

ДЯЧЕНКО ОЛЕКСАНДР ВАСИЛЬОВИЧ ✉ – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та кібербезпеки енергосистем, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7232-6585>; e-mail: diachenko.a.v@ukr.net.

ГАПОН ДМИТРО АНАТОЛІЙОВИЧ – доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри автоматизації та кібербезпеки енергосистем, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8609-9707>; e-mail: dmytro.hapon@kpi.edu.ua.

БАЖЕНОВ ВОЛОДИМИР МИКОЛАЙОВИЧ – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та кібербезпеки енергосистем, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5450-8382>; e-mail: fider141@gmail.com.

АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

У статті проведено ґрунтовний аналіз Національного плану дій з розвитку відновлюваної енергетики до 2030 року, що визначає стратегічні орієнтири переходу України на нову модель енергетичного сектору. Особлива увага приділяється розгляду динаміки зростання частки відновлюваних джерел у різних секторах енергетики: електроенергетиці, теплопостачанні та охолодженні, а також у транспорті. В роботі показано, що саме тепловий сектор має стати головним рушієм досягнення цільового показника у 27 % частки відновлюваних джерел енергії у валовому кінцевому споживанні енергії, головним чином завдяки широкому використанню біомаси. Разом із тим, відзначено зростаючу роль вітрової та сонячної енергетики у виробництві електроенергії, що відповідає глобальним трендам швидкого зниження вартості цих технологій. У статті наголошується, що реалізація поставлених завдань потребує врахування низки викликів, серед яких сталій розвиток біоенергетики без загрози для довкілля, інтеграція нестабільних відновлюваних потужностей у мережу, необхідність розвитку систем накопичення енергії та інфраструктури для електротранспорту. Також проаналізовано прогнози внеску окремих технологій у секторальному вимірі: теплові насоси, сонячні колектори та геотермальна енергія розглядаються як додаткові інструменти диверсифікації, які підвищують стійкість системи. Результати дослідження свідчать, що успіх енергетичної трансформації залежатиме не лише від досягнення кількісних показників, але й від здатності забезпечити збалансований розвиток усіх сегментів, створити належні інституційні умови та залучити інвестиції у критично важливі сфери. Таким чином, виконання положень Національного плану дій з відновлюваної енергетики є не лише завданням енергетичної політики, а й важливим кроком у напрямку підвищення енергетичної безпеки, економічної стійкості та екологічної відповідальності України в умовах сучасних викликів. Водночас у статті підкреслюється, що довгостроковий успіх можливий лише за умови узгодження державної стратегії з реальними ресурсними можливостями, розвитком локальних ринків біопалива та технологій зберігання енергії, а також активної участі громад та бізнесу у процесі енергетичної модернізації. Такий підхід дає змогу не лише реалізувати формальні цілі, але й закласти підґрунтя для сталого розвитку економіки та підвищення конкурентоспроможності країни у європейському енергетичному просторі.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії; біомаса; сонячна енергетика; вітрова енергетика; системи накопичення енергії; геотермальна енергетика; валове кінцеве енергоспоживання.

Вступ. Сучасна світова енергетика перебуває в епіцентрі глибинних змін, які формують нову парадигму розвитку національних економік. Перехід від викопних джерел палива до відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) уже давно перестав бути виключно екологічною вимогою. Він перетворився на один із ключових інструментів зміцнення енергетичної безпеки, економічної стійкості та конкурентоспроможності держав. Для України, яка з одного боку має величезний природний потенціал у сфері ВДЕ, а з іншого стикається з безпрецедентними викликами війни та руйнуванням критичної інфраструктури, цей перехід набуває особливої актуальності.

Проект Національного плану дій з розвитку відновлюваної енергетики до 2030 року (НПД ВЕ) [1, 2] задає нові орієнтири й визначає амбітну ціль забезпечити не менше 27 % частки ВДЕ у валовому кінцевому енергоспоживанні країни. Досягнення цієї мети передбачає комплексний розвиток трьох основних секторів електроенергетики, теплопостачання й охолодження, а також транспорту. Проект також розкриває структуру майбутньої генерації, прогнозуючи, які саме технології

забезпечать необхідний внесок у досягнення цільових показників.

У статті зроблено критичний аналіз проєкту НПД ВЕ, враховуючи як кількісні параметри, так і якісні аспекти його реалізації. Для цього використано прогнозовану динаміку розвитку ВДЕ в Україні у 2020–2030 роках (рис. 1–5).

Постановка проблеми. Традиційно енергетика України будувалася на домінуванні централізованих теплових і атомних електростанцій, що забезпечували стабільність і базові навантаження. Така модель залишалася відносно стійкою упродовж десятиліть, але водночас створювала високу залежність від викопних ресурсів і вразливість у разі перебоїв із постачанням. У сучасних умовах до цих структурних проблем додалися виклики воєнного часу: знищення інфраструктури, зниження виробничих потужностей, проблеми з логістикою та потреба у швидкому відновленні зруйнованих енергетичних об'єктів [2–4].

