ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ
Національної академії наук України

Цифрова трансформація електроенергетики України та її інтеграція в європейський енергопростір

1. **БЛІНОВ Ігор Вікторович** – член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор, заступник директора з наукової роботи Інституту електродинаміки Національної академії наук України.
2. **ДЕНИСЮК Сергій Петрович** – доктор технічних наук, професор, завідувач відділу Інституту електродинаміки Національної академії наук України.
3. **ЛЕЖНЮК Петро Дем'янович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри електричних станцій і систем Вінницького національного технічного Університету
4. **УЩАПОВСЬКИЙ Костянтин Валерійович** – доктор економічних наук, Член Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг.
5. **СЛОБОДЯН Руслан Олександрович** – доктор філософії, Член Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг.
6. **КОЗАЧУК Олег Іванович –** доктор філософії, віце-президент ГС «Асоціація з енергоефективності та енергозбереження».
7. **МІРОШНИК Володимир Олександрович –** кандидат технічних наук, науковий співробітник Інституту електродинаміки Національної академії наук України.
8. **СПОДИНСЬКИЙ Олександр Володимирович –** провідний інженер Інституту електродинаміки Національної академії наук України.

РЕФЕРАТ

Київ - 2026

ВСТУП

Українська енергетика сьогодні опинилася у складних умовах війни (погіршення безпекової ситуації в нашій країні та постійні ризики порушення роботи критичної енергетичної інфраструктури) та водночас переживає процеси модернізації й поглибленої інтеграції з енергетичною системою Європи. Тому особливої актуальності на державному рівні набуває забезпечення стійкої та безперебійної роботи ОЕС України на основі застосування передових технологій цифрової трансформації електромереж, як основи стійкого функціонування та розвитку економіки нашої країни. Для стратегічної перебудови енергосистеми України важливим є розширення енергетичної співпраці з ЄС, формування стійкої, гнучкої, адаптивної електроенергетичної системи, яка б враховувала пріоритети трансформації енергетики провідних країн ЄС, реальний баланс генерації та споживання, структуру генеруючих потужностей в Україні.

Повноцінна інтеграція енергетичних ринків України та країн ЄС підвищує рівень енергетичної безпеки у Європі, забезпечуючи успішний розвиток сталої та інтегрованої європейської електромережі. Однак така інтеграція вимагає вдосконалення технічної та експлуатаційної відповідності ОЕС України новим вимогам ENTSO-E, повної технологічної сумісності нормативно-правової бази, розвиток взаємопов'язаних ринків електроенергії та потужностей.

Цифрова трансформація електроенергетики, базуючись на впровадженні сучасних IT-технологій (зокрема, моніторингу та керування) у виробництво, передачу та розподіл електроенергії з метою створення «розумних мереж» (Smart Grid)), для України перетворюється з інструменту оптимізації на стратегічний засіб фізичного виживання енергосистеми, підтримки соціальної стабільності й довіри суспільства.

Згідно Плану дій ЄС «Цифровізація енергетичної системи» (COM(2022) 552), прийнятого Єврокомісією 18 жовтня 2022 р., цифровізація дозволяє суттєво покращити доступність, сталість та стійкість енергетичної системи. Цифровізація стає центральним елементом сучасного розвитку енергетики, зокрема, за напрямками моніторингу та керування потоками енергії, оптимізації енергетичного балансу, побудови цифрових інтелектуальних мереж, координації діяльності операторів системи передачі (ОСП) та розподілу (ОСР) електроенергії, забезпечення проактивної поведінки споживачів.

В українських реаліях застосування цифрових технологій у вітчизняній енергосистемі, як критичної інфраструктурної складової енергетичної безпеки, доцільно реалізувати на поєднанні механізмів стійкості, живучості та відновлюваності електроенергетичної системи згідно вимог Європейської мережі операторів систем передачі електроенергії (ENTSO-E). На сьогодні актуальність забезпечення стійкого розвитку електромережевого комплексу України визначає енергетичну безпеку як одну із пріоритетних частин національної безпеки.

Завданням роботи є вирішення критичної науково-технічної проблеми забезпечення стійкості, живучості та відновлюваності ОЕС України, у тому числі в умовах безпрецедентних воєнних загроз і фізичного дефіциту потужності. Це досягається через розробку програмних та апаратних засобів протистояння системним аваріям (блекаутам), забезпечення синхронної роботи з ENTSO-E.

