

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В. Н. КАРАЗІНА

Економічний факультет
Кафедра міжнародної економіки та світового господарства

Реєстр № _____
Нормоконтролер

«До захисту»
в.о. зав. кафедри
к. е. н., доц. Шуба Т. П.

**ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В
УКРАЇНІ З УРАХУВАННЯМ ЗАРУБІЖНОГО ДОСВІДУ**

Кваліфікаційна робота бакалавра

Виконала:
студентка 4-го курсу
першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти
денної форми навчання
гр. ЕМ-42

Альона РИСКАЛЬ

Науковий керівник :
к. е. н., доцент

Тетяна КІМ

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. Методологічні основи дослідження розвитку альтернативної енергетики	9
1.1. Основні поняття альтернативної енергетики та класифікація альтернативних джерел енергії	9
1.2. Еволюція альтернативної енергетики в світі та Україні ...	17
1.3. Інституційні основи дослідження розвитку альтернативної енергетики у світі та Україні	28
Висновки до розділу 1.....	36
РОЗДІЛ 2. Можливості і перспективи розвитку альтернативної енергетики України з урахуванням зарубіжного досвіду	38
2.1. Досвід країн світу та їх підходи до розвитку альтернативної енергетики	38
2.2. Порівняльний аналіз ефективності альтернативних енергетичних технологій у різних країнах	47
2.3. Перспективи розвитку альтернативної енергетики в Україні.....	57
Висновки до розділу 2.....	67
ВИСНОВКИ.....	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	74
ДОДАТОК А. Схема «екосистеми» українського енергетичного сектору	84

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасних умовах трансформації світової енергетичної системи, що проявляється як у зростанні цін на традиційні енергоносії, так і поширенні зобов'язань щодо декарбонізації задля гальмування темпів глобальних кліматичних змін усе більшого значення набуває використання альтернативних джерел енергії. Альтернативна енергетика відіграє ключову роль у забезпеченні енергетичної безпеки, сталого розвитку та зменшенні залежності від викопних видів палива. Для України, яка прагне інтегруватися в європейський енергетичний простір та зміцнити свою енергетичну незалежність, розширення використання відновлюваних джерел енергії є стратегічним завданням. Світовий досвід свідчить, що ефективний розвиток альтернативної енергетики можливий за умов комплексного підходу, який включає підтримку з боку держави, інноваційні технології, фінансові стимули та розвинену інфраструктуру. Аналізуючи політику розвинених країн у цій сфері, можна визначити найкращі практики, які доцільно адаптувати для українських реалій. Це дозволить сформувати оптимальну модель розвитку альтернативної енергетики, враховуючи економічні, екологічні та соціальні аспекти.

Окрім цього, важливим фактором є необхідність диверсифікації джерел енергії, що сприятиме зменшенню впливу зовнішньополітичних та економічних ризиків. Війна в Україні значно посилила питання енергетичної безпеки, адже руйнування інфраструктури та залежність від імпорту енергоресурсів загрожують стабільному функціонуванню економіки. Тому розвиток альтернативної енергетики не лише сприятиме екологічній стійкості, а й стане дієвим інструментом економічного відновлення та посилення національної безпеки. Україна має значний потенціал у сфері відновлюваної енергетики. Географічне розташування та природні ресурси створюють сприятливі умови для розвитку сонячної, вітрової, біоенергетики та гідроенергетики. Водночас ключовими викликами залишаються нестабільність інвестиційного середовища,

відсутність довгострокової стратегії підтримки галузі та необхідність удосконалення законодавчої бази.

Зважаючи на вищезазначене, дослідження перспектив розвитку альтернативної енергетики в Україні з урахуванням зарубіжного досвіду є гостро актуальним. Визначення ефективних механізмів державної підтримки, залучення інвестицій, використання сучасних технологій та створення сприятливих умов для бізнесу дозволять сформувати дієву енергетичну політику, яка відповідатиме європейським стандартам і сприятиме сталому розвитку країни.

Ступінь наукової вивченості теми. Теоретичні та інституційні основи розвитку альтернативної енергетики розробляють такі дослідники як Бевз С.В., Писанко С.В., Романюк Р.В., Павлов К.В., Павлова О.М. Дослідження таких авторів, як Голубєва О.Є., Солодовнікова О.І., Баланчук Т.А., Губська О.В., Грабовецька І.В., Ковальчук Ю.І. присвячені темі управління ризиками в енергетиці. Бондаренко В. розглядає проблеми та перспективи диверсифікації енергетичного комплексу України, а також інноваційні технології в енергетичному секторі. Проблему енергетичної безпеки в контексті відносин України з ЄС розв'язують такі автори, як: Компас М., Квасній Л.Г., Малик Л.О., Щербан О.Я., Солтисік О.Я., які розглядають можливості імплементації зарубіжного досвіду забезпечення енергоефективності. Ці дослідження сформували методологічну базу нашого дослідження, яке концентрує увагу на перспективах розвитку альтернативної енергетики в Україні, що можуть відкритися в процесі міжнародної співпраці у цій галузі, зокрема, в процесі вивчення передового зарубіжного досвіду використання альтернативних джерел енергії.

Метою дослідження є на основі аналізу сучасного стану світової альтернативної енергетики і вивчення зарубіжного досвіду розвитку цієї галузі оцінити можливості і перспективи його використання та розробити рекомендації щодо її ефективного розвитку в Україні.

Для досягнення мети були сформульовані і вирішені наступні **завдання**:

- визначити основні поняття альтернативної енергетики та представити класифікацію альтернативних джерел енергії;
- дослідити еволюцію альтернативної енергетики в світі та Україні;
- охарактеризувати інституційні основи дослідження розвитку альтернативної енергетики у світі та Україні;
- вивчити досвід країн світу та їх підходи до розвитку альтернативних джерел енергії;
- провести порівняльний аналіз ефективності альтернативних енергетичних технологій у різних країнах;
- оцінити перспективи розвитку альтернативної енергетики в Україні з урахуванням зарубіжного досвіду.

Об’єктом дослідження є розвиток альтернативної енергетики в сучасній світовій економіці.

Предметом дослідження є перспективний розвиток альтернативної енергетики в Україні з урахуванням зарубіжного досвіду.

Методи дослідження. Загальнонаукові методи – аналіз і синтез – використані для визначення основних понять і категорій, надання класифікації видів енергії, системний підхід і структурний аналіз – для уявлення енергетики і зокрема, альтернативної енергетики як системи складових, з їх зв’язками та впливом різноманіття факторів. Графічний метод дозволив візуалізувати ці уявлення. Історичний аналіз дозволив описати еволюційний розвиток альтернативної енергетики у світі та в Україні. Метод логічного узагальнення використаний для визначення ключових передумов, характеристики стану і оцінки перспектив розвитку альтернативної енергетики у світі і в Україні. Метод порівняльного аналізу – для виявлення особливостей розвитку альтернативної енергетики в різних країнах світу; метод економічного аналізу, зокрема метод діаграм – для виявлення основних тенденцій і метод таблиць – для оцінки ККД та економічних ефектів застосування альтернативних джерел енергії у світі в цілому та різних країнах світу. Метод таблиць використано

також для оцінки потенціалу альтернативної енергетики в Україні. Також у дослідженні використано метод експертних оцінок – для аналізу перспектив розвитку альтернативної енергетики в Україні на основі думок фахівців у галузі енергетики, екології та економіки. Метод прогнозування застосовано для визначення можливих сценаріїв розвитку відновлюваної енергетики в Україні з урахуванням міжнародного досвіду та сучасних технологічних тенденцій. Метод узагальнення і резюмування використано для формулювання висновків кваліфікаційної роботи.

Інформаційну базу дослідження складають державні нормативно-правові акти, документи міжнародних організацій, монографії, публікації в наукових виданнях, аналітичні звіти міжнародних організацій і компаній, офіційна статистична інформація. Для аналізу енергетичної політики України використовувалися офіційні ресурси Міністерства енергетики України, Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, а також Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження. Для вивчення міжнародного досвіду були використані дані Міжнародного енергетичного агентства (IEA), Європейської комісії, Агентства з відновлюваної енергетики (IRENA) та інших аналітичних центрів, що займаються дослідженнями у сфері альтернативної енергетики.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи. Тези основних висновків кваліфікаційної роботи опубліковані у збірнику наукових праць XXII Міжнародної науково-практичної конференції «Scientific trends in the development of modern technologies» (Краків, Польща, 2-4 червня 2025 р.): Рискаль А. А., Кім Т. І. Розвиток альтернативної енергетики: зарубіжний досвід та вітчизняні перспективи. Scientific trends in the development of modern technologies: Abstracts of XXII International Scientific and Practical Conference. June 2-4, 2025. Krakow, Poland. URL: <https://eu-conf.com/events/science-modern-technologies-and-humanity-problems-theories-and-thoughts/>

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи. Робота складається зі вступу, двох розділів, висновків. Загальний обсяг роботи складає 84 сторінки

тексту, включає 6 таблиць, 8 рисунків, 1 додаток, список використаних джерел, який налічує 74 позиції.

РОЗДІЛ 1

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗВИТКУ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

1.1. Основні поняття альтернативної енергетики та класифікація альтернативних джерел енергії

У контексті дослідження перспектив розвитку альтернативної енергетики, фундаментальним є визначення ключового терміну – «альтернативна енергетика». У науковій літературі цей термін трактується як використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) задля вироблення енергії, що охоплює природні ресурси, здатні до самовідновлення протягом часових проміжків, співмірних або менших за інтенсивність їх експлуатації [20, с. 12]. До цієї категорії належать енергія сонячного випромінювання, кінетична енергія вітру, потенційна та кінетична енергія водних мас (за винятком великих гідроелектростанцій зі значним екологічним впливом), тепла енергія земних надр, енергія біомаси різного походження та енергія океану в її різноманітних формах. Хоча термін «альтернативна енергетика» включає й інші нетрадиційні енергетичні рішення, такі як водень (як вторинний носій енергії) або технології уловлювання та зберігання вуглецю, у межах даного дослідження основна увага буде зосереджена саме на відновлюваних джерелах енергії як ключовому напрямку сталого енергетичного розвитку та перспективному секторі для України.

Для систематизації дослідження, відновлювані джерела енергії доцільно класифікувати за первинним джерелом енергії, що лежить в їх основі. Сонячна енергія являє собою електромагнітне випромінювання Сонця, яке трансформоване у теплову або електричну енергію за допомогою відповідних технологій. Вітрова енергія використовує кінетичну енергію атмосферних потоків для генерації механічної або електричної енергії. Гідроенергія охоплює енергію рухомої води, включаючи річкову течію, припливи та хвилі, що

перетворюється на електроенергію за допомогою гідротехнічних споруд. Геотермальна енергія базується на використанні внутрішнього тепла Землі для виробництва електроенергії або теплопостачання [25, с. 215]. Енергія біомаси включає використання органічної речовини рослинного та тваринного походження як палива для генерації тепла або електроенергії, а також для виробництва біопалива. Нарешті, енергія океану охоплює різноманітні форми енергії, що містяться в океанічному середовищі, включаючи енергію хвиль, припливів, течій та термальну енергію океанських вод, технології використання якої активно досліджуються та розвиваються. Чітке розуміння цієї класифікації є необхідним для подальшого аналізу потенціалу, ефективності та особливостей розвитку кожного з цих джерел у контексті досліджуваних країн та України.

Альтернативне джерело енергії визначається як будь-яке джерело енергії, яке замінює викопне паливо. Згідно з українським законодавством, альтернативні джерела енергії включають відновлювальні енергії, такі як сонячна, вітрова, геотермальна, гідротермальна, аеротермальна енергії, енергія хвиль і припливів, гідроенергія, біомаса, газ з органічних відходів, біогаз, а також вторинні енергетичні ресурси, до яких належать доменний та коксівний газ, метан із дегазації вугільних родовищ, та енергія, що отримується від технологічних процесів. Також до альтернативних джерел відносять природний газ з малих родовищ, супутній нафтовий газ, сланцевий газ, газові гідрати, важкі нафти [2, с. 41].

Альтернативні джерела енергії посідають важливе місце в сучасній енергетичній політиці, оскільки вони здатні забезпечити енергетичну безпеку та зменшити негативний вплив традиційних джерел енергії на навколишнє середовище. Сонячна, вітрова, гідроенергія, біоенергія та геотермальна енергія становлять основні види альтернативних джерел, що активно використовуються у світі для забезпечення сталого розвитку [4, с. 6]. Вибір кожного з них залежить від природних умов, економічної ефективності та технологічних можливостей (рис. 1.1). Альтернативні джерела енергії є важливою складовою стратегії переходу до сталого енергоспоживання. Вони

сприяють зменшенню залежності від традиційних викопних джерел енергії, таких як вугілля та нафта, та допомагають знизити рівень викидів вуглекислого газу.

Сонячна енергія	<ul style="list-style-type: none"> • Енергія, яка отримується від сонячного випромінювання, що може бути перетворена в електричну або теплову енергію за допомогою сонячних батарей або колекторів.
Вітрова енергія	<ul style="list-style-type: none"> • Енергія, яка генерується за допомогою вітрогенераторів, які перетворюють кінетичну енергію вітру в електричну енергію.
Гідроенергія	<ul style="list-style-type: none"> • Використання потенціальної та кінетичної енергії води для виробництва електричної енергії через гідроелектростанції.
Біоенергія	<ul style="list-style-type: none"> • Енергія, що отримується з органічних матеріалів, таких як деревина, сільськогосподарські відходи, біогаз, які можуть бути перероблені на електричну або теплову енергію.
Геотермальна енергія	<ul style="list-style-type: none"> • Енергія, що отримується з внутрішніх теплових процесів Землі для виробництва електричної та теплової енергії.
Термоядерна енергія	<ul style="list-style-type: none"> • Потенційне джерело енергії, що ґрунтується на термоядерних реакціях, які відбуваються в середині зірок, зокрема на Землі, ця технологія поки що перебуває на стадії дослідження та розвитку.

*Рис. 1.1. – Сутність та класифікація альтернативних джерел енергії
Джерело: складено автором на основі [54, с. 84].*

З кожним роком технології, що стосуються альтернативної енергетики, удосконалюються, що дозволяє знижувати витрати та збільшувати

ефективність. Розвиток цих джерел енергії є необхідною умовою для забезпечення енергетичної незалежності та збереження екологічного балансу в світі. Енергетичні ресурси охоплюють природні види палива, серед яких вугілля, газ, нафта, сланці, ядерне паливо, теплота Землі, а також енергію Сонця, вітру, приливів та відливів, течії річок та інші джерела енергії. Паливно-енергетичний комплекс (ПЕК) країни включає в себе всі процеси генерації, передачі, перетворення та використання енергії, що відносяться до традиційної енергетики. Енергетичне господарство складається з комплексної системи, що об'єднує процеси добування, виробництва, передачі, перетворення та споживання енергії [54, с. 68].

Важливими науковими категоріями, що формують системне уявлення про розвиток альтернативної енергетики, в нашому дослідженні виступають наступні: енергетика, паливо, паливно-енергетичний комплекс, паливно-енергетичний баланс, енергетична система країни, регіону, світу. Визначимо кожен з них.

Енергетика – це сукупність галузей, що забезпечують виробництво, розподіл і споживання енергії для потреб суспільства та економіки. Вона поділяється на традиційну та альтернативну. Традиційна енергетика базується на використанні викопних енергоносіїв (вугілля, нафти, газу) та атомної енергетики, тоді як альтернативна енергетика охоплює поновлювані та екологічно чисті джерела, такі як сонячна, вітрова, гідроенергетика, біоенергетика та геотермальна енергія [19, с. 54].

Сучасна енергетика являє собою складну багаторівневу систему, в якій традиційні джерела енергії, що базуються на викопному паливі та ядерному розщепленні, поступово доповнюються та інтегруються з альтернативними, або відновлюваними, джерелами. Ця структурна трансформація є відповіддю на зростаючу низку глобальних викликів, включаючи зміну клімату, вичерпність невідновлюваних ресурсів та необхідність забезпечення сталого енергетичного майбутнього. Візуалізація енергетичної структури чітко демонструє, як альтернативна енергетика, представлена сонячною, вітровою, біоенергетикою,

геотермальною енергією та енергією океану, стає невід’ємною складовою загального енергетичного балансу (рис. 1.2).

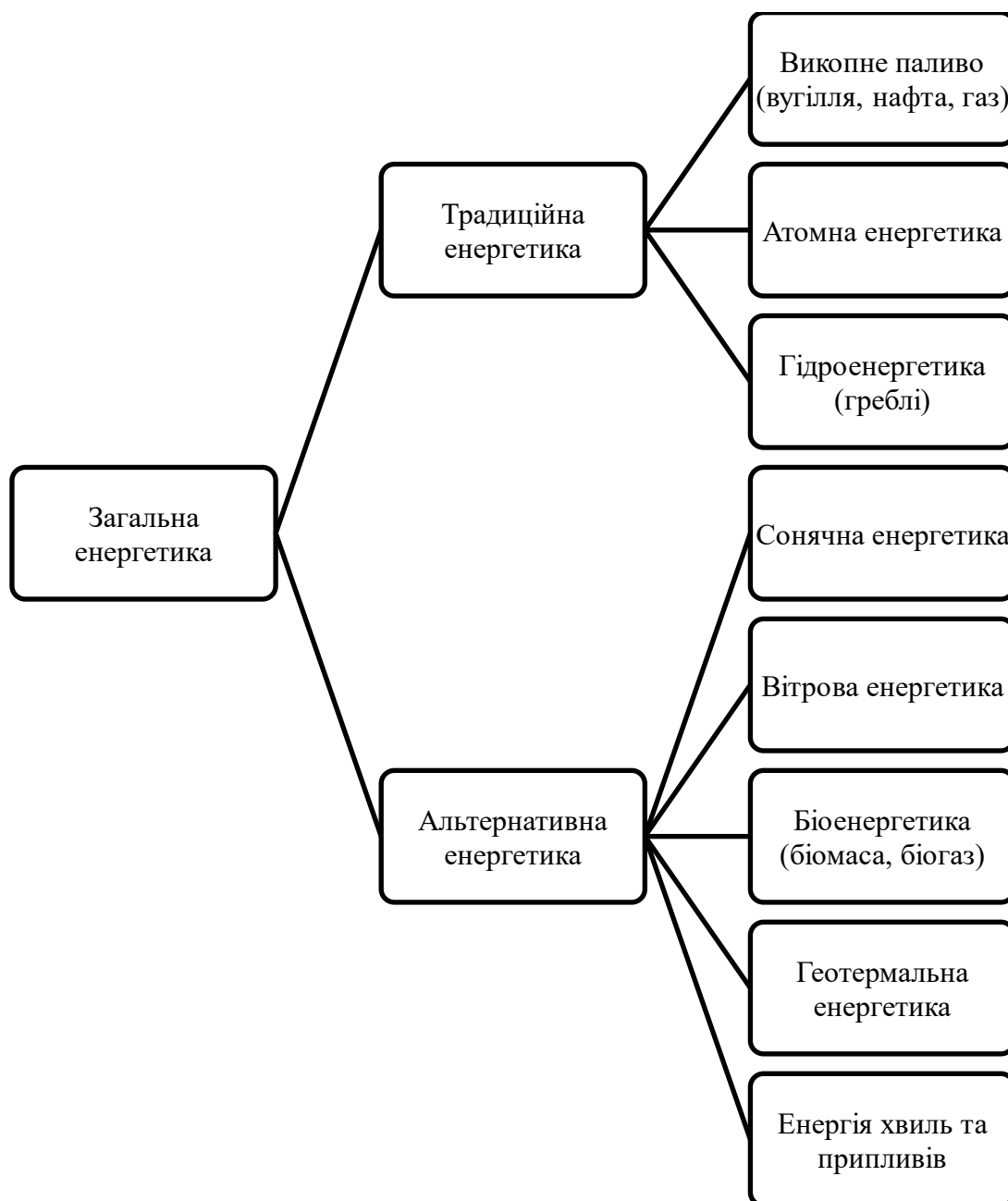


Рис. 1.2. – Структура енергетики

Джерело: складено автором на основі [17, с. 24].