Водночас Україна задекларувала інтеграцію до європейського енергетичного ринку й узяла на себе кліматичні зобов'язання, які передбачають скорочення викидів парникових газів. Поєднання цих чинників робить перехід до ВДЕ не стільки вибором, скільки

© О. В. Дяченко, Д. А. Гапон, В. М. Баженов, 2025



Ця робота ліцензується відповідно до **Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)**
Конфлікт інтересів: Автори заявили про відсутність конфлікту

неминучістю. Однак запропоновані у НІД ВЕ траєкторії потребують критичної оцінки з огляду на їхню реалістичність. Важливим є питання відповідності цілей доступним фінансовим, технічним і кадровим ресурсам, а також здатності національної енергосистеми інтегрувати значні обсяги відновлюваної генерації. Проєкт також слід розглядати крізь призму ризиків, пов'язаних із балансуванням системи, потребою у масштабному розвитку накопичення енергії, сталим використанням біомаси та рівнем суспільної підтримки трансформаційних процесів [1, 2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Станом на кінець 2024 року частка ВДЕ у світових встановлених потужностях досягла 46 %. Незважаючи на те, що це майже половина глобальної енергетичної системи, питання інтеграції відновлюваних потужностей у мережу, забезпечення її гнучкості та адаптації до змінного характеру генерації залишаються критично важливими для перетворення ВДЕ на провідне джерело електроенергії у світі [5].

Протягом 2024 року було зафіксовано найбільше зростання потужностей відновлюваної енергетики за весь час спостережень: додано 585 ГВт, що становить приріст на 15,1 % у порівнянні з попереднім роком. Відновлювані технології забезпечили рекордні 92,5 % усіх нових енергетичних потужностей, причому домінуюча частка припала на сонячну та вітрову генерацію. Зокрема, сонячна енергетика додала понад 452 ГВт, що становить більш ніж три чверті всіх нових ВДЕ, а вітрова енергетика забезпечила ще 113 ГВт приросту [5].

Разом з тим, аналіз регіонального розподілу демонструє значні дисбаланси. Найбільша частка нових потужностей зосереджена у Китаї, США та країнах Європейського Союзу, на які припадає 489 ГВт (83,6 % від загальносвітового показника). Натомість Африка додала лише 4,2 ГВт (0,7 %), а малі островні держави, що розвиваються, навіть попри зростання на 9,3 %, мають сукупну потужність лише 9 ГВт, що відповідає 0,2 % світового рівня [5].

Попри рекордні показники 2024 року, темпи нарощування потужностей є недостатніми для виконання домовленостей COP28 (28-ма Конференція Сторін Conference of the Parties рамкової конвенції ООН про зміну клімату, що відбулася у Дубаї (ОАЕ) 2023 року) щодо потроєння глобальних відновлюваних потужностей до 11 ТВт у 2030 році. Для досягнення цілі, що узгоджується зі сценарієм утримання глобального потепління в межах 1,5 °C, щорічні темпи зростання мають перевищувати 1120 ГВт упродовж наступних шести років. Таким чином, сучасна динаміка розвитку ВДЕ, попри очевидний прогрес, вимагає істотного прискорення, ширшої географічної рівномірності та інтеграції розподілених технологій, що створюватиме основу для справедливого та інклюзивного енергетичного переходу [5].

Європейський Союз, до якого прагне інтегруватися Україна, уже демонструє високу динаміку: у низці країн (Данія, Португалія, Іспанія) частка ВДЕ в електроенергетиці перевищує 50 %, а в

теплопостачанні активно впроваджуються теплові насоси й біоенергетичні проєкти. Особливий акцент робиться на системах накопичення енергії та цифровізації мереж, які дозволяють інтегрувати значні обсяги нестабільної генерації.

В Україні існує значний потенціал використання відновлюваних джерел енергії, серед яких біомаса здатна покрити до 20 % загального обсягу енергоспоживання, а геотермальні ресурси розглядаються як додатковий напрям диверсифікації енергетичного балансу країни. Водночас швидке зростання кількості сонячних і вітрових електростанцій створює нові виклики для енергосистеми, зокрема проблему забезпечення стабільного балансування мережі та підтримання її надійності в умовах високої частки змінюваної генерації. У цьому контексті важливим є не лише ефективне використання різних відновлюваних джерел, але й поступова інтеграція енергетичного сектору України до Європейського Союзу, що передбачає гармонізацію національних стратегій і планів з амбітними кліматичними цілями ЄС та адаптацію до європейських стандартів сталого розвитку [5–15].

Мета статті. Проведення комплексного аналізу проєкту розвитку відновлюваної енергетики України, що включає розгляд технологічної структури прогнозованої генерації у секторі електроенергетики, теплопостачання та транспорту, а також аналіз ключових викликів і бар'єрів на шляху реалізації, таких як сталий розвиток біоенергетики, інтеграція нестабільних відновлювальних джерел, розвиток систем накопичення енергії та модернізація інфраструктури.

Виклад основного матеріалу. У статті здійснюється комплексний аналіз Національного плану дій з розвитку відновлюваної енергетики, який має стратегічне значення для формування нової моделі енергетичного сектору України [1]. Йдеться не лише про формальне встановлення кількісних цілей, яких необхідно досягти до 2030 року, а й про виявлення тих глибинних тенденцій, які визначатимуть траєкторію розвитку країни на десятиліття вперед. План слід розуміти як елемент довгострокової державної політики, що поєднує завдання енергетичної безпеки, економічної модернізації та виконання міжнародних кліматичних зобов'язань. Він окреслює нові принципи функціонування енергетики, що базуються на диверсифікації джерел, підвищенні частки відновлюваних технологій та інтеграції України до європейського енергетичного простору [2].

