



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

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ ОБ'ЄДНАНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ В СИНХРОННОМУ РЕЖИМІ З ЄВРОПЕЙСЬКОЮ КОНТИНЕНТАЛЬНОЮ ЕНЕРГЕТИЧНОЮ СИСТЕМОЮ

Стенограма доповіді на засіданні Президії НАН України 30 березня 2022 року

У доповіді зазначено, що в процесі підготовки Об'єднаної енергетичної системи України до переходу на синхронну роботу з об'єднанням енергосистем європейських країн постала ціла низка науково-технічних завдань, у вирішенні яких активну участь брали профільні установи НАН України. Ці роботи виконувалися в рамках серії цільових програм наукових досліджень НАН України «Об'єднання». Отримані результати дали змогу в складних умовах успішно реалізувати перехід ОЕС України на режим повної синхронізації з європейською енергетичною мережею ENTSO-E і відокремлення від енергетичних систем Росії та Білорусі.

Шановний Анатолію Глібовичу!
Шановні члени Президії!

Об'єднана енергетична система (ОЕС) України є однією з найбільших у Європі — її встановлена потужність становить близько 55 ГВт. Від початку ОЕС України створювалася як складова Єдиної енергетичної системи СРСР. Ще донедавна 97 % української енергосистеми працювало в зоні синхронної роботи з енергосистемами Російської Федерації, Білорусі і Молдови, і лише 3 % забезпечувало експорт електроенергії через енергоострів Бурштинської ТЕС, який працював синхронно з енергосистемами країн Європи (ENTSO-E). Експлуатація цього енергоострова дозволила напрацювати практичний досвід паралельної роботи з ENTSO-E, який мав неоціненне значення для реалізації всього проекту.

ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity) — європейська мережа операторів системи передачі електроенергії, яка об'єднує 43 операторів з 39 країн

європейського континенту. Організацію було створено в липні 2009 р. шляхом об'єднання низки попередніх асоціацій операторів (ATSOI, BALTSO, ETSO, NORDEL, UCSTЕ, UKTSOA та ін.). Станом на 2021 р. у структурі ENTSO-E налічувалося п'ять керуючих галузевих груп, які в реальному часі координують безпечну та оптимальну роботу електромережі Європи, підтримують і розробляють комунікаційну інфраструктуру, забезпечують захист критичної інфраструктури, визначають правила координації, класифікують та оцінюють ризики, займаються плануванням і розробленням стратегій розвитку.

ОЕС України і ENTSO-E пов'язані одна з одною сімома міждержавними лініями електропередач (ЛЕП). Це одна ЛЕП 400 кВ до Румунії; чотири ЛЕП (дві по 220 кВ, одна — 400 кВ і ще одна — 750 кВ) до Угорщини; одна ЛЕП 400 кВ до Словаччини; одна ЛЕП 220 кВ до Польщі. Однак слід зазначити, що не всі ці ЛЕП перебувають зараз у робочому стані.

28 червня 2017 р. у Брюсселі під час проведення асамблеї ENTSO-E ПрАТ «НЕК «Укренерго» підписало Угоду про умови майбутнього приєднання української енергетичної системи до ENTSO-E. Цей документ містив перелік зобов'язань української сторони, конкретні механізми моніторингу з боку ENTSO-E та Дорожню карту. Крім того, угода включала каталог вимог, насамперед технічних, безумовне виконання яких було обов'язковим для приєднання ОЕС України до ENTSO-E. Угода також визначала проведення низки необхідних додаткових досліджень.

Підготовка об'єднаної енергетичної системи України до переходу на синхронну роботу з об'єднанням енергосистем європейських країн потребувала розв'язання багатьох науково-технічних проблем. Це пов'язано з тим, що забезпечити надійну, гнучку та ефективну роботу енергосистеми передбачалося певною мірою завдяки переходу на новий рівень інформаційного забезпечення при вирішенні завдань оперативного керування. Крім того, для досягнення необхідного рівня надійності та безпеки функціонування ОЕС України потрібно було виконати

низку завдань, пов'язаних з моніторингом частоти, потужності, струму, напруги та їх кутових параметрів. Значною мірою ці завдання установи НАН України змогли вирішити в результаті проведення науково-технічних робіт, передусім у рамках виконання серії цільових програм наукових досліджень НАН України «Об'єднання». Отримані результати в подальшому дали змогу забезпечити такі заходи:

- проведення оперативним персоналом НЕК «Укренерго» та окремих енергосистем досліджень з моніторингу плинних режимів за допомогою динамічного представлення системних параметрів, приведених до єдиного часу на всіх об'єктах енергосистем;
- створення бібліотеки режимів та впровадження автоматизованих систем керування (систем АСУ ТП) на всіх енергетичних об'єктах і вдосконалення автоматизованих систем диспетчерського керування (систем АСДУ) енергосистем;
- забезпечення можливості проведення чіткого і достовірного аналізу причин виникнення та розвитку аварійних режимів, визначення їх особливостей, а також заходів з ліквідації їх наслідків.

