

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНИХ ПЕРЕВАГ ТА ПОТЕНЦІАЛУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ

Бондар О.Б.¹, Цицюра Н.І.², Дух О.І.², Воробець С.Б.¹, Лемега Н.М.³

¹Західноукраїнський національний університет
вул. Львівська, 3, 46009, м. Тернопіль

²Кременецька обласна гуманітарно-педагогічна академія
вул. Лицейна, 1, 47003, м. Кременець

³Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Університетська, 1, 79007, м. Львів

olexandr.bondar91@gmail.com, smaragds@ukr.net, nadiia.lemega@lnu.edu.ua

У статті розглядаються екологічні переваги та потенціал використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в Україні, зокрема сонячної, вітрової енергетики, гідроенергетики та біомаси. Відновлювані джерела енергії є ключовими для сталого розвитку, оскільки їх використання сприяє зменшенню негативного впливу на довкілля, зниженню викидів парникових газів і скороченню залежності від викопного палива. Однак кожен із видів ВДЕ має свої екологічні особливості та виклики, що необхідно враховувати при оцінці їхнього впливу на природу та під час планування енергетичних стратегій.

Для оцінки екологічних переваг ВДЕ було використано систему критеріїв, яка включає: зменшення викидів парникових газів, вплив на біорізноманіття, споживання природних ресурсів та довготривалу стійкість. Оцінка за цими критеріями виконувалася за п'ятибальною шкалою, що дозволило глибше проаналізувати вплив різних джерел енергії на довкілля та визначити їх екологічний потенціал для сталого розвитку. Результати показують, що сонячна та вітрова енергетика мають найвищі показники у зниженні викидів парникових газів і найменший негативний вплив на довкілля. Сонячна енергія, завдяки розвитку технологій, має високий потенціал застосування навіть у регіонах із помірним сонячним випромінюванням, що значно розширює її географічну доступність.

Гідроенергетика також позитивно впливає на скорочення викидів CO₂, однак має певні екологічні обмеження, оскільки створення водосховищ може змінювати природні річкові екосистеми, впливати на міграцію водних організмів та спричиняти викиди метану. Біомаса є вуглецево нейтральним джерелом, проте її стійкість залежить від наявності природних ресурсів, що необхідні для вирощування біомаси, а також від контролю за конкуренцією з продовольчими культурами.

Дослідження демонструє, що сонячна та вітрова енергетика мають найвищий потенціал розвитку завдяки високій екологічній ефективності та тривалій стабільності. Гідроенергетика залишається надійним джерелом енергії для регіонів із великим запасом водних ресурсів, однак вимагає ретельного управління з метою зменшення шкоди для місцевих екосистем. Біомаса, у свою чергу, має значний потенціал для відновлення та утилізації органічних відходів, але потребує раціонального використання для зниження негативного екологічного впливу.

Відновлювані джерела енергії потребують системного підходу для інтеграції в енергетичну систему країни, що включає екологічні, економічні та соціальні аспекти їх використання. Використання нових технологій, зокрема систем зберігання енергії та інтелектуальних мереж, може підвищити ефективність ВДЕ та забезпечити стабільне енергопостачання в умовах зростаючого попиту. Стратегічне впровадження ВДЕ сприятиме екологічній рівновазі, зниженню парникових викидів та зміцненню енергетичної незалежності України в рамках глобальної енергетичної трансформації. *Ключові слова:* відновлювані джерела енергії, екологічна оцінка, сталий розвиток, сонячна енергетика, вітрова енергетика, гідроенергетика, біомаса, зниження викидів, біорізноманіття, економічна ефективність.

Methodological approaches to assessing the environmental benefits and potential of renewable energy sources in Ukraine.
Bondar O., Tsytsiura N., Dukh O., Vorobets S., Lemeha N.

This article discusses the environmental benefits and potential of renewable energy sources (RES) in Ukraine, including solar, wind, hydropower and biomass. Renewable energy sources are key to sustainable development, as their use helps to reduce the negative impact on the environment, lower greenhouse gas emissions and reduce dependence on fossil fuels. However, each type of RES has its own environmental features and challenges, which should be taken into account when assessing their environmental impact and planning energy strategies.

