

Сучасний стан розвитку відновлювальної енергетики в Україні та можливі рішення

Ольга Медведєва , Заряна Гальченко , Олексій Демченко 

Purpose. To examine the current state of development and implementation of renewable energy sources in Ukraine and to investigate the prospects for their utilization. **Design / Method / Approach.** The study analyzes the current state and prospects of renewable energy sources use worldwide and in Ukraine, presents the inventory and current status of wind power plants in Ukraine considering the impact of military actions. The most efficient wind energy installations for mining regions are identified, along with their advantages and disadvantages. **Findings.** The prospects for the use of wind energy installations to ensure the country's energy security are established; it is emphasized that wind power plants (WPPs) represent one of the most competitive electricity generation technologies, with economic and ecological benefits. **Theoretical Implications.** The advantages of WPPs, conditions for their application, and promising directions for their use, including the possibility of placement on technogenically disturbed lands, are defined. **Practical Implications.** The existing WPPs in Ukraine, their current status, and the prospects for renewable energy development globally and nationally to ensure energy independence and security are analyzed. **Originality / Value.** The article provides original data on the current global status of renewable energy; it analyzes the relevance of renewable energy use during wartime and post-war periods for achieving energy independence through the deployment of WPPs on technogenically disturbed lands in mining regions. **Research Limitations / Future Research.** Further studies will focus on the potential use of wind energy installations with vertical axis rotation in mining regions on technogenically disturbed lands. **Article Type.** Empirical.

Keywords:

renewable energy sources, wind power, wind energy potential, wind power plants in Ukraine, wind power plants, environmental factors

Мета. Розглянути сучасний стан розвитку та впровадження відновлювальних джерел енергії в Україні та дослідити перспективи їх використання. **Дизайн / Метод / Підхід.** Проаналізовано сучасний стан і перспективи використання відновлювальних джерел енергії у світі та в Україні, наведено перелік та сучасний стан вітроелектростанцій в Україні з урахуванням впливу військових дій. Визначено найбільш ефективні вітроенергетичні установки для гірничодобувних регіонів, наведено їх переваги та недоліки. **Результати.** Встановлено перспективи використання вітроенергетичних установок для забезпечення енергетичної безпеки держави; підкреслено, що вітроенергетичні станції (ВЕС) є одним із найбільш конкурентоспроможних джерел електроенергії серед існуючих технологічних рішень, а їх використання є економічно і екологічно вигідним. **Теоретичне значення.** Визначено переваги ВЕС, умови їх застосування та перспективні напрями використання, зокрема можливість розміщення на техногенно порушених землях. **Практичне значення.** Проаналізовано всі існуючі ВЕС в Україні, їх сучасний стан та перспективи розвитку відновлюваної енергетики у світі й Україні для забезпечення енергетичної незалежності та безпеки держави. **Оригінальність / Цінність.** Наведено оригінальні дані про сучасний стан відновлювальної енергетики світу; проаналізовано актуальність застосування відновлювальної енергетики в умовах воєнного та післявоєнного періодів для енергетичної незалежності через використання ВЕС, розміщених на техногенно порушених землях у гірничодобувних регіонах. **Обмеження дослідження / Майбутні дослідження.** Подальші дослідження будуть спрямовані на можливості використання вітроенергетичних установок із вертикальною віссю обертання у гірничодобувних регіонах на техногенно порушених землях. **Тип статті.** Емпірична.

Ключові слова:

відновлювальні джерела енергії, вітроенергетика, потенціал вітрової енергії, вітроелектростанції України, вітроенергетичні установки, екологічні фактори

Current State of Renewable Energy Development in Ukraine and Possible Solutions

Contributor Details:

Olha Medvedieva, Dr. Sc., Senior Researcher, M. S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine: Dnipro, UA, medvedevaolga1702@gmail.com
Zariana Halchenko, MSc, PhD Student, M. S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine: Dnipro, UA, zhalchenko85@gmail.com
Oleksii Demchenko, PhD Student, Ukrainian State University of Science and Technologies: Dnipro, UA, dem4enkoalex@gmail.com

Сьогодні дуже гостро стоїть питання щодо розвитку відновлювальної енергетики. Відновлювальні джерела енергії (ВДЕ) мають прийти на заміну традиційним викопним паливам, запаси яких вичерпуються щодня. Відновлення промислової галузі та забезпечення енергетичної незалежності можливе шляхом використання ВДЕ у гірничих регіонах за рахунок їх розташування на техногенних об'єктах. Проте, необхідно враховувати, що ВДЕ, такі як сонячна та вітрова енергія, мають високу невизначеність через переривчастий характер вітру та сонячного світла. Передові технології, включаючи різні стратегії управління, методи оптимізації, накопичувачі енергії та обмежувачі струму короткого замикання використовуються для вирішення цих проблем. Використання ВДЕ набуло значних масштабів у всьому світі, особливо за останні два десятиліття. Хоча високий рівень проникнення ВДЕ зменшує негативний вплив на навколишнє середовище порівняно з традиційним виробництвом енергії на основі викопного палива, питання контролю стають більш складними. (Medvedieva et al., 2025).

В роботі вчених із Саудівської Аравії (Alam et al., 2020) надано огляд задокументованих переліків щодо можливостей і ризиків використання вітрової і сонячної енергетики, надані також рекомендації щодо вирішення проблем інтеграції ВДЕ, які можуть стати ключовими напрямками досліджень для промислового персоналу та дослідників. Al-Shetwi (2020) досліджує роль інтеграції ВДЕ у сталий розвиток та його прогресуючий вплив на світовий енергетичний сектор, робить оцінку впливу ВДЕ на навколишнє середовище. У роботі Duggan (2025) зроблено огляд останніх досліджень, що стосуються сталого розвитку енергетичних систем та інтеграції ВДЕ, з особливим акцентом на інвестиціях, роботі енергетичної системи з відновлювальними ресурсами та інструментах декарбонізації.