Слід зазначити, що синхронізація ОЕС України з ENTSO-E передбачає не лише технічне об'єднання енергетичних мереж, а й об'єднання ринків електричної енергії, для чого потрібно встановити прозорі та зрозумілі правила взаємодії українського та європейського енергетичних ринків.

Під час підготовки до об'єднання необхідно було виконати низку нових завдань, пов'язаних з практичною діяльністю та особливостями роботи енергетичних систем у рамках ENTSO-E, а саме:

- розробити поточні та перспективні моделі ОЕС України, що відповідають вимогам ENTSO-E;
- сформувані відповідні методики досліджень, орієнтовані на методи, що використовуються в ENTSO-E;
- здійснити ідентифікацію, аналіз та класифікацію «вузьких місць» в ОЕС України щодо напруги, а також розробити заходи для усу-

нення таких «вузьких місць» і провести їх розрахункову перевірку;

- створити підґрунтя для виконання оцінки стійкості ОЕС України в онлайн-режимі;
- сформувати основи об'єднання ринків електричної енергії України з енергоринками країн Європи;
- впровадити сучасні міжнародні та європейські стандарти керування електроенергетичними системами та пов'язаним із цим інформаційним обміном.

Крім того, в рамках підготовки до об'єднання було запропоновано заходи, що відповідають європейській практиці, та проведено практичні розрахунки ефективності і стійкості роботи ОЕС України з урахуванням цих заходів; сформовано узагальнений підхід до онлайн-оцінки стійкості ОЕС України, розроблено основні компоненти для його реалізації; досліджено перспективи об'єднання ринків електричної енергії України та країн Європи; впроваджено міжнародні стандарти з керування електроенергетичними системами для реалізації концепції SmartGrid в Україні.

Було також проаналізовано досвід європейських країн щодо експлуатації систем вторинного регулювання напруги (йдеться про енергосистеми Франції, Італії та деяких інших країн), створено тестову комп'ютерну схему для досліджень та розроблення таких систем.

Передбачалося, що перехід на синхронну роботу з ENTSO-E дозволить істотно підвищити стійкість енергетичної системи України. Було визначено умови отримання аварійної допомоги від енергосистем країн, що входять до ENTSO-E. Очікувалося, що завдяки високим вимогам до енергосистем ENTSO-E значно підвищиться загальний технологічний рівень експлуатації української енергосистеми та рівень надійності електропостачання.

Згідно зі згаданою вище Угодою, передбачалося, що повний перехід на синхронну роботу енергосистем України та країн Європи має відбутися до 2025 р., однак у подальшому, з огляду на високу оцінку результатів проведеної українськими енергетиками роботи, цю дату було уточнено і перехід призначено на 2023 р.

Що стосується конкретних науково-технічних завдань, пов'язаних з інтеграцією ОЕС України з енергетичним простором ENTSO-E, то основними з них є такі:

- забезпечення стійкості режимів та надійності електропостачання споживачів в ОЕС України;
- підтримання необхідної напруги та реактивної потужності на рівні як магістральних, так і розподільних електричних мереж;
- подолання «вузьких місць» за напругою в ОЕС України;
- зняття обмежень з видачі потужності прикордонними електричними станціями і гармонізація підходів до розрахунків динамічних режимів роботи енергосистем;
- удосконалення плану відновлення ОЕС України після виникнення системної аварії;
- впровадження в Україні сучасної нормативної бази;
- запровадження ринкових механізмів об'єднаної роботи української та європейської електроенергетичних систем.

Усі ці завдання обов'язково мали бути виконані в повному обсязі.

Велика частка атомних електростанцій у структурі генерування електроенергії в Україні зумовила утворення потужних концентрованих енерговузлів (наприклад, встановлена потужність Запорізького енерговузла, до якого входить ДніпроГЕС, а також Запорізькі ТЕС та АЕС, становить 11 ГВт) і, відповідно, істотне збільшення перетоків у перетинах «видачі потужності». Це значно загострювало проблему забезпечення стійкості режимів.

