

**НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОТИ ОЕС УКРАЇНИ  
В СИНХРОННОМУ РЕЖИМІ З ЄВРОПЕЙСЬКОЮ КОНТИНЕНТАЛЬНОЮ  
ЕНЕРГЕТИЧНОЮ СИСТЕМОЮ ENTSO-E**

**О.В. Кириленко**<sup>\*</sup>, акад. НАН України, **В.В. Павловський**<sup>\*\*</sup>, докт. техн. наук,  
**І.В. Блінов**<sup>\*\*\*</sup>, докт. техн. наук  
Інститут електродинаміки НАН України,  
пр. Перемоги, 56, Київ, 03057, Україна.  
E-mail: [kyrylenko@ied.org.ua](mailto:kyrylenko@ied.org.ua), [ysevolod.pavlovsky@yahoo.com](mailto:ysevolod.pavlovsky@yahoo.com), [blinovihor@gmail.com](mailto:blinovihor@gmail.com).

*Представлено наукові розробки, що були виконані як обов'язкові задля забезпечення переходу ОЕС України на синхронну роботу з енергооб'єднанням країн континентальної Європи ENTSO-E. В першу чергу мова йде про перехід на новий рівень інформаційного забезпечення, який було реалізовано шляхом створення та впровадження цілого ряду спеціалізованих приладів. Визначено особливості побудови інформаційно-діагностичних приладів, розглянуто системи, що орієнтовані на застосування активних елементів, таких як пристрої та технології з забезпечення гнучкої зміни характеристик мережі, а також реалізації перетворення електроенергії з метою оптимізації її режимів роботи. Мова йде в першу чергу про засоби та технології, що застосовуються для оптимізації гнучких ліній передачі змінним струмом. Особливу увагу було приділено питанням забезпечення стійкості енергетичної системи України, в тому числі стійкості за напругою. Було опрацьовано сценарії ліквідації великої системної аварії з виникненням дефіциту активної потужності 1000 МВт та інші. Визначено напрямки подальших досліджень з розвитку ОЕС України в повоєнний період на перших етапах синхронної роботи з ENTSO-E, першочергові заходи та засоби, спрямовані на підвищення живучості та надійної керованості енергосистемою України, розвиток принципів та засобів адаптації та реконструкції протиаварійного автоматичного керування електричними режимами та стійкістю, створення передумов цифровізації енергосистеми. Бібл. 35, рис. 2.*

**Ключові слова:** електроенергетична система, ENTSO-E, синхронізація, Smart Grid, ринок електричної енергії.

**Вступ.** Розвиток електроенергетичних систем у більшості країн світу відбувається у напрямку декарбонізації та створення максимально ефективної структури генеруючих потужностей зі значною часткою відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) [1, 2], підвищення надійності та ефективності функціонування електроенергетичних систем на базі використання інтелектуальних систем [3, 4], інформаційних технологій та пристроїв силової електроніки, об'єднання ринків електричної енергії з метою підвищення ефективності використання мережевої інфраструктури та структури генерації [5, 6]. З урахуванням зазначених тенденцій передбачається подальший розвиток об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України в умовах синхронної роботи з енергооб'єднанням країн континентальної Європи (ENTSO-E).

У червні 2017 р. в Брюсселі Національна енергетична компанія «Укренерго» підписала Угоду про умови приєднання ОЕС України до ENTSO-E. Ця угода містила перелік зобов'язань української сторони, в тому числі перелік вимог, виконання яких було обов'язковою умовою для такого приєднання. Зокрема, серед таких вимог: гармонізація підходів до побудови енергетичних систем, їхньої організації, управління та контролю, визначені конкретні механізми моніторингу з боку ENTSO-E [7-9].

Загалом у відповідності до угоди передбачалося, що до 2025 р. повинен відбутися повний перехід систем на синхронну роботу. Пізніше, в результаті переговорів української сторони з відповідальним системним оператором ENTSO-E цю дату було уточнено і визначено як 2023 р. Відповідно до Угоди було визначено умови майбутнього об'єднання української та європейської енергосистем. В першу чергу мова йшла про роботу ОЕС України на першому етапі в тестовому ізолюваному режимі, що повинно було проводитися в два етапи: у зимовий та літній періоди.

© Кириленко О.В., Павловський В.В., Блінов І.В., 2022  
ORCID ID: \* <https://orcid.org/0000-0003-3610-7670>; \*\* <https://orcid.org/0000-0002-9158-8377>;  
\*\*\* <https://orcid.org/0000-0001-8010-5301>

В рамках підготовки ОЕС України до переходу на синхронну роботу з ENTSO-E було вирішено цілу низку науково-технічних задач, які дали змогу значно зблизити прийняті підходи до організації енергетичних систем в цих енергосистемах та забезпечити перехід ОЕС України на принципи управління, прийняті в європейських енергетичних системах.