Також питанням інтеграції ВДЕ з метою дотримання політики декарбонізації займаються американські вчені Patankar et al. (2023). Afridi et al. (2021) вивчають складні та гібридні системи генерації ВДЕ, що проектуються і розробляються для забезпечення енергетичних потреб та гарантування енергетичної безпеки країни, з оглядом на використання штучного інтелекту для прогнозного обслуговування систем ВДЕ. Hayitbayeva and Bebitov (2024) розглядають ключові проблеми, які пов'язані з прийняттям і впровадженням технологій ВДЕ, що включають високі початкові витрати, технологічні бар'єри та регуляторні виклики. Вони також досліджують потенційні рішення, такі як державні стимули, державно-приватне партнерство, а також досягнення в галузі зберігання енергії та інтеграції з мережею, обговорюють перспективні пропозиції та сучасні інноваційні технології, які можуть підвищити ефективність і масштабованість систем ВДЕ.

Falcone (2023) пропонує ґрунтовний аналіз викликів та можливостей, які пов'язані з прийняттям політики сталого енергетичного розвитку в окремих країнах, що розвиваються, наприклад, Албанія, Бразилія, Індія, Кенія, за рахунок збільшення використання ВДЕ в цих країнах. Li et al. (2022) зібрали результати досліджень, опублікованих відповідними статистичними відомствами та авторитетними установами, які узагальнюють міжнародну ситуацію в галузі енергетики, аналізується стан розвитку енергетики в Європейському Союзі, США, Австралії, Індії, Бразилії та інших країнах світу, розглядаються перспективи застосування ВДЕ у Китаї. Icaza et al. (2024) розглядають можливості впровадження ВДЕ на островах в Америці із розробкою спеціальних дорожніх карт на основі енергетичного потенціалу, наявного на територіях, і майбутнього попиту на енергію.

Fernández-Guillamón et al. (2019) розглядають концепції впровадження та еволюції ВДЕ за останні десятиліття. Крім того, вони детально обговорюють вітрові та фотоелектричні електростанції та їх внесок у розвиток енергоефективності. Проектування енергетичних систем ускладнюється реальними цільовими функціями, що складаються з поєднання технічних і соціально-економічних завдань, з різними обмеженнями. Як наслідок, економічно неоптимальні рішення, швидше за все, будуть кращими. Pedersen et al. (2021) розробили метод, здатний визначити послідовність, яка містить всі економічно близькі до оптимальних рішення. Запропонований метод застосовано для дослідження низки технічних і соціально-економічних показників на моделі європейської електроенергетичної

системи. Вони виявили, що область біля оптимуму є відносно плоскою, яка дозволяє приймати рішення, що є дещо дорожчими за оптимальні, але кращими з точки зору рівності, землекористування та часу реалізації. Xin et al. (2022) вивчили інноваційні технології відновлювальної енергетики з урахуванням економічного зростання, соціальної інтеграції та низьковуглецевого розвитку. Erdiwansyah et al. (2021) провели конкретні дослідження різних технологічних рішень та викликів, особливо у сфері енергосистем. Вони розробили матрицю з різними технологічними рішеннями у сфері ВДЕ. Завдяки цьому, автори очікують, що потенціал розроблених технологічних рішень зможе допомогти і визначити їх пріоритетність, особливо для економічно ефективної енергетики і підвищити прозорість процесу інтеграції відновлювальної енергетики в майбутньому.

Ugwu et al. (2021) зробили комплексний огляд наявного потенціалу відновлювальної енергетики в Нігерії, рівня використання ВДЕ в Нігерії в порівнянні з іншими країнами, порівняння сценаріїв розвитку відновлювальної енергетики в африканських країнах, фактори, що перешкоджають розвитку відновлювальної енергетики в Нігерії, політику країни в галузі відновлювальної енергетики та шляхи покращення її статусу в країні. Jurasz et al. (2020) зробили комплексний огляд досліджень, в яких вивчався, аналізувався, кількісно оцінювався та використовувався ефект часової, просторової та просторово-часової компліментарності між ВДЕ в контексті використання гібридних електростанцій, що ґрунтуються на взаємодоповнюваності ВДЕ, наприклад, вітро-сонячна, сонячно-гідро або сонячно-вітро-гідро. Weinand et al. (2023) зробили глобальний огляд приведеної вартості електроенергії (LCOE) для автономних енергетичних систем. Підвищення надійності енергопостачання досягається використанням децентралізованих позамережевих систем відновлювальної енергетики.

Економічну ефективність використання ВДЕ розглянули López Prol and Schill (2021), вони вивчили ринкову динаміку збільшення застосування ВДЕ та їх інтеграцію в електроенергетичну систему, описали ефект меритоордеру — зниження оптових цін на електроенергію зі збільшенням застосування ВДЕ, та ефект канібалізації — зниження вартості ВДЕ зі збільшенням їх застосування. Pratiwi and Juerges (2020) зробили огляд впливу розвитку відновлювальної енергетики на навколишнє середовище та охорону природи в Південно-Східній Азії.

Nzeanorue et al. (2024) зробили комплексний аналіз сталого енергетичного розвитку, їх дослідження показують, що досягнення сталого енергетичного розвитку залежить від трьох критично важливих дій — переходу на ВДЕ, підвищення енергоефективності та зменшення викидів парникових газів і забруднювачів повітря.

Wang et al. (2020) зробили багатовимірну оцінку регіонального розвитку відновлювальної енергетики в Китаї. Для оцінки було обрано п'ять вимірів факторів: економічна основа, інституції, потенціал технологічного розвитку, енергетична безпека та охорона навколишнього середовища, а також поточний стан сектору ВДЕ.