To assess the environmental benefits of RES, a system of criteria was used, which includes: reduction of greenhouse gas emissions, impact on biodiversity, consumption of natural resources and long-term sustainability. These criteria were assessed on a five-point scale, which allows for a deeper analysis of the environmental impact of different energy sources and determination of their environmental potential for sustainable development. The results show that solar and wind energy have the highest rates of greenhouse gas emission reduction and the least negative impact on the environment. Solar energy, due to the spread of technology, has a high potential for use even in regions with moderate solar radiation, which significantly expands its geographical availability.

Hydropower also has a positive impact on reducing CO₂ emissions, but has certain environmental limitations, as the creation of reservoirs can alter natural river ecosystems, affect the migration of aquatic organisms and cause methane emissions. Biomass is a carbon-neutral source, but its sustainability depends on the availability of natural resources needed to grow biomass, as well as on controlling competition with food crops.

The study shows that solar and wind power have the highest development potential due to their high environmental efficiency and long-term stability. Hydropower remains a reliable source of energy for regions with abundant water resources, but requires careful management to reduce damage to local ecosystems. Biomass, for its part, has significant potential for the recovery and utilisation of organic waste, but needs to be used rationally to reduce negative environmental impacts.

Renewable energy sources require a systematic approach to be integrated into the country's energy system, including environmental, economic and social aspects of their use. The use of new technologies, such as energy storage systems and smart grids, can increase the efficiency of RES and ensure a stable energy supply in the face of growing demand. Strategic implementation of renewable energy sources will contribute to ecological balance, reduce greenhouse gas emissions and strengthen Ukraine's energy independence as part of the global energy transformation. *Key words:* renewable energy sources, environmental assessment, sustainable development, solar energy, wind energy, hydropower, biomass, emission reduction, biodiversity, economic efficiency.

Постановка проблеми. Сучасний світ стикається з великими викликами у забезпеченні енергетичної незалежності та екологічної стійкості [5]. Основну частину енергії у багатьох країнах, включно з Україною, все ще забезпечують викопні види палива, що значно навантажують екосистеми та сприяють посиленню кліматичних змін через високий рівень викидів парникових газів [4]. Використання викопного палива призводить до забруднення повітря, погіршує стан здоров'я населення та негативно впливає на довкілля [1, 14]. У зв'язку з цим виникає потреба в пошуку й активному впровадженні відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), які сприятимуть підтримці екологічної рівноваги та забезпеченню сталого розвитку країни.

Актуальність дослідження. Відновлювані джерела енергії [13] є вкрай актуальними для України, яка прагне досягти енергетичної незалежності та мінімізувати негативний вплив на природне середовище [6]. Використання ВДЕ, таких як сонячна [7], вітрова [2], гідроенергетика [4] та біомаса [13], відкриває широкі можливості для значного зменшення викидів CO₂, що позитивно впливає на екосистеми та здоров'я людей. На тлі глобальної енергетичної кризи, що супроводжується зростанням цін на викопні ресурси та їх зменшенням, дослідження екологічних переваг ВДЕ стає особливо важливим. Це надає можливість Україні створити ефективну енергетичну стратегію, орієнтовану на сталий розвиток.

Зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження відновлюваних джерел енергії тісно переплітається з глобальними екологічними та енергетичними завданнями, які ставлять за мету досягнення енергетичної безпеки, скорочення викидів парникових газів і зниження негативного впливу на біорізноманіття. Зокрема, ВДЕ розглядаються як ключовий елемент у реалізації Паризької угоди та інших міжнародних екологічних ініціатив. Україна має можливість впроваджувати сучасні технології та методики оцінки екологічного потенціалу ВДЕ, що допоможе знизити енергетичну залежність, підвищити економічну стабільність і створити нові робочі місця в секторі зеленої енергетики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наукові дослідження та публікації підтверджують значний потенціал ВДЕ для забезпечення сталого розвитку України [8]. Так, дослідження інституту

відновлюваної енергетики НАН України [6] та звіти міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії (IRENA) свідчать про високу екологічну ефективність сонячної та вітрової енергетики [9] у зниженні викидів CO₂ [11]. Важливий внесок робить і глобальна рада з вітрової енергетики (GWEC), яка підкреслює перспективи розвитку цього напрямку. Проте, незважаючи на вагомі здобутки, екологічні аспекти ВДЕ потребують подальшого дослідження, особливо з урахуванням унікальних природних умов України.

