УДК 332.1:621.3
JEL Classification: Q42; Q47; P18; O13

АСПЕКТИ ІНТЕГРАЦІЇ ВІДНОВЛЮВАНОЇ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ В СИСТЕМУ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УКРАЇНИ

©2024 КОСТЕНКО Г. П., ЗАПОРОЖЕЦЬ А. О., ЗАПОРОЖЕЦЬ Н. В., ВЕРПЕТА В. О.

УДК 332.1:621.3
JEL Classification: Q42; Q47; P18; O13

Костенко Г. П., Запорожець А. О., Запорожець Н. В., Верпета В. О.

Аспекти інтеграції відновлюваної розподіленої генерації в систему енергозабезпечення України

У статті розглянуто стратегічні та практичні аспекти інтеграції відновлюваної розподіленої генерації у системи енергозабезпечення України, яка стоїть перед викликами, пов'язаними з підвищенням надійності, безпеки та ефективності енергосистеми в умовах глобальних тенденцій декарбонізації і військових загроз. Встановлено ключову роль розподіленої ВДЕ-генерації у підвищенні стійкості енергосистеми та зниженні залежності від централізованих джерел енергії. Виконано аналіз світового досвіду, який підкреслює економічну вигоду та зростання гнучкості в управлінні енергетичними ресурсами завдяки впровадженню розподіленої генерації. Наведено приклади успішної реалізації проєктів розподіленої ВДЕ-генерації у різних країнах та аналіз потенціалу розвитку відновлюваних джерел енергії в Україні, зокрема, сонячної, вітрової енергії та малої гідроенергетики. Виконаний огляд дозволяє зробити висновок про необхідність комплексного підходу до розвитку розподіленої ВДЕ-генерації. Особливу увагу приділено вивченню технічних, економічних, правових і регуляторних аспектів, які визначають можливості та обмеження для залучення інвестицій у розподілену відновлювану енергетику. Акцентовано увагу на потребі розробки та впровадження інноваційних управлінських систем і новітніх технологічних рішень, що дозволять максимально використовувати потенціал розподіленої генерації для забезпечення надійного, безпечного та ефективного функціонування енергосистеми. Враховано аспекти інтеграції систем зберігання енергії, що дозволяють згладжувати пікові навантаження та забезпечувати стабільність роботи системи. Зроблено висновок про необхідність удосконалення механізмів фінансової підтримки, що стимулюють розвиток малих виробників електроенергії з ВДЕ. Окрему увагу приділено вивченню міжнародного досвіду та його адаптації до українських реалій, що дозволяє врахувати специфіку національного енергетичного ринку та максимізувати ефективність впровадження новітніх технологій.

Ключові слова: *розподілена генерація, ВДЕ-генерація, інтеграція, енергетична стійкість, енергонезалежність.*

DOI: *https://doi.org/10.32983/2222-0712-2024-2-83-93*

Рис.: *4.* ***Табл.:*** *3.* ***Бібл.:*** *22.*

Костенко Ганна Петрівна *– науковий співробітник відділу прогнозування розвитку електроенергетичного комплексу, Інститут загальної енергетики НАН України (вул. Антоновича, 172, Київ, 03150, Україна)*

E-mail: *Kostenko_HP@nas.gov.ua*

ORCID: *https://orcid.org/0000-0002-8839-7633*

Researcher ID: *ITV-3739-2023*

Scopus Author ID: *https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=58547633600*

Запорожець Артур Олександрович *– доктор технічних наук, провідний науковий співробітник відділу прогнозування розвитку електроенергетичного комплексу, Інститут загальної енергетики НАН України (вул. Антоновича, 172, Київ, 03150, Україна)*

E-mail: *a.o.zaporozhets@nas.gov.ua*

ORCID: *https://orcid.org/0000-0002-0704-4116*

Researcher ID: *N-5412-2018*

Scopus Author ID: *https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57192642007*

Запорожець Надія Василівна *– член Громадської організації «Центр суспільних досліджень» (вул. М. Капніст, 2а, Київ, 03057, Україна)*

E-mail: *moroznadiia@gmail.com*

ORCID: *https://orcid.org/0009-0000-9123-9225*

Верпета Владислав Олександрович *– аспірант, Інститут загальної енергетики НАН України (вул. Антоновича, 172, Київ, 03150, Україна)*

E-mail: vladverpeta@gmail.com

ORCID: *https://orcid.org/0009-0001-3572-0388*

UDC 332.1:621.3
JEL Classification: Q42; Q47; P18; O13

Kostenko G. P., Zaporozhets A. O., Zaporozhets N. V., Verpeta V. O. Aspects of Integrating Renewable Distributed Generation Into the Energy Supply System of Ukraine

The paper examines the strategic and practical aspects of integrating renewable distributed generation into the energy supply system of Ukraine, which faces challenges related to increasing the reliability, safety, and efficiency of the energy system in the context of global decarbonization trends and military threats. The

key role of distributed renewable energy generation in increasing the stability of the energy system and reducing dependence on centralized energy sources has been established. An analysis of world experience has been carried out, which emphasizes the economic benefit and increased flexibility in the management of energy resources due to the implementation of distributed generation. Examples of successful implementation of distributed renewable energy generation projects in different countries and analysis of the potential for the development of renewable energy sources in Ukraine, in particular, solar, wind and small hydropower, are given. The completed review allows to draw a conclusion about the need for an integrated approach to the development of distributed renewable energy generation. Special attention is paid to the study of technical, economic, legal and regulatory aspects that determine opportunities and limitations for attracting investments in distributed renewable energy. Emphasis is also placed on the need to develop and implement innovative management systems and the latest technological solutions that will allow maximum use of the potential of distributed generation to ensure reliable, safe and efficient operation of the power system. Aspects of integration of energy storage systems are taken into account, allowing to smooth out peak loads and ensure the stability of system operation. It was concluded that it is necessary to improve financial support mechanisms that stimulate the development of small producers of electricity from renewable energy sources. Particular attention is paid to the study of international experience and its adaptation to Ukrainian realities, which allows to take into account the specifics of the national energy market and maximizing the effectiveness of the introduction of the latest technologies.

Keywords: *distributed generation, renewable energy generation, integration, energy sustainability, energy independence.*

Fig.: *4.* ***Tabl.:*** *3.* ***Bibl.:*** *22.*

Kostenko Ganna P. *– Research Associate of the Department for Forecasting the Development of the Electric Power Complex, Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine (172 Antonovycha Str., Kyiv, 03150, Ukraine)*

E-mail: *Kostenko_HP@nas.gov.ua*

ORCID: *https://orcid.org/0000-0002-8839-7633*

Researcher ID: *ITV-3739-2023*

Scopus Author ID: *https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=58547633600*

Zaporozhets Artur O. *– Doctor of Sciences (Engineering), Leading Researcher of the Department for Forecasting the Development of the Electric Power Complex, Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine (172 Antonovycha Str., Kyiv, 03150, Ukraine)*

E-mail: *a.o.zaporozhets@nas.gov.ua*

ORCID: *https://orcid.org/0000-0002-0704-4116*

Researcher ID: *N-5412-2018*

Scopus Author ID: *https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57192642007*

Zaporozhets Nadiia V. *– Member of the Public organization "Center for Social Research" (2a M. Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine)*

E-mail: *moroznadiia@gmail.com*

ORCID: *https://orcid.org/0009-0000-9123-9225*

Verpeta Vladyslav O. *– Postgraduate Student, Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine (172 Antonovycha Str., Kyiv, 03150, Ukraine)*

E-mail: *vladverpeta@gmail.com*

ORCID: *https://orcid.org/0009-0001-3572-0388*

Вступ. У контексті стрімких технологічних змін і глобальної тенденції до низьковуглецевого розвитку Україна, переживаючи військові загрози та регулярні атаки на енергетичну інфраструктуру, здійснює усвідомлений перехід до активного розвитку розподіленої генерації, ініціюючи необхідні стратегічні кроки у цьому напрямку [1]. Особливе значення в цьому процесі надається відновлюваній розподіленій генерації, яка сприяє зміцненню енергетичної безпеки, підвищує енергетичну самодостатність регіонів і відіграє ключову роль у зниженні екологічного навантаження, забезпечуючи при цьому більш високу гнучкість і надійність енергосистеми [2].