**Метою статті** є огляд отриманих наукових та науково-практичних результатів Відділення фізико-технічних проблем енергетики НАН України, зокрема й Інституту електродинаміки НАН України задля забезпечення переходу до синхронної роботи ОЕС України з ENTSO-E та визначення науково-технічних задач в умовах забезпечення в повному обсязі такого переходу в повоєнний період розвитку ОЕС України.

Значною мірою задачі, пов'язані із розробленням підходів до організації енергетичних систем, їхнього управління та контролю було вирішено установами НАН України в рамках виконання фундаментальних та цільових програм наукових досліджень НАН України, зокрема і програми «Науково-технічні основи енергетичного співробітництва між Україною та Європейським Союзом» («Об'єднання-3»). Це дало змогу реалізувати задачі моніторингу [10] плинних режимів за рахунок динамічного представлення системних параметрів, приведених до єдиного часу на всіх об'єктах енергосистем [11, 12]; створення бібліотеки режимів та впровадження автоматизованих систем управління енергетичними об'єктами (АСУ ТП).

В першу чергу мова йде про перехід на новий рівень інформаційного забезпечення, який був реалізований шляхом створення та впровадження цілого ряду спеціалізованих приладів. Ці прилади було розроблено та створено на основі єдиного підходу, який відповідав вимогам європейських енергосистем, в рамках єдиної інформаційної бази з уніфікованим графічним і табличним багатівіконним інтерфейсом спеціалістами Інституту електродинаміки НАН України у співпраці з фахівцями малого підприємства Анігер. Створений спеціальний інформаційно-діагностичний комплекс (ІДК) дав змогу розв'язати цілий ряд взаємопов'язаних задач:

- моніторинг режимів роботи електроенергетичного обладнання нормальних та перехідних режимах роботи;
- формування розрахункових схем;
- проведення оцінювання стану об'єкту;
- побудову моделі режиму на розширеній схемі, яка включає в себе в тому числі фрагменти, що не спостерігаються;
- розрахунок усталених та самоусталених за частотою режимів;
- оптимізацію режимів за активною потужністю у відповідності зі встановленими критеріями;
- оптимізацію режимів за реактивною потужністю та ряд інших.

У комплексі використовуються можливості роботи з графічними зображеннями схем енергосистем і первинних комутацій електричних станцій і підстанцій.

На рис. 1 зображено мережу 750-220 кВ ОЕС України, на якій показано практично всі об'єкти зі встановленими елементами ІДК (Regina).

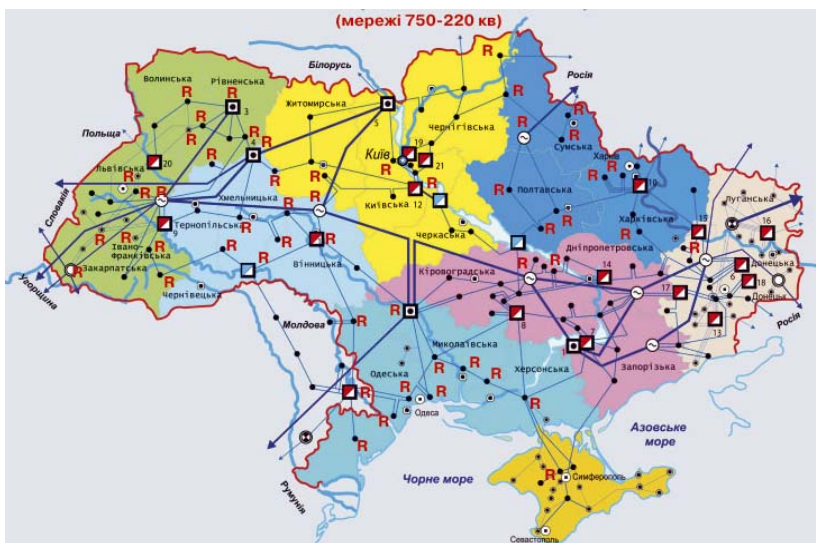


Рис. 1

Слід відзначити, що стратегічною метою сучасного розвитку електроенергетичного комплексу є створення інтелектуальних енергосистем як нової бази для управлінських і технологічних інновацій, що забезпечують перехід до нового рівня розвитку електроенергетики. Головне в матеріальній реалізації концепції інтелектуальних мереж – її технічна та технологічна платформа, яка передбачає перехід на реалізацію концепції Smart grid [4, 13].

Слід також виділити напрямок розвитку енергетичних систем, що полягає у застосуванні активних елементів, таких як при-

строї та технології, які дають змогу гнучко змінювати характеристики мережі [14, 15] чи реалізувати перетворення електроенергії з метою оптимізації режимів роботи [16-18]. Мова йде про збільшення пропускної здатності перетинів, зменшення технологічних втрат електроенергії під час її передачі, забезпечення відповідних показників якості електричної енергії та ін. В першу чергу, це засоби та технології, що застосовуються для створення гнучких ліній передачі змінним струмом (ГПЗС). За різними оцінками застосування обладнання ГПЗС дає змогу збільшити пропускну здатність відповідних перетинів на 20% та зменшити технологічні втрати на 40%. Крім того, до цієї групи відносяться силові технічні засоби, що налічують більше двох десятків різноманітних пристроїв для регулювання реактивної потужності та напруги, параметрів мережі, обмеження струмів КЗ, накопичення електричної енергії, комутаційне обладнання нового покоління та ін.

