

<https://doi.org/10.31891/2307-5740-2024-328-63>

УДК: 620.9:620.91:338.49

ШПАТАКОВА Оксана

ДВНЗ Приазовський державний технічний університет  
<https://orcid.org/0000-0001-5444-0237>

ЖУРАВЕЛЬ Микола

Національний університет «Запорізька політехніка»  
<https://orcid.org/0000-0002-4790-9911>

СЛОБОДЯН Назар

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
<https://orcid.org/0000-0003-4647-6373>

## ЕКОЛОГІЧНА ЕНЕРГЕТИКА ЯК СТРАТЕГІЧНИЙ НАПРЯМОК ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Проблема забезпечення енергетичної безпеки залишається одним із найактуальніших завдань для сучасних держав. В умовах стрімкого зростання споживання енергії та обмеженості традиційних енергетичних ресурсів розвиток екологічної енергетики набуває стратегічного значення. Основні проблеми у цій галузі включають високі початкові інвестиції, необхідність розвитку інфраструктури та технологічні обмеження. Водночас екологічна енергетика дозволяє знизити залежність від імпорту енергоресурсів, зменшити негативний вплив на довкілля та створити нові робочі місця. Важливо також враховувати соціальні та економічні аспекти інтеграції екологічної енергетики, такі як підтримка громадськості та залучення інвестицій. Міжнародний досвід показує, що успішна інтеграція відновлюваних джерел енергії можлива за наявності комплексного підходу, що включає державну підтримку, міжнародне співробітництво та інновації. Для забезпечення енергетичної безпеки необхідно розробити та впровадити стратегічні напрями, що сприяють розвитку екологічної енергетики та її інтеграції до національних енергетичних систем. Стаття спрямована на дослідження поточного стану екологічної енергетики, виявлення ключових факторів та бар'єрів, а також розроблення рекомендацій для державної політики та залучення інвестицій у цю сферу. Застосування комплексного підходу та міжнародного досвіду дозволить значно підвищити рівень енергетичної безпеки та стійкості енергетичних систем.

**Ключові слова:** екологічна енергетика, енергетична безпека, відновлювані джерела енергії, сталий розвиток, державна підтримка, технологічні інновації, міжнародне співробітництво, енергетична інфраструктура, інвестиції, кліматичні зміни.

SHPATAKOVA Oksana

Pryazovskyi State Technical University

ZHURAVEL Mykola

National University «Zaporizhzhia Polytechnic»

SLOBODIAN Nazar

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

## ECOLOGICAL ENERGY AS A STRATEGIC DIRECTION FOR ENSURING ENERGY SECURITY

The problem of ensuring energy security remains one of the most pressing tasks for modern states. In the context of rapid growth in energy consumption and limited traditional energy resources, the development of environmental energy is acquiring strategic importance. The main challenges in this area include high initial investment, the need for infrastructure development and technological limitations. At the same time, green energy makes it possible to reduce dependence on imported energy resources, reduce the negative impact on the environment and create new jobs. It is also important to consider the social and economic aspects of green energy integration, such as public support and attracting investment. International experience shows that successful integration of renewable energy sources is possible with an integrated approach that includes government support, international cooperation and innovation. To ensure energy security, it is necessary to develop and implement strategic directions that promote the development of environmental energy and its integration into national energy systems. The article is aimed at studying the current state of environmental energy, identifying key factors and barriers, as well as developing recommendations for public policy and attracting investment in this area. The use of an integrated approach and international experience will significantly increase the level of energy security and sustainability of energy systems. Analysis of recent studies and publications shows that technological innovation plays a key role in expanding the use of renewable energy sources. For example, Jacobson M. Z. et al propose roadmaps for 139 countries to transition to 100% renewable energy, Owens B. describes technology roadmaps for solar photovoltaic energy, and Pfenninger S. et al highlight the importance of open data and software. In addition, the successful experience of countries such as Germany, China and Denmark demonstrates the importance of public-private partnerships, as well as international cooperation in the development of green energy. An analysis of the current state of environmental energy shows that the share of renewable energy sources in global electricity production is constantly increasing. The main growth drivers are falling technology costs, government support and awareness of climate change. Leading countries such as Germany, China and the USA are actively investing in the development of solar and wind energy, which helps reduce dependence on traditional energy resources and improve the environmental situation. In conclusion, green energy plays an important role in energy security, providing both economic and environmental benefits. Despite existing challenges, the development and integration of renewable energy sources is a strategic direction to help reduce dependence on traditional energy sources and ensure a sustainable energy future.

