

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ КОМПЛЕКСНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ – ПІДСУМКИ XXV НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ 2024 р.

Отримано 09 жов. 2024 р.; рекомендовано до публікації 27 лист. 2024 р.
Доступно онлайн 11 груд. 2024 р.

Кармазін О. О.¹, Іванченко І. В.²

Автор для кореспонденції: Кармазін Олексій,
e-mail: alexey.karmazin@gmail.com

¹ канд. техн. наук
<http://orcid.org/0000-0002-7628-6880>

² інж. I к.
<http://orcid.org/0000-0002-5083-4180>

^{1, 2} Інститут відновлюваної енергетики НАН
України, м. Київ, Україна

Анотація. Учасниками XXV Міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті» розглянуто сучасні енергоефективні технології, методи й технічні рішення використання та перетворення різних видів відновлюваних джерел енергії. У статті представлено тези доповідей, присвячених дослідженням проблем та перспектив відновлюваної енергетики, зокрема комплексних енергетичних систем на основі використання відновлюваних джерел енергії. Було обговорено перспективи вітчизняної та європейської енергетичної політики, впровадження енергетичного менеджменту, нові моделі роботи енергосистем з високою часткою відновлюваної генерації, імітаційне моделювання поведінки комплексних енергосистем, сучасні технології виробництва та розподілу електричної енергії, комплексний підхід до балансування генерації та споживання електроенергії, відновлення та розвиток муніципальної інфраструктури, зокрема комунальної енергетики, в період воєнного та післявоєнного часу. Запропоновано перспективні напрями майбутніх наукових досліджень.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, комплексні енергетичні системи, локальні електроенергетичні системи, балансування, споживання електроенергії, математичне моделювання.

PROBLEMS AND PROSPECTS OF COMPLEX ENERGY SYSTEMS BASED ON THE USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES – RESULTS OF THE XXV SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE 2024

Received Oct. 09, 2024; accepted Nov. 27, 2024
Available online Dec. 11, 2024

Karmazin O.¹, Ivanchenko I.²

Author for correspondence: Karmazin Oleksii,
e-mail: alexey.karmazin@gmail.com

¹ Cand. of Tech. Science
<http://orcid.org/0000-0002-7628-6880>

² First category engineer
<http://orcid.org/0000-0002-5083-4180>

^{1, 2} Institute of Renewable Energy of the NAS of
Ukraine, Kyiv, Ukraine

Abstract. *The participants of the XXV International Scientific and Practical Conference "Renewable energy and energy efficiency in the 21st century" reviewed modern energy-efficient technologies, methods and technical solutions for the use and transformation of various types of renewable energy sources. The article presents reports dedicated to researching the problems and prospects of renewable energy, in particular complex energy systems based on the use of renewable energy sources. Perspectives of European and domestic energy policies, the implementation of energy management, new models for energy systems with a high share of renewable generation, simulation modeling of the behavior of complex energy systems, modern technologies for the production and distribution of electricity, a comprehensive approach to balancing electricity generation and consumption, and the restoration and development of municipal infrastructure, including utility energy systems, during and post-war periods were discussed. Promising directions for future scientific research were proposed.*

Keywords: renewable energy sources, complex energy systems, local electric power systems, balancing, electricity consumption, mathematical modelling.

Вступ. XXV Міжнародна науково-практична конференція «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті» [1] проходила 22–24 травня 2024 року в Києві в Інституті відновлюваної енергетики Національної академії наук України за підтримки Національної академії наук України, низки наукових та освітніх закладів, громадських організацій. Конференція надала платформу для науковців, щоб обмінятися знаннями та отримати уявлення про сучасні технології, методи та технічні рішення у відновлюваній енергетиці. Учасники представляли широкий спектр зацікавлених сторін, від дослідницьких, освітніх і академічних кіл до державних організацій.

На обговорення були представлені результати наукових досліджень у сфері використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), комплексних енергетичних систем на основі ВДЕ, сонячної, вітро- та геотермальної енергетики, біо- та гідроенергетичних ресурсів, водневої енергетики в синергії з заходами з енергозбереження та енергоефективності. Розглядалися вирішення актуальних проблем екологічно чистого, надійного й енергоефективного забезпечення електричною та тепловою енергією споживачів через створення енергосистем, що базуються на використанні нових матеріалів, технологій і сучасних технічних рішень перетворення різних видів ВДЕ в різних країнах.

В умовах збройної агресії проти України, скорочення робочої потужності об'єктів генерації та істотних руйнувань електромережевої інфраструктури через масовані обстріли, розглянуто задачі відновлення, реконструкції й розвитку енергетики у воєнний та післявоєнний періоди.

Підкреслено важливість розроблення законодавчих актів і державних стратегій за всіма напрямками розвитку енергетики, зокрема відновлюваної та водневої енергетики й енергоефективності.