Особливу увагу у цьому контексті варто звернути на те, що запропоновані у плані орієнтири відображають не лише короткотермінові пріоритети, але й більш масштабні процеси трансформації. Йдеться про поступове зниження залежності від викопних ресурсів, розвиток нових форм енергогенерації, стимулювання інновацій та створення внутрішнього ринку для сучасних енергетичних технологій. Усе це формує якісно нову логіку розвитку, де енергетика перестає бути лише галуззю, що забезпечує базові

потреби суспільства, і перетворюється на один із рушіїв економічного зростання, підвищення конкурентоспроможності та соціальної стабільності [3].

Аналіз НПД ВЕ виходить далеко за межі перевірки відповідності планових показників. Його завдання полягає у виявленні того, яким чином досягнення цілей сприятиме структурній перебудові енергетики, наскільки реалістичною є імплементація запланованих заходів у наявних умовах, і які соціально-економічні наслідки матиме реалізація обраної стратегії. Іншими словами, йдеться не лише про оцінку кількісних індикаторів, а й про розуміння того, як розвиток відновлюваних джерел формує нову модель енергетичної системи країни. Щоб простежити ці процеси у динаміці, важливо звернутися до кількісних даних (рис. 1–5), що відображають етапи, прогнози та пропорції змін у секторальному та технологічному вимірах. Саме вони дозволяють побачити не тільки масштаб амбіцій, але й ті конкретні механізми, за допомогою яких Україна планує досягти поставлених цілей.

Для комплексного розуміння трансформації енергетичного сектору України важливо розглядати не лише зростання відновлюваних джерел, а й загальні зміни в структурі кінцевого енергоспоживання. Відновлювана енергетика не функціонує у відриві від ширшого енергетичного балансу: її інтеграція змінює як обсяги попиту на традиційні ресурси, так і пропорції між окремими секторами. Саме тому першим кроком аналізу є вивчення прогнозованої динаміки кінцевого енергоспоживання у розрізі теплопостачання, електроенергії та транспорту, що дозволяє оцінити, в яких сегментах відбуватимуться найбільші структурні зрушення (рис. 1).

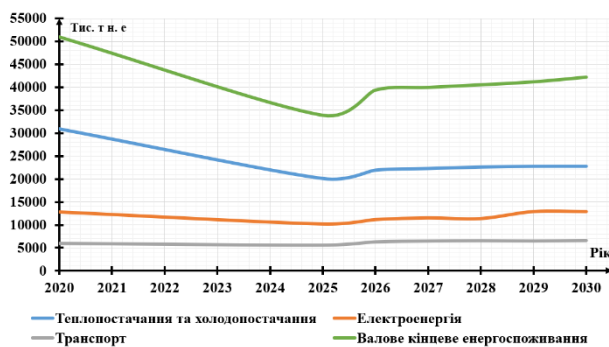


Рисунок 1 – Очікуваний обсяг валового кінцевого споживання енергії до 2030 року

У 2020 році валове кінцеве енергоспоживання перевищувало 50 939 тис. т нафтового еквівалента (н.е.), з яких найбільша частка припадала на теплопостачання та холодопостачання (понад 30 922 тис. т н.е.), тоді як електроенергія становила близько 12 805 тис. т н.е., а транспорт – 5 998 тис. т н.е (рис. 1) [1].

До 2030 року прогнозується зниження загального енергоспоживання до рівня близько 42 168 тис. т н.е. При цьому найбільш суттєве скорочення очікується у секторі теплопостачання, де споживання зменшиться майже на третину. Сектор електроенергії залишиться

відносно стабільним із незначним зростанням до 12 901 тис. т н.е., тоді як транспорт покаже мінімальне збільшення до 6 614 тис. т н.е (рис. 1) [1].

Таким чином, упорядкованість структури енергоспоживання України характеризується зменшенням загальних обсягів і поступовим перерозподілом на користь більш ефективних і стабільних сегментів, що створює умови для глибшої інтеграції ВДЕ.

Тепер розглянемо зростання частки відновлюваних джерел у трьох ключових секторах електроенергетики, теплопостачання та транспорту, а також у загальному кінцевому валовому енергоспоживанні (рис. 2).

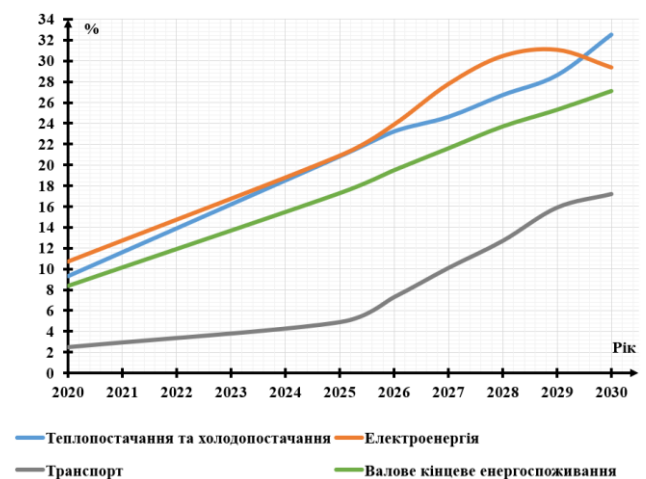


Рисунок 2 – Національна індикативна ціль ВДЕ у валовому кінцевому споживанні енергії до 2030 року, %