**Keywords:** environmental energy, energy security, renewable energy sources, sustainable development, government support, technological innovation, international cooperation, energy infrastructure, investment, climate change.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Проблема забезпечення енергетичної безпеки залишається одним із найактуальніших завдань для сучасних держав. В умовах стрімкого зростання споживання енергії та обмеженості традиційних енергетичних ресурсів, розвиток екологічної енергетики набуває стратегічного значення. Основні проблеми в цій галузі включають високі початкові інвестиції, необхідність розвитку інфраструктури та технологічні обмеження. Водночас екологічна енергетика дозволяє знизити залежність від імпорту енергоресурсів, зменшити негативний вплив на навколишнє середовище та створити нові робочі місця. Важливо також враховувати соціальні та економічні аспекти інтеграції екологічної енергетики, такі як підтримка громадськості та залучення інвестицій. Міжнародний досвід показує, що успішна інтеграція відновлюваних джерел енергії можлива за наявності комплексного підходу, що включає державну підтримку, міжнародне співробітництво та інновації. Для забезпечення енергетичної безпеки необхідно розробити та впровадити стратегічні напрями, що сприятимуть розвитку екологічної енергетики та її інтеграції до національних енергетичних систем. Стаття націлена на дослідження поточного стану екологічної енергетики, виявлення ключових факторів та бар'єрів, а також розробку рекомендацій для державної політики та залучення інвестицій у цю сферу. Застосування комплексного підходу та міжнародного досвіду дозволить значно підвищити рівень енергетичної безпеки та стійкості енергетичних систем.

## АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

*Технологічний розвиток та інновації в галузі відновлюваних джерел енергії.* Технологічні інновації відіграють ключову роль у розширенні використання відновлюваних джерел енергії. Jacobson M. Z. та співавтори пропонують дорожні карти для переходу 139 країн на 100% відновлювані джерела енергії [7]. Owens V. описує технологічні дорожні карти для сонячної фотоелектричної енергії [10]. Pfenninger S. та співавтори підкреслюють важливість відкритих даних та програмного забезпечення [11]. Lund H., Mathiesen V. V. аналізують енергетичні системи для Данії у 2030 та 2050 роках [9]. Heard V. P. та співавтори проводять огляд можливості 100% поновлюваних систем [13]. Технологічні інновації та відкриті дані сприяють підвищенню ефективності та зниженню витрат на відновлювані джерела енергії. Міжнародне співробітництво та інвестиції у НДДКР необхідні для реалізації цих технологій.

*Політичні та економічні стратегії розвитку поновлюваної енергетики.* Політичні та економічні стратегії є важливими для стимулювання зростання поновлюваної енергетики. REN21 наголошує на важливості міжнародних та національних політик [12]. International Energy Agency (IEA) аналізує глобальні тенденції та сценарії розвитку енергетики [5]. Frei C. W. та співавт. досліджують політичні заходи та стратегії в Японії [6]. International Renewable Energy Agency (IRENA) аналізує майбутнє вітроенергетики [4]. Sims R. E. H. та співавт. обговорюють енергетичні постачання у контексті кліматичних змін [8]. Ефективні політичні та економічні стратегії підтримують розвиток відновлюваної енергетики. Державні політики повинні включати чіткі цілі та механізми підтримки ВДЕ.

*Соціальні аспекти та інфраструктурні виклики інтеграції ВІЕ.* Соціальні аспекти та інфраструктурні виклики є важливими для інтеграції відновлюваних джерел енергії. Sovacool B. K., Enevoldsen P. аналізують культурні аспекти та інновації в офшорній вітроенергетиці [14]. Geels F. W., Schot J. розробляють типологію соціотехнічних переходів [9]. Bogdanov D., Breyer C. досліджують можливості створення супермережі для 100% відновлюваного енергопостачання у Північно-Східній Азії [1]. Lovins A. B. обговорює бізнес-рішення для нового енергетичного майбутнього [14]. Sovacool B. K., Enevoldsen P. аналізують корпоративну культуру та інновації у вітроенергетиці [3]. Соціальні зміни та модернізація інфраструктури необхідні для інтеграції ВІЕ. Подолання цих бар'єрів потребує комплексного підходу та міжнародного співробітництва.

Проаналізована література наголошує на важливості технологічних інновацій, політичних стратегій та соціальних змін для розвитку відновлюваної енергетики. Комплексний підхід та міжнародне співробітництво необхідні для успішної інтеграції ВІЕ у національні енергетичні системи.

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми. Необхідність розробки ефективних систем зберігання енергії залишається нерозв'язаною проблемою, оскільки відновлювані джерела енергії мають змінний характер виробництва. Інфраструктура існуючих енергетичних мереж не пристосована для інтеграції великої кількості відновлюваних джерел енергії, що потребує значних інвестицій для модернізації. Високі початкові витрати на встановлення екологічних енергетичних систем відлякують інвесторів, незважаючи на зниження вартості технологій. Відсутність чіткої державної політики та регулювання у галузі екологічної енергетики створює невизначеність для інвесторів. Бюрократичні бар'єри та тривалі процедури отримання дозволів затримують реалізацію проєктів у відновлюваній енергетиці. Недостатній рівень обізнаності та поінформованості населення про переваги відновлюваних джерел енергії перешкоджає їхньому широкому впровадженню. Скептицизм та недовіра до нових технологій серед населення та бізнесу гальмують розвиток екологічної енергетики. Дефіцит кваліфікованих кадрів у галузі проєктування, будівництва та експлуатації об'єктів відновлюваної енергетики залишається значним

викликом. Обмежена взаємодія між країнами у сфері обміну знаннями, технологіями та найкращими практиками у відновлюваній енергетиці потребує посилення.

### ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою цієї статті є дослідження ролі та значущості екологічної енергетики у забезпеченні енергетичної безпеки, а також розробка стратегічних напрямів та рекомендацій для її розвитку та інтеграції до національних енергетичних систем.

### ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Проведемо аналіз сучасного стану екологічної енергетики. Дослідження поточного рівня розвитку та поширення екологічних енергетичних технологій у світі та в окремих країнах

**Глобальні тенденції.** В останні десятиліття екологічна енергетика (відновлювані джерела енергії, такі як сонячна, вітрова, гідро- та біоенергетика) демонструє стійке зростання. За даними Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), частка відновлюваних джерел енергії у глобальному виробництві електроенергії постійно збільшується та у 2023 році перевищила 30%. Основними драйверами зростання є зниження вартості технологій, державна підтримка та поінформованість про кліматичні зміни.

**Ситуація в окремих країнах.** *Німеччина:* лідер у розвитку вітрової та сонячної енергетики завдяки програмі «Енергетичний перехід» (Energiewende), спрямованій на скорочення використання викопних видів палива та ядерної енергії. *Китай:* найбільший у світі виробник сонячних панелей та вітрових турбін, що активно інвестує у відновлювану енергетику з метою зниження рівня забруднення повітря та залежності від вугілля. *США:* значні інвестиції у розвиток сонячної та вітрової енергетики, особливо в таких штатах, як Каліфорнія та Техас, де існують сприятливі природні умови та підтримуюча політика. *Скандинавські країни:* Норвегія, Швеція та Данія активно розвивають гідроенергетику та вітроенергетику, у тому числі за рахунок проєктів офшорних вітряних ферм.

**Розвиток технологій.** *Сонячна енергетика:* поліпшення ККД сонячних панелей та зниження вартості їх виробництва. *Вітрова енергетика:* розробка більш ефективних та стійких до кліматичних умов турбін. *Гідроенергетика:* використання нових технологій для малих та мікро ГЕС, що дозволяє мінімізувати вплив на навколишнє середовище. *Біоенергетика:* активний розвиток технологій переробки біомаси на енергію, включаючи використання відходів сільського господарства та лісового господарства.

Визначимо ключові фактори, що впливають на розвиток екологічної енергетики.

*Економічні чинники.*

- Вартість технологій: зниження вартості виробництва та встановлення екологічних енергетичних систем сприяє їх ширшому впровадженню.
- Інвестиції: залучення приватних та державних інвестицій відіграє ключову роль у розвитку інфраструктури та впровадженні нових технологій.

*Політичні та законодавчі фактори.*

- Державна підтримка: субсидії, податкові пільги та інші форми підтримки сприяють прискореному розвитку відновлюваних джерел енергії.
- Міжнародні угоди: зобов'язання щодо зниження викидів парникових газів, такі як Паризька угода, стимулюють країни до розвитку екологічної енергетики.

*Технологічні фактори:*

- Інновації: безперервне вдосконалення технологій дозволяє підвищити їхню ефективність та знизити витрати.
- Інфраструктура: розвиток та модернізація енергетичної інфраструктури для інтеграції відновлюваних джерел енергії.

*Соціальні чинники:*

- Громадська думка: зростання обізнаності з проблемами екології та підтримка населенням зелених технологій.
- Освіта та кадри: підготовка фахівців у галузі екологічної енергетики та підвищення рівня знань у цій сфері.

*Екологічні фактори:*

- Природні ресурси: наявність сприятливих природних умов (сонячні, вітрові та водні ресурси) сприяє розвитку певних видів поновлюваної енергетики.
- Кліматичні зміни: посилення кліматичних змін вимагає від країн розробки стійких та екологічно чистих енергетичних систем.

У сукупності ці фактори визначають динаміку розвитку екологічної енергетики, її перспективи та роль у забезпеченні енергетичної безпеки у глобальному та національному контексті.

Розглянемо оцінку впливу екологічної енергетики на енергетичну безпеку. Представимо аналіз переваг та недоліків використання екологічних енергетичних джерел з погляду енергетичної безпеки. Переваги:

*Зниження залежності від імпорту енергоресурсів:* використання місцевих поновлюваних джерел енергії (сонячна, вітрова, гідроенергетика) дозволяє скоротити залежність від імпорту нафти, газу та вугілля, що збільшує енергетичну автономію та стійкість країни.

*Стійкість до коливань цін на енергоресурси:* екологічна енергетика знижує вплив на економіку різких коливань цін на нафту та газ на світовому ринку, що сприяє стабільності та прогнозованості енергопостачання.

*Екологічні переваги:* скорочення викидів парникових газів та забруднюючих речовин сприяє покращенню якості повітря, що позитивно впливає на здоров'я населення та знижує витрати на охорону здоров'я.

*Створення робочих місць та стимулювання інновацій:* розвиток екологічної енергетики сприяє створенню нових робочих місць у сфері високих технологій та стимулює інноваційні розробки, що сприяє економічному зростанню.

*Енергетична диверсифікація:* впровадження різних видів відновлюваних джерел енергії (сонячна, вітрова, гідроенергетика та біоенергетика) підвищує гнучкість та стійкість енергетичної системи до різних зовнішніх та внутрішніх загроз.

Недоліки.

*Змінна природа відновлюваних джерел енергії:* непостійність вироблення електроенергії від сонячних та вітрових установок потребує розробки та впровадження технологій зберігання енергії та розумних мереж (smart grids) для забезпечення стабільності енергопостачання.