Відлік активного розвитку та впровадження альтернативних джерел енергії сягає 70-х років ХХ століття. Енергетичні кризи того часу, а також перші серйозні наукові обґрунтування антропогенного впливу на клімат, стали

каталізаторами для пошуку та розвитку чистіших та більш стійких енергетичних технологій [9, с. 14]. Початкові кроки у цьому напрямку супроводжувалися значними науково-дослідними зусиллями та першими пілотними проектами у сфері сонячної та вітрової енергетики. З часом, завдяки технологічному прогресу, зниженню собівартості виробництва та політичній підтримці, альтернативна енергетика почала набувати все більшого поширення у світовому енергетичному міксі.

Станом на 2022 рік, середня частка альтернативної енергетики у глобальному виробництві електроенергії коливається в межах 15-20%. Однак цей показник значно варіюється залежно від країни та регіону, відображаючи різницю в природних ресурсах, економічному розвитку та політичних пріоритетах [61]. Спостерігаються значні екстремуми: від країн з мінімальною часткою альтернативної енергії, що становить близько 1%, до лідерів, де відновлювані джерела забезпечують до 60% і більше національного енергоспоживання [8]. Такі високі показники часто досягаються завдяки значному гідроенергетичному потенціалу або активній політиці стимулювання розвитку вітрової та сонячної генерації.

У глобальному масштабі частка альтернативної енергетики у виробництві електроенергії станом на 2022–2023 роки становить у середньому 13–14%. Найнижчі показники демонструють держави з переважно традиційним енергетичним профілем, зокрема Саудівська Аравія – близько 1% альтернативної енергії у загальному енергобалансі. Водночас абсолютним лідером у використанні відновлюваних джерел є Ісландія, де понад 60% енергії виробляється з геотермальних джерел та малих ГЕС, що зумовлено природними умовами країни [16, с. 7].

Україна також пройшла певний шлях у розвитку альтернативної енергетики. У 70-ті роки ХХ століття, фокусуючись переважно на традиційних джерелах, частка відновлюваних джерел енергії була фактично непомітною, за винятком гідроенергетики, яка часто розглядається окремо. Однак, у 2022 році, завдяки усвідомленню необхідності диверсифікації енергетичних джерел та

екологічним зобов'язанням, частка альтернативної енергетики в Україні зросла до 10-12% загального енергобалансу, що стало результатом розвитку сонячних та вітрових електростанцій [2, с. 45].

Таким чином, зростаюче поширення альтернативної енергетики є ключовою тенденцією у світовому енергетичному розвитку. Її значення виходить далеко за межі простого доповнення до існуючих енергетичних систем. Альтернативна енергетика є важливим інструментом у боротьбі зі зміною клімату, забезпеченні енергетичної безпеки, стимулюванні економічного зростання та створенні більш стійкої та децентралізованої енергетичної інфраструктури. Подальший розвиток та інтеграція відновлюваних джерел енергії є критично важливими для формування сталого та безпечного енергетичного майбутнього планети.

Паливо є основним енергоносієм у традиційній та альтернативній енергетиці. Його поділяють на традиційне (вугілля, нафта, природний газ, ядерне паливо) та альтернативне (біомаса, водень, біогаз, синтетичне паливо). Для вимірювання роботи енергетичного сектору використовуються різні кількісні показники: для твердого та рідкого палива – тони (т), для газоподібного – кубічні метри (м³). Енергетичну цінність палива оцінюють у мегаджоулях (МДж), кіловат-годинах (кВт·год) або тонах нафтового еквівалента (т н. е.) [15, с. 7].

Паливно-енергетичний комплекс охоплює сукупність підприємств, що здійснюють видобуток, переробку, транспортування та використання енергоносіїв. Він класифікується за видом енергоносіїв на нафтовий, газовий, вугільний, ядерний, відновлюваний та електроенергетичний сектори [8].

Паливно-енергетичний баланс – це співвідношення між виробництвом і споживанням різних видів енергії в певній країні чи регіоні. Він показує частку викопних і відновлюваних джерел у загальному енергетичному постачанні та відображає тенденції розвитку енергетичного сектору [19, с. 54].

Енергетична система – це комплекс взаємопов'язаних елементів, що забезпечують виробництво, транспортування та споживання енергії. Вона

охоплює світовий, регіональний або національний рівень. Світова енергетична система визначається глобальним балансом виробництва та споживання енергії, регіональні системи залежать від географічних особливостей і ресурсного потенціалу, а національні – від державної політики та технологічного рівня розвитку [9, с. 14].

На енергетичну систему впливають численні фактори, зокрема економічні (ціни на енергоносії, інвестиційний клімат), технологічні (розвиток інновацій), екологічні (кліматичні зміни, вплив викидів), політичні (енергетична політика, міжнародні угоди) та соціальні (рівень енергоспоживання населенням) [11, с. 91].

Альтернативна енергетика є структурною складовою енергетичної системи, енергетичного комплексу і в енергетичному балансі сприяє екологізації енергетичного сектору та забезпеченню сталого розвитку. Вона зменшує залежність від викопного палива, сприяє енергетичній незалежності та позитивно впливає на екологічний стан планети.

Четверта промислова революція відіграє значну роль у розвитку енергетики. Використання штучного інтелекту, великих даних, блокчейн-технологій та Інтернету речей (IoT) сприяє автоматизації процесів, прогнозуванню споживання та підвищенню ефективності використання ресурсів [9, с. 14].

Важливим науково-практичним поняттям виступає енергетична безпека, що є стратегічним завданням будь-якої країни. Вона передбачає забезпечення стабільного постачання енергії, захист критичної інфраструктури та зменшення залежності від імпорту енергоносіїв [2, с. 41]. Енергетична безпека є важливим напрямком державного регулювання, і забезпечується досягненням економічно ефективного і екологічно виваженого енергетичного балансу. Тому державне регулювання відіграє важливу роль у розвитку альтернативної енергетики. Основними інструментами державного регулювання є законодавчі акти, податкові стимули, «зелені» тарифи, інвестиційні програми, а також міжнародні угоди, які сприяють інтеграції в глобальну енергетичну систему.

Отже, альтернативні джерела енергії відіграють ключову роль у сучасній енергетичній політиці, оскільки сприяють зниженню залежності від традиційних викопних палив, що позитивно впливає на екологічну ситуацію та енергетичну безпеку. Враховуючи різноманітність таких джерел, як сонячна, вітрова, геотермальна енергія, біомаса та інші, кожне з них має своє специфічне застосування, залежне від природних умов та економічних показників. З розвитком технологій і підтримкою державної політики, сектор альтернативної енергетики в Україні має значний потенціал для подальшого розвитку, що забезпечить сталий розвиток і зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

1.2. Еволюція альтернативної енергетики в світі та Україні

Розвиток альтернативної енергетики, яка включає відновлювані джерела енергії, є важливою складовою сучасного розвитку енергетичних систем у всьому світі. Протягом останніх десятиліть країни активно розвивають технології, що дозволяють зменшити залежність від традиційних видів палива та знижувати негативний вплив на навколишнє середовище. У світі спостерігається швидке впровадження сонячних, вітрових, гідроелектричних та біоенергетичних систем, що призводить до значних змін у глобальному енергетичному балансі. Україна, хоч і почала розвивати альтернативну енергетику значно пізніше, також зробила серйозний поступ у цьому напрямку, створивши сприятливі умови для інвестицій та технологічних інновацій. Альтернативна енергетика є однією з найважливіших складових глобальної стратегії сталого розвитку. З початку використання альтернативних джерел енергії до сьогодні відбулося значне вдосконалення технологій, що дозволяє зменшувати залежність від викопних видів палива і знижувати екологічний вплив на планету (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Еволюція альтернативної енергетики в світі

Період	Технології	Ключові події	Розвиток та вплив на енергетичний сектор
До 1970-х років	Використання біоенергетики, гідроенергії	Розвиток гідроелектростанцій, використання органічних матеріалів для енергетичних потреб	Альтернативні джерела енергії почали використовуватись на обмежених рівнях, але вони ще не були конкурентоспроможними з традиційними джерелами
1970-ті роки	Розвиток сонячної та вітрової енергії	Перша хвиля інтересу до альтернативних джерел енергії внаслідок нафтових криз	Початкові дослідження в галузі сонячної та вітрової енергетики; міжнародні ініціативи для розвитку енергетичної незалежності
1980-ті роки	Сонячні батареї, вітрові турбіни, геотермальна енергія	Масштабні проекти в області відновлюваної енергетики в США та Європі	Перші комерційні установки сонячних батарей та вітрових турбін; розвиток гідроелектростанцій для забезпечення великої кількості енергії
1990-ті роки	Підвищення ефективності сонячних панелей, розвиток вітрових станцій	Збільшення обсягів інвестицій у відновлювані джерела енергії; початок використання біогазу	Стратегічні державні програми підтримки альтернативної енергетики та енергоефективності
2000-ті роки	Сонячна енергетика, вітрові турбіни, біоенергетика, геотермальні станції	Виробництво сонячних панелей стало економічно вигідним, масовий розвиток вітрової енергетики в Європі	Сплеск інвестицій у відновлювані джерела енергії на тлі зростаючої свідомості про екологічні проблеми
2010-ті роки	Технології зберігання енергії, збільшення ефективності відновлювальних джерел	Великі міжнародні ініціативи щодо боротьби з глобальним потеплінням (наприклад, Паризька угода)	Різка зниження вартості сонячних панелей та вітрових турбін, що зробило їх конкурентоспроможними з традиційними джерелами енергії
2020-ті роки	Розвиток енергетичних систем з нульовими викидами, інновації в сфері зберігання енергії, водневі технології	Програми декарбонізації у всіх галузях, зокрема в енергетиці	Створення глобальних енергетичних мереж для інтеграції відновлювальних джерел в енергетичні системи, розвиток водневої енергетики

Джерело: складено автором за матеріалами [20, с. 14].

Зокрема, за останні десятиліття значно зросли інвестиції в сонячну та вітрову енергетику, що стало ключовим фактором у трансформації

енергетичних ринків. Еволюція альтернативної енергетики свідчить про значний прогрес у розробці та впровадженні технологій, спрямованих на збереження навколишнього середовища і зниження залежності від традиційних джерел енергії. Прогрес у таких галузях, як сонячна, вітрова енергетика та біоенергетика, дозволяє не тільки знижувати викиди парникових газів, а й забезпечувати енергетичну незалежність країн. Однак, незважаючи на численні досягнення, глобальні виклики, такі як необхідність зберігання енергії та розробка нових технологій для більш ефективного використання відновлювальних джерел, все ще потребують інвестицій та наукових досліджень [14, с. 25].

Еволюція альтернативної енергетики являє собою складний та багатоетапний процес, що відображає зміни в науково-технічному прогресі, геополітичних обставинах та усвідомленні екологічних викликів. Розгляд ключових періодів цієї еволюції дозволяє краще зрозуміти сучасний стан галузі та визначити її подальші перспективи. На початковому етапі, людство використовувало переважно біоенергетику у вигляді спалювання деревини та інших органічних матеріалів для задоволення базових енергетичних потреб. З розвитком інженерної думки значного поширення набула гідроенергетика, що дозволила будувати перші великі гідроелектростанції для виробництва електроенергії. Однак, ці альтернативні джерела енергії ще не могли конкурувати з традиційними на той час вугіллям та нафтою, які стали основою промислової революції та подальшого економічного зростання. Їхнє застосування було обмеженим та часто залежало від місцевих природних умов.

Перша нафтова криза 1973 року стала каталізатором першої хвилі зацікавленості в альтернативних джерелах енергії. Залежність багатьох країн від нестабільного постачання нафти з Близького Сходу спонукала до пошуку енергетичної незалежності. У цей період розпочалися активні наукові дослідження в галузі сонячної та вітрової енергетики. Були започатковані міжнародні ініціативи, спрямовані на диверсифікацію енергетичних ресурсів та зменшення залежності від викопного палива [20, с. 15].

У 1980-ті роки відбувся значний прогрес у розробці конкретних технологій альтернативної енергетики. З'явилися перші комерційно доступні сонячні батареї та вітрові турбіни. У США та Європі були реалізовані масштабні проекти у сфері відновлюваної енергетики, включаючи будівництво великих вітрових парків та вдосконалення гідроелектростанцій. Геотермальна енергія також почала розглядатися як перспективне джерело тепла та електроенергії в регіонах з відповідною геологічною активністю [19, с. 54].

1990-ті роки характеризувалися подальшим удосконаленням існуючих технологій. Ефективність сонячних панелей поступово зростала, а вітрові турбіни ставали потужнішими та надійнішими. Збільшилися обсяги державних та приватних інвестицій у відновлювані джерела енергії. Почалося активніше використання біогазу, отриманого внаслідок анаеробного зброджування органічних відходів. У багатьох країнах були розроблені та впроваджені стратегічні державні програми підтримки альтернативної енергетики та енергоефективності, включаючи податкові пільги та субсидії [9, с. 13].

2000-ті роки стали періодом значного прориву у розвитку сонячної та вітрової енергетики. Завдяки технологічному прогресу та зростанню масштабів виробництва, вартість сонячних панелей почала знижуватися, роблячи їх більш економічно вигідними. У Європі відбувся масовий розвиток вітрової енергетики, особливо в прибережних зонах та на суходолі з сприятливими вітровими умовами. Зростаюча світова свідомість щодо екологічних проблем та зміни клімату призвела до сплеску інвестицій у відновлювані джерела енергії.

2010-ті роки відзначилися появою та вдосконаленням технологій зберігання енергії, що стало ключовим фактором для інтеграції нестабільних джерел, таких як сонце та вітер, в енергосистему. Великі міжнародні ініціативи, такі як Паризька угода 2015 року, стимулювали країни до активнішої боротьби з глобальним потеплінням та переходу до низьковуглецевої енергетики. Вартість сонячних панелей та вітрових турбін різко знизилася, зробивши їх конкурентоспроможними, а в деяких випадках навіть дешевшими за традиційні джерела енергії [25, с. 215].

На сучасному етапі еволюції світової енергетичної системи альтернативні джерела енергії є важливим чинником економічного розвитку багатьох розвинених країн. Впровадження «зелених» технологій енергетичного виробництва відповідає на виклики зміни клімату та невідновлюваного використання природних ресурсів планети. Світовий досвід застосування нових екологічно чистих методів енергогенерації демонструє позитивні результати. Сучасний етап характеризується прагненням до створення енергетичних систем з нульовими викидами парникових газів. Активно розвиваються інновації в сфері зберігання енергії, включаючи акумуляторні батареї нового покоління та інші технології. Воднева енергетика, особливо виробництво «зеленого» водню, розглядається як один із ключових елементів майбутньої енергетичної системи. У багатьох галузях економіки впроваджуються програми декарбонізації, де альтернативна енергетика відіграє центральну роль [29]. Розглядається можливість створення глобальних енергетичних мереж для ефективнішої інтеграції відновлювальних джерел в існуючі енергетичні системи.

Таким чином, (еволюція – повільний процес) розвиток альтернативної енергетики є динамічним процесом, що прискорюється під впливом науково-технічного прогресу, економічних факторів та глобальних екологічних викликів. Кожен період робив свій внесок у становлення сучасної галузі, і подальший розвиток на основі стрімкого впровадження технологій Індустрії 4.0 та Індустрії 5.0 обіцяє ще більш значні трансформації світової енергетичної системи.

Серед країн, що активно розвивають відновлювану енергетику, є Бразилія, Канада, Нова Зеландія, Швеція, Норвегія, де частка гідроелектричних станцій у загальному виробництві електроенергії становить понад 2/3. Японія активно впроваджує електрокари та водневі двигуни, а Німеччина підтримує використання електричних і гібридних автомобілів за допомогою спеціальних програм та податкових пільг. Незважаючи на численні переваги, автономні системи відновлюваних джерел енергії, такі як сонячні фотоелектричні або вітрові системи, мають обмеження через змінність доступності енергії та

погодні умови. Комбінація кількох джерел енергії значно підвищує ефективність системи. Для забезпечення стабільності та ефективності систем відновлювальних джерел енергії в цих країнах, зазвичай використовуються комбіновані підходи, які включають інтеграцію різних джерел енергії. Це дозволяє знижувати ризики, пов'язані з непостійністю окремих джерел, таких як сонце або вітер. В Україні розвиток альтернативної енергетики потребує комплексного підходу, що передбачає поєднання різних технологій для досягнення високої ефективності та зниження залежності від традиційних джерел енергії. У цьому контексті зниження вартості технологій, як сонячні панелі та вітрові турбіни, а також державна підтримка, стали ключовими чинниками для активного розвитку цього сектору в країні [4, с. 8].

Альтернативна енергетика в Україні почала розвиватися ще в 1990-х роках, але суттєвий прогрес спостерігався лише в останні два десятиліття. З ініціативи держави та міжнародних партнерів було прийнято низку законів і програм, які дозволили значно збільшити частку відновлювальних джерел енергії в енергетичному балансі країни [29]. Поступове зниження вартості технологій, таких як сонячні панелі та вітрові турбіни, стало одним із факторів успіху в розвитку альтернативної енергетики в Україні (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Еволюція альтернативної енергетики в Україні

Період	Технології	Ключові події	Розвиток та вплив на енергетичний сектор України
1	2	3	4
До 1990-х років	Використання гідроелектростанцій	Перші кроки в розбудові альтернативної енергетики через гідроелектростанції, обмежена підтримка з боку держави	Україна мала низький рівень розвитку альтернативної енергетики, зосереджуючи увагу на викопних джерелах енергії
1990-ті роки	Підвищення інтересу до сонячної та вітрової енергетики	Початок невеликих інвестицій у вітрові і сонячні проекти; перші урядові програми	Базові кроки в розвитку відновлювальних джерел енергії, але обсяги були обмеженими через економічні труднощі та відсутність підтримки

Продовження табл. 1.2

1	2	3	4
2000-ні роки	Вітрові турбіни, сонячні панелі	Прийняття Законів України про альтернативну енергетику, початок розвитку маленьких сонячних та вітрових електростанцій	Збільшення державної підтримки відновлювальної енергетики, розвиток перших комерційних проєктів
2010-ті роки	Масовий розвиток вітрової та сонячної енергетики	Вступ в силу «Зеленого тарифу» для відновлювальних джерел енергії, активне зростання сонячних і вітрових станцій в Україні	Значний розвиток відновлювальних джерел енергії, країна почала ставати конкурентоспроможною на ринку альтернативної енергетики Європи
2020-ті роки	Воднева енергетика, енергозберігаючі технології	Прийняття законодавства, яке підтримує розвиток водневої енергетики; інвестиції у технології зберігання енергії	Україна активно інтегрується в європейський енергетичний ринок, створення енергетичних мереж для інтеграції відновлювальних джерел

Джерело: складено автором за матеріалами [25, с. 215].

Еволюція альтернативної енергетики в Україні свідчить про серйозні зрушення у напрямку сталого енергетичного розвитку. За останні роки країна здійснила значні кроки у підвищенні частки відновлювальних джерел енергії, таких як сонце і вітер, що дозволяє знижувати екологічний слід та підвищувати енергетичну безпеку. Однак, для повної інтеграції альтернативної енергетики в загальну енергетичну систему потрібні подальші інвестиції у технології зберігання енергії, вдосконалення інфраструктури та сприяння розвитку водневої енергетики [25, с. 215]. Еволюція альтернативної енергетики в Україні пройшла декілька якісно різних етапів, кожен з яких характеризувався своїми технологічними особливостями, ключовими подіями та впливом на енергетичний сектор країни. Аналіз цих періодів дозволяє простежити динаміку розвитку галузі та визначити ключові фактори, що впливали на її становлення. На початковому етапі розвитку альтернативної енергетики в Україні основна увага приділялася використанню гідроенергетичного потенціалу. Будівництво гідроелектростанцій стало першим кроком у розбудові альтернативних джерел

енергії, проте підтримка з боку держави була обмеженою, а енергетичний сектор країни в цілому орієнтувався на традиційні викопні джерела енергії, такі як вугілля та газ. Рівень розвитку інших видів альтернативної енергетики залишався низьким, а їхній внесок в енергетичний баланс був незначним [35, с. 47].