Виділення невирішених частин загальної проблеми. Незважаючи на великий обсяг досліджень, є аспекти, що потребують додаткового розгляду. Це, зокрема, детальне вивчення впливу ВДЕ на біорізноманіття, а саме потенційні негативні наслідки для екосистем від розташування сонячних та вітрових електростанцій. Також є потреба вивчити тривалу стійкість різних типів ВДЕ у специфічних умовах клімату та ресурсів України. Означена стаття присвячена розгляду цих аспектів, пропонуючи шляхи їх вирішення і рекомендації для подальшого впровадження ВДЕ в Україні.

Метою дослідження є оцінка екологічних переваг і викликів застосування відновлюваних джерел енергії в Україні для підтримки сталого розвитку, враховуючи зниження викидів парникових газів, вплив на біорізноманіття, раціональне використання природних ресурсів та забезпечення довготривалої стійкості.

Матеріали і методи досліджень.

1. Для оцінки екологічних переваг відновлюваних джерел енергії використовується авторська методика на підставі основних критеріїв.

Зниження викидів парникових газів – оцінка того, наскільки ефективно джерело енергії сприяє зменшенню викидів CO₂ та інших парникових газів.

Вплив на біорізноманіття – визначає, яким є вплив джерела на природні екосистеми, рослинний і тваринний світ.

Використання природних ресурсів – аналізує, які обсяги ресурсів, зокрема землі, води та мінералів, потрібні для експлуатації джерела.

Довготривала стійкість – характеризує стабільність і надійність джерела енергії в перспективі тривалого використання.

Для кожного критерію застосовується п'ятибальна шкала, що дозволяє ретельно оцінити еко-

логічні переваги та недоліки джерела енергії. Детальний опис кожного рівня наведено нижче:

Зниження викидів парникових газів

1/5: Джерело спричиняє значні викиди парникових газів у процесі виробництва чи експлуатації.

2/5: Викиди суттєві, але нижчі, ніж у традиційних джерелах енергії.

3/5: Викиди помірні, але все ж відчутні на різних етапах використання.

4/5: Викиди відсутні або мінімальні, але можливі незначні на окремих етапах, таких як виготовлення або переробка матеріалів.

5/5: Джерело є повністю екологічним та не спричиняє викидів парникових газів під час експлуатації.

Вплив на біорізноманіття

1/5: Джерело значно порушує екосистеми та спричиняє втрату біорізноманіття.

2/5: Відчутний негативний вплив на екосистеми, особливо у вразливих природних зонах.

3/5: Помірний вплив на екосистеми, який може бути контрольованим.

4/5: Негативний вплив є мінімальним і зосереджується у певних регіонах або видах.

5/5: Джерело має практично нульовий вплив на екосистеми та біорізноманіття.

Використання природних ресурсів

1/5: Джерело вимагає значних обсягів природних ресурсів, що може призводити до їх виснаження.

2/5: Ресурси використовуються у великих обсягах, що чинить значний тиск на довкілля.

3/5: Використання ресурсів є помірним і зазвичай збалансоване з їх відновленням.

4/5: Джерело раціонально використовує ресурси, що мінімізує його вплив на природу.

5/5: Використання ресурсів є мінімальним або відсутнім, що робить джерело максимально екологічним.

Довготривала стійкість

1/5: Джерело не є стійким у довгостроковій перспективі через можливе виснаження ресурсів або погіршення екологічних умов.

2/5: Довготривала стійкість обмежена залежністю від ресурсів чи зовнішніх факторів.

3/5: Стійкість можлива, але залежить від кліматичних та інших умов.

4/5: Джерело є стабільним у довготривалій перспективі, але частково залежить від певних умов.

5/5: Джерело абсолютно стійке та придатне для тривалого використання без обмежень.

2. Для оцінки потенціалу використання відновлюваних джерел енергії в різних галузях економіки України застосовуються такі основні критерії:

Доступність ресурсу – аналізуємо наявність та поширення енергетичного ресурсу в конкретному регіоні.

Технологічна готовність – визначаємо рівень розвитку технологій, потрібних для впровадження та ефективного використання джерела енергії.

Вартість впровадження – фінансові витрати, пов'язані з установкою та експлуатацією систем для використання джерела.

Екологічний вплив – оцінюємо можливі екологічні наслідки для навколишнього середовища.

Економічна ефективність – визначаємо вигоду та рентабельність використання енергетичного джерела як у короткостроковому, так і в довгостроковому періоді.