Найбільш стрімке зростання демонструє сектор теплопостачання та холодопостачання: від 9,3 % у 2020 році до прогнозованих 32,5 % у 2030 році [1]. Така динаміка свідчить про суттєву переорієнтацію теплової енергетики на відновлювані ресурси, насамперед на біомасу. Електроенергетика рухається більш помірними темпами від 10,7 % до 29,4 % за той самий період, проте у масштабі системи навіть цей приріст означає десятки мільярдів кВт·год «зеленої» генерації. Транспорт, що має з найнижчі показники близько 2,5 % у 2020 році, до кінця десятиліття за прогнозом виходить на 17,2 %, і це вказує на майбутнє поширення електромобілів, електрифікації залізниць та біопалива (рис. 2). У підсумку загальний показник досягає цільових 27 % у валовому кінцевому споживанні за планом розвитку ВДЕ [1].

Варто зазначити, що розбіжність (рис. 2), коли теплопостачання та холодопостачання має більший відсоток 32,5 % порівняно з валовим кінцевим енергоспоживанням 27 %, є результатом секторальної нерівномірності переходу на ВДЕ. Вищий показник у опаленні відображає його пріоритет як основного каналу скорочення вуглецевого впливу, тоді як загальна частка є компромісним значенням, зваженим із менш розвиненими секторами, як транспорт [1].

Із рис. 2 помітно, що розвиток ВДЕ в Україні базується не на одноманітному зростанні, а на різновекторних траєкторіях, де кожен сектор

розвивається відповідно до своїх можливостей і обмежень.

Зазначені вище тенденції конкретизує рис. 3, на якому зображено внесок відновлюваних джерел у кінцеве енергоспоживання в абсолютних величинах – у тис. т н.е. До 2030 року сумарний показник сягає понад 11 595 тис. т н.е., що відповідає стратегічній меті зазначеній в [1].



Рисунок 3 – Внесок відновлювальної енергії в енергоспоживання кожного сектору до кінцевого валового енергоспоживання

Найбільший внесок забезпечує сектор теплопостачання та холодопостачання, обсяг якого за планом зросте у понад 2,5 рази, до 7400 тис. т н.е. Електроенергетика зросте до близько 3 365 тис. т н.е., а транспорт до 830 тис. т н.е. (рис. 3) [1].

Дані рис. 3 підтверджують, хоча громадська увага часто зосереджена на вітрових чи сонячних електростанціях, справжнім рушієм досягнення запланованих показників стає тепла енергетика на основі біомаси. Водночас цей акцент створює потенційні ризики, оскільки надмірна залежність від одного виду ресурсу робить систему вразливою до коливань його доступності.

На рис. 4 детально розглянута структура відновлюваної енергії у теплопостачанні. Найпомітнішою є крива, що відображає зростання використання біомаси (тверда та біогаз): з 2816 тис. т н.е. у 2020 році до 5984 тис. т н.е. у 2030-му (за планом). Такий стрімкий приріст робить біомасу беззаперечним лідером цього сектору, а її частка наближається до 81 %. Загальна крива підтверджує, що весь сектор зростає у понад 2,5 рази.

Інші технології такі як сонячна тепла енергія, теплові насоси та геотермальна енергетика розвиваються значно скромніше, але їх роль не варто недооцінювати. Теплові насоси, які до 2030 року забезпечуватимуть 1226 тис. т н.е., стають важливим елементом міських систем опалення й охолодження, дозволяючи інтегрувати електроенергію з ВДЕ у тепловий баланс. Сонячні колектори та геотермальна енергія мають незначний масштаб, проте вони уособлюють напрямок диверсифікації й створюють умови для довгострокової стійкості (рис 4).

Отримані показники свідчать про значний потенціал біоенергетики, яка згідно [1] до 2030 року буде забезпечувати понад 80 % усього сектору теплопостачання та охолодження. Водночас помітно,

що розвиток теплових насосів, сонячних колекторів і навіть обмеженої геотермальної генерації, хоча й має менший масштаб, створює важливу основу для диверсифікації. Це означає, що поряд із домінуванням біомаси поступове розширення спектру технологій залишається необхідною умовою довгострокової стійкості системи.

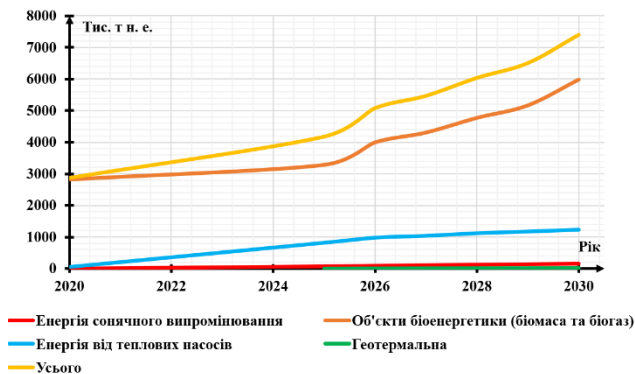


Рисунок 4 – Оцінка загального внеску, очікуваного за кожним джерелом відновлювальної енергії для досягнення індикативних цілей на 2030 рік

Прогнозовані обсяги виробництва електроенергії з ВДЕ проілюстровані на рис 5. Загальна динаміка є чітко зростаючою: від 15 997 ГВт·год у 2020 році до понад 43 894 ГВт·год у 2030-му. Найбільший внесок роблять вітрові та сонячні електростанції. Їхні показники впевнено зростають і до кінця періоду вони забезпечують разом понад 70 % відновлюваної електроенергії. Це відповідає глобальним тенденціям, де саме ці технології є найдешевшими і наймасштабованішими.