У зв'язку з війною в Україні перспективи розвитку ВДЕ розглядають і в країнах, які межують з нами. Так, польські вчені Iglinski and Pietrzak (2025) розглянули відновлювальну та сталу енергетику, де енергетичний перехід відбувається різними способами, наприклад, заміною джерел енергії на відновлювальні або створенням сховищ енергії, що допомагають забезпечити енергетичну незалежність та стабільне енергопостачання. У свою чергу латвійська дослідниця Atstāja (2025) вивчила досвід країн Балтії у впровадженні ВДЕ, ці країни вжили рішучих заходів у відповідь на війну в Україні, вирішивши повністю припинити імпорт електроенергії від країн агресорів. Країни Балтії мають на меті виробляти 98-100% електроенергії з відновлювальних джерел до 2050 року, ці країни слід розглядати як єдину енергетичну систему зі скоординованою стратегією досягнення сталого енергетичного розвитку шляхом співпраці та спільного планування. Аналіз висвітлює складності управління енергетичними ринками в умовах глобальних і регіональних викликів, підкреслюючи важливість добре продуманого державного втручання для забезпечення довгострокових переваг.

В Україні вивченню розвитку ВДЕ теж приділяється багато уваги, цю проблематику вивчають А. П. Вербовий, О.

Бялковська, А. С. Завербний, Ю. Б. Зборівець, І. І. Гуменюк, О. М. Гуменюк, В. О. Ковтун, Л. В. Левківська, С. А. Левківський, І. І. Набок, Д. Прокопов, Ю. Приходько, К. Ю. Редько, П. Ф. Сегеда, Г. Г. Стрелькова, Т. М. Ткаченко, В. В. Якімцов та інші. Вони розглядають проблеми розвитку відновлювальної енергетики у воєнний та післявоєнний періоди, аналізують поточний стан і перспективи (Zaverbnyi et al., 2023; Zborivets & Yakimtsov, 2024; Tkachenko & Seheda, 2021; O. Humeniuk & I. Humeniuk, 2023; Pecheniuk et al., 2024; Prokopov & Bialkovska, 2024; Redko & Furs, 2020; Levkivska & Levkivskyi, 2022). Отже, питання використання ВДЕ є актуальним у всьому світі, і для України зокрема. Розглянемо більш детально перспективи використання ВДЕ в Україні.

Мета представлено дослідження — розглянути сучасний стан розвитку та впровадження відновлювальних джерел енергії в Україні. Дослідити перспективи їх використання.

Матеріали та методи

Війна внесла свої корективи в розвиток вітроенергетики, але й відкрила нові можливості для використання БЕУ. Сьогодні найважливішим є збереження наступних факторів, які забезпечують функціонування держави: продовольчий, енергетичний, інформаційний, екологічний тощо. Оцінка цих чинників з позиції надійного функціонування свідчить, що поряд із продовольчим найважливішими слід вважати енергетичний та

інформаційний. Чим більше джерела енергії зосереджені в одному місці, тим серйознішими будуть наслідки їх знищення для енергетичної безпеки як регіону, так і країни загалом. У зв'язку з цим, в умовах воєнного стану ключовим фактором енергетичної безпеки стає децентралізація енергетичних ресурсів. Такий підхід не лише зміцнює енергетичну стабільність, а й підвищує захищеність пов'язаних з нею інформаційних систем.

Тому необхідно визначити перспективні напрямки забезпечення енергетичної безпеки держави. Для цього необхідно зробити:

- аналіз сучасного стану та перспектив використання ВДЕ як у світі, так і в Україні;
- огляд сучасного стану вітроелектростанцій в Україні, та вплив на них військових дій;
- пошук рішень для забезпечення енергетичної незалежності держави;
- вивчити потенціал вітрової енергії для України;
- пошук нових територій для встановлення вітроелектростанцій;
- на підставі проведених досліджень визначити найбільш ефективні вітроенергетичні установки (ВЕУ) для умов гірничодобувних регіонів;
- вивчити недоліки та переваги БЕУ.

В таблиці 1 наведено районування території України за потенціалом вітрової енергії.

Таблиця 1 – Районування території України за потенціалом вітрової енергії (Dmytrenko & Barandich, 2007)

Район		Показники районування				Оцінка потенціалу вітрової енергії
		Середня річна швидкість ві- тру, м/с	Тривалість (год.) різної швидкості вітру, м/с			
			загальна	>3	>5	
Узбережжя Чорного і Азовського морів, Південний берег Криму, вершини Українських Карпат, Кримських гір	5,5-6,5	1250-6500	5500-6500	3000-5500	20-35	Дуже високий потенціал. Най-більш сприятливі умови вітро-використання
Донецька височина, Приазовська та Причорноморська низовини	5,0-6,0	2250-2750	4500-5000	2000-3200	17-25	Високий потенціал. Сприят-ливі умови вітровикористання
Подільська та Придніпровська височини	4,0-5,0	2250-4750	4000-5500	2250-3000	15-20	Достатній потенціал. Досить сприятливі умови
Поліська та Придніпровська низовини, Волинська височина	3,0-4,5	4000-5000	3500-5000	1500-2800	12-17	Невисокий потенціал. Обме-жено сприятливі умови
Прикарпаття, Закарпатська низовина, доли-ни Українських Карпат, Кримських гір	1,5-2,5	5750-6250	2500-3000	500-1500	10-15	Низький потенціал. Несприят-ливі умови вітровикористання

Загальна встановлена потужність ВЕС в Україні становить 1,9 ГВт, але 1,3 ГВт перебувають під окупацією в Донецькій, Луганській, Херсонській та Запорізькій областях. (Dmytrenko & Barandich, 2007), Україна зупинила понад 2/3 своїх ВЕС. Згідно даних Української вітроенергетичної асоціації (УВЕА) станом вже на початок 2022 року у Херсонській області майже всі ВЕС компанії Vindkraft припинили роботу – працює лише «Новоросійська ВЕС» (9,23 МВт). На «Мирненській ВЕС» згоріла турбіна, знищено транспорт, персонал не може працювати через обстріли. Також зупинено «Сиваську ВЕС» і «Сиваську ВЕС Тотал Ірен» (245,7 МВт), де пошкоджено турбіну, підстанцію та ЛЕП. У Запорізькій області працює лише «Приморська-1» (99,58 МВт) компанії ДТЕК. Решта ВЕС – «Богівська», «Приморська-2», «Орлівська» та «Запорізька ВЕС» – зупинені через пошкодження електромереж і підстанцій у тимчасово окупованому Мелітополі. В Одеській області зупинилась ВЕС «Южне Енерджі» (76,5 МВт), частково працює «Дністровська ВЕС» (9 із 10 турбін). ВЕС «Овід Вінд» (32,67 МВт) залишається в роботі, але техпідтримка GE припинена. На Миколаївщині зупинено три турбіни на ВЕС «Причорноморський» (42,8 МВт) ТОВ «УК «Вітропарки України» (UWEA, 2025).