Завданням цієї статті є огляд тез, присвячених дослідженням можливих сценаріїв розвитку ВДЕ з урахуванням вимог до енергетичного переходу на безвуглецевій основі, комплексних енергетичних систем на основі використання ВДЕ.

Як **результат** представлено тези, в яких досліджено тренди європейської та вітчизняної енергетичної політики, інновації та наукові досягнення у сфері комплексних енергосистем й енергоефективності.

Законодавчі пропозиції ЄС спрямовані на досягнення цілей Паризької угоди щодо зміни клімату та скорочення викидів парникових газів щонайменше на 55 % до 2030 року порівняно з рівнем 1990 року. В прийнятому пакеті законодавчих пропозицій, відомому під назвою «Fit for 55», запропоновано перегляд Директиви RED II та прийняття в подальшому нової директиви RED III, яка має визначати міжгалузеві цілі та заходи, спрямовані на ефективне використання потенціалу економічно ефективних відновлюваних джерел енергії в усіх секторах енергетичної системи. Передбачено вищі цільові показники у секторах електроенергетики, будівництва й транспорту, а також у промисловості та для вискоелективного централізованого опалення й охолодження. Європейська Комісія (ЄК) представила стратегію REPowerEU як відпо-

відь на проблеми та виклики, що виникли на світовому енергетичному ринку через повномасштабне вторгнення росії в Україну. ЄК пропонує збільшити цільовий показник енергоефективності від 9 до 13 % в межах пакета європейського законодавства «Fit for 55». Комісія висуває пропозицію збільшити цільовий показник відновлюваних джерел енергії до 45 % (попередній показник 32 %) загального обсягу до 2030 року в межах пакета. Встановлення цієї загальної та амбітної цілі є основою для реалізації інших ініціатив [2], зокрема запровадження правового зобов'язання встановлювати сонячні панелі на нових громадських та комерційних будівлях і на нових житлових будинках, подвоєння швидкості запровадження теплових насосів і заходів з інтеграції геотермальної та сонячної теплової енергії в модернізовані системи централізованого і комунального опалення, державами-членами мають бути запроваджені спеціальні зони для відновлюваних джерел енергії зі скороченням та спрощенням дозвільних процесів. Встановлення цілі в 10 млн тонн виробництва відновлюваного водню всередині ЄС і 10 млн тонн імпорту до 2030 року.

Щодо перспектив вітчизняного розвитку енергетики, то Україна має офіційний документ – нову Енергетичну стратегію України на період до 2050 року, який підтверджує перспективні плани щодо трансформації власного енергетичного сектору завдяки розвитку відновлюваної та вуглецевонейтральної генерації [3]. А саме: збільшення потужності вітрової, сонячної генерації, накопичувачів енергії, атомної генерації, ТЕЦ та біоенергетичних потужностей, гідрогенерації. При цьому основні сподівання – на приватні іноземні та українські інвестиції. Ефективне впровадження ВДЕ в Україні потребує комплексного підходу, який передбачає інформаційну роботу з громадськістю, фінансові заохочення та створення сприятливого середовища для розвитку альтернативних джерел енергії. Як зазначено в [4], більшість громадян недостатньо поінформовані та свідомі щодо переваг і важливості цього процесу, не готові фінансувати цей перехід з власних коштів: 48 % респондентів не готові до жодних додаткових витрат або дій; 40,4 % громадян готові скоротити власне споживання електроенергії; 5,8 % опитаних готові погодитися зі збільшенням податків; 4,9 % готові погодитися із зростанням цін на електроенергію.

У сьогоденні реаліях енергетична галузь України перебуває в кризових умовах через російську агресію, такий стан енергетичного сектору вимагає від підприємств переглянути свій підхід до енергозбереження. Важливим етапом процесу енергозбереження є впровадження енергетичного менеджменту, ключовим напрямом якого є розробка енергетичної стратегії. Енергетична стратегія спрямована на коригування паливного балансу підприємства, ефективне використання енергетичних ресурсів з метою зниження собівартості виробленого товару, підвищення конкурентоспроможності [5]. Енергоменеджмент – це інструмент управління енергозбереженням на підприємстві, що дає змогу узгодити його з комплексною стратегією, яка враховує екологічні проблеми та оперативно реагує на появу нових технологій. Побудова ефективної енергетичної стратегії необхідна насамперед для адаптації до важких економічних, політичних умов та