Після здобуття незалежності в Україні спостерігається підвищення інтересу до диверсифікації енергетичних джерел, включаючи сонячну та вітрову енергетику. У цей період були здійснені перші невеликі інвестиції в пілотні вітрові та сонячні проєкти. Розпочалися розробка та впровадження перших урядових програм, спрямованих на підтримку відновлюваних джерел енергії. Однак, економічні труднощі перехідного періоду та відсутність системної державної підтримки обмежували масштаби розвитку ВДЕ, і їхній вплив на енергетичний сектор залишався незначним [35, с. 47].

2000-ні роки стало переломним у розвитку альтернативної енергетики в Україні. Прийняття низки законодавчих актів, зокрема Законів України «Про альтернативні джерела енергії» [30] та «Про електроенергетику», створило правові підстави для розвитку галузі. Розпочався розвиток невеликих комерційних сонячних та вітрових електростанцій. Збільшилася державна підтримка відновлювальної енергетики, що сприяло залученню перших серйозних інвестицій та реалізації пілотних проєктів.

2010-ті роки характеризуються масовим розвитком вітрової та сонячної енергетики в Україні. Ключовим фактором, що зумовив стрімке зростання галузі, стало введення в дію «зеленого тарифу» – механізму державної підтримки виробництва електроенергії з відновлюваних джерел за фіксованими цінами [32]. Це стимулювало значні інвестиції у будівництво сонячних та вітрових електростанцій, і Україна почала демонструвати значні темпи зростання встановлених потужностей ВДЕ, поступово стаючи конкурентоспроможною на європейському ринку альтернативної енергетики.

Сучасний етап розвитку альтернативної енергетики в Україні пов'язаний з новими технологічними тенденціями та стратегічними цілями. Зростає інтерес

до водневої енергетики як перспективного напрямку декарбонізації та енергетичної незалежності [38]. Приймається законодавство, спрямоване на підтримку розвитку водневих технологій та інвестиції в системи зберігання енергії, що є критично важливим для інтеграції нестабільних ВДЕ в енергосистему. В умовах євроінтеграційних процесів, Україна активно інтегрується в європейський енергетичний ринок, розглядаються проєкти зі створення енергетичних мереж для обміну «зеленою» енергією. Водночас, повномасштабна російська агресія внесла значні корективи в розвиток галузі, актуалізувавши питання енергетичної безпеки та стійкості енергосистеми [22; 7]. Таким чином, еволюція альтернативної енергетики в Україні відображає поступовий перехід від орієнтації на традиційні джерела енергії до усвідомлення необхідності диверсифікації та використання власного потенціалу ВДЕ. Кожен етап характеризувався своїми особливостями та викликами, і сучасний період, попри воєнні труднощі, відкриває нові можливості для подальшого сталого розвитку галузі та її інтеграції в європейський енергетичний простір.

На сучасному етапі, альтернативна енергетика переживає якісно новий етап розвитку, пов'язаний з появою та вдосконаленням новітніх технологій. Однією з таких проривних технологій є «зелений» водень. «Зелений» водень визначається як водень, вироблений шляхом електролізу води, використовуючи для цього електроенергію, отриману виключно з відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна, вітрова або гідроенергія. Ключовою особливістю «зеленого» водню є його практично нульовий вуглецевий слід, оскільки процес його виробництва не супроводжується прямими викидами парникових газів (за умови використання чистої електроенергії) [29].

«Зелений» водень розглядається як перспективний енергоносіє майбутнього, здатний відіграти важливу роль у декарбонізації різних секторів економіки, включаючи транспорт (водневі автомобілі, поїзди, літаки, судна), промисловість (виробництво сталі, цементу, хімікатів), енергетику (зберігання енергії, використання у паливних елементах для генерації електроенергії та

тепла) та житлово-комунальне господарство (опалення). Розвиток технологій виробництва, зберігання, транспортування та використання «зеленого» водню є одним з ключових напрямків сучасних досліджень та інновацій в альтернативній енергетиці, що має значний потенціал для трансформації світової енергетичної системи [14, с. 25]. Поряд з «зеленим» воднем, продовжується активний розвиток інших напрямків альтернативної енергетики, включаючи підвищення ефективності фотоелектричних елементів, розробку потужніших та надійніших вітрових турбін, вдосконалення систем зберігання енергії (акумуляторних батарей, гідроакумуляуючих електростанцій, термальних накопичувачів), розвиток інтелектуальних енергетичних мереж та використання цифрових технологій для оптимізації роботи енергосистеми з високою часткою ВДЕ [7, с. 83]. Сучасний стан альтернативної енергетики характеризується швидким технологічним прогресом, зниженням витрат та зростаючим усвідомленням її ключової ролі у забезпеченні сталого енергетичного майбутнього.

Сучасний етап розвитку світової енергетики характеризується зростаючим інтересом до альтернативних джерел енергії як ключового елементу забезпечення енергетичної безпеки та сталого розвитку [48]. У різних країнах світу розвиток альтернативної енергетики відбувається з урахуванням специфічних географічних, економічних, політичних та соціальних умов [44, с. 79]. Загальною тенденцією є прагнення до диверсифікації енергетичних портфелів, зменшення залежності від викопного палива та зниження негативного впливу на довкілля [46].

У глобальному контексті, лідерами у розвитку альтернативної енергетики є країни з розвиненою економікою та активною державною підтримкою цього сектору. Наприклад, країни Європейського Союзу демонструють послідовну політику, спрямовану на досягнення кліматичних цілей та збільшення частки відновлюваних джерел енергії у своєму енергетичному балансі [20, с. 15]. Стимулювання інвестицій, впровадження «зелених» тарифів та проведення аукціонів є поширеними інструментами державної підтримки [32]. Сполучені

Штати Америки також активно розвивають альтернативну енергетику, роблячи акцент на інноваціях та технологічному розвитку, особливо в галузі сонячної та вітрової енергетики [12]. Китай є одним із найбільших виробників обладнання для альтернативної енергетики та демонструє значні темпи зростання встановлених потужностей ВДЕ [29, с. 49].

Україна має значний потенціал для розвитку альтернативної енергетики, зумовлений наявністю сприятливих природних ресурсів, зокрема високим рівнем сонячної інсоляції в південних регіонах та значним вітровим потенціалом у прибережних та степових зонах [25, с. 214]. До початку повномасштабного російського вторгнення, в країні спостерігалось зростання інтересу до інвестицій у сонячні та вітрові електростанції, підтримуване законодавчими стимулами, такими як «зелений» тариф [30]. Проте, війна внесла суттєві корективи у розвиток цієї галузі, спричинивши руйнування інфраструктури та зменшення інвестиційної активності [22, с. 125].

Особливістю розвитку альтернативної енергетики в Україні в умовах воєнної агресії є її зростаюча стратегічна важливість для забезпечення енергетичної безпеки та стійкості енергосистеми [7, с. 85]. Децентралізація енергогенерації за рахунок розвитку ВДЕ може підвищити стійкість енергопостачання до зовнішніх загроз та зменшити залежність від централізованої інфраструктури, яка є вразливою до атак [4, с. 7]. Крім того, відновлення енергетичного сектору після війни значною мірою буде орієнтоване на впровадження сучасних та екологічно чистих технологій альтернативної енергетики [25, с. 217].

Порівнюючи світові тенденції та особливості розвитку альтернативної енергетики в Україні, можна відзначити спільне прагнення до декарбонізації та диверсифікації енергетичних джерел. Однак, Україна стикається з унікальними викликами, пов'язаними з воєнними діями та необхідністю відновлення енергетичної інфраструктури. У цьому контексті, залучення міжнародного досвіду, адаптація успішних практик державної підтримки та стимулювання

інновацій є критично важливими для подальшого розвитку альтернативної енергетики в Україні та її інтеграції у світові енергетичні процеси [17, с. 45].

Отже, еволюція альтернативної енергетики в світі показує важливість інноваційних підходів і міжнародної співпраці для подолання екологічних та енергетичних викликів. Різноманітність технологій і підтримка з боку державних структур забезпечують стійкий розвиток цього сектору. В Україні ж спостерігається поступовий розвиток відновлювальних джерел енергії, що стало можливим завдяки законодавчим ініціативам, зниженню вартості технологій та заохоченню інвестицій. У майбутньому важливо продовжувати сприяти інтеграції альтернативних джерел енергії в національний енергетичний баланс, зосереджуючи увагу на ефективності, сталості та технічному прогресі.

1.3. Інституційні основи дослідження розвитку альтернативної енергетики у світі та Україні

Розвиток альтернативної енергетики відбувається на основі відповідного вдосконалення інституційної структури енергетики на міжнародному та державному рівнях. Інституційну структуру енергетики складають науково-практичні міжнародні і державні концепції, нормативно-законодавча діяльність, політичні заходи тощо. На міжнародному рівні ключовою концепцією, спрямованою на екологізацію енергетики та економіки, є «Карбон-фрі». Ця концепція, хоча й не має єдиного автора, є результатом наукового консенсусу щодо зміни клімату та необхідності відмови від викопного палива. Її передумовами стали усвідомлення обмеженості викопних ресурсів та їх негативного впливу на довкілля. Принципи впровадження «Карбон-фрі» включають енергоефективність, розвиток ВДЕ, електрифікацію, уловлювання та зберігання вуглецю, розбудову «розумних» мереж та вуглецеве ціноутворення [67, с. 98].

Значну підтримку розвитку альтернативної енергетики надають міжнародні організації, такі як Міжнародне енергетичне агентство (IEA),

Міжнародне агентство з відновлюваних джерел енергії (IRENA) та Організація Об'єднаних Націй (ООН). Ці організації проводять дослідження, надають консультації, сприяють обміну знаннями та технологіями, а також розробляють рекомендації для урядів щодо стимулювання використання ВДЕ. Міжнародні фінансові інститути, такі як Світовий банк, також відіграють важливу роль у фінансуванні проектів у сфері відновлюваної енергії.

Однією з провідних інституційних основ переходу до альтернативної енергетики є концепція «Carbon-free economy» (економіка без вуглецю), що передбачає повне або майже повне припинення викидів парникових газів, передусім вуглекислого газу (CO₂), внаслідок діяльності енергетичного, промислового та транспортного секторів. Основи цієї концепції були закладені в рамках міжнародних кліматичних домовленостей, зокрема, Кіотського протоколу та Паризької кліматичної угоди. Провідну роль у формуванні та просуванні концепції відіграють ООН, Міжурядова група експертів зі зміни клімату (IPCC), Європейська комісія, Міжнародне енергетичне агентство (IEA), а також низка країн ЄС, які першими офіційно прийняли стратегії досягнення вуглецевої нейтральності [69, с. 95]. Суть концепції полягає у поступовій відмові від викопного палива, розвитку екологічно чистих технологій, стимулюванні «зеленої» інноваційної економіки та збереженні природних екосистем. Принципи впровадження включають: енергоефективність, пріоритетність ВДЕ, соціальну справедливість енергетичного переходу, міжнародну солідарність, інституційну відповідальність та прозорість. Ключовими організаціями, що забезпечують інституційну підтримку розвитку альтернативної енергетики, є [62, с. 84]:

- Міжнародне енергетичне агентство (IEA) – проводить аналітику, формує прогнози та рекомендації для держав;
- IRENA (Міжнародне агентство з відновлюваних джерел енергії) – координує міжнародну політику у сфері ВДЕ, допомагає країнам у розробці національних стратегій;

- Програма ООН з навколишнього середовища (UNEP) – реалізує проєкти у сфері екологічно чистої енергетики;
- Світовий банк, ЄБРР, ЄІБ – забезпечують фінансування інфраструктурних проєктів у сфері альтернативної енергетики.

Принципи міжнародної політики, рекомендації та конвенції формують глобальний контекст для розвитку альтернативної енергетики. Паризька угода є ключовим юридично обов'язковим документом, що визначає цілі щодо обмеження глобального потепління та закликає країни до розробки національних внесків, включаючи заходи з розвитку ВДЕ. Кіотський протокол, хоча й завершив свою дію, став першою значною спробою встановлення юридично обов'язкових цілей щодо скорочення викидів. Міжнародні організації регулярно публікують рекомендації щодо стимулювання ВДЕ через фінансові, регуляторні та інфраструктурні механізми.

На рівні законодавчих актів провідних держав спостерігається інтеграція норм, правил та органів контролю за впровадженням технологій альтернативної енергетики в національне енергетичне законодавство. Прикладом є німецький Закон про відновлювані джерела енергії (EEG), який запровадив систему «зелених» тарифів, або система Renewable Portfolio Standards (RPS) у США, що зобов'язує енергетичні компанії збільшувати частку ВДЕ. Директиви Європейського Союзу також встановлюють загальні цілі та рамкові умови для підтримки ВДЕ в країнах-членах [66].

В державній політиці багатьох країн альтернативна енергетика закріплена не лише стратегічно, а й на рівні законодавства. Так, у Німеччині прийнято закон «EEG – Закон про відновлювану енергію» (Erneuerbare-Energien-Gesetz), що встановлює фіксовані тарифи на електроенергію з ВДЕ, гарантії доступу до мереж, компенсації витрат інвесторам. У США діють програми податкових пільг (Investment Tax Credit), стандарти портфельного змісту (Renewable Portfolio Standards), а також механізми фінансування через державні фонди. У Швеції, Нідерландах, Данії створено спеціалізовані енергетичні агентства та екологічні аудиторські органи, що забезпечують впровадження та контроль за

«зеленими» технологіями. Ці інституції є прикладом формування чіткої вертикальної структури: від концепції → до закону → до створення спеціальних органів та механізмів реалізації [11, с. 91].

Україна почала активно формувати інституційне поле альтернативної енергетики після 2008 року. У 2009 році був прийнятий Закон України «Про альтернативні джерела енергії», у 2013 році – «Національний план дій з відновлюваної енергетики до 2020 року», а в 2015-му – Закон «Про ринок електричної енергії». Ці акти стали основою запровадження «зеленого тарифу», що сприяв активному будівництву СЕС і ВЕС [67, с. 101].

У 2020 році був прийнятий «Енергетичний Стратегічний план до 2035 року», який передбачає поступове збільшення частки ВДЕ до 25% у 2035 році. Проте повномасштабна війна, що почалася у 2022 році, значно ускладнила реалізацію стратегічних цілей. Попри це, на кінець 2022 року в Україні продовжували функціонувати СЕС та ВЕС сумарною потужністю понад 9 ГВт, а частка альтернативної енергетики у загальному виробництві електроенергії склала близько 11% [13].

Проблемними залишаються: стабільність правового поля, доступ до фінансування, інтеграція ВДЕ у загальну енергосистему (особливо у частині балансування потужностей). Однак, за підтримки міжнародних партнерів (EU4Energy, USAID, NEFCO) Україна має перспективи повноцінної інтеграції у європейський «зелений» енергетичний простір.

В Україні розвиток альтернативної енергетики регулюється низкою законодавчих актів, серед яких Закон «Про альтернативні джерела енергії» [30] та Закон «Про ринок електричної енергії» [31]. Державну політику у цій сфері формує та реалізує Міністерство енергетики України, а Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП) [24], встановлює тарифи та ліцензує діяльність. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України (Держенергоефективності) відповідає за реалізацію програм підтримки ВДЕ.

Незважаючи на досягнутий прогрес, інституційне забезпечення розвитку альтернативної енергетики в Україні стикається з певними викликами, такими як нестабільність законодавчого середовища, проблеми з інтеграцією великих обсягів ВДЕ в енергосистему, фінансові обмеження та бюрократичні перешкоди. Подальше вдосконалення інституційної бази, включаючи стабілізацію законодавства, модернізацію інфраструктури, залучення інвестицій та спрощення регуляторних процедур, є ключовим для сталого розвитку альтернативної енергетики в Україні та її інтеграції у світовий енергетичний простір.

Розвиток альтернативної енергетики (АЕ) є основним напрямом забезпечення енергетичної безпеки та сталого розвитку як у світі, так і в Україні. Дослідження інституційних основ цього процесу є важливим для розуміння ролі держави, функціонування регуляторних механізмів та створення сприятливого середовища для впровадження інновацій та розвитку підприємництва у цій сфері. Держава відіграє визначальну роль у формуванні та реалізації політики у сфері АЕ, виконуючи низку важливих функцій, серед яких законодавче та нормативне регулювання, контрольна діяльність, стимулювання та фінансування [3, с. 35].

Державна роль у розвитку АЕ проявляється перш за все у стратегічному забезпеченні, що передбачає визначення довгострокових цілей та пріоритетів розвитку галузі. В Україні таким стратегічним документом є Енергетична стратегія, яка визначає напрями розвитку енергетичного сектору, включаючи частку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у загальному енергетичному балансі [10]. На міжнародному рівні також існують стратегічні ініціативи та цілі, спрямовані на підтримку розвитку АЕ та боротьбу зі зміною клімату. Держава створює законодавчі та нормативні механізми для регулювання діяльності у сфері АЕ. В Україні основними законодавчими актами є Закон України «Про альтернативні джерела енергії» [30] та Закон України «Про ринок електричної енергії» [31], які визначають правові, економічні та організаційні засади функціонування цього сектору. До регулятивних механізмів також

належать підзаконні акти, такі як постанови Кабінету Міністрів України, зокрема «Про затвердження Порядку проведення аукціонів з продажу електричної енергії, виробленої з альтернативних джерел енергії» [32].

Контрольна функція держави полягає у здійсненні моніторингу за дотриманням законодавства та виявленні недоліків у функціонуванні ринку АЕ. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП), здійснює оперативний моніторинг ринку електричної енергії, включаючи дані щодо виробництва електроенергії з ВДЕ [24]. Такий контроль є важливим для запобігання порушенням та забезпечення стабільного розвитку галузі [7, с. 85]. Стимулююча функція держави передбачає впровадження різноманітних заходів для заохочення розвитку АЕ. До них належать пільги, такі як «зелений» тариф (хоча його дія на нові об'єкти обмежена аукціонною системою), цільові програми, зокрема, програми підтримки встановлення сонячних панелей для населення [33], а також фінансування науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт (НДДКР) у сфері АЕ [38, с. 246].

Фінансування є ще однією важливою функцією держави у розвитку АЕ. Воно може здійснюватися як безпосередньо через державний бюджет, так і шляхом залучення інвестицій, у тому числі іноземних. Держава створює сприятливе бізнес-середовище для розвитку підприємництва у сфері АЕ, забезпечуючи прозорі правила гри та захист інвестицій [61]. Міжнародна співпраця також відіграє важливу роль у розвитку АЕ. Держава створює сприятливі умови для обміну досвідом, залучення іноземних інвестицій та впровадження міжнародних стандартів у сфері АЕ [17, с. 34; 42]. Впровадження інновацій є ключовим фактором розвитку АЕ на всіх рівнях – міжнародному, державному та місцевому [5, с. 6; 12]. Держава може стимулювати інноваційну діяльність шляхом підтримки наукових досліджень, створення технопарків та інкубаторів, а також шляхом впровадження механізмів трансферу технологій [40, с. 7; 51].

Стратегічне значення забезпечення стабільності та стійкості енергетичної системи України, особливо в умовах геополітичної нестабільності та залежності від імпортованих енергоресурсів, підкреслює необхідність формалізації та законодавчого закріплення механізмів енергетичної безпеки [7, с. 84]. Цей процес безпосередньо пов'язаний із розбудовою інституційного середовища, здатного прогнозувати загрози та розробляти адаптивні стратегії, що є фундаментом для інтеграції відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та диверсифікації енергетичного балансу.

Інституційна трансформація енергетичного сектору України, зокрема через входження до ENTSO-E [13], демонструє прагнення до інтеграції в європейський енергетичний простір та відхід від залежності від енергосистем країн-агресорів. Цей стратегічний крок вимагає не лише технічної синхронізації, але й гармонізації законодавства та регуляторних практик з європейськими стандартами, що є важливим елементом інституційного розвитку у сфері АЕ [7, с. 84].

