

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ
ВАДИМА ГЕТЬМАНА

Факультет міжнародної економіки і менеджменту
Кафедра міжнародної економіки

ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНА ПРОГРАМА	«МІЖНАРОДНА ЕКОНОМІКА»
ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ	05 Соціальні та поведінкові науки
СПЕЦІАЛЬНІСТЬ	051 «Економіка»

Форма навчання: денна
очна (денна), заочна, дистанційна

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА
на тему **«Форсайт розвитку глобального енергетичного ринку»**
(назва теми)
здобувача Чайковського Олексія Володимировича
(ПІБ, підпис)

Науковий керівник: кандидат економічних наук, доцент Черницька Тетяна Володимирівна
(науковий ступінь, учене звання, ПІБ)

(підпис)

Робота допущена до захисту перед екзаменаційною комісією
з атестації здобувачів вищої освіти (ЕК)

Завідувач кафедри: д.е.н., професор Столярчук Я.М.

(підпис)

Київ 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВАДИМА ГЕТЬМАНА

Факультет міжнародної економіки і менеджменту

Кафедра міжнародної економіки

ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНА ПРОГРАМА	«МІЖНАРОДНА ЕКОНОМІКА»
ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ	05 Соціальні та поведінкові науки
СПЕЦІАЛЬНІСТЬ	051 «Економіка»

ПОГОДЖЕНО

Керівник проектної групи (гарант)
освітньо-професійної програми
«Міжнародна економіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри міжнародної економіки

(підпис) Людмила ЦИМБАЛ
(ініціали, прізвище)
« _____ » _____ 2023 р.

(підпис) Ярослава СТОЛЯРЧУК
(ініціали, прізвище)
« _____ » _____ 2023 р.

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

здобувачу вищої освіти Чайковському Олексію Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

очної (денної) форми навчання

на підготовку кваліфікаційної магістерської роботи

на тему: «Форсайт розвитку глобального енергетичного ринку»

Тему затверджено наказом ректора Університету від «20» червня 2023р. № 851-ст

Кваліфікаційна магістерська робота виконується на матеріалах: ресурси автономної міжурядової організації – Міжнародного енергетичного агентства (IEA), публікації на інформаційних порталах, включаючи CNN, CNBC, HBR, Bloomberg, Barons, Seekingalpha, Tipranks, TheFly, Koynfin, публікації консалтингових компаній (McKinsey, PwC, EY), звіти фахових видань Argus Media, The Energy Industry, матеріали корпорацій Iberdrola, Enel, Endesa, Next Era Energy, Exxon Mobil, Oersted та інших енергетичних компаній, статистичні дані Statista.

План кваліфікаційної магістерська роботи

Розділ 1	Теоретичні засади функціонування глобального енергетичного ринку (назва розділу)
Розділ 2	Структура глобального енергетичного ринку (назва розділу)
Розділ 3	Перспективи розвитку глобального енергетичного ринку (назва розділу)
Об'єкт дослідження:	глобальний енергетичний ринок і тенденції його розвитку
Предмет дослідження:	форсайт розвитку глобального енергетичного ринку
Мета кваліфікаційної магістерської роботи:	Дослідити енергетичний ринок, визначити його вплив на навколишнє середовище. Виділити напрями, що мають найбільший потенціал для подальшого розвитку та спроєктувати їх динаміку. Визначити перспективи розвитку сектору і окремих напрямів, виявити потенційні проблеми даного розвитку та надати можливі рішення для цих проблем.

Конкретні завдання, які здобувач має виконати для досягнення поставленої мети:

У розділі 1

- дослідити розвиток глобального енергетичного ринку
- виявити ключові тенденції розвитку глобального енергетичного ринку
- проаналізувати історію розвитку найбільш привабливих сегментів енергетичного ринку;

У розділі 2

- Оцінити динаміки та структуру глобального ринку енергоресурсів
- дослідити зелена енергетика в сучасній структурі глобального енергетичного ринку найбільш перспективний напрям розвитку ринку
- здійснити оцінку ефективності технологій, альтернативних зелених енергетиці

У розділі 3

- провести поглиблений аналіз і надати оцінку ефективності технологій, альтернативних зелених енергетиці
- Розробити інструменти вдосконалення енергетичної стратегії країни

Завдання підготував
науковий керівник

(підпис)
«__» _____ 2023 р.)

Завдання одержав здобувач

(підпис)
«__» _____ 2023 р.

проф. Черницька Т.В.

Чайковський О.В.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна магістерська дипломна робота містить 70 сторінок, 3 таблиці, 20 рисунків та список використаних джерел з 51 найменування.

«Форсайт розвитку глобального енергетичного ринку»

Об'єктом роботи є глобальний енергетичний ринок і тенденції його розвитку.

Предметом дослідження є форсайт розвитку глобального енергетичного ринку.

Мета й завдання дослідження. Дослідити енергетичний ринок, визначити його вплив на навколишнє середовище. Виділити напрями, що мають найбільший потенціал для подальшого розвитку та спроєктувати їх динаміку. Визначити перспективи розвитку сектору і окремих напрямів, виявити потенційні проблеми даного розвитку та надати можливі рішення для цих проблем.

Відповідно до поставленої мети дослідження, необхідно було вирішити такі завдання як:

- охарактеризувати розвиток енергетичної індустрії, його історію формування
- проаналізувати напрями та потенціал розвитку енергетичного ринку
- оцінити ефективність існуючих стратегій розвитку енергетичного ринку
- дослідити найбільш перспективні можливості для ефективного та екологічного розвитку ринку
- провести порівняння ключових тенденцій та оцінити їх підтримку серед організацій, держави та соціуму
- визначити механізми реалізації найбільш перспективних тенденцій глобального енергетичного ринку
- обґрунтувати пріоритети розвитку найбільш перспективних тенденцій

Практичне значення отриманих результатів. На базі аналізу глобального енергетичного ринку надана оцінка найбільш пріоритетних середньострокових (енергія сонця, вітру, CCS та CDR), та довгострокових (зелений водень) стратегій розвитку ринку. Оцінено перспективи, обрано найбільш пріоритетні для збереження планети і розвитку економіки, і запропоновано більш ефективні деталі стратегій розвитку.