За результатами проведених досліджень буде доказано, що в умовах воєнного стану і післявоєнного відновлення застосування БЕУ може стати запорукою енергетичної незалежності з урахуванням мінімізації екологічної шкоди.

Обговорення та результати

Міжнародне агентство з відновлювальної енергії (IRENA) зазначає, що перетворення світової енергетичної системи спрямоване на зміцнення енергетичної безпеки та забезпечення ширшого доступу до енергоресурсів. Для держав, які значною мірою залежать від імпорту викопного палива, енергетична

безпека є критично важливою складовою національної безпеки. ВДЕ в даному випадку будуть слугувати альтернативою, що сприятиме диверсифікації енергетичних ресурсів шляхом розвитку локального виробництва енергії, підвищуючи таким чином гнучкість енергосистеми та її здатність протистояти викликам (IRENA, 2025). У 2024 році у світі спостерігався приріст потужностей відновлювальної енергетики (рис. 1).

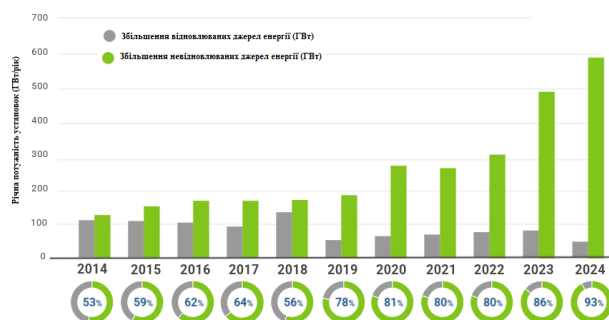


Рисунок 1 – Рекордне збільшення потужностей відновлювальної енергетики у 2024 році (IRENA, 2025)

Глобальна потужність відновлювальної енергетики збільшилася на 585 ГВт за один рік, про це свідчать рекордні темпи зростання на 15,1% на рік, що перевищує їх показники 2023 року на 14,3%. Це зростання визначає стійку тенденцію до щорічного побиття власних рекордів розвитку відновлювальної енергетики, що підкреслює її сильну бізнес- та інвестиційну привабливість. Оскільки вартість електроенергії, яка вироблена з більшості видів відновлювальної енергії, продовжує знижуватися, відновлювальні джерела енергії є не лише

екологічно безпечними, але й найбільш економічно ефективним джерелом енергії для країн всього світу.

Розглянемо основні види ВДЕ і їх зміну на кінець 2024 року (IRENA, 2025).

Сонячна енергетика: зросла на 451,9 ГВт. Лише Китай додав 278 ГВт до загального приросту, за ним слідує Індія (24,5 ГВт).

Гідроенергетика (за винятком гідроакumuлюючих електростанцій): потужність досягла 1283 ГВт, продемонструвавши помітне зростання з 2023 року завдяки Китаю. Ефіопія, Індонезія, Непал, Пакистан, Танзанія та В'єтнам додали понад 0,5 ГВт кожна.

Вітроенергетика: розширення вітроенергетичних потужностей дещо знизилося до 1133 ГВт на кінець 2024 року. У розширенні знову домінували Китай та Сполучені Штати Америки (США).

Біоенергетика: у 2024 році зростання відновилося, збільшившись на 4,6 ГВт потужності порівняно зі зростанням на 3,0 ГВт у 2023 році. Зростання відбулося завдяки Китаю та Франції, які додали по 1,3 ГВт.

Геотермальна енергетика: загальна потужність геотермальної енергії зросла на 0,4 ГВт, лідером стала Нова Зеландія, за нею йдуть Індонезія, Туреччина та США.

Позамережева електроенергія (за винятком Євразії, Європи та Північної Америки): розширення потужностей майже потроїлося, збільшившись на 1,7 ГВт і досягнувши 14,3 ГВт. Зростання домінувало за рахунок автономної сонячної енергетики, яка досягла 6,3 ГВт до 2024 року.

26 березня 2025 року в Абу-Дабі (Об'єднані Арабські Емірати) Міжнародним агентством з відновлювальної енергетики (IRENA) була опублікована Статистика потужностей відновлювальної енергетики за 2025 рік. Вона свідчить про значне зростання потужностей відновлювальної енергетики протягом 2024 року, які досягли 4 448 ГВт. Минулорічний приріст у 585 ГВт становить 92,5% від загального збільшення потужностей, а також рекордні темпи річного зростання (15,1%) (IRENA, 2025).

Хоча 2024 рік став ще одним орієнтиром для зростання потужностей відновлювальної енергетики, прогрес все ще не досягає 11,2 ТВт, необхідних для досягнення глобальної мети – потроєння встановлених потужностей відновлювальної енергетики до 2030 року. Щоб досягти цієї мети, потужність відновлювальних джерел енергії має зростати на 16,6 % щорічно до 2030 року. Крім того, прогрес знову відображає значні географічні диспропорції. Як і в попередні роки, більша частина приросту відбулася в Азії, причому найбільшу частку забезпечив Китай – майже 64% світового приросту потужностей, тоді як країни Центральної Америки та Карибського басейну внесли найменший внесок – лише 3,2%. На країни G7 та G20 у 2024 році припадало відповідно 14,3% та 90,3% нових потужностей (Omelchenko & Konechenkov, 2022).