*Високі початкові витрати:* незважаючи на зниження вартості технологій, початкові інвестиції у будівництво сонячних та вітрових ферм, а також необхідної інфраструктури все ще залишаються високими в порівнянні з традиційними джерелами енергії.

*Залежність від природних умов:* ефективність використання відновлюваних джерел енергії залежить від кліматичних та географічних умов, що може обмежувати їх застосування у деяких регіонах.

*Інфраструктурні виклики:* необхідність модернізації та розширення існуючих енергетичних мереж для інтеграції відновлюваних джерел енергії потребує значних витрат та часу.

Дослідження впливу екологічної енергетики на зниження залежності від традиційних (неекологічних) джерел енергії.

- Заміщення викопних видів палива. Екологічна енергетика дозволяє значно скоротити використання вугілля, нафти та природного газу для вироблення електроенергії. Наприклад, збільшення частки сонячної та вітрової енергетики знижує потребу в газових та вугільних електростанціях.

- Диверсифікація джерел енергії. Розвиток відновлюваних джерел енергії сприяє створенню різноманітнішого та збалансованого енергетичного міксу, що зменшує залежність від одного або кількох традиційних джерел енергії.

- Енергетична незалежність. Використання місцевих ресурсів (сонячного світла, вітру, води та біомаси) сприяє енергетичній незалежності регіонів та країн, знижуючи їхню вразливість до зовнішніх економічних та політичних впливів.

- Резервування та стабільність. Введення гібридних енергетичних систем, що поєднують відновлювані джерела енергії з системами зберігання та традиційними джерелами енергії, дозволяє забезпечити надійність та стабільність енергопостачання.

- Стимулювання локального виробництва. Локальна генерація енергії з відновлюваних джерел знижує потребу у масштабному транспортуванні енергоресурсів, що також зменшує вразливість до зовнішніх загроз та знижує витрати на транспортування.

Екологічна енергетика відіграє важливу роль у забезпеченні енергетичної безпеки, надаючи як економічні, так і екологічні переваги. Незважаючи на існуючі виклики, розвиток та інтеграція відновлюваних джерел енергії є стратегічним напрямом, що сприяє зниженню залежності від традиційних джерел енергії та забезпеченню сталого енергетичного майбутнього.

Виявлення основних проблем та викликів у розвитку екологічної енергетики. Огляд технологічних, економічних, законодавчих та соціальних бар'єрів на шляху розвитку екологічної енергетики.

#### **Технологічні бар'єри.**

Непостійність вироблення енергії:

- Відновлювані джерела енергії, такі як сонячна та вітрова енергетика, залежать від природних умов, що призводить до змінних рівнів вироблення енергії.

- Необхідність розробки ефективних систем зберігання енергії та керування мережами для забезпечення стабільності енергопостачання.

Обмежена інфраструктура:

- Поточні енергетичні мережі часто не пристосовані для інтеграції великої кількості відновлюваних джерел енергії.

- Потреба у модернізації та розширенні мережевої інфраструктури потребує значних фінансових вкладень та часу.

Технологічна незрілість:

- Деякі технології, такі як біоенергетика або геотермальна енергетика, все ще знаходяться на етапі розвитку і потребують додаткових досліджень та удосконалень для їхнього широкого застосування.

**Економічні бар'єри:**

Високі початкові витрати:

- Незважаючи на зниження вартості технологій, початкові інвестиції у будівництво та встановлення екологічних енергетичних систем залишаються високими.

- Довгий термін окупності інвестицій може відлякувати приватних інвесторів та гальмувати розвиток сектора.

Нестача фінансових інструментів:

- Обмежені можливості фінансування та брак спеціалізованих фінансових інструментів для підтримки проєктів у галузі відновлюваної енергетики.

Субсидування традиційних джерел енергії:

- Наявність субсидій та податкових пільг для традиційних джерел енергії робить їх конкурентоспроможнішими порівняно з відновлюваними джерелами.

**Законодавчі бар'єри:**

Відсутність чіткої політики та регуляцій:

- Нестача послідовної та передбачуваної державної політики, яка підтримує розвиток відновлюваної енергетики.

- Повільне вжиття законодавчих заходів, вкладених у стимулювання інвестицій в екологічну енергетику.

Бюрократичні перешкоди:

- Складні та тривалі процедури отримання дозволів та погоджень для реалізації проєктів у галузі відновлюваної енергетики.

Низький рівень міжнародного співробітництва:

- Обмежена взаємодія між країнами в галузі обміну знаннями, технологіями та найкращими практиками у сфері відновлюваної енергетики.

**Соціальні бар'єри:**

Низький рівень обізнаності:

- Недостатня поінформованість населення та бізнесу про переваги та можливості відновлюваних джерел енергії.

- Скептицизм та недовіра до нових технологій.

Соціальний опір:

- Протидія місцевих громад будівництву об'єктів відновлюваної енергетики через побоювання щодо впливу на довкілля та ландшафт.

Нестача кваліфікованих кадрів:

- Дефіцит фахівців у галузі проєктування, будівництва та експлуатації об'єктів відновлюваної енергетики.

