

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА РИНКИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

УДК 621.311:681.3

DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2023.65.005>

ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ЕНЕРГЕТИКИ: СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ТА ЗАВДАННЯ

О.В. Кириленко^{1*}, акад. НАН України, **С.П. Денисюк^{2**}**, докт. техн. наук,**І.В. Блінов^{1***}**, докт. техн. наук

1 – Інститут електродинаміки НАН України,

пр. Берестейський, 56, Київ, 03057, Україна

2 – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

пр. Берестейський, 37, Київ, 03056, Україна

e-mail: blinovigor81@gmail.com

Розглянуто особливості цифрової трансформації та цифровізації енергетики як процесів переходу до нових бізнес-моделей в енергетиці завдяки використанню цифрових технологій та наданню нових можливостей створення додаткової вартості під час генерації, передачі, розподілу та використання електроенергії. Наведено основні напрями формування Європейської політики у сфері цифровізації та цифрової трансформації. Визначено цілі цифрової трансформації в галузі енергетики та наведено огляд впливу цифровізації на процеси розвитку електричних мереж, підприємств галузі та на ринок електричної енергії. Визначення пріоритетних напрямків нормативного забезпечення в галузі Smart Grid як складової цифрової трансформації енергетики України. Бібл. 14.

Ключові слова: електроенергетична система, цифровізація, цифрова трансформація, Smart Grid, стандартизація.

Вступ. Сьогодні важливою частиною політики Європейського Союзу (ЄС) у галузі електроенергетики є комплекс заходів, що об'єднаний терміном «енергетичний перехід» (англ. Energy Transition) [1, 2]. Реалізація цих заходів передбачає перехід до нової функціональної архітектури електроенергетичних систем в ЄС та відповідно ОЕС України, розвиток розумних мереж, технологій зберігання енергії, а також появу активних (розумних) споживачів. Основні тренди «енергетичного переходу» сформульовані в рамках «концепції 3D»: Decarbonization, Decentralization, Digitalization) [1]. Якщо Decarbonization («декарбонізація») розглядається як перехід до екологічно чистої «безвуглецевої» економіки та енергетики, а Decentralization («децентралізація») – як перехід до територіально розосередженої електроенергетики з великим числом різнорівневих виробників і споживачів, то Digitalization («діджиталізація» – цифровізація) передбачає перехід до широкомасштабного застосування в енергетиці сучасних багатофункціональних програмних комплексів на основі інформаційних моделей та цифрових керованих пристроїв, підключених до інформаційної мережі Інтернет на всіх рівнях енергосистеми, від виробництва до обладнання кінцевих споживачів.

Цифровізація – діджиталізація (digitalization) – це нові бізнес-можливості від оцифрування (діджиталізації), використання цифрових технологій для зміни бізнес-процесу та підвищення ефективності та прибутку учасників бізнес-процесів. Це процес переходу до «цифрового бізнесу», де оптимальність досягається завдяки обчисленню, цифровому зв'язку та автоматизованому менеджменту.

Сьогодні в енергетичній системі цифровізація є ключовою для інтеграції відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в електроенергетичні системи, підвищення надійності електричних мереж та зниження вартості доступу до електроенергії, розвитку та впровадження нових моделей функціонування на ринку електричної енергії.

Подальше поглиблення процесів цифровізації ставить нову проблему цифрової



трансформації (digital transformation) в енергетичному секторі, вирішення якої дає можливість компаніям створювати нові бізнес-моделі та розробляти стійкі стратегії виробництва (відпуску) і постачання енергії.

Цифрова трансформація (digital transformation) – зміна звичних бізнес-моделей завдяки цифровим технологіям та забезпечення нових можливостей щодо отримання додаткової вартості у нових чи існуючих сегментах ринку електричної енергії чи надання послуг (надання нових можливостей для отримання доходу та створення додаткової вартості). Узагальнено цифрова трансформація може бути визначена як нове використання цифрових технологій для прискорення бізнес-стратегії.

За допомогою цифрових технологій досягається модернізація енергетичних компаній, яка вимагає вирішення трьох задач: ефективність витрат; продуктивність; прийняття рішень в режимі реального часу. Прийняття рішень за допомогою прогнозової аналітики, даних у реальному часі, а також оцифровування та автоматизації процесів для оптимізації витрат, інші сфери застосування цифрових технологій можуть допомогти енергетичним компаніям ефективно трансформуватися.

Зростаючий обсяг інформації щодо виробництва, передачі, розподілу та споживання електричної енергії може бути використаний для кращого планування трансформації енергетичного сектору, як на макро-, так і на мікрорівні. Власне цифрові технології змінюють не тільки підхід до прийняття рішень у бізнесі та підвищення його продуктивності під час передавання та розподілу електричної енергії, але також і моніторинг споживання та соціальну активність, зокрема і споживачів електричної енергії.