Сонячна та вітрова енергетика продовжували зростати найбільшими темпами, на їхню частку припадало 96,6% усіх чистих потужностей відновлювальної енергетики у 2024 році. Понад три чверті приросту потужностей припало на сонячну енергетику, яка зросла на 32,2%, досягнувши 1 865 ГВт, за нею йде вітрова енергетика, яка зросла на 11,1%. На сьогодні частка відновлювальної енергії в енергобалансі України становить близько 10%. У порівнянні з Європою, Україна почала розвивати цю галузь із запізненням на 10-20 років – перші учасники ринку з'явилися лише у 2012 році. (Omelchenko & Konechenkov, 2022).

Подальший розвиток було пригальмовано у 2014 році через анексію Криму та війну на Донбасі. Проте після певної зупинки в період 2017-2019 років відбулося стрімке зростання, переважно в секторі сонячної енергетики, що дозволило довести частку «зеленої» енергії до 10%. Водночас повномасштабна війна призвела до втрати частини потужностей – вони були або знищені, або опинилися на тимчасово окупованих територіях (Omelchenko & Konechenkov, 2022).

До 2022 року використання ВДЕ в Україні демонструвало позитивну динаміку. У 2019 році країна увійшла до десятків світових лідерів за темпами розвитку ВДЕ, а вже у 2020 році – до п'ятірки провідних європейських держав у сфері сонячної енергетики. У 2019 році, за даними рейтингу Climatescope від

Bloomberg New Energy Finance (Bloomberg NEF), Україна посіла почесне восьме місце серед 104 країн світу в рейтингу інвестиційної привабливості у сфері розвитку низьковуглецевих джерел енергії та побудови «зеленої» економіки, значно підвищившись із 63-го місця. У 2021 році країна зайняла 48-му позицію серед 136 держав у загальному рейтингу інвестиційного потенціалу за рейтингом Bloomberg NEF (Climatescope, 2019).

13 серпня 2024 року Кабінет Міністрів схвалив Національний план дій з розвитку відновлювальної енергетики до 2030 року. (Cabinet of Ministers of Ukraine, 2024) Документ передбачає досягнення 24 ГВт встановленої потужності ВДЕ та 27% їх частки у загальному кінцевому енергоспоживанні. Для реалізації цього плану необхідно збудувати:

- 6,1 ГВт наземних вітрових електростанцій,
- 12,2 ГВт сонячних електростанцій,
- 876 МВт потужностей на біоенергетиці,
- 40 МВт геотермальної енергетики,
- 4,7 ГВт гідроелектростанцій.

За даними НКРЕКП — Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, на кінець 2021 року (UWEA, 2022), спостерігалася наступна картина щодо ВДЕ у Україні (рис. 2).

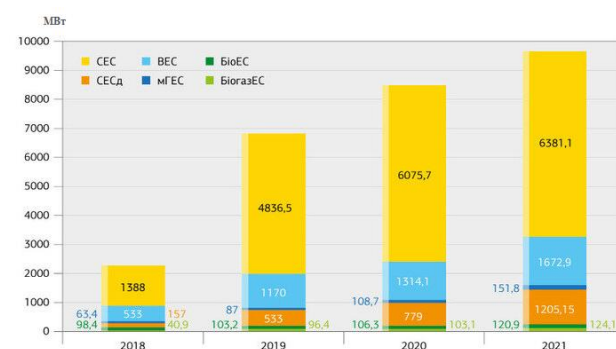


Рисунок 2 – Український сектор ВДЕ на 31 грудня 2021 року (UWEA, 2022)

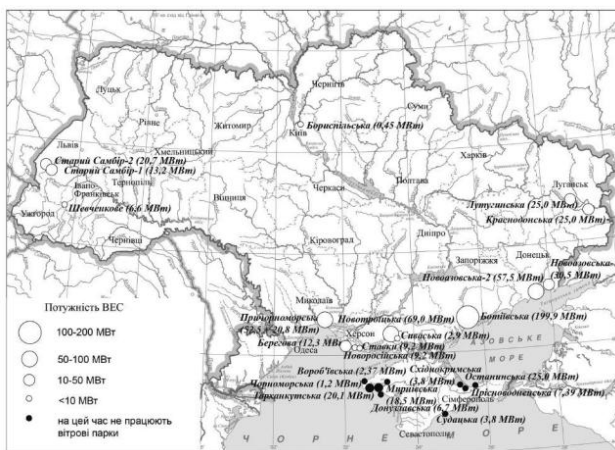
Для потреб країни, насамперед слід відновити ті ТЕС і ГЕС, які ще можливо відремонтувати. Водночас деякі об'єкти зазнали таких серйозних пошкоджень, що відновленню не підлягають. Тому необхідно зводити нові енергетичні потужності, запуск яких обійдеться дешевше і займе менше часу. В першу чергу йдеться про вітроенергетику.

Довоєнний аналіз вітроенергетичного потенціалу показав, що Україну можна було поділити на наступні райони (Dmytrenko & Barandich, 2007):

- найвищий вітроенергетичний потенціал належить узбережжю Чорного та Азовського морів, Південний берег Криму, вершини Карпат та Кримських гір. Цим територіям притаманні оптимальні умови для розвитку вітрових електростанцій (ВЕС) протягом усього року. На цих територіях ефективним є розміщення як потужних ВЕС, так і автономних вітроенергетичних установок (ВЕУ);
- високий потенціал властивий району Донецької височини, Приазовської та Причорноморської низовин;
- достатній вітроенергетичний потенціал належить Придніпровській та Подільській височинам, особливо у холодний період року;
- невисоким вітровим потенціалом відзначаються Придніпровська та Поліська низовини. Тут розподіл вітру нерівномірний, більш потужний у холодний період року, тому тут слід застосовувати тихохідні ВЕУ;
- низький потенціал у Закарпатті, Прикарпатті та на вузьких захищених долинах Українських Карпат та Кримських гір. Тут несприятливі умови для використання ВЕУ, за винятком окремих місць.

