

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Навчально-науковий інститут інноватики, природокористування та
інфраструктури
Кафедра екології та охорони здоров'я

Воробець Світлана Борисівна

**ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ
ЗМЕНШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ**

спеціальність 101 Екологія
освітньо-професійна програма «Екологія та біоекономіка»
кваліфікаційна робота за освітнім ступенем «магістр»

Виконала: студентка групи ЕКОЛм-21
Воробець Світлана Борисівна

підпис

Науковий керівник: к.с.-г.н., доцент
Бондар О.Б.

підпис

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту «___» _____ 20__р.
Завідувач кафедри _____
підпис

Тернопіль – 2024

АНОТАЦІЯ

Воробець С. Б. Використання відновлювальних джерел енергії для зменшення екологічного впливу на довкілля. – Рукопис. Дослідження на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 101 «Екологія», Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2024. 56 с.

У кваліфікаційні роботі проаналізовано теоретичні засади, а також екологічні й економічні вигоди від застосування відновлюваних джерел енергії та їхній вплив на навколишнє середовище. Описано основні типи відновлюваних енергоресурсів та переваги їх використання. Виконано оцінку поточного стану енергетичної галузі, її впливу на екологію і переваги переходу на відновлювані джерела. Окремо подано рекомендації щодо розширення застосування відновлюваної енергетики, зокрема через розвиток законодавчої бази, підготовку спеціалістів і підвищення обізнаності громадськості та бізнесу. Також запропоновано методи підвищення енергоефективності та впровадження технологій чистої енергії.

ABSTRACT

Vorobets S. B. The use of renewable energy sources to reduce the environmental impact on the environment. Research for Master's Degree in Ecology, speciality 101 'Ecology', Ternopil Western Ukrainian National University, Ternopil, 2024. 56 c.

This study analyses the theoretical foundations, as well as the environmental and economic benefits of renewable energy sources and their impact on the environment. The main types of renewable energy resources and the benefits of their use are described. An assessment of the current state of the energy sector, its impact on the environment and the benefits of switching to renewable sources is made. The article also provides recommendations for expanding the use of renewable energy, in particular through the development of the legislative framework, training of specialists and raising public and business awareness. Methods for improving energy efficiency and introducing clean energy technologies are also suggested.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	7
1.1. Види відновлюваних джерел енергії.....	7
1.2. Екологічні та економічні переваги використання відновлюваних джерел енергії.....	15
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ДОВКІЛЛЯ.....	19
2.1. Характеристика сучасного рівня розвитку енергетичного сектору та його вплив на довкілля.....	19
2.2. Оцінка екологічних переваг використання відновлюваних джерел енергії в Україні.....	25
2.3. Оцінка потенціалу використання відновлюваних джерел енергії в різних секторах економіки в Україні.....	31
РОЗДІЛ 3. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО РОЗШИРЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	37
3.1. Підвищення енергоефективності та впровадження технологій чистої енергії.....	37
3.2. Популяризація відновлюваних джерел енергії серед громадськості та бізнесу.....	43
ВИСНОВКИ.....	47
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	50

ВСТУП

Актуальні виклики в енергетичній сфері визначають нагальну потребу в трансформації підходів до виробництва та споживання енергії. Обмеженість традиційних джерел, таких як вугілля, нафта і природний газ, а також їхній негативний вплив на навколишнє середовище стають все більш серйозною проблемою для світового співтовариства [26]. Масштабне використання викопного палива збільшує викиди парникових газів, що посилює кліматичну кризу й вимагає невідкладних дій для переходу на сталу енергетику. На цьому тлі відновлювані джерела енергії [9], включно із сонячною [32], вітровою, гідроенергетикою та біоенергетикою, розглядаються як екологічно безпечна та ефективна альтернатива, здатна підтримати стабільний розвиток енергетичного сектору.

Застосування відновлюваної енергії [8] зменшує залежність від викопного палива, знижує негативний вплив на довкілля, а також створює значні економічні переваги. До них належать зниження витрат на імпорту палива, поява нових робочих місць та розвиток технологічних галузей. Однак масштабне впровадження відновлюваних джерел має низку перешкод, таких як потреба в розвиненій законодавчій базі, доступ до відповідних знань та технологій, а також недостатня обізнаність громадян і бізнесу про потенційні вигоди відновлюваної енергетики.

Актуальність теми. У сучасних умовах питання переходу до відновлюваних джерел енергії [9, 10] стає критичним через зростання екологічних викликів та обмеженість ресурсів викопного палива. Використання традиційних джерел, таких як нафта, газ і вугілля, сприяє забрудненню навколишнього середовища, погіршує кліматичну ситуацію та підвищує енергетичну залежність від імпорту. Розвиток відновлюваної енергетики [33] є не лише екологічно безпечною альтернативою, але також сприяє створенню нових робочих місць, покращенню технологічної бази та зміцненню енергетичної незалежності країн.

Особливо актуальним це питання стає для України в умовах російсько-української війни [24, 27, 28, 29], яка загострила потребу в енергетичній безпеці та зменшенні залежності від російських ресурсів. Через агресію з боку Росії, значна частина енергетичної інфраструктури України була зруйнована або пошкоджена, що ускладнило доступ до звичних джерел енергії та посилило необхідність розвитку відновлюваних джерел [10, 25, 34]. Використання альтернативної енергії в цих умовах може стати основою для відновлення енергетичного сектору України на нових принципах сталого розвитку й незалежності.

З огляду на глобальні зміни клімату [56], міжнародні зобов'язання зі зниження викидів парникових газів та стратегічну потребу зменшення залежності від традиційних енергоресурсів, перехід на відновлювані джерела енергії є надзвичайно важливим для сталого розвитку [13]. Використання джерел, таких як сонячна, вітрова, гідроенергетика та біоенергія, дозволяє зменшити шкоду для довкілля, знижує витрати на імпорту палива та підвищує енергетичну стійкість.

Таким чином, ця робота, присвячена вивченню впливу відновлюваних джерел на економіку та довкілля, а також розробці пропозицій для їх подальшого впровадження, є надзвичайно актуальною і відповідає сучасним потребам України у досягненні енергетичної незалежності, екологічної стійкості та розвитку на засадах сталості.

Мета дослідження: проаналізувати переваги та потенціал відновлюваних джерел енергії для забезпечення екологічної та економічної стійкості.

Для досягнення мети поставлено наступні завдання:

1. Проаналізувати типи відновлюваних джерел енергії, охарактеризувавши їхні специфічні особливості та переваги.
2. Визначити екологічні й економічні вигоди від використання відновлюваної енергії порівняно з традиційними ресурсами, з акцентом на зниження рівня забруднення довкілля.

3. Провести аналіз поточного стану енергетичного сектору України, оцінити його екологічний вплив та перспективи впровадження відновлюваних джерел енергії в умовах російсько-українського конфлікту.

4. Вивчити потенціал застосування відновлюваної енергії у різних галузях економіки та її роль у забезпеченні енергетичної самостійності держави.

Об'єктом дослідження є відновлювані джерела енергії та їхній вплив на розвиток економіки та екології в енергетичному секторі України.

Предметом дослідження виступають особливості використання відновлюваних джерел енергії, а також рекомендації для їхнього ефективного впровадження в українську енергетику.

Методологія дослідження ґрунтується на системному аналізі відновлюваних джерел енергії, порівняльному аналізі їхніх екологічних та економічних переваг, а також методах прогнозування, що дозволяють оцінити перспективи впровадження альтернативної енергетики в Україні.

Апробація результатів дослідження: результати кваліфікаційної роботи було висвітлено на III національній науково-практичній конференції «Освіта, наука, бізнес, енергетичні технології: сучасний стан, проблеми та перспективи» (31 травня 2024 р. м. Тернопіль) та на всеукраїнській науково-практичній конференції «Лучні агрофітоценози: інноваційні аспекти раціонального використання в умовах євроінтеграції» (5 червня 2024 р. Львівська область).

Структура кваліфікаційної роботи включає наступні розділи: вступ, три розділи, висновки та список використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 56 сторінок і включає 5 рисунків та 3 таблиці.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

1.1. Види відновлюваних джерел енергії

Відновлювані джерела енергії – це природні ресурси, які постійно відтворюються завдяки природним процесам, таким як сонячне світло, вітер, водні потоки та органічні матеріали [4, 5, 7, 8, 13, 55, 61]. На відміну від викопного палива, яке поступово вичерпується, ці джерела не закінчуються. Завдяки тому, що вони екологічно безпечні, використання відновлюваних джерел допомагає мінімізувати негативний вплив на довкілля (рис. 1, табл. 1).



Рис. 1 Відновлювальні джерела енергії

Системи для використання сонячної енергії, вітряні турбіни, гідроелектростанції та біопаливо стають дедалі більш популярними для генерації електроенергії. Основною перевагою цих джерел є те, що вони зменшують кількість шкідливих викидів в атмосферу, тим самим сприяючи боротьбі зі зміною клімату. Використання цих джерел енергії дає змогу знизити залежність від імпорту палива та підвищує енергетичну безпеку країн. Окрім того, у цій галузі створюються нові робочі місця, що позитивно впливає

на економічний розвиток. Відновлювані джерела можуть забезпечити надійні постачання енергії навіть у важкодоступні місця. Уряди багатьох країн активно підтримують розвиток цієї сфери, надаючи субсидії та інші стимули для впровадження екологічно чистих технологій. Тривають інноваційні розробки в галузі систем зберігання енергії, що дозволяє підвищувати ефективність і доступність відновлюваних джерел.

Сонячна енергія є одним з найбільш перспективних і доступних відновлюваних джерел енергії, що використовує випромінювання сонця для виробництва електричної та теплової енергії. Вона відіграє важливу роль у сталому розвитку, оскільки є невичерпною та не забруднює навколишнє середовище. Основні технології, які використовуються для її перетворення, включають фотоелектричні (PV) системи та сонячні теплові електростанції.

Фотоелектричні (PV) системи працюють за принципом перетворення сонячного світла в електрику за допомогою напівпровідників, таких як кремній. Коли сонячні промені потрапляють на поверхню фотоелементів, вони збуджують електрони, що призводить до виникнення електричного струму. Ефективність цих систем залежить від різних чинників, таких як рівень сонячного освітлення, нахил панелей, температура довкілля та якість матеріалів.

Сонячні теплові електростанції використовують дзеркала або лінзи для фокусування сонячного світла на одній точці, де генерується висока температура. Ця теплова енергія використовується для нагрівання рідини (зазвичай води), яка перетворюється в пару і приводить у рух турбіну для виробництва електроенергії. Однією з переваг цього підходу є можливість накопичення тепла в спеціальних ємностях, що дозволяє генерувати енергію навіть після заходу сонця або в умовах відсутності сонячного світла, що робить систему більш стабільною.

Розвиток сонячної енергетики включає вдосконалення матеріалів для фотоелектричних елементів та поліпшення систем зберігання енергії, що дозволяє забезпечувати надійні поставки електроенергії. Дослідження у сфері

багатошарових фотоелементів і нанотехнологій спрямовані на підвищення ефективності конверсії сонячного світла в електрику. Крім того, розумні мережі (smart grids) стають важливою складовою для інтеграції сонячних систем в національні енергетичні системи та ефективного управління енергоресурсами.

Таблиця 1

Види відновлюваних джерел енергії

Вид енергії	Опис	Основні переваги
Сонячна енергія	Використання енергії сонця для виробництва електроенергії або тепла.	Низький вплив на довкілля. Відновлюване джерело, невичерпний ресурс. Знижує витрати на енергоспоживання в довгостроковій перспективі.
Вітрова енергія	Використання кінетичної енергії вітру для виробництва електрики.	Відсутність викидів парникових газів. Висока ефективність у регіонах з постійним вітром.
Гідроенергетика	Використання енергії води, яка рухається або падає, для генерації.	Постійне та надійне джерело енергії. Мінімальний рівень забруднення.
Біомаса	Використання органічних матеріалів, таких як деревина або відходи.	Переробка органічних відходів для виробництва енергії. Вуглецево нейтральне джерело енергії.

Сонячна енергія [19, 20, 21, 22] має величезний потенціал для забезпечення сталого розвитку та зниження залежності від традиційних викопних видів палива. Її екологічні переваги та технологічні інновації роблять її одним із найважливіших джерел енергії майбутнього. Удосконалення

технологій виробництва та зберігання енергії сприятиме більшій інтеграції сонячної енергетики у світові енергетичні системи.

Вітрова енергія [11, 12, 38] є одним із найважливіших елементів сучасної системи відновлюваних джерел енергії. Вона широко застосовується для виробництва електроенергії завдяки використанню енергії вітру. Вітрові турбіни, встановлені як на суходолі, так і в морі, перетворюють кінетичну енергію вітру в механічну, а потім – в електричну. Протягом останніх років технології вітрових електростанцій (ВЕС) зазнали значних удосконалень, що зробило їх одним з найекономічніших і доступних джерел відновлюваної енергії.