Цей процес активної інтеграції включає використання різноманітних джерел відновлюваної енергії, таких як сонячні панелі, вітряні турбіни та малі гідроелектростанції, що формує основу для розосередженого виробництва енергії та сприяє значному зниженню втрат енергії під час її передачі та розподілу.

Розвиток розподіленої відновлюваної генерації (ВДЕ-генерації) не тільки сприятиме зменшенню залежності від великих, централізованих енергетичних станцій, але й забезпечить гнучкість у виробництві та споживанні енергії, що є особливо важливим у ситуаціях, коли основна інфраструктура піддається ворожим атакам або іншим зовнішнім впливам [3]. Завдяки такому підходу кожен регіон має потенціал стати більш самодостатнім і стійким у контексті енергопостачання, ефективно реагуючи на локальні енергетичні потреби.

Для ефективної інтеграції відновлюваної розподіленої генерації в енергосистему України та в системи енергозабезпечення необхідно дослідити, як нові джерела генерації взаємодіють із вже наявною інфраструктурою, як здійснюється балансування і управління навантаженням. Такий підхід дозволить не тільки оптимізувати використання відновлюваних ресурсів, але й забезпечить надійність та ефективність енергопостачання в різних регіонах країни, а також стійкість системи в умовах зовнішніх загроз. Для цього необхідно проаналізувати різноманітні аспекти інтеграції відновлюваної енергії у національну енергосистему України, включаючи технічні, технологічні, економічні та правові фактори. Це забезпечить всебічне розуміння як взаємодії нових джерел генерації з існуючими системами,

так і впливу на економічне та регуляторне середовище, що є критичним для створення стійкої та ефективної енергетичної мережі.

Метою роботи є визначення ключових аспектів інтеграції джерел розподіленої ВДЕ-генерації до системи енергозабезпечення загалом і локальних систем енергопостачання зокрема.

Викладення результатів дослідження.

Світовий досвід.

Розподілена енергетика активно розвивається в світі в останні роки, оскільки має місце суттєве здешевлення технологій. Проєкти на меншу потужність в перерахунку на кіловат-годину на всьому життєвому циклі стають все більш вигіднішими [4; 5]. Якщо обсяги світового ринку технологій РГ в 2020 році, за оцінками компанії BCC Research, становили понад 80 млрд дол., то прогнозується, що до 2030 року цей ринок зросте не менше ніж до 130 млрд дол. [6].

На рис. 1 зображено схему інтеграції розподілених джерел відновлюваної енергії у систему електропостачання. Верхня частина ілюстрації демонструє традиційну централізовану генерацію енергії, яка передається через великі трансформаторні станції та системи передачі енергії до споживачів. Нижня частина зображує розподілену ВДЕ-генерацію, де використовуються малі гідроелектростанції, вітрові турбіни, сонячні панелі та біоенергетичні установки, які генерують енергію безпосередньо поруч з місцем її споживання, що мінімізує втрати при передачі та забезпечує кращу адаптацію до локальних потреб.

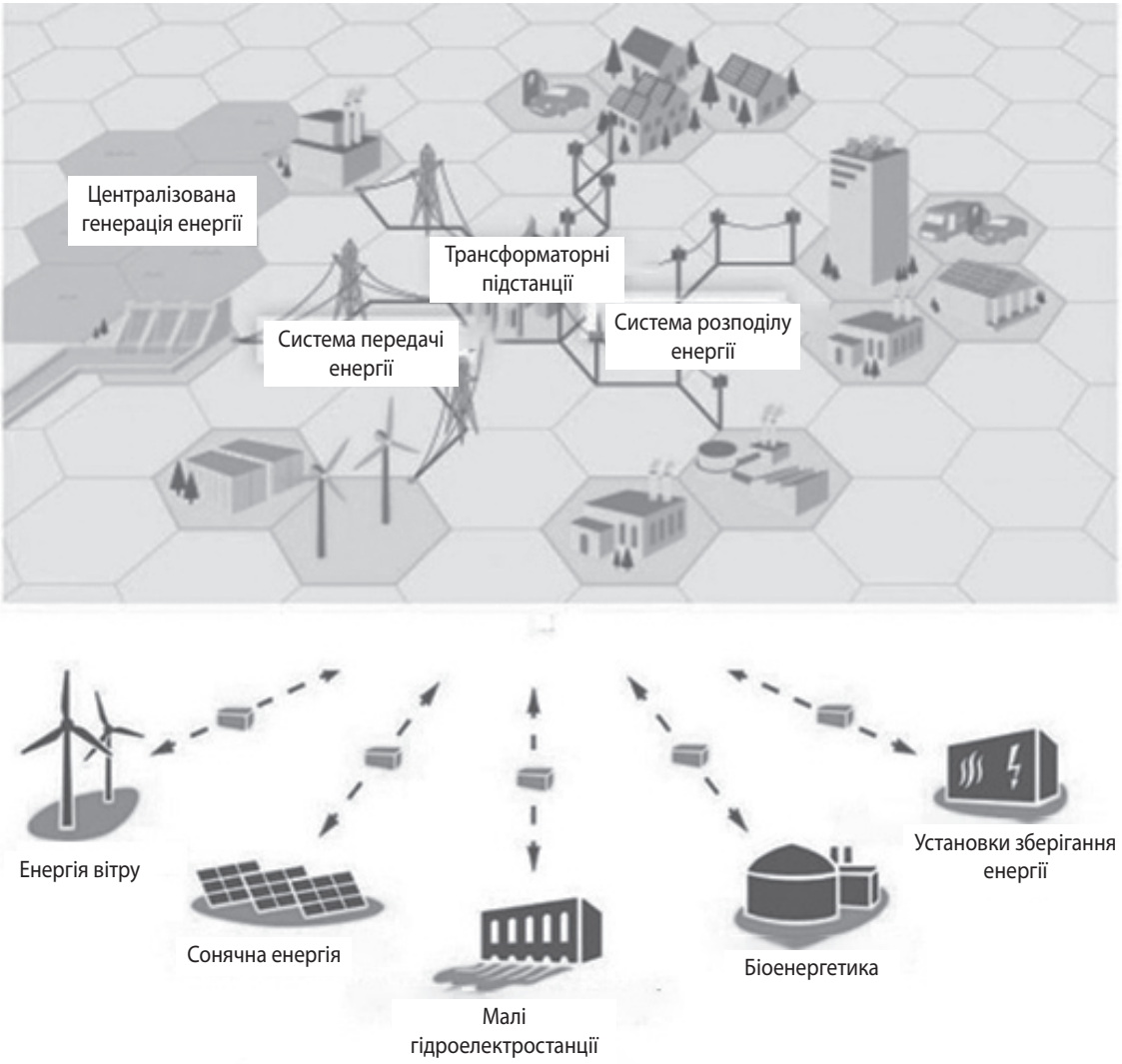

Рис. 1. Схема інтеграції розподіленої ВДЕ-генерації в централізовану енергетичну систему

Джерело: адаптовано авторами за [7; 8]

Слід зазначити, що, незважаючи на високий темп розвитку розподіленої відновлюваної генерації у світі, при цьому немає досвіду вирішення таких завдань за таких критичних обставин, як в Україні – під час війни. Однією з ключових причин, що спонукає до активного розвитку децентралізованих систем розподіленої генерації в Україні, є забезпечення оптимального рівня безпеки, надійності та стійкості енергопостачання регіонів, промислових і комунальних споживачів, а також населення. Це стосується як періодів максимальних навантажень, так і ситуацій, коли виникають аварії та пошкодження в об'єднаній енергетичній системі. Включення розподіленої генерації до загальної

електромережі забезпечує гнучкість у використанні енергії споживачами, дозволяючи їм користуватися як електроенергією власного виробництва, так і енергією з центральної мережі, а у разі виробництва надлишків – передавати їх назад до мережі. Необхідно також зазначити значущість розвитку сучасних технологій накопичення енергії для підтримки стабільної роботи систем розподіленої відновлюваної генерації.