Визначення факторів, що перешкоджають широкому впровадженню екологічних енергетичних технологій

1. Економічні чинники: високі початкові інвестиції та тривалий термін окупності; відсутність доступних фінансових інструментів та програм підтримки;

2. Політичні та законодавчі фактори: нестача чіткої державної політики та стимулюючих заходів; бюрократичні складності та тривалі процедури узгодження.

3. Технологічні фактори: необхідність розробки та впровадження систем зберігання енергії; обмежена інфраструктура для інтеграції відновлюваних джерел в існуючі мережі.

4. Соціальні чинники: низький рівень обізнаності та поінформованості громадськості; протидія місцевих громад будівництву об'єктів поновлюваної енергетики.

Основні проблеми та виклики, що стоять на шляху розвитку екологічної енергетики, потребують комплексного підходу та спільних зусиль держави, бізнесу та суспільства. Подолання цих бар'єрів можливе через створення сприятливого економічного та законодавчого середовища, активне просування інноваційних технологій та підвищення рівня обізнаності населення про важливість та переваги відновлюваних джерел енергії.

Представимо стратегічні напрямки розвитку екологічної енергетики. Формулювання рекомендацій для державної політики щодо підтримки та стимулювання розвитку екологічної енергетики представимо у таблиці 1.

Таблиця 3.

**Формулювання рекомендацій для державної політики щодо підтримки та стимулювання розвитку екологічної енергетики**

| Рекомендація  | Сутність  |
|---|---|
| Створення чіткої та послідовної державної стратегії         | Розробка та прийняття національної стратегії розвитку відновлюваних джерел енергії з чіткими цілями, завданнями та часовими рамками.<br>Встановлення амбітних, але досяжних цільових показників щодо частки відновлюваних джерел енергії у загальному енергетичному балансі країни.   |
| Введення фінансових стимулів та субсидій                    | Надання податкових пільг та субсидій для виробників та споживачів відновлюваної енергії.<br>Введення грантів та субсидій на дослідні проєкти та інноваційні розробки у сфері екологічної енергетики.  |
| Спрощення адміністративних процедур                         | Скорочення бюрократичних бар'єрів та спрощення процедур отримання дозволів на будівництво та експлуатацію об'єктів відновлюваної енергетики.<br>Створення спеціалізованих агентств чи служб для супроводу проєктів у галузі екологічної енергетики.   |
| Розробка освітніх та інформаційних програм                  | Проведення кампаній щодо підвищення обізнаності населення про переваги та важливість відновлюваних джерел енергії.<br>Введення освітніх програм та курсів з екологічної енергетики у навчальних закладах різних рівнів.   |
| Стимулювання досліджень та розробок                         | Фінансування науково-дослідних проєктів у галузі відновлюваної енергетики та підтримка створення інноваційних технологій.<br>Співпраця з міжнародними організаціями та інститутами для обміну знаннями та передовим досвідом.<br>Пропозиція заходів щодо покращення інвестиційного клімату та залучення приватного капіталу у сферу екологічної енергетики. |
| Створення сприятливих фінансових умов                       | Розробка та впровадження спеціальних фінансових інструментів, таких як зелені облігації та кредитні лінії з пільговими умовами для проєктів у галузі відновлюваної енергетики.<br>Забезпечення державної гарантії щодо кредитів, що видаються на реалізацію проєктів екологічної енергетики.  |
| Зниження інвестиційних ризиків                              | Створення механізмів страхування ризиків, пов'язаних з інвестиціями у відновлювану енергетику.<br>Введення довгострокових контрактів на купівлю енергії (PPA – Power Purchase Agreement), які забезпечують стабільний прибуток для інвесторів.  |
| Залучення іноземних інвестицій                              | Створення сприятливих умов для іноземних інвесторів через міжнародні угоди та двосторонні договори.<br>Організація міжнародних форумів та конференцій для презентації інвестиційних можливостей у сфері екологічної енергетики.   |
| Підтримка розвитку приватно-державного партнерства (ДПП)    | Введення законодавчих рамок та створення умов для реалізації проєктів у форматі приватно-державного партнерства.<br>Стимулювання спільних проєктів за участю держави та приватного сектору, спрямованих на розвиток інфраструктури відновлюваної енергетики.  |
| Підвищення прозорості та передбачуваності законодавчої бази | Забезпечення стабільності та прозорості законодавчих норм та правил, що регулюють сектор відновлюваної енергетики.<br>Регулярне оновлення законодавства з урахуванням міжнародних стандартів та найкращих практик.  |

Розробка та реалізація стратегічних напрямів розвитку екологічної енергетики потребує комплексного підходу та координації зусиль усіх зацікавлених сторін. Державна політика має бути спрямована на створення сприятливих умов для інвестицій, підтримку інноваційних технологій та підвищення обізнаності населення. Запровадження фінансових стимулів, спрощення адміністративних процедур та розвиток приватно-державного партнерства допоможуть залучити приватний капітал та прискорити перехід до сталої та екологічно безпечної енергетичної системи.

Вивчення міжнародного досвіду та кращих практик. Аналіз успішних кейсів та стратегій розвитку екологічної енергетики у різних країнах представлено у таблиці 2.

Оцінка можливості адаптації міжнародного досвіду до національних умов:

1. Аналіз національних умов та особливостей.