гнучкості бізнесу, для подолання ризиків. У [6] пропонується адаптувати ідеї Е. Вінстона, Д. Фавалоро та Т. Хілі щодо інтеграції енергетичних стратегій до конкретного економічного, регуляторного та геополітичного контексту України. Запропоновано комплексну модель інтеграції енергетичної стратегії, що базується на ретельній енергетичній оцінці, оптимізації діяльності, динамічному плануванні дій, винагороді співробітників, орієнтованій на сталий розвиток та координацію енергоефективності. Що ж до залучення відновлюваних джерел енергії до енергетичної стратегії підприємства, то українським підприємствам варто використовувати сучасні інформаційні технології, керуватися тенденціями та розвитком альтернативних джерел на нашому ринку й долучати їх до своїх енергетичних стратегій. Сучасний енергоменеджмент потребує розробки методів та алгоритмів оптимізації розвитку електричних мереж енергосистем з відновлюваними джерелами енергії з урахуванням технічних і ресурсних обмежень. Запропонований в [7] алгоритм оптимізації розвитку електричної мережі методом гілок і границь забезпечує ефективне вирішення поставленого завдання. Ефективне управління потребує і використання енергетичного аудиту. Сучасна лабораторія енергетичного аудиту з метою розроблення заходів з енергозбереження створена викладачами Київського політехнічного інституту ім. Ігоря Сікорського і представлена у [8].

Значна увага учасників конференції була присвячена розробці нових моделей роботи енергосистеми та імітаційному моделюванню поведінки комплексних енергосистем на основі використання ВДЕ. Передусім, це локальні електроенергетичні системи (ЛЕС) з використанням комплексних джерел енергії. ЛЕС забезпечують автономність, сприяють децентралізації виробництва енергії, забезпечують гнучкість, підвищують надійність постачання електроенергії, роблять внесок у зниження вуглецевого викиду [9]. Дослідження показують необхідність розробки робочих резервів, підтримки критичних навантажень у кризових ситуаціях, а також стратегій управління для забезпечення стабільної роботи в ізолюваному режимі. Локальні електроенергетичні системи на основі ВДЕ мають зберігати працездатність і забезпечити електропостачання споживачів в автономному режимі в разі виникнення екстремальних станів і втрати живлення від електроенергетичної системи (ЕЕС). Джерелами електроенергії в ЛЕС можуть бути комплексні джерела енергії: малі гідроелектростанції (МГЕС), фотоелектричні та вітрові електростанції (ФЕС, ВЕС), когенераційні установки на біогазі та водні. У структурі ЛЕС з ВДЕ передбачається система зберігання енергії, запаси якої достатні для компенсації нестабільності генерування та балансування режиму. В ЛЕС використовуються як резерв існуючі в ЕЕС маневрені потужності, електрохімічні накопичувачі, водневі технології та біогазові установки. Застосовується також спосіб узгодження в ЛЕС графіків генерування і споживання електроенергії за рахунок активних споживачів. Отже, ЛЕС є складним електроенергетичним об'єктом, який вимагає інтелектуальної системи (ІС) керування на основі сучасного апаратного і програмного забезпечення [10]. Ключовою характеристикою ІС є самовідновлення, що визначає здатність систем розподілу електроенергії автоматично

відновлюватися після збоїв. Це зводить до мінімуму наслідки екстремальних подій і автоматично відновлює навантаження під час таких інцидентів. Запропоноване у [10] відновлення здійснюється за допомогою методу реконфігурації мережі, оснований на теорії графів, з мінімальною кількістю операцій переключення. Самовідновлення нормального режиму електропостачання споживачів ЛЕС є дієвим для підвищення надійності, ефективності та відмовостійкості. Функція відновлення досягається за допомогою зміни конфігурації електричної мережі, узгодження графіків генерування і споживання електроенергії, раціонального використання джерел енергії і системи збереження енергії. В ЕЕС ускладнилось підтримування балансу потужності, коли в ній суттєво виросла частка ВДЕ. Зокрема з розбудовою фотоелектричних і вітрових електростанцій, які через свою природну залежність від погодних умов не є гарантованим постачальником електроенергії. Констатуючи той факт, що наявність в електричних мережах ВДЕ ускладнює балансування режиму в ЕЕС, у [11] пропонується формувати ЛЕС на основі ВДЕ таким чином, щоб вони були балансувальними групами в складі ЕЕС. У роботі наведено склад ЛЕС, яка може бути окремою балансувальною групою в складі ЕЕС. За певних умов, під час втрати зв'язків з ЕЕС, вона може функціонувати в автономному режимі. Набуває актуальності дослідження режимів роботи локалізованої ВДЕ-системи електропостачання з загальною (об'єднаною) мережею та ізолювано від неї. Пропонується моделювання переходу до острівного режиму (островкування) систем зі спільним використанням вірової і сонячної генерації, загальної електромережі, установок зберігання енергії для електропостачання споживачів з особливими вимогами, якот: інформаційно-телекомунікаційні центри, центри обробки даних, центри обміну інтернет-трафіку, виробництво зеленого водню – та інших споживачів з постійним та/або регульованим добовим графіком споживання та/або критичною вимогою до якості електропостачання. Моделювання режиму островкування дозволяє підвищити енергоефективність використання ВДЕ та забезпечити побудову оптимальних за складом або характеристиками (та/або з урахуванням множинних факторів оптимізації) локалізованих мереж [12]. Використання науково обґрунтованих нових можливостей, зокрема на базі штучного інтелекту, сформує вимоги до правил проектування та побудови оптимізованих енергомереж з урахуванням розділення мереж та переходом до острівних режимів, які в умовах розподіленої генерації ВДЕ створюють нові перетини (острови) в об'єднаній мережі. У [13] досліджено системи комбінованого енергозабезпечення територіальних громад в умовах «зеленого» переходу. Запропоновано нові структурні моделі формування локальних мікроенергетичних систем з власним енерговиробництвом за принципом ресурсно-процесної оптимізації.

