

УДК 621.31

## НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ ІНТЕГРАЦІЇ ОЕС УКРАЇНИ ДО ОБ'ЄДНАННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМ ЄВРОПЕЙСЬКИХ ДЕРЖАВ ENTSO-E

**А.Ф.Жаркін**, чл.-кор. НАН України, **В.В.Павловський**, докт.техн.наук, **Л.М.Лук'яненко**, канд.техн.наук, Інститут електродинаміки НАН України, пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.

*Розглянуто основні науково-технічні аспекти забезпечення можливості спільної роботи ОЕС України в синхронній зоні ENTSO-E. Виділено найбільш вагомі проблеми: забезпечення стійкої роботи як всієї ОЕС України, так і її прикордонних районів; можливі видачі потужностей прикордонними електричними станціями в динамічних режимах, гнучкого регулювання напруги та реактивної потужності; підтримки в актуальному стані плану відновлення ОЕС України після виникнення особливої системної аварії; забезпечення відповідного рівня якості електричної енергії та електромагнітної сумісності. Подолання вказаних проблем є однією із необхідних умов реалізації задачі інтеграції ОЕС України до ENTSO-E. Бібл. 5.*

**Ключові слова:** ОЕС України, інтеграція, ENTSO-E, стійкість, відновлення ЕС після аварії.

Енергетична стратегія України на період до 2030 року визначає, що для забезпечення можливості паралельної роботи ОЕС України з енергетичним об'єднанням країн Європи (ENTSO-E) необхідно виконати значний обсяг організаційно-технічних заходів, спрямованих на модернізацію, економічний та технологічний розвиток національного електроенергетичного комплексу. Зокрема, це стосується заходів, пов'язаних з підвищенням надійності роботи та ефективності використання існуючої енергетичної інфраструктури за рахунок усунення проблемних місць та збільшення гнучкості керування режимами ОЕС України. Членство України у Енергетичному Співтоваристві вимагає приведення ОЕС України у повну відповідність до загальноєвропейських стандартів цього товариства, зокрема, щодо безпечного та ефективного функціонування систем транспортування та постачання електроенергії.

Процедура приєднання будь-якої енергосистеми (ЕС) до ENTSO-E включає, *по-перше*, роботу енергосистеми в ізолюваному режимі протягом одного року, а *по-друге*, роботу такої енергосистеми синхронно з ENTSO-E протягом тестового періоду. Тестовий період включає три обов'язкові фази і може тривати досить довго. У зв'язку з цим підготовка та реалізація інтеграції енергосистем України та Молдови до синхронної зони континентальної Європи як єдиного блоку регулювання буде визначати повну готовність ОЕС України до роботи в двох різних режимах. Першим режимом є ізолювана робота енергосистем України та Молдови під час випробувального періоду, тобто приєднання до ОЕС України «Бурштинського енергоострову» та вимкнення будь-яких зовнішніх електричних зв'язків з ЕС сусідніх держав. Другий режим – це паралельна робота ЕС України та Молдови з енергооб'єднанням європейських країн. За попередніми оцінками експертів саме в цих режимах будуть проявлятися проблеми, пов'язані з експлуатацією ОЕС України. Взагалі, виконання вимог щодо інтеграції ОЕС України до ENTSO-E передбачає вирішення цілої низки задач, найбільш складною серед яких є забезпечення відповідності первинного та вторинного регулювання європейським вимогам. Однак крім відомих задач з автоматичного керування частотою та активною потужністю, на цьому шляху постають і інші, не менш важливі задачі.