Система управління та прийняття рішень в енергетичному секторі України, що включає парламент, уряд, регуляторні органи (НКРЕКП) та місцеву владу [24], формує інституційне поле для розвитку АЕ. Кожен з цих акторів виконує специфічні функції, від законодавчого визначення правил гри до безпосереднього регулювання ринків та впровадження місцевих енергетичних планів. Ефективна координація між цими інституціями є критично важливою для створення сприятливого інвестиційного клімату та стимулювання розвитку ВДЕ.

Економічні суб'єкти, включаючи державні та приватні енергетичні компанії (НАЕК «Енергоатом», ПАТ «Центренерго», ДТЕК, НАК «Нафтогаз») [24], а також споживачі енергії, є невід'ємною частиною енергетичної екосистеми. Їхня діяльність, структура споживання та готовність до переходу на відновлювані джерела енергії значною мірою визначаються існуючими інституційними рамками, включаючи тарифну політику, механізми підтримки ВДЕ (наприклад, ринкові премії, «зелений» тариф) та регуляторні вимоги.

Закон № 3220-IX [31], спрямований на відновлення та зелену трансформацію енергетичної системи, є прикладом інституційного кроку, що стимулює розвиток ВДЕ через ринкові механізми.

Забезпечення безпеки критичної енергетичної інфраструктури, особливо в умовах воєнної агресії, є важливим аспектом інституційної стійкості енергетичного сектору. Законодавчі ініціативи та рішення РНБО, спрямовані на захист енергооб'єктів, створення реєстру критичної інфраструктури та забезпечення альтернативного енергопостачання, є ключовими елементами інституційного забезпечення сталого розвитку, в тому числі й у сфері АЕ.

Інтеграція України до європейського енергетичного ринку, що передбачає імплементацію Третього енергетичного пакета та співпрацю з ACER [7, с. 89], є важливим напрямом інституційного розвитку. Проект Твіннінг є конкретним інструментом цієї інтеграції, спрямованим на зміцнення незалежного регулятора та впровадження європейських стандартів, що сприятиме створенню прозорого та конкурентного ринку, важливого для залучення інвестицій у ВДЕ [24].

Гармонізація законодавства, обмін найкращими практиками та участь у міжнародних проєктах сприяють прискоренню розвитку АЕ та залученню передових технологій. Особливої уваги заслуговує роль місцевих органів влади у розвитку АЕ. Вони можуть впроваджувати власні програми підтримки, спрощувати процедури для встановлення об'єктів ВДЕ та сприяти підвищенню енергоефективності на місцевому рівні [11, с. 91]. Залучення громадськості та налагодження діалогу між усіма зацікавленими сторонами є важливим елементом для забезпечення сталого та збалансованого розвитку альтернативної енергетики [19, с. 55]. Крім того, важливим аспектом є управління ризиками у сфері АЕ. Держава повинна створювати механізми для ідентифікації, оцінки та мінімізації ризиків, пов'язаних з розвитком та експлуатацією об'єктів ВДЕ, включаючи технологічні, фінансові та ринкові ризики [37, с. 38]. Розвиток страхування та інших інструментів управління ризиками сприятиме підвищенню інвестиційної привабливості сектору.

Отже, інституційні основи розвитку альтернативної енергетики як у світовому, так і в українському контексті, являють собою складну систему взаємодії державних органів, законодавчих та регуляторних механізмів, стимулюючих заходів, фінансових інструментів та міжнародної співпраці.

Висновки до розділу 1

В умовах вичерпності традиційних енергоресурсів та негативного впливу їх використання на довкілля, альтернативні джерела енергії виступають ключовим елементом трансформації глобального енергетичного сектору. Їхнє значення полягає не лише у зменшенні залежності від викопного палива, а й у значному скороченні викидів парникових газів, що є нагальною потребою в контексті боротьби зі зміною клімату. Україна, володіючи значним потенціалом у сфері відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна радіація, вітрові ресурси та біомаса, поступово формує необхідну правову та економічну базу для їх підтримки та інтеграції в національну енергетичну систему. Послідовне впровадження інноваційних альтернативних технологій є стратегічним кроком на шляху до зміцнення енергетичної незалежності країни та забезпечення її сталого розвитку в умовах складних сучасних глобальних викликів.

Еволюційний шлях розвитку альтернативної енергетики, як на міжнародній арені, так і в Україні, засвідчує її зростаючу роль у диверсифікації енергетичних портфелів та мінімізації екологічних наслідків енергоспоживання. На світовій арені спостерігається динамічне зростання використання різноманітних відновлюваних джерел енергії, включаючи сонячну, вітрову, біоенергетичну та гідроелектричну генерацію, що сприяє не лише декарбонізації енергетичних систем, але й підвищенню енергетичної безпеки окремих країн та регіонів. Україна, незважаючи на певні економічні та політичні перешкоди, досягла помітного прогресу в розвитку альтернативної енергетики. Цьому сприяло впровадження передових технологій, поступове зниження вартості реалізації інвестиційних проектів у цій сфері та

цілеспрямована державна політика підтримки відновлюваних джерел енергії. У подальшому, для повноцінного розкриття потенціалу альтернативної енергетики, вкрай важливим є продовження модернізації існуючої інфраструктури, створення сприятливого інвестиційного клімату, активізація міжнародної співпраці та обмін досвідом з провідними країнами у цій галузі. Ці зусилля є необхідними для забезпечення сталого розвитку енергетичної системи України та її інтеграції у світові енергетичні процеси.

Інституційні засади розвитку альтернативної енергетики формуються на основі гармонійного поєднання нормативного регулювання, стратегічного планування, контролюючих функцій, стимулюючих заходів, а також відкритості до міжнародного досвіду. Лише комплексний підхід дозволить ефективно інтегрувати альтернативну енергетику в національну економіку та гарантувати енергетичну безпеку в умовах глобальних викликів.

РОЗДІЛ 2

МОЖЛИВОСТІ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ З УРАХУВАННЯМ ЗАРУБІЖНОГО ДОСВІДУ

2.1. Досвід країн світу та їх підходи до розвитку альтернативної енергетики

Глобальна потреба у диверсифікації енергетичних ресурсів, зменшенні залежності від викопного палива та боротьбі зі зміною клімату зумовлює активний розвиток альтернативної енергетики у багатьох країнах світу. Досвід різних держав у цьому процесі є цінним для розуміння ефективних стратегій, виявлення потенційних бар'єрів та визначення оптимальних шляхів переходу до більш стійкої енергетичної системи. Проведемо порівняльний аналіз розвитку альтернативної енергетики у трьох країнах з різними економічними та географічними характеристиками: Сполучених Штатів Америки, Естонії та Польщі, за період з 2014 по 2024 рік. Вибір цих країн обумовлений їхнім різним підходом до енергетичної політики та досягнутими результатами у сфері відновлюваних джерел енергії. США, як велика індустріальна держава з потужним науково-технічним потенціалом, демонструє широкий спектр розвитку альтернативних джерел і може бути прикладом найбільших досягнень у екологізації енергетики та інституціоналізації альтернативної енергетики. Досвід Естонії - невеликої, але активної інноваційної країни, яка, будучи членом Європейського Союзу, активно впроваджує політику сталого розвитку та енергетичної незалежності, може показати технологічні можливості розвитку альтернативної енергетики. Польща, з її історичною залежністю від вугілля, перебуває на етапі поступової трансформації енергетичного сектору, її досвід, за нашою думкою, може бути найбільш близьким для України.

Протягом 2014-2024 років Сполучені Штати Америки продемонстрували стійке зростання частки альтернативної енергетики у своєму енергетичному балансі (рис. 2.1). З 13,0% у 2014 році цей показник зріс до прогнозованих

23,8% у 2024 році, що свідчить про значний прогрес у диверсифікації енергетичних джерел.

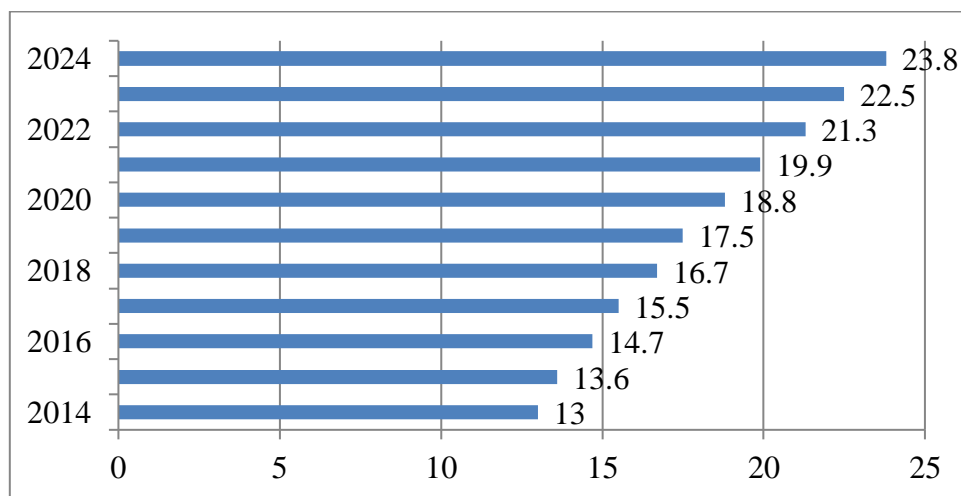


Рис. 2.1 – Частка альтернативної енергетики в енергетичному балансі США (%)

Джерело: складено автором на основі [24].

Аналіз структури альтернативної енергетики у США (рис. 2.2) показує, що атомна енергетика залишається найбільшим її компонентом, проте її частка поступово зменшується. Водночас, спостерігається значне зростання частки сонячної та вітрової енергетики, що відображає активну підтримку та технологічний розвиток відновлюваних джерел енергії.

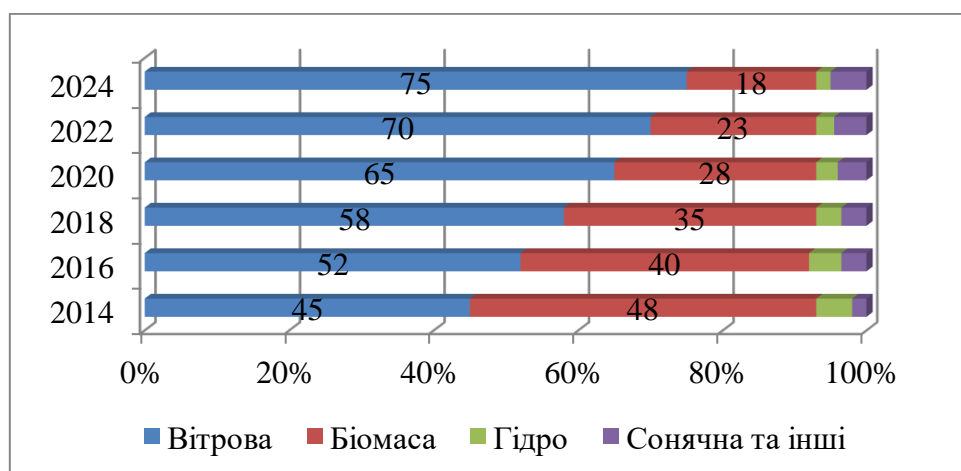


Рис. 2.2 – Структура альтернативних джерел енергії в США (%)

Джерело: складено автором на основі [24].

Гідроенергетика зберігає відносно стабільну, але меншу частку, а внесок біомаси та інших альтернативних джерел залишається незначним та демонструє тенденцію до зниження. Таким чином, енергетична політика США спрямована на поступове збільшення частки відновлюваних джерел енергії, при збереженні значної ролі атомної енергетики як низьковуглецевого джерела.

Естонія, як член Європейського Союзу, демонструє значно вищу частку альтернативної енергетики у своєму енергетичному балансі порівняно зі США (рис. 2.3).

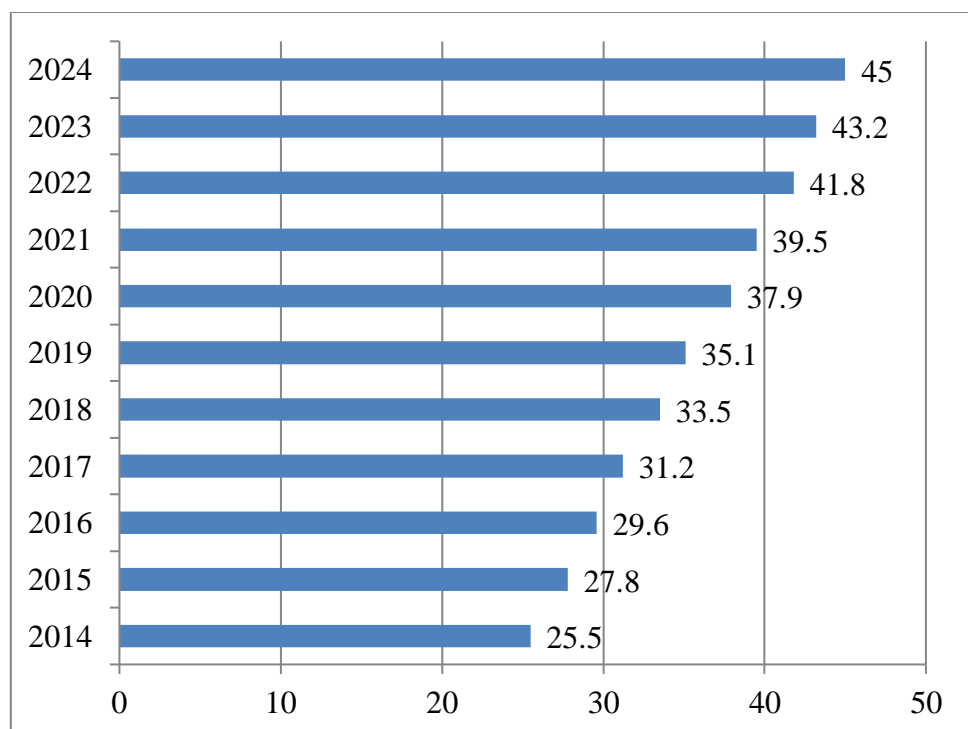


Рис. 2.3 – Частка альтернативної енергетики в енергетичному балансі Естонії (%)

Джерело: складено автором на основі [24].

З 25,5% у 2014 році цей показник, за прогнозами, досягне 45,0% у 2024 році. Структура альтернативних джерел енергії в Естонії (рис. 2.4) суттєво відрізняється від американської.

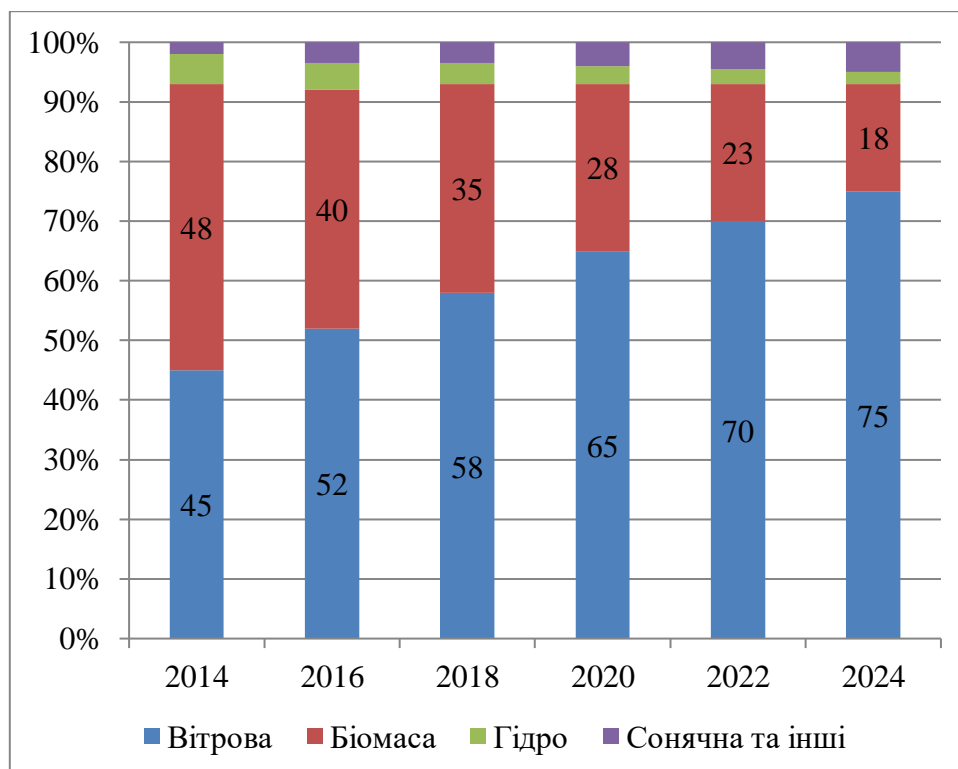


Рис. 2.4 – Структура альтернативних джерел енергії в Естонії (%)

Джерело: складено автором на основі [24].

Вітрова енергетика є домінуючим відновлюваним джерелом і демонструє стрімке зростання протягом досліджуваного періоду. Частка біомаси, яка раніше була значною, поступово зменшується, що пов'язано зі змінами в державній політиці та розвитком інших відновлюваних технологій. Гідроенергетика відіграє незначну роль через географічні особливості країни. Частка сонячної енергетики та інших відновлюваних джерел зростає, але поки залишається відносно невеликою. Важливо відзначити, що Естонія не використовує атомну енергетику, роблячи акцент на розвитку відновлюваних джерел, зокрема вітрової енергії, для досягнення енергетичної незалежності та виконання цілей ЄС у сфері клімату та енергетики.

Польща, яка історично залежала від викопного палива, зокрема вугілля, демонструє поступове зростання частки альтернативної енергетики у своєму енергетичному балансі (рис. 2.5).

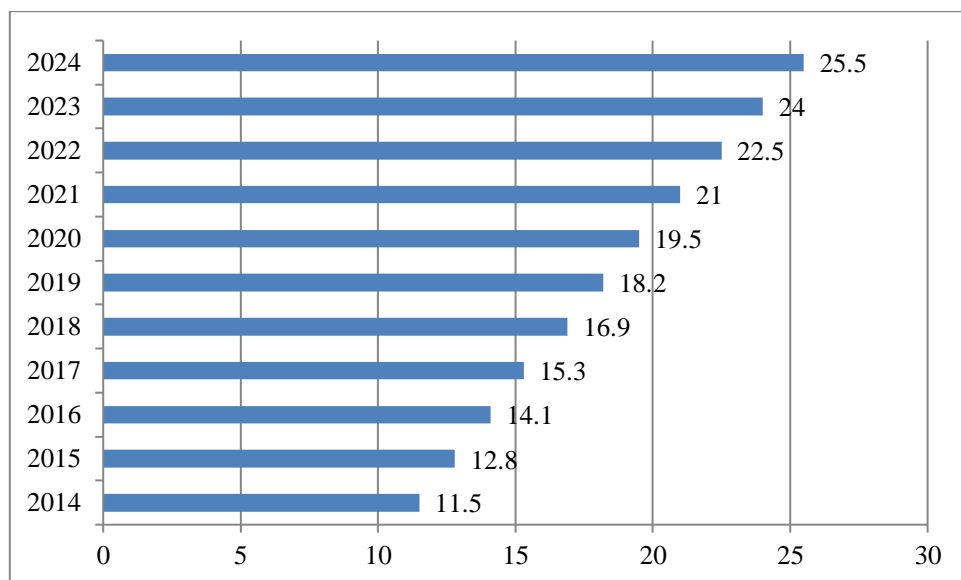


Рис. 2.5 – Частка альтернативної енергетики в енергетичному балансі Польщі (%)

Джерело: складено автором на основі [24].

З 11,5% у 2014 році очікується зростання до 25,5% у 2024 році. Аналіз структури альтернативних джерел енергії в Польщі (рис. 2.6) показує, що вітрова енергетика стала основним відновлюваним джерелом і демонструє значне зростання.