Через постійно зростаючий рівень споживання електричної енергії в усьому світі відбуваються помітні зміни щодо технологій виробництва та розподілу електричної енергії. Значна частина матеріалів конференції присвячена тенденціям розвитку розподіленої генерації (РГ). Цьому питанню була приділена увага науковців як академічних кіл,

так і закладів освіти. Для забезпечення зростання потужності систем з РГ та підвищення їх конкурентоздатності на енергетичних ринках, багато дослідників схилиються до використання віртуальних електростанцій. Ця ідея полягає в об'єднанні різних за характером систем РГ невеликої потужності в один віртуальний генератор, який здатний забезпечити ефективний режим експлуатації та керування [14]. Такі системи можуть бути використані для об'єднання розрізнених енергоресурсів, як-от тепло-електроцентралі, вітро- або сонячні електростанції, біогазові установки тощо. Поєднання різних за характером систем РГ дозволяє побудувати ефективну модель для торгівлі електричною енергією. Віртуальні електростанції можуть працювати в режимі реального часу, використовуючи технологію Smart Grid, забезпечуючи в такий спосіб всі переваги інфраструктури двостороннього зв'язку. Концепція віртуальних електростанцій розроблена для того, щоб підвищити роль системних операторів у регулюванні загальної потужності через створення відповідної точки з'єднання між компонентами енергосистеми. З огляду на труднощі, пов'язані з інтеграцією ВДЕ до енергосистеми, представлена концепція дозволяє уникнути проблем зі стабільністю і надійністю системи, а також сприяти одержанню інших техніко-економічних переваг. Крім того, поєднуються більшість компонентів енергосистем, до яких можна віднести розподілену генерацію, активних споживачів, операторів системи передачі та системи розподілу, мережеві послуги: контроль реактивної потужності та усунення аварій, а також використання таких новітніх технологій, як комунікація, управління та оптимізація. Особлива увага була приділена інноваційним технологіям моніторингу, керування та оптимізації електричних мереж. Для сучасних розподільних електричних мереж (РЕМ) характерне постійне підвищення їх складності, зростання кількості й потужності джерел розподіленої генерації. В цих умовах локальні автоматичні регулятори напруги і реактивної потужності не можуть забезпечити ефективне управління режимами РЕМ. Динамічне змінення режимів РЕМ, пов'язане зі зміною генерації сонячними й вітровими електростанціями через зміну рівня інсоляції або швидкості вітру; виведення в аварійний ремонт електротехнічного обладнання, спричинене, зокрема, руйнацією енергетичної інфраструктури через агресію рф та іншими факторами, потребує застосування централізованих методів керування [15]. Основою для реалізації централізованого керування можуть слугувати програмні комплекси SCADA. На основі телевимірювань та телесигналізації, що надсилаються у комплекс, уточнюється поточний стан РЕМ, здійснюється аналіз поточного режиму та його оптимізація. За результатами оптимізації визначаються впливи на засоби регулювання та передаються відповідні сигнали телекерування. На створення системи моніторингу розподільних електричних мереж з використанням мікро-PMU спрямовані дослідження на пілотному майданчику кампусу КПІ ім. Ігоря Сікорського і в інших місцях у співпраці з операторами розподільних мереж, що дозволить вивчити вплив розташування мікро-PMU в різних розподільних мережах. Запропоновано використання даних, отриманих від мікро-PMU для підвищення ефективності роботи мережі [16]. Аналізу особливостей функціонування