Слід зазначити, що забезпечення європейських вимог щодо інтеграції ОЕС України є важливою практичною галузевою проблемою всієї електроенергетики України. Для визначення комплексної науково-технічної проблеми слід розглянути існуючу практичну проблему та виділити основні її науково-технічні аспекти. Першим таким аспектом є забезпечення стійкості режимів та надійності електропостачання споживачів в ОЕС України при переході на роздільну роботу з ЄЕС Росії/Білорусі. Стійкість режимів роботи енергосистем належить до основних проблем сучасної електроенергетики [3]. Більшість системних аварій в тій чи іншій мірі пов'язано з лавиною напруги, що відбувається у разі втрати стійкості за напругою. За кордоном приділяється значна увага вирішенню цієї проблеми за рахунок підвищення гнучкості керування режимами. В Україні проблема стійкості режимів за напругою загострюється через звуження діапазонів регулювання реактивної потужності на електростанціях та нестачу в мережах адаптивних засобів компенсації реактивної потужності, зокрема, пристроїв гнучкої передачі змінним струмом. Таким чином, проблема стійкості режимів за напругою є вкрай актуальною для ОЕС України. Розрахункові дослідження показали, що найбільші складності будуть виникати саме в прикордонних районах ОЕС України при переході на роздільну роботу з ЄЕС Росії/Білорусі, в тому числі, з урахуванням виникнення нових обмежень можливостей видачі потужності прикордонними електричними станціями.

Наступним науково-технічним аспектом інтеграції ОЕС України в ENTSO-E є задача регулювання рівнів напруги та реактивної потужності. Основні труднощі пов'язані зі зменшенням кількості блоків ТЕС в структурі генерації, незкомпенсованістю електричних мереж за реактивною потужністю, а також відсутністю мережевих засобів регулювання напруги, зокрема, статичних тиристорних компенсаторів. Сьогодні одним із основних джерел реактивної потужності в магістральних мережах ОЕС України є лінії електропередачі (ЛЕП) 750 кВ, що

переважно працюють в режимі нижче натуральної потужності, а регулювання здійснюється шляхом комутацій відповідних шунтувальних реакторів [2]. Така ситуація вже призвела до появи в ОЕС України «вузьких місць» з точки зору стійкості за напругою [5] та очікувано погіршиться при «роздільній» роботі із ЄС Росії та Білорусі. Причому, як показали чисельні розрахункові експерименти, що проведено на розроблених моделях поточних та перспективних режимів ОЕС України [2], в яких на відміну від моделей НЕК «Укренерго» деталізовано електричні зв'язки напругою 110 кВ, ця проблема не буде вирішена найближчим часом.

«Вузькі місця» в ОЕС України є окремим науково-технічним аспектом, що розглядається. Дослідження режимів, що проведено відповідно до сформованої загальної методології, дозволили ідентифікувати «вузькі місця» за напругою [1, 2]. Серед причин появи таких «місць» слід відзначити вичерпання резервів з реактивної потужності на електростанціях в умовах відсутності інших засобів її компенсації. На підставі досліджень впливу параметрів перспективних режимів 2015 року на «вузькі місця», які ідентифіковано на режимній базі 2010 року, встановлено, що у 2015 році існуючі зазначені проблеми переважно залишаться, а подекуди навіть загостряться. На підставі аналізу надійності схемно-режимних ситуацій, які можуть виникати в прикордонних районах ОЕС України, було визначено найбільш небезпечні зони та відповідні ремонтно-аварійні схеми. Отримані результати досліджень показали необхідність впровадження додаткових заходів для забезпечення відповідного рівня надійності в певних прикордонних енергорайонах України [1]. Вирішення зазначених проблем є необхідною, але недостатньою умовою проходження тестового періоду «ізолюваної роботи» ОЕС України.

Ще одним важливим аспектом проблеми інтеграції до ENTSO-E є обмеження видачі потужності прикордонних електричних станцій. Дослідження можливих обмежень видачі ґрунтуються на моделюванні динамічної стійкості електричних станцій в перспективних режимах при «роздільній» роботі із ЄС Росії та Білорусі. Враховуючи те, що ці дослідження проводилися відповідно до положень програми першочергових організаційно-технічних заходів з підготовки ОЕС України до роботи з об'єднанням енергосистем європейських держав, а також беручи до уваги наміри України з реалізації спільної (разом з енергосистемою Молдови) інтеграції до синхронної зони ENTSO-E, актуальним питанням, на наш погляд, є гармонізація підходів до розрахунків динамічних режимів роботи енергосистем відповідно до європейських вимог. Авторами зроблено перші кроки з зазначеної гармонізації. Найбільш складною частиною цього питання видається саме проведення моделювання та аналіз перехідних режимів, що потребує використання надійних, перевірених у світовій та європейській практиці методів та алгоритмів. Цей процес передбачає ретельну підготовку (наповнення) динамічних моделей генераторів та систем їхнього регулювання, а також проведення верифікації моделі ОЕС України на базі фактичних синхронізованих у часі режимних даних. Ці дані можуть бути отримані, зокрема, за допомогою системи моніторингу перехідних режимів, що розроблено в Інституті електродинаміки НАН України та впроваджується в Україні.