У світі спостерігається зростаюча тенденція до широкомасштабного переходу на розподілену генерацію енергії з акцентом на підвищення конкурентоспроможності цих систем. Розвиток розподіленої генерації призводить до модифікації традиційної моделі функціонування електричних мереж.. Використання передових управлінських систем і новітніх технологій сприяє підвищенню надійності мереж та ефективності енергозбереження. Особливий акцент у світовій практиці робиться на розподіл генерації відновлюваної енергії, що включає вітрову та сонячну генерацію. Наприклад, у Німеччині, в рамках проєкту Smart Grids, енергетичний концерн EnBW реалізує інноваційні рішення для споживачів, які використовують розподілену генерацію [9]. А в США близько 12 млн установок малої РГЕ забезпечують виробництво понад 220 ГВт енергії [10]. У Данії держава активно підтримує розвиток малої енергетики з метою переходу на 100 % відновлювану енергію до 2050 року [11]. В Японії, після аварії на Фукусімі, велика увага приділяється розподіленій генерації, зокрема сонячним батареям і паливним елементам [12].

Окрім того, у світі спостерігається зміна економічної та технічної поведінок споживачів з пасивної на активну, яка, своєю чергою, змінює їх функції та роль в електричній мережі через появу нових можливостей, а саме можливістю здійснювати діяльність з керування попитом і надання додаткових системних послуг із регулювання навантаження, що наділяє споживача спроможністю конкурувати з генерацією [13]. Інтеграція такого споживача в локальні електричні мережі потребує вирішення низки питань як фізичної (технічної, технологічної) інтеграції, так і інтеграції в систему керування.

Аналіз потенціалу відновлюваних джерел енергії в Україні.

Розподілена генерація визначена Урядом України як важливий фактор для відновлення енергетичної безпеки та вирішення завдань трансформації енергетичної системи у напрямку декарбонізації та «зеленого» переходу відповідно до екологічних вимог Європейського Союзу. Починаючи з 2023 р. заплановано розвиток не менше 5 тисяч об'єктів малої розподіленої генерації, які використовують відновлювані джерела енергії з загальною потужністю близько 500 МВт [14].

До 2022 р. Україна накопичила значний досвід у використанні розподіленої генерації з відновлюваних джерел, що пояснюється значним потенціалом, який, за розрахунками, досягає майже 500 ГВт. У період з 2014 по 2022 рік щорічне виробництво енергії з відновлюваних джерел зросло в десять разів і склало близько 10 ГВт до кінця 2022 року з загальними інвестиціями в 9,3 млрд євро [15]. За українським законодавством, до об'єктів розподіленої енергогенерації належать системи розподіленої генерації енергії та системи децентралізованої генерації енергії з використанням генераторів до 20 МВт [16]. В розвинених містах зазвичай представлені всі вказані об'єкти розподіленої генерації енергії, що можуть бути територіально об'єднані в об'єкт керування, сприяючи використанню їх переваг в сфері міського електро- та теплопостачання.

На рис. 2 представлено сумарний розподіл потужностей розподіленої ВДЕ-генерації за областями України на даний час. Відображено потужності різних типів ВДЕ, включаючи вітрові, сонячні, малі гідроелектростанції, біомасу та біогаз. Аналізуючи цей розподіл, можна побачити, що найвищі показники встановленої потужності ВДЕ спостерігаються в південних та східних областях України, що пояснюється більш сприятливими кліматичними умовами для сонячної та вітрової енергетики. Центральні та західні області також демонструють значний розвиток ВДЕ, проте їхній потенціал залишається дещо меншим порівняно з південними регіонами. Такий географічний розподіл відображає оптимальні умови для використання відновлюваних джерел енергії в різних частинах країни та сприяє рівномірному розвитку енергетичної системи на основі ВДЕ.

Більшість проєктів у галузі розподіленої ВДЕ-генерації становлять сонячні електростанції. За даними реєстру НКРЕКП, станом на квітень 2024 року в Україні нараховується 1369 сонячних електростанцій, що належать 931 ліцензіату [17]. Сонячні електростанції є найбільш популярним типом генерації порівняно з вітровими, гідро- та біоелектростанціями, складаючи 75 % від усіх об'єктів ВДЕ. На рис. 3 зображено розподіл сонячних електростанцій (СЕС) за областями України. Найбільша кількість СЕС спостерігається в Івано-Франківській, Дніпропетровській, Вінницькій, Хмельницькій, Київській та Миколаївській областях, що пояснюється сприятливими умовами для розвитку сонячної енергетики. Найменша кількість СЕС розташована у Луганській, Донецькій, Сумській та Полтавській областях.

На рис. 4 зображено динаміку введення нових сонячних електростанцій в Україні за період з 2017 по 2024 рік. Пік введення нових об'єктів припав на 2019 рік, після чого кількість виданих ліцензій поступово зменшувалася [17]. Початок повномасштабної війни у 2022 році ще більше вплинув на зменшення кількості нових СЕС, особливо в регіонах, де тривають активні бойові дії або окупація.

Динаміка введення нових сонячних об'єктів показала, що після 2019 р. кількість виданих ліцензій на СЕС поступово зменшувалася, особливо після початку повномасштабної війни у 2022 році, що суттєво пригальмувало розвиток сонячної генерації. Проте найбільш привабливими регіонами для побудови СЕС залишаються Івано-Франківська, Кіровоградська, Львівська та Київська області. Ці дані свідчать про значний інтерес до розвитку сонячної енергетики в Україні, проте актуальні виклики, такі як війна та економічна нестабільність, впливають на темпи розвитку галузі.

Незважаючи на те, що Україна має значний енергетичний потенціал у сфері відновлюваних джерел енергії, його використання залишається недостатнім через ряд обставин [18; 19]. Розвиток цих ресурсів може забезпечити значне скорочення залежності країни від імпортованих енергоресурсів та вплинути на покращення екологічного стану.

