостачання;
- забезпечення прогнозування і керування піковим навантаженням та надлишковим енергетичним балансом;
- забезпечення реакції енергосистеми на зміну попиту та формування цін;
- агрегація систем накопичення енергії.

Особливого значення цей проєкт набуває в ключовий період переходу ОЕС України на паралельну роботу з Європейською енергосистемою.

На завершення наведу окремі приклади впровадження в ОЕС України елементів розумних мереж, розроблених за участю науковців НАН України. Так, гнучкі системи передачі на змінному струмі, застосовані в перетині ОЕС України – Молдова, дозволили збільшити допустиму потужність перетоку (1300 МВт) на додаткові 250 МВт. Впроваджено систему моніторингу електроенергетичних систем і об'єктів, систему моніторингу обладнання тягової підстанції, інтелектуальний оперативно-керувальний комплекс. Створено базу розумну енергетичну комірку з ВДЕ. Розроблено методику побудови інтелектуальної електричної мережі з активними споживачами; стратегію та дорожню карту з впровадження міжнародних та європейських стандартів щодо керування енергетичною системою та ринками електричної енергії на основі концепції Smart Grid.

Olexandr V. Kyrylenko

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3610-7670>

MEASURES AND WAYS OF TRANSFORMING UKRAINE'S ENERGY SECTOR INTO AN INTELLIGENT ENVIRONMENTALLY FRIENDLY SYSTEM

Report at the scientific session of the General Meeting of the NAS of Ukraine, February 17, 2022

The transition from the dominance of hydrocarbon-based energy sources to low-carbon ones necessitates the transformation of all components of the energy system, the creation of a decentralized energy market, development of smart grids and systems according to the Smart Grid concept combined with the development of technologies and energy storage market and with the formation of active energy consumers.