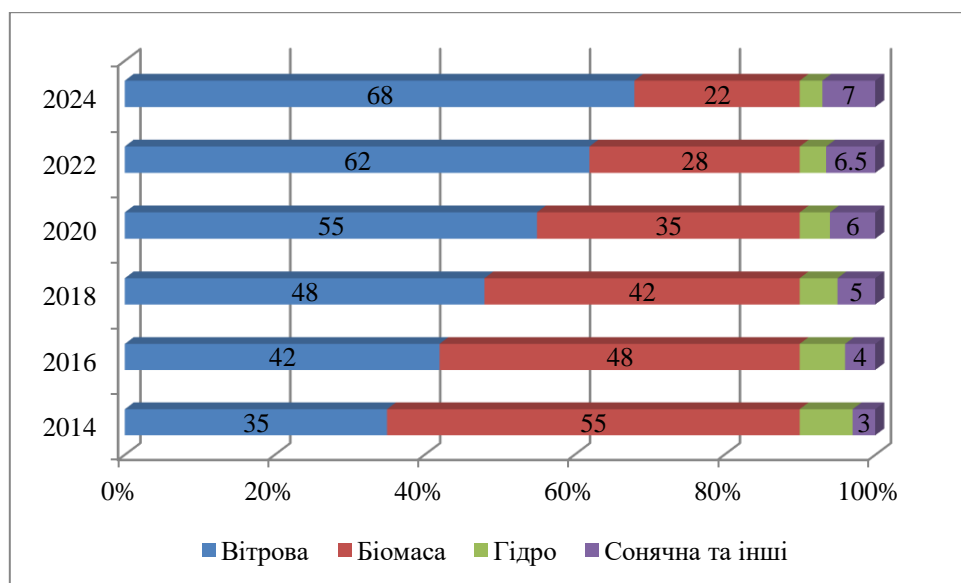


Рис. 2.6 – Структура альтернативних джерел енергії в Польщі (%)

Джерело: складено автором на основі [24].

Частка біомаси, яка раніше була домінуючою серед альтернативних джерел, поступово зменшується. Гідроенергетика відіграє незначну роль. Частка сонячної енергетики та інших відновлюваних джерел зростає, що свідчить про зусилля країни у диверсифікації енергетичного балансу та зменшенні залежності від вугілля. Польща також не використовує атомну енергетику. Перехід до альтернативних джерел енергії в Польщі відбувається поступовіше порівняно з Естонією, що пов'язано з наявністю значних запасів вугілля та необхідністю структурних змін в економіці.

Отже, порівняльний аналіз розвитку альтернативної енергетики у США, Естонії та Польщі протягом 2014-2024 років виявив значні відмінності у їхніх підходах та досягнутих результатах. США демонструють диверсифікований підхід з акцентом на атомну енергетику та зростання відновлюваних джерел, зокрема сонячної та вітрової енергії. Естонія зробила значний стрибок у розвитку вітрової енергетики, ставши одним з лідерів у цьому напрямку в Європейському Союзі. Польща перебуває на етапі активного переходу від вугільної енергетики до відновлюваних джерел, де ключову роль відіграє вітрова енергія. Спільними рисами для всіх трьох країн є загальна тенденція до зростання частки альтернативної енергетики в енергетичному балансі та збільшення внеску вітрової та сонячної енергії. Відмінності зумовлені різними факторами, включаючи наявність природних ресурсів, економічну структуру, державну політику та членство в міжнародних організаціях (зокрема, ЄС). Дослідження досвіду цих країн є важливим для формування ефективних стратегій розвитку альтернативної енергетики в інших державах, враховуючи їхні індивідуальні особливості та глобальні тенденції у сфері сталого розвитку.

Ефективний розвиток альтернативної енергетики вимагає не лише наявності технологічного потенціалу чи інвестицій, а й належної інституційної основи, що включає законодавчо-нормативну базу, функціонування профільних державних органів, наявність стратегій та політик, що забезпечують сталий перехід до екологічно безпечної енергетики. Порівняння країн, які досягли значного прогресу у сфері інституціоналізації альтернативної енергетики,

дозволяє ідентифікувати успішні моделі та адаптувати їх до національних умов. У цьому контексті особливий інтерес становить досвід США як технологічного лідера, Естонії – як пострадянської держави з ефективною цифровою трансформацією енергетики, та Польщі – як країни з енергосистемою, подібною до української [15, с. 7].

У США формування інституційної структури альтернативної енергетики здійснюється на багаторівневій основі – федеральному, штатному та муніципальному. Національна енергетична політика базується на положеннях Energy Policy Act (1992, оновлено у 2005 та 2020 роках), які визначають напрями розвитку чистої енергетики, податкові пільги, вимоги до енергоефективності та заходи стимулювання інвестицій у відновлювану енергетику [9, с. 15].

Ключовим органом на федеральному рівні є Міністерство енергетики США (U.S. Department of Energy, DOE), до завдань якого входить розробка енергетичних стратегій, підтримка науково-дослідних центрів, формування регуляторної політики та контроль за впровадженням енергетичних стандартів. Підрозділи DOE, зокрема Офіс енергоефективності та відновлюваної енергії (EERE), координують національні програми у галузі сонячної, вітрової, водневої енергетики, біоенергетики та геотермальних джерел [62, с. 85].

Значна роль у США належить окремим штатам, які мають широкі повноваження у формуванні регіональної політики. Наприклад, Каліфорнія, Нью-Йорк, Массачусетс та Вашингтон мають власні Renewable Portfolio Standards (RPS), що зобов'язують енергетичні компанії виробляти визначений відсоток електроенергії з відновлюваних джерел. У Каліфорнії ці нормативи найвищі – 60% до 2030 року і 100% до 2045 року [69, с. 97]. Така модель забезпечує інституційну конкуренцію та сприяє швидкому поширенню інноваційних рішень м.

Фінансова підтримка альтернативної енергетики здійснюється через федеральні фонди, кредити, гарантії та податкові пільги (наприклад, Investment Tax Credit та Production Tax Credit), що забезпечує привабливість цього сектору

для інвесторів. Крім того, США мають розвинуту систему незалежних операторів ринку енергії (ISO), що координують балансування мереж і включення ВДЕ до енергетичної системи [59, с. 67].

Попри обмежені природні ресурси, Естонія за останні роки досягла суттєвого прогресу в розбудові інституційної моделі підтримки альтернативної енергетики. Основою інституціонального дизайну є Енергетична стратегія Естонії до 2030 року, ухвалена урядом у 2017 році, яка передбачає зниження залежності від сланцевого палива та активне впровадження відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Ключовими інституціями є Міністерство економіки та комунікацій, а також Estonian Competition Authority, що здійснює регулювання тарифів, ліцензування та моніторинг функціонування енергетичних ринків. Для координації проєктів у галузі ВДЕ було створено Estonian Renewable Energy Association – незалежну організацію, яка об'єднує учасників ринку та взаємодіє з державними органами у розробці політик [63].

Особливістю естонської моделі є активне використання цифрових інструментів для адміністрування енергетичних процесів: системи «розумних» мереж, автоматизація обліку споживання, інтеграція даних через платформу e-Estonia. Це значно підвищує ефективність управління енергетичними ресурсами та сприяє прозорості в секторі. Законодавчо альтернативна енергетика регулюється Енергетичним законом Естонії (Energy Sector Act), до якого були внесені численні поправки у 2018-2022 рр., що стосуються квот на ВДЕ, процедур видачі ліцензій та механізмів підтримки проєктів ВДЕ через аукціони.

Польща традиційно залишається однією з найбільш залежних від вугілля країн Європи, однак за останнє десятиліття в країні здійснено значний прорив у напрямку розвитку альтернативної енергетики. Важливу роль у цьому процесі відіграла реалізація Енергетичної політики Польщі до 2040 року (PEP2040), затвердженої у 2021 році. Цей документ визначає декарбонізацію як головний пріоритет та передбачає, що до 2040 року частка ВДЕ у виробництві електроенергії сягне понад 50% [68, с. 75].

Центральним регулятором енергетичної політики є Міністерство клімату та навколишнього середовища, а функції контролю і ліцензування виконує Energy Regulatory Office (URE). Для розробки технічних стандартів і реалізації інфраструктурних проєктів працює державне підприємство Polskie Sieci Elektroenergetyczne (PSE) – оператор системи передачі електроенергії. Також у 2021 році створено державне Агентство енергетичного переходу, завданням якого є координація регіональних ініціатив, залучення інвестицій та управління фондами ЄС [56, с. 49].

У Польщі запроваджено правові механізми підтримки альтернативної енергетики, зокрема систему аукціонів на «зелену» електроенергію, обов'язкові квоти для постачальників, податкові пільги та програми підтримки малих домашніх СЕС. Важливим інструментом є Національний фонд охорони навколишнього середовища і водного господарства, через який реалізуються субсидії на малі ВДЕ-об'єкти.

Сприятливим чинником стало також фінансування з боку ЄС, зокрема в межах «Зеленого курсу», «Інструменту відновлення та стійкості» та «Фонду справедливого переходу». Це дозволило Польщі не лише зменшити частку вугільної генерації, а й почати розвиток офшорної вітрової енергетики та розширення біоенергетичних потужностей [55, с. 121].

Отже, зіставлення інституційних моделей США, Естонії та Польщі демонструє, що ключем до успішного розвитку альтернативної енергетики є послідовна державна політика, наявність спеціалізованих органів управління, прозора законодавчо-нормативна база та ефективні механізми підтримки інвесторів і споживачів. США показують приклад гнучкої багаторівневої системи з потужною технологічною та фінансовою базою. Естонія демонструє силу цифрових інструментів і прозорості. Польща – модель поступового переходу навіть за умов високої залежності від традиційних джерел. Для України досвід цих країн може бути корисним при формуванні власної моделі інституціонального забезпечення альтернативної енергетики. Адаптація інструментів підтримки, цифрових технологій, підвищення прозорості та

активізація міжнародного співробітництва є перспективними напрямками вдосконалення національної енергетичної політики в контексті євроінтеграції та кліматичної відповідальності.

2.2. Порівняльний аналіз ефективності альтернативних енергетичних технологій у різних країнах

Ефективність впровадження та функціонування альтернативних енергетичних технологій (АЕТ) демонструє значну варіативність у різних країнах світу. Ця неоднорідність обумовлюється комплексом взаємопов'язаних факторів, що мають специфічний характер для кожного національного та регіонального контексту. Відмінності в географічному положенні, кліматичних умовах, наявності природних ресурсів, рівні економічного розвитку, інституційному середовищі, політичних пріоритетах та культурних особливостях суттєво впливають на потенціал, темпи та успішність розвитку альтернативної енергетики. Таким чином, процес екологізації енергетичного сектору є індивідуальним завданням для кожної країни, що вимагає врахування її унікальних характеристик та можливостей.

Рівень ефективності впровадження альтернативних енергетичних технологій у різних країнах суттєво відрізняється, що пояснюється низкою специфічних чинників: політико-економічними умовами, доступністю природних ресурсів, рівнем науково-технічного розвитку, законодавчими та інституційними рамками, а також соціально-культурними аспектами. Таким чином, екологізація енергетики не може бути універсальною – вона завжди є відображенням індивідуального контексту країни або регіону [65].

Зокрема, країни Північної Європи, зокрема Данія, Швеція та Норвегія, демонструють високі показники ефективності використання вітрової та гідроенергетики завдяки природним умовам (стійкі вітри, наявність водних ресурсів), державній підтримці, прозорим інституційним механізмам та політичній волі. Натомість у країнах Північної Африки чи Центральної Азії,

попри значний сонячний потенціал, впровадження відновлюваної енергетики стримується через обмежену інфраструктуру, інституційну нестабільність та брак інвестицій. Екологізація енергетики не може бути шаблонною – для кожної країни вона потребує адаптивного підходу з урахуванням власного потенціалу і обмежень. У цьому контексті важливу роль відіграє міжнародна співпраця, яка дозволяє країнам отримувати доступ до знань, технологій, інвестицій, а також зміцнювати інституційну спроможність впровадження альтернативної енергетики [54, с. 85].

Міжнародні спеціалізовані організації, такі як Міжнародне агентство з відновлюваних джерел енергії (IRENA), Міжнародне енергетичне агентство (IEA), Програма розвитку ООН (UNDP), Світовий банк та ЄБРР реалізують проекти технічної допомоги, інфраструктурні ініціативи, дослідницькі програми та консультаційні заходи, спрямовані на підтримку країн, що розвиваються, у їхніх зусиллях із переходу до сталої енергетики. Зокрема, діяльність IRENA включає створення інтегрованих дорожніх карт для країн, обмін даними, сприяння інвестиціям та спрямування фінансування через спеціалізовані фонди [45, с. 18].

Також доцільно відзначити, що існують двосторонні програми співпраці, наприклад ініціативи США (Power Africa, USAID Clean Energy), Німеччини (GIZ), Японії (JICA) або Європейського Союзу (зокрема програми ЄІБ, Horizon Europe), які пропонують комплексну підтримку для модернізації енергетичних систем країн-партнерів. Такі програми охоплюють розвиток інфраструктури, розбудову людського капіталу, реформу інституційного середовища та підвищення прозорості в енергетичному секторі. У цьому контексті вивчення зарубіжного досвіду набуває виняткового значення. По-перше, воно дозволяє ідентифікувати найбільш релевантні моделі для адаптації. По-друге, створює можливості для уникнення помилок, які вже допустили інші країни. По-третє, сприяє формуванню інноваційної екосистеми на національному рівні, що забезпечує не лише енергетичну безпеку, а й економічне зростання [41, с. 65].

Аналізуючи ефективність впровадження альтернативної енергетики у світі, важливо враховувати не лише технічні характеристики технологій, а й цілий спектр політичних, інституційних та соціально-економічних чинників. Саме завдяки усвідомленню цієї комплексності стає можливим стратегічне планування та цільова адаптація заходів з розвитку альтернативної енергетики до умов конкретної країни. Значення виявленої залежності ефективності АЕТ від контекстуальних факторів є ключовим для розуміння різноманітних успіхів країн у розвитку альтернативної енергетики. Країни з сприятливими природними умовами для певних видів ВДЕ (зокрема, висока сонячна інсоляція для сонячної енергетики або значний вітровий потенціал для вітроенергетики) часто демонструють більш швидке та масштабне впровадження відповідних технологій. Економічно розвинені країни, як правило, мають більші фінансові можливості для інвестування в науково-дослідні розробки, інфраструктурні проекти та програми підтримки АЕТ. Крім того, стабільне інституційне середовище та чітка державна політика, спрямована на стимулювання «зеленої» енергетики, створюють сприятливі умови для залучення інвестицій та розвитку галузі [49].

Для прискорення розвитку альтернативної енергетики та подолання існуючих лімітуючих факторів важливу роль відіграє міжнародна співпраця. Обмін досвідом, технологіями, найкращими практиками та фінансовими ресурсами між країнами може значно розширити можливості кожної держави у сфері екологізації енергетики та досягнення сталого розвитку. Міжнародна співпраця дозволяє країнам, що розвиваються, отримати доступ до передових технологій та знань, а розвиненим країнам – знаходити нові ринки та можливості для розширення «зелених» ініціатив.

Спеціалізовані міжнародні організації відіграють ключову роль у сприянні міжнародній співпраці у сфері альтернативної енергетики. Такі організації, як IRENA, IEA, та різні підрозділи ООН, розробляють рекомендації, проводять дослідження, організують навчальні програми та форуми, а також сприяють налагодженню партнерських зв'язків між країнами.

Вони також можуть виступати в якості платформи для розробки та впровадження спільних інфраструктурних проектів у сфері ВДЕ, що особливо важливо для країн з обмеженими національними ресурсами. Міжнародні фінансові інститути, такі як Світовий банк та регіональні банки розвитку, надають фінансову підтримку проектам у сфері ВДЕ, сприяючи їх реалізації та масштабуванню [50, с. 149].

Вивчення зарубіжного досвіду є надзвичайно цінним інструментом для кожної країни, що прагне досягти більших успіхів у розвитку альтернативної енергетики. Аналіз політики та механізмів підтримки ВДЕ, що успішно зарекомендували себе в інших країнах зі схожими умовами або навіть в більш розвинених економіках, може допомогти уникнути помилок та прискорити впровадження ефективних рішень. Досвід Німеччини у впровадженні «зелених» тарифів або досвід Данії у розвитку вітроенергетики можуть бути корисними для розробки національних стратегій розвитку ВДЕ в інших країнах.

Існують різноманітні програми міжнародної співпраці, що підтримуються як міжнародними організаціями, так і передовими країнами. Міжнародні організації часто ініціюють та фінансують інфраструктурні проекти у сфері ВДЕ в країнах, що розвиваються, сприяючи їхньому енергетичному переходу та підвищенню енергетичної безпеки. Розвинені країни, такі як США, також мають власні програми міжнародної допомоги, спрямовані на підтримку розвитку чистих енергетичних технологій в інших країнах через надання технічної допомоги, обмін знаннями та фінансову підтримку [42].

Для України вивчення зарубіжного досвіду та активна участь у програмах міжнародної співпраці є особливо важливими для прискорення розвитку альтернативної енергетики. Залучення іноземних інвестицій, трансфер передових технологій, отримання технічної допомоги у розробці та впровадженні ефективної державної політики, а також участь у спільних інфраструктурних проектах можуть значно розширити можливості України у сфері екологізації енергетики та досягнення енергетичної незалежності. Активна співпраця з міжнародними організаціями та провідними країнами у

сфері ВДЕ може стати каталізатором для більш швидкого та сталого розвитку альтернативної енергетики в Україні, враховуючи її специфічні умови та потреби. Поєднання міжнародної підтримки, активної інтеграції у світові інституції та цілеспрямованого розвитку внутрішнього ринку альтернативної енергетики дозволить зменшити залежність від імпорту енергоносіїв, посилити енергетичну незалежність та забезпечити дотримання міжнародних кліматичних зобов'язань. Участь України в проєктах IRENA, ЄБРР, ЄІБ, а також реалізація двосторонніх угод з ЄС і США відкриває широкі перспективи для підвищення ефективності та стабільності альтернативного енергетичного сектору [51].

Таким чином, ефективність альтернативних енергетичних технологій є контекстуально залежною, що зумовлює різноманітні успіхи країн у цій сфері. Міжнародна співпраця, підтримка спеціалізованих організацій та ретельне вивчення зарубіжного досвіду відіграють ключову роль у подоланні лімітуючих факторів та розширенні можливостей для екологізації енергетики та сталого розвитку кожної країни, включаючи Україну. Активне залучення до міжнародних ініціатив та адаптація успішних світових практик є важливими кроками на шляху до більш чистого та безпечного енергетичного майбутнього.

Альтернативні енергетичні технології відіграють важливу роль у забезпеченні сталого розвитку та зменшенні впливу на навколишнє середовище. Водночас ефективність їх впровадження залежить від багатьох факторів, серед яких важливими є технічні характеристики, економічні аспекти, екологічний вплив і соціальні аспекти. Важливими показниками енергоефективності, які ми використовуємо в нашому дослідженні, є середній коефіцієнт корисної дії (ККД) та середня вартість виробництва електроенергії для ключових альтернативних енергетичних технологій. У табл. 2.1 представлено порівняльний аналіз технічної ефективності за вказаними показниками у Сполучених Штатах Америки, Естонії та Польщі.