Головним елементом вітрової турбіни є ротор з лопатями, які обертаються під дією потоку повітря. Обертання лопатей створює механічну енергію, яка через вал передається на генератор для подальшого перетворення на електрику. Ефективність турбіни залежить від розміру лопатей та швидкості вітру: чим більший діаметр ротора та інтенсивніший вітер, тим більше електроенергії може бути згенеровано.

Турбіни можуть встановлюватися на вітрових станціях, розташованих як на суходолі (onshore), так і в морі (offshore). Морські електростанції мають перевагу в тому, що вітрові умови на узбережжі або в відкритих морях є більш стабільними, що забезпечує більшу ефективність турбін.

Турбіни з горизонтальною віссю обертання є найпоширенішим типом. У таких турбінах вал, на якому розташовані лопаті, розміщений горизонтально. Цей тип є найефективнішим, особливо у великих вітрових станціях, завдяки можливості встановлення великих роторів, що дозволяє захоплювати більше енергії вітру.

Турбіни з вертикальною віссю обертання мають вертикально розташований вал. Їхня перевага полягає в здатності працювати в умовах змінних напрямків вітру, однак вони менш ефективні порівняно з горизонтальними турбінами. Такий тип турбін частіше використовують у міських умовах або на ділянках з невеликою швидкістю вітру.

Сьогодні вітрова енергія активно використовується в багатьох країнах світу. Найбільші вітрові електростанції знаходяться у США, Китаї, Німеччині та Данії. У 2020 році, за даними Global Wind Energy Council, загальна потужність вітрових електростанцій у світі перевищила 700 ГВт. Багато країн вже інтегрували вітрову енергію як важливу складову національної енергетичної системи.

Суходільні вітрові електростанції є традиційним варіантом використання вітрової енергії. Вони зазвичай розташовані в районах з постійними вітрами. Основною перевагою таких установок є їх відносно низька вартість порівняно з морськими електростанціями, що робить їх доступними для масового впровадження. Однак у густонаселених районах може бути важко знайти достатньо місця для розміщення таких станцій.

Морські вітрові електростанції розташовані на узбережжі або у відкритому морі. Вони забезпечують більшу ефективність завдяки більш постійним і сильним вітрам. Основні переваги морських ВЕС – це можливість встановлення турбін великого розміру, що дозволяє суттєво підвищити їх потужність. Проте будівництво та обслуговування таких станцій є складнішим і дорожчим через роботу в морських умовах, а також необхідність враховувати вплив на морські екосистеми.

Інновації в сфері вітрової енергетики спрямовані на підвищення ефективності турбін, зменшення їх ваги та підвищення надійності. Використання новітніх матеріалів, таких як композити, дозволяє створювати лопаті, які легші та стійкіші до впливу вітру. Це дозволяє підвищити ефективність та збільшити термін експлуатації турбін.

Іншим напрямком розвитку є безлопатеві турбіни, які можуть мати менший вплив на дику природу, зокрема птахів. Зростає також інтерес до плавучих вітрових електростанцій, які можна встановлювати на значній глибині, де неможливо використовувати звичайні турбіни.

Вітрова енергія є ключовим елементом світового переходу до екологічно чистих джерел енергії [11, 12, 38]. Завдяки постійному розвитку технологій,

вона стає дедалі ефективнішою та доступнішою. Незважаючи на певні технічні виклики, такі як утилізація старих турбін та залежність від погодних умов, вітрова енергетика має значний потенціал для сталого розвитку та зменшення впливу на навколишнє середовище.

Гідроенергетика є одним з найбільш давніх і поширених способів отримання електроенергії, який використовує енергію води для виробництва електрики. Гідроелектростанції (ГЕС) продовжують займати важливе місце у глобальній енергетичній системі, забезпечуючи стабільне постачання електроенергії. Цей метод є особливо цінним для регіонів, багатих на водні ресурси, де використання гідроенергетики може бути дуже ефективним без потреби у спалюванні викопних палив.

Принцип роботи ГЕС полягає у перетворенні енергії водного потоку на електричну. ГЕС зазвичай розташовані на великих річках або водосховищах, де вода накопичується за допомогою дамб. Коли вода проходить через турбіни, її кінетична енергія перетворюється на механічну, яка потім передається генераторам для виробництва електрики. Цей процес дозволяє контролювати кількість виробленої енергії залежно від попиту, що робить ГЕС надійним джерелом енергії для задоволення потреб навіть у періоди пікового споживання.

Гідроелектростанції поділяються на кілька видів, кожен із яких має свої особливості. Великі гідроелектростанції розташовуються на великих річках і оснащені потужними турбінами, що дозволяє їм виробляти значні обсяги електроенергії. До прикладів таких станцій належать ГЕС Три ущелини в Китаї та Ітайпу, розташована між Бразилією та Парагваєм. Хоча ці станції є високоефективними, вони можуть завдавати серйозної шкоди довкіллю. Зведення дамб змінює природні водні шляхи, що негативно впливає на популяції риб і місцеві громади.

Малі та мікроГЕС використовують малі річки та струмки, генеруючи менші обсяги електроенергії. Вони є більш екологічними, оскільки не потребують масштабних змін у руслах річок. Такі станції добре підходять для

локальних енергетичних систем і можуть забезпечувати електроенергією віддалені регіони.

Проточні гідроелектростанції працюють без використання великих дамб чи водосховищ, використовуючи поточну воду для генерації електрики. Їхній вплив на навколишнє середовище є мінімальним, оскільки вони майже не змінюють природні водні шляхи та не порушують екосистем.

У майбутньому гідроенергетика залишатиметься важливою частиною глобальної енергетики. Основні напрями розвитку включають вдосконалення технологій, щоб мінімізувати вплив на довкілля, зокрема річкові екосистеми. Інновації у використанні нових матеріалів та інженерних рішень дозволять зробити гідроенергетику більш екологічною та стійкою.

Роль малих і мікроГЕС зростатиме, особливо у віддалених регіонах. Вони сприятимуть розвитку децентралізованих енергетичних систем і забезпечуватимуть електроенергію навіть в умовах змінного попиту.

Гідроенергетика є надійним і ефективним джерелом енергії, яке залишає вагомий слід у сучасній енергетиці. Однак, її екологічний вплив, особливо великих ГЕС, є значною проблемою [1, 2, 3, 14, 15, 39]. Подальший розвиток технологій та впровадження малих ГЕС допоможе зробити гідроенергетику більш стійкою та екологічно безпечною.

Біомаса є одним із перспективних відновлюваних джерел енергії, яке використовується для виробництва тепла, електроенергії та палива з органічних матеріалів [2, 57]. До складу біомаси входять різноманітні ресурси, такі як деревина, сільськогосподарські залишки, харчові відходи, гній та спеціально вирощені енергетичні культури. Однією з головних переваг біомаси є її постійне відновлення та здатність переробляти відходи, що робить її важливим елементом у відновлюваній енергетиці.

Основними видами біомаси є кілька різноманітних ресурсів, що використовуються для виробництва енергії. Деревина та лісові відходи є одними з найстаріших і найпоширеніших видів біомаси. Вони застосовуються

для отримання тепла шляхом спалювання. Деревину також обробляють у вигляді пелетів, які широко використовуються в системах опалення.

Сільськогосподарські відходи включають рослинні залишки, такі як солома, лушпиння та стебла, що залишаються після збору врожаю. Ці матеріали можуть бути використані для виробництва біогазу або для генерації тепла й електроенергії шляхом спалювання.

Біопаливо [2, 57] є ще одним важливим видом біомаси. Воно включає рідкі й газоподібні види палива, отримані з біомаси. Наприклад, етанол виробляють із цукровмісних або крохмалистих культур, таких як тростина чи кукурудза, а біодизель виготовляють із рослинних олій або тваринних жирів.

Органічні відходи, такі як залишки їжі, гній та інші органічні матеріали, також належать до біомаси. Вони можуть бути перероблені в біогаз за допомогою анаеробного зброджування. Біогаз використовується для виробництва тепла та електроенергії, а після очищення – як паливо для транспорту.

Сучасні технології дозволяють ефективно перетворювати біомасу на енергію, використовуючи різні методи. Одним із найпоширеніших є *спалювання*. Цей метод передбачає пряме спалювання біомаси для отримання тепла, що застосовується як у домашніх системах опалення, так і на великих електростанціях для виробництва електроенергії.

Піроліз і газифікація є інноваційними процесами, які проходять за високих температур із обмеженим доступом кисню. Під час піролізу виробляється біомасове масло, яке використовується як паливо, а газифікація дозволяє отримати синтез-газ, придатний для генерації електроенергії.

Біохімічні методи також відіграють важливу роль у переробці біомаси. Ферментація цукрових і крохмалистих культур дозволяє виробляти біопаливо, наприклад, етанол. Анаеробне зброджування органічних матеріалів є ще одним ефективним способом, що дає змогу отримувати біогаз.

Виробництво біогазу базується на процесі анаеробного зброджування органічних відходів, включаючи залишки сільського господарства та харчової

промисловості. Біогаз, що містить значну частку метану, може використовуватися для вироблення тепла та електроенергії або очищатися до рівня природного газу для подальшого застосування.

Технології переробки біомаси [2, 57] продовжують вдосконалюватися, що дозволяє підвищувати ефективність її використання та зменшувати негативні впливи на продовольчу безпеку. Нові методи перетворення біомаси, такі як використання відходів та лісових залишків, допоможуть зменшити конкуренцію за землю.

Біомаса є важливим і перспективним джерелом відновлюваної енергії, яке може забезпечити сталий розвиток. Проте для її ефективного використання необхідно вирішити питання раціонального використання землі та забезпечення продовольчої безпеки.

1.2. Екологічні та економічні переваги використання відновлюваних джерел енергії

Відновлювані джерела енергії [37, 40] є важливою складовою стратегії сталого розвитку, оскільки вони сприяють зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище та скороченню залежності від викопних ресурсів. Кожне джерело має унікальні екологічні та економічні переваги, що дозволяє знизити викиди парникових газів, зменшити використання викопного палива та стимулювати економічний розвиток. Далі розглянемо переваги та особливості кожного з цих джерел енергії (рис. 2).

1. Сонячна енергетика характеризується значними екологічними перевагами. Це одне з найчистіших джерел енергії, оскільки під час її виробництва не виділяються вуглекислий газ або інші шкідливі речовини. Вона є невичерпним і стабільним ресурсом, що зменшує потребу у використанні викопного палива та водних ресурсів. Завдяки цьому сонячна енергія має мінімальний негативний вплив на навколишнє середовище та вважається екологічно безпечним джерелом [36].

У сфері економіки сонячна енергетика має значні переваги. Вона дає змогу істотно знизити витрати на електроенергію для споживачів після встановлення сонячних панелей. Крім того, ця галузь сприяє створенню нових робочих місць у виробництві, встановленні та технічному обслуговуванні сонячних електростанцій. Завдяки постійному розвитку технологій у цій сфері вартість сонячних систем зменшується, а їхня ефективність постійно зростає.

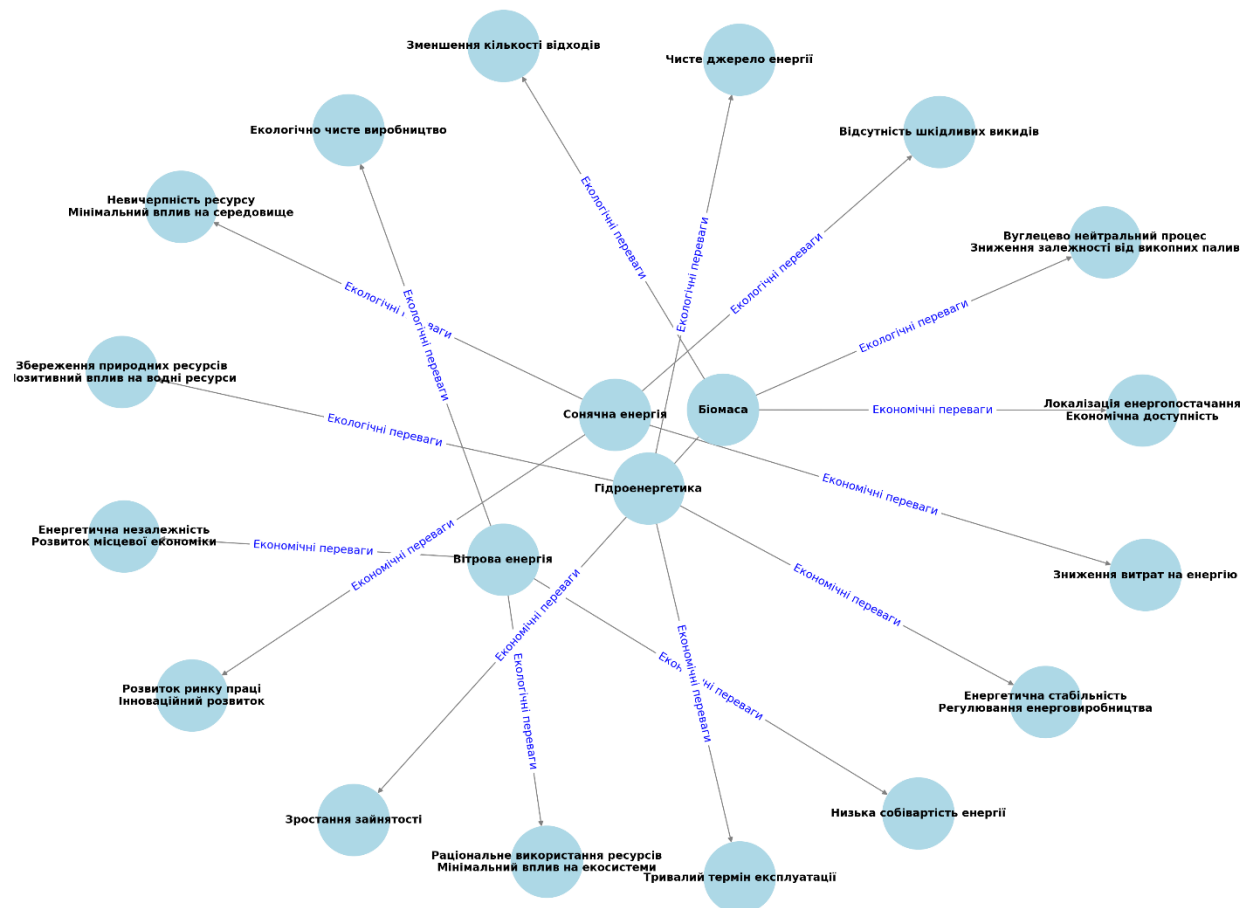


Рис. 2 Екологічні та економічні переваги використання відновлюваних джерел енергії

2. *Вітрова енергетика* має значні екологічні переваги. Вітрові електростанції є екологічно чистим джерелом енергії, оскільки під час їхньої роботи не утворюються парникові гази чи інші забруднювальні речовини. Використання вітру для генерації електрики не вимагає споживання водних ресурсів або викопного палива, що робить цей ресурс екологічно безпечним і

стійким. Турбіни можна встановлювати на відкритих територіях чи морських платформах, що допомагає зменшити вплив на навколишнє середовище [6].