Метою роботи є розроблення та реалізація на сучасному світовому рівні науково-технологічної платформи цифрової трансформації електроенергетики Укра-

їни, складові якої забезпечують повну синхронізацію ОЕС України з ENTSO-E, підвищення стійкості та живучості енергосистеми в умовах воєнних дій, усунення системних аварій, швидке відновлення та забезпечення гнучкості, балансування локальних електроенергетичних систем (ЛЕС) відповідно до директив та безпекових стандартів ЄС і НАТО. Інтеграцію енергосистеми України в європейський енергопростір досягнуто створенням і впровадженням унікальних систем моніторингу та керування на рівнях передачі (750 – 220 кВ) та розподілу (110 – 0,4 кВ) електроенергії, реалізацією сучасної технічної політики, складовою якої є розроблення Концепції «розумних» мереж (Smart Grid) з впровадженням цілісної системи міжнародних стандартів.

НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

Для досягнення мети роботи зі створення наукових та науково-прикладних основ цифрової трансформації в сфері електроенергетики України *вирішено актуальні науково-технічні проблеми та задачі:*

1) розроблено та реалізовано цілісну науково-технологічну платформу цифрової трансформації електроенергетики України, яка має забезпечити успішну підготовку та синхронізацію ОЕС України з ENTSO-E з точки зору її технічної та експлуатаційної відповідності;

2) розроблені пристрої синхронізованих векторних вимірювань (PMU, Phasor Measurement Units) як базового елемента системи широкомасштабного моніторингу (WAMS, Wide Area Monitoring System) ОЕС України;

3) здійснено розвиток цифрових технологій при побудові автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСК ТП) електроенергетичних підстанцій (ПС) 750 кВ нового покоління, технологічно сумісних з моніторинговими системами ENTSO-E;

4) розроблено сучасні засоби вдосконаленої адаптивної протиаварійної автоматики електроенергетичних систем, направленої на підвищення енергетичної стійкості енергетики у воєнний час та повоєнного відновлення економіки України;

5) розроблено методи і засоби балансування режимів електроенергетичних систем з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ) з використанням Smart Grid технологій з прогнозуванням графіків погодинного генерування (відпуску) і споживання електроенергії на добу наперед;

6) запропоновано нові механізми стимулювання розвитку та підвищення економічної ефективності роботи виробників електроенергії з ВДЕ на основі створення оптимальних балансуючих груп;

7) сформовано основи побудови в Україні взаємопов’язаних ринків електроенергії та потужностей з аналогічними ринками в Європі;

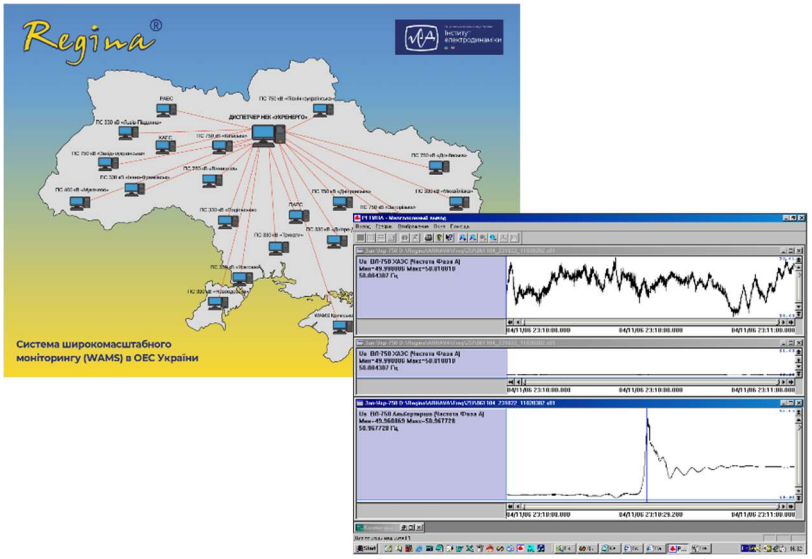
8) визначено пріоритетні напрямки розвитку національної нормативно-технічної бази, необхідної для практичної реалізації цифрової трансформації електроенергетики України, розроблено систему національних стандартів у сфері Smart Grid технологічно сумісної з стандартами директивами ЄС і НАТО;