Дуже важливим видається завдання щодо підтримки в працездатному стані плану відновлення ОЕС України після виникнення особливої системної аварії. Значущість вдосконалення та оновлення цього плану пов'язані не тільки з необхідністю приведення вимог вітчизняних нормативних і керівних документів до стандартів ENTSO-E, але і тим, що сьогодні зазначений план переважно базується на «одержанні допомоги» від енергосистем Росії та Білорусі. В цьому аспекті виникає проблема визначення оптимальних місць об'єднання двох синхронних зон різних енергосистем. За результатами досліджень показано, що вибір цього місця в процесі реалізації плану відновлення енергосистеми після особливої системної аварії впливає на якість електромеханічних перехідних процесів. Наприклад, віддалення місця об'єднання від шин 330 кВ Южно-Української АЕС (перенос на ПС 750 кВ «Дніпровська») дозволяє «покращити режимні умови» об'єднання двох синхронних зон. Також слід зазначити, що підстанції (які забезпечують подання напруги на АЕС) повинні бути обладнані програмними засобами контролю різниці кутів напруги, як експертно-технічні бази яких можуть бути використані реєструвальній пристрої «Регіна-Ч». Таким чином, у разі зміни режиму паралельної роботи з ЄС Росії план відновлення ОЕС України після виникнення особливої системної аварії, в тому числі в частині схем подачі напруги на шини АЕС для створення умов надійного живлення їхніх власних потреб від енергосистеми з метою забезпечення ядерної безпеки України, повинен бути переглянутий.

Проблеми якості електроенергії та електромагнітної сумісності утворюють окреме коло нормативних і технічних завдань, які необхідно вирішити. Що стосується нормативних завдань, то необхідно гармонізувати вимоги до якості напруги та забезпечити механізми контролю приєднання навантажень і джерел, які негативно впливають на показники якості електроенергії. Що стосується технічних завдань, то в цьому аспекті актуальним вважається використання європейського досвіду щодо планування та контролю показників якості електроенергії в магістральних мережах, в тому числі, при приєднанні відновлюваних джерел енергії.

Таким чином, визначено основні науково-технічні аспекти інтеграції ОЕС України до енергетичного простору ENTSO-E, а саме: забезпечення стійкості режимів та надійності електропостачання споживачів в ОЕС України при переході на роздільну роботу з ЄС Росії/Білорусі; регулювання рівнів напруги та реактивної потужності; подолання «вузьких місць» в ОЕС України; зняття обмежень з видачі потужності прикордонних електричних станцій та гармонізація підходів до розрахунків динамічних режимів роботи енергосистем; вдосконалення плану відновлення ОЕС України після виникнення особливої системної аварії; якість електроенергії та електромагнітна сумісність.

1. Баталов А.Г., Стогний Б.С., Кириленко А.В., Павловский В.В., Лукьяненко Л.Н. Режимы работы электрических систем приграничных районов при интеграции ОЭС Украины в ENTSO-E // Электрические сети и системы. – 2011. – № 6. – С. 1–6.
2. Кириленко О.В., Павловський В.В., Лук'яненко Л.М. Оцінка резервів реактивної потужності в ОЕС України з урахуванням проблеми забезпечення стійкості за напругою // Техн. електродинаміка. Тем. випуск. "Проблеми сучасної електротехніки". – 2010. – Ч. 3. – С. 53–56.
3. Кириленко О.В., Павловський В.В., Лук'яненко Л.М., Зорін Є.В. Аналіз стійкості енергетичних систем за напругою / Технічна електродинаміка. – 2010. – №3. – С. 59–66.
4. Стелюк А.О., Зайченко В.Б., Павловський В.В., Лук'яненко Л.М., Макогончук В.С. Ідентифікація та класифікація «критичних місць за напругою» в енергосистемах на базі моделювання режимів за принципом «N-1» // Енергетика та електрифікація. – 2010. – № 6 (322). – С. 10–13.
5. Ущиповський К.В., Зайченко В.Б., Павловський В.В., Лук'яненко Л.М., Теличко Р.К., Стелюк А.О. «Вузкі місця» за напругою та планування резервів з реактивної потужності в ОЕС України // Новини енергетики. – 2010. – № 6. – С. 38–45.