Економічні переваги вітрової енергетики є вагомими. Завдяки постійному здешевленню обладнання ця галузь демонструє високу економічну ефективність. Вітрові електростанції сприяють зменшенню залежності від імпорту викопного палива, що підвищує енергетичну незалежність країн. Крім того, розвиток цього сектору стимулює місцеву економіку, забезпечуючи нові робочі місця та збільшуючи податкові надходження.

3. *Гідроенергетика* має важливі екологічні переваги [35]. Під час роботи гідроелектростанції не виробляють парникових газів, що сприяє зменшенню впливу на зміну клімату. Використання гідроенергії допомагає зберігати природні ресурси, скорочуючи залежність від викопного палива. Однією з переваг є здатність гідроелектростанцій регулювати водні потоки, що дозволяє зменшувати ризик повеней і приносить додаткові екологічні та соціальні вигоди.

Економічні переваги гідроелектростанцій полягають у їхній довговічності, адже вони можуть працювати десятиліттями з мінімальними потребами в модернізації. Вони забезпечують надійне постачання енергії навіть у періоди підвищеного попиту, що робить їх стабільним джерелом енергії. Гідроелектростанції також вирізняються гнучкістю виробництва, що дає змогу швидко адаптуватися до змін у споживанні електроенергії.

4. *Біомаса* пропонує значні екологічні переваги [2, 6, 17]. Її використання для енергетичних потреб сприяє утилізації органічних відходів, що зменшує їх накопичення на сміттєзвалищах. Процес спалювання біомаси вважається майже вуглецево нейтральним, оскільки кількість вуглекислого газу, що виділяється під час горіння, відповідає обсягу, який рослини поглинули під час свого зростання. Застосування біомаси допомагає знизити залежність від традиційного викопного палива, сприяючи переходу до більш сталих джерел енергії.

Економічно біомаса також має суттєві переваги. Вона сприяє розвитку сільськогосподарського сектора, стимулюючи створення нових робочих місць. Використання цього ресурсу дозволяє забезпечувати локальне енергопостачання, зменшуючи витрати на транспортування палива. Біомаса особливо вигідна в регіонах, багатих на органічні матеріали, де вона стає доступним і економічно ефективним джерелом енергії.

У порівнянні відновлюваних джерел енергії можна побачити, що кожне з них має свої унікальні переваги (рис. 2). Сонячна енергія є найбільш універсальною та екологічно безпечною для широкого впровадження в домашніх умовах та малому бізнесі. Вітрова енергія характеризується високою економічною ефективністю та можливістю використання на великих територіях із постійними вітрами. Гідроенергетика забезпечує надійне та стабільне енергопостачання, але вимагає значних інвестицій і може впливати на водні екосистеми. Біомаса є чудовим варіантом для переробки органічних відходів і підтримки аграрної економіки, однак її використання залежить від наявності відповідних ресурсів.

Таким чином, вибір конкретного джерела відновлюваної енергії залежить від географічних, економічних та екологічних особливостей кожного регіону, а також від потреб конкретних споживачів і можливостей інфраструктури.

Отже, відновлювані джерела енергії, такі як сонячна, вітрова, гідроенергетика та біомаса, мають значний потенціал для зниження впливу на навколишнє середовище та економічного розвитку. Вони сприяють зниженню викидів парникових газів, збереженню природних ресурсів та стимулюють створення нових робочих місць. Впровадження цих джерел енергії є важливим кроком у забезпеченні сталого розвитку та енергетичної незалежності.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ДОВКІЛЛЯ

2.1. Характеристика сучасного рівня розвитку енергетичного сектору та його вплив на довкілля

Енергетичний сектор відіграє важливу роль у світовій економіці та соціальному розвитку, але є також значним джерелом викидів парникових газів, що сприяють зміні клімату. Ці викиди виникають переважно через спалювання викопних видів палива, таких як вугілля, нафта і природний газ [51, 57]. Проте, на глобальному рівні відбувається активний перехід до відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), спрямований на зменшення шкідливого впливу енергетичного сектору на довкілля та забезпечення сталого розвитку.

Відновлювані джерела енергії, включаючи сонячну, вітрову, гідроенергетику та біомасу, стали основою глобальних змін в енергетичній галузі. Вони сприяють зниженню залежності від викопного палива, зміцненню енергетичної незалежності та досягненню екологічних цілей, зокрема зменшенню викидів вуглекислого газу відповідно до Паризької угоди.

Сонячна енергетика демонструє одне з найбільших зростань серед ВДЕ. З 2010 року встановлені потужності сонячних електростанцій у світі зросли у 20 разів. Цьому сприяло значне зниження вартості фотоелектричних панелей, підвищення їхньої ефективності та державні ініціативи у багатьох країнах, які підтримують розвиток «зеленої» енергетики.

Сонячна енергетика сьогодні активно використовується як на промисловому рівні (великі сонячні ферми), так і в приватному секторі (домашні сонячні установки). Китай [48], Індія, США, Німеччина та Японія є провідними країнами за кількістю встановлених сонячних потужностей [50]. Окрім традиційних фотоелектричних систем, розвиваються також нові технології концентраційної сонячної енергії, що використовують дзеркала для концентрації сонячного випромінювання і перетворення його на тепло для виробництва електроенергії (табл. 2).

Таблиця 2

Вплив різних джерел енергії на довкілля

Джерело енергії	Позитивний вплив	Негативний вплив
Сонячна енергія	1. Відсутність шкідливих викидів під час експлуатації 2. Невичерпне джерело енергії 3. Сприяє зменшенню викидів парникових газів	1. Виробництво панелей потребує рідкісних металів 2. Утилізація старих панелей може створити відходи 3. Вимагає великих площ для встановлення
Вітрова енергія	1. Не потребує води для охолодження 2. Низький рівень викидів парникових газів 3. Використовує постійний ресурс (вітер)	1. Може бути небезпечно для птахів і кажанів 2. Шумове забруднення та вплив на ландшафт 3. Вплив на морське середовище при установках у відкритому морі
Гідроенергетика	1. Не виділяє парникових газів під час виробництва електроенергії 2. Може допомагати регулювати водні ресурси 3. Довгострокова стабільність	1. Може змінювати природні водні екосистеми 2. Затоплення земель, вплив на міграцію риб 3. Можливе переселення місцевого населення
Біомаса	1. Утилізація відходів, зменшення сміття 2. Вуглецево нейтральний процес (CO_2 виділяється рівно стільки, скільки поглинається) 3. Використання сільськогосподарських відходів	1. Конкуренція за землі з продовольчими культурами 2. Вимагає багато води для вирощування енергетичних культур 3. Може призводити до вирубки лісів

Сонячна енергетика є одним із найбільш екологічно чистих видів енергії, оскільки її виробництво не супроводжується викидами парникових газів або інших шкідливих речовин, таких як діоксид сірки чи оксиди азоту [31, 36]. Сонце – це невичерпний ресурс, що робить сонячну енергію

ключовим компонентом для сталого енергетичного розвитку. Сонячна енергетика має низку екологічних викликів, які виникають під час її впровадження. Виробництво фотоелектричних панелей потребує використання рідкісних металів, таких як кадмій і селен. Цей процес є енергоємним і супроводжується викидами CO₂ та утворенням токсичних відходів.

Після завершення терміну служби сонячні панелі потребують належного поводження. Утилізація цих панелей є викликом через наявність небезпечних матеріалів і недостатню інфраструктуру для їхньої переробки. Це може створити серйозні екологічні проблеми в майбутньому.

Розміщення великих сонячних панелей вимагає значних площ землі. Це може негативно впливати на екосистеми та зменшувати біорізноманіття в регіонах, де розташовані такі об'єкти.

Вітрова енергетика є одним із провідних напрямів у секторі ВДЕ. Протягом останніх двох десятиліть цей сектор продемонстрував значне зростання завдяки покращенню технологій, зниженню витрат на будівництво турбін і підвищенню їхньої ефективності. Найбільші вітрові електростанції розташовані в Європі, Північній Америці та Азії. В Європі, зокрема, важливу роль відіграють морські вітрові електростанції, які мають вищу ефективність через стабільні морські вітри [23, 30].

Сучасні турбіни можуть досягати висоти понад 200 метрів та мати ротори з діаметром понад 100 метрів, що суттєво підвищує їхню продуктивність. Встановлення малих турбін у віддалених районах є ефективним способом забезпечення децентралізованого енергопостачання. Вітрова енергетика вважається екологічно чистим джерелом електроенергії, оскільки вона не спричиняє викидів парникових газів і не потребує води для охолодження. Проте цей вид енергетики має свої екологічні виклики.

Однією з проблем є загроза для фауни. Вітрові турбіни можуть бути небезпечними для птахів і кажанів через ризик зіткнення з лопатями. У

багатьох країнах цю проблему вирішують шляхом оптимального розташування турбін і використання технологій для відлякування птахів.

Іншим викликом є шумове забруднення та вплив на ландшафт. Турбіни можуть викликати занепокоєння серед місцевих жителів через шум і зміну вигляду місцевості, що нерідко стає причиною спротиву громад.

Морські вітрові електростанції також мають певний вплив на морські екосистеми. Вони можуть негативно позначатися на рибальстві та біорізноманітті, впливаючи на морське середовище.

Гідроенергетика [14, 15] залишається важливим джерелом енергії, особливо в країнах з розвиненими водними ресурсами, таких як Китай, Канада та Бразилія. Великі гідроелектростанції забезпечують стабільне постачання електроенергії, яка може використовуватися як базове джерело, так і для покриття пікових навантажень. Поряд з великими ГЕС зростає також використання малих гідроелектростанцій, що мають менший вплив на екологію та можуть бути встановлені у сільській місцевості або для децентралізованого енергопостачання.

Гідроелектростанції мають як позитивні, так і негативні наслідки для довкілля. Позитивним аспектом є те, що виробництво електроенергії не супроводжується викидами парникових газів або забрудненням водних ресурсів.

Гідроелектростанції мають низку екологічних та соціальних викликів. Вони можуть змінювати екосистеми через будівництво дамб і створення водосховищ. Це спричиняє зміну природних водних систем, затоплення значних територій та порушення міграційних шляхів риб.

Крім того, такі проекти можуть призводити до втрати біорізноманіття. У зонах затоплення зникають місця проживання багатьох видів рослин і тварин, що негативно впливає на екосистему.

Соціальні наслідки також є серйозним викликом. У багатьох випадках будівництво великих гідроелектростанцій потребує переселення місцевих жителів, що може створювати соціальні та економічні труднощі для громад.

Біомаса є важливим джерелом енергії в багатьох країнах світу, особливо в Європі, Північній Америці та Азії [1, 2, 17, 18]. Цей сектор охоплює різні типи органічних матеріалів, таких як деревина, сільськогосподарські відходи, харчові відходи, а також спеціально вирощені енергетичні культури. Біомаса використовується для виробництва тепла, електроенергії та біопалива (наприклад, біодизель і етанол), що допомагає скоротити залежність від викопних палив.

Ефективне використання біомаси передбачає як її спалювання для отримання енергії, так і використання технологій анаеробного зброджування для виробництва біогазу. Це підхід дозволяє зменшити обсяг органічних відходів і сприяє розвитку циркулярної економіки, де відходи перетворюються на цінний ресурс для виробництва енергії.