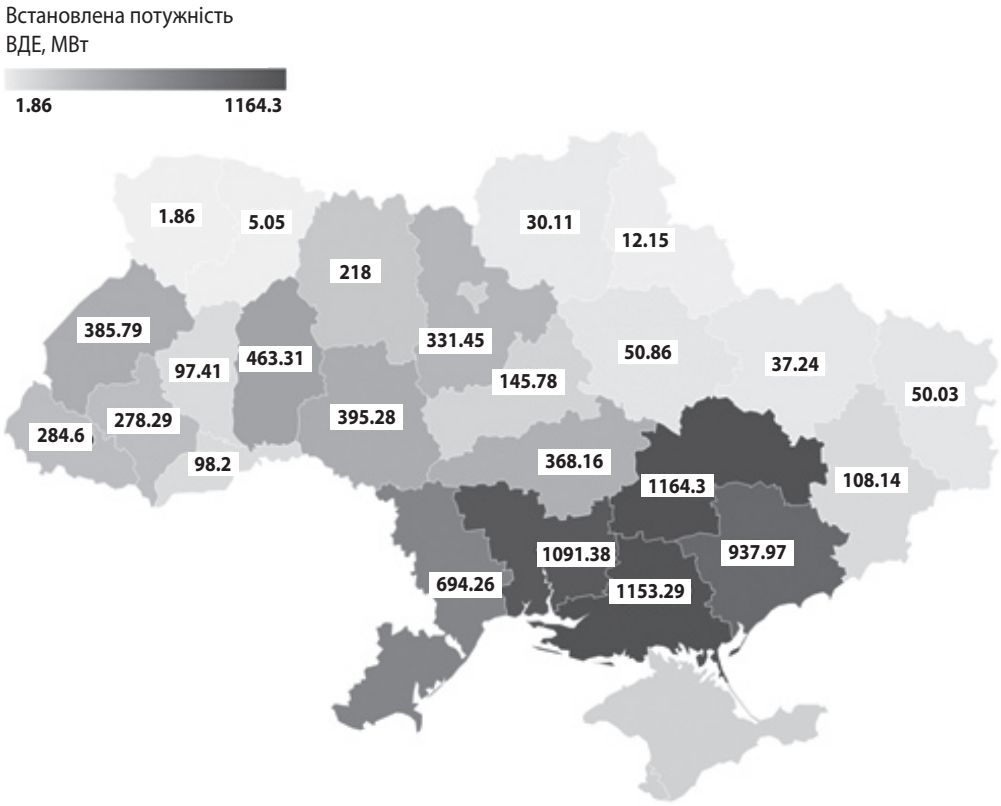

Рис. 2. Розподіл потужностей розподіленої ВДЕ-генерації за областями України

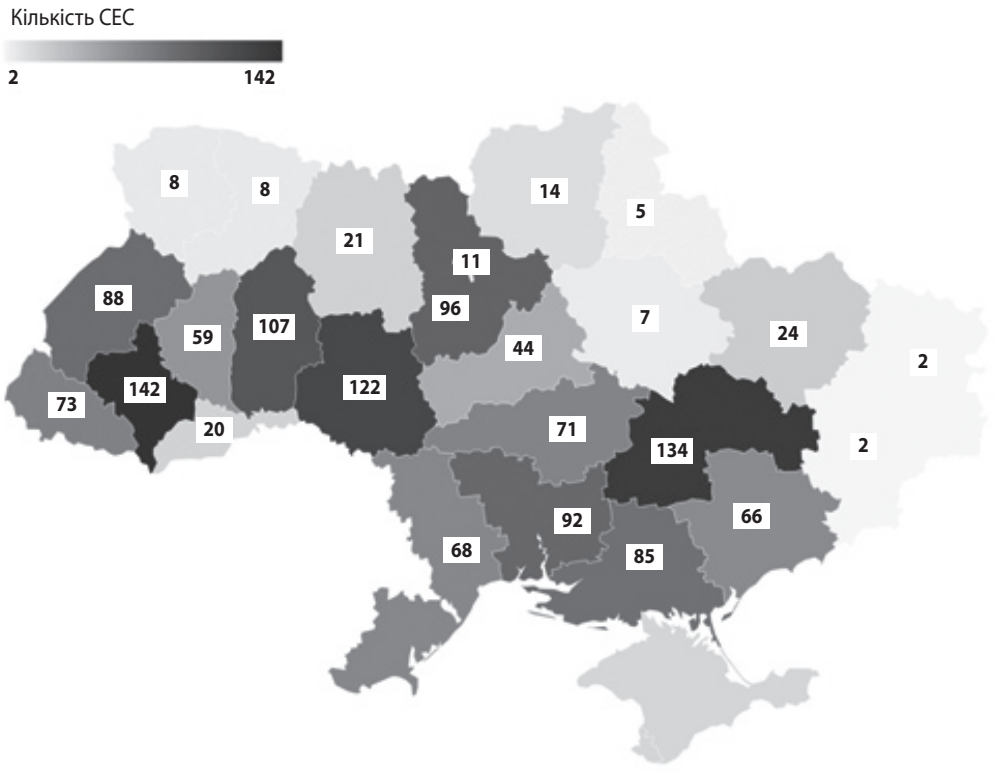

Рис. 3. Розподіл сонячних електростанцій за областями України (станом на квітень 2024 р.)

Джерело: [17]

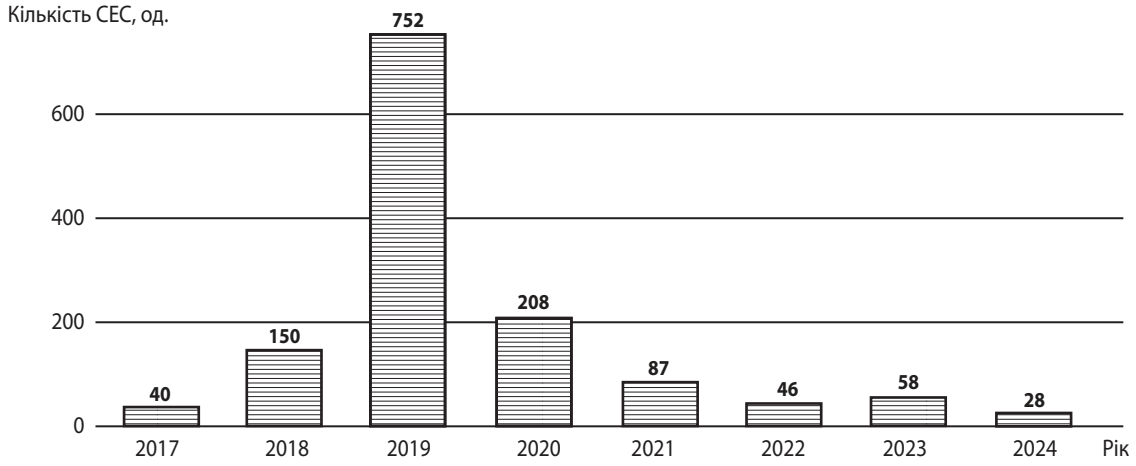

Рис. 4. Динаміка введення нових сонячних електростанцій в Україні (2017–2024 рр.)

Джерело: [17]

Вітрова енергія: Річний технічно-досяжний потенціал вітрової енергії в Україні становить близько 10,5 млн тонн нафтового еквіваленту (т н. е.) [18]. При цьому потенційна встановлена потужність вітрових електростанцій може досягти 16,000 МВт, що дозволить щорічно заощаджувати близько 13 млрд м³ природного газу.

Сонячна енергія: Річний потенціал сонячної енергії в Україні складає приблизно 4,2 млн т н. е., що дозволяє заощадити до 5 млрд м³ природного газу [18]. Метеорологічні умови в країні сприяють використанню цього потенціалу, особливо у південних регіонах.

Мала гідроенергетика: Потенціал малої гідроенергетики в Україні оцінюється в 1147 МВт нової потужності до 2030 року з річним обсягом виробництва електроенергії близько 3,75 млрд кВт·год [18].

Біоенергетика: Потенціал твердої біомаси та біогазу включає можливість щорічного заміщення приблизно 22 млрд м³ природного газу, демонструючи значний потенціал для розвитку індустрії біоенергетики [18].

Геотермальна енергія: Технічно-досяжний потенціал геотермальної енергії в Україні оцінюється в 8,4 млн т н. е. в рік, що дозволяє заощадити до 10 млрд м³ природного газу [18].