Рік виконання кваліфікаційної магістерської роботи 2023.

Рік захисту роботи 2023.

Ключові слова: традиційна енергетика, зелена енергетика, вуглець, сонячна енергетика, вітряна енергетика, зелений водень

В і д г у к

на кваліфікаційну магістерську роботу
здобувача факультету Міжнародної економіки і менеджменту
освітньо-професійної програми «Міжнародна економіка»
Чайковського О.В.

на тему: *«Форсайт розвитку глобального енергетичного ринку»*

- 1. Актуальність теми:** Глобальна кліматична криза та зростаючі потреби в енергії вимагають від учасників енергетичного ринку розробки нових стратегій розвитку. Форсайт розвитку енергетичного ринку може допомогти учасникам ринку у розробці стратегій розвитку. Він надає інформацію про майбутні тенденції, технології та потреби, а також про можливі ризики та можливості.
- 2. Позитивні риси кваліфікаційної магістерської роботи:** Здобувачем визначено ключові компоненти розвитку енергетичного ринку; охарактеризовано найбільш перспективні напрями; сформовано та оцінено варіанти підвищення рівня ефективності впровадження процесів декарбонізації.
- 3. Наявність самостійних розробок автора:** Для оцінки перспективності розвитку технології зеленого водню, було розроблено статистичну модель для прогнозування ціни зеленого водню та проведено розрахунки по досягненню паритету цін з іншими видами енергії. На основі чого здобувачем надано економічне обґрунтування доцільності розвитку технології зеленого водню в різних секторах економіки.
- 4. Цінність теоретичних висновків та практичних рекомендацій:** Результати даного дослідження можуть бути використані при формуванні стратегії країни для розвитку зеленої енергетики і декарбонізації економіки. Також компанії можуть отримати інформацію про найбільш перспективні напрямки для досліджень.
- 5. Наявність недоліків:** У роботі доцільно було б більше уваги приділити економетричним методам дослідження глобальних трендів енергетичного сектору. Разом з тим, дане зауваження не впливає суттєво на рівень виконання кваліфікаційної роботи.
- 6. Загальна оцінка кваліфікаційної магістерської роботи та її допущення до захисту перед ЕК:** Робота є цілком самостійною, завершеною, логічно структурованою та може бути рекомендована до захисту перед ЕК із загальною оцінкою – 48 балів.

Науковий керівник: к.е.н., професор кафедри міжнародної економіки

(підпис)

Черницька Т.В.
(прізвище, ініціали)

«05» грудня 2023 р.

Рецензія
на кваліфікаційну магістерську роботу
здобувача вищої освіти

Чайковського Олексія Володимировича

на тему: «Форсайт розвитку глобального енергетичного ринку»

Актуальність теми кваліфікаційної роботи і доцільність її розроблення:

Внаслідок повномасштабного російського вторгнення в Україну занепокоєння щодо енергетичного ринку зросло через численні тенденції на цьому складному, багаторівневому та інтегрованому ринку. Високий рівень забруднення повітря традиційними джерелами енергії загрожує втратою їхнього домінування в найближчому майбутньому, відкриваючи шлях альтернативним джерелам «зеленої» енергії. Крім підтримки екосистеми планети, «зелена» енергетика також призведе до поліпшення здоров'я людей і створення структурно нового ринку, який є, насамперед, високоінноваційним.

Якість проведеного дослідження: Кваліфікаційна магістерська робота Чайковського Олексія Володимировича є комплексним, самостійним і логічно-структурованим дослідженням, висновки якого було обґрунтовано на основі використання здобувачем загальних наукових, статистичних та економіко-математичних методів.

Позитивні риси кваліфікаційної роботи: Комплексний підхід здобувача до дослідження проблем і тенденцій розвитку глобального енергетичного ринку передбачав не лише визначення ключових компонент, але й визначення перспективних напрямів та ретельну оцінку варіантів підвищення ефективності декарбонізації. Особливої уваги заслуговують висновки щодо участі України в розвитку світового ринку «зеленої» енергетики.

Зауваження: На наш погляд, певного доопрацювання потребує аналіз східно-азійських енергетичних ринків як одних з найбільш динамічних щодо розвитку усіх напрямів енергоіндустрії і нових видів енергоресурсів. В цілому, зазначене зауваження не впливає на рівень і якість магістерської роботи, а може стати предметом майбутніх досліджень здобувача.

Практична значимість висновків і рекомендацій: Результати дослідження, наведені автором у кваліфікаційній магістерській роботі, можуть бути використані для формування методологічних підходів щодо аналізу тенденцій та процесів на глобальному енергетичному ринку та енергетичних ринках США та Китаю.

Рецензент:

Завідувач кафедри міжнародного менеджменту

Київського національного економічного університету

імені Вадима Гетьмана, к.е.н., доцент



Микола Бурмака

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ І. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГЛОБАЛЬНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО РИНКУ	6
1.1 Передумови формування глобального ринку енергетичних ресурсів	6
1.2. Фактори розвитку глобального енергетичного ринку	11
1.3. Структура глобального енергетичного ринку	14
РОЗДІЛ 2. СТРУКТУРА ГЛОБАЛЬНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО РИНКУ	20
2.1. Оцінка динаміки та структури глобального ринку енергоресурсів	20
2.2 Зелена енергетика в сучасній структурі глобального енергетичного ринку	26
2.3. Оцінка ефективності технологій, альтернативних зеленій енергетиці	34
РОЗДІЛ 3. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГЛОБАЛЬНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО РИНКУ	41
3.1 Пріоритетні напрями розвитку зеленої енергетики в умовах глобальних викликів	41
3.2. Розробка інструментів вдосконалення енергетичної стратегії країни	61
ВИСНОВКИ	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	72
ДОДАТКИ	72

ВСТУП

Актуальність теми. Енергетичний ринок є складним, багаторівневим, комплексним з великою кількістю різнонаправлених тенденцій, які в певні часи по чергово домінують на світовому ринку. Сьогодні, особливо на фоні енергетичної кризи, спричиненої повномасштабним вторгненням росії на території України, у людей, інституцій та підприємства постає багато питань до подальшого розвитку цього ринку. Високий рівень забруднення атмосфери традиційної енергетикою ставить під сумнів потенціал її зростання. На зміну традиційним технологіям приходить зелена енергетика та її альтернативи. Розвиток ринку зеленої енергетики дозволить зберегти екологію нашої планети, покращити життя людства і створити структурно новий ринок.