Біомаса вважається відновлюваним джерелом енергії, оскільки під час її спалювання виділяється така ж кількість вуглекислого газу, яку рослини поглинули під час свого росту. Існує кілька екологічних викликів, пов'язаних із використанням біомаси. Одним із них є викиди парникових газів. Хоча біомаса вважається вуглецево нейтральною, її спалювання може спричиняти викиди CO₂ та інших парникових газів. Якщо ж біомаса отримується з відходів або відновлюваних джерел, це може позитивно вплинути на вуглецевий баланс.

Ще однією проблемою є конкуренція за земельні ресурси. Вирощування енергетичних культур для біомаси може конкурувати з продовольчими культурами, створюючи загрозу продовольчій безпеці. Це може призводити до вирубки лісів та деградації земель, особливо у регіонах із обмеженими ресурсами.

Використання води є значним викликом. Енергетичні культури потребують великих обсягів води для зрошення, що може стати проблемою в регіонах із дефіцитом водних ресурсів.

Крім того, необхідно вирішувати питання утилізації відходів. Спалювання біомаси може призводити до утворення попелу та інших твердих

залишків, які потребують належного поводження. Хоча ці відходи часто використовуються як добрива, важливо забезпечити правильні методи утилізації, щоб уникнути забруднення навколишнього середовища.

Незважаючи на ці виклики, біоенергетика продовжує розвиватися завдяки технологічним вдосконаленням і зростаючій увазі до використання органічних відходів для виробництва енергії, що допомагає зменшити кількість викидів і відходів.

Загалом, перехід до відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна, вітрова енергетика, гідроенергетика та біомаса, є важливим елементом у боротьбі зі зміною клімату [8]. Ці джерела енергії дозволяють значно знизити рівень викидів парникових газів, порівняно з традиційними викопними джерелами, такими як вугілля, нафта та природний газ. Водночас кожен з цих видів ВДЕ має власні екологічні виклики, пов'язані з їх впровадженням.

Основною перевагою відновлюваних джерел енергії є зниження викидів парникових газів. Використання традиційних джерел енергії, таких як викопне паливо, є основною причиною викидів CO₂ та інших шкідливих речовин, що сприяють глобальному потеплінню. Перехід до ВДЕ допомагає значно скоротити ці викиди та захистити навколишнє середовище.

Однак, попри переваги, використання ВДЕ також пов'язане з певними ризиками для довкілля. Це включає вплив на екосистеми, споживання земельних і водних ресурсів, а також загрози для біорізноманіття. Для мінімізації цих ризиків необхідно впроваджувати новітні технології, які дозволяють підвищити ефективність використання ресурсів та мінімізувати вплив на навколишнє середовище.

Розвиток відновлюваних джерел енергії [7, 8, 9] є важливим кроком на шляху до сталого розвитку та захисту довкілля. Сучасні технології у сферах сонячної, вітрової, гідроенергетики та біомаси допомагають зменшити залежність від викопних палив і скоротити негативний вплив на клімат.

Очікується, що в майбутньому відбудеться подальше вдосконалення цих технологій, що дозволить підвищити ефективність енергетичних систем та

знизити їхню вартість. Крім того, інтеграція відновлюваних джерел з іншими сучасними технологіями, такими як системи зберігання енергії (батареї) та інтелектуальні енергетичні мережі, допоможе значно підвищити надійність енергопостачання та забезпечити більшу стійкість до змін клімату.

Отже, відновлювана енергетика відіграє ключову роль у глобальній енергетичній трансформації, сприяючи досягненню цілей сталого розвитку та збереженню нашої планети для майбутніх поколінь.

2.2. Оцінка екологічних переваг використання відновлюваних джерел енергії в Україні

Відновлювані джерела енергії, такі як сонячна, вітрова, гідроенергетика і біомаса, є ключовими для сталого розвитку, оскільки вони зменшують негативний вплив на навколишнє середовище, знижують викиди парникових газів та зменшують залежність від викопних видів палива. Однак кожне з цих джерел має свої екологічні переваги та недоліки, які слід враховувати при оцінці їхнього впливу на природу.

Для оцінки екологічних переваг відновлюваних джерел енергії застосовуються такі критерії:

Зменшення викидів парникових газів – наскільки ефективно джерело енергії допомагає знижувати викиди CO₂ та інших парникових газів.

Вплив на біорізноманіття – аналіз впливу джерела на природні екосистеми, флору і фауну.

Використання природних ресурсів – оцінка необхідності у використанні ресурсів, таких як земля, вода, мінерали.

Довгострокова стійкість – наскільки стабільним та надійним є джерело енергії у тривалому часі.

Для детальної оцінки екологічних переваг використання відновлюваних джерел енергії використовується бальна шкала від 1 до 5, яка дозволяє оцінювати кожен критерій. Нижче наведено детальний опис кожного бала за різними критеріями.

1. Зменшення викидів парникових газів

- **1/5:** Джерело енергії призводить до значних викидів парникових газів під час експлуатації або виробництва.
- **2/5:** Викиди парникових газів є суттєвими, але меншими, ніж у традиційних джерелах.
- **3/5:** Викиди є помірними, але все ще помітними у процесі експлуатації або виробництва.
- **4/5:** Викиди майже відсутні, але можливі незначні викиди на певних етапах, таких як виготовлення чи переробка матеріалів.
- **5/5:** Джерело не генерує парникових газів під час використання і є повністю чистим з екологічної точки зору.

2. Вплив на біорізноманіття

- **1/5:** Джерело суттєво впливає на екосистеми, спричиняючи втрату біорізноманіття.
- **2/5:** Існує помітний негативний вплив на біорізноманіття, особливо в екологічно вразливих зонах.
- **3/5:** Вплив на екосистеми помірний і піддається контролю.
- **4/5:** Негативний вплив є мінімальним і обмежується лише окремими регіонами або видами.
- **5/5:** Джерело майже не впливає на екосистеми та біорізноманіття.

3. Використання природних ресурсів

- **1/5:** Джерело вимагає великих обсягів природних ресурсів, що може призводити до їх виснаження.
- **2/5:** Використання ресурсів є значним і може створювати тиск на довкілля.
- **3/5:** Споживання ресурсів є помірним і часто збалансоване з їх відновленням.
- **4/5:** Джерело економно використовує ресурси, що мінімізує вплив на природу.

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

4. Довгострокова стійкість

- **1/5:** Джерело є нестабільним у довготривалій перспективі через виснаження ресурсів або погіршення екологічних умов.
- **2/5:** Стійкість обмежена через залежність від ресурсів чи зовнішніх чинників.
- **3/5:** Стійкість можлива, але залежить від низки факторів, таких як ресурси або кліматичні умови.
- **4/5:** Джерело є стійким, але може бути частково залежним від певних умов.
- **5/5:** Джерело є повністю стійким і може використовуватися в довготривалій перспективі без суттєвих обмежень.

Ця система оцінок дозволяє більш точно аналізувати вплив кожного джерела енергії на екологію та його потенціал для сталого розвитку (табл. 4).

1. Скорочення викидів парникових газів

Сонячна та вітрова енергетика мають найвищі показники у зниженні викидів парникових газів (5/5). Це пояснюється тим, що в процесі їх експлуатації не потрібне спалювання палива, тому немає викидів CO₂ та інших забруднювальних речовин.

Гідроенергетика також позитивно впливає на скорочення викидів CO₂ (4/5), оскільки під час роботи гідроелектростанції не продукують парникові гази. Проте можливе виділення метану при створенні водосховищ може вплинути на екологічний баланс. Біомаса має дещо нижчі показники в цьому аспекті (3/5), оскільки спалювання біомаси виділяє CO₂, але процес вважається вуглецево нейтральним, тому що рослини під час свого росту поглинули цей газ.

2. Вплив на біорізноманіття

Найбільш негативний вплив на біорізноманіття спостерігається у гідроенергетиці (2/5), оскільки будівництво дамб і водосховищ призводить до

зміни природних річкових екосистем і може впливати на міграцію риб та інших водних організмів. Хоча малі гідроелектростанції мають менший вплив, їхня ефективність є значно нижчою.

Сонячна енергія (3/5) також може впливати на екосистеми, оскільки великі сонячні ферми потребують значних площ землі. Це може стати проблемою для регіонів із багатим біорізноманіттям. Водночас цей вплив можна мінімізувати шляхом встановлення сонячних панелей на деградованих землях або на дахах будівель. Вітрова енергія отримує вищий бал (4/5), оскільки її вплив на екосистеми мінімальний, хоча існує ризик для птахів та кажанів через зіткнення з лопатями турбін.

Біомаса (3/5) може негативно впливати на біорізноманіття через вирощування монокультур для виробництва енергії. Це може призвести до зниження природних середовищ існування та вирубки лісів, особливо в тропічних регіонах.

3. Використання природних ресурсів

Вітрова енергетика є найбільш ефективною у використанні природних ресурсів (5/5), оскільки вітер є безкоштовним і невичерпним джерелом енергії, яке не потребує води або значних площ землі. Сонячна енергія (4/5) також показує високу ефективність, хоча виготовлення сонячних панелей потребує рідкісних металів, що може створювати екологічні проблеми під час видобутку.

Гідроенергетика (3/5) вимагає великих обсягів води для функціонування, що може бути проблематичним у регіонах із обмеженими водними ресурсами. Також будівництво водосховищ потребує великих площ, що впливає на навколишнє середовище. Біомаса має найнижчий показник у використанні природних ресурсів (2/5), оскільки для вирощування енергетичних культур потрібні великі обсяги води та землі, що створює конкуренцію з продовольчими культурами.

4. Довготривала стійкість

Сонячна, вітрова енергетика та гідроенергетика мають найвищі оцінки довготривалої стійкості (5/5). Сонячна та вітрова енергетика є практично невичерпними джерелами енергії, і з розвитком технологій їхня ефективність і доступність зростатимуть. Гідроелектростанції можуть функціонувати десятиліттями, забезпечуючи стабільну генерацію енергії в регіонах з достатніми водними ресурсами.

Біомаса також є поновлюваним джерелом енергії (4/5), проте її стійкість залежить від наявності землі та води. Нові технології можуть підвищити ефективність виробництва біомаси, але основною проблемою залишається конкуренція з продовольчими культурами (рис. 3).

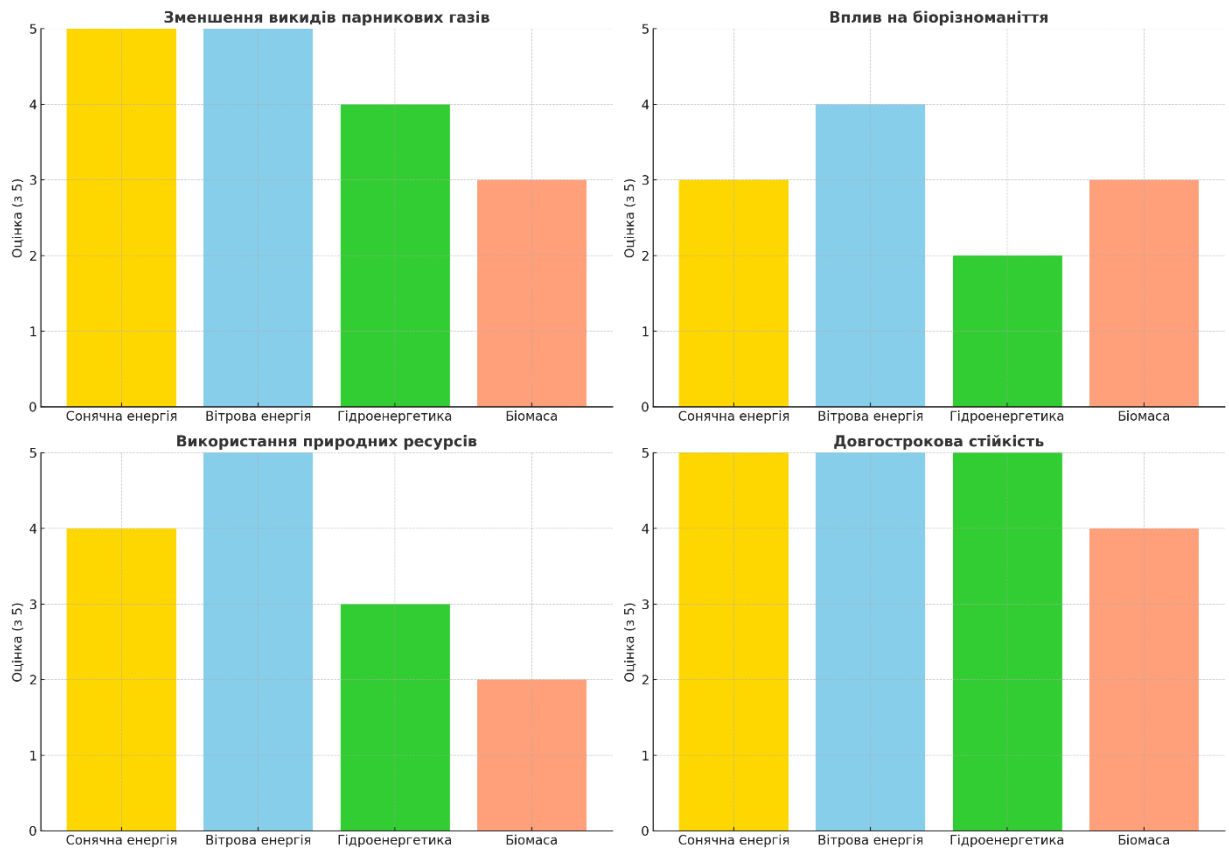


Рис. 3 Оцінка екологічних переваг для відновлюваних джерел енергії

Оцінка екологічних переваг різних відновлюваних джерел енергії свідчить про те, що сонячна та вітрова енергетика демонструють найвищий екологічний потенціал завдяки мінімальному використанню природних

ресурсів і відсутності викидів парникових газів під час експлуатації. Ці джерела мають найменший негативний вплив на довкілля та можуть ефективно сприяти досягненню цілей щодо зниження викидів CO₂, передбачених Паризькою угодою

Гідроенергетика є стабільним і надійним джерелом відновлюваної енергії, особливо в регіонах з достатніми водними ресурсами. Однак її вплив на річкові екосистеми та біорізноманіття залишається серйозним викликом, який потребує ретельного управління та інноваційних підходів до мінімізації шкоди.