Розвиток розподіленої ВДЕ-генерації в системах електропостачання України потенційно матиме ряд важливих переваг. Зокрема, підвищити надійність енергопостачання та оптимізувати інвестиції в розвиток електричних мереж, що збільшить віддачу від інвестиційних проєктів [19]. Також завдяки зменшенню споживання викопного палива та загального та пікового навантаження на енергосистему буде забезпечено стійкість електропостачання у випадку аварійних ситуацій. Виробництво електроенергії на місцях зменшує втрати при передачі, а використання акумуляції електроенергії дозволяє зменшити витрати та набути додаткові генеруючі потужності без необхідності будівництва великих електростанцій.

Стратегії та аспекти інтеграції розподіленої ВДЕ-генерації.

Залежно від специфічних умов та обмежень існують різноманітні потенційні області застосування розподіленої ВДЕ-генерації, які включають імплементацію розподіленої генерації енергії виключно для нових споживачів, трансформацію систем споживання від централізованого електро- та теплопостачання до використання технологій малої розподіленої генерації та застосування технологій розподіленої генерації для забезпечення напівпікових та пікових частин графіка електричного навантаження, а також як резервної потужності в умовах синхронної роботи з централізованою генерацією.

Ці стратегії дозволяють ефективно інтегрувати розподілені джерела відновлюваної енергії в локальні інфраструктури електропостачання, що потенційно сприятиме оптимізації використання енергетичних ресурсів і підвищенню екологічної стійкості та загальної резильєнтності енергетичного сектору. З огляду на вищевикладене, важливо систематично підходити до інтеграції розподілених джерел ВДЕ. Це включає ретельне дослідження технічних, технологічних, економічних і правових аспектів, щоб забезпечити надійну, ефективну та стійку інтеграцію відновлюваної енергії в існуючу централізовану інфраструктуру електропостачання.

Технічні та технологічні аспекти.

Розглядаючи роль відновлюваних джерел енергії в розподіленій генерації, особливу увагу слід приділити технічним і технологічним аспектам. Ці компоненти формують основу для інтеграції інноваційних рішень у традиційну енергетичну інфраструктуру, дозволяючи оптимізувати процеси виробництва, передачі та споживання енергії. Технічні та технологічні аспекти, що є ключовими для інтеграції розподіленої ВДЕ-генерації, систематизовані в табл. 1.

Технічні аспекти інтеграції розподіленої генерації відновлюваної енергії охоплюють широкий спектр завдань, спрямованих на створення надійної інфраструктури та забезпечення її відповідності до існуючих норм і стандартів. Основним завданням є *розробка стандартів*, які визначають критерії та вимоги до усіх аспектів виробництва енергії – від безпеки обладнання до екологічних характеристик. Ці стандарти допомагають забезпечити сумісність нових технологій з національною енергетичною системою.

Таблиця 1

Ключові технічні та технологічні аспекти інтеграції розподіленої ВДЕ-генерації

Технічні аспекти	Технологічні аспекти
Розробка стандартів	Розробка та імплементація мікромереж
Встановлення вимог до об'єктів та обладнання	Системи зберігання енергії
Розробка умов приєднання	Віртуальні електростанції
-	Побудова автоматизованої системи керування
-	Інтеграція нових елементів в існуючу систему керування

Джерело: укладено авторами

Наступні завдання стосуються *встановлення вимог до об'єктів та обладнання*, що включає розробку детальних специфікацій для всього, що використовується у виробництві енергії, від сонячних панелей до турбін малих ГЕС. Ці вимоги допомагають забезпечити довговічність та ефективність енергетичних установок. *Розробка умов приєднання* до енергосистеми є важливим елементом, що забезпечує технічну можливість інтеграції розподіленої генерації з централізованою енергосистемою [20]. Це включає параметри сумісності, захисту системи, та управління навантаженням.

Технологічні аспекти охоплюють розробку та імплементацію передових технологічних рішень, які сприяють ефективній інтеграції та управлінню розподіленою генерацією. Одним із ключових напрямів є *розробка та імплементація мікромереж*, які дозволяють створювати локалізовані енергетичні системи з високим рівнем самодостатності та надійності. *Системи зберігання енергії* є важливою частиною технологічних аспектів, адже вони дозволяють ефективно управляти коливаннями виробітку та споживання енергії, зокрема при використанні джерел з негарантованою потужністю, як-от сонячна та вітрова енергія [21]. *Віртуальні електростанції* являють собою ще один важливий технологічний елемент, дозволяючи інтегрувати різні джерела генерації та споживачів в єдину оптимізовану систему, що керується в реальному часі для забезпечення максимальної ефективності та надійності. *Побудова автоматизованої системи керування та інтеграція нових елементів в існуючу систему керування* є критичними для забезпечення гладкого переходу від традиційних до сучасних методів виробництва енергії, а також для підтримки сталого розвитку енергетичного сектора.

Ці технічні та технологічні рішення разом формують фундамент для сталого та ефективного розвитку розподіленої ВДЕ-генерації, відповідаючи як на сучасні технічні виклики, так і на майбутні потреби управління енергоресурсами. Ефективна інтеграція відновлюваних джерел енергії через розподілену генерацію вимагає комплексного підходу до вирішення технічних та технологічних завдань. Ретельно розроблені стандарти, чіткі вимоги до обладнання, а також передові технологічні рішення є ключовими для створення стійкої та ефективної системи, що здатна адаптуватися до змінюваних умов і забезпечувати надійне енергопостачання в майбутньому.

Економічні / ринкові та правові аспекти.

Економічні та ринкові аспекти інтеграції відновлюваної енергії відіграють вирішальну роль у формуванні стійкої та ефективної енергетичної системи. Вони включають механізми стимулювання інвестицій у відновлювану енергетику, забезпечення фінансової вигоди для учасників ринку та створення умов для їхньої стабільної та надійної діяльності. Водночас правові аспекти охоплюють розвиток та адаптацію законодавства, що забезпечує правову підтримку для всіх аспектів роботи енергетичної галузі, зокрема регуляцію використання землі, надання ліцензій та захист інвестицій. Табл. 2 містить перелік основних економічних, ринкових і правових аспектів, які відіграють ключову роль у процесі інтеграції розподіленої ВДЕ-генерації.

Економічні та ринкові аспекти інтеграції розподіленої ВДЕ-генерації зосереджуються на створенні мотиваційних механізмів та стимулів для інвесторів та учасників ринку. Важливим аспектом є розробка політик, що сприяють вигідному вкладенню коштів в зелену енергети-

Таблиця 2

Економічні та правові аспекти інтеграції розподіленої ВДЕ-генерації

Економічні / ринкові аспекти	Правові аспекти
Створення економічних стимулів для реалізації стратегії керування генеруючою потужністю	Гармонізація законодавства з нормами ЄС
Створення умов для повноцінної діяльності	Регулювання прав власності та землекористування для генераційних об'єктів
Надання гарантій	Законодавче забезпечення стабільності тарифів та інвестиційних умов
Забезпечення взаєморозрахунків	Встановлення юридичних норм для розробки та впровадження інноваційних енергетичних технологій

Джерело: укладено авторами

ку. Створення економічних стимулів для реалізації стратегії керування генеруючою потужністю може включати податкові пільги, тарифні гарантії для виробників відновлюваної енергії, а також субсидії або фінансування на пільгових умовах для стартапів і нових технологій у сфері енергетики.