Прикладом такої розробки є створення системи гнучкої передачі змінним струмом на перетині Україна-Молдова (рис. 2), що дало змогу збільшити пропускну здатність на 250 МВТ.

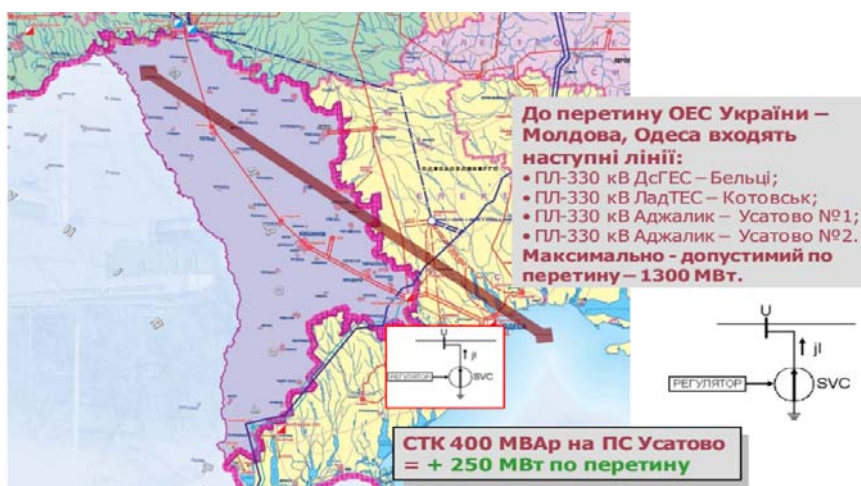


Рис. 2

Ще одним із ключових елементів інтелектуальної енергетики є її «цифровізація», зокрема і побудова «цифрових» підстанцій, де отримання інформації, її передача та обробка здійснюються у цифровому вигляді. Основними характеристиками такої підстанції є інтелектуалізація первинного обладнання, розвинена комунікаційна мережа і автоматизація експлуатації та управління. Застосування електронних перетворювачів струму/напруги на таких підстан-

ціях дає змогу значно підвищити надійність і ефективність роботи ЕЕС та управління.

Серед цілого ряду питань, що підлягали вирішенню під час переходу ОЕС України в режим синхронної роботи з ENTSO-E слід виділити питання, які вимагали особливої уваги в силу того, що їхнє вирішення потребувало застосування принципово нових підходів та рішень. Слід виділити, зокрема, і питання забезпечення стійкості за напругою. Для комплексного вирішення цієї проблеми за основу було взято підхід, орієнтований на методи, прийняті в європейських енергосистемах, що дало змогу сформулювати методики ідентифікації проблемних місць за напругою в енергосистемах, виконати відповідні розрахунки і запропонувати практичні рекомендації, спрямовані на вирішення проблеми «вузьких місць».

Слід окремо розглянути основні задачі, що також підлягали вирішенню, а саме [19-21]: формування єдиної моделі ОЕС України сумісної з моделями Європейських систем; забезпечення стійкості режимів та надійності електропостачання; підтримання необхідних рівнів напруги та реактивної потужності; подолання «вузьких місць» в ОЕС України; зняття обмежень з видачі потужності прикордонними електричними станціями і гармонізація підходів до розрахунків динамічних та статичних режимів роботи енергосистем; удосконалення плану відновлення ОЕС України після виникнення системної аварії та інші.

В рамках вирішення цих задач було створено поточну та перспективну моделі ОЕС України із деталізацією мережі 110 кВ, ідентифіковано найбільш небезпечні місця в ОЕС України з точки зору рівнів напруги, проведено практичні розрахунки ефективності та стійкості роботи ОЕС України із врахуванням запропонованих заходів, сформовано узагальнений підхід до *on-line* оцінки стійкості ОЕС України [22], а також розроблено основні компоненти для реалізації цього методу. Крім того було проаналізовано досвід європейських країн щодо експлуатації систем вторинного регулювання напруги (Франція, Італія тощо), створено тестову комп'ютерну схему для досліджень та розробки структури такої системи.

Слід також відзначити ряд принципово нових задач, пов'язаних з практикою та особливостями роботи енергетичних систем в рамках ENTSO-E, які було реалізовано. Мова йде про створення

цифрових моделей ОЕС України (поточних та перспективних) у відповідності з вимогами ENTSO-E, ідентифікацію, аналіз та класифікацію «вузьких місць» за напругою в ОЕС України, а також розробку та розрахункову перевірку запропонованих заходів для усунення цих «вузьких місць».

Серед важливих задач, що потребували розв'язання, в умовах функціонування нової моделі ринку електричної енергії [23-25] слід виділити оцінювання переваг та визначення етапів об'єднання ринку електричної енергії України з ринками країн Європи [26]. Для її розв'язання розроблено методи та моделі об'єднання ринків електричної енергії України з ринками країн Європи, які враховують взаємний вплив ринку електричної енергії України та європейських ринків «на добу наперед» [6, 27, 28].