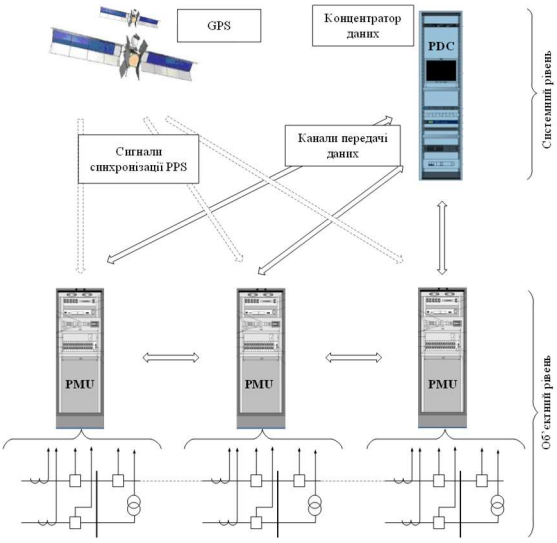
9) в рамках реалізації державної політики у сфері цифрової трансформації електроенергетики розроблено принципи та основні складові Концепції впровадження «розумних» мереж в Україні.

Комплексне розв’язання поставлених завдань передбачало застосування системного підходу. Реалізація такого підходу базувалася на здійсненні оригінальних теоретичних досліджень, відповідного математичного моделювання, розробленню

дослідних зразків, їх тестування в лабораторних умовах та введення розробок в промислову експлуатацію.

Побудова перших в Україні пристроїв синхронізованих векторних вимірювань PMU «Регіна-Ч» дозволила не тільки забезпечити пооб'єктний моніторинг, а й на рівні ОЕС України реалізувати систему широкомасштабного моніторингу WAMS, зокрема створити WAMS Кримської ЕС. Розроблені за участі авторів WAMS ОЕС України забезпечила операційну ефективність роботи ОЕС України в острівному режимі, при її синхронізації з ENTSO-E та роботі в структурі ENTSO-E у 2022–2025 роках, значне скорочення тривалості системних аварій в 2022–2025 рр. Українська WAMS, PMU «Регіна-Ч» є повністю технологічно сумісними з аналогічними системами країн ЄС, забезпечуючи систематичний моніторинг в лініях передачі електроенергії та можливість підвищення рівня цифровізації загальноєвропейської системи моніторингу та регулювання, покращуючи їх керованість та спостережуваність. Завдяки створеній системі WAMS енергетика України вже в ЄС.



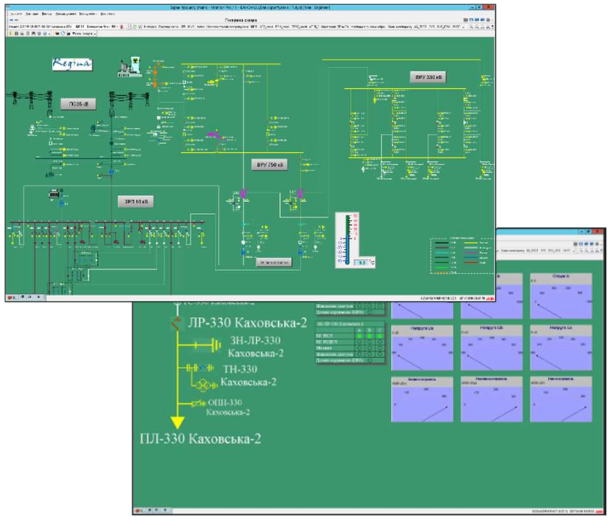


У повоєнний час роль застосування WAMS в Україні безумовно суттєво зросте, оскільки WAMS будуть розширювати свій функціонал за напрямками створення систем широкомасштабного моніторингу, захисту та керування (WAMPAC).

Україна стала першою країною у світі, яка експлуатує систему WAMS у мовах реальної повномасштабної війни. Досвід України з створення та експлуатації WAMS та PMU сьогодні формує майбутні стандарти енергетичної безпеки світу.

