



КУЗНЄЦОВ
Микола Петрович —
член-кореспондент НАН
України, заступник директора
з наукової роботи Інституту
відновлюваної енергетики
НАН України

ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ СИСТЕМ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

Стенограма доповіді на засіданні
Президії НАН України 16 липня 2025 року

У доповіді наведено актуальні результати досліджень Інституту відновлюваної енергетики НАН України, спрямовані на розв'язання важливих науково-технічних проблем, пов'язаних із використанням відновлюваних джерел енергії. Зазначено, що розвиток науково-прикладних основ забезпечення впровадження відновлюваних джерел енергії сприяє підвищенню енергетичної безпеки України, зменшенню забруднення довкілля та виконанню Україною взятих на себе міжнародних зобов'язань.

Шановний Анатолію Глібовичу!

Шановні колеги!

Мою доповідь присвячено відновлюваним джерелам енергії (ВДЕ) та проблемам, пов'язаним з їх використанням у системах розподіленої генерації. Сьогодні такі слова, як «відновлювані джерела», «зелений перехід», «зелена трансформація», у всіх на слуху, але слід зауважити, що ідея використання ВДЕ з'явилася ще під час енергетичної кризи 1970-х років, коли почали задумуватися про альтернативні джерела енергії. Потім, у 1990-х роках, увага до ВДЕ набула переважно екологічного спрямування — саме тоді почали активно обговорювати зміну клімату, глобальне потепління, заходи щодо запобігання викидам CO₂. Відтоді ВДЕ почали називати зеленою енергетикою. Однак останнім часом питання використання ВДЕ все більше пов'язують з енергетичною безпекою, і для України сьогодні це особливо важливий аспект.

Прийнятий Європарламентом Європейський зелений курс (European Green Deal) містить комплекс заходів, спрямованих на перетворення Європи на кліматично нейтральний континент до 2050 р. Крім того, зелений перехід, або перехід до неуглецевої відновлюваної енергетики, оформлено низкою директив ЄС.

Так, 9 жовтня 2023 р. Рада Євросоюзу офіційно прийняла Директиву про відновлювані джерела енергії — RED III, яка передбачає збільшення загальноєвропейської частки енергії, ви-

робленої з відновлюваних джерел, у загальному кінцевому споживанні до 42,5 % до 2030 р. Хотів би звернути увагу на деякі положення цієї директиви, які безпосередньо стосуються України, а саме:

- введення в дію законів, підзаконних актів та адміністративних положень, необхідних для виконання директиви;
- картографування територій, придатних для розгортання ВДЕ, визначення їх потенціалу і доступних для їх розміщення територій;
- співпраця щодо ВДЕ у спільних проєктах (пріоритет — дахи та фасади будівель, паркувальні й промислові майданчики, деградовані землі тощо), тобто перехід від великих централізованих електростанцій до розподіленої генерації;
- визначення гарантій походження «зеленої» енергії (сертифікація);
- залучення місцевих громад до планування проєктів з розгортання ВДЕ;
- інформаційні та навчальні програми щодо використання ВДЕ.

До того ж, хоча це й досі дискусійне питання, в RED III зазначено, що до 2030 р. країни ЄС мають забезпечити частку використання водню небіологічного походження в промисловості на рівні 42 %, а до 2035 р. — 60 %.

Україна, як кандидат на вступ до ЄС, повинна керуватися положеннями RED III, проте для нас це ускладнюється воєнними діями. Крім того, дотримання положень директиви важливе для України з точки зору залучення європейських інвестицій та отримання європейської допомоги для відбудови й трансформації економіки на новій технологічній базі.