Для детальної оцінки кожного джерела використовуємо п'ятибальну шкалу, що допомагає оцінити кожен критерій окремо. Нижче наведено детальний опис рівнів для кожного критерію.

1. Доступність ресурсу

1/5: Ресурс є дуже рідкісним або малодоступним, що робить його використання економічно не вигідним.

2/5: Ресурс є, але в обмеженій кількості або з низькою якістю, що ускладнює його ефективне застосування.

3/5: Ресурс є доступним у помірних обсягах, але потребує додаткових витрат або зусиль для оптимального використання.

4/5: Ресурс досить поширений і забезпечує можливість його використання в енергетичній системі.

5/5: Ресурс дуже доступний, що дозволяє його широке використання без значних обмежень.

2. Технологічна готовність

1/5: Технології перебувають на початковому етапі або мало досліджені, що робить впровадження важким.

2/5: Технології доступні, але їхня ефективність невисока або вони потребують удосконалення.

3/5: Технології на середньому рівні розвитку, придатні до використання, але вимагають оптимізації.

4/5: Технології добре розвинені, але можуть потребувати адаптації до конкретних умов.

5/5: Технології є високоєфективними, готові до масштабного застосування та перевірені на практиці.

3. Вартість впровадження

1/5: Дуже висока вартість впровадження, що робить проєкт економічно недоцільним без значної фінансової підтримки.

2/5: Значні витрати, які можуть бути виправдані лише за певних умов або за наявності додаткових ресурсів.

3/5: Помірні витрати, але можуть вимагати додаткових інвестицій або субсидій.

4/5: Витрати є прийнятними, що робить проєкт економічно вигідним у середньостроковій перспективі.

5/5: Низька вартість впровадження, що забезпечує швидке повернення інвестицій і фінансову вигоду.

4. Екологічний вплив

1/5 Використання джерела створює серйозні негативні наслідки для довкілля, наприклад, деградацію екосистем або виснаження ресурсів.

2/5: Джерело має значний вплив на довкілля, але існують методи зменшення негативних наслідків.

3/5: Джерело має помірний вплив на екосистеми, екологічні ризики є контрольованими.

4/5: Негативний вплив незначний, шкода для екосистем мінімальна.

5/5: Джерело екологічно безпечне, не шкодить довкіллю та може сприяти покращенню екологічної ситуації.

5. Економічна ефективність

1/5: Джерело є економічно не вигідним, вимагає значних інвестицій без гарантованої окупності.

2/5: Економічна ефективність низька, вигоди обмежені або ризикові.

3/5: Джерело є помірно вигідним, але потребує довгострокових інвестицій для окупності.

4/5: Джерело є економічно вигідним, а інвестиції окупаються в середньостроковій перспективі.

5/5: Джерело дуже економічно вигідне, з швидкою окупністю інвестицій та стабільною фінансовою вигодою.

Результати досліджень. 1. Оцінка екологічних характеристик відновлюваних джерел енергії продемонструвала значні відмінності у їх впливі на навколишнє середовище, потреби в ресурсах та стійкості в довготривалій перспективі. Дослідження базується на чотирьох ключових критеріях: скорочення викидів парникових газів, вплив на біорізноманіття, споживання природних ресурсів та довготривала ста-

більність. Кожному з джерел енергії були присвоєні відповідні оцінки на основі їх екологічних характеристик (рис. 1).

Сонячна та вітрова енергетика отримали найвищі оцінки за ефективність зниження викидів парникових газів (5/5), адже під час їх використання не потрібно спалювати паливо, тому відсутні викиди CO₂ та інших забруднювальних речовин. Міжнародне агентство з відновлюваних джерел енергії (IRENA) прогнозує [11], що значне використання сонячних технологій може скоротити світові викиди на 21% до 2050 року.

Значний внесок у скорочення викидів робить також вітрова енергетика, що підтверджено даними Global Wind Energy Council (GWEC) [9]. Гідроенергетика отримала оцінку 4/5, хоча в процесі роботи гідроелектростанції не генерують парникових газів, але під час створення водосховищ можливе виділення метану. Біомаса отримала нижчу оцінку (3/5), оскільки її спалювання виробляє CO₂, хоч цей процес частково нейтралізується тим, що рослини вбирають цей газ у процесі росту.