Метою статті є аналіз Європейської політики у сфері цифровізації та цифрової трансформації, визначення цілей цифрової трансформації в галузі енергетики та огляд впливу цифровізації на процеси розвитку електричних мереж, підприємств галузі, ринок електричної енергії. Визначення пріоритетних напрямків нормативного забезпечення в галузі Smart Grid як складової цифрової трансформації енергетики України.

Формування Європейської політики у сфері цифровізації та цифрової трансформації. Починаючи з 2014 року, стратегічні дії в ЄС направлені на здійснення енергетичного переходу задля протистояння кліматичним та енергетичним викликам. У листопаді 2016 року Європейська Комісія (ЕК) запропонувала пакет «Чиста енергія для всіх європейців» (Clean energy for all Europeans), мета якого пов'язана з полегшенням переходу від енергії викопного палива до більш екологічно чистої енергії та виконанням зобов'язання Паризької угоди ЄС щодо скорочення викидів парникових газів. Основними цілями нового енергетичного пакету є досягнення статусу кліматично-нейтральної Європи до 2050 року, спрощення умов інтеграції ВДЕ в енергетичну систему, більша незалежність побутових споживачів, розширене застосування ІТ-технологій відповідно до концепції Smart Grid.

Європейською технологічною та інноваційною платформою інтелектуальних мереж для енергетичного переходу (European Technology and Innovation Platform for Smart Networks for Energy Transition (ETIP SNET)) у 2018 р. був розроблений базовий документ ETIP-SNET Vision 2050 задля здійснення енергетичного переходу в ЄС [3]. Планується, що в 2050 році інтегровані енергетичні системи складатимуться з чотирьох взаємопов'язаних і взаємозалежних рівнів, які стимулюватимуть економічне зростання та глобальну конкурентоспроможність для Європи:

1) ринковий рівень – дає змогу обмінюватися інформацією між учасниками ринку (виробниками, постачальниками електричної енергії, агрегаторами, споживачами, операторами мереж, постачальниками послуг зі зберігання електричної енергії);

2) комунікаційний рівень – підтримує вертикальну та горизонтальну інтеграцію енергетичних систем та обмін інформацією з ринком;

3) рівень фізичної системи – складається з автоматизованих енергетичних інфраструктур, розроблених для задоволення потреб споживачів;

4) рівень цифрової інфраструктури – підтримує мережеві операції для управління інтегрованими енергетичними системами з більш високим рівнем автоматизації, бачення та підзвітності.

ETIP-SNET Vision 2050 відводить головну роль в інтегрованих енергетичних системах цифровізації, що підтримує надання нових послуг, забезпечуючи водночас конфіденційність даних і право власності для всіх зацікавлених сторін та посилюючи кібербезпеку.

Згідно з дослідженнями **ETIP SNET** у майбутній цифровізованій енергетичній системі наступне покоління інтегрованих технологій буде здійснювати моніторинг, контроль, надання послуг і захищати інтелектуальне постачання та використання енергії [4]. Водночас концепція цифровізації енергетичної системи розглядається як ширша концепція, ніж концепція Smart Grid, зокрема завдяки соціальній складовій, а не лише технологічним інноваціям. Кінцева мета цієї концепції – створення гнучкого та відкритого ринку енергії з рівними можливостями для його учасників.

Основна увага до цього часу була зосереджена на функціонуванні інфраструктури, і відповідно концепція Smart Grid була в центрі уваги досліджень і застосувань для енергетичної інфраструктури. Як порівняти з традиційною концепцією Smart Grid, процес цифровізації включає низку нових факторів:

- залучення клієнтів та можливі нові проривні бізнес-моделі, які можуть виникнути в результаті такої участі;
- більша увага до об'єднання секторів, а потім відповідно до конвергенції інтелектуальної енергії та інтелектуальних міст і громад;
- нові концепції та технології, які з'являються на різних фізичних рівнях завдяки розширеній ролі, яку відіграє сучасна електроніка та інформатика в новій цифровій енергетичній системі.

Зважаючи на актуальність цифровізації економіки, ЄК запланувала створення та забезпечення функціонування дев'яти спільних європейських просторів даних (common European data spaces), зокрема, визначено створення «Спільного європейського простору енергетичних даних для сприяння більшій доступності та міжсекторному обміну даними, орієнтованим на клієнта, безпечним і надійним способом, оскільки це сприятиме інноваційним рішенням та підтримає декарбонізацію енергетичної системи» [5]. Процес формування «Спільного європейського простору енергетичних даних» передбачає розробку низки нових директивних та нормативних документів.