Коротко розглянемо стан відновлюваної енергетики у світі. З року в рік фіксуються все нові рекорди у встановлених потужностях ВДЕ. Так, у 2024 р. вони зросли на 18 %, додавши аж 740 ГВт, з яких потужності сонячної енергетики збільшилися на 602 ГВт, вітрової — на 117 ГВт. За 2024 р. приріст світового виробництва електроенергії з ВДЕ та на АЕС (невуглецева складова) становив понад 80 % загального зростання світової генерації. Загалом у 2024 р. частка відновлюваних джерел у

світовій генерації електроенергії сягнула 32 %. Однак нинішніх темпів недостатньо, щоб виконати положення Паризької угоди до 2030 р.

Слід зауважити, що близько 60 % світового зростання встановлених потужностей ВДЕ припадає на Китай. В Європі частка відновлюваних джерел у загальному постачанні електроенергії сягає вже приблизно 46 % (з урахуванням ГЕС та інших альтернативних джерел). Найактивніше розвивається сонячна енергетика — в європейському енергобалансі вона вперше обігнала вугільну генерацію, продемонструвавши найбільші темпи зростання.

А що ж в Україні? У нас прийняли низку нормативних документів, зокрема Національну економічну стратегію на період до 2030 року (2021) і Національний план з енергетики та клімату на період до 2030 року (2024), які відповідно до Європейського зеленого курсу декларують декарбонізацію економіки, в тому числі й завдяки розвитку ВДЕ. Енергетична стратегія України на період до 2050 року (2023) визначає індикативні показники відновлюваної енергетики — 27 % у валовому споживанні енергії до 2030 р., 70 % у первинному постачанні енергії до 2050 р. та наближення до кліматичної нейтральності до 2060 р. Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року передбачає, що частка ВДЕ в загальному обсязі електрогенерації сягне 29,4 %; основні джерела — вітрова енергетика (40 % загального внеску ВДЕ) та сонячна енергетика (30 % загального внеску ВДЕ, з яких 12 % — активні споживачі, тобто розподілена генерація).

Загалом в Україні спостерігався досить бурхливий розвиток відновлюваної енергетики, особливо з 2019 р., що було пов'язано з введенням зеленого тарифу (рис. 1). Незважаючи на значні втрати встановлених потужностей ВДЕ-генерації внаслідок воєнної агресії РФ (близько 4 ГВт залишилося на окупованих територіях, певну кількість зруйновано внаслідок обстрілів), у 2023 р. близько 10 % електроенергії в Україні було вироблено вітровими та сонячними електростанціями, а якщо врахувати великі ГЕС, ця частка сягає 20 % — це більше, ніж у довоєнний період (рис. 2).

Рис. 1. Встановлена потужність відновлюваних джерел енергії в Україні та об'єкти ВДЕ, що працюють на вільному ринку (RST Energy)