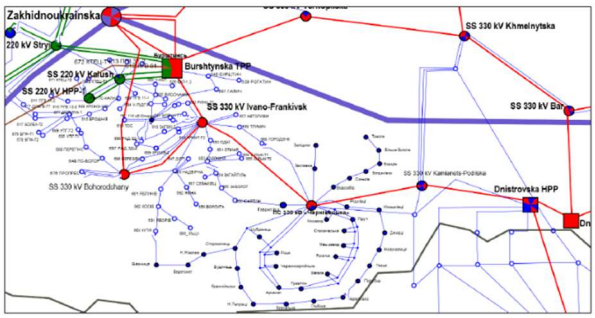
Для забезпечення процесів керованості на рівні систем передачі електроенергії теоретично обґрунтовано та реалізовано в оригінальному програмно-алгоритмічному забезпеченні АСК ТП на підстанціях 750 кВ «Київська» та «Каховська», цифровій системі протиаварійної автоматики (ПА) для Івано-Франківського енерговузла. Впровадження АСК ТП стало важливим кроком у підвищенні ефективності та технологічності роботи цих енергетичних об'єктів.

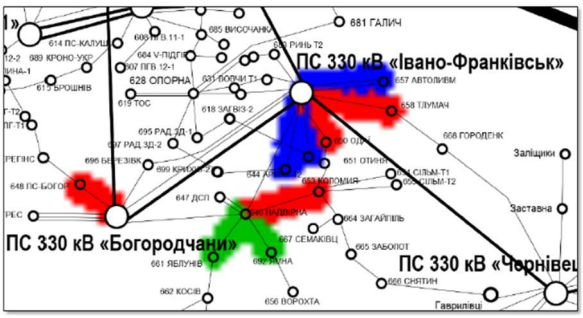
Так, АСК ТП ПС 750 кВ «Каховська» поєднує сучасні підходи до автоматизації, інноваційні рішення, є функціонально насиченою та водночас зручною в експлуатації. Завдяки впровадженню АСК ТП вдалося суттєво підвищити надійність роботи підстанції, забезпечити безперервний контроль за ключовими параметрами та мінімізувати ризики аварійних ситуацій. Система дозволяє оперативно реагувати на зміни в роботі обладнання та приймати обґрунтовані управлінські рішення.



У запропонованих АСК ТП ПС 750 кВ дані передаються в НЕК «Укренерго», що може забезпечити віддалену керованість (керованість з вищого рівня). Ця опція в довоєнний час не використовувалась. Однак вона була успішно задіяна під час війни з росією – безпосереднє успішне керування з НЕК «Укренерго» підстанціями 750 кВ «Київська» та 330 кВ «Новокиївська», що забезпечило живучість та безперебійність електроживлення Київського регіону, недопущення системних аварій протягом 2022–2025 років.

У 2025 році завершено проєкт реконструкції ПА для Івано-Франківського енерговузла. Впровадження автоматики обмеження зниження напруги (АОЗН) та обмеження перевантаження обладнання (АОПО) в Івано-Франківській області стало важливим кроком у підвищенні надійності та стійкості роботи електроенергетичної системи регіону.



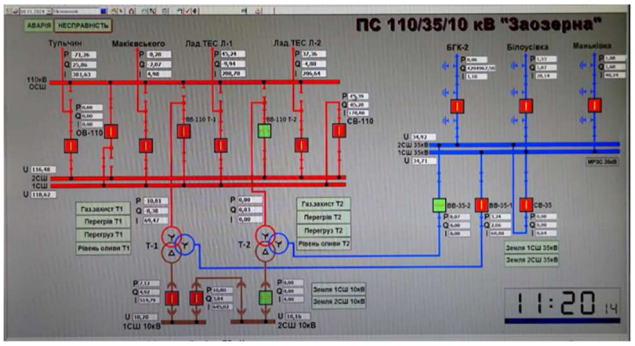


Завдяки впровадженню цифрових технологій ПА значно підвищено надійність та безперебійність електропостачання споживачів регіону. Системи АОЗН та АОПО дозволяють своєчасно виявляти та локалізувати аварійні ситуації, мінімізувати їх наслідки, а також запобігати розвитку системних порушень і масштабних відключень. ПА Івано-Франківського енерговузла розроблена з урахуванням особливостей роботи ВДЕ, що забезпечує коректну роботу енергосистеми в умовах змінної генерації та підвищує її гнучкість і стійкість.