Необхідною передумовою переходу на синхронну роботу було впровадження сучасних міжнародних та європейських стандартів в галузі керування електроенергетичними системами та ринками електричної енергії. Задля вирішення цієї задачі було підсилено роботи із стандартизації в Україні, зокрема Інститутом електродинаміки НАН України, як базовою організацією Технічного комітету стандартизації № 162, на постійній основі виконувалися роботи із впровадження міжнародних та європейських стандартів в цій галузі, що дало змогу впровадити стандарти, які стали основою для впровадження відповідних сучасних інформаційно-технологічних систем керування та систем інформаційного обміну згідно концепції Smart Grid [4, 13].

Передбачалося, що перехід на синхронну роботу з ENTSO-E вимагає підвищити стійкість режимів енергетичної системи України. Тому було визначено умови отримання аварійної допомоги від енергосистем країн, що входять до ENTSO-E і, таким чином, через високі вимоги до енергосистем ENTSO-E, передбачено значне покращення загального технологічного рівня експлуатації нашої енергосистеми та рівень надійності електропостачання.

Були опрацьовані сценарії відновлення нормального режиму за частотою за умов виникнення дефіциту активної потужності 1000 МВт для ізольованої роботи ОЕС України.

Особливу увагу було приділено задачі відновлення живлення АЕС України від енергосистем ENTSO-E після повного погашення. Передбачалося, що подача напруги на системних шинах (СШ) українських АЕС буде здійснюватися від одного із джерел, які працюють синхронно у складі ENTSO-E, зокрема, СШ 220 кВ ПС «Замость», СШ 750 кВ ПС «Саболчбака» та СШ-750кВ ПС «Жешув». Враховуючи обмеження на величину потужності, яку можна отримати від ENTSO-E та проблеми з реалізацією маршрутів, задача подачі напруги на СШ українських АЕС стала нетривіальною і потребувала детального опрацювання. Результати виконаних досліджень використано під час розроблення нових кодексів з керування електронергетичною системою та обміну інформацією, що оснований на «мережевих кодексах» ENTSO-E [8, 9, 29], зокрема кодекс системи передачі [30], кодекс систем розподілу [31] та кодекс комерційного обліку [32]. Крім того, було визначено пріоритети виконання робіт в ОЕС України, пов'язаних з переходом ОЕС України на режим синхронної роботи з ENTSO-E, 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, віднесено реалізацію концепції Smart Grid в ОЕС України, що є одним із пріоритетів розвитку енергетики в провідних країнах світу, продовження розвитку повномасштабної системи моніторингу параметрів плинних режимів ОЕС України на базі пристроїв векторних вимірювань параметрів режиму, впровадження технологій гнучких систем, сучасних систем моделювання режимів, розвиток нормативної бази та розробка методик оцінки якості електричної енергії на рівні магістральних та розподільних мереж, розвиток ринкових механізмів роботи в умовах інтеграції ОЕС України до ENTSO-E, впровадження систем накопичення електричної енергії [33, 34]. Впровадження таких проектів дає змогу створити засоби розв'язання в режимі реального часу низки актуальних задач забезпечення стійкості та надійності функціонування ОЕС України [35].

Відомо, що перший етап випробування енергосистеми України в ізольованому режимі відбувся 24-26 лютого 2022 року. На цей час ОЕС України було від'єднано від ЄЕС Росії та Білорусії і об'єднано з «островом Бурштинської ТЕС». Ці дві частини енергосистеми України працювали синхронно. Далі 27 лютого 2022 року оператори енергосистем континентальної Європи отримали запит від НЕК «Укренерго», як українського оператора системи передачі, про прискорену синхронізацію української енергосистеми, включаючи Бурштинський енергетичний острів, з енергосистемою континентальної Європи. Після чого на засіданні Енергетичної ради 28 лютого 2022 року держави-члени, розуміючи важливість забезпечення можливості екстреної синхронізації ОЕС України з енергосистемою континентальної Європи та необхідність підключення енергосистеми Республіки Молдова в умовах війни, дали дозвіл на об'єднання в тестовому режимі з нульовим перетоком.

Таким чином відбулася унікальна подія, до якої Україна готувалася останні роки, що обґрунтовує необхідність продовження цієї роботи для її повноцінного завершення. Тим більше, що протягом трьох тижнів роботи в ізолюваному режимі енергосистема України працювала стабільно та продемонструвала здатність підтримувати стійкість за частотою попри бойові дії. Було відзначено, що якість балансування енергосистеми в цей період не поступалася європейській.

Фізичні операції по об'єднанню енергосистем України та Європи проведено протягом одного дня 16 березня, а Рада ENTSO-E підтвердила свою повну підтримку швидкого визначення ключових умов синхронізації в аварійних ситуаціях операторів континентальної Європи. Визначення умов термінової синхронізації включало оцінку захисту об'єктів та динамічної стабільності енергосистем, а також оперативних перемикачів в рамках правових, нормативних та інформаційних технологій, включаючи кібербезпеку.