Вплив на біорізноманіття є вагомим критерієм, особливо для екосистем, що можуть постраждати від впровадження нових технологій. Найбільше загрожує біорізноманіттю гідроенергетика (2/5) – створення дамб та водосховищ змінює природні річ-

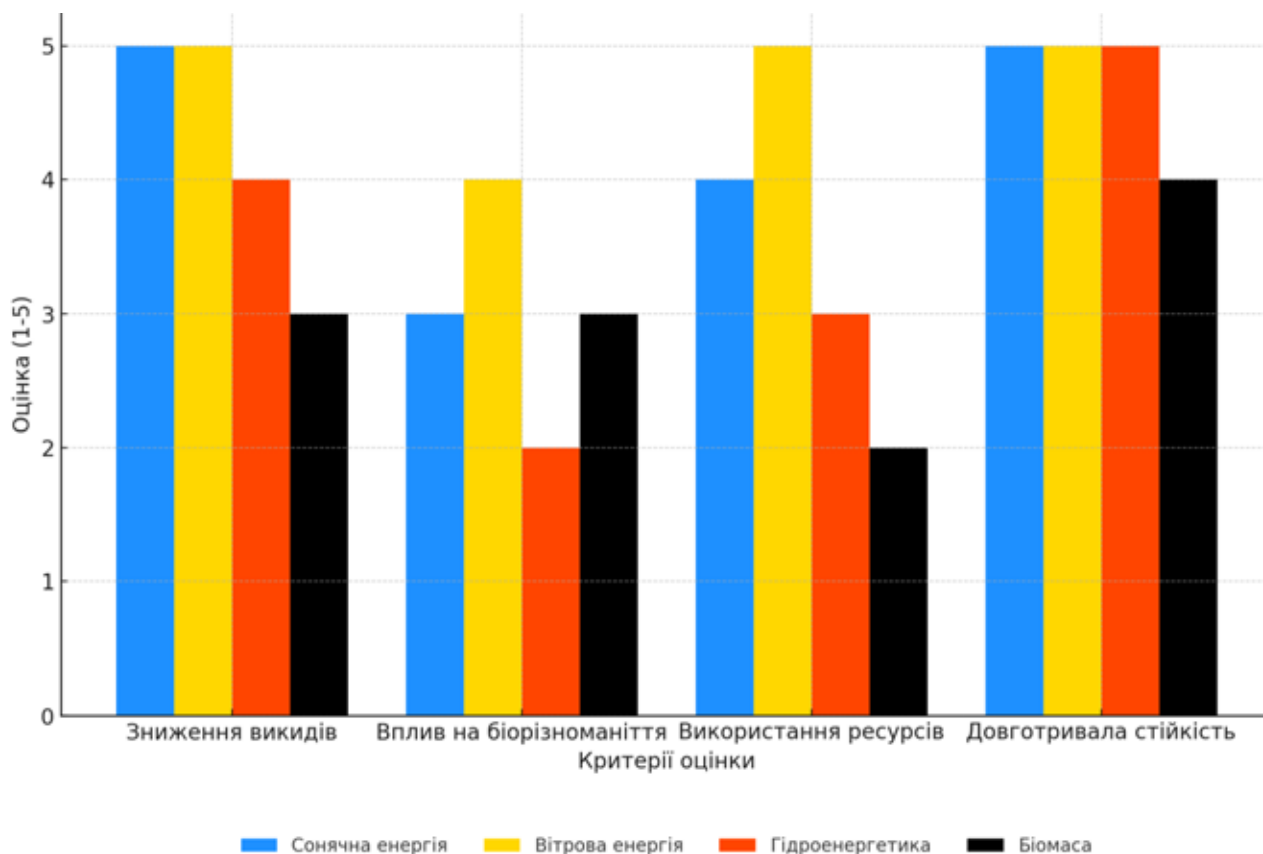


Рис. 1. Оцінка екологічних переваг для відновлювальних джерел енергії

кові екосистеми і може перешкоджати міграції риб та інших водних видів. Сонячна енергія (3/5) також може мати вплив, оскільки великі сонячні ферми займають значні площі землі, що може бути проблемою в регіонах із багатим біорізноманіттям. Вітрова енергія отримала оцінку 4/5 за мінімальний вплив на екосистеми, хоча турбіни становлять ризик для птахів і кажанів. Біомаса (3/5) може негативно впливати на біорізноманіття, оскільки для її виробництва часто використовуються монокультури, що скорочує природні середовища існування.