Взимку енергетичний потенціал вітру досягає найвищих показників. Середня швидкість вітру цього сезону складає 3,8-4,1 м/с у північних регіонах, 2,6-3,0 м/с – у Закарпатті, 3,8-4,9 м/с – у центральній частині, і зростає до 6 м/с у східних та південних районах України. У гірських регіонах Українських Карпат, а також на узбережжі Чорного й Азовського морів

На рис. 3 наведені потужності збудованих в Україні ВЕС станом на 2018 рік.



– Дмитрівська ВЕС: с. Дмитрівка, Миколаївська обл., 35 МВт. Будівництво було здійснено у дві черги: 2011 рік – 10 агрегатів (25 МВт), і це 4 турбіни у 2012 році. Завдяки розташуванню на північному узбережжі Чорного моря ВЕС працює на повну потужність;

- невисока собівартість виробництва;
- здатність конкурувати з атомною, вугільною та газовою енергетикою;
- відсутність витрат на паливо завдяки невичерпному та доступному джерелу енергії — вітру;

- екологічна безпечність і чистота технології;
- відсутність викидів CO₂ під час виробництва електроенергії;
- незалежність від коливань цін на викопні енергоресурси;
- зменшення енергетичної залежності від імпорту;
- швидке будівництво завдяки модульній структурі;
- потужності, які можуть забезпечити обсяги електроенергії, порівнянні з традиційними джерелами;
- рівномірне розміщення об'єктів по території країни;
- сумісність із сільським господарством та промисловістю поблизу вітрових електростанцій;
- можливість встановлення станцій на техногенно змінених землях у гірничодобувних районах.

Сучасні вітроустановки, незалежно від їх потужності, зазвичай бувають або горизонтально-осьовими або вертикально-осьовими вітроподвигунами. Ці два типи відзначаються найкращими техніко-економічними характеристиками (Medvedieva et al., 2023).

Для максимально ефективного використання енергії вітру необхідно впроваджувати економічно вигідні ВЕУ, які можуть стабільно працювати в автоматичному режимі протягом тривалого часу та забезпечувати надійну роботу при періодичному технічному обслуговуванні. На сьогодні більшість ВЕУ має горизонтальну вісь обертання і пропелерний тип вітроприймача. Такі установки зазвичай починають функціонувати при швидкості вітру 3,5–4,5 м/с, залежно від потужності та конструктивних особливостей. Із зростанням швидкості вітру зростає й частота обертання як вітроподвигуна, так і ротора електрогенератора. Проте генератор виходить на номінальний режим лише при швидкості вітру 8–12 м/с. У діапазоні швидкостей 2–6 м/с потужність, що виробляється, є незначною, тобто використовується лише невелика частина доступної енергії вітру. Крім того, при перевисхідній розрахунковій швидкості обертання вітроподвигуна штучно обмежують, через що значна частина енергії вітру залишається невикористаною. Це і зумовлює невисокий коефіцієнт використання енергії вітру сучасними ВЕУ, який зазвичай становить 0,41–0,47 (Medvedieva et al., 2023; Medvedieva et al., 2024).

З огляду на те, що в більшості регіонів України, зокрема в гірничодобувних зонах, таких як Кривбас, середньорічна швидкість вітру рідко перевищує 3,5–4,5 м/с, застосування ВЕУ з

горизонтальною віссю обертання є малоефективним. Тому доцільніше обрати інший тип ВЕУ, здатний забезпечити максимальний коефіцієнт корисної дії (ККД) навіть за умов низьких вітрових швидкостей (Medvedieva et al., 2024).

Цим вимогам відповідають ВЕУ з вертикальною віссю обертання – на основі роторів Дар'є, Савоніуса, Мاستрува, Еванса та їхніх модифікацій. Вони ефективно працюють при малих швидкостях вітру. До переваг вертикально-осьових ВЕУ належить відносно проста конструкція. Основні вузли – генератор, редуктор та система керування – розміщуються на землі, що значно полегшує технічне обслуговування. До того ж, такі установки не потребують орієнтації по напрямку вітру, що робить їх придатними для місцевостей із нестабільними вітровими потоками (Medvedieva et al., 2024).

З екологічної точки зору, вертикально-осьові ВЕУ мають низку переваг над горизонтальними: вони створюють значно менше шуму, а також радіо- та телеперешкод; у разі руйнування лопатей уламки мають менший радіус розльоту, а ймовірність саморуйнування конструкції нижча; ризик зіткнення лопатей із птахами також менший (Medvedieva et al., 2023).

Запуск обертання у вертикальних вітрогенераторів відбувається практично безшумно, а вироблення електроенергії починається вже при початковій швидкості вітру всього 0,5 м/с. Є можливість встановлення кількох ВЕУ на невеликій площі. Ці особливості забезпечують високу продуктивність і стабільну роботу таких установок (Medvedieva et al., 2023; Medvedieva et al., 2025).

Серед основних переваг вітрогенераторів із вертикальною віссю також варто відзначити (Medvedieva et al., 2023; Medvedieva et al., 2024):

- відсутність гіроскопічних нестабільностей, характерних для систем із горизонтальною віссю обертання;
- здатність надійно функціонувати при прямому підключенні до різних механізмів, таких як водяні насоси та інше обладнання;
- розташування генератора на землі, що суттєво зменшує витрати на його обслуговування порівняно з горизонтальними моделями.

Таким чином можна виділити наступні методи усунення негативного впливу ВЕУ на навколишнє середовище (табл. 2).