Важливо, що дострокове приєднання ОЕС України на синхронну роботу з ENTSO-E забезпечило тим самим технічну можливість надання Україні за певних схемно-режимних умов аварійної допомоги у вигляді обмежених обсягів постачання електроенергії, але не вирішило окремі проблемні питання, гострота яких буде особливо відчутною на першому етапі синхронної роботи з ENTSO-E. В повоєнний період характеристика ОЕС України відрізнятиметься від довоєнної як структурними змінами, так і певною зміною пріоритетів щодо першочергового інвестування проєктів з розвитку як окремих об'єктів, так, очевидно, і напрямків розвитку ОЕС України в цілому. В повоєнний період в ОЕС України відбудуться структурні зміни і вона синхронно працюватиме з ENTSO-E за умов обмеженої пропускну здатності відповідних міждержавних слабких електричних зв'язків, принаймні на першому етапі синхронної роботи з ENTSO-E. Під час такого функціонування матиме місце загострення актуальності пов'язаних проблемних питань забезпечення стійкості ОЕС України у разі аварійних збурень та запобігання системним аваріям, забезпечення керованості ОЕС України. Разом з такими повоєнними змінами в ОЕС України її відновлення та подальший розвиток має відбуватися з урахуванням світових тенденцій та на підставі застосування найбільш сучасних електроенергетичних технологій. При цьому, досягнення цілей відновлення та подальшого розвитку ОЕС України неможливо без наукового супроводу цього складного процесу. Враховуючі нагальну потребу забезпечення стратегічної безпеки функціонування ОЕС України, ці питання набувають великої державної ваги. Тому пріоритет Держава має надавати вітчизняним науковим установам та підприємствам енергетичного комплексу, українським стартапам.

Враховуючі вищевикладене, важливими напрямками подальших досліджень є розвиток науково-технічних засад функціонування ОЕС України в повоєнний період на перших етапах синхронної роботи з ENTSO-E, визначення першочергових заходів та засобів, спрямованих на підвищення живучості та надійної керованості ОЕС України, розвиток принципів та засобів адаптації та реконструкції протиаварійного автоматичного керування електричними режимами та стійкості, створення передумов цифровізації енергосистем та впровадження систем WACS і цифрових підстанцій, підвищення точності короткострокового прогнозування електричного навантаження та розвиток науково-технічних засад об'єднання ринків електричної енергії України з ринками країн Європи, подальший розвиток нормативної бази України згідно концепції Smart Grid.

**Висновки.** Під час підготовки ОЕС України до переходу на синхронну роботу з ENTSO-E було вирішено важливі науково-технічні задачі, стислий огляд яких наведено у публікації, що дали змогу зблизити прийняті підходи до організації функціонування ОЕС України та забезпечити її перехід на принципи управління, прийняті в європейських енергетичних системах, та забезпечити готовність ОЕС України до синхронної роботи з ENTSO-E. Однак значні втрати, що зазнала енергетика України внаслідок воєнних дій та руйнування електроенергетичної інфраструктури, а також вимушене дострокове тестове приєднання ОЕС України на синхронну роботу з ENTSO-E задля забезпечення технічної можливості надання Україні за певних схемно-режимних умов аварійної допомоги у вигляді обмежених обсягів постачання електроенергії, обумовлює появу нових вкрай актуальних задач щодо розвитку науково-технічних засад функціонування ОЕС України в повоєнний період на перших етапах синхронної роботи з ENTSO-E та з урахуванням світових тенденцій декарбонізації та цифровізації енергетики.

*Роботу виконано за держбюджетною темою «Розвиток елементів теорії, розроблення нових методів розрахунку та створення засобів для підвищення надійності та енергоефективності режимів і технологічних процесів в електроенергетичних та електротехнічних системах» (шифр: «Режим-1»). КПКВК 6541230.*