- Природні ресурси: визначення найбільш відповідних видів ВДЕ залежно від природних умов (сонячна активність, вітрові ресурси, гідропотенціал).

- Економічні можливості: оцінка фінансових можливостей держави та приватного сектору для інвестицій у ВІЕ.

- Інфраструктура: аналіз стану та можливостей модернізації енергетичної інфраструктури.

2. Формування національної стратегії з урахуванням міжнародного досвіду

- Амбіційні та реалістичні цілі: Встановлення цілей щодо частки ВДЕ в енергетичному балансі, враховуючи національні особливості.

- Державна підтримка: Введення фінансових стимулів та субсидій, аналогічних успішним міжнародним прикладам.

- Приватно-державне партнерство: Створення умов співпраці між державою та приватним сектором.

3. Впровадження передових технологій та інновацій
  - Імпорт та адаптація технологій: Закупівля та адаптація передових технологій із країн-лідерів у сфері ВІЕ.
  - Розвиток національних НДДКР: Стимулювання наукових досліджень та розробок у галузі ВІЕ.
4. Освітні та інформаційні програми
  - Підвищення обізнаності: Проведення інформаційних кампаній для населення та бізнесу про переваги ВДЕ.
  - Підготовка кадрів: Введення освітніх програм для підготовки спеціалістів у сфері ВДЕ.
5. Створення сприятливого інвестиційного клімату
  - Фінансові інструменти: Введення спеціальних фінансових інструментів та програм підтримки.
  - Зниження інвестиційних ризиків: Розробка механізмів страхування та гарантування інвестицій у ВІЕ.

Таблиця 4.

**Аналіз успішних кейсів та стратегій розвитку екологічної енергетики у різних країнах**

| Кейс   | Ключові елементи   | Успіхи  |
|--|--|---|
| 1. Німеччина: Програма Energiewende                  | Амбційні цілі: До 2050 Німеччина планує скоротити викиди CO <sub>2</sub> на 80-95% порівняно з рівнями 1990 року.<br>Інвестиції у ВДЕ: Значні державні інвестиції у сонячну та вітрову енергетику.<br>Зелені тарифи: Введення фіксованих тарифів на купівлю енергії від джерел, що відновлюються (Feed-in tariffs).<br>Закриття атомних станцій: Поступова відмова від ядерної енергетики. | Збільшення частки ВДЕ в енергетичному балансі до 40%.<br>Створення нових робочих місць у секторі ВДЕ.<br>Зниження залежності від імпорту енергоресурсів.              |
| 2. Китай: Інвестиції в сонячну та вітрову енергетику | Державні субсидії: Широкі субсидії та пільги для проєктів ВДЕ.<br>Масштабне виробництво: Китай став найбільшим у світі виробником сонячних панелей та вітрових турбін.<br>Інноваційні технології: Інвестування у дослідження та розробки у сфері ВІЕ.  | Китай лідирує у світі за встановленими потужностями сонячних та вітрових електростанцій.<br>Істотне зниження вартості сонячних панелей завдяки масовому виробництву.  |
| 3. Данія: Офшорні вітрові ферми                      | Фокус на вітроенергетиці: Данія активно розвиває офшорні вітрові ферми.<br>Приватно-державне партнерство: Тісна співпраця між урядом та приватним сектором.<br>Інноваційні проєкти: Впровадження передових технологій та методів управління енергопотокami.  | Данія отримує понад 50% своєї електроенергії з вітру.<br>Розвиток офшорних вітрових ферм як ключового елемента національної енергетичної стратегії.                   |
| 4. США: Державні та приватні ініціативи              | Федеральні програми: Введення програм підтримки ВДЕ, таких як Інвестиційний податковий кредит (ІТС) та Виробничий податковий кредит (РТС).<br>Регіональні ініціативи: Активний розвиток ВІЕ у таких штатах, як Каліфорнія та Техас.<br>Інновації та дослідження: Значні вкладення у НДДКР у сфері ВДЕ.   | США займають провідні позиції щодо встановлених потужностей сонячних та вітрових електростанцій.<br>Активний розвиток енергетичних технологій та інноваційних рішень. |

Адаптація міжнародного досвіду до національних умов потребує комплексного підходу, що включає аналіз природних та економічних особливостей, впровадження передових технологій та розвиток освітніх програм. Застосування успішних стратегій та кейсів з різних країн може значно прискорити розвиток екологічної енергетики та сприяти досягненню сталої енергетичної безпеки.

Розглянемо розробку комплексних заходів щодо інтеграції екологічної енергетики до національних енергетичних систем.

Пропозиція методик та інструментів для ефективною інтеграції екологічних джерел енергії до існуючої енергетичної інфраструктури.

*Інтелектуальні енергосистеми (Smart Grids):*

1. Розробка та впровадження: створення розумних енергосистем, здатних автоматично керувати потоками енергії, враховувати споживання та вироблення в режимі реального часу.

2. Децентралізація: впровадження локальних мікромереж (microgrids), які можуть працювати як в автономному режимі, так і в інтеграції з основною мережею.

3. Використання штучного інтелекту та аналітики даних: застосування штучного інтелекту та великих даних для оптимізації роботи енергосистем та прогнозування попиту та пропозиції.