Таблиця 2 – Методи усунення негативного впливу ВЕУ на навколишнього середовища (Medvedieva et al., 2024)

Фактори впливу	Методи усунення
Вилучення земельних ресурсів, зміна властивостей ґрунтового шару	Розміщення ВЕУ на невикористовуваних землях. Оптимізація розміщення – мінімізація витрати землі за рахунок залучення техногенно порушених земель. Цілеспрямований облік зміни властивостей ґрунтового шару.
Акустичний вплив (шумові ефекти)	Використання ВЕУ з вертикальною віссю обертання
Вплив на ландшафт і його сприйняття	Облік властивостей ландшафту при розміщенні ВЕУ. Рекреаційне використання ВЕУ. Пошук різних форм опорних конструкцій тощо.
Електромагнітне випромінювання, теле- та радіозв'язок	Використання ВЕУ з вертикальною віссю обертання. Віддалення від комунікацій за рахунок використання техногенно порушених земель.
Вплив на перелітних птахів	Аналіз впливу на птахів. Використання ВЕУ з вертикальною віссю обертання, які мають малий діапазон шуму і розмах вітроколеса
Аварійні ситуації, безпека полонки і відлітання пошкоджених частин ВЕУ	Розрахунок вірогідності полонки вітроколеса, траєкторії і дальності польоту. Оцінка надійності безаварійної роботи ВЕУ. Зонування виробництва поряд із ВЕУ.
Фактори, які покращують екологічну ситуацію	Зменшення сили вітру. Зниження вітрової ерозії ґрунту. Зменшення вітрів з акваторій водоймищ і водосховищ.

Висновки

Попри те, що війна тимчасово уповільнює економічне зростання, вона також продемонструвала можливості внутрішнього застосування ВЕД, як шлях до енергетичної незалежності. Наразі ВЕС демонструють один з найбільш

конкурентоспроможних напрямків отримання електроенергії серед усіх наявних енергетичних технологічних рішень. Навіть у короткостроковій перспективі вітроенергетика – достатньо економічно і екологічно вигідний варіант, незважаючи на початкові капітальні інвестиції.

References

- Afridi, Y. S., Ahmad, K., & Hassan, L. (2021). Artificial intelligence based prognostic maintenance of renewable energy systems: A review of techniques, challenges, and future research directions. *International Journal of Energy Research*, 46(15), 21619–21642. Portico. <https://doi.org/10.1002/er.7100>
- Alam, Md. S., Al-Ismael, F. S., Salem, A., & Abido, M. A. (2020). High-Level Penetration of Renewable Energy Sources Into Grid Utility: Challenges and Solutions. *IEEE Access*, 8, 190277–190299. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3031481>
- Al-Shetwi, A. Q. (2022). Sustainable development of renewable energy integrated power sector: Trends, environmental impacts, and recent challenges. *Science of The Total Environment*, 822, 153645. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153645>
- Atstāja, D. (2025). Renewable Energy for Sustainable Development: Opportunities and Current Landscape. *Energies*, 18(1), 196. <https://doi.org/10.3390/en18010196>