Так, відповідно до «Стратегія ЄС щодо інтеграції енергетичної системи», затвердженої 8 липня 2020 р., зниження витрат на технології відновлюваної енергетики, розвиток ринку, швидкі інновації щодо систем зберігання, електромобілів, а також цифровізація – все це природно веде до більшої інтеграції енергетичних систем у Європі [6]. Загальносистемний план дій з цифровізації енергетики має прискорити впровадження цифрових рішень, спираючись на Спільний європейський простір енергетичних даних, оголошений у Європейській стратегії даних. У рамках впровадження Пакету чистої енергії (Clean Energy Package) (2019 р.) він запровадить розумні вимірювання, сприятиме реагуванню на попит і забезпечить сумісність даних, пов'язаних з енергетикою.

Водночас інтеграція енергетичної системи ЄС розглядається як скоординоване планування та функціонування енергетичної системи «в цілому», між різними енергоносіями, інфраструктурами та секторами споживання.

23 липня 2021 року Європейська комісія прийняла Дорожню карту Плану дій з цифровізації енергетики, в якому окреслено, як різні політичні та фінансові інструменти ЄС працюватимуть разом, щоб використовувати переваги цифрових рішень в енергетичному секторі, мінімізуючи в такому разі їхні ризики та вплив на навколишнє середовище [7]. План дій слід розглядати в контексті цілей Європейської «зеленої угоди» щодо скорочення викидів парникових газів на 55 % до 2030 року та досягнення кліматичної нейтральності до 2050 року, а також участі в програмі «Європа, пристосована до цифрової ери». Подвійний зелений і цифровий перехід вимагає кращого функціонування, розумної, інтегрованої та чистішої енергетичної системи, гарантуючи за таких умов доступну енергію та справедливий перехід для всіх.

У Плані дій з цифровізації енергетики будуть визначені конкретні кроки для розвитку спільного європейського простору енергетичних даних таким чином, щоб підтримувати імплементацію Пакету чистої енергії, а також пропозиції «Fit-for-55», які розроблені відповідно

до Повідомлення про «Європейський шлях цифрового десятиліття» (The European way for the Digital Decade), прийнятого в березні 2021 року, та Регламенту таксономії (ЄС) 2020/852.

План дій з цифровізації енергетики зосереджений на п'яти сферах:

1. Розвиток європейської інфраструктури обміну даними для створення конкурентного ринку енергетичних послуг, які орієнтовані на гнучкість попиту й підтримують планування та моніторинг енергетичної інфраструктури.

2. Розширення можливостей громадян шляхом надання їм інструментів для участі на енергетичних ринках, індивідуальних послуг, орієнтованих на дані, та впровадження шляхів перекваліфікації й підвищення їхньої кваліфікації.

3. Посилення впровадження цифрових технологій в енергетичному секторі шляхом мобілізації досліджень, стимулювання інновацій та використання додаткових інструментів для підтримки розширення масштабів пілотних рішень.

4. Підвищення кібербезпеки енергетичного сектора з урахуванням вимог реального часу, каскадних ефектів та поєднання застарілих технологій із розумними/сучасними технологіями.

5. Підтримка розробки та впровадження кліматично нейтральних рішень для сектору інформаційно-комунікаційних технологій як доповнення до Європейської цифрової стратегії з акцентом на заходах, які сприяють співпраці між енергетичним сектором та цифровим сектором.

Також необхідно зазначити, що 18 травня 2022 року ЄК представила план REPowerEU – свою відповідь на труднощі та руйнування світового енергетичного ринку, спричинені вторгненням Росії в Україну. Єврокомісія визначила необхідність подвійної термінової трансформації енергетичної системи Європи, що полягає в припиненні залежності ЄС від російського викопного палива та подоланні кліматичної кризи. Заходи в плані REPowerEU мають відповісти на ці виклики через енергоефективність, диверсифікацію постачання енергії та прискорене впровадження ВДЕ для заміни викопного палива в будівлях, промисловості та виробництві електроенергії, що неможливо без здійснення системної цифровізації європейської енергетики.

Цифровізація енергетичного сектора. Під час цифровізації енергетичного сектора всі аспекти енергетичної системи знаходяться під впливом цифрових технологій [1]. Цифровізація матиме вирішальне значення для операційного та комерційного успіху як для енергетики в цілому, так і її окремих об'єктів, і стає центральним елементом для сучасного розвитку енергетики [4]:

– *управління енергією*: моніторинг та оптимізація використання енергії на основі попиту, часу доби, метеофакторів, моделей використання, коливань попиту тощо;

– *оптимізація енергетичного балансу* на основі попередньо визначених цілей і моделей попиту/постачання з відповідним керуванням електричними мережами. Задачі прогнозування попиту, планування роботи на ринку та зберігання електричної енергії в децентралізованій енергетичній системі на основі ВДЕ набувають особливої актуальності [8, 9];