«Зелений» тариф, який був введений у 2008 році, став основним інструментом державної підтримки для заохочення розвитку альтернативної енергетики, зокрема виробництва енергії з відновлюваних джерел, які не включають доменний і коксівний газ, а з гідроенергії – лише малими гідроелектростанціями. Завдяки встановленню диференційованого підходу до визначення величини «зеленого»тарифу та його прив'язки до курсу євро було досягнуто значного зростання обсягів виробництва альтернативної енергії, зокрема від сонячних електростанцій. Проте система «зеленого» тарифу також виявила ряд недоліків, особливо у контексті фінансових зобов'язань і недостатності виплат виробникам, що підірвало довіру до цього механізму. Це породжує дискусії серед науковців і законодавців щодо доцільності подальшого використання «зеленого» тарифу як інструменту державної підтримки альтернативної енергетики, з пропозиціями про перегляд та оптимізацію цієї системи, включаючи введення аукціонів для більш ефективного розподілу державної підтримки. *Створення умов для повноцінної діяльності учасників ринку* охоплює розробку регулятивних рамок, які дозволять енергетичним компаніям працювати ефективно і безпечно, включаючи стандартизацію процедур підключення до мережі та взаємодії з централізованими енергосистемами. *Надання гарантій* включає правову та фінансову підтримку проєктів відновлюваної енергії, забезпечення захисту від нестабільності ринку та змін у законодавстві, що може вплинути на довгострокову рентабельність інвестицій. Встановлення чітких правил для *забезпечення взаєморозрахунків* між учасниками енергоринку, включаючи компенсації за введення додаткових потужностей відновлюваної енергії у загальну систему.

Правові аспекти розглядають необхідність створення та адаптації законодавчої бази для підтримки розвитку розподіленої генерації [22]. *Гармонізація законодавства з нормами ЄС* включає приведення національного законодавства відповідно до європейських стандартів, що забезпечує синергію та сумісність української енергетичної системи з європейськими ринками. *Регулювання прав власності та землекористування для генераційних об'єктів* передбачає створення чітких і прозорих механізмів отримання земельних ділянок під відновлювані джерела, регулювання будівельних норм та екологічних обмежень. *Законодавче забезпечення стабільності тарифів та інвестиційних умов* важливо для інвесторів, включно з захистом від раптових змін у політиці, що може вплинути на витрати та прибутки. *Встановлення юридичних норм для розробки та впровадження інноваційних енергетичних технологій* стосується не тільки традиційних аспектів енергетики, але й новітніх технологічних рішень, забезпечуючи юридичну підтримку для наукових досліджень і комерційного впровадження нововведень.

Забезпечення економічної та правової підтримки процесу інтеграції відновлюваної енергії в енергетичну систему України є фундаментальним для досягнення цілей у сфері енергетичної безпеки, екологічної стійкості та економічної ефективності. Створення сприятливих умов через розробку відповідного законодавства та економічних стимулів не тільки прискорить перехід до «зеленої» енергетики, але й зміцнить загальну структуру національної енергосистеми.

Аспекти державного та регіонального управління.

Ефективне управління у сфері розподіленої генерації відновлюваної енергії вимагає злагодженої роботи на державному та регіональному рівнях. Кожен рівень управління вносить свій вклад у створення стійкої та ефективної системи відновлюваної енергії, що відповідає на місцеві та національні потреби. Основні аспекти державного та регіонального управління стосовно інтеграції розподіленої ВДЕ-генерації наведено в табл. 3.

Регуляторна політика та законодавство на державному рівні забезпечують стратегічне керівництво та правові рамки для всіх аспектів розподіленої генерації, включно з розвитком, використанням та інтеграцією відновлюваних джерел енергії. Це охоплює розробку безпекових стандартів, екологічних норм, а також регулювання інвестицій та субсидій, які сприяють розвитку зеленої енергетики. На рівні *фінансування та інвестицій* державне управління відіграє ключову роль у забезпеченні необхідних ресурсів через гранти, пільгові кредити та податкові стимули для підтримки проєктів у галузі відновлюваної енергії. Ці заходи мають на меті залучити внутрішні та зовнішні інвестиції,

Таблиця 3

Аспекти державного та регіонального управління інтеграцією розподіленої ВДЕ-генерації

Державне управління	Регіональне управління
Регуляторна політика та законодавство	Локальне регулювання та політика
Фінансування та інвестиції	Координація з центральним урядом
Стандартизація та сертифікація	Підтримка місцевих ініціатив
Інфраструктурне планування	Розвиток місцевої інфраструктури
Контроль і нагляд	Освіта та навчання
Міжнародне співробітництво	Моніторинг та звітність
-	Вирішення конфліктів

Джерело: укладено авторами

необхідні для реалізації масштабних енергетичних проєктів. *Стандартизація та сертифікація* є фундаментальними для забезпечення якості та безпеки у виробництві, транспортуванні та розподілі енергії. Уніфіковані стандарти допомагають уникнути технічних бар'єрів у впровадженні нових технологій та забезпечують їхню сумісність з існуючими системами. *Інфраструктурне планування* на державному рівні включає стратегічне розташування нових виробничих потужностей та оновлення старої інфраструктури для інтеграції відновлюваних джерел. Такі дії спрямовані на забезпечення ефективної взаємодії між різними частинами енергетичної системи. *Контроль і нагляд* державою за дотриманням законодавства, технічних норм, а також за стабільністю і надійністю енергетичної системи забезпечують високий рівень оперативної безпеки. *Міжнародне співробітництво* допомагає обмінюватися знаннями, технологіями, а також залучати фінансування для впровадження передових енергетичних рішень.

На регіональному рівні *локальне регулювання* та політика дозволяють адаптувати національні ініціативи до місцевих умов. Координація з центральним урядом важлива для узгодження різних рівнів управління і забезпечення ефективної реалізації проєктів. *Підтримка місцевих ініціатив, розвиток інфраструктури, освіта та навчання* сприяють залученню громад до участі в енергетичному переході. *Моніторинг та звітність,* а також *вирішення конфліктів* на регіональному рівні допомагають підтримувати прозорість і відкритість в управлінні енергетичними ресурсами.

Управління у сфері розподіленої генерації відновлюваної енергії вимагає комплексного підходу, що включає як державне, так і регіональне регулювання. Важливо забезпечити синергію між політиками та програмами на різних рівнях, щоб створити ефективну та адаптивну систему, яка може відповідати як загальнодержавним, так і місцевим викликам. Ретельне планування, гнучке фінансування, адекватна стандартизація, контроль та моніторинг є ключовими для досягнення стійкості та ефективності енергетичної системи, що в кінцевому підсумку сприятиме економічному зростанню та покращенню екологічної ситуації.

Необхідні передумови для розвитку розподіленої генерації електроенергії в Україні.

Для активізації розвитку розподіленої генерації електроенергії в Україні необхідно впровадити комплекс заходів, які забезпечать стабільність і зростання галузі. В першу чергу, це включає створення фінансових стимулів для малих виробників електроенергії з відновлюваних джерел, зокрема шляхом запровадження взаємовигідної тарифної системи та інших механізмів підтримки. Це дозволить підвищити економічну ефективність та конкурентоспроможність «зелених» технологій.

Важливим кроком є створення законодавчої бази, яка сприятиме розвитку енергокооперативів. Для цього необхідно синхронізувати українське законодавство у галузі енергетики з відповідними нормативними актами Європейського Союзу, що сприятиме гармонізації та впровадженню найкращих практик у сфері «зеленої» енергетики. Крім того, необхідно забезпечити просте підключення до мережі для кооперативів, ОСББ та інших неприбуткових об'єднань громадян, з можливістю отримання пільгового тарифу за спрощеною процедурою.

З метою підтримки розвитку розподіленої генерації потрібно забезпечити доступ до пільгового фінансування для проєктів зі встановлення систем розподіленої генерації для приватних домогосподарств, малого та середнього бізнесу. Це може включати державні субсидії, кредити з низькими процентними ставками або інші фінансові інструменти, що дозволять зменшити початкові витрати на встановлення відновлюваних енергетичних систем.

Додаткові програми стимулювання є необхідними для фізичних та юридичних осіб, які інвестують у дахові сонячні електростанції та інші розподілені потужності відновлюваної енергетики. Це може включати податкові пільги, гранти або інші форми підтримки, що заохочують інвестиції у «зелену» енергетику.