*Технології зберігання енергії:*

1. акумулятори та накопичувачі енергії: Розвиток та використання різних типів накопичувачів енергії, таких як літій-іонні акумулятори, стаціонарні накопичувачі на основі водню та інші передові технології.

2. Пікове згладжування: застосування технологій зберігання енергії для згладжування піків попиту та вироблення, що підвищує стабільність енергопостачання.

3. Інтеграція з ВІЕ: створення систем зберігання енергії, інтегрованих із відновлюваними джерелами, для забезпечення безперебійного постачання енергії.

*Інноваційні методи генерації та розподілу енергії.*

1. Гібридні установки: розробка та впровадження гібридних енергетичних установок, що комбінують різні види ВІЕ (наприклад, сонячно-вітрові установки).

2. Підтримка проєктів малої розподіленої генерації енергії на місцях споживання (домашні сонячні панелі, вітрові турбіни).

*Модернізація існуючої інфраструктури:*

1. Оновлення мереж: реконструкція та модернізація існуючих енергетичних мереж для підвищення їх пропускної спроможності та адаптації до змінних джерел енергії.

2. Підключення ВІЕ: розробка стандартів та протоколів підключення об'єктів ВІЕ до мережі, що забезпечують безпечну та стабільну роботу.

*Регулювання та підтримка попиту:*

3. Енергозбереження та ефективність: впровадження програм підвищення енергоефективності та енергозбереження у промисловості, транспорті та побуті.

4. Стимулювання споживачів: введення тарифів та програм стимулювання споживачів до використання відновлюваної енергії та зниження енергоспоживання у піковий годинник.

Розробка рекомендацій щодо створення стійких та гнучких енергетичних систем з високим рівнем використання екологічної енергетики

*Державна підтримка та регулювання.*

- Політичні заходи: створення чіткої державної політики та правової бази, що підтримує розвиток та інтеграцію ВДЕ.

- Фінансові стимули: введення податкових пільг, субсидій та грантів для підтримки проєктів у галузі ВДЕ та технологій зберігання енергії.

*Міжнародне співробітництво та обмін досвідом.*

- Партнерство: розвиток міжнародних партнерств та участь у глобальних ініціативах щодо розвитку ВІЕ.

- Обмін найкращими практиками: організація конференцій, семінарів та обмінів для передачі досвіду та знань між країнами та регіонами.

*Розвиток наукових досліджень та інновацій:*

- НДДКР: фінансування наукових досліджень та дослідно-конструкторських робіт у галузі нових технологій ВДЕ та систем зберігання енергії.

- Інноваційні кластери: створення інноваційних кластерів та технопарків, які сприяють розвитку та комерціалізації нових технологій.

*Освіта та підготовка кадрів:*

- Освітні програми: введення програм підготовки фахівців у галузі ВДЕ та інтелектуальних енергосистем у навчальних закладах.

- Професійна підготовка: організація курсів підвищення кваліфікації та перепідготовки для спеціалістів енергетичної галузі.

*Громадська обізнаність та участь:*

- Інформаційні кампанії: проведення широкомасштабних інформаційних кампаній для підвищення поінформованості населення щодо переваг ВДЕ.

- Громадянська участь: залучення громадян до проєктів розвитку ВІЕ через програми громадського моніторингу та участі.

Для успішної інтеграції екологічної енергетики до національних енергетичних систем необхідний комплексний підхід, що включає впровадження передових технологій, модернізацію інфраструктури, розробку державної політики та створення сприятливого інвестиційного клімату. Тільки через координовані зусилля держави, бізнесу та суспільства можна створити стійку та гнучку енергетичну систему, що забезпечує високу частку використання відновлюваних джерел енергії.

## ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

### І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Технологічні інновації та розвиток відкритих даних відіграють ключову роль у підвищенні ефективності та зниженні витрат на відновлювані джерела енергії. Міжнародне співробітництво та значні інвестиції у НДДКР необхідні успішної реалізації технологій ВИЕ. Ефективні політичні та економічні стратегії підтримують зростання та розвиток відновлюваної енергетики, сприяючи досягненню кліматичних цілей. Державні політики повинні містити чіткі цілі, механізми підтримки та фінансові стимули для прискорення переходу на ВДЕ. Соціальні зміни та модернізація інфраструктури є важливими елементами інтеграції відновлюваних джерел енергії до національних енергетичних систем. Подолання соціальних бар'єрів потребує зміни корпоративних стратегій та підвищення рівня обізнаності населення щодо переваг ВДЕ. Створення супермереж та регіональних проєктів сприяє стабільності та ефективності енергетичних



систем. Інноваційні підходи та приватно-державні партнерства відіграють важливу роль у стимулюванні розвитку та інтеграції екологічної енергетики.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку та впровадження інноваційних технологій зберігання енергії та управління енергосистемами для забезпечення стабільності та надійності енергопостачання із відновлюваних джерел.