Таблиця 2.1 – Порівняльний аналіз технічної ефективності та вартості виробництва електроенергії

Технологія	Країна	Середній ККД (%)	Середня вартість виробництва (€/МВт·год)	Особливості
Сонячна PV енергія	США	15-20	60-110	Значні регіональні відмінності в інсоляції, державна підтримка, технологічний розвиток.
Сонячна PV енергія	Естонія	13-17	70-130	Менший потенціал через кліматичні умови, зростаючий інтерес та державна підтримка.
Сонячна PV енергія	Польща	14-18	75-120	Зростаючий ринок, залежність від імпорту технологій, державні програми підтримки.
Вітрова енергія (наземна)	США	30-45	40-80	Великий потенціал у центральних та прибережних штатах, розвинена інфраструктура.
Вітрова енергія (наземна)	Естонія	35-48	45-85	Сприятливі вітрові умови, значний внесок у енергетичний баланс, фокус на офшорні проєкти.
Вітрова енергія (наземна)	Польща	32-46	50-90	Активний розвиток, особливо на півночі країни, питання суспільного прийняття.
Атомна енергія	США	90-95	100-150	Стабільне та потужне джерело, високі капітальні витрати, питання безпеки та поводження з відходами.
Біоенергія (різні види)	США	20-40	60-120	Використання лісових та сільськогосподарських відходів, біопалива, потенціал сталого розвитку, залежність від джерела сировини.
Біоенергія (різні види)	Естонія	25-35	55-110	Використання деревної біомаси, торфу, сільськогосподарських відходів, важливе джерело тепла.
Біоенергія (різні види)	Польща	22-32	65-115	Використання біомаси в сільському господарстві та лісовій промисловості, потенціал для зменшення залежності від викопного палива.
Гідроенергія (малі та середні ГЕС)	США	40-80	80-160	Історично важливе джерело, обмежений потенціал для подальшого розвитку, екологічні питання.
Гідроенергія (малі ГЕС)	Естонія	45-75	90-170	Незначний внесок через географічні особливості, фокус на інших відновлюваних джерелах.
Гідроенергія (малі та середні ГЕС)	Польща	40-78	85-165	Обмежений потенціал, зосереджений на існуючих річкових системах.

Джерело: складено автором за матеріалами [14, с. 28].

Розглядаючи сонячну фотоелектричну (PV) енергію, можемо побачити відмінності в середньому ККД та вартості виробництва між країнами. У США, завдяки значним інвестиціям та технологічному розвитку, а також наявності

регіонів з високою інсоляцією, досягається дещо вищий ККД та ширший діапазон вартості виробництва. Естонія, з менш сприятливими кліматичними умовами, демонструє нижчий ККД та вищу вартість, проте зростаючий інтерес та державна підтримка сприяють розвитку цієї технології. Польща, перебуваючи на етапі активного впровадження сонячної енергетики, характеризується середніми показниками ККД та вартості, що зумовлено залежністю від імпорту технологій та дією державних програм підтримки.

Щодо вітрової енергії (наземної), США мають великий потенціал та розвинену інфраструктуру, що відображається у широкому діапазоні вартості виробництва. Естонія вирізняється сприятливими вітровими умовами та високим ККД, а також фокусом на розвитку офшорних вітрових станцій. У Польщі вітрова енергетика активно розвивається, особливо в північних регіонах, проте вартість виробництва залишається дещо вищою, що пов'язано з питаннями суспільного прийняття та інфраструктурними особливостями.

Атомна енергія є значущим низьковуглецевим джерелом у США, характеризуючись дуже високим ККД, але й високою вартістю виробництва, що зумовлено значними капітальними витратами та витратами на безпеку й поводження з відходами. Естонія та Польща на момент дослідження не використовують атомну енергію.

Біоенергія (різні види) представлена в усіх трьох країнах, але з різними характеристиками. У США використовується широкий спектр біомаси, що впливає на діапазон ККД та вартості. Естонія робить акцент на використанні деревної біомаси та торфу, що є важливим джерелом тепла. Польща розглядає біомасу як засіб зменшення залежності від викопного палива, використовуючи сільськогосподарські та лісові відходи. Вартість виробництва біоенергії залежить від доступності та вартості сировини.

Гідроенергія (малі та середні ГЕС) відіграє різну роль у досліджуваних країнах. У США це історично важливе джерело, але з обмеженим потенціалом для подальшого розвитку. Естонія має незначний гідроенергетичний потенціал через свої географічні особливості. Польща також має обмежені можливості

для розвитку гідроенергетики, зосереджуючись на модернізації існуючих малих та середніх ГЕС. Вартість виробництва гідроелектроенергії залежить від конкретних гідрологічних умов та масштабу проекту.

У таблиці 2.2 представлено порівняльний аналіз екологічного впливу (викиди CO₂, використання землі) та соціальних аспектів (соціальне прийняття, створення робочих місць) для ключових альтернативних енергетичних технологій у Сполучених Штатах Америки, Естонії та Польщі. Метою цієї таблиці є оцінка не лише економічної та технічної ефективності, але й впливу різних джерел енергії на навколишнє середовище та суспільство в контексті кожної з досліджуваних країн. Розглядаючи сонячну PV енергію, викиди CO₂ є низькими на етапі експлуатації, але враховують виробництво обладнання. Використання землі є середнім і залежить від масштабу станції. Соціальне прийняття є переважно високим у США, тоді як в Естонії та Польщі воно оцінюється як середнє, що пов'язано з меншою поширеністю технології та меншою обізнаністю населення. Створення робочих місць є середнім у США та нижчим у Естонії та Польщі, що може бути зумовлено різними рівнями розвитку виробничого сектору.

Таблиця 2.2 – Порівняльний аналіз екологічного впливу та соціальних аспектів

Технологія	Країна	Викиди CO ₂ (г CO ₂ /кВт·год)	Використання землі	Соціальне прийняття	Створення робочих місць
1	2	3	4	5	6
Сонячна PV енергія	США	10-50	Середнє	Високе	Середнє
Сонячна PV енергія	Естонія	10-50	Середнє	Середнє	Низьке-Середнє
Сонячна PV енергія	Польща	10-50	Середнє	Середнє	Низьке-Середнє
Вітрова енергія (наземна)	США	10-20	Середнє	Середнє-Високе	Середнє
Вітрова енергія (наземна)	Естонія	10-20	Середнє	Середнє-Низьке	Низьке-Середнє

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5	6
Вітрова енергія (наземна)	Польща	10-20	Середнє	Середнє-Низьке	Середнє
Атомна енергія	США	5-15	Низьке	Середнє-Низьке	Високе
Біоенергія (різні види)	США	50-200+	Середнє-Високе	Середнє	Середнє-Високе
Біоенергія (різні види)	Естонія	50-150+	Середнє	Середнє	Низьке-Середнє
Біоенергія (різні види)	Польща	60-180+	Середнє	Середнє	Середнє
Гідроенергія (малі та середні ГЕС)	США	5-15	Середнє	Середнє-Низьке	Низьке
Гідроенергія (малі ГЕС)	Естонія	5-15	Низьке	Середнє	Низьке
Гідроенергія (малі та середні ГЕС)	Польща	5-15	Середнє	Середнє	Низьке

Джерело: складено автором за матеріалами [14, с. 23].

Щодо вітрової енергії (наземної), викиди CO₂ також є низькими. Використання землі є середнім, оскільки між вітротурбінами можливе інше землекористування. Соціальне прийняття варіюється: від середнього до високого у США, де вітрова енергетика більш поширена, до середнього-низького в Естонії та Польщі, де можуть виникати питання щодо візуального впливу та шуму. Створення робочих місць є середнім у США та Польщі, і нижчим у Естонії.

Атомна енергія характеризується дуже низькими викидами CO₂ на етапі виробництва електроенергії, але має питання щодо поводження з радіоактивними відходами. Використання землі є низьким. Соціальне прийняття у США є середнім-низьким через побоювання щодо безпеки. Створення робочих місць у атомній енергетиці є високим, особливо на етапах будівництва та експлуатації.

Біоенергія (різні види) має широкий діапазон викидів CO₂, залежно від джерела біомаси та ефективності спалювання. Використання землі може бути середнім або високим, особливо при вирощуванні енергетичних культур. Соціальне прийняття є середнім у всіх трьох країнах. Створення робочих місць

може бути середнім або високим, особливо в секторах, пов'язаних з вирощуванням, збором та переробкою біомаси [21, с. 81].

Гідроенергія (малі та середні ГЕС) характеризується низькими викидами CO₂ на етапі експлуатації. Використання землі може бути середнім через необхідність створення водосховищ. Соціальне прийняття є середнім-низьким у США та середнім в Естонії та Польщі, часто через вплив на місцеві екосистеми та ландшафт. Створення робочих місць є низьким, особливо для малих ГЕС.

Отже, з проведеного аналізу видно, що ефективність альтернативних енергетичних технологій значною мірою залежить від технічних, економічних та екологічних умов кожної країни. США, з розвинутою інфраструктурою та великими інвестиціями, демонструють високі показники ККД та стабільну вартість виробництва енергії, зокрема для вітрової та сонячної енергетики. Естонія, хоча і має обмежений природний потенціал, активно розвиває ці технології завдяки державній підтримці, зокрема в галузі біоенергії та сонячної енергії. Польща, знаходячись на етапі впровадження нових енергетичних рішень, демонструє дещо середні результати, що зумовлено як технологічними обмеженнями, так і залежністю від імпорту технологій. Екологічний вплив альтернативних технологій в усіх трьох країнах є мінімальним порівняно з традиційними джерелами енергії, проте варіюється залежно від типу технології. Сонячна і вітрова енергетика мають низькі викиди CO₂ і середнє використання землі. Біоенергія, хоча й має більші викиди CO₂, залишається важливим енергетичним джерелом, особливо в сільськогосподарських регіонах. Щодо соціального впливу, найвищий рівень соціального прийняття та створення робочих місць спостерігається в США, тоді як у Польщі та Естонії соціальні аспекти дещо відстають через меншу популярність цих технологій. Таким чином, ефективність альтернативних енергетичних технологій у різних країнах залежить від сукупності природних, економічних та соціальних факторів, що вимагає індивідуального підходу до кожного регіону.

2.3. Перспективи розвитку альтернативної енергетики в Україні

російсько-українська війна стала не лише трагічною сторінкою в історії України, але й каталізатором глибоких змін в її енергетичному секторі. Масштабні руйнування енергогенеруючих об'єктів та ліній електропередач, спричинені агресією, загострили питання енергетичної безпеки та незалежності. Водночас, ці руйнування відкривають вікно можливостей для прискореного переходу до більш стійкої та децентралізованої енергетичної системи, основу якої може скласти альтернативна енергетика (АЕ). Згідно з дослідженням Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України (Держенергоефективності), технічний потенціал ВДЕ в країні є надзвичайно високим, сягаючи 537 ГВт, що створює потужне підґрунтя для амбітних планів відновлення та розвитку енергетичного сектору на нових, екологічно чистих засадах [24].

Таблиця 2.3 ілюструє стан енергетичного потенціалу відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) в Україні та можливості виробництва «зеленого» водню за допомогою електролізу; відображає різні сценарії розвитку ВДЕ, включаючи базовий, оптимістичний та песимістичний, а також розподіл потенціалу між вітровими електростанціями (ВЕС) та сонячними електростанціями (СЕС). Дані представлені в ГВт для потужності та млрд кВт·год для виробництва електроенергії та «зеленого» водню.

Згідно з дослідженням, проведеним Державним агентством з енергоефективності та енергозбереження України (Держенергоефективності) [24], розроблено три сценарії розвитку альтернативної енергетики (АЕ) в Україні. За базовим сценарієм, загальний потенціал ВДЕ в Україні оцінюється в 537 ГВт. Середньорічне виробництво електроенергії становить 1516 млрд кВт·год, а «зеленого» водню – 337 млрд кВт·год. ВЕС мають значний потенціал (466 ГВт), з яких 320 ГВт припадає на оншорні (наземні) ВЕС (за даними IRENA) та 146 ГВт – на офшорні (морські) ВЕС (за даними NREL). СЕС мають

потенціал 71 ГВт (за даними IRENA) і виробляють 88 млрд кВт·год електроенергії та 20 млрд кВт·год «зеленого» водню.

Таблиця 2.3 – Оцінка енергетичного потенціалу відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) України та еквівалентного електролізу «зеленого» водню

Сценарій ВДЕ	Джерело інформації	Потужність, ГВт	Середньорічне виробництво електроенергії, млрд кВт·год	Середньорічне виробництво «зеленого» водню, млрд кВт·год
Базовий	Всього ВДЕ	537	1516	337
ВЕС	Разом, у тому числі:	466	1428	317
	оншор (IRENA)	320	858	191
	офшор (NREL)	146	570	126
СЕС	IRENA	71	88	20
Оптимістичний	Всього ВДЕ	771	2273	505
ВЕС	Разом, у тому числі:	688	2174	483
	оншор (ІВЕ НАНУ)	438	1190	254
	офшор (ІВЕ НАНУ)	250	984	219
СЕС	ІВЕ НАНУ	83	99	22
Песимістичний	Всього ВДЕ (сонце і вітер)	Енергетична стратегія України на період до 2035 р.	25	5,5

Джерело: складено автором за матеріалами [38, с. 247].

Оптимістичний сценарій передбачає збільшення загального потенціалу ВДЕ до 771 ГВт. Середньорічне виробництво електроенергії зростає до 2273 млрд кВт·год, а «зеленого» водню – до 505 млрд кВт·год. ВЕС мають потенціал 688 ГВт, з яких 438 ГВт припадає на оншорні ВЕС (за даними ІВЕ НАНУ) та 250 ГВт – на офшорні ВЕС (за даними ІВЕ НАНУ). СЕС мають потенціал 83 ГВт (за даними ІВЕ НАНУ) і виробляють 99 млрд кВт·год електроенергії та 22 млрд кВт·год «зеленого» водню.

Песимістичний сценарій, заснований на Енергетичній стратегії України на період до 2035 р., передбачає значно менший потенціал ВДЕ (лише сонце та вітер) – 25 ГВт. Середньорічне виробництво електроенергії становить 5,5 млрд кВт·год. Для базового сценарію використовуються дані Міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії (IRENA) та Національної лабораторії відновлюваної енергії (NREL). Для оптимістичного сценарію використовуються дані Інституту відновлюваної енергетики Національної академії наук України (ІВЕ НАНУ). Для песимістичного сценарію використовуються дані Енергетичної стратегії України на період до 2035 р. [24]. Таблиця 2.4 представляє розподіл потенційного середньорічного виробітку «зеленого» водню в різних областях України.

Таблиця 2.4 – Розподіл потенційного середньорічного виробітку «зеленого» водню

Область	млн м ³	тис. т
1	2	3
Дніпропетровська область	24692	2198
Одеська область	22173	1973
Херсонська область	22021	1960
Запорізька область	21029	1872
Луганська область	20646	1837
Донецька область	20516	1826
Миколаївська область	19032	1694
Харківська область	17517	1559
Автономна Республіка Крим	14314	1274
Кіровоградська область	13711	1220
Полтавська область	9818	874
Вінницька область	9055	806
Чернігівська область	8598	765
Київська область	8263	735
Сумська область	7570	674
Житомирська область	7515	669
Черкаська область	7138	635
Хмельницька область	7051	628
Львівська область	5637	502
Рівненська область	5409	481
Волинська область	5074	452
Тернопільська область	4721	420
Івано-Франківська область	1968	175

Продовження табл. 2.4

1	2	3
Чернівецька область	1753	156
Закарпатська область	1170	104
Разом	286390	25489
Територіальні води та внутрішні водойми	218742	19468
Всього	505133	44957

Джерело: складено автором за матеріалами [38, с. 248].

Дніпропетровська, Одеська, Херсонська та Запорізька області мають найбільший потенціал для виробництва «зеленого» водню. Ці області мають значні ресурси відновлюваної енергії, такі як сонячна та вітрова енергія, що є необхідними для електролізу води та виробництва водню. Луганська, Донецька, Миколаївська, Харківська, Автономна Республіка Крим та Кіровоградська області мають середній потенціал для виробництва «зеленого» водню. Ці області також мають ресурси відновлюваної енергії, але в менших обсягах порівняно з лідерами. Полтавська, Вінницька, Чернігівська, Київська, Сумська, Житомирська, Черкаська, Хмельницька, Львівська, Рівненська, Волинська та Тернопільська області мають менший потенціал для виробництва «зеленого» водню. Ці області мають менші ресурси відновлюваної енергії або інші обмеження для виробництва водню. Івано-Франківська, Чернівецька та Закарпатська області мають найменший потенціал для виробництва «зеленого» водню. Ці області мають обмежені ресурси відновлюваної енергії та інші географічні обмеження. Загальний потенціал виробництва «зеленого» водню в Україні оцінюється в 286390 млн м³ (25 489 тис. т). Територіальні води та внутрішні водойми мають додатковий потенціал у 218742 млн м³ (19468 тис. т). Загальний потенціал виробництва «зеленого» водню в Україні становить 505133 млн м³ (44957 тис. т).

російсько-українська війна спричинила глибокі та багатогранні зміни в енергетичному секторі України, що виходять далеко за межі простих руйнувань. Прямі та непрямі наслідки війни, такі як знищення критичної інфраструктури, розрив налагоджених ланцюгів постачання та необхідність швидкої адаптації до нових енергетичних реалій, вимагають негайних та

комплексних рішень. російсько-українська війна стала причиною безпрецедентних руйнувань та глибоких трансформацій в енергетичному секторі України, наслідки яких є значно ширшими, ніж просте фізичне знищення об'єктів. Прямі військові дії призвели до цілеспрямованих ударів по ключовій енергетичній інфраструктурі, а непрямі наслідки, такі як порушення логістичних зв'язків та вимушена переорієнтація на нові джерела постачання, вимагають швидкої та комплексної адаптації всієї енергетичної системи країни.

Війна призвела до розриву налагоджених ланцюгів постачання енергетичного обладнання, палива (вугілля, газу, нафтопродуктів) та запасних частин, що ускладнює проведення ремонтних робіт та відновлення пошкоджених об'єктів. Необхідність швидкої адаптації до нових енергетичних реалій включає пошук альтернативних джерел постачання, переорієнтацію на власні ресурси та прискорення розвитку децентралізованої енергетики.

Одним із найбільш відчутних результатів воєнних дій стало масштабне руйнування ключових об'єктів енергетичної інфраструктури. Електростанції, мережі передачі електроенергії, газопроводи та інші життєво важливі об'єкти зазнали значних пошкоджень, що не лише вимагає величезних фінансових вкладень для відновлення, але й призводить до значних втрат виробничих потужностей. За оцінками Світового банку, загальний збиток, завданий енергетичній інфраструктурі України, вже сягнув 11 мільярдів доларів. Понад половина енергетичних об'єктів країни зазнала пошкоджень, що спричинило масові відключення електроенергії по всій території держави. У відповідь на цю кризу, уряд України у співпраці з міжнародними партнерами, зокрема Світовим банком, вживають активних заходів для відновлення пошкодженої інфраструктури. Світовий банк виділив 200 мільйонів доларів грантового фінансування для проведення термінових ремонтних робіт, з можливістю збільшення цієї суми до 300 мільйонів доларів [7, с. 82].

Незважаючи на те, що більшість електростанцій України вдалося повернути до роботи, пошкодження трансформаторних підстанцій продовжують обмежувати їхню ефективність. Відновлення енергетичної

мережі залишається ключовим пріоритетом на 2023-2024 роки, оскільки воно становить значну частину загальних потреб країни у відновленні. Ключові можливості розвитку місцевої енергетики:

- Високоефективна когенерація: Використання існуючих котелень для виробництва електроенергії та тепла.
- Сонячна генерація та системи зберігання: Встановлення сонячних панелей та систем зберігання на об'єктах водопостачання та водовідведення.
- Виробництво біогазу: Оснащення очисних споруд системами виробництва біогазу.

Питання відповідальності за невиконання вимог реєстру критичної інфраструктури охоплює два ключові аспекти. Перший аспект стосується адміністративної відповідальності, яка буде встановлена згідно з відповідними змінами до адміністративного кодексу. Другий аспект передбачає відповідальність у випадках, коли невиконання вимог призводить до аварій або становить загрозу національній безпеці. Контроль за дотриманням вимог реєстру здійснюватимуть відповідні міністерства у своїх секторах. Створення реєстру критичної інфраструктури не призведе до додаткового бюрократичного навантаження на бізнес. Навпаки, це сприятиме спрощенню та уніфікації процедур, оскільки буде створено єдиний орган, відповідальний за цю сферу. Крім того, компанії, включені до реєстру, отримають переваги у захисті та доступі до ресурсів у кризових ситуаціях.