На рівні розподілу електроенергії основна увага приділяється як інтеграції ВДЕ в балансуючі групи високих рівнів гнучкості, так і реалізація механізмів керування попитом споживачів, врахуванню можливостей гнучкості та балансування таких систем, суттєвому підвищенню механізмів прогнозування. Створено науково-практичне забезпечення вдосконалення роботи системи розподілу за рахунок цифровізації підстанцій 35-110 кВ (згідно міжнародного стандарту IEC61850 «Комунікаційні мережі та системи підстанцій»).

Розвинуто методи та засоби оптимізації сумісної роботи ЛЕС з ВДЕ та систем централізованого електропостачання, теорію чутливості для оцінювання фактичного генерування СЕС з врахуванням їх деградації, теорії подібності та принципу найменшої дії для аналізу способів резервування нерівномірності графіків генерування ВДЕ. Розвинуто моделі прогнозування відпуску електричної енергії з ВДЕ з використанням засобів штучного інтелекту на основі ретроспективної інформації, які забезпечили точність та якість прогнозування, зокрема, за умов участі виробників з ВДЕ в балансуючих групах. Вдосконалено системи енергетичного менеджменту ЛЕС із врахуванням оптимізації роботи окремих груп активних споживачів.

Одним із прикладів успішної реалізації проведених досліджень є розроблення автоматизованої системи контролю і керування по балансуванню виробництва, споживання та накопичення електричної енергії в локальній електричній мережі 35/10кВ ТОВ «Вінницька птахофабрика», без видачі потужності в мережу 110 кВ АТ «Вінницяобленерго». Характеристики локальної мережі: (1) потужність власної генерації (59,4 МВт) в структурі: когенераційні установки 1 черги – 12 МВт; когенераційні установки 2 черги – 13,2 МВт; СЕС 1–4 – 9,6 МВт; СЕС 5 – 19,6 МВт; ДГУ (ККЗ) – 5МВт; (2) споживання: в максимальному режимі 850 тис. кВт/на добу; в мінімальному режимі 580 тис. кВт/на добу; (3) – установки зберігання енергії (УЗЕ): 2 МВт / 4 МВт·год



На сьогодні здійснюється взаємодія ЛЕС МХП-Вінницька птахофабрика та оператора системи розподілу електроенергії з метою оптимізації споживання/генерування електроенергії та перетоків потужності в ЛЕП. Впровадження Smart Grid технологій в ЛЕС з СЕС, газопоршневими когенераційними установками, УЗЕ та формування окремих multi microgrid, пов’язаних інтелектуальною системою керування, дозволяє зменшити SAIFI і SAIDI за рахунок самовідновлення практично до нуля.

Цифрова трансформація електричних мереж України на рівні систем передачі та розподілу потребувала розроблення та реалізації комплексу нормативно-методичного забезпечення, системи національних стандартів, які б сприяли реалізації архітектурної моделі цифрової трансформації української електроенергетики (по аналогії з моделлю SGAM (Smart Grid Architecture Model)).

Наукова новизна роботи

1. Двадцятирічний досвід колективу авторів у сфері цифровізації електроенергетики України, реалізації концепції Smart Grid, підвищення рівня інтелектуалізації електроенергетичних об’єктів дозволив розробити наукові основи системної цифрової трансформації електроенергетики України, наукових основ синхронізації ОЕС України з ENTSO-E.

2. На основі розвитку системних процедур моніторингу (спостережуваності) вперше в Україні розроблено конкурентоспроможний на світовому рівні цифровий

пристрій синхронізованих векторних вимірювань (PMU) «Регіна-Ч», на базі якого створена в ОЕС України система WAMS, зокрема, Кримської ЕС, та яка забезпечила моніторингові процедури успішної синхронізації ОЕС України з ENTSO-E.

3. На основі розвитку теоретичних основ керованості електричних мереж високої напруги вперше в Україні з використанням сучасних цифрових технологій створено автоматизовані системи керування технологічними процесами (АСК ТП) електроенергетичних об'єктів (ПС 750 кВ «Київська» та «Каховська»), які на основі предиктивного керуванням, з розширенням функціональних можливостей (операційне керування та відеоспостереження) та прогнозуванням стану (температурного режиму ліній, стану елегазових вимикачів), дають змогу забезпечувати інфраструктурну стійкість системи відповідно до стандартів ЄС.