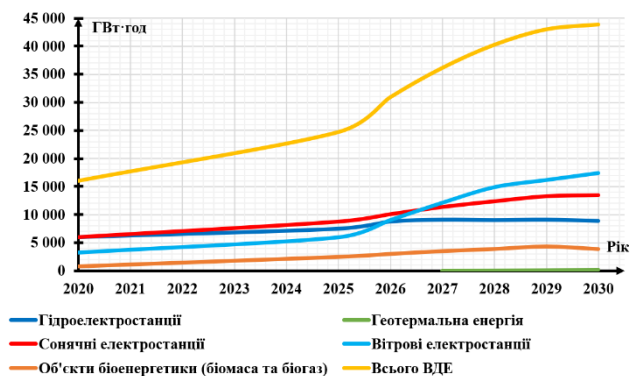


Рисунок 5 – Оцінка загального обсягу виробництва електроенергії очікуваного з кожного джерела відновлювальної енергії в Україні для досягнення обов'язкових індикативних цілей на 2030 рік

Важливим доповненням виступає гідроенергетика, яка демонструє відносну стабільність у своєму розвитку. Її внесок за прогнозами до 2030 року буде на рівні близько 8908 ГВт·год, і хоча це не нова технологія, вона забезпечує критично необхідну маневреність. Біоенергетика за прогнозами буде поступово зростати, та до 2030 року становитиме 3850 ГВт·год [1]. Це особливо важливо з огляду на її здатність працювати у базовому режимі, компенсуючи нестабільність сонця й вітру. Натомість геотермальна

енергетика за планом розвитку досягне рівня 210 ГВт·год.

Балансування енергосистеми в умовах зростання ВДЕ. Структура виробництва електроенергії з ВДЕ стає більш різноманітною, проте водночас залежить від двох провідних технологій – сонячної та вітрової. Такий вибір є раціональним з економічної точки зору, але потребує інвестицій у системи зберігання та балансування, щоб уникнути ризиків нестабільності.

Досягнення орієнтує у 27 % частки відновлюваної енергії у валовому кінцевому споживанні до 2030 року вимагає розуміння механізмів, які забезпечують таке зростання (рис 2). Найбільший внесок робить сектор теплопостачання та охолодження, де вирішальну роль відіграє біомаса у різних формах від традиційного використання деревини до сучасних біогазових установок і пелетних котлів. Її частка настільки вагома, що без цього ресурсу виконання плану практично неможливе. Проте саме така залежність породжує низку викликів: потрібно забезпечити сталу систему постачання сировини, впровадити стандарти якості біопалива, розбудувати інфраструктуру для його транспортування та зберігання. Крім того, надмірне використання біомаси може призвести до конкуренції із продовольчим сектором або до зростання тиску на екосистеми, якщо не буде запроваджено механізмів контролю за вирубкою чи землекористуванням.

У сфері електроенергетики ключову роль відіграють сонячні та вітрові станції, які стають головними рушіями зростання відновлюваної генерації. Їхній розвиток в Україні зумовлений природними передумовами наявності сонячного потенціалу на півдні та сході країни, а також придатними умовами для вітрової енергетики у приморських і степових регіонах. Водночас зростання частки цих технологій супроводжується питанням інтеграції у мережу. Система, що історично ґрунтувалася на базових джерелах атомних і теплових станціях, не пристосована для роботи з великою кількістю нестабільних потужностей. Це означає, що паралельно зі встановленням нових сонячних і вітрових станцій необхідно розвивати мережеву інфраструктуру, системи балансування та накопичення енергії. Інакше значна частина виробленої електроенергії ризикує залишатися невикористаною або ж призводити до перебоїв у роботі системи.

Транспортний сектор робить свій внесок у досягнення загальної мети завдяки двом взаємодоповнювальним напрямкам: електрифікації та впровадженню біопалив. Розвиток електротранспорту, особливо громадського і залізничного, дозволяє поступово замінювати традиційні види палива. Проте для цього потрібне розгортання масштабної інфраструктури: зарядних станцій для електромобілів, модернізації контактних мереж для поїздів, адаптації енергосистеми до нових навантажень. Використання біопалива, у свою чергу, є швидшим і менш затратним шляхом підвищення частки ВДЕ у транспорті, але воно пов'язане з дискусіями про сталий характер

виробництва. Біоетанол і біодизель можуть знизити залежність від нафтопродуктів, але за умови, що їхнє виробництво не шкодить продовольчій безпеці й не призводить до непрямого зростання викидів через зміну землекористування.

Кожен сектор стикається з власними проблемними місцями. Для теплопостачання це необхідність створення збалансованої системи використання біомаси, яка б не руйнувала екологічну рівновагу та не створювала надмірної конкуренції за ресурси. Для електроенергетики основний виклик полягає в інтеграції великих обсягів нестабільної генерації, що потребує технологічних інновацій у сфері зберігання енергії та управління мережами. Для транспорту головним обмеженням є швидкість створення інфраструктури, здатної підтримати перехід на нові види палива й забезпечити масове використання електротранспорту.