- Cabinet of Ministers of Ukraine. (2024). *On approval of the National Action Plan for Renewable Energy until 2030 and the action plan for its implementation* [Order No. 761-r, August 13, 2024, in Ukrainian]. Verkhovna Rada of Ukraine. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-%D1%80>
- Climatescope. (2019). Climatescope 2019 by Bloomberg NEF. <https://2019.global-climatescope.org>
- Dmytrenko, L. V., & Barandich, S. L. (2007). Wind energy resources in Ukraine [In Ukrainian]. *Naukovi praci Ukraïns'kogo naukovo-doslidnogo gidrometeorologičnogo institutu*, 256, 166–173. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/51529>
- Duggan, J. E. (2025). Recent Progress in Sustainable Energy Systems Development: Investment, Operations, and Decarbonization. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1007/s40518-024-00248-3>
- Erdiwansyah, Mahidin, Husin, H., Nasaruddin, Zaki, M., & Muhibbuddin. (2021). A critical review of the integration of renewable energy sources with various technologies. *Protection and Control of Modern Power Systems*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s41601-021-00181-3>
- Falcone, P. M. (2023). Sustainable Energy Policies in Developing Countries: A Review of Challenges and Opportunities. *Energies*, 16(18), 6682. <https://doi.org/10.3390/en16186682>
- Fernández-Guillamón, A., Gómez-Lázaro, E., Muljadi, E., & Molina-García, Á. (2019). Power systems with high renewable energy sources: A review of inertia and frequency control strategies over time. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 115, 109369. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109369>
- Hadnagy, I., Tar, K., & Molnar, J. (2020). Analysis of the current state of wind power in the world, Europe and Ukraine, especially in Transcarpathia. *Ukrainian Geographical Journal*, 1, 59–70. <https://doi.org/10.15407/ugz2020.01.059>
- Humeniuk, O. M., & Humeniuk, I. I. (2023). Renewable energy in the context of economic and national security threats under Russian aggression. *Podilian bulletin: agriculture, engineering, economics*, 36, 46–52. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2022-16>
- Icaza, D., Vallejo-Ramirez, D., Guerrero Granda, C., & Marin, E. (2024). Challenges, Roadmaps and Smart Energy Transition towards 100% Renewable Energy Markets in American Islands: A Review. *Energies*, 17(5), 1059. <https://doi.org/10.3390/en17051059>
- Igliński, B., & Pietrzak, M. B. (2025). Renewable and Sustainable Energy—Current State and Prospects. *Energies*, 18(4), 797. <https://doi.org/10.3390/en18040797>
- IRENA. (2025). *Renewables in 2024: 5 Key Facts Behind a Record-Breaking Year*. RENA - International Renewable Energy Agency. <https://purl.org/scimeta/298-4>
- Jurasz, J., Canales, F. A., Kies, A., Guezgouz, M., & Beluco, A. (2020). A review on the complementarity of renewable energy sources: Concept, metrics, application and future research directions. *Solar Energy*, 195, 703–724. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.11.087>
- Levkivska, L. V., & Levkivskiy, S. A. (2022). Wind energy of Ukraine: current situation and forecasts for the future [In Ukrainian]. In *Vidnovlŭvana energetika ta energoefektivnist' u XXI stolitti* (pp. 191–193). Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/63092>
- Li, L., Lin, J., Wu, N., Xie, S., Meng, C., Zheng, Y., Wang, X., & Zhao, Y. (2022). Review and outlook on the international renewable energy development. *Energy and Built Environment*, 3(2), 139–157. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.12.002>
- López Prol, J., & Schill, W.-P. (2021). The Economics of Variable Renewable Energy and Electricity Storage. *Annual Review of Resource Economics*, 13(1), 443–467. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-101620-081246>
- Medvedieva, O. O., Halchenko, Z. S., Semenenko, Y. V., Mediany, V. Y., & Simes, V. Y. (2025). Assessment of the energy potential of an anthropogenic facility when it is converted for wind energy generation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1481(1), 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1481/1/012002>
- Medvedieva, O. O., Larionov, H. I., & Halchenko, Z. C. (2024). To the selection of technology parameters for the use of renewable energy sources on man-made disturbed lands. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1319, No. 1, p. 012011). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1319/1/012011>
- Medvedieva, O., Halchenko, Z., Shustov, O., & Akhmetkanov, D. (2023). Prospects for use of man-made disturbed lands in mining regions for the location of renewable energy sources facilities. *Geo-Technical Mechanics*, 165, 17–26. <https://doi.org/10.15407/geotm2023.165.017>
- Nzeanorue, C. C., Sobajo, M. S., Okpala, B. C., Opeyemi, A. M., Stephen, V. I., Madukwe, C. M., Olanrewaju, S. A., George, F. E.-P., Udoh, I. E., Olaleye, T. G., Olumide, A. V., Habeeb, A. O., Godwin, A. N., & Ugbin, O. F. (2024). A Comprehensive Analysis of Sustainable Energy Development: A Review of Existing Research. *Path of Science*, 10(8), 1014–1024. <https://doi.org/10.22178/pos.106-48>
- Omelchenko, V., & Konechenkov, A. (2022). *Ukraine's renewable energy sector before, during and after the war*. Razumkov Centre. <https://purl.org/scimeta/298-5>
- Patankar, N., Sarkela-Basset, X., Schivley, G., Leslie, E., & Jenkins, J. (2023). Land use trade-offs in decarbonization of electricity generation in the American West. *Energy and Climate Change*, 4, 100107. <https://doi.org/10.1016/j.egycc.2023.100107>
- Pecheniuk, A. V., Harasymchuk, I. D., & Patsyur, Y. I. (2024). Prospects and challenges of renewable energy development in Ukraine under martial law conditions [In Ukrainian]. *Podilian bulletin: agriculture, engineering, economics*, 45, 66–72. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-4.9>
- Pedersen, T. T., Victoria, M., Rasmussen, M. G., & Andresen, G. B. (2021). Modeling all alternative solutions for highly renewable energy systems. *Energy*, 234, 121294. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121294>
- Pratiwi, S., & Juerges, N. (2020). Review of the impact of renewable energy development on the environment and nature conservation in Southeast Asia. *Energy, Ecology and Environment*, 5(4), 221–239. <https://doi.org/10.1007/s40974-020-00166-2>
- Prokopov, D., & Bialkowska, O. (2023). Current status and prospects for the development of alternative energy for Ukraine [In Ukrainian]. *Universum*, (2), 25-32. <https://archive.liga.science/index.php/universum/article/view/486>
- Redko, K., & Furs, O. (2020). The current situation and world trends of green energy development. *Scientific bulletin of Mukachevo State University. Series Economics* 7(1), 55–60. <https://purl.org/scimeta/298-1>
- Tkachenko, T. M., & Sehedra, P. F. (2021). Development of renewable energy in Ukraine [In Ukrainian]. In *Ekologična bezpeka deržavi* (pp. 85–89). KNUCA. <https://repository.knuba.edu.ua/handle/987654321/9432>
- Ugwu, J., Odo, K. C., Oluka, L. O., & Salami, K. O. (2021). A Systematic Review on the Renewable Energy Development, Policies and Challenges in Nigeria with an International Perspective and Public Opinions. *International Journal of Renewable Energy Development*, 11(1), 287–308. <https://doi.org/10.14710/ijred.2022.40359>
- UWEA. (2022). Ukraine's wind energy sector in 2021: market overview before the war [In Ukrainian]. UWEA. <https://purl.org/scimeta/298-2>
- UWEA. (2025). Ukraine's wind energy sector in 2024: market overview [In Ukrainian]. UWEA. <https://purl.org/scimeta/298-3>
- Wang, Y., Zhang, D., Ji, Q., & Shi, X. (2020). Regional renewable energy development in China: A multidimensional assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 124, 109797. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109797>
- Weinand, J. M., Hoffmann, M., Göpfert, J., Terlouw, T., Schönauf, J., Kuckertz, P., McKenna, R., Kotzur, L., Linßen, J., & Stolten, D. (2023). Global LCOEs of decentralized off-grid renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 183, 113478. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113478>
- Xayitbayeva, M. S., & Bebitov, S. (2024). Problems, solutions, promising proposals and modern innovative technologies for the use of alternative energy. *Texas Journal of Engineering and Technology*, 36, 9–13. <https://zienjournals.com/index.php/tjet/article/view/5519>
- Xin, L., Sun, H., & Xia, X. (2022). Renewable energy technology innovation and inclusive low-carbon development from the perspective of spatiotemporal consistency. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(8), 20490–20513. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23556-x>
- Zaverbnyi, A., Kis, M., & Bilous, Y. (2023). Problems and prospects for attracting foreign investment in renewable energy projects in Ukraine during the war and post-war periods [In Ukrainian]. *Ekonomika ta suspil'stvo*, 51. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-51-10>
- Zborivets, Yu. B., & Yakimtsov, V. V. (2024). Financing of renewable energy in Ukraine: current state and future trends [In Ukrainian]. *Scientific bulletin of UNFU*, 34(6), 68–75. <https://doi.org/10.36930/40340610>