Вітрова енергетика є найбільш ефективною у споживанні природних ресурсів (5/5), адже вітер – це безкоштовний та невичерпний ресурс, який не потребує значних обсягів води або землі. Сонячна енергетика (4/5) теж ефективна, проте виготовлення панелей потребує рідкісних металів, видобуток яких може завдавати шкоди довкіллю. Гідроенергетика з оцінкою 3/5 потребує великої кількості води, що може бути проблемним у регіонах з обмеженими водними ресурсами. Крім того, водосховища займають значні площі, що також впливає на природу. Найнижчий бал отримала біомаса (2/5), оскільки вирощування культур для її отримання потребує багато води та земельних ресурсів, що може створювати конкуренцію з продовольчими культурами.

Сонячна, вітрова енергетика і гідроенергетика мають найвищу оцінку за довготривалу стійкість (5/5) завдяки їх невичерпності та можливості широкого впровадження нових технологій, що підвищують ефективність. Гідроелектростанції можуть працювати протягом десятиліть, забезпечуючи стабільне енергопостачання у регіонах з бага-

тими водними ресурсами. Біомаса, з оцінкою 4/5, також є поновлюваним ресурсом, проте її стійкість залежить від якості ґрунту та доступності води. Вдосконалення технологій може підвищити ефективність біомаси, але головною проблемою залишається конкуренція з продовольчими культурами.

Отже, аналіз екологічних переваг різних джерел енергії свідчить, що сонячна і вітрова енергетика мають найвищий потенціал для скорочення викидів парникових газів та мінімального впливу на навколишнє середовище. Ці джерела можуть ефективно сприяти досягненню глобальних екологічних цілей, зокрема зниженню викидів CO₂, що передбачено Паризькою угодою. Гідроенергетика є стабільним джерелом, однак її вплив на річкові екосистеми та біорізноманіття вимагає ретельного регулювання. Біомаса також має значний потенціал для утилізації органічних відходів, проте для зменшення її екологічного впливу необхідне вдосконалення технологій.

Для ефективного впровадження відновлюваних джерел енергії необхідний інтегрований підхід, який враховує екологічні, економічні та соціальні аспекти. Застосування інноваційних технологій, таких як системи зберігання енергії та інтелектуальні мережі, може підвищити ефективність і стабільність енергопостачання в умовах зростаючого попиту.

2. Аналіз оцінок потенціалу використання відновлюваних джерел енергії в Україні демонструє різноманітні аспекти ефективності кожного з видів енергетики. Розглянемо результати оцінювання за критеріями доступності ресурсу, технологічної готовності, вартості впровадження, екологічного впливу та економічної ефективності (рис. 2).