У результаті стає очевидним, що стратегія розвитку відновлюваної енергетики не може зводитися лише до встановлення кількісних показників. Її успіх визначатиметься тим, наскільки ефективно буде вибудовано комплексну систему політик, яка охоплює управління ресурсами, модернізацію мереж, фінансові механізми підтримки та соціальну адаптацію. Лише поєднання цих елементів дасть змогу перетворити амбітні прогнози на реальні досягнення, а енергетичну трансформацію на довготривалій і стабільний процес.

Системи накопичення енергії та маневреність мережі. Одним із ключових викликів розвитку ВДЕ в Україні є їхня нерівномірність та залежність від природних умов. Сонячні та вітрові електростанції, що за прогнозами складатимуть понад дві третини відновлюваної генерації у 2030 році [1], характеризуються нестабільністю виробітку. Це означає, що в окремі години доби може спостерігатися надлишок електроенергії, а в інші дефіцит. За таких умов традиційна енергосистема, орієнтована на роботу базових потужностей, не здатна забезпечити ефективний баланс без додаткових інструментів.

Системи накопичення енергії (СНЕ) та високоманеврові генеруючі потужності з можливістю швидкого пуску та зупинки становлять ключові технологічні рішення для інтеграції значних обсягів відновлюваної енергетики без ризику для надійності енергопостачання. Станом на 2025 рік в Україні встановлена потужність високоманеврових установок оцінюється у 399 МВт, а до 2030 року очікується її зростання до 906 МВт. Паралельно розвивається сегмент систем накопичення енергії: на початок 2025 року їхня встановлена потужність становить 296 МВт, тоді як до 2030 року прогнозується досягнення рівня 656 МВт. Такі показники свідчать про поступове формування критично важливої інфраструктури, здатної реагувати на коливання генерації з ВДЕ та забезпечувати стійкість енергосистеми [1].

Найбільш поширеним типом накопичувачів у світі залишаються літій-іонні батареї, що відзначаються високою швидкістю реагування на зміну навантаження та здатністю стабілізувати частоту в режимі реального часу. В Україні вже реалізуються пілотні проекти

промислових батарейних систем, які підтверджують їхню ефективність у підтримці резервів та балансуванні мережі. Перспективним напрямом є також розвиток гідроакумуляуючих станцій, здатних забезпечувати довготривале вирівнювання графіків електричних навантажень завдяки акумуляції потенційної енергії води. Доповнюють цю структуру водневі технології, у яких надлишкова електроенергія використовується для електролізу води з подальшим зберіганням водню, що створює можливість не лише для довготривалого накопичення, але й для використання у промисловості та транспорті.

Розвиток СНЕ в Україні тісно пов'язаний із завданням інтеграції до європейської енергосистеми. Європейський досвід підтверджує, що масштабне впровадження накопичувачів знижує вартість резервування, підвищує стійкість мережі та стимулює інвестиції у ВДЕ. Для України це означає потребу у формуванні сприятливого нормативного середовища, фінансових механізмів підтримки та залученні приватного капіталу. Без належного розвитку систем накопичення і високоманеврових потужностей досягнення цілі у 27 % ВДЕ у кінцевому енергоспоживанні ризикує залишитися обмеженим технічними бар'єрами.

Висновки. Комплексний аналіз Національного плану дій з розвитку відновлюваної енергетики до 2030 року дав змогу оцінити як загальні, так і секторальні цілі, визначені документом. Встановлений орієнтир у 27 % частки відновлюваних джерел енергії у валовому кінцевому енергоспоживанні виглядає амбітним, проте досяжним за умови ефективної реалізації інституційних і технічних заходів. Особливої уваги заслуговує тепловий сектор, де біоенергетика визначена як головний рушій зростання, а також електроенергетика, що розвиватиметься завдяки сонячним і вітровим станціям. Аналіз технологічної структури засвідчив надмірну концентрацію на біомасі у теплопостачанні та нестабільних джерелах у виробництві електроенергії, що створює ризики для балансу системи.

Оцінка викликів підтвердила, що ключовими бар'єрами є забезпечення сталого використання біомаси, інтеграція великих обсягів нестабільної генерації, недостатній розвиток систем накопичення енергії та потреба у масштабній модернізації мережевої інфраструктури. Водночас транспортний сектор демонструє потенціал для зростання завдяки електрифікації та біопаливам, проте потребує активнішої підтримки держави та розвитку відповідної інфраструктури.

Реалізація НПД ВЕ може стати основою для структурної перебудови енергетики України, якщо поставлені цілі будуть поєднані з ефективними інструментами політики та врахуванням реальних ресурсних можливостей держави.

Список літератури

1. Про затвердження Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та плану заходів з його виконання : Розпорядження Кабінету Міністрів України від

13.08.2024

№ 761-р.