4. Здійснено розвиток оригінальних засобів протиаварійного керування в ОЕС України із розширенням функціональних можливостей з реалізацію принципу ІІІ-ДО (Інтелектуальна Інтернет Інтегрована Динамічна Оптимізація) (Intelligent Internet Integrated Dynamic Optimization).

5. Розроблено нові методи та засоби оптимізації сумісної роботи ЛЕС з ВДЕ та систем централізованого електропостачання, теорію чутливості для оцінювання фактичного генерування СЕС з врахуванням їх деградації, теорії подібності та принципу найменшої дії для аналізу способів резервування нерівномірності графіків генерування ВДЕ, розроблено відповідне апаратно-програмне забезпечення. Розвинуто цифрові моделі прогнозування відпуску електричної енергії з ВДЕ з використанням засобів штучного інтелекту на основі ретроспективної інформації, які забезпечили точність та якість прогнозування, зокрема, за умов участі виробників з ВДЕ в балансуючих групах з врахуванням їх гнучкості.

6. Вперше запропоновано науково обґрунтовану методологію стимулювання розвитку ВДЕ, який дозволяє знизити боргове навантаження на інституційних учасників ринку електричної енергії за рахунок зменшення їх зобов'язань по виплатах, пов'язаних з «зеленим» тарифом, а також істотно підвищити економічну ефективність виробників електроенергії з ВДЕ за рахунок створення ЛЕС задля балансування потужності електроенергії в межах таких систем, забезпечуючи балансування попиту та пропозицій.

7. Вперше розроблено рольові моделі та виконано формалізацію бізнес-інформаційних процесів організації взаємодії між учасниками ринку електричної енергії України для забезпечення процесів цифрової трансформації в частині впровадження сучасного ринку електричної енергії України, досліджено організаційні структури та адаптовано ролі його учасників з європейською гармонізованою моделлю ENTSO-E. Для підвищення економічної ефективності роботи споживачів в нових ринкових умовах розроблено моделі розрахунку вартості електричної енергії для споживачів та оцінювання доцільності зміни їх форми участі на роздрібному ринку електричної енергії на основі даних обліку електричної енергії. Розроблено методологію зниження вартості похибки прогнозу балансуючих груп шляхом розрахунку поправних коефіцієнтів до прогнозних графіків.

8. Сформована оригінальна методологія формування стратегії та визначення пріоритетності розробки та впровадження в Україні системи національних стандартів у сфері цифрової трансформації електроенергетики, синхронізованих із міжнародними стандартами.

9. В рамках формування державної технічної політики системної цифровізації електромереж на рівні вимог ЄС виконано системні наукові дослідження особливостей реалізації положень концепцій Smart Grid провідних країн світу, сформовано наукові основи підвищення рівня інтелектуалізації електроенергетики України.

Практична значимість та впровадження результатів роботи

1. Розроблена цілісна науково-технологічну платформа цифрової трансформації електроенергетики України, що стала основою роботи ОЕС України в ізольованому режимі, її успішної синхронізації з ENTSO-E та роботи в європейському енергопросторі в 2022–2025 роках, забезпечуючи виконання вимог стійкої роботи європейської енергосистеми та інтеграцію ринків електроенергії.

2. Спільно з МПП «АНІГЕР» налагоджено серійне виробництво PMU «РегінаЧ», який здійснює вимірювання кута напруги та частоти у вузлах ОЕС України з синхронізацією по часу з точністю, яка відповідає кращім світовим зразкам, а по частоті – перевищує досягнутий у світі рівень.

Розроблення концепції побудови системи цифрового моніторингу WAMS та створення її першої черги постали інформаційно-метрологічною основою функціонування ОЕС України в автономному режимі з початком повномасштабного вторгнення росії (24 лютого 2022 р.) та її приєднання до ENTSO-E (з 17 березня 2022 р.), забезпечуючи виконання європейських вимог щодо оцінки спостережуваності та керованості вітчизняної енергосистеми, підвищення ефективності її функціонування, побудову загальноєвропейської системи енергетичної безпеки. Завдяки створеній за участі авторів роботи системі WAMS енергетика України вже в ЄС.