Уніфікація стандартів безпеки для всіх учасників ринку електроенергії є важливим аспектом. Досвід США показує ефективність впровадження «стандартів надійності» в кібербезпеці та фізичній безпеці. В Україні, хоча існують уніфіковані стандарти безпеки на рівні НЕК «Укренерго», вони не є обов'язковими для регіональних операторів електромереж. Нещодавно була введена вимога для Оператора Системи Передачі розробити План забезпечення безпеки критичної інфраструктури. Проте питання забезпечення електропостачання кінцевим споживачам у кризових ситуаціях залишається нерегульованим. Це створює можливості для відключення споживачів без

урахування їх інтересів. На відміну від США, в Україні відсутні Організації з надійності електричної енергії (ERO) та «стандарти надійності». У США ці функції виконує енергетичний регулятор, але НКРЕКП не має таких повноважень [7, с. 103].

В Україні відсутні спеціалізовані урядові та міжвідомчі органи з захисту критичної інфраструктури та електроенергетики. Існує проблема крос-секторальної комунікації. У США існують державні та приватні органи, що активно співпрацюють. США мають інформаційні аналітичні центри та портали, що координують взаємодію державних і приватних органів. У профільних міністерствах США діє система місцевого представництва та співпраці з місцевими органами влади. Місцеві органи влади в США регулюють дії в кризових ситуаціях за допомогою планів енергетичної безпеки, які включають аналіз загроз, інструкції з взаємодії та правила комунікації [61].

Завдяки скоординованій роботі Міністерства енергетики України в рамках проєкту забезпечення безперебійного електропостачання критичної інфраструктури «Укрзалізниці», міжнародні партнери надали компанії 23 резервні електростанції. Це обладнання було передано Україні Міністерством економіки та клімату Нідерландів, а також донором зі Швейцарії. Загалом, з початку повномасштабного вторгнення РФ, Україна отримала значну гуманітарну допомогу від цих країн: 211 вантажів (2905 тонн) з Нідерландів та 59 вантажів (651 тонна) зі Швейцарії. З березня 2022 року Міністерство енергетики скоординувало доставку 1770 гуманітарних вантажів загальною вагою понад 22,85 тис. тонн для енергетичного сектору України з 38 країн світу. Міністерство енергетики України висловлює глибоку вдячність міжнародним партнерам за їхню постійну підтримку та допомогу у забезпеченні стабільної роботи енергетичної системи України в умовах війни [23].

Для України, яка знаходиться у стані війни, важливим є дослідження взаємозв'язку між енергетичною безпекою та обороноздатністю.

Обороздатність визначається готовністю економіки, населення та військової організації до відбиття агресії. Ключові аспекти обороноздатності:

1. Економічна готовність. Диверсифікація джерел енергії, ефективність енергозбереження та інвестиції в альтернативні джерела.

2. Готовність населення. Освіченість, усвідомлення проблем енергетичної безпеки та участь у програмах енергозбереження.

3. Військова готовність. Захист енергетичної інфраструктури в разі конфлікту.

4. Захист територіальної цілісності. Запобігання нелегальному доступу до енергетичних ресурсів та забезпечення стабільності енергетичного сектору в умовах конфлікту.

Об'єктами можливих атак є оператори систем розподілу та передачі, електрогенеруючі підприємства, великі промислові споживачі, системи зберігання енергії, транспортна інфраструктура, персонал компаній, ресурси та міждержавні енергетичні мережі. Для ефективного попередження та реагування на кризові ситуації необхідно розвивати міжсекторну координацію та державно-приватне партнерство. Пропонується створення постійних координаційних груп за участі представників органів влади та приватного сектору. Пропонується створення міжсекторальної групи, очолюваної заступником міністра енергетики, та підгруп для електроенергетики та нафти і газу. Міністерство енергетики України відіграє ключову роль у співпраці з приватним сектором через координаційні групи. Місцеві органи влади також беруть участь у розробці регіональних планів реагування на загрози. Наразі Україна демонструє позитивну динаміку у розвитку відновлюваної енергетики, зокрема завдяки міжнародній технічній та фінансовій підтримці. Уряд країни, у співпраці з Європейським Союзом та іншими партнерами, реалізує низку стратегічних документів і програм, таких як Національний план з енергоефективності та Енергетична стратегія України до 2035 року [23]. Особливу роль відіграють «зелені» тарифи, а також запровадження системи аукціонів на будівництво нових об'єктів альтернативної енергетики. Попри

війну, інтерес інвесторів до галузі залишається стабільним. Вітчизняні компанії продовжують реалізовувати проекти в галузі сонячної та вітрової енергетики, зокрема на територіях, віддалених від активних бойових дій. До того ж зростає зацікавлення розвитком мікрогенерації, зокрема встановленням сонячних панелей на приватних будинках, що підвищує енергетичну стійкість місцевих громад.

Важливим перспективним напрямом є розвиток біоенергетики – утилізація сільськогосподарських відходів та біомаси для виробництва тепла і електроенергії. Це не лише сприяє зменшенню залежності від газу, але й створює нові робочі місця в сільській місцевості. Окрему увагу слід приділяти інноваціям у сфері енергоефективності, впровадженню смарт-мереж та накопичувачів енергії, що забезпечують гнучкість енергосистеми. Разом з тим, розвиток альтернативної енергетики в Україні потребує стабільного нормативно-правового середовища, гарантій для інвесторів, а також прозорих механізмів підтримки та фінансування. Крім того, необхідна модернізація енергетичної інфраструктури для інтеграції нових потужностей у загальнодержавну мережу.

Дослідження досвіду Сполучених Штатів Америки, Естонії та Польщі у розвитку альтернативної енергетики (АЕ) надає цінну інформацію для визначення перспективних напрямків для України. Кожна з цих країн має свої особливості, зумовлені економічними, географічними та політичними факторами, що вплинули на їхні підходи та досягнення у цій сфері. Аналіз їхнього досвіду може допомогти Україні обрати найбільш ефективні стратегії для прискорення розвитку власної галузі АЕ.

Зокрема, досвід США демонструє важливість комплексного підходу, що поєднує підтримку наукових досліджень та розробок з політикою інвестиційної привабливості. Масштабні державні програми фінансування НДДКР у сфері сонячної, вітрової та інших відновлюваних технологій, а також податкові пільги та стимули для виробників та споживачів «зеленої» енергії, сприяли значному зростанню частки АЕ в енергетичному балансі країни. Україна може

перейняти цей підхід, спрямувавши державні інвестиції у вітчизняні науково-технічні розробки та запровадивши дієві механізми стимулювання інвестицій у проєкти АЕ.

Приклад Естонії, як члена Європейського Союзу, є показовим у контексті впровадження європейських директив та створення сприятливої законодавчої бази для розвитку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Активний розвиток вітрової енергетики в Естонії став можливим завдяки чіткому законодавчому регулюванню, спрощенню процедур землевідведення та підключення до мереж, а також підтримці проєктів на місцевому рівні. Україна може використати цей досвід для гармонізації свого законодавства з європейським, усунення бюрократичних перешкод та створення прозорих і зрозумілих правил для інвесторів у сфері АЕ.

Досвід Польщі, країни з традиційною залежністю від викопного палива, ілюструє поступовий, але цілеспрямований перехід до альтернативних джерел енергії. Активний розвиток вітрової енергетики, особливо на півночі країни, став можливим завдяки політиці підтримки ВДЕ та залученню іноземних інвестицій. Водночас, Польща стикається з викликами, пов'язаними з суспільним прийняттям нових енергетичних технологій та необхідністю модернізації енергетичної інфраструктури. Для України, яка також має значний потенціал розвитку вітрової енергетики, досвід Польщі є цінним у контексті розробки стратегій комунікації з громадськістю та планування інтеграції нових потужностей ВДЕ в існуючу енергосистему.

Узагальнюючи, для України найбільш перспективним є синтез досвіду США, Естонії та Польщі. Це включає:

- Активну державну підтримку наукових досліджень та розробок у сфері АЕ для стимулювання інновацій та створення власних технологій (досвід США).
- Створення сприятливої та стабільної законодавчої бази, гармонізованої з європейськими стандартами, що спрощує ведення бізнесу в сфері АЕ та забезпечує прозорі правила гри (досвід Естонії).

– Розробку ефективних механізмів стимулювання інвестицій, включаючи податкові пільги, доступ до фінансування та підтримку проєктів на місцевому рівні (досвід США та Польщі).

– Врахування соціальних та екологічних аспектів розвитку АЕ, включаючи комунікацію з громадськістю та мінімізацію негативного впливу на довкілля (досвід Польщі).

– Впровадження такого комплексного підходу, адаптованого до українських реалій, дозволить Україні максимально використати свій потенціал у сфері альтернативної енергетики, зміцнити енергетичну незалежність та зробити вагомий внесок у боротьбу зі зміною клімату.

Отже, перспективи розвитку альтернативної енергетики в Україні залишаються значними та стратегічно важливими. За умови політичної волі, залучення інвестицій та збереження міжнародної підтримки, відновлювана енергетика може стати основою енергетичної безпеки, економічного зростання та екологічної стабільності держави.

Висновки до розділу 2

У період глобального переходу до сталого розвитку, альтернативна енергетика є ключовим елементом енергетичної безпеки. Порівняльний аналіз розвитку цього сектору в США, Естонії та Польщі виявив спільну тенденцію зростання частки альтернативних джерел, зумовлену технологічним прогресом, державною підтримкою та екологічною свідомістю. Однак структура та темпи розвитку різняться: США демонструють збалансований підхід з атомною енергією, Естонія має місце лідера у вітровій енергетиці завдяки природним умовам та політиці ЄС, а Польща поступово переходить від вугілля до вітрової та сонячної енергії. Досвід цих країн є цінним для розробки стратегій розвитку альтернативної енергетики іншими державами, включаючи Україну, з урахуванням їхньої специфіки.

Аналіз ефективності альтернативних енергетичних технологій у згаданих країнах показав значну варіативність їхніх характеристик залежно від технології та країни. Сонячна та вітрова енергетика демонструють зниження вартості та зростання ККД, але їх ефективність залежить від географії та клімату. Атомна енергія (США) стабільна, але дорога та несе ризики. Біоенергетика має потенціал місцевих ресурсів, але її екологічний вплив різниться. Гідроенергетика екологічно чиста в експлуатації, але обмежена географічно. Вибір оптимальних технологій вимагає комплексного аналізу технічної доцільності, економічної ефективності, екологічної прийнятності та соціальних наслідків з урахуванням специфічних умов кожної країни.

Перспективи розвитку альтернативної енергетики в Україні в умовах війни та післявоєнного відновлення є основними для енергетичної безпеки та сталого майбутнього. Руйнування традиційної інфраструктури створює можливість для прискореного переходу до децентралізованої та екологічно чистої енергосистеми на основі ВДЕ. Оптимістичні прогнози вказують на значний потенціал України у сфері ВДЕ, здатний не лише компенсувати втрачені потужності, але й зробити країну експортером «зеленої» енергії. Реалізація цього потенціалу потребує спільних зусиль держави, бізнесу та міжнародних партнерів для створення сприятливого законодавства, залучення інвестицій та розвитку інфраструктури, що стане ключем до енергетичної незалежності, економічного зростання та екологічної стійкості України.

ВИСНОВКИ

Альтернативні джерела енергії посідають стратегічно важливе місце в сучасному енергетичному ландшафті, оскільки вони сприяють диверсифікації енергетичних ресурсів та зменшенню залежності від викопного палива, що є критично важливим для забезпечення енергетичної безпеки та зниження екологічного навантаження. В Україні, враховуючи її значний потенціал у сфері відновлюваної енергетики, відбувається поступовий розвиток правової та економічної інфраструктури, спрямованої на підтримку таких джерел, як сонячна, вітрова та біоенергія. Систематична інтеграція альтернативних технологій в енергетичну систему країни є необхідною умовою для досягнення енергетичної незалежності та забезпечення сталого розвитку, що набуває особливого значення в контексті сучасних глобальних викликів, таких як зміна клімату та геополітична нестабільність. Альтернативна енергетика, насамперед представлена відновлюваними джерелами, такими як сонячна, вітрова, гідро-, геотермальна енергія та біомаса, є стратегічно важливим напрямком для зменшення залежності від викопного палива, забезпечення енергетичної безпеки та зниження негативного впливу на навколишнє середовище. Різноманітність альтернативних джерел енергії та постійний розвиток відповідних технологій створюють передумови для їхнього ширшого впровадження в енергетичні системи різних країн, включаючи Україну, з урахуванням їхніх специфічних природних, економічних та технологічних умов.

Еволюція альтернативної енергетики як на світовому рівні, так і в Україні, демонструє важливий досвід трансформації енергетичних систем у напрямку зменшення залежності від викопних джерел енергії та мінімізації негативного впливу на довкілля. На глобальному рівні спостерігається активне впровадження відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних, вітрових, біоенергетичних та гідроелектричних технологій, що сприяє зниженню неекологічних викидів парникових газів та зміцненню енергетичної безпеки

країн. Україна, незважаючи на певні економічні та політичні труднощі, досягла суттєвого прогресу в розвитку альтернативної енергетики завдяки впровадженню інноваційних технологій, зниженню вартості інвестиційних проектів та активній державній політиці стимулювання відновлюваних джерел енергії. Для подальшого розвитку галузі необхідно продовжувати вдосконалювати інфраструктуру, покращувати інвестиційний клімат та активізувати міжнародну співпрацю з метою забезпечення сталого розвитку енергетичних систем. Підсумовуючи еволюцію альтернативної енергетики як у світі, так і в Україні, можна констатувати значний прогрес у розвитку технологій та їхньому впровадженні в енергетичні системи. Світовий досвід демонструє поетапний перехід від обмеженого використання гідроенергії та біомаси до широкого застосування сонячної, вітрової енергії, а також новітніх розробок у сфері зберігання енергії та водневих технологій. Україна, хоч і з певним запізненням, також пройшла шлях від початкових кроків у гідроенергетиці до активного розвитку сонячної та вітрової генерації, стимульованого державною політикою та зниженням вартості технологій. Подальша інтеграція України в європейський енергетичний ринок та розвиток новітніх напрямків, таких як воднева енергетика, визначатимуть майбутнє альтернативної енергетики країни в контексті глобальних тенденцій декарбонізації та забезпечення енергетичної безпеки.

Інституційні основи дослідження розвитку альтернативної енергетики охоплюють широкий спектр питань, пов'язаних з державною роллю, регуляторними механізмами, стимулюючими заходами, фінансуванням, міжнародною співпрацею та впровадженням інновацій. Ефективне функціонування цих інституційних складових є визначальним фактором для успішного розвитку АЕ як в Україні, так і у світі, сприяючи енергетичній безпеці, економічному зростанню та екологічній стійкості.

Узагальнюючи результати порівняльного дослідження розвитку альтернативної енергетики в Сполучених Штатах, Естонії та Польщі протягом 2014-2024 років, стає очевидним, що кожна з країн обрала власний шлях,

адаптований до її специфічних умов. Сполучені Штати, володіючи потужним науково-технічним потенціалом та різноманітними природними ресурсами, розвивають широкий спектр альтернативних джерел, включаючи атомну енергію та відновлювані технології, демонструючи прагнення до диверсифікації енергетичного портфеля. Естонія, керуючись цілями енергетичної незалежності та вимогами Європейського Союзу, зробила акцент на стрімкому розвитку вітрової енергетики, використовуючи свої сприятливі географічні умови. Польща, зіткнувшись з необхідністю відходу від вугільної залежності, поступово нарощує потенціал вітрової та сонячної енергетики, проходячи складний процес енергетичної трансформації. Незважаючи на відмінності в обраних стратегіях та досягнутих результатах, усі три країни демонструють спільну тенденцію до збільшення частки альтернативних джерел у своїх енергетичних балансах. Цей порівняльний аналіз підкреслює важливість врахування національних особливостей при формуванні енергетичної політики та надає цінні уроки для країн, які прагнуть до сталого енергетичного майбутнього.

Ефективний розвиток альтернативної енергетики є комплексним завданням, що охоплює не лише технологічні інновації та фінансові інвестиції, але й створення належної інституційної основи. Порівняльний аналіз країн, які досягли значних успіхів у інституціоналізації альтернативної енергетики, надає цінні уроки та можливі моделі для адаптації до національних умов. У цьому контексті досвід Сполучених Штатів Америки як технологічного лідера з багаторівневою системою управління, Естонії як пострадянської держави, що успішно використовує цифрові технології для підвищення ефективності енергетичного сектору, та Польщі як країни з енергосистемою, що перебуває в процесі трансформації від вугільної залежності, є особливо релевантним для України. Сполучені Штати Америки демонструють ефективність децентралізованої моделі управління розвитком альтернативної енергетики, де поєднується федеральна підтримка з широкими повноваженнями штатів у формуванні регіональної політики. Ключову роль відіграє Міністерство

енергетики США, яке координує національні програми та підтримує науково-дослідні розробки. Водночас, значна автономія штатів у встановленні власних цілей щодо використання відновлюваних джерел енергії (RPS) та розробці місцевих механізмів підтримки створює умови для інституційної конкуренції та швидкого поширення інноваційних рішень. Розвинена система незалежних операторів ринку енергії сприяє інтеграції ВДЕ в енергетичну систему та забезпечує її стабільність. Естонія, попри обмеженість власних енергетичних ресурсів, досягла значного прогресу у створенні ефективної інституційної моделі підтримки альтернативної енергетики, інтегрованої з європейським законодавством. Енергетична стратегія Естонії до 2030 року визначає чіткий курс на зниження залежності від викопного палива та активне впровадження ВДЕ. Польща, традиційно залежна від вугілля, демонструє приклад поступової, але системної трансформації енергетичного сектору. Енергетична політика Польщі до 2040 року визначає декарбонізацію як пріоритет та передбачає значне збільшення частки ВДЕ. Значну підтримку процесу енергетичного переходу надає фінансування з боку Європейського Союзу. Зіставлення інституційних моделей США, Естонії та Польщі підкреслює важливість послідовної державної політики, наявності спеціалізованих органів управління, прозорості законодавчо-нормативної бази та ефективних механізмів підтримки для успішного розвитку альтернативної енергетики.

Проведений порівняльний аналіз ефективності ключових альтернативних енергетичних технологій у США, Естонії та Польщі виявив суттєві відмінності в їхніх характеристиках та умовах впровадження. Сполучені Штати, завдяки своїм масштабам та технологічному розвитку, демонструють широкий спектр застосування різних технологій, від сонячної та вітрової енергії до атомної та біоенергетики, з різними рівнями ефективності та вартості. Естонія, з її фокусом на відновлювані джерела енергії в рамках політики ЄС, зробила значний прогрес у розвитку вітрової енергетики, використовуючи свої сприятливі вітрові ресурси. Польща, перебуваючи на шляху енергетичної трансформації, активно розвиває вітрову та сонячну енергетику, поступово

зменшуючи залежність від традиційних джерел. Екологічні та соціальні аспекти, такі як викиди CO₂, використання землі та соціальне прийняття, також різняться залежно від технології та місцевих особливостей. Отримані дані підкреслюють відсутність універсального рішення у виборі альтернативних енергетичних технологій та необхідність індивідуального підходу для кожної країни, що враховує її природні ресурси, економічні можливості, екологічні пріоритети та соціальні потреби.