1. Кириленко О.В., Басок Б.І., Базєєв Є.Т., Блінов І.В. Енергетика України та реалії глобального потепління. *Технічна електродинаміка*. 2020. № 3. С 52-61. DOI: <https://doi.org/10.15407/techmed2020.03.052>.
2. Басок Б.І., Буткевич О.Ф., Дубовський С.В. Техніко-економічні аспекти оцінювання перспектив декарбонізації об'єднаної енергосистеми України. *Технічна електродинаміка*. 2021. № 5. С. 55-62. DOI: <https://doi.org/10.15407/techmed2021.05.055>.
3. Grid integration of large-capacity Renewable Energy sources and use of large-capacity Electrical Energy Storage. White paper. ІЕС., 2020. 102 p.
4. Кириленко О.В., Блінов І.В., Танкевич С.Є. Smart Grid та організація інформаційного обміну в електроенергетичних системах. *Технічна електродинаміка*. 2012. № 3. С. 47-48.
5. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей для покриття прогнозованого попиту на електричну енергію та забезпечення необхідного резерву у 2020 році. НЕК Укренерго. 2020. 122 с.
6. Блінов І.В., Парус Є.В. Врахування мережевих обмежень та мінімізація різниці цін між ринками електроенергії. *Технічна електродинаміка*. 2015. № 5. С. 81-88.
7. ENTSO-e Operation Handbook. Policy 5: Emergency Operations. 20 p.
8. ENTSO-e Operation Handbook. Policy 3: Operational Security. Final Version, 21 p.
9. ENTSO-e Operation Handbook. Appendix 3: Operational Security. Final Version, 41 p.
10. Стогній Б.С., Сопель М.Ф. Основи моніторингу в електроенергетиці. Про поняття моніторингу. *Технічна електродинаміка*. 2013. № 1. С. 62-69.
11. Стогній Б.С., Сопель М.Ф., Варський Г.М., Яковлева І.В. Системи синхронізованих вимірів в електроенергетиці. Підвищення точності та метрологічне забезпечення. *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України*. 2013. Вип. 35. С. 37-47
12. Буткевич О.Ф., Пилипенко Ю.В., Чижевський В.В., Єлізаров І.О. Векторні вимірювання режимних параметрів та ідентифікація мод електромеханічних коливань в об'єднаній енергосистемі України. *Технічна електродинаміка*. 2017. № 6. С. 43-54. DOI: <https://doi.org/10.15407/techmed2017.06.043>
13. ІЕС/TR 63097:2017 Smart grid standardization roadmap. 2017. 315 p.
14. Kyrylenko O.V., Pavlovsky V.V., Steliuk A.O.. Flexible Control of the Export Power Flows by Using DC Link. *Технічна електродинаміка*. 2015. № 2. С.64-69.
15. Тугай Ю.І., Кучанський В.В., Тугай І.Ю. Застосування керованих пристроїв компенсації зарядної потужності ЛЕП НВН в електричних мережах. *Технічна електродинаміка*. 2021. № 1. С. 53-56. DOI: <https://doi.org/10.15407/techmed2021.01.053>
16. Gonzalez-Longatt F., Steliuk A., Hinojosa V.H. Flexible Automatic Generation Control System for Embedded HVDC Links. IEEE *PowerTech* Conference. Eindhoven, Netherlands, June 29-July 2, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1109/PTC.2015.7232555>
17. Kundur P. Power system stability and control. McGraw-Hill, 1994. 1199 p.
18. Machowski J., Bialek J., Bumby J. Power system dynamics. Stability and Control. John Wiley&Sons, 2008. 660 p.
19. Pavlovsky V., Steliuk A., Lenga O., Zaychenko V., Vyshnevskiy M. Frequency stability simulation considering under-frequency load shedding relays, special protection automatics and AGC software models. IEEE *PowerTech* Conference. Manchester, UK, June 18-22, 2017. 17045200. DOI: <https://doi.org/10.1109/PTC.2017.7981043>
20. Pavlovsky V., Steliuk A., Lenga O., Hrechko V. Frequency stability of the bulk isolated power system with high share of renewables and nuclear generation. Chapter in the book: Power systems research and operation. Selected problems. Springer, 2021. 180 p.
21. Kyrylenko O., Pavlovsky V., Steliuk A., Vyshnevskiy M. Simulation of the normal and emergency operation of the interconnected power system of Ukraine for frequency stability study. *Технічна електродинаміка*. 2017. № 2. С. 57-60. DOI: <https://doi.org/10.15407/techmed2017.02.057>
22. Кириленко О.В., Павловський В.В., Лук'яненко Л.М., Ущатовський К.В., Зайченко В.Б. Уточнення допустимих перетоків потужності за контрольованими перетинами в режимі оперативного керування. *Технічна електродинаміка*. 2013. № 2. С. 75-84.
23. Про ринок електричної енергії: Закон України №2019-VIII від 13.04.2017.
24. Про затвердження Правил ринку: Постанова НКРЕКП № 307 від 14.03.2018.
25. Про затвердження правил ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку: Постанова НКРЕКП № 308 від 14.03.2018.
26. Commission Regulation (EU) 2015/1222 of 24 July 2015 establishing a guideline on capacity allocation and congestion management. *Official Journal of the European Union*. 2015. Vol. 58. Pp. 24-72
27. Blinov I., Kyrylenko O., Parus E., Rybina O. Decentralized Market Coupling with Taking Account Power Systems Transmission Network Constraints. *Power Systems Research and Operation. Studies in Systems, Decision and Control*. Vol 388. Springer, 2022. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-82926-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-82926-1_1)