Біомаса має значний потенціал, особливо в контексті утилізації органічних відходів та створення замкнених циклів виробництва енергії. Однак її екологічні виклики, такі як використання земельних і водних ресурсів, потребують подальшого вдосконалення технологій, що дозволить зменшити негативний вплив на довкілля.

Усі відновлювані джерела енергії потребують системного підходу до впровадження, що передбачає порівняння їхніх екологічних, економічних та соціальних аспектів. Інтеграція нових технологій, таких як системи зберігання енергії та інтелектуальні мережі, може підвищити їх ефективність і забезпечити стабільність енергопостачання в умовах зростаючого попиту на енергію.

Отже, відновлювані джерела енергії є важливим елементом глобальної енергетичної трансформації, спрямованої на зниження залежності від викопних видів палива та скорочення негативного впливу енергетичного сектору на довкілля. Впровадження відновлюваної енергетики є ключовим кроком на шляху до сталого розвитку та забезпечення екологічної рівноваги на планеті.

2.3. Оцінка потенціалу використання відновлюваних джерел енергії в різних секторах економіки в Україні

Відновлювані джерела енергії, такі як сонячна енергія, вітрова енергія, гідроенергетика і біомаса, є важливими елементами у процесі енергетичної трансформації, орієнтованої на сталий розвиток. Для того, щоб зрозуміти їхній потенціал, необхідно провести порівняльний аналіз на основі таких критеріїв: доступність ресурсів, рівень технологічної готовності, вартість впровадження, екологічні наслідки та економічна ефективність.

Критерії для оцінки потенціалу:

Доступність ресурсу – наявність і поширеність відповідного енергетичного ресурсу в певному регіоні.

Технологічна готовність – ступінь розвитку технологій, необхідних для впровадження та використання джерел енергії.

Вартість впровадження – фінансові витрати, пов'язані з встановленням та експлуатацією енергетичних систем.

Екологічний вплив – оцінка можливих екологічних наслідків для навколишнього середовища.

Економічна ефективність – рентабельність та вигода від використання джерела енергії як у короткостроковій, так і в довгостроковій перспективі.

Для детальної оцінки потенціалу відновлюваних джерел енергії використовується бальна шкала від 1 до 5, яка дозволяє оцінювати кожен критерій. Нижче наведено детальний опис кожного бала за різними критеріями.

1. Доступність ресурсу

Цей критерій оцінює рівень розповсюдження відповідного енергетичного ресурсу в певному регіоні.

1/5: Ресурс є вкрай рідкісним або недостатньо доступним у даному регіоні, його використання не є доцільним або економічно ефективним.

2/5: Ресурс присутній, але обмежений за кількістю або якістю, що знижує можливість його ефективного застосування.

3/5: Ресурс доступний у помірній кількості, однак може вимагати додаткових витрат або зусиль для оптимального використання.

4/5: Ресурс є досить поширеним, що забезпечує можливість його ефективного використання в енергетичній системі.

5/5: Ресурс є надзвичайно доступним і може використовуватися у великій кількості без значних обмежень.

2. Технологічна готовність

Цей критерій визначає ступінь розвитку технологій для впровадження енергетичних джерел.

1/5: Технології перебувають на початковій стадії розробки або є недостатньо вивченими, що робить їхнє впровадження складним або неефективним.

2/5: Технології доступні, але ще не вдосконалені, що робить їх використання малоефективним або дорогим.

3/5: Технології перебувають на середньому рівні розвитку, можуть бути використані, але мають обмежену ефективність або потребують удосконалень.

4/5: Технології є достатньо розвиненими для використання, але можуть потребувати адаптації до конкретних умов.

5/5: Технології готові до масштабного впровадження, є високоефективними та добре перевіреними.

3. Вартість впровадження

Цей критерій оцінює фінансові витрати на встановлення та експлуатацію енергетичних систем.

1/5: Вартість впровадження є надзвичайно високою, що робить проект економічно недоцільним без значної фінансової підтримки.

2/5: Витрати є значними, але можуть бути обґрунтовані за певних умов або з доступом до додаткових ресурсів.

3/5: Витрати є помірними, але впровадження може вимагати додаткових інвестицій або державної підтримки.

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

5/5: Вартість впровадження є низькою, що забезпечує швидке повернення інвестицій та економічну вигоду.

4. Екологічний вплив

Цей критерій оцінює потенційний вплив енергетичного джерела на навколишнє середовище.

1/5: Використання джерела спричиняє значні негативні наслідки для довкілля, може призвести до деградації екосистем або виснаження ресурсів.

2/5: Використання джерела має суттєвий вплив на довкілля, але існують способи для пом'якшення негативних наслідків.

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

4/5: Джерело має мінімальний негативний вплив на довкілля, шкода для екосистем є незначною.

5/5: Джерело є екологічно безпечним, не завдає шкоди навколишньому середовищу і сприяє покращенню екологічної ситуації.

5. Економічна ефективність

Цей критерій оцінює рентабельність використання енергетичного джерела з точки зору короткострокових та довгострокових фінансових вигод.

1/5: Джерело є економічно невикладним, потребує значних інвестицій без гарантії окупності.

2/5: Економічна ефективність є низькою, вигоди є обмеженими або ризиковими.

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

4/5: Джерело є економічно вигідним, інвестиції окупності у середньостроковій перспективі.

5/5: Джерело є дуже економічно вигідним, інвестиції швидко повертаються та забезпечують постійні фінансові вигоди у майбутньому.

1. Доступність ресурсів. Сонячна енергія є найширше доступним джерелом енергії, оскільки сонячне світло поширене практично в усіх частинах світу. Встановлення сонячних панелей може бути ефективним як у регіонах із високим рівнем сонячного випромінювання, так і в помірних кліматичних зонах. Вітрова енергія залежить від наявності стабільних вітрових потоків, тому її використання найефективніше на узбережжях і в регіонах з активною циркуляцією повітря. Гідроенергетика вимагає наявності значних водних ресурсів, що обмежує її використання тільки в певних географічних умовах. Біомаса є перспективною у сільськогосподарських регіонах, але її доступність визначається наявністю ресурсів для вирощування енергетичних культур і біовідходів.

2. Технологічна готовність. Сонячні та вітрові технології є найрозвиненішими і демонструють високий рівень готовності до широкого впровадження. Протягом останніх років вони суттєво знизилися у вартості та стали більш доступними. Гідроенергетика також має високий рівень технологічної готовності, але її впровадження обмежується складністю будівництва великих гідроелектростанцій та вимогами до природних ресурсів. Біомаса має стабільні технології для перетворення біологічних матеріалів у енергію, але ефективність цього процесу залежить від доступності сировини та ефективного управління ресурсами.

3. Вартість впровадження. Початкові інвестиції у сонячну та вітрову енергетику можуть бути досить високими, але завдяки зниженню вартості технологій ці джерела енергії стають дедалі більш доступними для широкого використання. Гідроенергетика потребує значних капіталовкладень на етапі будівництва, однак довготривала експлуатація робить ці установки економічно вигідними у перспективі. Вартість біоенергетики також є помірною, але залежить від доступності та вартості сировини для виробництва енергії (рис. 4).

4. Екологічний вплив. Сонячна та вітрова енергетика є найбільш екологічно безпечними, оскільки вони не генерують парникових газів під час

експлуатації. Однак сонячні електростанції можуть вимагати значних площ землі, що іноді впливає на місцеві екосистеми. Вітрові турбіни можуть негативно впливати на птахів і змінювати природний ландшафт, але цей вплив порівняно невеликий. Гідроенергетика чинить сильний вплив на екосистеми річок і водосховищ, порушуючи природний хід водних ресурсів і біорізноманіття. Біомаса, хоча і вважається вуглецево нейтральною, може спричиняти екологічні проблеми, пов'язані з вирощуванням енергетичних культур, виснаженням ґрунтів та конкуренцією з продовольчими культурами.

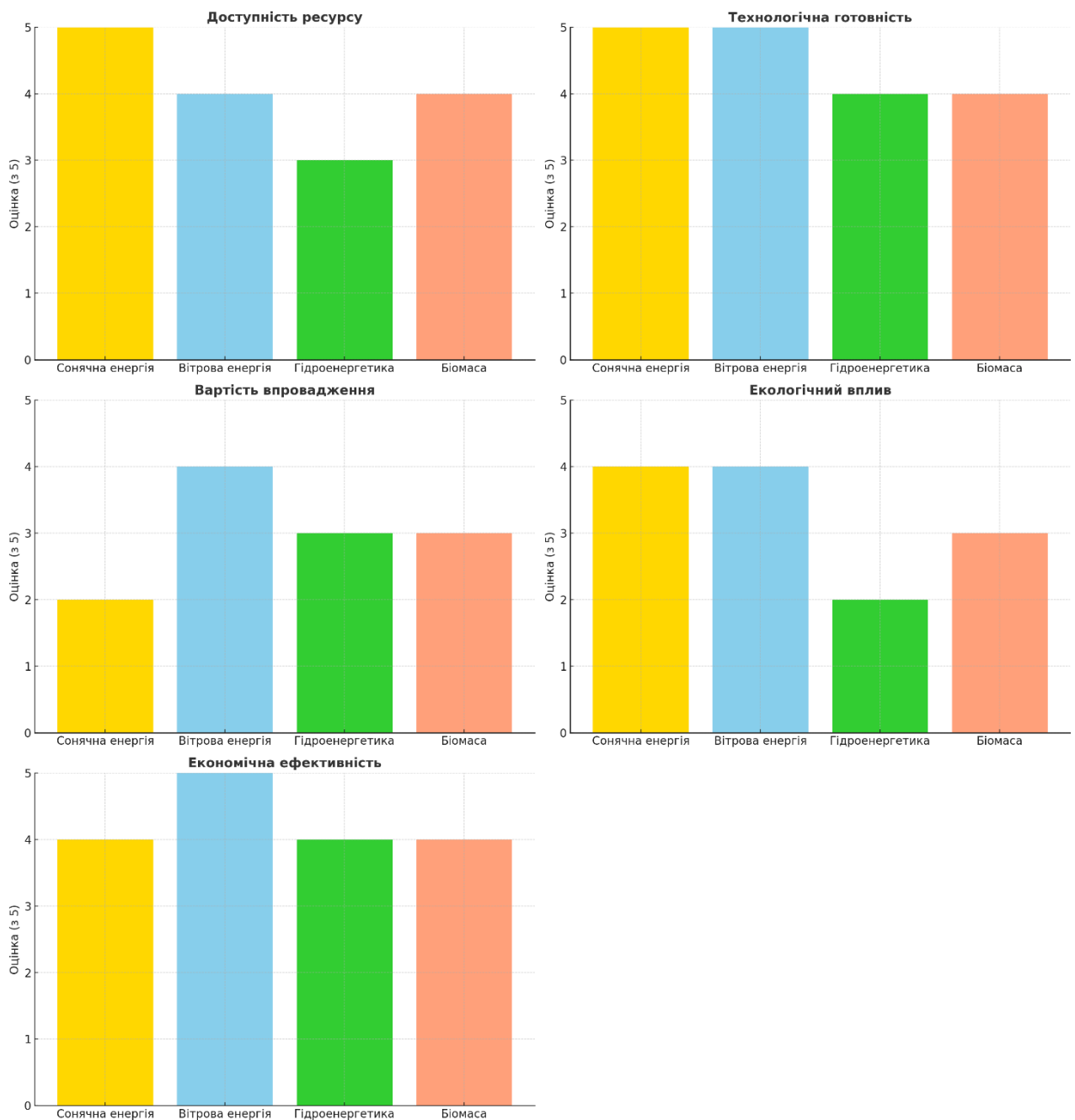


Рис. 4. Оцінка потенціалу використання відновлюваних джерел енергії

5. Економічна ефективність. Вітрова енергія показує найвищу економічну ефективність через відносно низькі експлуатаційні витрати і швидку окупність інвестицій. Сонячна енергія також є економічно вигідною завдяки тривалому терміну служби панелей і можливості їх широкого впровадження у житловому секторі. Гідроенергетика, хоча й вимагає великих первинних витрат, є стабільним джерелом енергії у довгостроковій перспективі. Біомаса є економічно вигідною у регіонах із багатими природними ресурсами, однак її ефективність залежить від вартості сировини і витрат на її переробку.