– *інтелектуальні мережі*: забезпечення роботи мереж за допомогою штучного інтелекту, прогнозного обслуговування, моніторингу, дистанційного керування, автоматизованої торгівлі електричною енергією стають основними характеристиками майбутніх інтелектуальних мереж;

– *інтелектуальні будівлі та установки*: використання датчиків мобільності, моделей використання електроенергії, урахування пікового споживання для оптимізації витрат та економії енергії тощо призведе до підвищення енергоефективності та якості енерговикористання;

– *інтелектуальний облік*: пристрої, що записують інформацію про споживання електричної енергії, яку потрібно надавати постачальникам і споживачам для моніторингу, інформування про попит і є основою для виставлення рахунків за електроенергією;

– *інтелектуальне зберігання енергії*: автономне заряджання та розрядження накопичувачів електричної енергії, пов'язаних з відновлюваними енергетичними установками/електростанціями для управління енергією та оптимізації енергетичного балансу;

– *електромобілі та інтелектуальний транспорт*: передбачення моделей транспортування та керування піковим споживанням, а також балансування пропозиції/попиту на основі додатків та «Інтернету речей» від зв'язку між транспортними засобами та постачальниками / операторами систем розподілу / виробниками, що призведе до роботи та енергоефективного використання електроенергії транспортної системи;

– *автоматизація та робототехніка (Robotic process automation, RPA) у всіх секторах*: автоматизовані процеси, транспорт та операції з цифровою підтримкою призведуть до енергозбереження (і зниження витрат) та енергоефективних рішень;

– *транзакції та кібербезпека*: цифрові технології, такі як блокчейн, будуть важливими для забезпечення відповідності нормативним вимогам, конфіденційності даних та кібербезпеки в новій децентралізованій мережі торгівлі енергією між кількома учасниками, включаючи приватних та промислових споживачів та комунальні підприємства.

Цифровізація енергетики – це створення цінності за допомогою поєднання цифрових технологій, людей і бізнес-стратегії. Наслідком цифровізації енергетики для держави є: забезпечення енергонезалежності та інфраструктурної забезпеченості розвитку економіки; випереджальна модернізація базової інфраструктури; підвищення якості та доступності послуг із передачі та технологічного приєднання, розвиток конкурентних ринків супутніх послуг (особистий кабінет, управління навантаженням тощо); стримування зростання тарифів.

Цифровізація енергетичних компаній. Цифрові технології пропонують широкі можливості для підвищення ефективності та управління складними енергетичними системами в усіх ланках ланцюга поставок, від планування інфраструктури, експлуатації та обслуговування через виробництво та передачу енергії до споживання енергії [10].

Цифровізація дає змогу компанії вийти на новий рівень технологічної ефективності та постає ключовим фактором підвищення надійності та якості електропостачання споживачів, а також сприяє розвитку нових сервісів. Базою для успішної цифрової трансформації є механізм формування «бізнес-архітектури», що сприяє комплексному аналізу впливу пропонованих змін всередині компанії. Бізнес-архітектура являє собою цілісне, багатовимірне уявлення про можливості, наскрізну доставку цінності, інформацію та організацію і взаємозв'язки між цими поглядами та стратегіями, продуктами, політиками, ініціативами, зацікавленими сторонами та показниками. Бізнес-архітектура забезпечує цінність як ефективну комунікаційну та аналітичну структуру для перетворення стратегії в практичні ініціативи. Ключові фактори, які сприяють розгортанню цифрових технологій в енергосистемах [10]:

- надання переваг для регуляторів в частині доступу до даних та аналітики в режимі реального часу для динамічного прийняття рішень, посилення залучення більшої кількості учасників та забезпечення прозорості прийняття рішень, належна компенсація за надання послуг операторам як цифрових, так і фізичних систем;

- підвищення продуктивності та зменшення споживання енергії;

- впровадження інфраструктури та стандартів задля забезпечення надійного зв'язку між елементами системи, розширена інфраструктура вимірювання; сумісність на основі гармонізованих стандартів і протоколів обміну даними;

- управління даними із забезпеченням їхньої кібербезпеки та конфіденційності.

Інтерес до цифрової трансформації енергетичних компаній має різні рушійні сили та різні тенденції розвитку в окремих країнах, оскільки енергетичні компанії стикаються з різними проблемами на регіональному рівні, такими як уповільнення зростання попиту на електроенергію, розширення застосування розосередженої генерації, погіршення роботи мережі, зміна попиту споживачів тощо.