Питання розвитку енергетичного ринку та потенціал переходу до альтернативних джерел енергії досліджувало багато вчених. Зокрема, відомі праці таких українських науковців, як Рогожин, О.Г.; Хлобистов, Є.В.; Трофимчук, В.О., Жаркін, А.Ф., Файчук, О.М., тощо. Крім того, значну увагу даним питанням наділяли і іноземні науковці: Зільберхорн Д., Хьользен Д., Тейлор Р., Хао Ю., Гао Д., Шейхолесламі М. та інші. Незважаючи на достатню кількість робіт, присвячених питанню як традиційної, так і зеленої енергетики, енергетичний ринок потребує постійного аудиту, оскільки розвиток ринку є досить динамічним. Крім того, вже наявні дослідження недостатньо розкривають глибокі теми використання зеленого водню та його потенціал подальшого розвитку, так само як і можливості використання технології видаленню вуглецю з атмосфери, або ж розміщення потужностей зеленої енергетики ЄС на території України задля досягнення їх цілей “Fit for 55”. Наведені фактори спонукали мене обрати цю тему для дослідження.

Мета дослідження – дослідити енергетичний ринок, визначити його вплив на навколишнє середовище. Виділити напрями, що мають найбільший потенціал для подальшого розвитку та спроєктувати їх динаміку. Визначити перспективи розвитку сектору і окремих напрямів, виявити потенційні проблеми даного розвитку та надати можливі рішення для цих проблем.

Згідно з темою та метою роботи нами були визначені конкретні завдання:

- охарактеризувати розвиток енергетичної індустрії, його історію формування
- проаналізувати напрями та потенціал розвитку енергетичного ринку
- оцінити ефективність існуючих стратегій розвитку енергетичного ринку
- дослідити найбільш перспективні можливості для ефективного та екологічного розвитку ринку
- провести порівняння ключових тенденцій та оцінити їх підтримку серед організацій, держави та соціуму
- визначити механізми реалізації найбільш перспективних тенденцій глобального енергетичного ринку
- обґрунтувати пріоритети розвитку найбільш перспективних тенденцій

Об'єктом дослідження глобальний енергетичний ринок і тенденції його розвитку.

Предметом дослідження є форсайт розвитку глобального енергетичного ринку.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань та досягнення мети роботи використовувалися загальнонаукові та специфічні методи. Ми використовували такі специфічні методи:

- об'єднання логічного та історичного - для огляду особливостей формування енергетичного ринку (п.п. 1.1, п.п. 1.2);
- аналіз і синтез – для дослідження процесів трансформації глобального енергетичного ринку (п.п. 1.3, п.п. 2.1), для визначення інструментів вдосконалення стратегії країни (п.п. 3.2);
- порівняльний – для визначення найбільш пріоритетних тенденцій в зеленій енергетиці (п.п. 2.2).
- індукція та дедукція – для аналізу альтернатив зеленій енергетиці та визначення актуальності їх використання при існуванні більш ефективних, на перший погляд, рішень (п.п. 2.3)
- статистичні – для якісної статистичної оцінки розвитку ринків вітряної та сонячної енергетики (п.п. 3.1);

- економічного моделювання – для прогнозування ціни на зелений водень і, відповідно, для визначення його ефективності в подальшому використанні (п.п. 3.1);

У всій роботі ми використовували також загальнонаукові методи, зокрема узагальнення, прогнозування, групування, використання графіків і таблиць.

Практичне значення отриманих результатів. На базі аналізу глобального енергетичного ринку надана оцінка найбільш пріоритетних середньострокових (енергія сонця, вітру, CCS та CDR), та довгострокових (зелений водень) стратегій розвитку ринку. Оцінено перспективи, обрано найбільш пріоритетні для збереження планети і розвитку економіки, і запропоновано більш ефективні деталі стратегій розвитку.

Інформаційна база: ресурси автономної міжурядової організації – Міжнародного енергетичного агентства (IEA), публікації на інформаційних порталах, включаючи CNN, CNBC, HBR, Bloomberg, Barons, Seekingalpha, Tipranks, TheFly, Koynfin, публікації консалтингових компаній (McKinsey, PwC, EY), звіти фахових видань Argus Media, The Energy Industry, матеріали корпорацій Iberdrola, Enel, Endesa, Next Era Energy, Exxon Mobil, Oersted та інших енергетичних компаній, статистичні дані Statista.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГЛОБАЛЬНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО РИНКУ

1.1 Передумови формування глобального ринку енергетичних ресурсів

Енергія є фундаментальною силою в нашій економіці та повсякденному житті. Вона освітлює наші домівки, забезпечує роботу систем опалення та охолодження, приводить у рух наші автомобілі, літаки та потяги. Вона уможливорює наше спілкування за допомогою смартфонів і комп'ютерів та керує процесами виробництва меблів, побутової техніки та одягу.

Енергія лежить в основі нашого сучасного рівня життя та економіки, проте вона також може мати непередбачувані наслідки. Занепокоєння щодо забруднення, виснаження природних ресурсів та залежності від іноземних поставок тісно пов'язали економічні, екологічні та зовнішньополітичні питання, створивши складні, але неймовірно важливі дискусії про енергетику.