3. У запропонованих АСК ТП ПС 750–220 кВ дані передаються в НЕК «Укренерго», що може забезпечити віддалену керованість (керованість з вищого рівня). Ця опція в довоєнний час не використовувалась. Однак вона була успішно задіяна під час війни з росією – безпосереднє успішне керування з НЕК «Укренерго» підстанціями 330 кВ «Новокиївська» та 750 кВ «Київська», що забезпечило живучість та безперебійність електроживлення Київського регіону, недопущення системним аваріям в енергетиці (блекауту) протягом 2022–2024 років та у цьому році. Запропоновані та реалізовані в роботі АСК ТП є більш функціонально наповненими (у порівняння із світовими зразками), за рахунок контролю технологічних параметрів (елегазове обладнання, високовольтні вимикачі, високовольтні вводи).

Впровадження АСК ТП ПС 750-220 кВ є важливим кроком у напрямку цифровізації енергосистеми України, підвищення її керованості, прозорості та стійкості до сучасних викликів. Результатом реалізації проєкту стало забезпечення стабільної роботи підстанції 750 кВ «Каховська» в умовах високих навантажень, а також створення технічних передумов для повноцінної та безперебійної роботи Запорізької атомної електростанції на своїй проєктній потужності.

4. Запропоновано принципи побудови вдосконаленої цифрової адаптивної ПА забезпечення стійкості електроенергетичних систем, яка контролює запас стійкості поточного режиму і визначає керівні дії, необхідні для задоволення нормативних вимог як щодо активної потужності у перетинах, так і щодо напруги у центрах споживання. Представлені результати побудованої (згідно використання принципу ІІІ-ДО) вперше в Україні вдосконаленої адаптивної ПА Івано-Франківського енерговузла, де при побудові алгоритмів та розрахунках режимів роботи системи враховувався вплив ВДЕ з встановленою потужністю 473 МВт.

Впровадження схемно-технічних рішень суттєво сприяє цифровізації енергосистеми України, підвищенню рівня її автоматизації, керованості та адаптивності до

сучасних навантажень і ризиків. Реалізація проєкту забезпечила підвищення загальної надійності роботи електричних мереж регіону та якості електропостачання для кінцевих споживачів.

5. Розроблені моделі та засоби прогнозування, практична методика оцінки похибки прогнозу обсягів відпуску електричної енергії виробниками з ВДЕ та її впливу на ринкову вартість електричної енергії в Україні дозволили сформувати рекомендації для прийняття управлінських рішень під час внесення змін до правил купівлі електричної енергії ДП «Гарантований покупець» щодо розрахунку обсягів та вартості небалансів, які створюються виробниками з ВДЕ в Україні, що призвело до стимулювання зниження небалансів виробників з ВДЕ, сприяло зменшенню фінансового навантаження на тариф Оператора системи передачі.

6. Із врахування зміни структури генерації та споживання електроенергії, пріоритетності створення ЛЕС завдяки цифровізації забезпечено інтегрування ВДЕ в ОЕС України на основі створення балансуючих груп з ВДЕ з врахуванням попиту з боку споживачів, ринкових умов та нової ролі ВДЕ як повноправного елемента формування балансу генеруючих потужностей в ОЕС України. Реалізовано рекомендації для прийняття управлінських рішень під час внесення змін до правил купівлі електричної енергії ДП «Гарантований покупець» щодо розрахунку обсягів та вартості небалансів, які створюються виробниками з ВДЕ в Україні, що на рівні ОЕС України призвело до стимулювання зниження небалансів виробників з ВДЕ, сприяло зменшенню фінансового навантаження на тариф Оператора системи передачі та споживачів електричної енергії.

7. Розроблені моделі розрахунку вартості електричної енергії для споживачів та оцінювання доцільності зміни їх форми участі на роздрібному ринку електричної енергії дозволяють підвищити економічну ефективність роботи споживачів в нових ринкових умовах. Практична реалізація методології зниження вартості похибки прогнозу балансуючих груп шляхом розрахунку поправних коефіцієнтів до прогнозних графіків застосовано та уточнено індивідуально для конкретної балансуючої групи.

8. Підготовлено стратегію та розроблено план заходів з впровадження міжнародних та європейських стандартів для розвитку електроенергетичної системи згідно концепції Smart Grid, де реалізовано пропозиції ENTSO-E щодо гармонізації українських стандартів з операційними правилами європейських операторів.

Розроблено пакет національних нормативних документів, гармонізованих з міжнародними стандартами, що мають суттєве значення для розвитку цифрової трансформації української енергетики та забезпечення інтеграції ОЕС України з ENTSO-E, а також забезпечення надійного електропостачання якісною електроенергією споживачів в Україні в умовах впровадження ВДЕ.