Цифрові електричні мережі. Сучасна цифрова електрична мережа – це високоавтоматизована мережа, яка забезпечує спостережуваність і керованість завдяки цифровим системам зв'язку і обладнанню. Основними складовими такої мережі можна визначити:

- *інтелектуальні датчики* задля забезпечення обліку електроенергії (комерційного та технічного), систем контролю доступу; відеоспостереження; індикації пошкоджень в електричних мережах, пристроїв контролю напруги, збору та передачі даних від приладів обліку та пристроїв телеметрії;

– *інтелектуальні системи керування*: SCADA (система диспетчерського керування та збору даних); ADMS (системи керування розподілом електроенергії); CFMS (керування мережами в аварійному режимі); CRM (управління взаємовідносинами з клієнтами);

– *виконавчі органи*: автоматизована система керування технологічними процесами (АСК ТП), цифрові пристрої релейного захисту та автоматики (РЗА), допоміжні системи з автоматизацією, реклоузери тощо.

Цифрова мережа є єдиним цифровим середовищем технологічних даних, що забезпечує функції керування технологічним процесом розподілу електроенергії, включаючи вироблення оптимальних управлінських рішень на основі актуальних достовірних даних про стан обладнання.

Цифрова електрична мережа має забезпечувати такі функціональні особливості: аналіз топології та розрахунок усталеного режиму; автоматичний розрахунок показників надійності; виявлення дефектів у мережі; дистанційне керування оперативними перемикачами в нормальному та аварійному режимах, зокрема з диспетчерських центрів суб'єкта оперативно-диспетчерського керування щодо об'єктів диспетчеризації; автоматичне регулювання напруги відповідно до заданих суб'єктів оперативно-диспетчерського керування графіками; автоматизоване зниження та відновлення навантаження, зокрема за командами суб'єкта оперативно-диспетчерського керування; перерозподіл навантаження шляхом реконфігурації розподільної мережі; згладжування «піків» навантаження в мережі; керування усуненням несправностей; самодіагностика та самовідновлення після збоїв у роботі окремих елементів; керування розосередженою малою генерацією.

За результатами світового досвіду цифровізація електричних мереж може забезпечити: підвищення доступності технологічного приєднання – в 1,5 рази; зменшення операційних витрат – на 30 %; зменшення капітальних витрат – на 15 %; збільшення терміна служби активів – на 10 %; зменшення в середньому на 50 % показників SAIDI та SAIFI (ключові показники надійності електропостачання).

На сьогодні найбільший вплив на електроенергетичний сектор має автоматизація. Наведений нижче перелік цифрових технологій розміщено зі зниженням їхнього впливу на системи передачі та розподілу електроенергії: автоматизація та цифровий робочий процес (digital workflow); кібербезпека; розширена аналітика (наприклад, AI/машинне навчання); Інтернет речей (IoT); візуалізація даних; хмарні обчислення; дрони та БПЛА; розподілені обчислення; блокчейн; доповнена реальність (Augmented Reality, AR); віртуальна реальність (Virtual Reality, VR); кодування.

Цифрова трансформація передбачає побудову «розумної» електроенергетичної системи, що орієнтована на вирішення проблем оптимізації загальної ефективності та балансу низки взаємопов'язаних енергетичних технологій та процесів як електричних, так і неелектричних. Досягається завдяки динамічному управлінню попитом і пропозицією; посиленому моніторингу електричних, теплових і паливних складових; контролю та оптимізації обладнання, приладів та послуг; кращій інтеграції розосереджених джерел енергії, а також мінімізації витрат як для постачальників, так і для споживачів.

Складовою «розумної» електроенергетичної системи є побудова систем Microgrid, що представляють собою групу взаємопов'язаних навантажень та розосереджених енергетичних ресурсів у встановлених електричних межах, які діють як єдиний керований об'єкт мережі та можуть підключатися або відключатися від мережі задля забезпечення можливості роботи в острівному режимі.

Зв'язуючою ланкою між мережею вищого рівня та Microgrid є розподільна «розумна мережа», що автоматично відслідковує потоки енергії та відповідно адаптується до змін у попиті та пропозиції. У поєднанні з інтелектуальними системами вимірювання «розумні мережі» охоплюють споживачів і постачальників, надаючи інформацію про споживання в реальному часі. За допомогою розумних лічильників споживачі можуть адаптувати – у часі та обсязі – своє споживання енергії до різних цін на електричну енергію протягом доби.

Цифровізація енергетичних співтовариств та ринків електричної енергії. У Паке-ті чистої енергії ЄС, Розділ III Директиви про електроенергетику визначає рамки для місце-

вих енергетичних співтовариств (Local Energy Communities, LEC) та регіональних/відновлювальних енергетичних співтовариств (Regional / Renewable Energy Communities, RECs) [4]. Вони визначають LEC як організацію, яка відрізняється від традиційних підприємств електроенергетики, що працюють на ринку, на основі їхніх характеристик як цінності, а не прибутку, та яка ефективно контролюється місцевими громадами, місцевою владою або малими підприємствами.