Було опрацьовано сценарії ліквідації системної аварії з виникненням дефіциту активної потужності у 1000 МВт за умови ізольованої роботи ОЕС України. Особливу увагу було приділено відновленню живлення АЕС України від енергосистем ENTSO-E після повного знеструмлення. Передбачалося, що подача напруги на українські АЕС здійснюватиметься від одного з трьох джерел, які працюють синхронно у складі ENTSO-E, зокрема від енергоострова Бурштинської ТЕС, СШ 220 кВ підстанції «Замость» та СШ 750 кВ підстан-

ції «Жешув». Враховуючи обмеження на величину потужності, яку можна отримати від ENTSO-E, та проблеми з реалізацією маршрутів, подача напруги на українські АЕС стала нетривіальним завданням, яке потребувало детального опрацювання.

Впроваджено нові кодекси керування електроенергетичною системою та обміну інформацією, які засновані на «мережевих кодексах» ENTSO-E, зокрема кодекс системи передачі, кодекс систем розподілу та кодекс комерційного обліку.

Робота в ізолюваному режимі — це випробування, яке є обов'язковим і проводиться в межах підготовки до синхронізації ОЕС України з енергосистемою континентальної Європи ENTSO-E. Результати тестувань мали стати підґрунтям для ухвалення Енергетичною радою ENTSO-E рішення про перехід на синхронну роботу з українською та молдовською енергосистемами.

Було визначено пріоритети виконання пов'язаних з інтеграцією української енергосистеми в ENTSO-E робіт, які впливають на підвищення надійності функціонування ОЕС України та оперативне прийняття керуючих рішень оперативно-диспетчерським персоналом. До таких робіт (проектів), які ще мають бути виконані, належить реалізація концепції SmartGrid в ОЕС України (це є одним із пріоритетів розвитку енергетики в провідних країнах світу), продовження розбудови повномасштабної системи моніторингу параметрів плинних режимів ОЕС України на базі пристроїв векторних вимірювань параметрів режиму, впровадження технологій гнучких систем, сучасних систем моделювання режимів, вдосконалення нормативної бази та розроблення методик оцінки якості електричної енергії на рівні магістральних і розподільних мереж, розвиток ринкових механізмів роботи в умовах інтеграції ОЕС України до ENTSO-E. Впровадження цих проектів дозволяє створити засоби для вирішення в режимі реального часу низки актуальних завдань із забезпечення стійкості та надійності функціонування ОЕС України.

Передбачалося, що Україна мала виконати всі зазначені в договорі завдання, насамперед завдання першого етапу — відокремлення від енергетичних систем Росії та Білорусі.

Відповідно до Угоди, було визначено умови майбутнього об'єднання української та європейської енергосистем. Передусім ішлося про перевірку роботи ОЕС України в ізолюваному режимі, яка мала, у свою чергу, проводитися в два етапи: у зимовий та літній періоди.

Перший етап випробування енергосистеми України в ізолюваному режимі було призначено на 24–26 лютого 2022 р. На цей час ОЕС України була об'єднана з енергоостровом Бурштинської ТЕС. Обидві частини енергосистеми України працювали синхронно, і ОЕС України від'єдналася водночас від енергосистеми Росії та Білорусі.

Результати виконання завдань української сторони з підготовки до переведення ОЕС України в режим синхронної роботи постійно обговорювалися на спільних засіданнях робочих груп. На цих засіданнях було засвідчено, що робота української сторони проводиться досить успішно, навіть з випередженням графіку. Тому, коли 27 лютого 2022 р. оператори енергосистем континентальної Європи отримали терміновий запит від українського оператора системи передач НЕК «Укренерго» про аварійну синхронізацію української енергосистеми, включно з Бурштинським енергоостровом, з енергосистемою континентальної Європи у зв'язку з війною, розв'язаною Російською Федерацією проти України, вони задовольнили його без жодних заперечень. Паралельно і відповідно до запиту НЕК «Укренерго» 28 лютого 2022 р. оператор Республіки Молдова також подав запит на екстрену синхронізацію.

На засіданні Енергетичної ради ENTSO-E 28 лютого 2022 р. держави-члени, розуміючи важливість забезпечення в умовах війни екстреної синхронізації української електромережі з енергосистемою континентальної Європи та необхідність підключення енергосистеми Молдови, пішли назустріч і дали дозвіл на об'єднання енергосистем у тестовому режимі з нульовим перетоком. Отже, відбулася унікаль-

на подія, до якої Україна так довго готувалася. Проте ми ще маємо виконати заплановані раніше роботи для повноцінного завершення процесу приєднання української енергетичної системи до ENTSO-E.

На сьогодні після об'єднання ОЕС України з енергосистемою Європи українські споживачі, а також збройні сили України гарантовано забезпечені електроенергією. Протягом трьох тижнів роботи в ізолюваному режимі енергосистема України працювала стабільно, попри те, що в цей час на території нашої країни велися активні бойові дії. Особливо слід відзначити, що якість балансування української енергосистеми в цей період не поступалася європейській.