Отже, сонячна та вітрова енергетика мають найбільший потенціал для подальшого розвитку завдяки їхній високій доступності, розвиненій технологічній базі та економічній ефективності. Гідроенергетика залишається стабільним джерелом енергії, однак її використання обмежується негативним впливом на природні екосистеми та високими витратами на будівництво. Біомаса також є перспективною для регіонів із достатніми сировинними ресурсами, але потребує раціонального управління для зменшення екологічних ризиків. Цей аналіз дає змогу оцінити основні напрямки розвитку відновлюваних джерел енергії, з урахуванням їхнього впливу на екологію, економічну доцільність та технологічні можливості.

РОЗДІЛ 3. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО РОЗШИРЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

3.1. Підвищення енергоефективності та впровадження технологій чистої енергії

Підвищення енергоефективності та інтеграція технологій чистої енергії є визначальними для досягнення глобальних цілей сталого розвитку, зокрема зменшення впливу на клімат та скорочення використання викопного палива [60]. Ці заходи не тільки сприяють покращенню екологічної ситуації, але й забезпечують економічні вигоди на різних рівнях, від домогосподарств до національних економік.

Енергоефективність полягає у раціональному використанні енергетичних ресурсів з мінімальними витратами. Це може бути досягнуто через модернізацію існуючих енергетичних систем, заміну застарілих технологій на нові, а також застосування інноваційних рішень, таких як інтелектуальні системи управління енергією. Наприклад, енергоефективні будівлі з використанням теплоізоляції, розумних приладів та відновлюваних джерел енергії можуть значно зменшити споживання енергії та знизити витрати на комунальні послуги.

У промисловості енергоефективність також відіграє ключову роль. Сучасні технології дозволяють підприємствам скорочувати енергетичні витрати за допомогою автоматизації виробничих процесів, впровадження енергоощадних рішень та використання відновлюваних джерел енергії. Це не тільки знижує виробничі витрати, але й підвищує конкурентоспроможність підприємств на світовому ринку.

Технології чистої енергії, зокрема сонячна, вітрова енергія, гідроенергетика, геотермальна енергія та біомаса [42, 59] забезпечують значне скорочення залежності від викопного палива та зниження викидів парникових газів (табл. 3).

Таблиця 3

Підвищення енергоефективності та впровадження технологій чистої енергії

Ключові аспекти	Опис
Енергоефективність	Оптимальне використання енергетичних ресурсів з мінімальними витратами. Зменшення енергоспоживання за допомогою сучасних технологій та управлінських рішень.
Технологічні інновації для енергоефективності	Використання інтелектуальних систем управління енергією, модернізація старих енергетичних систем, заміна обладнання на більш ефективне.
Сфери застосування	Промисловість, комунальні послуги, будівлі, транспорт.
Чисті технології	Технології, що використовують відновлювані джерела енергії (сонячна, вітрова, гідроенергетика, геотермальна енергія, біомаса).
Економічні переваги	Зниження витрат на енергопостачання, створення нових робочих місць, залучення інвестицій у чисту енергетику.
Сонячна енергія	Фотоелектричні панелі, концентраційна сонячна енергія. Ефективність постійно зростає завдяки новим технологіям.
Вітрова енергія	Ефективні вітрові турбіни на суші і морі. З розвитком технологій стають потужнішими та доступнішими.
Гідроенергетика	Використання водної енергії для виробництва електрики. Малі та середні ГЕС мають мінімальний екологічний вплив.
Геотермальна енергія	Використання природного тепла Землі для виробництва електрики та тепла. Стабільне і постійне джерело енергії.
Біомаса	Переробка органічних відходів для отримання енергії. Виробництво електрики та тепла з відновлюваних ресурсів.
Основні виклики	Високі початкові витрати, застаріла інфраструктура, нестабільність відновлюваних джерел енергії, соціальний та політичний опір.
Рішення для викликів	Державна підтримка, інвестиції в модернізацію мереж, інтелектуальні мережі, системи зберігання енергії, освітні кампанії для громадськості.
Глобальні перспективи	Міжнародне співробітництво, розробка стратегій для досягнення вуглецевої нейтральності, обмін технологіями, фінансова підтримка чистої енергії у менш розвинених країнах.

Енергетика на основі викопних ресурсів є одним із головних чинників глобального потепління, тоді як чисті джерела енергії дають змогу виробляти електроенергію з мінімальним впливом на навколишнє середовище [20, 21, 22].

Сучасні фотоелектричні панелі стають дедалі доступнішими, що сприяє їхньому поширенню як на побутовому, так і на промисловому рівнях. Технології концентраційної сонячної енергії використовуються на великих сонячних електростанціях для підвищення ефективності виробництва електрики. Із розвитком технологій ефективність сонячних панелей постійно зростає.

Вітрові електростанції, особливо ті, що розташовані на морі, забезпечують високу ефективність виробництва енергії з мінімальним екологічним впливом. Розвиток технологій дозволив збільшити потужність турбін і знизити вартість виробленої енергії, роблячи цей сектор привабливим для інвесторів.

Гідроенергетика це один із найстаріших методів отримання електроенергії, який продовжує залишатися важливим компонентом сучасної енергетичної системи. Малі та середні гідроелектростанції мають мінімальний вплив на довкілля, що робить їх перспективними для регіонів із значними водними ресурсами [14, 15, 16].

Геотермальна енергія це стабільне та надійне джерело теплової енергії, яке використовується для виробництва електрики та тепла. Геотермальні електростанції мають мінімальний вплив на довкілля, оскільки використовують природне тепло Землі.

Використання біомаси є відновлюваним джерелом енергії, яке дозволяє ефективно переробляти органічні відходи для отримання тепла та електрики. Цей процес допомагає зменшити обсяги відходів і забезпечує додаткові джерела доходу для аграрного сектору.

Запровадження чистих енергетичних технологій сприяє не лише екологічній стабільності, але й стимулює економічне зростання. У

довгостроковій перспективі такі джерела енергії дозволяють знизити витрати на енергопостачання, створюючи нові робочі місця у сферах виробництва, монтажу та обслуговування обладнання для відновлюваної енергетики. Згідно з даними Міжнародного агентства з відновлюваної енергії (IRENA), кількість робочих місць у цій сфері зростає щороку, що робить цей сектор ключовим драйвером економіки.

Інвестиції у відновлювані джерела енергії є стабільними та довгостроковими. Завдяки програмам державної підтримки, пільговим кредитам і субсидіям чисті технології стають доступнішими для малого і середнього бізнесу, а також для домогосподарств [45, 47, 52].

Незважаючи на переваги, впровадження чистих енергетичних рішень стикається з рядом викликів, які необхідно подолати для їхнього масштабного застосування.

1. Високі початкові витрати та фінансування. Встановлення та модернізація систем чистої енергетики потребують значних капіталовкладень. Наприклад, встановлення сонячних панелей або вітрових турбін вимагає значних фінансових ресурсів, що може стати перешкодою для багатьох підприємств і домогосподарств, навіть якщо згодом експлуатаційні витрати будуть значно нижчими.

Шляхи вирішення є впровадження чистої енергетики може бути прискорене завдяки поєднанню державних стимулів, приватних інвестицій і технологічного прогресу [20]. Уряди можуть підтримувати екологічні проєкти за допомогою податкових пільг, субсидій та грантів, створюючи сприятливі умови для їх розвитку. Приватний сектор та інвестиційні фонди також відіграють ключову роль, фінансуючи «зелені» ініціативи й забезпечуючи стабільний дохід для інвесторів. Разом із цим, зниження вартості нових технологій робить системи відновлюваної енергії доступними для ширшого впровадження.

2. *Невідповідність інфраструктури.* Багато країн мають застарілу енергетичну інфраструктуру, яка не готова до інтеграції відновлюваних джерел енергії. Традиційна енергетична система часто не може забезпечити ефективне підключення нових розподілених джерел, таких як сонячні та вітрові установки [20, 21, 22].

Шляхи вирішення є модернізація енергетичних мереж є важливим кроком для підвищення їхньої ефективності та здатності інтегрувати різні джерела енергії. Інвестиції в оновлення національної та регіональної інфраструктури, а також впровадження інтелектуальних систем управління енергетичними потоками сприятимуть оптимальному розподілу енергії та забезпеченню стабільного постачання.

3. *Нестабільність відновлюваних джерел енергії* є серйозною технічною проблемою, оскільки їхня робота залежить від природних умов, таких як сонячне світло чи сила вітру. Це може спричиняти перебої в стабільному постачанні енергії, що створює виклики для їх інтеграції в енергетичну систему.

Одним із способів подолання цієї проблеми є впровадження ефективних систем накопичення енергії. Сучасні акумуляторні батареї, наприклад літій-іонні, дозволяють зберігати надлишкову енергію, вироблену в періоди високої генерації, і використовувати її тоді, коли виробництво знижується. Ще одним рішенням є створення гібридних систем, що об'єднують різні джерела енергії, такі як сонячна і вітрова. Це дає змогу компенсувати коливання виробництва одного джерела за рахунок іншого, забезпечуючи більш надійне постачання енергії.

4. *Соціальні та політичні перепони* часто стають на заваді впровадженню чистих енергетичних технологій. Однією з причин є низький рівень поінформованості населення про переваги відновлюваних джерел енергії, а також недостатня підтримка з боку урядових структур. Крім того, традиційні енергетичні компанії можуть лобіювати власні інтереси,

намагаючись зберегти домінування викопних джерел енергії, що уповільнює розвиток зеленої енергетики.

Розв'язання цієї проблеми можливе через реалізацію освітніх програм і проведення інформаційних кампаній, спрямованих на підвищення обізнаності громадян. Семінари, тренінги та різноманітні ініціативи дозволять поширити знання про переваги відновлюваних джерел і способи підвищення енергоефективності [26]. Водночас важливим кроком є урядова підтримка, яка має включати розробку програм із стимулювання використання чистої енергії, будівництво відповідної інфраструктури та інтеграцію екологічних технологій на національному рівні.

Перехід на відновлювані джерела енергії є однією з ключових глобальних стратегій для подолання зміни клімату та скорочення викидів парникових газів. Міжнародні організації, такі як ООН, Міжнародне агентство з відновлюваної енергії (IRENA), а також Європейський Союз і уряди провідних країн світу активно впроваджують політики для досягнення вуглецевої нейтральності до середини століття. Відновлювані джерела енергії вже стали стратегічними ресурсами для досягнення екологічних цілей та енергетичної незалежності.

Інтернаціональне співробітництво між країнами і обмін технологіями також відіграють важливу роль у прискоренні переходу до відновлюваної енергії. Розвинені країни можуть допомагати менш розвиненим регіонам шляхом фінансування проєктів у сфері чистої енергетики, що одночасно сприятиме глобальному зниженню викидів і забезпеченню доступу до чистої енергії для всіх.

Отже, підвищення енергоефективності та впровадження технологій чистої енергії є ключовими елементами сучасної стратегії сталого розвитку. Ці заходи не лише сприяють зменшенню екологічного впливу та досягненню глобальних цілей щодо зниження викидів парникових газів, але й мають важливі економічні переваги, стимулюючи створення нових робочих місць та забезпечуючи надійне та доступне енергопостачання.

Водночас для повної реалізації цього потенціалу необхідно подолати низку викликів, таких як високі початкові витрати, застаріла інфраструктура, технічні перешкоди та соціально-політичний опір. Комплексний підхід, що включає державну підтримку, інновації у сфері енергозберігаючих технологій, інвестування в модернізацію інфраструктури та міжнародну співпрацю, дозволить досягти значного прогресу в розвитку чистої енергетики та підвищенні енергоефективності на глобальному рівні.

3.2. Популяризація відновлюваних джерел енергії серед громадськості та бізнесу

Популяризація відновлюваних джерел енергії [7, 8, 9, 10, 43], таких як сонячна енергія, вітрова енергія, гідроенергетика та біомаса, є важливим етапом у світовій стратегії переходу до стійкої енергетики. В умовах зростаючих кліматичних змін, виснаження традиційних енергетичних ресурсів і погіршення екологічної ситуації стає нагальним завданням підвищення обізнаності громадськості й бізнесу про переваги та можливості використання альтернативних джерел енергії. Відновлювані джерела енергії мають значний потенціал для заміщення викопного палива [41, 46, 52, 58], зменшення викидів парникових газів та сприяння екологічному сталому розвитку (рис. 5).

1. Інформаційні кампанії відіграють ключову роль у популяризації відновлюваних джерел енергії. Їх основна задача – підвищити рівень обізнаності серед громадян і бізнесу. Такі заходи спрямовані на пояснення фінансових переваг, екологічної доцільності та можливості суттєво зменшити витрати на споживання енергії.