розподільних мереж з ВДЕ, серед яких основними є зміна напрямку перетікання потужності, збільшення струмів короткого замикання, ускладнення регулювання напруги, зменшення сумарної інерції енергосистеми, присвячена робота представників Київського політехнічного інституту ім. Ігоря Сікорського [17]. Показано, що одним з напрямів підвищення ефективності роботи є використання накопичувачів енергії. Порівняння основних видів накопичувачів енергії показало, що за техніко-економічними показниками конкурентоспроможними є повітряні накопичувачі енергії, які було використано для підвищення ефективності роботи РЕМ з ВДЕ. Запропоновано конструкцію пневмоелектростанції з використанням енергії вітру, проведено дослідження характеристик та розробку алгоритма керування. Розглянуто також створення безпечних цифрових систем передачі електроенергії з використанням комунікаційних мереж на основі пакетної її передачі Packet Energy Transfer (PET) [18], розробки відмовостійких засобів формування сигналів синхронізації часу (ССЧ), питання захисту від прямого удару блискавки, які залишаються актуальною задачею для повітряних ліній електропередачі, трансформаторних підстанцій, систем дистанційного керування та моніторингу, а також для інших ключових компонентів Smart Grid. У [19] наведено результати розробки відмовостійких засобів багатоканального моніторингу синхросигналів, об'єднаних в комп'ютерно-інтегровану інтелектуальну систему, що підвищує надійність формування ССЧ та забезпечує енергоефективність розумних мереж як в штатних, так і в надзвичайних ситуаціях. Комп'ютерно-інтегрована інтелектуальна система також може забезпечити синхросигналами, які відповідають вимогам підвищеної інформаційної безпеки, державні структури, а саме Збройні сили України, метрологічні служби та інші галузі економіки. Мережі також вимагають високого рівня захисту від різних видів загроз, зокрема блискавки. Авторами [20] проведено аналіз ефективності блискавкозахисту повітряних ліній електропередачі. Показано, що навіть за наявності екранувальних (грозозахисних) тросів залишається ризик прямого удару блискавки у фазні провідники повітряних ліній електропередачі. Дано рекомендації щодо додаткових методів посилення блискавкозахисту елементів РЕМ.

В умовах руйнування централізованої генерації та магістральних мереж для забезпечення стабільності енергопостачання дієвим є комплексний підхід до балансування генерації та споживання електроенергії. Сьогодні багато країн використовують технологію електролізу як для балансування мережі, так і для збільшення використання ВДЕ. Наявні дослідження адаптовано до місцевих умов, щоб сформувати оптимальну модель водневої енергосистеми, інтегрованої з фотоелектричною та вітровою, і допоміжним зберіганням енергії звичайними акумуляторними батареями, що забезпечує високу надійність та ефективність. Можливості аналогічної системи для південних регіонів України досліджено у [21]. Система складається з фотоелектричної та вітрової станції, акумуляторної батареї, резервного генератора, електролізера, набору паливних елементів, системи накопичення водню для зберігання та подальшого використання. За результатами імітаційного моделювання підібрано комбінацію

параметрів, яка забезпечує позитивний сукупний баланс по запасах водню, без втрати можливості до балансування потужностей, аж до повної річної збалансованості з мінімальними втратами енергії. З огляду на непостійний характер ВДЕ потрібно розробляти й впроваджувати нові технологічні рішення для подолання проблем недостатньої потужності чи надлишкового виробництва енергії, що перевищує споживання або пропускну спроможність мережі. Авторами [22] пропонується використання технології Power-to-Heat (PtH), яка видається обнадійливим рішенням, здатним адаптуватися до потреб, що враховують специфіку української енергетики. PtH дозволяє перетворювати надлишкову електроенергію з ВДЕ на теплову енергію, яку можна ефективно використовувати для потреб опалення та гарячого водопостачання, зокрема в житловому секторі та промисловості. Такий підхід забезпечить стабільність і надійність енергосистеми, зменшить втрати електроенергії та сприятиме подальшій декарбонізації сектору теплопостачання. Важливе значення для досягнення цілей «зеленого» переходу України має врахування чинників, що впливають на споживання енергії, в моделі прогнозування попиту на електроенергію [23]. Створенню математичної моделі для визначення основних параметрів системи гібридного живлення для безперебійного постачання електроенергії споживачу присвячена робота [24]. Створений програмний алгоритм дозволяє обраховувати параметри водневої системи під час роботи з джерелами ВДЕ та підібрати відповідне обладнання. Мають розроблятися та використовуватися методи для аналізу та порівняння продуктивності різних джерел енергії при паралельному використанні, оцінювання частки електроспоживання від ВДЕ. Запропонований у [25] метод визначає частку електроенергії споживачів, яку вони гарантовано отримують від ВДЕ. В основу методу покладено математичну модель для визначення складових перетікань електроенергії у вітках схеми електричної мережі, в якій використовуються коефіцієнти розподілу струмів у вітках схеми від вузлів з ВДЕ та вузлові напруги. Цей метод може бути інструментом підтвердження гарантій походження енергії, що споживається та реалізується на роздрібному ринку. Оскільки ВДЕ для передавання генерованої ними електроенергії використовують електричні мережі загального призначення, то визначення їх частки потужності в перетоках до споживачів дозволяє враховувати вплив ВДЕ на параметри їх режиму і може використовуватися також під час оперативного планування балансу електроенергії.