28. Кириленко О.В., Блінов І.В., Парус Є.В., Іванов Г.А. Імітаційна модель ринку електричної енергії «на добу наперед» з неявним урахуванням мережеских обмежень енергетичних систем. *Технічна електродинаміка*. 2019. № 5. С. 60-67. DOI: <https://doi.org/10.15407/techmed2019.05.060>
29. ENTSO-e Network Code for Requirements for Grid Connection Applicable to all Generators. ENTSO-e. 2013. 86 p.
30. Постанова НКРЕКП «Про затвердження кодексу системи передачі» №309 від 14.03.2018.
31. Постанова НКРЕКП «Про затвердження кодексу систем розподілу» №310 від 14.03.2018.
32. Постанова НКРЕКП «Про затвердження кодексу комерційного обліку електричної енергії» №311 від 14.03.2018.
33. Blinov I., Trach I., Parus Y., Khomenko V., Kuchansky V., Shkarupylo V. Evaluation of The Efficiency of The Use of Electricity Storage Systems in The Balancing Group and The Small Distribution System. IEEE 2nd KhPI Week on *Advanced Technology* (KhPIWeek). Kharkiv, Ukraine, September 13-17, 2021. Pp. 262-265. DOI: <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek53812.2021.9569981>
34. Буткевич О.Ф., Юнеєва Н.Т., Гурєєва Т.М. До питання про розміщення накопичувачів енергії в ОЕС України. *Технічна електродинаміка*. 2019. № 6. С. 59-64. DOI: <https://doi.org/10.15407/techmed2019.06.059>
35. Electrical Energy Storage. White paper. IEC, 2019. 79 p.

## SCIENTIFIC AND TECHNICAL SUPPORT FOR ORGANIZING THE WORK OF THE IPS OF UKRAINE IN SYNCHRONOUS MODE WITH THE CONTINENTAL EUROPEAN POWER SYSTEM ENTSO-E

O.V. Kyrylenko, V.V. Pavlovsky, I.V. Blinov

Institute of Electrodynamics National Academy of Sciences of Ukraine,  
pr. Peremohy, 56, Kyiv, 03057, Ukraine.

E-mail: [kyrylenko@ied.org.ua](mailto:kyrylenko@ied.org.ua); [ysevolod\\_pavlovsky@yahoo.com](mailto:ysevolod_pavlovsky@yahoo.com); [blinovihor@gamil.com](mailto:blinovihor@gamil.com).

*Scientific developments, which have been implemented as mandatory to provide a synchronous operation of IPS of Ukraine with the Continental European Power System ENTSO-E are presented. Firstly, it concerns a new level of information maintenance that has been realized by the creation and implementation of a wide range of specialized devices. The features of the construction of information-diagnostic devices are determined. The systems focused on the use of active elements, such as devices and technologies to provide flexible changes in network characteristics, as well as the implementation of electricity conversion to optimize their operation regimes are considered. A special attention was paid to providing a stable operation of the Ukrainian power system, including voltage stability. It covers tools and technologies used to create flexible AC transmission lines. The scenarios for eliminating a major system breakdown with an active power deficit of 1000 MW and other scenarios have been studied. The ways of further research on the development of IPS of Ukraine in the postwar period at the first stages of synchronous operation with ENTSO-E are identified. The paper identifies priority measures and tools aimed to improve the survivability and reliable control of the Ukrainian power system, development of principles and means of adaptation and reconstruction of emergency automatic control of electrical regimes and stability, creating prerequisites for digitalization of the power system. References 35, figures 2.*

**Keywords:** power system, ENTSO-E, synchronization, Smart Grid, electricity market.

1. Kyrylenko O.V., Basok B.I., Basesev Ye.T., Blinov I.V. Power industry of Ukraine and realities of the global warming. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2020. No 3. Pp. 52-61. DOI: <https://doi.org/10.15407/techmed2020.03.052>. (Ukr).
2. Basok B.I., Butkevych O.F., Dubovskyi S.V. Technical and economic aspects of decarbonisation prospects assessing of the interconnected power system of Ukraine. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2021. No 5. Pp. 55-62. DOI: <https://doi.org/10.15407/techmed2021.05.055>. (Ukr)
3. Grid integration of large-capacity Renewable Energy sources and use of large-capacity Electrical Energy Storage. White paper. IEC., 2020. 102 p.
4. Kyrylenko O.V., Blinov, I.V., Tankevych, S.E. Smart grid and organization of information exchange in electric power systems. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2012. No 3. Pp. 47-48. (Ukr)
5. Report on compliance assessment (sufficiency) of the generating facilities. NEC Ukrenergo. 2020. 122 p.
6. Blinov I.V., Parus Ye.V. Congestion management and minimization of price difference between coupled electricity markets. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2015. No 4. Pp. 81-88. (Ukr)
7. ENTSO-e Operation Handbook. Policy 5: Emergency Operations. 20 p.
8. ENTSO-e Operation Handbook. Policy 3: Operational Security. Final Version, 21 p.
9. ENTSO-e Operation Handbook. Appendix 3: Operational Security. Final Version, 41 p.
10. Stognii B., Sopel M. Fundamentals of monitoring process in electroenergy. About the concept of monitoring process. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2013. No 1. Pp. 62-69. (Ukr)