Сонячна енергія [36] є одним із найбільш доступних і вигідних варіантів. Важливо проводити просвітницьку роботу про зниження цін і зростання ефективності сонячних систем. Особливу увагу слід приділяти роз'ясненню переваг використання домашніх сонячних установок, які можуть повністю задовольняти потреби домогосподарств в електроенергії.

Вітрова енергетика [38] має великі перспективи. Інформаційна підтримка повинна зосереджуватися на перевагах малих вітрових турбін для приватних господарств. Важливо акцентувати на екологічній користі великих вітрових електростанцій, які мінімізують вплив на навколишнє середовище й сприяють енергетичній незалежності.

Гідроенергетика [14, 15] є особливо корисною для віддалених районів і сільської місцевості. Кампанії повинні висвітлювати переваги малих гідроелектростанцій, які забезпечують стабільне електропостачання без значного негативного впливу на екосистеми.

Біомаса становить важливий енергетичний ресурс. Варто акцентувати на використанні органічних залишків і відходів сільського господарства [57]. Це рішення дозволяє отримувати тепло й електроенергію, що є особливо актуальним для аграрних регіонів.

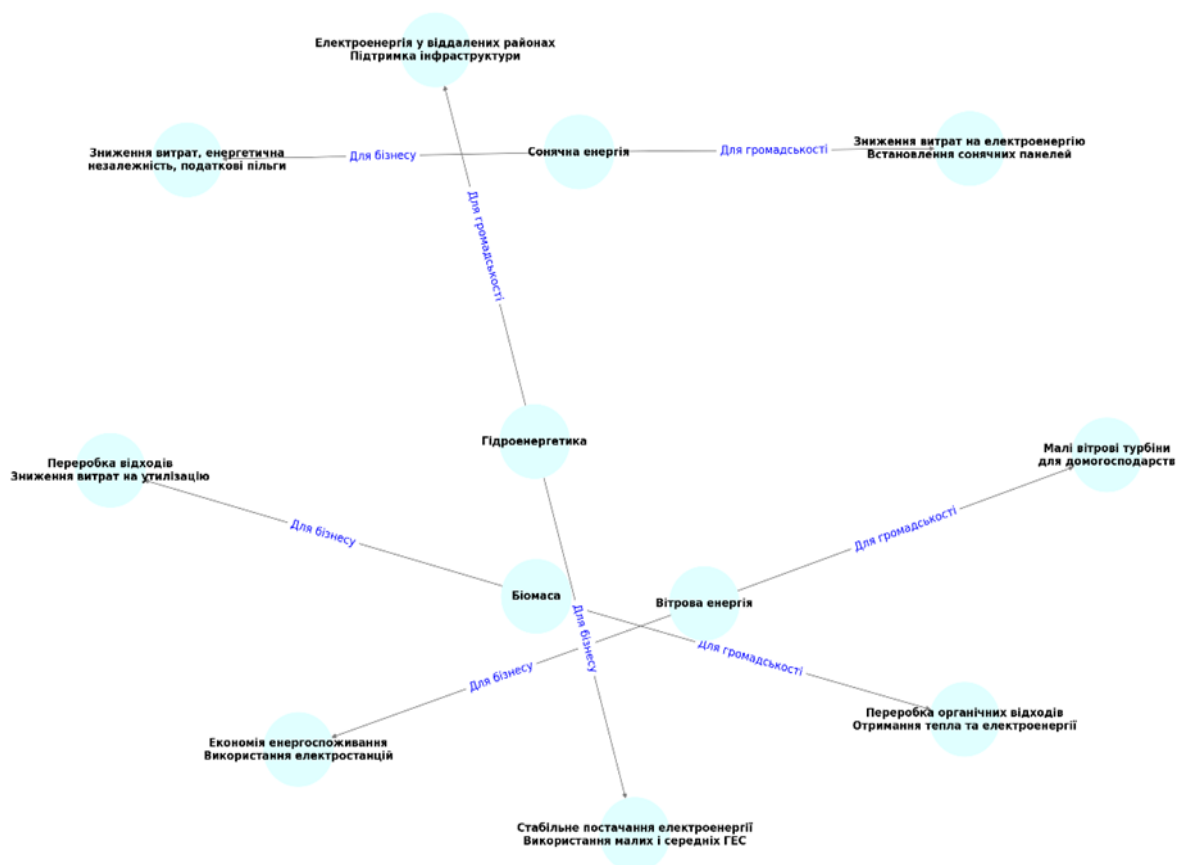


Рис. 5 Схема залежності між видами енергії та їх переваги для громадськості і бізнесу

2. *Фінансова підтримка та державні стимули* є важливими чинниками для розвитку відновлюваної енергетики. Вони можуть включати пільги, субсидії, вигідні кредити чи державні гранти. Завдяки цьому встановлення екологічно чистих енергетичних систем стає більш доступним.

Для населення передбачені програми [49], які пропонують субсидії на встановлення сонячних панелей, теплових насосів та інших енергетичних рішень для домогосподарств. Це дозволяє знизити витрати на встановлення та експлуатацію обладнання.

Для бізнесу діють стимули у вигляді податкових пільг і грантів, спрямованих на розвиток відновлюваних технологій. Це допомагає підприємствам не лише скоротити витрати на електроенергію, а й підвищити їхню екологічну репутацію. Такий підхід демонструє відповідальність компаній перед суспільством і природою.

3. *Місцеві енергетичні кооперативи* та проекти спільного інвестування є дієвим інструментом для залучення населення до використання відновлюваних джерел енергії. Вони сприяють зменшенню витрат на встановлення та обслуговування енергосистем. Такі ініціативи надають громадам можливість отримувати доступ до чистої енергії, зберігаючи при цьому екологічний баланс.

4. *Співпраця з бізнесом* відіграє важливу роль у розвитку відновлюваної енергетики. Компанії отримують економічну вигоду завдяки зниженню витрат на енергію, а також зміцнюють свій імідж, впроваджуючи екологічні стандарти. Використання чистих технологій може стати складовою корпоративної соціальної відповідальності, що покращує репутацію підприємства та забезпечує йому конкурентні переваги на ринку.

5. *Засоби масової інформації та соціальні мережі* є ефективними платформами для популяризації відновлюваних джерел енергії. Використання цих ресурсів дозволяє поширювати інформацію серед великої кількості людей. Проведення освітніх кампаній, публікація прикладів успішного впровадження

екологічних енергосистем та акцент на їхніх перевагах сприяють формуванню інтересу до теми й залученню широкої аудиторії.

6. *Розвиток інновацій* має вирішальне значення для підвищення ефективності та доступності відновлюваних джерел енергії. Впровадження нових технологій, таких як сучасні фотоелектричні панелі, вдосконалені вітрові турбіни та високоефективні акумулятори, значно підвищує продуктивність цих джерел.

Системи для зберігання енергії також грають важливу роль. Нові акумуляторні рішення дозволяють накопичувати електроенергію та забезпечують її безперебійне постачання. Це допомагає розв'язувати *проблему* нерівномірного виробництва енергії з відновлюваних джерел.

7. *Популяризація відновлюваних джерел енергії* потребує підготовки спеціалістів, які зможуть ефективно впроваджувати та обслуговувати такі системи. Для цього важливо створювати навчальні програми та забезпечувати сертифікацію для фахівців у галузі відновлюваної енергетики.

8. *Глобальні ініціативи та міжнародна співпраця* є важливим аспектом популяризації відновлюваних джерел енергії. Міжнародні організації та розвинені країни [53, 57] повинні підтримувати розвиток чистих енергетичних технологій у менш розвинених країнах, надаючи фінансову та технічну допомогу.

Отже, популяризація відновлюваних джерел енергії є важливим кроком для досягнення стійкого енергетичного розвитку. Це потребує комплексного підходу, що включає інформаційні кампанії, фінансові стимули, залучення бізнесу, інновації та міжнародну співпрацю. Впровадження відновлюваної енергетики не тільки сприяє збереженню навколишнього середовища, але й стимулює економічне зростання та створює нові робочі місця.

ВИСНОВКИ

1. Відновлювані джерела енергії, такі як сонячна, вітрова, гідроенергетика та біомаса, представляють собою важливу складову стратегії сталого розвитку, спрямовану на зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Кожне з цих джерел має свої унікальні екологічні та економічні переваги, що включають зниження викидів парникових газів та забезпечення стабільного постачання енергії. Наприклад, сонячна енергія є найбільш універсальною завдяки своїй невичерпності та відсутності шкідливих викидів під час генерації електрики. Вітрова енергія характеризується високою економічною ефективністю та можливістю використання на великих територіях з постійними вітровими умовами. Гідроенергетика, у свою чергу, забезпечує надійне енергопостачання, хоча її реалізація вимагає значних інвестицій та уважного підходу до охорони водних екосистем.

2. Екологічні та економічні переваги відновлюваних джерел енергії сприяють їхньому активному впровадженню у світовій енергетичній системі. Використання біомаси для виробництва енергії не тільки сприяє утилізації органічних відходів, але й є вуглецево нейтральним процесом, що знижує залежність від викопних палив. Кожне з відновлюваних джерел енергії має свої специфічні переваги, які повинні враховуватися при виборі оптимальної стратегії енергетичного розвитку для кожного регіону. Успішна інтеграція цих технологій у енергетичні системи може суттєво зменшити екологічний слід та підтримати економічний розвиток через створення нових робочих місць у відповідних секторах. Таким чином, відновлювані джерела енергії є критично важливими для забезпечення енергетичної незалежності та досягнення цілей сталого розвитку в умовах глобальних кліматичних змін.

3. Сучасний рівень розвитку енергетичного сектору свідчить про критичну необхідність переходу до відновлюваних джерел енергії для зменшення негативного впливу на довкілля. Відновлювальні джерела, такі як сонячна, вітрова, гідроенергетика і біомаса, демонструють значний потенціал

у скороченні викидів парникових газів і зниженні залежності від викопних видів палива. Проте їхнє впровадження супроводжується певними екологічними викликами, які потребують уважного управління. Зокрема, важливо враховувати вплив на біорізноманіття, споживання природних ресурсів та потребу в раціональному використанні земель. У зв'язку з цим, сталий розвиток відновлюваних джерел енергії вимагає комплексного підходу та впровадження інноваційних технологій.

4. Оцінка екологічних переваг відновлюваних джерел енергії демонструє, що сонячна та вітрова енергетика мають найвищі бали за критерієм зменшення викидів парникових газів (5/5). Це свідчить про їхню суттєву роль у боротьбі зі змінами клімату. Водночас, вітрова енергія показує високу оцінку в категорії технологічної готовності (5/5), що свідчить про готовність до широкого впровадження. Гідроенергетика має стабільні показники, але її вплив на біорізноманіття отримує нижчу оцінку (2/5) через зміни в природних водних екосистемах. Біомаса отримує змішані оцінки, зокрема за екологічний вплив (3/5), що вказує на необхідність ретельного управління для зменшення негативних наслідків.

5. Аналіз потенціалу використання відновлюваних джерел енергії вказує на їхню економічну ефективність, зокрема вітрова енергія отримує 5/5 за економічну ефективність. Це означає, що вітрові електростанції можуть забезпечити значну вигоду з точки зору низьких експлуатаційних витрат і швидкої окупності інвестицій. Сонячна енергетика також демонструє високі оцінки (4/5), оскільки має довгий термін служби панелей, що забезпечує постійний дохід для користувачів. Гідроенергетика, незважаючи на вищі витрати на будівництво, показує стабільність та довгострокову вигоду (4/5) у забезпеченні енергетичної безпеки. Біомаса, хоча й має менші оцінки за доступністю ресурсів (4/5) і екологічним впливом (3/5), все ж є важливим елементом, особливо в контексті утилізації відходів та розвитку сільського господарства. Отже, комплексний підхід до оцінки цих джерел енергії є

ключовим для забезпечення сталого розвитку та зниження впливу на навколишнє середовище.

6. Популяризація відновлюваних джерел енергії є критично важливою для переходу до стійкої енергетики, що сприяє зменшенню викидів парникових газів та збереженню навколишнього середовища. Інформаційні кампанії, які підвищують обізнаність населення та бізнесу про переваги використання таких джерел, є ключовим аспектом цього процесу. Завдяки фінансовим стимулам і державній підтримці, установка сонячних панелей, вітрових турбін і малих гідроелектростанцій стає дедалі доступнішою. Участь бізнесу в переході на відновлювану енергетику також відіграє важливу роль, оскільки компанії можуть знижувати витрати на енергію та підвищувати свою конкурентоспроможність. Таким чином, інтеграція відновлювальних джерел енергії в енергетичну систему забезпечує економічні вигоди на всіх рівнях.