Відновлення та розвиток муніципальної інфраструктури, зокрема комунальної енергетики, в період воєнного та післявоєнного часу потребує аналізу стійкості інфраструктури в екстремальних умовах, з урахуванням пошкодження і руйнування будівель, викликів та ризиків, породжених війною. Важливо оцінити можливості й технології енергопостачання в комунальній енергетиці, що є основним споживачем первинного енергоресурсу, для забезпечення надійного енергопостачання житлових та громадських будівель і споруд. У [26] представлено широкий комплекс робіт ІТТФ НАН України з нового наукового напрямку – фундаментальної теплофізичної інженерії будівель і споруд, включно з науковим наповненням та інноваційним забезпеченням заходів з

відновлення та довгострокової стратегії термомодернізації житлових та громадських будівель. Через скорочення виробітку електричної енергії в об'єднаній енергосистемі України для забезпечення балансу електричної потужності в певні періоди диспетчери змушені застосовувати обмеження щодо споживання електричної енергії для споживачів. Для уникнення гуманітарної кризи на об'єктах критичної інфраструктури було встановлено дизельні електрогенератори. Однак їх застосування має певну специфіку, пов'язану з їх експлуатацією та зберіганням пального. Тому більшість підприємств як альтернативу розглядають сонячні електростанції (СЕС). Відсутність паливної складової, викидів та шуму під час роботи, низькі експлуатаційні витрати й висока надійність роблять ці системи досить привабливими навіть з огляду на високі первинні капітальні вкладення та непостійність генерації в часі. Для визначення можливості використання сонячної енергії як основного джерела електричної енергії для насосних станцій у [27] було змодельовано сумісну роботу насосів і СЕС впродовж одного року та виконано економічну оцінку ефективності таких рішень. Використання погодинного моделювання генерації СЕС та роботи насосних агрегатів дозволило оцінити можливі небаланси між споживанням та генерацією електричної енергії, а також вплив акумуляторної батареї на величину цих небалансів. Слід зауважити, що подібні проекти мають соціальне значення, оскільки покращують забезпеченість населення питною водою в умовах воєнного стану. Тому показники економічної оцінки не можуть мати вирішальне значення для прийняття рішення щодо доцільності їх реалізації. Перспективним також є використання в Україні теплових насосів [28]. Фахівці Інституту транспортних систем і технологій НАН України представили на обговорення власний досвід розробки і застосування теплових насосів у різних технічних системах [29], зокрема на промислових підприємствах (у складі енергопарків), у невеликих житлових будинках та котеджах, і навіть – «розумних» теплових насосів. Перспективні напрями післявоєнного розвитку енергетичної інфраструктури України розглянуто у [30]. Обґрунтовано недоцільність відновлення вугільних та ядерних енергетичних потужностей, натомість пропонується розбудова потужностей вітрової та сонячної енергетики. Найприйнятнішим, на думку авторів, для розвитку післявоєнної енергетики в Україні був би розвиток вітрової (на шельфі біля берегів Одеської, Миколаївської та Херсонської областей) і сонячної (на горбкуватих землях, що мало придатні для сільського господарства) енергетики з одночасним будівництвом потрібної кількості накопичувачів енергії, а також морських вітрових установок з розміщенням серед них плавучих сонячних електростанцій. Взаємодоповнюваність енергетичних установок розташованих поруч морської сонячної та вітрової електростанції дозволяє енергетичному комплексу ефективніше використовувати кабельне з'єднання, знижуючи цим потребу в інвестиціях у розширення енергетичної системи – оптимальне рішення для шельфу Чорного моря біля берегів трьох південних областей України.

Висновки. Швидкий розвиток технологій розширює можливості розумної інфраструктури, а декарбонізація,

цифровізація та децентралізація стають основними рушійними силами змін. За результатами обговорення, учасниками конференції було визначено основні напрями подальших досліджень, зокрема комплексних енергетичних систем на основі використання ВДЕ:

- розвиток локальних електроенергетичних систем на основі ВДЕ з інтелектуальною системою керування і самовідновлення, формування ЛЕС на основі ВДЕ таким чином, щоб вони були балансувальними групами в складі ЕЕС;
- впровадження систем зберігання енергії на основі моделювання управління попитом для підвищення надійності, створення безперервних джерел живлення та нових систем регулювання потужностей;
- вдосконалення методів аналізу надійності енергопостачання, оптимізація графіків генерації та економічного розподілу ресурсів для зменшення витрат споживачів;
- збереження інвестиційної привабливості та своєчасне оновлення регуляторної бази.

Для максимального використання запропонованих розробок та методів щодо комплексних енергетичних систем на основі використання ВДЕ в Україні необхідно впровадження нормативно-правової бази для підтримки інтеграції ВДЕ в енергетичну систему, залучення інвестицій у відповідну інфраструктуру, а також проведення досліджень та експериментів для адаптації до місцевих умов сучасних технологій комплексного використання різноманітних джерел енергії, передача досвіду за такого ж заходу, як XXV Міжнародна науково-практична конференція. Важливим аспектом є також розробка механізмів стимулювання застосування комплексних джерел енергії у приватному секторі, зокрема через субсидії, податкові пільги або інші фінансові інструменти, які могли б заохочувати власників житлових та комерційних будівель до інвестування в ці технології. Адаптація та інтеграція комплексних енергосистем на основі використання ВДЕ в енергетичну інфраструктуру України відкриває нові перспективи для забезпечення енергетичної безпеки, економічного розвитку та прогресу в досягненні цілей сталого розвитку, водночас роблячи внесок у глобальні зусилля з декарбонізації та боротьби зі зміною клімату.