Необхідно розробити та впровадити державні програми, які забезпечать системне та ефективне інтегрування об'єктів розподіленої генерації до загальнонаціональної енергомережі. Це включає модернізацію існуючої інфраструктури, впровадження розумних мереж (Smart Grids) та створення умов для гармонійної роботи різних джерел енергії в єдиній системі. Важливим аспектом є також створення програм підтримки для встановлення відновлюваних енергетичних установок на державних об'єктах, таких як школи, лікарні, адміністративні будівлі тощо.

З метою зменшення монополізму операторів системи розподілу необхідно впровадити більш дієві стимули для операторів системи розподілу, що збільшать можливості для приєднання «зелених» електростанцій до електромереж. Це дозволить підвищити прозорість процедур підключення, знизити їх вартість для домогосподарств і бізнесу та забезпечити рівний доступ до мережі для всіх учасників ринку.

Серед ключових факторів, які сприятимуть стабільності та зростанню «зеленої» генерації, можна також виділити повний перехід на ринкові механізми формування цін на електроенергію на всіх сегментах ринку, що забезпечить економічну ефективність і конкурентоспроможність «зелених» технологій. Також важливим є впровадження дієвих механізмів фінансової компенсації за збитки та страхування обладнання від пошкоджень під час військових дій [17]. Ці заходи створять умови для повернення довіри та заохочення інвесторів, що, своєю чергою, сприятиме подальшому розвитку розподіленої генерації та «зеленої»енергетики в Україні.

Висновки. Результати аналізу показали, що на практиці використання локальних інтегрованих (комплексних) систем електропостачання на базі джерел розподіленої генерації, в тому числі з ВДЕ, є одним із шляхів підвищення ефективності та надійності як існуючих систем електропостачання, так і живлення споживачів. Актуальність розвитку розподіленої генерації відновлюваної енергії в Україні зумовлена глобальними тенденціями до декарбонізації, підвищенням енергетичної безпеки та зменшенням енергетичної залежності від традиційних джерел. Розвиток цієї сфери не лише сприяє екологічній стійкості, а й забезпечує більшу резильєнтність національної енергосистеми в умовах зовнішніх викликів і загроз.

Стратегія інтеграції розподіленої ВДЕ-генерації включає комплексний підхід, що охоплює технічні, технологічні, економічні, ринкові та правові аспекти. Технічні та технологічні аспекти зосереджені на розробці стандартів та адаптації інфраструктури, що дозволяє ефективно інтегрувати нові джерела енергії у національну енергетичну мережу. Економічні та ринкові аспекти включають створення стимулів для інвесторів і впровадження ринкових механізмів, які сприяють рентабельності проєктів з відновлюваної енергії. Правові аспекти обумовлені необхідністю законодавчого забезпечення діяльності у цій сфері, включно з гармонізацією національного законодавства з міжнародними стандартами. Роль державного та регіонального управління полягає в забезпеченні належного регулювання та підтримки на всіх рівнях, від національної стратегії до локальних ініціатив. Ефективне управління включає розробку політик, фінансування ініціатив, стандартизацію та контроль, а також сприяння міжнародному співробітництву та обміну досвідом.

Слід зазначити, що для активізації розвитку розподіленої генерації електроенергії в Україні необхідно впровадити комплекс заходів, спрямованих на забезпечення стабільності та зростання галузі. Це включає створення фінансових стимулів для малих виробників електроенергії з відновлюваних джерел, розробку та впровадження законодавчої бази для підтримки енергокооперативів, забезпечення доступу до пільгового фінансування, та запровадження додаткових програм стимулювання для інвесторів у «зелену» енергетику. Важливо також модернізувати інфраструктуру, впровадити розумні мережі та створити умови для гармонійної роботи різних джерел енергії. Ці заходи разом із впровадженням ринкових механізмів формування цін та дієвих механізмів фінансової компенсації забезпечать стабільність сонячної енергетики та сприятимуть поверненню довіри інвесторів, що є необхідним для подальшого розвитку відновлюваної енергетики в Україні.

Загалом розвиток розподіленої відновлюваної енергетики є важливим кроком на шляху до створення сталої, безпечної та ефективної енергетичної системи в Україні. Врахування всіх вищезгаданих аспектів і забезпечення їхньої взаємодії та інтеграції є ключем до успіху цієї стратегії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Домбровський О. Як запустити розподілену генерацію в Україні // Економічна правда, 11.04.2024. URL: https://www.epravda.com.ua/columns/2024/04/11/712293/

2. Алієва О. Чому мала генерація має бути в основі енергетичного переходу? / Фонд ім. Гайнріха Бьолля, Бюро Київ-Україна, 18.11.2020. URL: https://rea.org.ua/wp-content/uploads/2020/11/aliieva-181120.pdf

3. Розподілена генерація: енергетичний щит України в умовах війни. // Державна інспекція енергетичного нагляду України, 07.06.2024. URL: https://sies.gov.ua/news/rozpodilena-heneratsiia-enerhetychnyi-shchyt-ukrainy-v-umovakh-viiny

4. World Energy Trilemma 2017: Changing Dynamics – Using Distributed Energy Resources to Meet the Trilemma Challenge. URL: https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-trilemma-2017-changing-dynamics-a-using-distributed-energy-resources-to-meet-the-trilemma-challenge

5. de Giovanni A., Warren B. Can decentralized energy get good enough, fast enough? (2022). URL: https://go.ey.com/3oK4D6q

6. The Global Market for Distributed Generation. URL: https://www.bccresearch.com/market-research/energy-and-resources/distributed-energy-generation-market-report.html

7. Distributed Generation of Electricity and its Environmental Impacts. US Environmental Potection Agency, 2024. URL: https://www.epa.gov/energy/distributed-generation-electricity-and-its-environmental-impacts

8. Effatnejad R., Hedayati M., Choopani K., Chanddel M. Numerical Methods in Selecting Location of Distributed Generation in Energy Network // Numerical Methods for Energy Applications / Mahdavi Tabatabaei N., Bizon N. (eds). Power Systems. Springer, Cham. 2021.

DOI: 10.1007/978-3-030-62191-9_34

9. Чернюк А. М., Кирисов І. Г., Черевик Ю. О. Аналіз перспектив розвитку систем розподіленої генерації електроенергії в Україні. *Вчені записки.* 2021. № 3. С. 239–246. URL: http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2021/3_2021/38.pdf

10. Розподілена генерація електроенергії – глобальні тенденції розвитку. URL: http://uare.com.ua/novyny/453-rozpodilena-generatsiya-elektroenergiji-globalni-tendentsiji-rozvitku.html

11. World Energy Transition Outlook 2022 // IRENA, 2022. URL: https://www.irena.org/Digital-Report/WorldEnergyTransitions-Outlook-2022

12. Adefarati T., Bansal R. Reliability assessment of distribution system with the integration of renewable distributed generation. *Appl. Energy.* 2017. Vol. 185. P. 158–171.

DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.10.087

13. Механізм самовиробництва та статус активного споживача // ЕНЕРДЖІ. URL: https://energy365.com.ua/tpost/j4c299mdu1-mehanzm-samovirobnitstva-ta-status-aktiv

14. Конеченков А.. Сектор відновлюваної енергетики до, під час та після війни // Центр Разумкова, 2022. URL: https://razumkov.org.ua/statti/sektor-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viyny

15. Kostenko G., Zaporozhets A. Enhancing of the Power System Resilience Through the Application of Micro Power Systems (microgrid) with Renewable Distributed Generation. *System Research in Energy.* 2023. Vol. 3 (74). P. 25–38.