11. Stognii B.S., Sopel M.F., Varskyi G.M., Yakovlieva I.V. The systems of the synchronised measurements in electric power industry. Increase of accuracy and metrological maintenance. *Pratsi Instytutu Elektrodynamiky NAN Ukrainy*. 2013. Vyp. 35. Pp. 37-47. (Ukr)
12. Butkevych O.F., Pylypenko Y.V., Chyzhevskiy V.V., Elizarov I.O. Phasor measuring of operational condition parameters and identification of low-frequency modes of electromechanical oscillations in the Interconnected Power System of Ukraine. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2017. No 6. Pp. 43-54. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2017.06.043> (Ukr).
13. IEC/TR 63097:2017 Smart grid standardization roadmap. 2017. 315 p.
14. Kyrylenko O.V., Pavlovsky V.V., Steliuk A.O.. Flexible Control of the Export Power Flows by Using DC Link. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2015. No 2. Pp. 64-69. (Ukr).
15. Tuhay Yu.I., Kuchansky V.V., Tuhay I.Yu. The using of controlled devices for the compensation of charging power on EHV power lines in electric networks. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2021. No 1. Pp. 53-56. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2021.01.053> (Ukr).
16. Gonzalez-Longatt F., Steliuk A., Hinojosa V.H. Flexible Automatic Generation Control System for Embedded HVDC Links. IEEE *PowerTech* Conference. Eindhoven, Netherlands, June 29-July 2, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1109/PTC.2015.7232555>
17. Kundur P. Power system stability and control. McGraw-Hill, 1994. 1199 p.
18. Machowski J., Bialek J., Bumby J. Power system dynamics. Stability and Control. John Wiley & Sons, 2008. 660 p.
19. Pavlovsky V., Steliuk A., Lenga O., Zaychenko V., Vyshnevskiy M. Frequency stability simulation considering under-frequency load shedding relays, special protection automatics and AGC software models. IEEE *PowerTech* Conference. Manchester, UK, June 18-22, 2017. 17045200. DOI: <https://doi.org/10.1109/PTC.2017.7981043>
20. Pavlovsky V., Steliuk A., Lenga O., Hrechko V. Frequency stability of the bulk isolated power system with high share of renewables and nuclear generation. Chapter in the book: Power systems research and operation. Selected problems. Springer, 2021. 180 p.
21. Kyrylenko O., Pavlovsky V., Steliuk A., Vyshnevskiy M. Simulation of the normal and emergency operation of the interconnected power system of Ukraine for frequency stability study. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2017 No 2. Pp. 57-60. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2017.02.057>
22. Kyrylenko O.V., Pavlovsky V.V., Lukianenko L.M., Ushchapovskiy K.V., Zaichenko V.B. On-line redetermination of the total transfer capacity of supervised interfaces. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2013. No 2. Pp. 75-84. (Ukr).
23. On Electricity Market: The Law of Ukraine. 13.04.2017. No 2019-VIII. (Ukr).
24. NEURC's Resolution: On Approval of Market Rules. 14.03.2018. No 307. (Ukr).
25. NEURC's Resolution: On Approval of Day Ahead Market and Intraday market. 14.03.2018. No 308. (Ukr).
26. Commission Regulation (EU) 2015/1222 of 24 July 2015 establishing a guideline on capacity allocation and congestion management. Official Journal of the European Union. 2015. Vol. 58. Pp. 24-72.
27. Blinov I., Kyrylenko O., Parus E., Rybina O. Decentralized Market Coupling with Taking Account Power Systems Transmission Network Constraints. *Power Systems Research and Operation. Studies in Systems, Decision and Control*. Vol. 388. Springer, 2022. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-82926-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-82926-1_1)
28. Kyrylenko O.V., Blinov I.V., Parus Ye.V., Ivanov H.A. Simulation model of day ahead market with implicit consideration of power systems network constraints. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2019. No 5. Pp. 60-67. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2019.05.060>. (Ukr)
29. ENTSO-e Network Code for Requirements for Grid Connection Applicable to all Generators. ENTSO-e. 2013. 86 p.
30. NEURC Resolution: On Approval of Transmission Network Code. 14.03.2018. No 309. (Ukr)
31. NEURC Resolution: On Approval of Distribution Network Code. 14.03.2018. No 310. (Ukr)
32. NEURC Resolution: On Approval of Commercial Metering Code. 14.03.2018. No 311. (Ukr)
33. Blinov I., Trach I., Parus Y., Khomenko V., Kuchansky V., Shkarupylo V. Evaluation of The Efficiency of The Use of Electricity Storage Systems in The Balancing Group and The Small Distribution System. IEEE 2nd KhPI Week on *Advanced Technology* (KhPIWeek). Kharkiv, Ukraine, September 13-17, 2021. Pp. 262-265. DOI: <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek53812.2021.9569981>
34. Butkevich O.F., Yuneeva N.T., Gureeva T.M. On the issue of placement of energy storage in the Ukrainian UES. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2019. No 6. Pp. 59-64. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2019.06.059>. (Ukr)
35. Electrical Energy Storage. White paper. IEC, 2019. 79 p.

Надійшла 07.06.2022  
Остаточний варіант 27.06.2022