ПОСИЛАННЯ¹

1. Матеріали XXV Міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті». Україна. Київ. 22–24 травня 2024 року. DOI: <https://doi.org/10.36296/renewable.conf.22-24.05.2024>
2. Гавриленко Я. В., Дерій В. О. Державне стимулювання відновлюваної енергетики. С. 76–77.
3. Вільчинська Д. В. Стан енергосистеми України сьогодні. Перспективи та проблеми. С. 143–144.
4. Білик І. А. Сприйняття переходу до відновлюваних джерел енергії в Україні: проблеми та перспективи. С. 152–153.
5. Пуцентейло П. Р. Впровадження енергетичного менеджменту на підприємстві як необхідна умова його енергоефективності та конкурентоспроможності. С. 168–170.
6. Єпіфанова І. Ю., Ганчук М. Д. Обґрунтування необхідності інтеграції та адаптації енергетичних стратегій до українського бізнесу в умовах енергетичної кризи. С. 181–183.
7. Баженов В. А. Використання методу гілок і границь для оптимізації розвитку електричних мереж сучасних енергосистем з відновлюваними джерелами енергії. С. 174–176.
8. Прокопенко В. В., Закладний О. О. Створення сучасної лабораторії енергетичного аудиту. С. 193–194.
9. Костенко Г. П., Запорожець А. О., Запорожець Н. В. Підходи до оцінки впливу розподіленої відновлюваної генерації на резильєнтність енергосистеми. С. 69–70.
10. Лежнюк П. Д., Ковальчук О. О., Нікіторович Є. О. Самовідновлення електропостачання в локальній електроенергетичній системі з відновлюваними джерелами електроенергії. С. 57–59.
11. Лежнюк П. Д., Лиса Т. О. Локальні електроенергетичні системи на основі відновлюваних джерел енергії. С. 177–178.
12. Хомутов С. В. Моделювання острівного режиму роботи гібридної енергосистеми. С. 91–93.
13. Каплун В. В. Ресурсно-процесна модель комбінованого енергозабезпечення територіальних громад в умовах «зеленого» переходу. С. 46–48.
14. Терзієв В. С. Ефективне використання віртуальних електричних станцій. С. 145–146.
15. Слюсар Є. В., Шполянський О. Г. Регулювання напруги і реактивної потужності в розподільній мережі. С. 121–123.
16. Яндульський О. С., Нестерко А. Б., Тимохін О. В., Тимохіна А. О. Моніторинг розподільних електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії на основі мікро-рми. С. 63–64.
17. Яндульський О. С., Троценко Є. О., Касіч М. Ю. Пневмоелектростанція на основі відновлюваних джерел енергії. С. 49–50.
18. Дубовик В. Г., Буштрук Є. В., Самчинська К. П., Штангеєва К. А. Цифровий протокол передачі електричної енергії. С. 124–126.
19. Самков О. В., Коваль В. В., Осінський О. Л., Піскун О. М., Самков Б. О., Рябчук Ю. В. Відмовостійкі засоби формування сигналів синхронізації часу розумних мереж. С. 38–39.
20. Троценко Є. О., Архипов Я. А. Розумні мережі та захист повітряних ліній електропередачі від блискавки. С. 139–140.
21. Кузнєцов М. П. Комбіновані енергосистеми з використанням зеленого водню. С. 28–30.
22. Згуровець О. В., Дерій В. О., Нечаєва Т. П. Використання технології Power-to-Heat в Україні: шлях до

¹ Посилання під номером 2 і подальшими номерами стосуються збірника тез [1]).