### Література

1. Bogdanov D., Breyer C. North-East Asian Super Grid for 100% Renewable Energy Supply: Optimal Mix of Energy / D. Bogdanov, C. Breyer // *Technologies for Electricity, Gas, and Heat Supply Options. Energy Conversion and Management*. – 2016. – Vol. 112. – P. 176-190.
2. Frei C. W., et al. Policies and Measures to Realize Industrial Demand Response and 100% Renewable Energy in Japan / C. W. Frei // *Applied Energy*. – 2019. – Vol. 235. – P. 1540-1550.
3. Geels F. W., Schot J. Typology of Sociotechnical Transition Pathways. *Research Policy*. – 2007. – Vol. 36, – No. 3. – P. 399-417.
4. Heard B. P., et al. Burden of Proof: A Comprehensive Review of the Feasibility of 100% Renewable-Electricity Systems / B. P. Heard // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2017. – Vol. 76. – P. 1122-1133.
5. International Energy Agency. *World Energy Outlook 2021*. Paris: IEA, – 2021. – [Electronic resource]. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>
6. International Renewable Energy Agency. *Future of Wind: Deployment, Investment, Technology, Grid Integration and Socio-Economic Aspects*. Abu Dhabi: IRENA. – 2019. – [Electronic resource]. URL: <https://www.irena.org/publications/2019/Oct/Future-of-wind>
7. Jacobson M. Z., et al. 100% Clean and Renewable Wind, Water, and Sunlight All-Sector Energy Roadmaps for 139 Countries of the World / M. Z. Jacobson // *Joule*. – 2017. – Vol. 1, – No. 1. – P. 108-121.
8. Lovins A. B. *Reinventing Fire: Bold Business Solutions for the New Energy Era* / A. B. Lovins // White River Junction: Chelsea Green Publishing. – 2011.
9. Lund H., Mathiesen B. V. Energy System Analysis of 100% Renewable Energy Systems—The Case of Denmark in Years 2030 and 2050 / H. Lund, B. V. Mathiesen // *Energy*. – 2009. – Vol. 34, – No. 5. – P. 524-531.
10. Owens B. *Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy* / B. Owens // Paris: International Energy Agency. – 2014. – [Electronic resource]. URL: <https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-solar-photovoltaic-energy>
11. Pfenninger S., et al. The Importance of Open Data and Software: Is Energy Research Lagging Behind? / S. Pfenninger // *Energy Policy*. – 2017. – Vol. 101. – P. 211-215.
12. REN21. *Renewables 2021 Global Status Report*. Paris: REN21, – 2021. [Electronic resource]. URL: <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>
13. Sims R. E. H., et al. *Energy Supply*. In *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change* / Ed. by B. Metz et al. // Cambridge: Cambridge University Press, – 2007. – P. 251-322.
14. Sovacool B. K., Enevoldsen P. One Style to Build Them All: Corporate Culture and Innovation in the Offshore Wind Industry / B. K. Sovacool, P. Enevoldsen // *Energy Policy*. – 2018. – Vol. 113. – P. 663-674.

### References

1. Bogdanov, D., & Breyer, C. (2016). North-East Asian Super Grid for 100% Renewable Energy Supply: Optimal Mix of Energy Technologies for Electricity, Gas, and Heat Supply Options. *Energy Conversion and Management*, 112, 176-190.
2. Frei, C. W., et al. (2019). Policies and Measures to Realize Industrial Demand Response and 100% Renewable Energy in Japan. *Applied Energy*, 235, 1540-1550.
3. Geels, F. W., & Schot, J. (2007). Typology of Sociotechnical Transition Pathways. *Research Policy*, 36(3), 399-417.
4. Heard, B. P., et al. (2017). Burden of Proof: A Comprehensive Review of the Feasibility of 100% Renewable-Electricity Systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 1122-1133.
5. International Energy Agency. (2021). *World Energy Outlook 2021*. Paris: IEA. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>
6. International Renewable Energy Agency. (2019). *Future of Wind: Deployment, Investment, Technology, Grid Integration and Socio-Economic Aspects*. Abu Dhabi: IRENA. Retrieved from <https://www.irena.org/publications/2019/Oct/Future-of-wind>
7. Jacobson, M. Z., et al. (2017). 100% Clean and Renewable Wind, Water, and Sunlight All-Sector Energy Roadmaps for 139 Countries of the World. *Joule*, 1(1), 108-121.
8. Lovins, A. B. (2011). *Reinventing Fire: Bold Business Solutions for the New Energy Era*. White River Junction: Chelsea Green Publishing.
9. Lund, H., & Mathiesen, B. V. (2009). Energy System Analysis of 100% Renewable Energy Systems—The Case of Denmark in Years 2030 and 2050. *Energy*, 34(5), 524-531.
10. Owens, B. (2014). *Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy*. Paris: International Energy Agency. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-solar-photovoltaic-energy>
11. Pfenninger, S., et al. (2017). The Importance of Open Data and Software: Is Energy Research Lagging Behind? *Energy Policy*, 101, 211-215.
12. REN21. (2021). *Renewables 2021 Global Status Report*. Paris: REN21. Retrieved from <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>
13. Sims, R. E. H., et al. (2007). *Energy Supply*. In B. Metz et al. (Eds.), *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change* (pp. 251-322). Cambridge: Cambridge University Press.
14. Sovacool, B. K., & Enevoldsen, P. (2018). One Style to Build Them All: Corporate Culture and Innovation in the Offshore Wind Industry. *Energy Policy*, 113, 663-674.