DOI: 10.15407/srenergy2023.03.025

16. Про ринок електричної енергії : Закон України від 13.04.2017 № 2019-VIII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text

17. Білозерова Л. Сонячна генерація: змінюються масштаб та географія об'єктів // Українська енергетика. URL: https://ua-energy.org/uk/posts/tryfonivska-ses-foto-dtek

18. Технічно-досяжний потенціал виробництва енергоносіїв з відновлювальних джерел енергії та альтернативних видів палива // Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України (Держенергоефективності). URL: https://saee.gov.ua/uk/activity/vidnovlyuvana-enerhetyka/potentsial

19. Костенко Г., Згуровець О. Сучасний стан та перспективи розвитку відновлюваної розподіленої генерації в Україні. *Системні дослідження в енергетиці.* 2023. № 2 (73). С. 4–17.

DOI: 10.15407/srenergy2023.02.004.

20. Денисюк С. П. Аналіз та оптимізація енергопроцесів у розосереджених електроенергетичних системах. *Технічна електродинаміка.* 2016. № 4. С. 62–64.

21. Zaporozhets A., Kostenko G., Zgurovets O., Deriy V. Analysis of Global Trends in the Development of Energy Storage Systems and Prospects for Their Implementation in Ukraine. *Power Systems Research and Operation*. 2024. No. 512. P. 69–87.

DOI: 10.1007/978-3-031-44772-3_4

22. Верховна Рада України прийняла Закон, який стимулюватиме розвиток зеленої генерації // Прес-служба Апарату Верховної Ради України, 30.06.2023. URL: https://www.rada.gov.ua/news/razom/238456.h tml

REFERENCES

Adefarati, T., and Bansal, R. "Reliability assessment of distribution system with the integration of renewable distributed generation". *Appl. Energy*, vol. 185 (2017): 158-171.

DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.10.087

Aliieva, O. "Chomu mala heneratsiia maie buty v osnovi enerhetychnoho perekhodu?" [Why Should Small Generation Be at the Heart of the Energy Transition?]. Fond im. Hainrikha Bollia, Biuro Kyiv-Ukraina, November 18, 2020. https://rea.org.ua/wp-content/uploads/2020/11/aliieva-181120.pdf

Bilozerova, L. "Soniachna heneratsiia: zminiuiutsia masshtab ta heohrafiia obiektiv" [Solar Generation: The Scale and Geography of Objects are Changing]. Ukrainska enerhetyka. https://ua-energy.org/uk/posts/tryfonivska-ses-foto-dtek

Cherniuk, A. M., Kyrysov, I. H., and Cherevyk, Yu. O. "Analiz perspektyv rozvytku system rozpodilenoi heneratsii elektroenerhii v Ukraini" [Analysis of Prospects for the Development of Distributed Electricity Generation Systems in Ukraine]. Vcheni zapysky. 2021. http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2021/3_2021/38.pdf

"Distributed Generation of Electricity and its Environmental Impacts". US Environmental Potection Agency, 2024. https://www.epa.gov/energy/distributed-generation-electricity-and-its-environmental-impacts

de Giovanni A., and Warren, B. "Can decentralized energy get good enough, fast enough?". 2022. https://go.ey.com/3oK4D6q

Denysiuk, S. P. "Analiz ta optymizatsiia enerhoprotsesiv u rozoseredzhenykh elektroenerhetychnykh systemakh" [Analysis and Optimization of Energy Processes in Distributed Power Systems]. *Tekhnichna elektrodynamika*, no. 4 (2016): 62-64.

Dombrovskyi, O. "Yak zapustyty rozpodilenu heneratsiiu v Ukraini" [How to Start Distributed Generation in Ukraine]. Ekonomichna pravda. April 11, 2024. https://www.epravda.com.ua/columns/2024/04/11/712293/

Effatnejad, R. et al. "Numerical Methods in Selecting Location of Distributed Generation in Energy Network". In *Numerical Methods for Energy Applications*. Power Systems. Springer, Cham., 2021.

DOI: 10.1007/978-3-030-62191-9_34

Konechenkov, A. "Sektor vidnovliuvanoi enerhetyky do, pid chas ta pislia viiny" [The Renewable Energy Sector Before, During and After the War]. Tsentr Razumkova. 2022. https://razumkov.org.ua/statti/sektor-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viyny

Kostenko, G., and Zaporozhets, A. "Enhancing of the Power System Resilience Through the Application of Micro Power Systems (microgrid) with Renewable Distributed Generation". *System Research in Energy*, vol. 3 (74) (2023): 25-38.

DOI: 10.15407/srenergy2023.03.025

Kostenko, H., and Zhurovets, O. "Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku vidnovliuvanoi rozpodilenoi heneratsii v Ukraini" [The Current State and Prospects for the Development of Renewable Distributed Generation in Ukraine]. *Systemni doslidzhennia v enerhetytsi*, no. 2(73) (2023): 4-17.

DOI: 10.15407/srenergy2023.02.004

[Legal Act of Ukraine] (2017). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text

"Mekhanizm samovyrobnytstva ta status aktyvnoho spozhyvacha" [The Mechanism of Self-production and the Status of an Active Consumer]. ENERDZhI 365B. February 08, 2024. https://energy365.com.ua/tpost/j4c299mdu1-mehanzm-samovirobnitstva-ta-status-aktiv

"Rozpodilena heneratsiia elektroenerhii - hlobalni tendentsii rozvytku" [Distributed Power Generation - Global Development Trends]. http://uare.com.ua/novyny/453-rozpodilena-generatsiya-elektroenergiji-globalni-tendentsiji-rozvitku.html

"Rozpodilena heneratsiia: enerhetychnyi shchyt Ukrainy v umovakh viiny" [Distributed Generation: The Energy Shield of Ukraine in the Conditions of War]. Derzhavna inspektsiia enerhetychnoho nahliadu Ukrainy. June 07, 2024. https://sies.gov.ua/news/rozpodilena-heneratsiia-enerhetychnyi-shchyt-ukrainy-v-umovakh-viiny

"Tekhnichno-dosiazhnyi potentsial vyrobnytstva enerhonosiiv z vidnovliuvalnykh dzherel enerhii ta alternatyvnykh vydiv palyva" [Technically Achievable Potential of Production of Energy Carriers from Renewable Energy Sources and Alternative Types of Fuel]. Derzhavne ahentstvo z enerhoefektyvnosti ta enerhozberezhennia Ukrainy (Derzhenerhoefektyvnosti). https://saee.gov.ua/uk/activity/vidnovlyuvana-enerhetyka/potentsial

"The Global Market for Distributed Generation". https://www.bccresearch.com/market-research/energy-and-resources/distributed-energy-generation-market-report.html

"Verkhovna Rada Ukrainy pryiniala Zakon, yakyi stymuliuvatyme rozvytok zelenoi heneratsii" [The Verkhovna Rada of Ukraine Adopted the Law, Which Will Stimulate the Development of Green Generation]. Pres-sluzhba Aparatu Verkhovnoi Rady Ukrainy. June 30, 2023. https://www.rada.gov.ua/news/razom/238456.html

"World Energy Transition Outlook 2022". IRENA. 2022. https://www.irena.org/Digital-Report/WorldEnergyTransitions-Outlook-2022

"World Energy Trilemma 2017: Changing Dynamics - Using Distributed Energy Resources to Meet the Trilemma Challenge". https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-trilemma-2017-changing-dynamics-a-using-distributed-energy-resources-to-meet-the-trilemma-challenge

Zaporozhets, A. et al. "Analysis of Global Trends in the Development of Energy Storage Systems and Prospects for Their Implementation in Ukraine". *Power Systems Research and Operation*, no. 512 (2024): 69-87.

DOI: 10.1007/978-3-031-44772-3_4

Стаття надійшла до редакції 05.06.2024 р.

Статтю прийнято до публікації 21.06.2024 р.