- сталого розвитку, енергетичної безпеки та декарбонізації. С. 51–52.
23. Судариков О. А. Фактори, що впливають на споживання електроенергії при запровадженні концепції «зеленого» переходу. С. 108–109.
 24. Гребенюк М. О. Математична модель для фотоелектрично-водневої електростанції. С. 136–137.
 25. Гунько І. О., Лежнюк П. Д. Математична модель визначення походження електроенергії споживача від ВДЕ в електроенергетичній системі. С. 97–99.
 26. Басок Б. І., Базєєв Є. Т. Відновлення, реконструкція та розвиток комунальної енергетики у воєнний та післявоєнний періоди. С. 31–32.
 27. Кармазін О. О., Петренко К. В., Іванченко І. В. Використання енергії сонця для забезпечення електричною енергією насосних станцій. С. 60–62.
 28. Білик І. А. Сприйняття переходу до відновлюваних джерел енергії в Україні: проблеми та перспективи. С. 152–153.
 29. Скосар В. Ю., Галушко А. Г., Редчиць Д. О., Бурилов С. В., Дзензерський В. О. Деякі перспективи розвитку і використання теплових насосів. С. 113–115.
 30. Каян В. П., Лебідь О. Г. Перспективні напрями післявоєнного розвитку енергетичної інфраструктури України. С. 94–96.
 12. S. V. Khomutov. Modeling of the island mode of a hybrid renewable energy system. P. 91–93.
 13. V. V. Kaplun. Resource-process model of combined energy supply of territorial communities under the conditions of the «green» transition. P. 46–48.
 14. V. Terziiev. Effective using of virtual power plants. P. 145–146.
 15. Y. V. Sliusar, O. G. Shpolianskyi. Voltage and reactive power regulation in the distribution network. P. 121–123.
 16. O. Yandulskyi, A. Nesterko, O. Tymokhin, A. Tymokhina. Micro pmu based monitoring system for distribution electric networks with renewable energy sources. P. 63–64.
 17. O. Yandulskyi, Y. Trotsenko, M. Kasich. Pneumatic power plant based on renewable energy sources. P. 49–50.
 18. V. Dubovyk, Y. Bushtruk, K. Samchynska, K. Shtanheieva. Digital power transmission protocol. P. 124–126.
 19. O. V. Samkov, V. V. Koval, O. L. Osinskiy, O. M. Piskun, B. O. Samkov, Y. V. Riabchuk. Resilient means for generating time synchronization signals of smart grids with increased energy efficiency. P. 38–39.
 20. Y. Trotsenko, Y. Arkhypov. Smart grids and lightning protection of overhead power lines. P. 139–140.
 21. M. Kuznietsov. Hybrid energy systems using "green" hydrogen. P. 28–30.
 22. O. Zgurovets, V. Derii, T. Nechaieva. The use of Power-to-Heat technology in Ukraine: a path to sustainable development, energy security and decarbonization. P. 51–52.
 23. O. Sudarykov. Factors affecting electricity consumption when implementing the "green transition" concept. P. 108–109.
 24. M. O. Hrebeniuk. Mathematical model for photoelectric – hydrogen power plant. P. 136–137.
 25. I. O. Hunko, P. D. Lezhniuk. The mathematical model for determining the origin of consumer electricity from renewable energy sources in the power system. P. 97–99.
 26. B. Basok, Y. Bazeev. Restoration, reconstruction and development of municipal energy in the war and post-war periods. P. 31–32.
 27. O. Karmazin, K. Petrenko, I. Ivanchenko. Using the sun's energy to provide pumping stations with electrical energy. P. 60–62.
 28. I. Bilyk. Perception of the transition to renewable energy sources in Ukraine: problems and prospects. P. 152–153.
 29. V. Yu. Skosar, A. G. Galushko, D. O. Redchyts, S. V. Burylov, V. O. Dzenzerskyi. Some perspectives of the development and use of heat pumps. P. 113–115.
 30. V. Kayan, O. Lebid. Prospective directions of the post-war development of the energy infrastructure of Ukraine. P. 94–96.

REFERENCES (by [1]).

1. Materials of the XXV international scientific and practical conference "Renewable energy and energy efficiency in the XXI century". May 22–24, 2024, Kyiv. DOI: <https://doi.org/10.36296/renewable.conf.22-24.05.2024>.
2. Y. Havrylenko, V. Derii. State promotion of renewable energy. P. 76–77.
3. D. Vilchynska. State of Ukraine's energy system today. Prospects and problems. P. 143–144.
4. I. Bilyk. Perception of the transition to renewable energy sources in Ukraine: problems and prospects. P. 152–153.
5. P. R. Putsenteilo. Implementing energy management in enterprises as a prerequisite for improving energy efficiency and competitiveness. P. 168–170.
6. I. Yepifanova, M. Ganchuk. Justification of the need to integrate and adapt energy strategies to Ukrainian business in the context of the energy crisis. P. 181–183.
7. V. Bazhenov. Using the method of branches and boundaries for optimizing the development of electrical networks of modern energy systems with renewable energy sources. P. 174–176.
8. V. V. Prokopenko, O. O. Zakladnyi. Creation of a modern laboratory of energy audit. P. 193–194.
9. G. Kostenko, A. Zaporozhets, N. Zaporozhets. Approaches to assessment of the impact of distributed renewable generation on the power system resilience. P. 69–70.
10. P. Lezhniuk, O. Kovalchuk, E. Nikitorovych. Self-restoration of power supply in a local electric energy system with renewable energy sources. P. 57–59.
11. P. Lezhniuk, T. Lysa. Local power systems based on renewable energy sources. P. 177–178.