УДК 621.31

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИНТЕГРАЦИИ ОЭС УКРАИНЫ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО ENTSO-E**  
**А.Ф.Жаркин**, чл.-корр. НАН Украины, **В.В.Павловский**, докт.техн.наук, **Л.М.Лукьяненко**, канд.техн.наук,  
**Институт электродинамики НАН Украины, пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.**

*Рассмотрены основные научно-технические аспекты обеспечения возможности совместной работы ОЭС Украины в синхронной зоне ENTSO-E. Выделены наиболее важные проблемы: обеспечение устойчивой работы как всей ОЭС Украины и ее приграничных районов; возможности выдачи мощностей пограничными электрическими станциями в динамических режимах, гибкого регулирования напряжения и реактивной мощности; поддержание в актуальном состоянии плана восстановления ОЭС Украины после возникновения особой системной аварии; обеспечение соответствующего уровня качества электроэнергии и электромагнитной совместимости. Преодоление указанных проблем является одним из необходимых условий реализации задачи интеграции ОЭС Украины в ENTSO-E. Библи. 5.*

**Ключевые слова:** ОЭС Украины, интеграция, ENTSO-E, устойчивость, восстановление ЭС после аварии.

**SCIENTIFIC AND TECHNICAL ASPECTS OF CONNECTION OF INTEGRATED UKRAINIAN POWER SYSTEM TO ENTSO-E**

**A.F. Zharkin, V.V. Pavlovskiy, L.N. Lukianenko,**  
**Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine, Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.**

*The main scientific and technical aspects of connection of the Ukraine's IPS to the synchronous area of ENTSO-E are considered. The most important problems are designated: stability of whole IPS of Ukraine and its border areas, congestion of power plants interfaces in border area, flexible voltage and reactive power control, update the IPS of Ukraine restoration plan after blackouts, the appropriate level of power quality and electromagnetic compatibility. Finding the solution of these problems is one of the necessary conditions for realization of integration of Integrated Ukrainian Power System to ENTSO-E. References 5.*

**Keywords:** IPS of Ukraine, integration, ENTSO-E, stability, blackstart power system.

1. Batalov A., Stognii B., Kirilenko A., Pavlovskii V., Lukianenko L. Modes of operation of electrical systems in the border areas during integration of Ukraine's IPS into the ENTSO-E // Elektrychni Merezhi ta Systemy. – 2011. – № 6. – Pp. 1–6. (Rus)
2. Kyrylenko O., Pavlovskiy V., Lukianenko L. Evaluation of reactive power reserves in the IPS of Ukraine considering the problem of voltage stability // Tekhnichna elektrodynamika. Tem. vypusk "Problemy suchasnoi elektrotekhniki". – 2010. – №. 3. – Pp. 53–56. (Ukr)
3. Kyrylenko O., Pavlovskiy V., Lukianenko L., Zorin Ye. Analysis of voltage stability of power systems / Tekhnichna elektrodynamika. – 2010. – №. 3. – Pp. 59–66. (Ukr)
4. Steliuk A., Zaichenko V., Pavlovskiy V., Lukianenko L., Makohonchuk V. Identification and classification of "weak area" in power systems based on modeling the principle "N-1" // Enerhetyka ta elektryfikatsiia. – 2010. – № 6(322). – Pp. 10–13. (Ukr)
5. Ushchapovskiy K., Zaichenko V., Pavlovskiy V., Lukianenko L., Telychko R., Steliuk A. Voltage "weak area" and planning of reactive power reserves in the IPS of Ukraine // Novyny enerhetyky. – 2010. – № 6. – Pp. 38–45. (Ukr)

Надійшла 12.01.2012  
 Received 12.01.2012