В межах технічного комітету стандартизації ТК 162 за участі авторів прийнято понад 200 міжнародних та європейських стандартів у сфері інтелектуального керування електроенергетичними системами, що склало близько 80% базових та пріоритетних стандартів в сфері Smart Grid, що фактично забезпечило створення необхідного нормативний бази цифрової трансформації в сфері електроенергетики України.

9. Розроблено науково-технічне обґрунтування та проєкт Концепції впровадження «розумних мереж» в Україні до 2035 року та середньостроковий План заходів з впровадження «розумних мереж» в Україні (введена в дію постановою КМУ № 908 від 14.10.2022 р.), як основи практичної реалізації процесів цифрової трансфор-

мації електроенергетики України. Дана Концепція та відповідний план заходів є базовим документом здійснення поточних та перспективних заходів цифровізації електроенергетики України.

Досягнутий економічний ефект та рекомендації щодо подальшого впровадження

Узагальнені дані від впровадження систем WAMS та PMU в Україні (2010–2025 рр.) – 14,5 млрд. грн., у тому числі узагальнені дані від впровадження систем WAMS та PMU (2010–2021 рр.) – 4,5 млрд. грн.; при усуненні системних аварій (2022–2025 рр.) – 8,5 млрд. грн., від синхронізації ОЕС України з ENTSO-E (2022–2025 рр.) – 1,5 млрд. грн. (за методологією 4th ENTSO-E Guideline for Cost Benefit Analysis of Grid Development Projects).

Економічна ефективність за рахунок оптимального функціонування ЛЕС МХП-Вінницька птахофабрика, м. Ладижин (ефект через зменшення збитків і погіршення якості продукції завдяки зменшення SAIFI і SAIDI) за 2024–2025 рр. – 900 млн. грн. Економічний ефект від впровадження розроблених моделей прогнозування та децентралізованого механізму стимулювання розвитку ВДЕ за 2022–2025 рр. сягає понад 800 млн. грн.

Досягнутий економічний ефект складає 16,2 млрд. грн.

Функціонування ОЕС України в європейському енергопросторі забезпечить значне зростання експортно-імпортних потужностей, підвищення стійкості системи, розвиток «зеленої» енергетики та впровадження європейських ринкових механізмів, що зміцнює енергетичну безпеку. Впровадження сучасних систем WAMS / PMU, АСК ТП та комплексів ПА при створенні інтегрованих систем є стратегічним пріоритетом для підвищення надійності та керованості ОЕС України в умовах її інтеграції з ENTSO-E. Поетапне масштабування згідно вимог ENTSO-E та централізоване керування інфраструктурою даних забезпечить економічно ефективне та технічно обґрунтоване розгортання зазначених систем в масштабах усієї ОЕС України. Сумарний річний ефект (прямий та опосередкований) при повному охопленні територій перевищує 10–12 млрд грн. За результатами масштабування ЛЕС МХП-Вінницька птахофабрика для 10 аналогічних об’єктів у наступні 5 років щорічний економічний ефект може перевищити 5,0 млрд. грн. та ще зрости при уточненні показників декарбонізації від застосування ВДЕ. При цьому економічний ефект від впровадження розроблених моделей прогнозування та децентралізованого механізму стимулювання розвитку ВДЕ може скласти понад 1,0 млрд. грн.

Кількість публікацій за роботою: 3 одноосібні монографії (підручників, посібників) 55 колективних монографій або їх розділів (підручників, посібників), у т.ч. 19 у зарубіжних виданнях, 118 статей в журналах, включених до категорії «А» (у т.ч. 68 у зарубіжних виданнях) та 162 статті у журналах, включених до категорії «Б». Загальна кількість посилань на публікації авторів/h-індекс за роботою згідно з базами даних складає відповідно: Web of Science 105/5, Scopus 927/16, Google Scholar 2479/27. Отримано 6 патентів на корисну модель, 23 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір.

_____ Блінов І.В.	_____ Лежнюк П.Д.
_____ Денисюк С.П.	_____ Ущаповський К.В.
_____ Слободян Р.О.	_____ Козачук О.І.
_____ Мірошник В.О.	_____ Сподинський О.В.