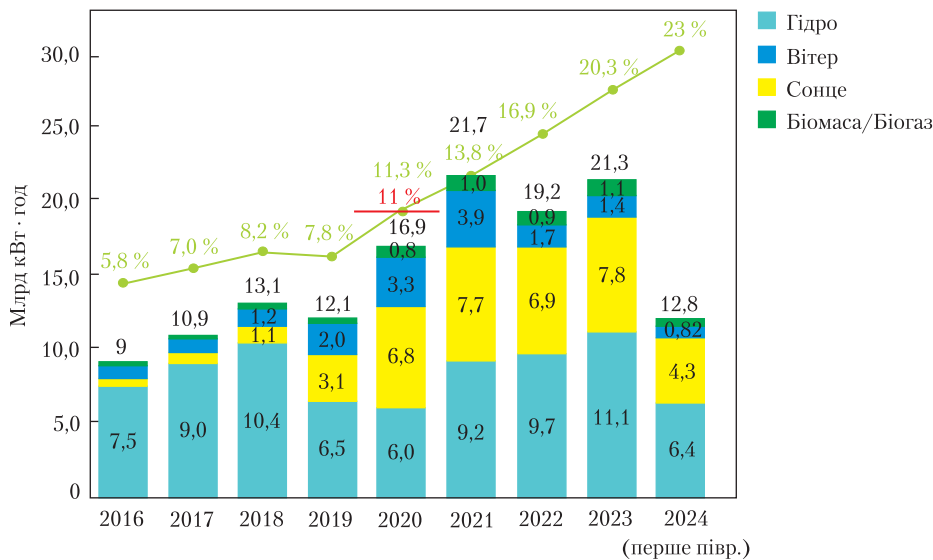
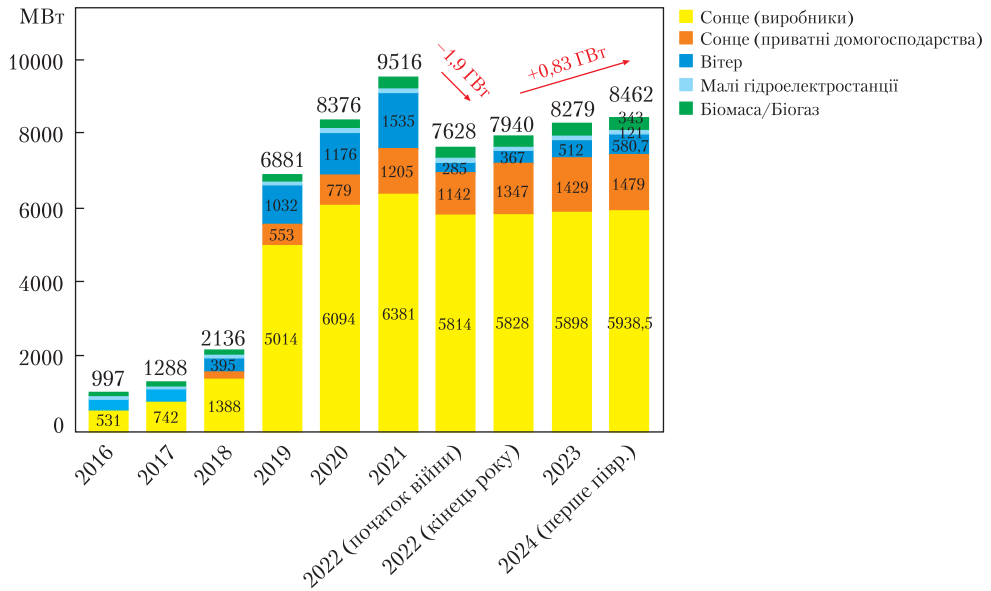


Рис. 2. Обсяги виробництва електроенергії з відновлюваних джерел в Україні (включно з великими гідроелектростанціями) (RST Energy)

Більше того, попри продовження воєнних дій, будівництво нових потужностей триває. Так, протягом 2022—2023 рр. введено в експлуатацію близько 650 МВт нових потужностей ВДЕ, з яких сонячних електростанцій (СЕС) — 371 МВт (з них 287 МВт у домогосподарствах), вітрових електростанцій (ВЕС) — 227 МВт, об'єктів біоенергетики (біомаса та біогаз) — 50 МВт. Упродовж 2024 р. встановлено 945 МВт нових потужностей розподіленої генерації, зокрема 670 МВт ВДЕ, з яких СЕС для власного

споживання — 587 МВт, ВЕС — 44 МВт. Від початку російського вторгнення в Україну побудовано три нові ВЕС: Тилігульську (ДТЕК, 114 МВт), Дністровську (Elementum Energy, UK, 60 МВт), Сколівську (Еко-Оптіма, 54 МВт).

Однак, крім потужностей, що входять до офіційної статистики Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, в Україні почали широко застосовувати малі приватні мікро-станції — комплекси для самозабезпечення, які

складаються з фотомодулів, дизель-генераторів, акумуляторів з відповідним електронним обладнанням (зарядні пристрої, інвертори, перетворювачі тощо). Процес створення таких мікромереж розвивається фактично незалежно від державних зусиль.