Однак, незважаючи на те, що це фундаментальна і важлива тема, існує шокуючий брак широкого розуміння енергетики та її функціонування. Спрощені фрази на кшталт "заборонити гідророзрив пласта", які зазвичай відстоюють ліві, та "повернути вугілля", за яке виступають праві, зазвичай свідчать про глибокий брак знань про минуле, теперішнє та майбутнє енергетики. Розуміння історію енергоспоживання, його поточний стан і те, куди воно може рухатися, є важливою частиною для розуміння подальшого розвитку індустрії, а також важливопереосмислити реальні компроміси і питання, які варто обговорювати в нашій сучасній енергетичній економіці.

По-перше, давайте звернемося до історії глобального споживання енергії. Лише 200 років тому, у 1820 році, глобальне постачання енергії нагадувало цю схему:

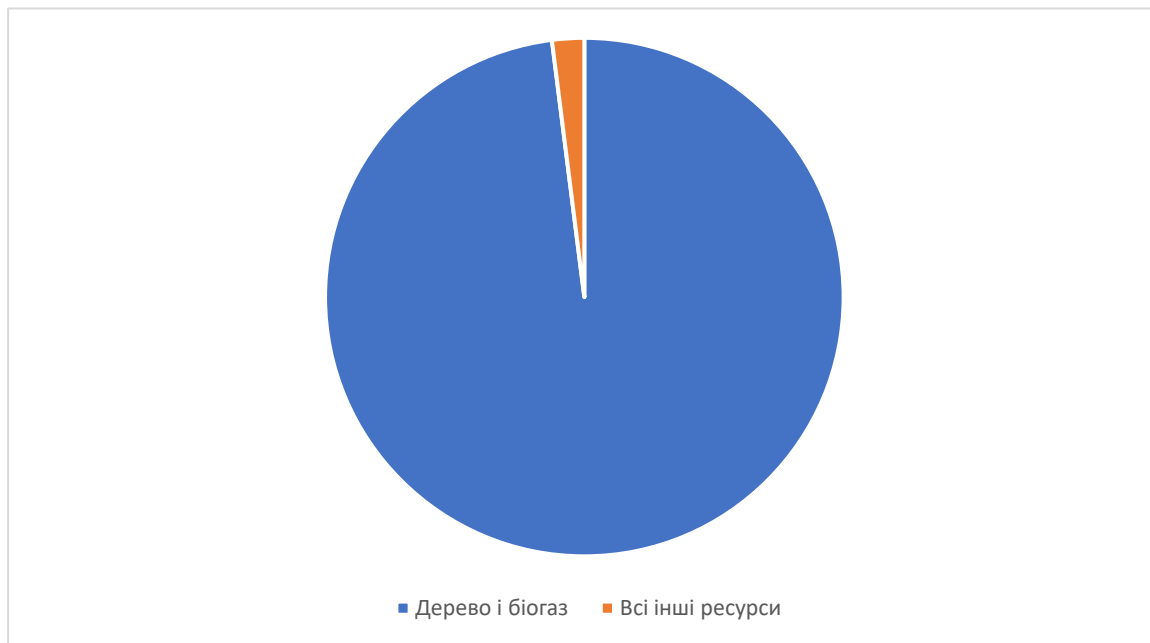


Рис. 1.1 – Глобальне постачання енергії, 1820р. [1]

По суті, деревина була нашим основним джерелом енергії. Наша економіка була заснована на споживанні деревини. Вона розпалювала наші печі, каміни, пароплави для транспорту та котли на наших виробничих підприємствах. Переваг було багато - дерев було багато і вони поновлювані, і було відносно просто створити пристрої, що спалюють деревину і виробляють тепло або пару. Однак такі методи були неефективними і шкідливими для навколишнього середовища. Деревина містить значну кількість неенергетичних матеріалів, які викидають значну кількість твердих частинок і вивільняють хімічні речовини в атмосферу з високою швидкістю порівняно з виробленою енергією. Однак протягом наступного століття ми відкрили, як ефективно видобувати і спалювати вугілля. Більш того, неефективність деревини як джерела енергії робить його дорогим джерелом енергії. Вугілля виявилось дешевшою і менш забруднюючою альтернативою деревині завдяки своїм чистішим енергетичним властивостям, хоча й не зовсім чистим. Воно почало витісняти деревину, спочатку на промислових підприємствах, а згодом і в житлових будинках. Постачання енергії у світі до 1920 року виглядало наступним чином:

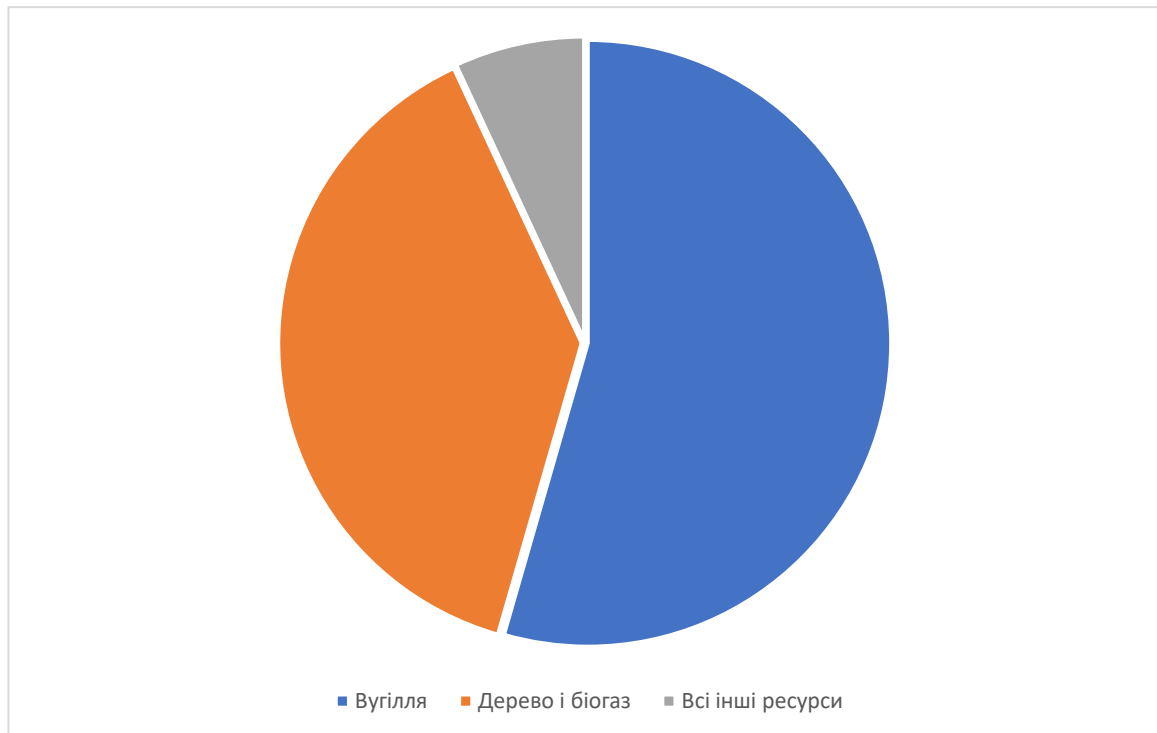


Рис. 1.2 – Глобальне постачання енергії, 1920р. [1]

Це було пов'язано з можливістю виробляти енергію у великих кількостях, забезпечуючи живленням більші та ефективніші заводи. Однак панування вугілля було недовгим. Епоха вугілля збіглася з величезним періодом індустріалізації в усьому світі. Винахід двигуна внутрішнього згоряння і легкового автомобіля вимагав набагато більш концентрованого і мобільного джерела енергії, яке вугілля не могло забезпечити. Після того, як нафта зарекомендувала себе як основне паливо для автомобільного транспорту, вона швидко диверсифікувала своє використання в інших секторах, таких як опалення будинків та виробництво електроенергії. 1970 року світове постачання енергії розподілялося вже наступним чином:

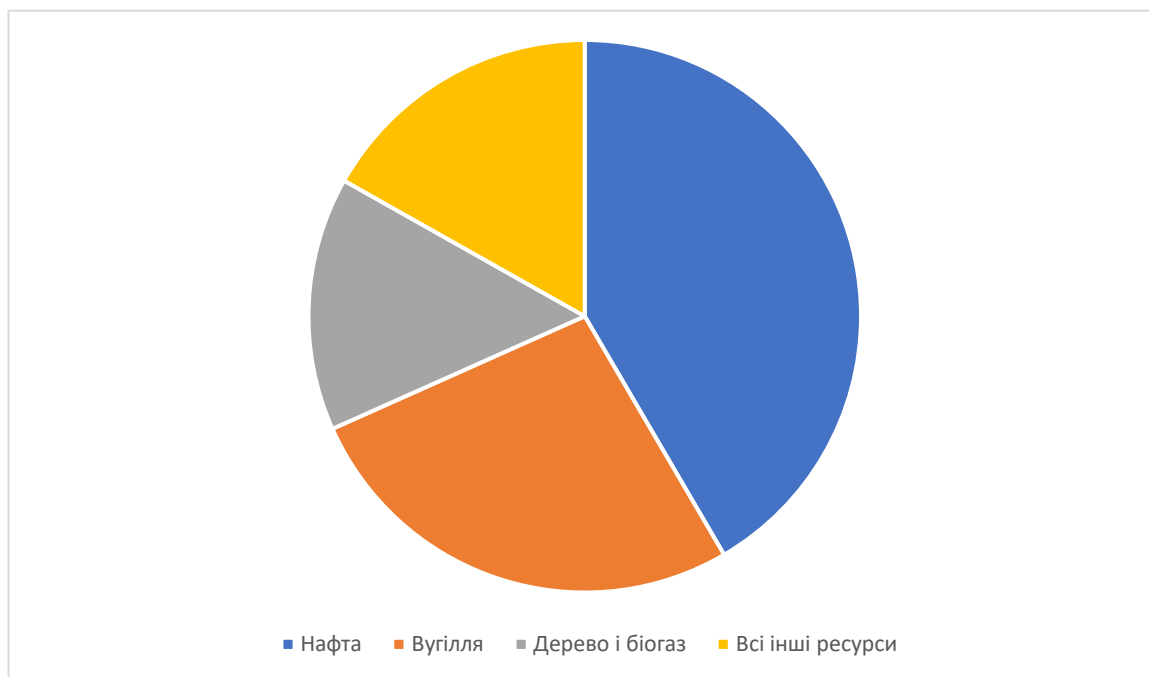


Рис. 1.3 – Глобальне постачання енергії, 1970р. [1]

За останні п'ять десятиліть відбулося багато змін. Гідравлічний розрив пласта різко скоротив витрати на видобуток природного газу, одночасно збільшивши видобуток нафти з нетрадиційних для ОПЕК родовищ. Незважаючи на це, підприємства альтернативної енергетики, такі як вітрова та сонячна, вийшли на межу рентабельності, хоча до цього часу вони працювали переважно лише за державної підтримки. Станом на 2019 рік, який є останнім роком, за який є повні дані по постачанню (оновлені данні по попиту за 2022 наведено нижче), глобальний попит на енергію суттєво збільшився завдяки зростанню економік, що розвиваються, та чисельності населення планети, а саме: світове постачання енергії було таким:

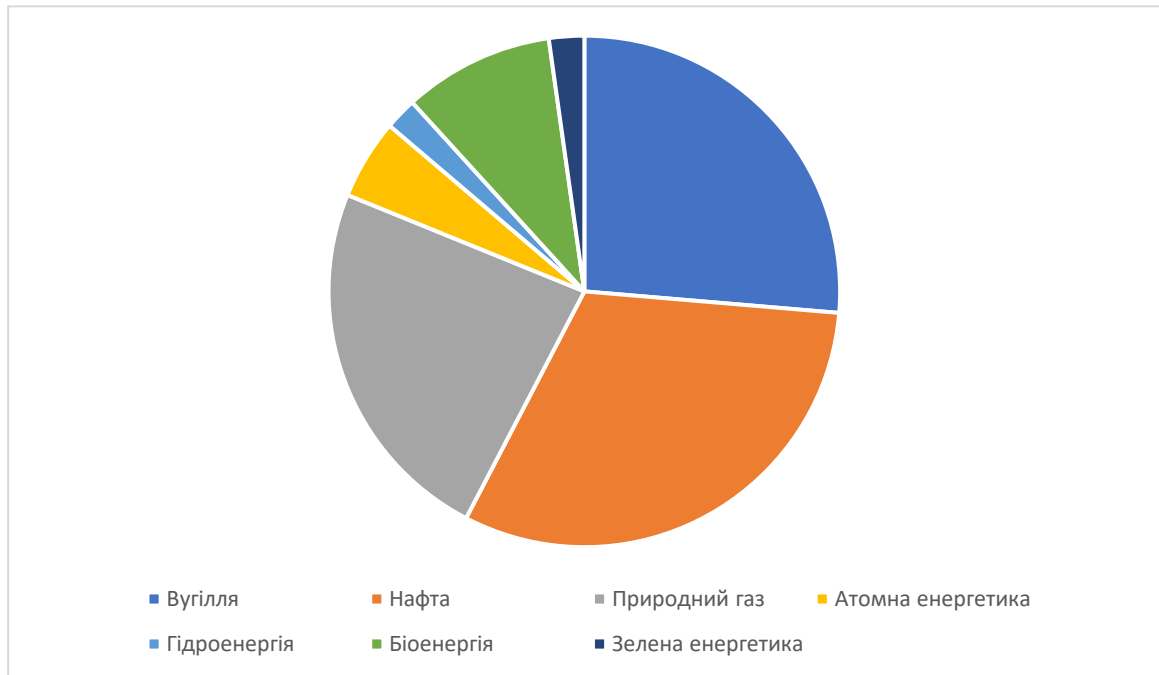


Рис. 1.4 – Глобальне постачання енергії, 2019р. [1]

При цьому ж в контексті споживання енергії структура виглядає наступним чином:

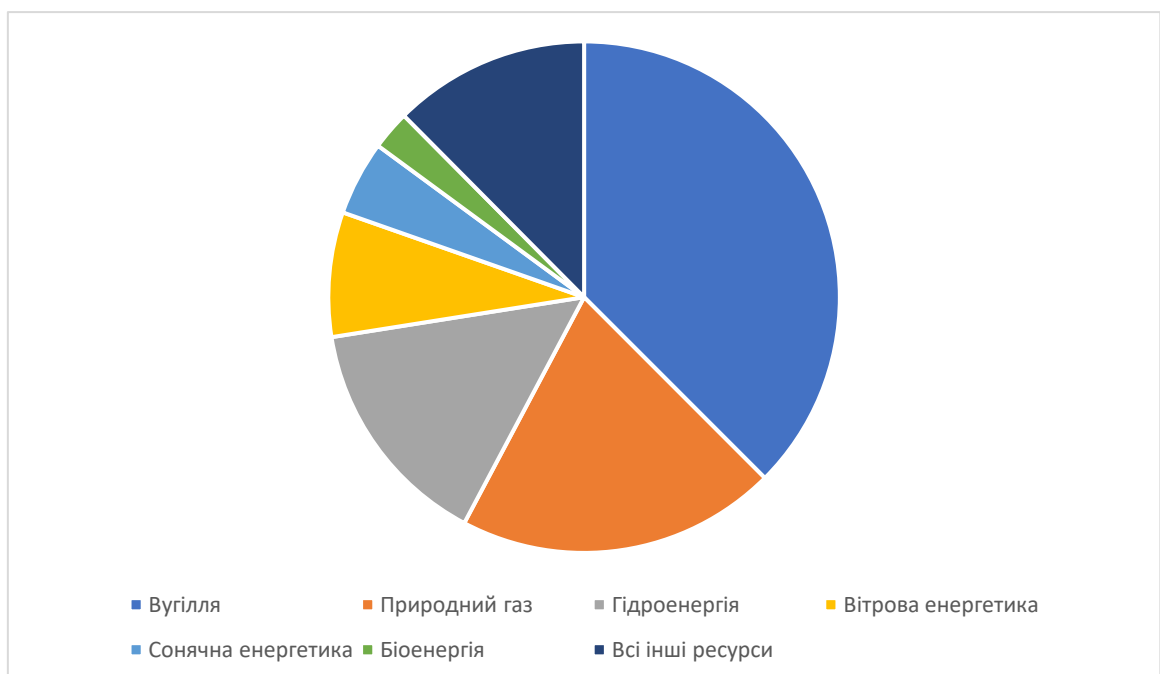


Рис. 1.4 – Глобальне постачання енергії, 2019р. [2]

Зауважимо, що вугілля та нафта залишається основним джерелом енергії як в постачанні так і в використанні, за ним йдуть природний газ, гідроенергетика та інші джерела. Варто зазначити, що ядерна енергетика ніколи не була значним джерелом енергії у світовій структурі виробництва. Останні тенденції у споживанні також заслуговують на увагу. Нижче наведені темпи зростання (або падіння) за останні десять років для кожного з основних джерел енергії у світі.