До основних принципів цифрової трансформації на локальних ринках відносяться: забезпечення спостереження мережевих об'єктів та режимів їхньої роботи; автоматизація управління технологічними та корпоративними процесами; застосування принципів автоматизованого ризик-орієнтованого керування; побудова цифрової СІМ-моделі за єдиним галузевим стандартом та інформаційна взаємодія з усіма контрагентами (мережі, споживачі та інші суб'єкти електроенергетики).

Основними елементами цифрової трансформації локальної електроенергетичної системи є [11]: розумне реагування на попит; інтеграція змінних ВДЕ; впровадження розумної зарядки для електромобілів; поява дрібномасштабних розосереджених електричних ресурсів, таких як побутові сонячні фотоелектричні електростанції.

Пакет цифрових технологій для електромережевого комплексу дає змогу LEC працювати в мережі розподілу таким чином, щоб підтримувати роботу Операторів систем розподілу (ОСР), зі свого боку ОСР надає цей пакет потенційним агрегаторам або іншим LEC [4, 11].

Цифровізація ринку електричної енергії призводить до появи нових бізнес-моделей та форм участі на ринку [12]:

Оптовий / спотовий ринок: адаптивна до ціни зарядка та розрядка електромобілів (V2G), охолодження централізованого опалення, впровадження віртуальних електростанцій (VPP) для внутрішньодобового спотового ринку, VPP для балансування електроенергетичних систем.

Допоміжні послуги: управління перевантаженнями та допоміжні послуги з використанням електромобілів, VPP для балансування резервів (допоміжні послуги).

Управління перевантаженнями: промислове гібридне опалення, системи управління енергією в домашніх умовах, системи енергоменеджменту будівель (Building Energy Management Systems, BEMS) для комерційних будівель, оптимізація власного споживання за допомогою електромобілів, житлові теплові насоси, конкуренція ресурсів.

Цифровізація енергетики забезпечує такі ефекти для споживачів електроенергії [27, 28]:

- підвищення якості та доступності послуг із передачі електроенергії та технологічного приєднання;
- можливість участі в регулюванні власного споживання;
- додаткові послуги (особистий кабінет, управління навантаженням тощо);
- стримування темпів зростання цін та тарифів; створення умов появи нових споживчих сервісів.

Цифрова інфраструктура енергопостачальних компаній створює умови для нових споживчих сервісів:

- гібридні системи електропостачання споживачів;
- новий учасник ринку – просюмер: споживач, який споживає, виробляє та зберігає електроенергію;
- проактивні послуги для споживачів, мобільні програми;
- тарифне меню та технології «Інтернету речей» (цифрові датчики, сенсори та засоби комунікації);
- управління енергоефективністю, розумні будинки;
- спостереження споживачів за соціально-економічними даними, доступ до даних;
- використання розумних контрактів для розрахунків;
- аналітичні послуги для споживачів.

Нормативне забезпечення Smart Grid, як складова цифрової трансформації в Україні. Для забезпечення цифрової трансформації Міністерство енергетики України розро-

било «Концепцію впровадження “розумних мереж” в Україні до 2035 року», в якій розкрито поняття «розумних мереж», визначено загальні напрямки впровадження й використання технологій «розумних мереж» в енергетичному секторі України, встановлено пріоритети й основні механізми реалізації, а також етапи та коло ключових учасників впровадження технологій «розумних мереж» [13].

У цій Концепції зазначено, що платформа просування «розумних мереж» в Україні спирається на готовий набір технологій і заходів, передбачених у європейських та міжнародних стандартах, які визначають технологічні рішення реалізації для кожного компонента енергетичного сектора, а також містять готовий набір телекомунікаційних та інформаційних протоколів, що сприяють реалізації цих технологій.

Існуючий курс «Концепції впровадження “розумних мереж” в Україні до 2035 року», направлений на активний розвиток систем Smart Grid в енергетичній системі України, відповідає пріоритетним напрямкам розвитку енергетики в ЄС, а також задачам, які потребують розв’язку в процесі синхронної роботи ОЕС України та ENTSO-E.

Згідно з Концепцією в Україні процес розвитку необхідної нормативно-технічної бази має спиратися на такі основні принципи: застосування існуючого набору технологій і заходів, визначених Європейським комітетом з електротехнічної стандартизації (CENELEC) для кожного компонента енергетичного сектору; застосування наявного пакету міжнародних стандартів, включаючи телекомунікаційні та інформаційні протоколи, розроблені ІЕС, що сприяють реалізації технологій "розумних" мереж та ринків електричної енергії.