URL:

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-p#Text..>

2. Регламент Європейського Парламенту і Ради (ЄС) № 2018/1999 від 11 грудня 2018 року про управління Енергетичним Союзом і пом'якшення наслідків зміни клімату : Регламент Європ. Парламенту і Ради (ЄС) від 11.12.2018. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_030-18#n118.
3. Дяченко О. В., Гапон Д. А., Карпалюк І. Т., Донецька Т. С. Аналіз стану та проблеми розвитку електроенергетики в Україні. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Гідрравлічні машини та гідроагрегати. 2024. № 1. С. 83–87. DOI: <https://doi.org/10.20998/2411-3441.2024.1.12>.
4. Гриб О. Г., Сендерович Г. А., Дяченко О. В., Крапалюк І. Т., Швець С. В. Аналіз перспектив розвитку цифрової енергетики в Україні. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Гідрравлічні машини та гідроагрегати. 2020. № 1. С. 85–90.
5. International Renewable Energy Agency (IRENA). Renewable capacity statistics 2025. Abu Dhabi, 2025. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2025/Mar/IRENA_DAT_RE_Capacity_Statistics_2025.pdf.
6. Гриб О. Г., Сендерович Г. А., Дяченко О. В., Швець С. В., Ярова І. С. Від класичної до цифрової підстанції. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Гідрравлічні машини та гідроагрегати. 2021. № 1. С. 88–94.
7. Balancing Ukraine's energy system: challenges under high renewable energy penetration and the COVID-19 pandemic / T. Kurbatova et al. *Second International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2021)*, Kryvyi Rih, Ukraine, 19–21 May 2021. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128005007>.
8. The potential of Ukrainian agriculture's biomass to generate renewable energy in the context of climate and political challenges – The case of the Kyiv region / A. Wąs et al. *Energies*. 2022. Vol. 15, no. 18. 6547. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15186547>.
9. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). Designing a carbon neutral energy system of Ukraine: increasing the uptake of biofuels and biomass in Ukraine. 2021. 60 p. URL: https://unece.org/sites/default/files/2023-06/UNECE_RES_Bio_Report_UA_Final.pdf.
10. Maintaining Ukraine's grid reliability under rapid growth of renewable electricity share: challenges in the pre-war, war-time, and post-war periods / T. Kurbatova et al. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*. 2024. Vol. 40. P. 41–54. DOI: <https://doi.org/10.54337/ijsep.8112>.
11. Integrating Ukraine's energy sector into the EU. Forging ties that will hold in the future / G. Cretti et al. *Clingendael Policy Brief*. 2024. URL: <https://www.clingendael.org/publication/integrating-ukraines-energy-sector-eu>.
12. Bandura R., Romanishyn A. Striving for Access, Security, and Sustainability: Ukraine's Transition to a Modern and Decentralized Energy System. *CSIS | Center for Strategic and International Studies*. URL: <https://www.csis.org/analysis/striving-access-security-and-sustainability>.
13. Міністерство економіки, довкілля та сільського господарства України. Національний план з енергетики та клімату на період до 2030 року. 2024. 375 с. URL: <https://me.gov.ua/view/bb0b9ef5-ea96-4b8a-8f2f-471faf32c9df>.
14. National Comprehensive Green Transition Assessment Report for Ukraine / I. Krustok et al. 2025. 200 p. URL: <https://green-agenda.org/storage/public/JiZC2a7L1Q04d71C9XbSzuEsBymgA-metaVWtyYWluZU5hdGlvbmlkZS9XNzZXNzbWVudCAoMSkucG Rm-.pdf>.
15. Demchuk Y., Liventseva H., Popadynets T. Geothermal potential of Ukraine. *2023 International Conference and Exhibition (ICE) : Geoscience solutions to the energy trilemma*, Madrid, Spain, 6–8 November 2023. 2023. URL: https://www.researchgate.net/publication/386136535_Geothermal_potential_of_Ukraine.

References

1. Ukraine, Cabinet of Ministers of Ukraine. (2024, Aug. 13). *Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine no. 761-r, Pro zatverdzhennia Natsionalnoho planu dii z vidnovliuvanoi enerhetyky na period do 2030 roku ta planu zakhodiv z yoho vykonannia [On approval of the National Renewable Energy Action Plan for the period up to 2030 and the action plan for its implementation]*. [Online]. Available:

- <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-p#Text> (in Ukrainian)
- European Parliament, Council of the European Union. (2018, Dec. 11). *Regulation (EU) 2018/1999 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the Governance of the Energy Union and Climate Action*. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2018/1999/oj>
 - O. Diachenko, D. Gapon, I. Karpaliuk, and T. Donetska, "Analysis of the state and problems of electricity development in Ukraine," *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic Machines and Hydraulic Units*, no. 1, pp. 83–87, Nov. 2024, doi: <https://doi.org/10.20998/2411-3441.2024.1.12> (in Ukrainian)
 - O. Hryb, G. Senderovich, O. Diachenko, I. Karpaliuk, and S. Shvets, "Analysis of digital energy development prospects in Ukraine," *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic Machines and Hydraulic Units*, no. 1, pp. 85–90, Dec. 2020. (in Ukrainian)
 - International Renewable Energy Agency (IRENA), "Renewable capacity statistics 2025," Abu Dhabi, Apr. 2025. [Online]. Available: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2025/Mar/IRENA_DAT_RE_Capacity_Statistics_2025.pdf
 - O. Hryb, G. Senderovich, O. Diachenko, S. Shvets, and I. Yarova, "From classic to digital substation," *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic Machines and Hydraulic Units*, no. 1, pp. 88–94, Dec. 2021. (in Ukrainian)
 - T. Kurbatova, I. Sotnyk, O. Prokopenko, R. Sidortsov, and Y.-x. Tu, "Balancing Ukraine's energy system: Challenges under high renewable energy penetration and the COVID-19 pandemic," in *Second International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2021)*, Kryvyi Rih, Ukraine, May 19–21, 2021, doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128005007>
 - A. Waş et al., "The potential of Ukrainian agriculture's biomass to generate renewable energy in the context of climate and political challenges — The case of the Kyiv region," *Energies*, vol. 15, no. 18, Sep. 2022, Art. no. 6547, doi: <https://doi.org/10.3390/en15186547>
 - United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), "Designing a carbon neutral energy system of Ukraine: Increasing the uptake of biofuels and biomass in Ukraine," Mar. 2021. [Online]. Available: https://unece.org/sites/default/files/2023-06/UNECE_RES_Bio_Report_UA_Final.pdf
 - T. Kurbatova, R. Sidortsov, G. Trypolska, D. Hulak, and I. Sotnyk, "Maintaining Ukraine's grid reliability under rapid growth of renewable electricity share: Challenges in the pre-war, war-time, and post-war periods," *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, vol. 40, pp. 41–54, Apr. 2024, doi: <https://doi.org/10.54337/ijsepm.8112>
 - G. Cretti, J. Soldatiuk-Westerveld, G. D'Amico, O. Lapenko, and L. van Schaik, "Integrating Ukraine's energy sector into the EU. Forging ties that will hold in the future," *Clingendael Policy Brief*, Sep. 2024. [Online]. Available: <https://www.clingendael.org/publication/integrating-ukraines-energy-sector-eu>
 - R. Bandura and A. Romanishyn, "Striving for access, security, and sustainability: Ukraine's transition to a modern and decentralized energy system." CSIS | Center for Strategic and International Studies. [Online]. Available: <https://www.csis.org/analysis/striving-access-security-and-sustainability>
 - Ministry of Economy of Ukraine, "National Energy and Climate Plan of Ukraine 2025-2030," 2024. [Online]. Available: <https://me.gov.ua/view/8c2d13af-bd66-43d1-a13a-20c1c7d652a0>
 - I. Krustok, G. Gladkykh, B. Leshchysyn, E. Tserkašina, and J. P. Silva, "National comprehensive green transition assessment report for Ukraine," Green Agenda for Armenia, Georgia, Moldova and Ukraine, May 2025. [Online]. Available: <https://green-agenda.org/storage/public/JiZC2a7L1Q04d71C9XbSzzuEsBymgA-metaVWtyYWluZU5hdGlvbmFsQXNzZXNzbWVudCAoMSkucGRm-.pdf>
 - Y. Demchuk, H. Liventseva, and T. Popadynets, "Geothermal potential of Ukraine," in *2023 International Conference and Exhibition (ICE)*, Madrid, Spain, Nov. 6–8, 2023. Amer. Assoc. Petroleum Geologists (AAPG), 2023. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/386136535_Geothermal_potential_of_Ukraine

Надійшло (received) 03.10.2025

UDC 621.31

OLEKSANDR DIACHENKO ✉ – Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor of the Department of Automation and Cybersecurity of Power Systems, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7232-6585>; e-mail: diachenko.a.v@ukr.net.

DMYTRO GAPON – Doctor of Technical Sciences, Docent, Head of the Department of Automation and Cybersecurity of Power Systems, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8609-9707>; e-mail: dmytro.gapon@khi.edu.ua.

VOLODYMYR BAZHENOV – Candidate of Technical Sciences (PhD), Docent, Associate Professor of the Department of Automation and Cybersecurity of Power Systems, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"; Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5450-8382>; e-mail: fider141@gmail.com.

ANALYSIS OF THE PROSPECTS FOR RENEWABLE ENERGY DEVELOPMENT IN UKRAINE

The article provides a comprehensive analysis of the National Action Plan for the Development of Renewable Energy, which outlines the strategic guidelines for Ukraine's transition to a new model of the energy sector. Particular attention is given to the dynamics of increasing the share of renewable sources across different energy sectors – electricity, heating and cooling, as well as transport. The study shows that the thermal sector is expected to become the main driver in achieving the target of a 27 % share of renewable energy in gross final energy consumption, primarily due to the wide use of biomass. At the same time, the growing role of wind and solar energy in electricity generation is highlighted, which corresponds to global trends of rapidly declining costs of these technologies. The article emphasizes that the implementation of the stated objectives requires addressing a number of challenges, including the sustainable development of bioenergy without environmental risks, the integration of variable renewable capacities into the grid, the necessity of developing energy storage systems, and the expansion of infrastructure for electric transport. Forecasts of sectoral contributions of individual technologies are also analysed: heat pumps, solar collectors, and geothermal energy are considered as complementary tools of diversification that enhance system resilience. The findings indicate that the success of the energy transition will depend not only on achieving quantitative targets but also on ensuring balanced development of all segments, creating adequate institutional conditions, and attracting investment in critically important areas. Thus, the implementation of the National Action Plan for Renewable Energy is not only a matter of energy policy but also an essential step toward strengthening Ukraine's energy security, economic resilience, and environmental responsibility under current challenges. At the same time, the article underscores that long-term success will be possible only if the national strategy is aligned with real resource capacities, the development of local biofuel markets and energy storage technologies, as well as the active involvement of communities and businesses in the energy modernization process. Such an approach allows not only for the fulfilment of formal targets but also for laying the foundation of sustainable economic development and enhancing the country's competitiveness within the European energy space.

Keywords: renewable energy sources; biomass; solar energy; wind energy; energy storage systems; geothermal energy; gross final energy consumption.