Тепер розглянемо проблеми, які створює таке масове інтегрування відновлюваних джерел енергії. Загалом ці проблеми однакові в різних країнах світу. Насамперед це недостатня пропускна спроможність або взагалі відсутність мережевої інфраструктури в районі можливого будівництва електростанції на ВДЕ. В Україні все ускладнюється ще й особливостями процедури приєднання до електромережі. І друга основна проблема — непостійність у часі та залежність від погодних умов генерації ВДЕ, що негативно впливає на балансову надійність системи електропостачання споживачів та потребує додаткових резервних потужностей.

Шляхи вирішення цих проблем добре відомі. По-перше, це вибір оптимальних місць розташування ВДЕ (географічна дисперсія); по-друге, організація служб прогнозування генерації; по-третє, запровадження спеціальних вимог до роботи ВЕС та СЕС в електроенергетичній системі; по-четверте, встановлення високоманеврових балансувальних потужностей.

Доступна частка ВДЕ-електростанцій залежить від гнучкості енергосистеми, тобто від її здатності реагувати на мінливість балансу попиту і пропозиції. Однак в Україні гнучкість енергосистеми була недостатньою ще до початку масового застосування ВДЕ. Головними шляхами підвищення гнучкості енергосистеми є будівництво маневрених електростанцій, підвищення ефективності управління попитом, встановлення обладнання для накопичення енергії (акумулятори, засоби для використання водню як проміжного енергоносія тощо).

Над вирішенням перелічених вище проблем активно працюють фахівці Інституту відновлюваної енергетики НАН України.

З метою розв'язання питань забезпечення стабільності та надійності електропостачання з ВДЕ науковці Інституту виконали роботи з оптимізації вибору місць розташування ВДЕ

та складу генерувальних потужностей, впровадження зберігання енергії та організації прогнозування поточних змін потужності ВДЕ. Ці роботи ми проводили з урахуванням технічних регламентів та законодавчих актів, які передбачають створення балансувальних груп, що складаються з виробників та активних споживачів. Наявність споживачів-виробників зумовлює змінення спрямованості енергопотоків у розподільчих мережах, що залежить від випадкових факторів і потребує перебудови мережевої інфраструктури та зміни алгоритмів управління балансувальними засобами.

Особливістю ВДЕ-генерації є те, що потужність може зростати від нуля до максимуму протягом кількох годин для ВЕС і навіть кількох хвилин — для СЕС, а потім так само швидко спадати. Це потребує оцінки поведінки відновлюваної генерації, причому підходи мають відрізнятися від прийнятих у регулюванні в разі традиційної генерації. Наукове завдання полягає в моделюванні випадкових процесів саме як процесів, а не просто випадкових величин, оскільки тут важливу роль відіграють послідовність подій і кумулятивні показники, які впливають на потреби в акумулювальних потужностях. Науковці інституту розробили низку моделей та методів з урахуванням імовірнісної природи ВДЕ, що дало змогу визначати можливості надійного постачання енергії.

За допомогою таких моделей можна розв'язувати й задачі, які стосуються географічної дисперсії, тобто розосередження ВДЕ по території України, щоб якомога краще врівноважити генерацію в різних точках одночасно.

Вагомим результатом роботи Інституту став Атлас енергетичного потенціалу ВДЕ України, остання редакція якого вийшла у 2024 р. Для створення Атласу було використано ГІС-технології. Доступні для розміщення ВДЕ площі визначено з урахуванням численних обмежень, тобто ми виключали сільськогосподарські та лісові угіддя, водні ресурси, землі з природоохоронним статусом, території забудов, дороги тощо. Визначення територій з високим коефіцієнтом використання встановленої потужності ВДЕ та ймовірнісний підхід до роз-

рахунку максимальних коливань дають змогу істотно зменшити розрахункову потребу в засобах балансування і, відповідно, оптимізувати фінансові витрати.