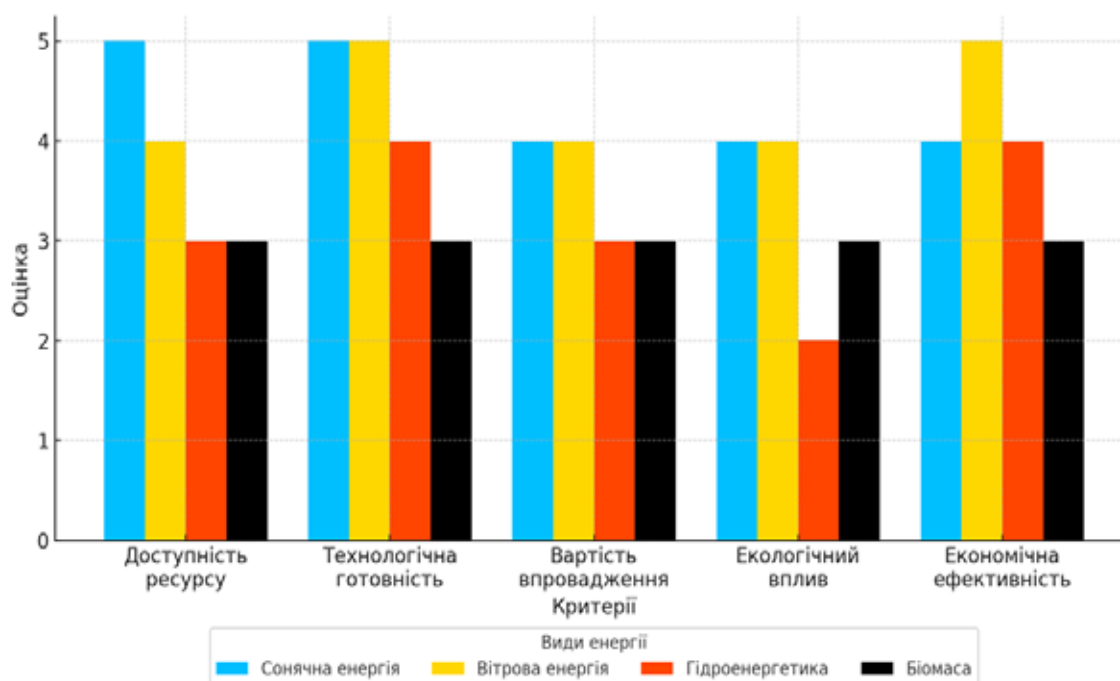


Рис. 2. Оцінка потенціалу використання відновлюваних джерел енергії в Україні

Сонячна енергія (5/5) отримала максимальні оцінки завдяки широкій поширеності сонячного випромінювання, що робить її придатною для використання по всій території України. Вітрова енергетика (4/5) також має значний потенціал, особливо у районах із стабільними вітровими потоками. Гідроенергетика (3/5), навпаки, обмежена наявністю великих водних об'єктів, через що може бути використана тільки в певних регіонах. Біомаса (3/5) є більш доцільною у сільськогосподарських районах, але її доступність багато в чому залежить від наявності ресурсів для вирощування енергетичних культур.

Технології сонячної (5/5) та вітрової енергетики (5/5) є добре розвиненими та придатні для широкого використання, що дозволяє стабільно забезпечувати енергопостачання за рахунок цих джерел. Гідроенергетика (4/5) також має міцну технологічну основу, однак потребує значних інженерних ресурсів для спорудження великих станцій. Використання біомаси (3/5) обумовлене наявністю технологій для ефективного управління ресурсами, що може знижувати її результативність за певних умов.

Хоча початкові інвестиції у сонячну (4/5) та вітрову енергетику (4/5) досить високі, зниження вартості обладнання та подальший розвиток технологій роблять ці джерела дедалі економічно вигіднішими. Гідроенергетика (3/5) також потребує значних вкладень на початковому етапі, але може приносити економічні переваги у довгостроковій перспективі. Вартість виробництва енергії з біомаси (3/5) суттєво залежить від вартості сировини та витрат на транспортування, що може знижувати її економічну привабливість.

Сонячна (4/5) та вітрова енергетика (4/5) мають мінімальний вплив на довкілля, оскільки під час експлуатації не утворюють парникових газів. Це робить їх екологічно безпечними варіантами енергозабезпечення. Гідроенергетика (2/5), хоча й продукує чисту енергію, може негативно впливати на водні екосистеми через будівництво водосховищ. Використання біомаси (3/5), хоч і вуглецево нейтральне, може виснажувати земельні й водні ресурси, що підвищує екологічні ризики, особливо в процесі вирощування енергетичних культур.

Вітрова енергія (5/5) має найвищу економічну ефективність завдяки низьким експлуатаційним витратам та швидкій окупності інвестицій. Сонячна енергія (4/5) також є економічно привабливою через довгий термін служби сонячних панелей та невисокі витрати на їх обслуговування. Гідроенергетика (4/5) є стабільним джерелом енергії у довгостроковій перспективі, проте потребує значних початкових інвес-

тицій. Біомаса (3/5) є вигідною у регіонах з доступними біоресурсами, але її рентабельність може знижуватися через високі витрати на сировину та транспортування.

Отже, сонячна та вітрова енергія мають найвищий потенціал для сталого розвитку в Україні завдяки високій екологічності, стабільній доступності ресурсів та економічній ефективності. Гідроенергетика (з оцінкою 4/5) може слугувати надійним джерелом для регіонів з великими водними ресурсами, хоча її вплив на екосистеми потребує додаткових заходів для зменшення екологічних ризиків. Біомаса (3/5) також має перспективи, особливо в сільськогосподарських районах, однак потребує вдосконалення технологій для зниження екологічного навантаження.