Фізичні операції з об'єднання енергосистем України та Європи було проведено протягом одного дня – 16 березня. Енергетична рада ENTSO-E підтвердила свою повну підтримку швидкого визначення ключових умов синхронізації в аварійних ситуаціях операторів континентальної Європи. Визначення умов термінової синхронізації передбачало оцінку захисту об'єктів, динамічної стабільності енергосистем, а також оперативних перемикачів згідно з правовими і нормативними стандартами та вимогами інформаційних технологій, у тому числі й кібербезпеки. Було наголошено, що після закінчення війни Україна зможе брати участь у торгових операціях з Європою. Це означає доволі значні прибутки для європейських енерготрейдерів і водночас доступ до більш дешевої енергії для українських споживачів.

В інфраструктуру України протягом усього періоду підготовки до об'єднання енергосистем було інвестовано понад 700 млн євро.

Певну частину робіт, про які йшлося вище, було проведено в рамках виконання меморандуму, підписаного між НЕК «Укренерго» та Інститутом електродинаміки НАН України. Однак деякі роботи, орієнтовані на перехід на синхронну роботу енергосистеми України і європейської енергетичної мережі ENTSO-E, ще потрібно виконати, причому найближчим часом. Екстрена синхронізація ОЕС України з ENTSO-E поставила нові цілі і дала стимули

для якнайшвидшого вирішення усіх завдань, визначених Дорожньою картою Угоди про умови приєднання української енергетичної системи до ENTSO-E.

Стабільність роботи ОЕС України впродовж останнього місяця переконливо довела її спроможність функціонувати як в ізолюваному режимі, тобто відокремлено від Росії і Білорусі, так і в складних умовах під час війни, яка супроводжується активними бойовими діями та руйнуваннями критичної інфраструктури. Крім того, воєнні дії на території України та їх наслідки для енергетичної інфраструктури засвідчують переваги моделі децентралізованої малої/регіональної генерації, яка виявляється стійкішою до пошкоджень та ефективнішою для роботи в ізолюваному режимі.

Отже, в Україні відбулася унікальна подія: Об'єднана енергетична система України перейшла на синхронну роботу з об'єднанням енергосистем європейських країн. Це означає, що тепер принципово змінюється платформа, на якій раніше працювала наша енергетична система. Насамперед ідеться про вихід на новий рівень інформаційного забезпечення при вирішенні завдань оперативного керування, реалізацію нових підходів до забезпечення надійності та стійкості роботи ОЕС України, а також перехід до використання міжнародних стандартів з керування електроенергетичними системами. Крім того, ця подія пришвидшить гармонізацію з європейськими стандартами електропостачання. Екстрена синхронізація ОЕС України з ENTSO-E також поставила перед нами нові цілі щодо подальшого розвитку української електроенергетики, зокрема в напрямі інтеграції українських сегментів ринку електричної енергії до міждержавних енергетичних бірж ENTSO-E.

З огляду на все зазначене вище, а також урахувавши те, що на сьогодні завершено виконання академічної програми наукових досліджень «Нова енергетика», ми пропонуємо започаткувати нову цільову програму наукових досліджень НАН України «Науково-технічні та техніко-економічні засади синхронізації електроенергетичної системи України з євро-

пейською енергосистемою в умовах відновлення у післявоєнний період».

Кінцевою метою запропонованої програми є розроблення заходів та засобів для відновлення структури й забезпечення керованості електроенергетичної системи України в нових

умовах її синхронної роботи з ENTSO-E, а також створення науково-технічних основ інтелектуалізації енергетики України.

Дякую за увагу!

*За матеріалами засідання
підготувала О.О. Мележик*

Olexandr V. Kyrylenko

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3610-7670>

CHARACTERISTICS OF THE WORK OF THE UNITED POWER SYSTEM OF UKRAINE
IN SYNCHRONOUS MODE WITH THE CONTINENTAL EUROPEAN POWER SYSTEM

Transcript of the report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, March 30, 2022

The report states that in the process of preparing the United Power System (UPS) of Ukraine for the transition to synchronous work with the European power grid, a number of scientific and technical tasks arose, and relevant institutions of the NAS of Ukraine took an active part in accomplishing them. These works were performed within the framework of a series of targeted research programs of the NAS of Ukraine "Integration". Obtained results enabled to successfully execute, under difficult circumstances, the transition of the UPS of Ukraine to the regime of full synchronization with the European power network ENTSO-E and separation from the power systems of Russia and Belarus.