Ми розіслали Атлас усім органам державної влади, які займаються енергетичною політикою щодо використання ВДЕ. Матеріали Атласу було також використано під час розроблення проєкту Водневої стратегії на період до 2050 року та Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року.

Для міжсезонного балансування енергії запропоновано модель виробництва «зеленого» водню як проміжного енергоносія. Досліджено можливості використання водних ресурсів для електролізу. Визначено технічно досяжний потенціал відновлюваної генерації, частку, доступну для виробництва водню, та потенційні обсяги його виробництва. Розроблено рекомендації з вибору оптимальної пропорції між генерацією та електролізом.

Для планування роботи відновлюваної енергетики в умовах енергоринку в Інституті розроблено інформаційно-аналітичну систему прогнозування поточної потужності ВДЕ, а також створено варіанти локальних енергосистем із комбінованим використанням ВДЕ (сонячної, геотермальної енергії, теплоти доквілля, біопалива) та систем акумуляування. Запропоновані рішення впроваджено в практику для енергозабезпечення окремих будівель, передбачено залежно від потреб споживачів використання модульного принципу для масштабування.

В Інституті відновлюваної енергетики НАН України створено експериментально-дослідний, навчальний та демонстраційний комплекс, у якому встановлено стаціонарні й рухомі сонячні установки загальною електричною потужністю до 20 кВт, геліонагрівачі різних типів, різні системи акумуляування енергії. Передбачено можливість роботи як у мережі, так і автономно. Взимку ми обігріваємо інститутський корпус виключно за допомогою цього комплексу, не користуючись централізованим теплопостачанням.

Наш Інститут здійснює проектування малих сонячних станцій. Так, за нашим проєктом

встановлено першу дахову СЕС у Києві на підприємстві «Ремонтник» потужністю 105 кВт, а також СЕС у Тернопільській області потужністю 4,15 МВт. Серед інших прикладів практичного впровадження отриманих результатів можна назвати науковий супровід побудови локальних енергосистем одного з підприємств компанії МХП — великого комплексу з відгодівлею, переробленням сировини, комбікормовим заводом, елеватором тощо, а також бази відпочинку у Вінницькій області.

Окремі розробки Інституту стосуються використання біопалива, а також невеликих локальних установок. Наприклад, ми створили мобільний гібридний автономний енергокомплекс на базі автомобільного причепа, який містить фотомодулі, дизель-генератор, акумулятор, інвертор, зарядний пристрій та пристрій для очищення води. Один із таких комплексів передали бійцям ЗСУ і отримуємо від них схвальні відгуки. Крім того, інтерес до таких установок виявляють різні територіальні громади, тому зараз ми працюємо над типовим проєктом комплексу.

До речі, робота з територіальними громадами — це важливий напрям діяльності Інституту, який, крім іншого, відповідає європейській директиві RED III. Маємо рамкові угоди з кількома громадами в різних регіонах України, що дозволяє оцінювати різні географічні можливості для реалізації потенціалу ВДЕ в рамках стратегії створення мережі розподіленої генерації електроенергії.

Загалом фахівці нашого Інституту розробили понад 40 національних стандартів у галузі відновлюваної енергетики. Зокрема, у 2021—2024 рр. отримано 22 патенти, розроблено 5 національних стандартів з сонячної енергетики, які схвалено Технічним комітетом і гармонізовано з міжнародними стандартами.

І на завершення коротко розповім про освітній напрям нашої діяльності та міжнародну співпрацю. У згаданій вище директиві RED III йдеться, зокрема, про організацію навчальних програм з використання ВДЕ. Співробітники нашого Інституту розробили освітні програми і читають лекції в Національному технічному

університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» в рамках науково-освітнього об'єднання «Спільна кафедра відновлюваної енергетики», що діє на факультеті електроенерготехніки та автоматики. Разом із Київським академічним університетом готуємо до впровадження в територіальних громадах проекти з розбудови енергетичних співтовариств на базі ВДЕ. Виявляється, що проблема з кадрами в громадах дуже серйозна, є навіть випадки, коли функції енергетика виконував місцевий вчитель фізики. Для підготовки фахівців з енергоощадності на малих та середніх підприємствах дуже корисним став досвід, набутий нами під час участі в реалізації проектів UNIDO/GEF.