Забезпечення процесів цифрової трансформації в електроенергетичній галузі України зі свого боку потребує прийняття пріоритетних сучасних європейських та міжнародних стандартів у сфері впровадження технологій Smart Grid. До основних функціональних систем SmartGrid, які є найбільш актуальними для розвитку електроенергетичної системи України та потребують впровадження відповідних стандартів згідно з ІЕС TR 63097:2017, відносяться такі [14]:

- система управління генерацією (Generation Management System);
- гнучкі системи передачі змінного струму (FACTS for grids);
- система енергетичного менеджменту (Energy Management system);
- система запобігання системним аваріям в енергосистемі (Black out Prevention System);
- вдосконалена система управління розподілом (Advanced Distribution Management System);
- система автоматизації розподілу (Distribution Automation System);
- система автоматизації роботи підстанцій (Substation Automation System);
- система управління розосередженими енергетичними ресурсами (Distributed Energy Resources Operation System);
- удосконалена інфраструктура обліку енергії (Advanced Metering Infrastructure);
- система управління ринками (Market places system);
- реагування на попит / управління навантаженням (Demand Response/Load Management);
- система зберігання електричної енергії (Electrical Energy Storage System).

Впровадження стандартів із зазначених напрямків має враховувати нові міжнародні стандарти відповідної сфери застосування, що з’явилися після 2017 р., через що не були включені до стандарту ІЕС TR 63097:2017.

Висновки. За результатами аналізу стану справ щодо сучасних тенденцій цифрової трансформації в галузі енергетики показано, що її основними завданнями є поліпшення показників надійності та безперебійності електропостачання споживачів, випереджаючого розвитку мережевої інфраструктури, підвищення ефективності учасників ринку електричної енергії та послуг, розвиток ринку енергетичних послуг, підвищення доступності електромережевої інфраструктури, диверсифікація господарської діяльності завдяки додатковим сервісам, що є актуальними на сучасному етапі модернізації енергетики України. Головним ефектом цифровізації в енергетиці є зміна ланцюжків створення доданої вартості під час відпуску

електричної енергії або надання послуг на ринку завдяки використанню сучасних Smart Grid технологій та запровадженню нових бізнес-моделей на ринку електричної енергії чи послуг. Визначено, що забезпечення процесів цифрової трансформації в електроенергетичній галузі України потребує прийняття пріоритетних сучасних європейських та міжнародних стандартів у сфері впровадження технологій Smart Grid як технологічної складової цифрової трансформації енергетичної галузі. Визначено функціональні системи Smart Grid, які є найбільш актуальними для розвитку електроенергетичної системи України.

Фінансується за держбюджетною темою: *III-23-22 «Моделі та засоби запобігання погіршення якості електропостачання промислових споживачів» (шифр «Монітор-4»)*, (КПКВК 6541030).

1. Кириленко О.В. Заходи та засоби перетворення енергетики України на інтелектуальну екологічно безпечну систему. 2022. *Вісн. НАН України*. № 3. С. 18–23. DOI: <https://doi.org/10.15407/vsn2022.03.018>
2. Кириленко О.В., Жуйков В.Я., Денисюк С.П. Використання динамічної тарифікації для оптимізації техніко-економічних показників Microgrid на локальних ринках електроенергії. *Техн. електродинаміка*. 2022. № 3. С. 37–48.
3. ETIP SNET VISION 2050. Integrating Smart Networks for the Energy Transition: Serving Society and Protecting the Environment. European Commission. 2018. P. 52.
4. Digitalization of the energy system and customer participation: Description and recommendations of Technologies, Use Cases and Cybersecurity ETIP SNET Position Paper Summary. ETIP SNET. 2018. P. 21.
5. A European strategy for data. European Commission. 2020. P. 35.
6. Powering a climate-neutral economy: An EU Strategy for Energy System Integration. 2020. P. 22.
7. Action plan on the digitalisation of the energy sector – roadmap launched. URL: https://ec.europa.eu/info/news/action-plan-digitalisation-energy-sector-roadmap-launched-2021-jul-27_en
8. Кириленко О.В., Блінов І.В., Парус Є.В., Трач І.В. Оцінка ефективності використання систем накопичення електроенергії в електричних мережах. *Технічна електродинаміка*. 2021. № 4. С. 44–54. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2021.04.044>
9. Blinov I., Trach I., Parus Y., Khomenko V., Kuchansky V., Shkaruplyo V. Evaluation of The Efficiency of The Use of Electricity Storage Systems in The Balancing Group and The Small Distribution System. 2021 *IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2021. Pp. 262–265. DOI: <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek53812.2021.9569981>
10. A Brief Roadmap for Digital Transformation: Leveraging Business Architecture to Achieve Superb Results. <https://www2.deloitte.com/rs/en/pages/strategy-operations/articles/brief-roadmap-for-digital-transformation-leveraging-business-architecture-to-achieve-superb-results.html>
11. Digitalization & Energy. OECD/IEA, 2017. 188 p. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/b1e6600c-4e40-4d9c-809d-1d1724c763d5/DigitalizationandEnergy3.pdf>
12. Digitalisation of Energy Flexibility. EC. 2022. 265 p. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/c230dd32-a5a2-11ec-83e1-01aa75ed71a1/language-en>
13. Кириленко О.В., Блінов І.В., Зайцев Є.О., Палачов С.О., Васильченко В.І. Впровадження міжнародних та європейських стандартів для розвитку ОЕС України згідно з концепцією Smart Grid. *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. 2022. Вип. 63. С. 5–12. DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2022.63.005>
14. IEC/TR 63097:2017 Smart grid standardization roadmap. 2017. 315 p.