Головні висновки. Відновлювані джерела енергії, серед яких сонячна, вітрова, гідроенергетика та біомаса, мають значний потенціал для сталого розвитку енергетичної галузі України. Завдяки високій екологічності, стабільності ресурсної бази та економічній привабливості, сонячна та вітрова енергетика виступають перспективною альтернативою, здатною зменшити залежність від викопних палив. Гідроенергетика є стабільним джерелом для регіонів із багатими водними ресурсами, але її використання потребує екологічного контролю, щоб зменшити негативний вплив на довкілля. Біомаса також має потенціал, особливо для переробки органічних відходів, однак потребує технологічного вдосконалення для зниження конкуренції з харчовою промисловістю. Використання всіх видів відновлюваної енергетики вимагає комплексного підходу, що враховує як екологічні, так і економічні та соціальні аспекти. Це дозволяє ефективно використовувати доступні ресурси та забезпечити баланс між розвитком та охороною навколишнього середовища.

Аналіз потенціалу використання відновлюваних джерел енергії свідчить про найвищу результативність сонячної та вітрової енергетики у скороченні викидів парникових газів, зменшенні негативного впливу на біорізноманіття та високих показниках економічної ефективності. Хоча географічно гідроенергетика має обмежений діапазон застосування, вона здатна надійно забезпечувати енергопостачання у місцевостях з багатими водними ресурсами, тоді як біомаса може ефективно замикати цикли енерговиробництва при належному контролі. Ефективне впровадження відновлюваних джерел енергії потребує впровадження інноваційних рішень, як-от інтеграція інтелектуальних мереж та технологій зберігання енергії. Це сприятиме підвищенню надійності енергосистеми в умовах зростаючого попиту та забезпечуватиме природний баланс.

Література

1. Відновлювальні джерела енергії / С. Р. Боблях, В. С. Мельничук, В. С. Мельник, Р. М. Ігнатюк: монографія. Луцьк. Волинський національний університет ім. Лесі Українки. 2012. 227 с.
2. Відновлювані джерела енергії / За заг. ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. 392 с.
3. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А. Стан та перспективи розвитку біоенергетики. Промислова теплотехніка. 2017, т. 39, № 2, с. 60-64. <https://doi.org/10.31472/ihe.2.2017.09>
4. Герасимов Є. Г., Герасимов Г. Г. Використання відновлювальних джерел енергії : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2023. 467 с.
5. Гідроенергетика є найбільшим джерелом відновлюваної енергії у світі Укргідроенерго. Веб-сайт. URL: https://uhe.gov.ua/media_tsentr/novyny/hidroenerhetyka-ye-naubylshym-dzherelom-vidnovlyuvanoyi-enerhiyi-u-sviti (дата звернення: 24.11.2024)
6. Інститут відновлюваної енергетики НАН України. Перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні. Веб-сайт. URL: <https://ive.org.ua/wp-content/uploads/ive-nanu-2013-info.pdf> (дата звернення: 09.11.2024).
7. Сонячна енергетика: теорія та практика / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал ; Нац. ун-т «Львівська політехніка». Л. : Вид-во Львів. політехніки, 2014. 340 с.
8. Формування парадигми розвитку потенціалу відновлювальної енергетики національного господарства України / І.Ю. Штулер, В.В. Іванова, О.В. Белякова, В.В. Грицик. Монографія. За наук. редакцією д-ра екон. наук, проф. Д.В. Солохи. Мукачево: Карпатська вежа, 2020. 132 с.
9. Global Wind Energy Council: GWEC. Веб-сайт. URL: <https://gwec.net> (дата звернення: 12.11.2024).
10. International Renewable Energy Agency. Веб-сайт. URL: <https://www.irena.org> (дата звернення: 12.11.2024).
11. Jafarian M., Assareh E., Ershadi A., Wang X. Optimal integration of efficient energy storage and renewable sources in hybrid energy systems: A novel optimization and dynamic evaluation strategy, Journal of Energy Storage, Volume 101, Part B, 2024, 113880, <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.113880>.
12. Tahir H. Optimization of energy storage systems for integration of renewable energy sources – A bibliometric analysis, Journal of Energy Storage, Volume 94, 2024, 112497, <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.112497>.
13. Vos R. Defining biomass: Which Types of Biomass Will Count as Renewable Energy Sources? Refocus, Volume 7, Issue 5, 2006, Pages 58-59, [https://doi.org/10.1016/S1471-0846\(06\)70703-X](https://doi.org/10.1016/S1471-0846(06)70703-X).
14. X., Feng D., Wang J., Sui A. Integrating renewable energy systems: Assessing financial innovation, renewable energy generation intensity, energy transition and environmental regulation with renewable energy sources, Energy Strategy Reviews, Volume 56, 2024, 101567, <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101567>.