Науковці нашого Інституту брали участь у виконанні проекту «Українські стійкі енергетичні системи» в рамках академічної співпраці в регіоні Балтійського моря, а також спільного проекту з IVL Swedish Environmental Research Institute (Швеція) та НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», за яким на базі КПІ було створено віртуальну лабораторію з моделювання процесів сталого розвитку в енергетиці. Разом з Українським науково-технологічним центром (УНТЦ) ми розпочали виконання міжнародного проекту «Відновлювана енергетика для зміцнення інфраструктури України через навчання та проектування».

Проекти, що стосуються «зеленого» водню, наш Інститут виконує у співпраці з енергетичною асоціацією «Українська воднева рада», ТОВ «Водень України», а також за підтримки уряду Німеччини з німецькими партнерами з Hamburg Institut Research. Крім підготовки нормативної документації для сертифікації «зеленого» водню, розроблено низку стандартів щодо фотогеліоенергетичного обладнання, гармонізованих з європейськими стандартами.

Отже, зелена трансформація енергетики залишається головним трендом світового розвитку. Рушієм цього процесу є екологічні (кліматичний вплив), економічні (енергетична безпека) та соціальні фактори. Для України роз-

виток ВДЕ-генерації сприятиме підвищенню енергетичної стійкості держави, посиленню її енергонезалежності, розширенню залученості громадськості та зміцненню міжнародної співпраці.

Характерною особливістю відновлюваних джерел порівняно з традиційною енергетикою є нерівномірність їхньої роботи та негарантованість потужності, що створює низку проблем, які потребують наукового супроводу. Проведені фундаментальні дослідження дають змогу знайти оптимальні шляхи вирішення проблеми інтеграції відновлюваної енергетики в єдину енергосистему. Важливим є також перехід від централізованої генерації до розподіленої, в рамках якої можна реалізувати оптимальне поєднання різнотипних джерел енергії, наблизити генерацію до споживачів та зменшити втрати електроенергії.

Стратегія використання відновлюваних джерел енергії має ґрунтуватися на ретельному вивченні природного потенціалу ВДЕ і наявності технічних можливостей для його використання.

Актуальними напрямками наукових досліджень у цій галузі є такі:

- розв'язання задач оптимізації систем розподіленої генерації;
- забезпечення прогнозованості енергетики та балансової надійності;
- розроблення алгоритмів використання засобів для зберігання енергії;
- проведення оцінки економічної ефективності, привабливості та ризикованості інвестиційних проектів у ВДЕ-енергетиці.

Крім того, ключовими факторами відбудови енергетики України на нових технологічних засадах є розширення освітньої діяльності та підготовки кваліфікованих кадрів, посилення інформаційної роботи на рівні громад та ефективне використання міжнародного досвіду.

Дякую за увагу!

За матеріалами засідання підготувала О.О. Мележик

Mykola P. Kuznietsov

Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0497-7439>

RENEWABLE ENERGY SOURCES AND THEIR USE FOR DISTRIBUTED GENERATION SYSTEMS

Transcript of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, July 16, 2025

The report presents the current research results of the Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, aimed at solving important scientific and technical problems related to the use of renewable energy sources. It is noted that the development of scientific and applied foundations for the implementation of renewable energy sources contributes to enhancing Ukraine's energy security, reducing environmental pollution, and fulfilling the international obligations undertaken by Ukraine.

Cite this article: Kuznietsov M.P. Renewable energy sources and their use for distributed generation systems (transcript of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, July 16, 2025). *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2025. (9): 65—71. <https://doi.org/10.15407/visn2025.09.065>