DIGITAL TRANSFORMATION OF THE ENERGY INDUSTRY: CURRENT TRENDS AND TASK

O.V. Kyrlyenko¹, S.P. Denysiuk², I.V. Blinov¹

1 – Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Beresteyskyi ave., 56, Kyiv, 03057, Ukraine

2 – National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Beresteyskyi ave., 37, Kyiv, 03056, Ukraine

e-mail: blinovigor81@gmail.com

The article presents the features of digital transformation and digitalization of energy as processes of transition to new business models in energy. This transition is due to the use of digital technologies and the provision of new opportunities to create additional value during the generation, transmission, distribution and use of electricity. The main directions of the formation of the European policy in the field of digitization and digital transformation are given. The goals of digital transformation in the energy industry are defined and an overview of the impact of digitalization on the development processes of electric networks, industry enterprises, and the electric energy market is given. The priority areas of regulatory support in the field of Smart Grid, as a component of the digital transformation of Ukraine's energy industry, have been determined. Bibl. 14.

Keywords: power system, digitalization, digital transformation, Smart Grid, standardization.

1. Kyrylenko O.V. Measures and ways of transforming Ukraine's energy sector into an intelligent environmentally friendly system. 2022. *Visnyk Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy*. No 3. Pp. 18–23. DOI: <https://doi.org/10.15407/visn2022.03.018>
2. Kyrylenko O.V., Zhuikov V.Ya., Denysiuk S.P. Use of dynamic tariffication for optimization Microgrid technical and economic indicators in local electricity markets. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2022. No 3. Pp. 37–48.
3. ETIP SNET VISION 2050. Integrating Smart Networks for the Energy Transition: Serving Society and Protecting the Environment. European Commission. 2018. P. 52.
4. Digitalization of the energy system and customer participation: Description and recommendations of Technologies, Use Cases and Cybersecurity ETIP SNET Position Paper Summary. ETIP SNET. 2018. P. 21.
5. A European strategy for data. European Commission. 2020. P. 35.
6. Powering a climate-neutral economy: An EU Strategy for Energy System Integration. 2020. P. 22.
7. Action plan on the digitalisation of the energy sector – roadmap launched. URL: https://ec.europa.eu/info/news/action-plan-digitalisation-energy-sector-roadmap-launched-2021-jul-27_en
8. Kyrylenko O.V., Blinov I.V., Parus E.V., Trach I.V. Evaluation of efficiency of use of energy storadge system in electric networks. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2021. No 4. Pp. 44–54. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2021.04.044>
9. Blinov I., Trach I., Parus Y., Khomenko V., Kuchanskyy V., Shkarupylo V. Evaluation of The Efficiency of The Use of Electricity Storage Systems in The Balancing Group and The Small Distribution System. 2021 *IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2021. Pp. 262–265. DOI: <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek53812.2021.9569981>
10. A Brief Roadmap for Digital Transformation: Leveraging Business Architecture to Achieve Superb Results. <https://www2.deloitte.com/rs/en/pages/strategy-operations/articles/brief-roadmap-for-digital-transformation-leveraging-business-architecture-to-achieve-superb-results.html>
11. Digitalization & Energy. OECD/ IEA, 2017. 188 p. URL: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/b1e6600c-4e40-4d9c-809d-1d1724c763d5/DigitalizationandEnergy3.pdf>
12. Digitalisation of Energy Flexibility. EC, 2022. 265 p. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/c230dd32-a5a2-11ec-83e1-01aa75ed71a1/language-en>
13. Kyrylenko O., Blinov I., Zaitsev Ie., Palachov S., Vasylenko V. International and European standards implementation for use Smart Grid concept in IPS of Ukraine. *Pratsi Istytutu Elektrodynamiky NAN Ukrainy*. 2022. No 63. Pp. 5–12. DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2022.63.005>
14. IEC/TR 63097:2017 Smart grid standardization roadmap. 2017. 315 p.

Надійшла: 31.05.2023

Прийнята: 15.06.2023

Submitted: 31.05.2023

Accepted: 15.06.2023