Таблиця 1.1 – Темпи і аналіз зростання енергоресурсів за останні 3 роки. [3]

Джерело	Темпи зростання за 3 роки	Аналіз
Вугілля	16%	Значний спад у розвинених країнах компенсується зростанням у країнах, що розвиваються
Природний газ	12%	Переважно гідророзриви в США
Гідроенергія	11%	Передусім у країнах, що розвиваються
Атомна енергетика	-5%	Нове будівництво менше, ніж застарілі заводи, що виводяться з експлуатації
Вітрова енергетика	815%	Швидке зростання з дуже малої бази
Сонячна енергетика	3825%	Швидке зростання з дуже малої бази
Біоенергія	141%	Впровадження сучасної електроенергетики в країнах, що розвиваються

Таким чином, ми бачимо, що основним фокусом в сучасному енергетичному ринку є розвиток альтернативних джерел енергії, особливо ж зеленої енергетики. Дані темпи тіки пришвидшуються в 2023 році і мають пришвидшуватись і надалі, на фоні поточної енергетичної кризи [4].

1.2 Фактори розвитку глобального енергетичного ринку

Глобальна енергетична криза, спричинена наслідками COVID-19 і погіршена вторгненням росії в Україну, має далекосяжні наслідки для домогосподарств, бізнесу та цілих економік, спонукаючи уряди до короткострокових заходів

реагування, а також до глибших дебатів про шляхи зменшення ризику майбутніх перебоїв та сприяння енергетичній безпеці. Це глобальна криза, але Європа є головною територією, на якій вона розгортається, і природний газ займає центральне місце - особливо під час прийдешньої зими в північній півкулі. Деякі з ключових поточних факторів розвитку енергетичного ринку можна включити в наступні групи:

- Високі ціни на енергоносії спричиняють величезний перерозподіл багатства від споживачів до виробників, повернувшись до рівня, який спостерігався у 2014 році для нафти, але є абсолютно безпрецедентним для природного газу. Високі ціни на паливо спричиняють 90% [5] зростання середніх витрат на виробництво електроенергії в усьому світі, а на природний газ - понад 50%. Витрати на відновлювані джерела енергії та вуглекислий газ відіграли лише незначну роль, підкреслюючи, що це криза, в якій енергетичний перехід є рішенням, а не проблемою.

- Близько 75 мільйонів людей, які нещодавно отримали доступ до електроенергії, ймовірно, втратять можливість платити за неї, а 100 мільйонів людей можуть повернутися до використання традиційної біомаси для приготування їжі [6, с. 19].

- Непередбачуваність розвитку енергетичної кризи і її впливу на викопне паливо також залишається значною проблемою і викликає ризики енергетичного колапсу в 2024 році [7]. Враховуючи потенційний початок рецесії в США та Європі в наступні квартали, залишається висока вірогідність падіння попиту на енергоресурси.

- Оскільки Європа, найбільший експортний ринок, стає недоступним, росія, ймовірно, зіткнеться з різким скороченням своєї ролі в міжнародних енергетичних питаннях. У 2021 році російські експортні потоки були на піку, але очікується, що до 2030 року вони значно скоротяться, а частка росії в міжнародній торгівлі газом впаде з 30% до 15% в STEPS і лише до 10% в APS [6, с. 25]. Крім того, китайські імпортери вже забезпечили себе значними обсягами скрапленого природного газу, що не залишає місця для

ще одного великого газопроводу з недокраїни-агресора в прогнозованому газовому балансі Китаю.

- Крім того, викиди CO₂, пов'язані з енергетикою, значно зросли до 36,6 Гт, що є найбільшим річним приростом викидів за всю історію. Ця траєкторія призведе до зростання середньої глобальної температури на 2,5 °C до 2100 року, що приблизно на 1 °C нижче, ніж базова траєкторія до підписання Паризької угоди, що свідчить про прогрес, досягнутий з того часу. Однак ще багато чого потрібно зробити. За сценарієм нульових викидів до 2050 року (NZE) викиди вуглекислого газу скорочуються до 23 Гт у 2030 році і до нуля у 2050 році, що відповідає утриманню підвищення температури нижче 1,5 °C до 2100 року [9].

- Спільною рисою кожного сценарію є збільшення частки електроенергії у світовому кінцевому енергоспоживанні. Ця частка, яка наразі становить 20%, зростає в кожному сценарії і перевищує 50% до середини століття за сценарієм NZE. Це пов'язано зі значним зростанням світового попиту на електроенергію, в основному за рахунок ринків, що формуються, та країн, що розвиваються. Політики повинні залишатися пильними до низки ризиків для енергетичної безпеки, зокрема, до зростаючої потреби у гнучких операціях енергосистем. Світова спільнота повинна вжити послідовних заходів у відповідь на ці виклики [9].

Таким чином, це десятиліття кліматичних дій, період перегонів за досягнення чистого нуля викидів - балансу між скороченням і вилученням вуглецевих викидів з атмосфери. Щоб досягти цього, необхідний перехід на чисті технології в усіх секторах безпрецедентними темпами, під керівництвом урядів і з готовністю суспільства. Це останнє десятиліття, коли цього можна дійсно досягнути. Якщо нічого не зміниться, до 2025 року 1,8 млрд людей відчуватимуть абсолютний дефіцит води, 100 млн - бідність, а 800 млн опиняться під загрозою підвищення рівня моря. Кліматична міграція з країн, що розвиваються, може сягнути 143 млн осіб, спричинена екстремальними погодними умовами [10]. У той же час, \$5 трлн щорічних інвестицій, \$2 трлн

R&D, 42 млн робочих місць у зеленій економіці та чистіша планета можуть створити безпрецедентні глобальні можливості.

1.3 Структура глобального енергетичного ринку

Для розуміння майбутньої динаміки і її складових, важливо також проаналізувати наш сучасний енергетичний мікс і дослідимо джерела, на які ми покладаємося. Рис. 1.5 ілюструє розподіл первинного енергетичного балансу за видами палива або джерелами генерації. Нафта є основним джерелом енергії в усьому світі, за нею йдуть вугілля, газ та гідроенергія. Однак інші відновлювані джерела швидко набирають обертів.