7. Успішна популяризація відновлюваних джерел енергії вимагає комплексного підходу, що включає інноваційні технології, підготовку кадрів та міжнародну співпрацю. Розвиток нових технологій, таких як ефективні системи зберігання енергії, може значно підвищити продуктивність відновлюваних джерел. Одночасно, підготовка спеціалістів, здатних впроваджувати та обслуговувати такі системи, є важливим фактором для забезпечення їхньої стабільності та ефективності. Міжнародна співпраця та фінансова підтримка з боку розвинених країн сприяють впровадженню чистих технологій у менш розвинених регіонах. Загалом, такі заходи сприятимуть не лише екологічному сталому розвитку, але й соціально-економічному прогресу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Біла Ю. А. Біоенергетичні активи як інноваційний об'єкт обліку: визначення та критерії визнання. Облік і фінанси. 2023. № 4. Доступно: <https://afj.org.ua/ua/journals/> (дата звернення: 08.10.2024).
2. Біоенергетична асоціація України. Виробництво теплової та електричної енергії з біомаси в ЄС. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2023/11/1.-Geletuha-G.-G.-Vyrobnytstvo-teplovoyi-taelektrychnoyi-energiyi-z-biomasy-v-YES.pdf> (дата звернення: 08.10.2024).
3. Біоенергетична асоціація України. Енергетичне використання енерговідходів. URL: https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/09/Analityka_UABIO_energetychnyvykorystannia_agrovidhovidiv.pdf (дата звернення: 08.10.2024).
4. Боблях С. Р., Мельнічук В. С., Мельник В. С., Ігнатюк Р. М. Відновлювальні джерела енергії : монографія. Луцьк : Волинський національний університет ім. Лесі Українки, 2012. 227 с.
5. Бобух І. М. Пропозиції та перспективи формування національного багатства України : монографія. Київ : НАН України, Ін-т економіки та прогнозування, 2010. 372 с.
6. Будякова О. Ю. Біоекономіка: соціально-економічний аспект. Креативний простір України та світу : колективна монографія. Харків : СГ НТМ "Новий курс", 2022. С. 209–217.
7. Відновлювана енергетика та енергоефективність у промисловості. Держенергоефективності за підтримки Агенства США з міжнародного розвитку (USAID). Київ, 2017. 20 с.
8. Відновлювані джерела енергії (досвід Польщі для України) : навч. посіб. / Р. Титко, В. М. Калініченко. Варшава ; Краків ; Полтава : OWG, 2010. 530 с.
9. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / Бевз С. М. [та ін.]; під заг. ред. А. К. Шидловського ; НАН України, П-во «Укренергозбереження». Київ : Українські енциклопедичні знання, 2007. 560 с.

10. Відновлювані джерела енергії / За заг. ред. С. О. Кудрі. Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. 392 с.
11. Вітрова енергетика в Україні та світі. Хмарачос. 2022. URL: <https://hmarochos.kiev.ua/2022/01/18/vitrova-energetyka-v-ukrayini-ta-sviti/> (дата звернення: 08.10.2024).
12. Вітроенергетика України у 2022 р.. Інтерфакс-Україна. 2022. URL: <https://ua.interfax.com.ua/news/greendeal/796991.html> (дата звернення: 08.10.2024).
13. Герасімов Є. Г., Герасимов Г. Г. Використання відновлювальних джерел енергії : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2023. 467 с.
14. Гідроенергетика. Том 2. Гідравлічні машини : підручник / Є. Сокол [та ін.] ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". Харків : Промарт, 2020. 531 с.
15. Гідроенергетика : курс лекцій : навч. посіб. для студ. спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / уклад. В. І. Будько, П. Ф. Васько, С. Т. Пазич. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 205 с.
16. Гончарук І. В. Енергетична незалежність як суспільно-економічне явище // Економіка та держава. 2020. № 8. С. 71–77.
17. Гуцаленко Л. В., Фабіянська В. Ю. Організація обліку і контролю витрат на виробництво біологічного палива: монографія. Вінниця: Едельвейс і К, 2013. 272 с.
18. Дерій В. Облік і контроль за витратами на виробництво біопалива. Економічний аналіз: Збірник наук. праць каф. економічного аналізу Терноп. нац. екон. ун-ту. Тернопіль, 2010. Вип. 6. С. 414–419.
19. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі / Бурячок Т. О. та ін. ; наук. ред.: Клименко В. Н., Ландау Ю. О., Сігал І. Я. Київ, 2013. 391 с.
20. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Розвиток теплоенергетики та гідроенергетики / Базеєв Є. Т. та ін. ; наук. ред.: Клименко В. М., Ландау Ю. О., Сігал І. Я.. Київ, 2013. 399 с.

21. Енергія для всіх : техн. довід. з енергоощад. та відновних джерел енергії / Олександр Щербина. Вид. 4-е, доп. і перероб. Ужгород: Вид-во Валерія Падяка, 2007. 336 с.
22. Енергозбереження. Альтернативні та нетрадиційні джерела енергії : практ. посіб. для керівників бюджетних установ, співвласників багатоквартирних будинків, населення. Львів, 2008. 183 с.
23. Замула І. В., Травін В. В., Зузанська В. А. Облікове забезпечення виробництва біопалива в умовах реалізації Україною цілей сталого розвитку. Економіка, управління та адміністрування. 2022. № 2 (100). С. 17–25.
24. Кістерський Л. Л. Стратегічні принципи повоєнного відновлення України // Економіка України. 2023. № 2. С. 3–16.
25. Крушельницька Т. А., Крушельницький А. А., Качина Д. О. Напрями відновлення економіки України у повоєнний період. III International scientific and practical conference «Collective Thinking: Unifying Scientific Approaches in Multifaceted Research». November 29 – December 01, 2023. Amsterdam, Netherlands, International Science Unity, 2023. P. 358–364.
26. Маленко Я. В., Ворошилова Н. В., Кобрюшко О. О., Перерва В. В. Загальна екологія: навчальний посібник. Кривий Ріг: КДПУ, 2023. 231 с.
27. Метеленко Н. Г., Оглобліна В. О., Сумма В. С. Повоєнне «зелене» відновлення України: енергетичний перехід. Інноваційно-інвестиційний механізм забезпечення конкурентоспроможності країни: колективна монографія / за заг. ред. О. Л. Гальцової. Львів-Торунь: Ліга-Прес, 2022. 232 с.
28. Микитенко В. В. Повоєнне відновлення та розвиток критичної інфраструктури України. Вісник економічної науки України. 2023. № 1(44). С. 124–138.
29. Миколайчук М. М., Лесик О. В. Інструменти розвитку та повоєнного відновлення територій України: аналітичний огляд. Проблеми сучасних трансформацій. Серія: право, публічне управління та адміністрування. 2023. № 7. DOI: <https://doi.org/10.54929/2786-5746-2023-7-02-10>.

30. Михайлова Л., Семенишина І., Шпатакова О. Зелена енергетика як чинник енергетичної незалежності України. Економіка та суспільство. 2023. № 47. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-47-10>.
31. Напрями розвитку альтернативних джерел енергії: акцент на твердому паливі та гнучких технологіях його виготовлення : монографія / О. С. Полянський, О. В. Дьяконов, О. С. Скрипник та ін. ; за заг. ред. В. І. Дьяконова. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 136 с.
32. Нетрадиційна енергетика: основи теорії і задачі : навч. посіб. / Д. Л. Дудюк, С. С. Мазепа, Я. М. Гнатишин. Львів: Магнолія, 2008. 188 с.
33. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії : підруч. / С. О. Кудря. Київ: НТУУ «КПІ», 2012. 492 с.
34. Полухін А. В., Михайлова Л. М., Семенишина І. В., Чернявський А. В. Антикризове регулювання економіки у 2023 році: до питання реалізації стратегії енергетичної безпеки України. Академічні візії. 2023. № 17. URL: <https://academyvision.org/index.php/av/article/view/266> (дата звернення: 19.10.2024).
35. Самойленко С. Г. Гідроенергетичне обладнання гідро- та гідроакumuлюючих електростанцій : підручник. Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 2008. 410 с.
36. Сонячна енергетика: теорія та практика / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал; Нац. ун-т "Львівська політехніка". Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2014. 340 с.
37. Сотник І. М. Розвиток відновлювальної енергетики в Україні та світі: порівняльний аналіз. Енергоефективність та відновлювальна енергетика в Україні: проблеми управління : монографія / за заг. ред. д-ра екон. наук, проф. І. М. Сотник. Суми: Університетська книга, 2019. С. 28–53.
38. Станіслав І. Зелена енергетика в Україні на межі банкрутства. Що далі?. Економічна правда. 2022. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2022/04/10/685513/>. (дата звернення 09.10.2024).

39. Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку гідроенергетики України : аналітична доповідь. НІСД, 2014. 54 с.
40. Штулер І. Ю., Іванова В. В., Белякова О. В., Грицик В. В. Формування парадигми розвитку потенціалу відновлювальної енергетики національного господарства України : монографія / за наук. ред. д-ра екон. наук, проф. Д. В. Солохи. Мукачєво: Карпатська вежа, 2020. 132 с.
41. A strategy for the promotion of renewable energy for cleaner production in G7 economies: By means of economic and institutional progress / W. Huihui, M. Alharthi, I. Ozturk, A. Sharif, I. Hanif, X.Dong. Journal of Cleaner Production. 2024. Volume 434, 140323. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140323>.
42. Advancement of thermochemical conversion and the potential of biomasses for production of clean energy: A review / D.Bisen, A. Pratap S. Chouhan, M. Pant, S. Chakma. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2025. Volume 208, 115016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115016>.
43. Algarni S., Tirth V., Alqahtani T., Alshehery S., Kshirsagar P. Contribution of renewable energy sources to the environmental impacts and economic benefits for sustainable development. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2023. Volume 56, 103098. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103098>.
44. Hybrid renewable energy systems for sustainable power supply in remote location: Techno-economic and environmental assessment / D. Roy, R. Wang, S. Roy, A.Smallbone, A. P. Roskilly. Energy Conversion and Management: X. 2024. 100793. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100793>.
45. Ibrahim A. N., Hossam K., Abdella M. M. Economic and environmental benefits of increasing the renewable energy sources in the power system. Energy Reports. 2019. Volume 5. Pages 1082–1088. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.08.006>.
46. Ioannidis F., Kosmidou K., Papanastasiou D. Public awareness of renewable energy sources and Circular Economy in Greece. Renewable Energy. 2023. Volume 206. P. 1086–1096.

47. 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*. 2024. Volume 101, Part B, 113880. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.113880>. 50
48. Jiang P., Zha D., Yang G., Xia D.. Which decarbonization policy mixes are better for China's power sector? A simulation balancing aggregate abatement effects and economic impacts. *Energy Economics*. 2024. Volume 139, 107900. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107900>.
49. Kimura H. Differentiating Indigenous Peoples from local communities under climate regimes in just energy transition: Implications for the Inuit and Sami Peoples. *Polar Science*. 2024. 101123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polar.2024.101123>.
50. Luschini A. C., Rego E. E., Montebello N. How did the Russia–Ukraine war impact energy imports and electricity generation? A comparative analysis between Germany and the United Kingdom. *The Electricity Journal*. 2024. Volume 37, Issue 3, 107396. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tej.2024.107396>.
51. Mengfeng X., Farooq U., Tabash M. I., Aljughaiman A.A.. How does economic policy uncertainty influence energy policy? The role of financial sector development. *Energy Strategy Reviews*. 2024. Volume 55, 101523. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101523>.
52. Renewable Energy. U.S. Department of Energy. – Режим доступу: <https://www.energy.gov/eere/renewable-energy>. (дата звернення: 24.11.2024.)
53. Rodrigues T., Geißler G., Montaña M. Addressing climate change in Berlin's local land-use plans through strategic environmental assessment and knowledge brokering. *Environmental Impact Assessment Review*. 2025. Volume 110, 107651. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107651>.
54. Sectoral Evaluation and Damage Assessment in the Energy Sector of Ukraine. *Енергетична хартія*, 2022. URL: https://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/Occasional/2022_11_2

[4_UA_sectoral_evaluation_and_damage_assessment_Version_IV.pdf](#)

(дата звернення: 09.11.2024).

55. Tahir H. Optimization of energy storage systems for integration of renewable energy sources — A bibliometric analysis. *Journal of Energy Storage*. 2024. Volume 94, 112497. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.112497>.

56. Virah-Sawmy D., Sturmberg B. Socio-economic and environmental impacts of renewable energy deployments: A review . *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2025. Volume 207, 114956. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114956>.

57. Vos de R. Defining biomass: Which Types of Biomass Will Count as Renewable Energy Sources? *Refocus*. 2006. Volume 7, Issue 5. P. 58–59.

58. Yeo Y., Oh I. Evaluating the impacts of renewable energy promotion policies on sustainable development: A computable general equilibrium model approach. *Journal of Cleaner Production*. 2023. Volume 421, 138360. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138360>.

59. Yu Z., Kamran H. W., Amin A., Ahmed B., Peng S. Sustainable synergy via clean energy technologies and efficiency dynamics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2023. Volume 187, 113744. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113744>.

60. Zambrano-Monserrate M.A., Soto G. H., Ahakwa I., Manigandan P. Dynamic effects on modern renewable energy generation: The role of patents in clean energy technology. *Energy*. 2024. Volume 311, 133340. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.133340>.

61. Zhang 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*. 2024. Volume 56, 101567. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101567>.