Альтернативна енергетика в Україні має значні перспективи для розвитку, особливо в контексті необхідності декарбонізації енергетичного сектору та забезпечення енергетичної незалежності. Україна має значний потенціал для розвитку відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна, вітрова та біоенергетика. Розвиток цих джерел енергії є стратегічно важливим для України, оскільки сприяє зменшенню залежності від традиційних енергетичних ресурсів та зниженню негативного впливу на довкілля. Для реалізації цього потенціалу необхідно активізувати державну підтримку, залучати інвестиції та впроваджувати сучасні технології. російсько-українська війна стала потужним каталізатором усвідомлення стратегічної важливості альтернативної енергетики для України. Руйнування традиційних енергетичних об'єктів та розрив логістичних ланцюгів постачання гостро підкреслили необхідність диверсифікації енергетичних джерел та розвитку власного потенціалу ВДЕ. Базовий та оптимістичний сценарії, розроблені Держенергоефективності, демонструють значний технічний потенціал України у сфері вітрової та сонячної енергетики, а також можливості виробництва «зеленого» водню. Успішна реалізація цих сценаріїв, попри воєнні виклики та економічні труднощі, вимагає рішучої державної політики, спрямованої на створення стимулів для інвесторів, впровадження прозорих регуляторних механізмів та забезпечення інтеграції нових потужностей ВДЕ в енергосистему. Розвиток альтернативної енергетики є не лише шляхом до відновлення енергетичного сектору після війни, але й стратегічною інвестицією у майбутню енергетичну незалежність, економічну стійкість та екологічну безпеку України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баланчук Т. А., Губська О. В., Грабовецька І. В. Ковальчук Ю. І. Аналіз методів управління ризиками на етапі будівництва об'єктів енергетики. *Енергетика та електрифікація*. 2021. № 2 (38). С. 10-15.
2. Бевз С. В. Доктринальні засади державного регулювання сфери альтернативної енергетики в Україні. *Наукові перспективи*. 2024. № 9 (51). С. 40-50.
3. Бевз С. В. Характеристика механізму державного регулювання сфери альтернативної енергетики. *Наукові перспективи*. 2024. № 12 (54). С. 34-48.
4. Бондаренко В. Диверсифікація енергетичного комплексу України: проблеми та перспективи. *Економіка та держава*. 2022. № 2, С. 5-8.
5. Бондаренко В. Інноваційні технології в енергетичному секторі України. *Економіка та держава*. 2023. № 4. С. 5-8.
6. Голубєва О. Є., Солодовнікова О. І. Оцінка ризиків для підприємств енергетичного комплексу України. *Економіка промисловості*. 2020. № 3. С. 34-45.
7. Бондаренко С., Коротченко О. Формалізація та законодавче закріплення механізмів забезпечення стійкості енергетичної безпеки України. *Journal of Scientific Papers «Social Development and Security»*. 2024. Vol. 14, № 2. С. 82-106.
8. Волошин О. Л. Напрямки вдосконалення механізмів державного регулювання розвитку альтернативної енергетики в Україні. URL: <https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/PublicAdministration/vol3/013.pdf> (дата звернення: 21.03.2025)
9. Девіс К. Енергетична безпека: стабільність, стійкість та резилієнтність енергетичної системи. *Енергетичні технології та ресурсозбереження*. 2021. № 2, С.12-15.

10. Енергетична стратегія. Офіційний сайт Міністерства енергетики України. URL: <https://mev.gov.ua/reforma/enerhetychna-stratehiya> (дата звернення: 21.03.2025)
11. Задихайло О. А. Основні напрями вдосконалення державного управління у сфері альтернативної енергетики в Україні. *Збірник наукових праць Харківського національного педагогічного університету імені Г. С. Сковороди «ПРАВО»*. Випуск 34. 2021. С. 89-95.
12. Інновації та підприємництво в енергетичному секторі / [Р. Гіллінгем та ін.]. Робоча серія Національного бюро економічних досліджень. 2020. № 27145.
13. Камбур О., Тюлькіна К., Панова Т. Використання інструментів бізнес аналітики для оцінки перспектив розвитку альтернативних джерел енергії в Україні. *Економіка та суспільство*. 2022. № 35. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-35-15> (дата звернення: 21.03.2025)
14. Квасній Л. Г., Малик Л. О., Щербан О. Я., Солтисік О. Я. Забезпечення енергоефективності економіки: можливості імплементації зарубіжного досвіду. *Cademy review*. 2024. № 1 (60). С. 20-35.
15. Ковальчук О. Стратегічні напрями розвитку енергетики України. *Економіка та держава*. 2021. № 1. С. 5-8.
16. Ковальчук О. Новітні технології в енергетичному секторі України. *Економіка та держава*. 2022. № 1, С. 5-8.
17. Компас М. Енергетична безпека в контексті відносин України з Європейським Союзом. Київ: Фонд Фрідріха Еберта в Україні, 2020. 100 с.
18. Кононова М. В., Карпенко І. В., Куриленко О. В. Оцінка та управління ризиками в енергетичному секторі України. *Економіка промисловості*. 2019. № 2 (86). С. 28-39.
19. Король О. Організаційно-економічні засади управління ризиками в енергетичному секторі України. *Економіка: проблеми теорії та практики*. 2019. Т. 1, № 15. С. 53-61.

20. Кузнецов В. Энергетична безпека Європейського Союзу та її значення для України. Брюссель: Європейський парламент. 2022. 50 с.
21. Липова В. В. Гетерогенізація СЕС і концепція структурно-функціональної інституціональної комплементарності. Економічний вісник Національного технічного університету України Київський політехнічний інститут. 2014. № 11. С. 79-84.
22. Лісовий А. В. Энергетична безпека України: другий рік війни. *Scientific journal «Modeling the development of the economic systems»*. 2024. № 1. С. 124-129.
23. Офіційний сайт Міністерства енергетики України. URL: <https://mev.gov.ua/novyna/mizhnarodna-dopomoha-ukrzaliznytsya-otrymala-23-elektrostantsiyi-rezervnoho-zhyvlennya-vid> (дата звернення: 27.04.2025)
24. Оперативний моніторинг ринку електричної енергії. Офіційний сайт Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. URL: <https://www.nerc.gov.ua/monitoring-rinku-elektrichnoyi-energiyi/operativnij-monitoring-rinku-elektrichnoyi-energiyi> (дата звернення: 21.03.2025)
25. Орехова А. І., Хоролець Б. О., Клименко М. В. Альтернативна енергетика в контексті інноваційної відбудови енергетичного комплексу України: управлінський аспект. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2024. Том 9. № 2. С. 214 – 218.
26. Павлига А. Правове регулювання використання альтернативних джерел енергії в Україні. Дис. д.ф. 081-Право. Одеса. 2023. 231с.
27. Писанко С. В., Романюк Р. В., Павлов К. В., Павлова О. М. Стратегія та ризику при реформуванні ринку електроенергетики в регіонах України. *Економічний часопис Волинського національного університету імені Лесі Українки*. 2021. №1(25). С.16-27.
28. Походенко Б. О. Огляд та порівняльний аналіз концепцій енергетичної безпеки європейського союзу й України. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна*. 2023. Випуск 17. С. 56-79.

29. Приходько І., Ігнатишин В., Приходько Ю. Особливості розвитку відновлюваної енергетики в Україні та світі. *Економіка та суспільство*. 2024. № 62. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-62-47> (дата звернення: 21.03.2025)

30. Про альтернативні джерела енергії: Закон України. Документ 555-IV, чинний, поточна редакція – Редакція від 01.01.2024, підстава – 3460-IX. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2003, № 24, ст.155. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text> (дата звернення: 21.03.2025)

31. Про ринок електричної енергії: Закон України. Документ 2019-VIII, чинний, поточна редакція – Редакція від 26.01.2024, підстава – 3220-IX. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 27-28, ст.312. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text> (дата звернення: 21.03.2025)

32. Про затвердження Порядку проведення аукціонів з продажу електричної енергії, виробленої з альтернативних джерел енергії: Постанова Кабінету Міністрів України від 5 червня 2019 р. № 499. Документ 499-2019-п, чинний, поточна редакція – Редакція від 30.11.2022, підстава – 1319-2022-п. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/499-2019-%D0%BF#Text> (дата звернення: 21.03.2025)

33. Публічний звіт Голови Держенергоефективності за 2022 рік. Офіційний сайт Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження. URL: https://saee.gov.ua/sites/default/files/SAEE_report_2022.pdf; <https://saee.gov.ua/uk/consumers/tepli-kredyty> (дата звернення: 21.03.2025)

34. Сапега В. О., Бережний М. М. Ризик-менеджмент як інструмент управління підприємством енергетичної галузі. *Економіка розвитку*. 2019. № 2 (86), С. 17-21.

35. Сахно А. М. Ризик-менеджмент як основа забезпечення сталого розвитку підприємств енергетичної галузі. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету*. 2017. № 23(1). С. 45-49.

36. Сендер М. С. Концепція енергетичної безпеки: забезпечення джерел, диверсифікація, енергоефективність. *Економіка та держава*. 2020. № 4, С. 6-9.
37. Синиця І. С., Ільченко О. О. Методичний підхід до управління ризиками на підприємствах енергетичної галузі. *Науковий журнал «Інтернет-технології в науці та освіті»*. 2018. № 1(10), С. 36-41.
38. Стельмашенко Ю. О., Філіппова В. Д. Державна політика розвитку водневої енергетики як альтернативного джерела енергії. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2023. № 1(84). С.244-250.
39. Шевчук І. Диверсифікація енергетичної системи України: стратегічні виклики та можливості. *Економіка та держава*. 2020. № 4, С. 5-8.
40. Шевчук І. Використання новітніх технологій в енергетичному секторі України. *Економіка та держава*. 2021. № 2. С. 5-8.
41. Яковюк І. В. Енергетична безпека Європейського Союзу та її значення для України. Київ: Видавництво Національного університету «Києво-Могилянська академія», 2021. 200 с.
42. Alibakhsh, K., Armin, S., Bardia, J. (2022). Combinations of Ran-kine with ejector refrigeration cycles: Recent progresses and outlook. *Applied Thermal Engineering*, 211, 118382. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.1183> (дата звернення: 24.05.2025)
43. Blog of the EU High Representative. «Energy Security of Europe and cooperation between the EU and the US». Brussels: European Union, 2022. URL: https://eeas.europa.eu/delegations/ukraine/232/enerhetychna-bezpeka-evropy-ta-spivprat-sia-es-i-ssha_uk (дата звернення: 21.03.2025)
44. Xingping, S., Jintao, S., Qing, H., Yixue, L., Nailun, F., Shuangshuang, C. (2023). A novel liquefied air energy storage system with solar energy and coupled Rankine cycle and sea-water desalination. *Journal of Energy Storage*, 61, 106759. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.106759> (дата звернення: 24.05.2025)
45. Xuanang, Z., Xuan, W., Jinwen, C., Rui, W., Xingyan, B., Jingyu, W., Hua, T., Gequn, S. (2023). Selection maps of dual-pressure organic Rankine cycle configurations for engine waste heat recovery applications. *Applied Thermal*

Engineering, 228, 120478. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120478> (дата звернення: 24.05.2025)

46. Van, N. N., Nguyen, D. K. P., Xuan, Q. D., Viet D. T., Minh, T. P., Sakthivel, R., Xuan, T. C., Thanh, H. T. (2023). Combination of solar with organic Rankine cycle as a potential solution for clean energy production. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 57, 103161. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103161> (дата звернення: 24.05.2025)

47. Christoph, L., Andreas, G., Frank, E., Matthias, N. (2022). Experimental results of a low-pressure steam Rankine cycle with a novel water lubricated radial inflow turbine for the waste heat utilization of internal combustion engines. *Energy Conversion and Management*, 271, 116265. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116265> (дата звернення: 24.05.2025)

48. Habibollahzade, A., Petersen, K. J., Aliahmadi, M., Fakhari, I., Brinkerhoff, J. R. (2022). Comparative thermoeconomic analysis of geothermal energy recovery via super/transcritical CO₂ and subcritical organic Rankine cycles. *Energy Conversion and Management*, 251, 115008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.115008> (дата звернення: 24.05.2025)

49. Montaser, M., Sumsun, N., Mohamad, R., Mohammad, A. A., Hadi, J., Abdul-Ghani, O. (2023). Investigation of a ground-cooled organic Rankine cycle for waste heat recovery. *International Journal of Thermofluids*, 18, 100348. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100348> (дата звернення: 24.05.2025)

50. Hai-Xiao, W., Biao, L., Yu-Ting, W. (2023). Simulations on organic Rankine cycle with quasi two-stage expander under cross-seasonal ambient conditions. *Applied Thermal Engineering*, 222, 119939. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119939> (дата звернення: 24.05.2025)

51. Özkan, K., Yıldız, K., Hüseyin, Y. (2022). Is Kalina cycle or organic Rankine cycle for industrial waste heat recovery applications? A detailed performance, economic and environment based comprehensive analysis. *Process Safety and Environmental Protection*, 163, 421–437. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.05.041> (дата звернення: 24.05.2025)

52. Tailu, L., Xuelong, L., Haiyang, G., Xiang, G., Nan, M. (2023). Experimental investigation on organic Rankine flash cycle with high- and low-stage scroll-expanders for thermal power generation. *Applied Thermal Engineering*, 224, 120082. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120082> (дата звернення: 24.05.2025)

53. Xiaoli, M., Xudong, Z., Yufeng, Z., Kaixin, L., Hui, Y., Jing, L., Yousef, G. A., Haowen, L., Zhonghe, H., Zhijian, L. (2022). Combined Rankine Cycle and dew point cooler for energy efficient power generation of the power plants – A review and perspective study. *Energy*, 238, Part A, 121688. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121688> (дата звернення: 24.05.2025)

54. Guillermo, V. O., Andres, P. C., Dora, V. C. (2023). Assessing sustainable operational conditions of a bottoming organic Rankine cycle using zeotropic mixtures: An energy-energy approach. *Heliyon*, 9(1), e12521. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12521> (дата звернення: 24.05.2025)

55. Coriolano, S., Ambra, G., Hiyam, F. (2023). On the possibility of using an industrial steam turbine as an air expander in a Compressed Air Energy Storage plant. *Journal of Energy Storage*, Volume 55, Part A, 105453. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105453> (дата звернення: 24.05.2025)

56. Ohji, A., Haraguchi, M. (2022). Steam turbine cycles and cycle design optimization: the Rankine cycle, thermal power cycles, and integrated gasification-combined cycle power plants. *Advances in Steam Turbines for Modern Power Plants (Second Edition) Woodhead Publishing Series in Energy*, 11–40. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824359-6.00020-2> (дата звернення: 24.05.2025)

57. Roberto, C., Lorena, G. (2021). Regenerative gas turbines and steam injection for repowering combined cycle power plants: Design and part-load performance. *Energy Conversion and Management*, 227, 113519. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113519> (дата звернення: 24.05.2025)

58. Strojny, J.; Krakowiak-Bal, A.; Knaga, J.; Kasorzyk, P. Energy Security: A Conceptual Overview. *Energies* 2023, 16, 5042. DOI:

<https://doi.org/10.3390/en16135042> 10.1007/978-3-030-33557-6_1 (дата звернення: 24.05.2025)

59. Javier Noel Valdés Lucas, Gonzalo Escribano Francés, Enrique San Martín González. Energy security and renewable energy deployment in the EU: Liaisons Dangereuses or Virtuous Circle? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 62, September 2016, Pages 1032-1046. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.069> (дата звернення: 24.05.2025)

60. Gajendra Teli, Deepak Sharma. A Comprehensive Review of Global Energy Challenges and Indian Perspectives. Arya College of Engineering and Information Technology, Jaipur. Conference: 6th International Conference on Advance Trends in Engineering & Technology (ICATET – 2023). March 2024. URL: https://www.researchgate.net/publication/379073980_A_Comprehensive_Review_of_Global_Energy_Challenges_and_Indian_Perspectives (дата звернення: 24.05.2025)

61. Johnson R., Smith A., Brown T. Energy Security and Economic Development: The Role of Stable and Reliable Energy Supply. *Energy Policy*. 2020. № 147, 111829. DOI: <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/42aBRqW7/> (дата звернення: 24.05.2025)

62. Smith D., Johnson M., Anderson L. Energy Security and Geopolitics: The Interplay of Energy Resources and Political Conflicts. *Energy Research & Social Science*. 2021. № 75, 102106. DOI: <https://www.intechopen.com/chapters/71552> (дата звернення: 24.05.2025)

63. Hasanul Banna, Ashraful Alam, Xihui Haviour Chen, Ahmed W. Alam. Energy security and economic stability: The role of inflation and war. *Energy Economics* 126 (2023) 106949. 14 p. DOI: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988323004474?via%3Dihub> (дата звернення: 24.05.2025)

64. Georg K. CONVERSION OF LIQUID TO STEAM. HOW AND WHY? *Journal of Chemistry and Technologies*. 2023. Vol. 31. № 3. pp. 678-684. DOI: <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v31i3.285771> (дата звернення: 24.05.2025)

65. Sadeghi M. Challenges and solutions for energy security in developing countries. Energy Reports. 2021. № 7, pp. 823-834. DOI: 10.1016/j.egyр.2021.01.054 (дата звернення: 24.05.2025)

66. Ukraineinvest. Інвестиційні можливості сектору енергетики. URL: <https://ukraineinvest.gov.ua/wp-content/uploads/2024/08/energetychnyj-sektor-ukrayiny-1.pdf> DOI: <https://ukraineinvest.gov.ua/wp-content/uploads/2024/08/energetychnyj-sektor-ukrayiny-1.pdf> (дата звернення: 24.05.2025)

67. Chang-Hao Chen, Jing Luo, Jian Cao, Jing Liang, Xu-cheng Li, Ting-kuan Cao, Ya-hui Xu, Lin-Feng Cai, Peng Yu, Tan-Yin Zhu. A novel method for calculating the dynamic reserves of tight gas wells considering stress sensitivity. Earth Energy Science. Volume 1, Issue 1, March 2025, Pages 1-8. DOI: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2950154724000023?via%3Dihub> (дата звернення: 24.05.2025)

68. Li X.; Gu K.; Xu W.; Song J.; Pan H.; Dong Y.; Yang X.; You H.; Wang L.; Fu, Z.; et al. Effects of Pore Water Content on Stress Sensitivity of Tight Sandstone Oil Reservoirs: A Study of the Mahu Block (Xinjiang Province, China). 2023. № 11. DOI: <https://www.mdpi.com/2227-9717/11/11/3153> (дата звернення: 24.05.2025)

69. Yu Yu, Liangbiao Lin lin, Yan Guo. Diagenesis and reservoir characteristics analysis of the Late Triassic Xujiahe Formation tight gas sandstone in the northern Sichuan Basin, China. View all authors and affiliations. 2017. Volume 36, Issue 4. URL: <https://doi.org/10.1177/0144598717745778> (дата звернення: 24.05.2025)

70. Qing Zhang, Zhaohui Bin, Yongji Xu, Shaohe Luo, Li Zhao and Jiazhong Qian. Geological Formation Mechanism and Thermal Resources Assessment of Geothermal Spring in Lushan County, China. Submission received. 14 January 2020. 28 p. DOI: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/2/592> (дата звернення: 24.05.2025)

71. Tan X.H., Peng G.Z., Li X.P., 2021. Material balance method and classification of nonuniform water invasion mode for gas reservoirs with water considering the effect of water sealed gas[J]. Nat. Gas. Ind. 41 (3), 97-103. DOI: <https://surl.li/pqdhei> (дата звернення: 24.05.2025)

72. Xie S., Lan Y.F., Jiao Y., 2017. Research on dynamic reserve calculation method of gas wells in tight gas reservoirs in Changqing Oilfield [J]. Pet. Geol. Eng. 31 (03), 73-75. DOI: <https://surl.cc/bfedpp> (дата звернення: 24.05.2025)

73. Jie He, Xiangdong Guo, Hongjun Cui, Kaiyu Lei, Yanyun Lei, Lin Zhou, Qinghai Liu, Yushuang Zhu, Linyu Liu. Tight Gas Reservoir Dynamic Reserve Calculation with Modified Flowing Material Balance Method. Research Article. 2021. URL: <https://www.researchsquare.com/article/rs-616580/v1> (дата звернення: 24.05.2025)

74. Peng X.; Hu Y.; Zhang F.; Zhang R.; Zhao H. A Review on the Water Invasion Mechanism and Enhanced Gas Recovery Methods in Carbonate Bottom-Water Gas Reservoirs. Processes 2024, 12, 2748. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr12122748> (дата звернення: 24.05.2025)

Схема «екосистеми» українського енергетичного сектору



Джерело: [7, с. 87]