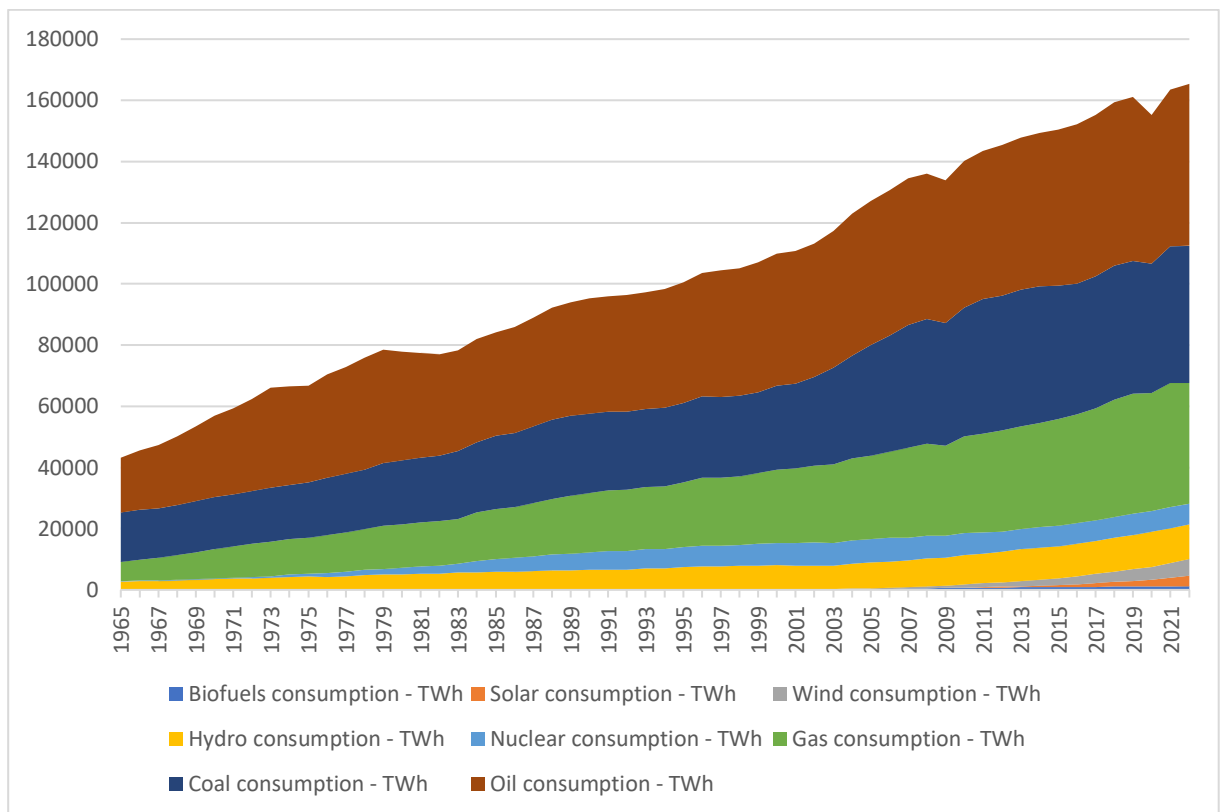


Рис. 1.5 – Глобальне постачання енергії, 2019р. [3]

На наведених нижче рис. 1.6 та рис. 1.7, ми можемо побачити розподіл енергетичного балансу за країнами. Спочатку з розбивкою на викопне паливо, ядерну енергетику та відновлювані джерела енергії на більш високому рівні. Потім з конкретною розбивкою за джерелами, включаючи вугілля, газ, нафту, ядерну,

гідро-, сонячну, вітрову та інші відновлювані джерела енергії (які включають біоенергію, енергію хвиль і припливів). Первинна енергія на рисунках розраховується на основі "методу заміщення", який враховує неефективність виробництва викопного палива шляхом перетворення невикопної енергії в енергетичні ресурси, необхідні, якби вони мали такі ж втрати при перетворенні, як і викопне паливо.

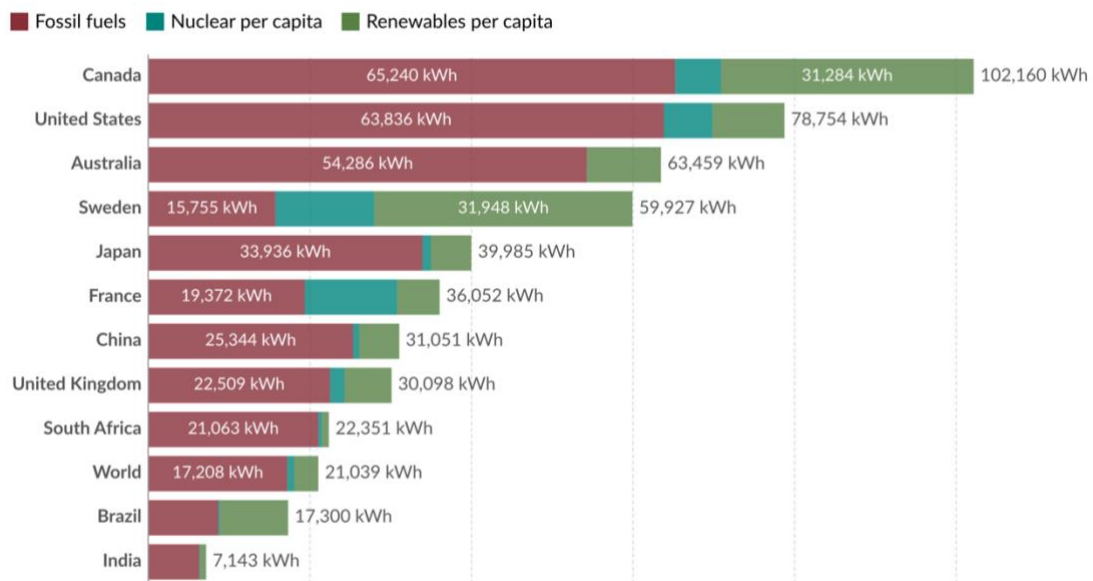
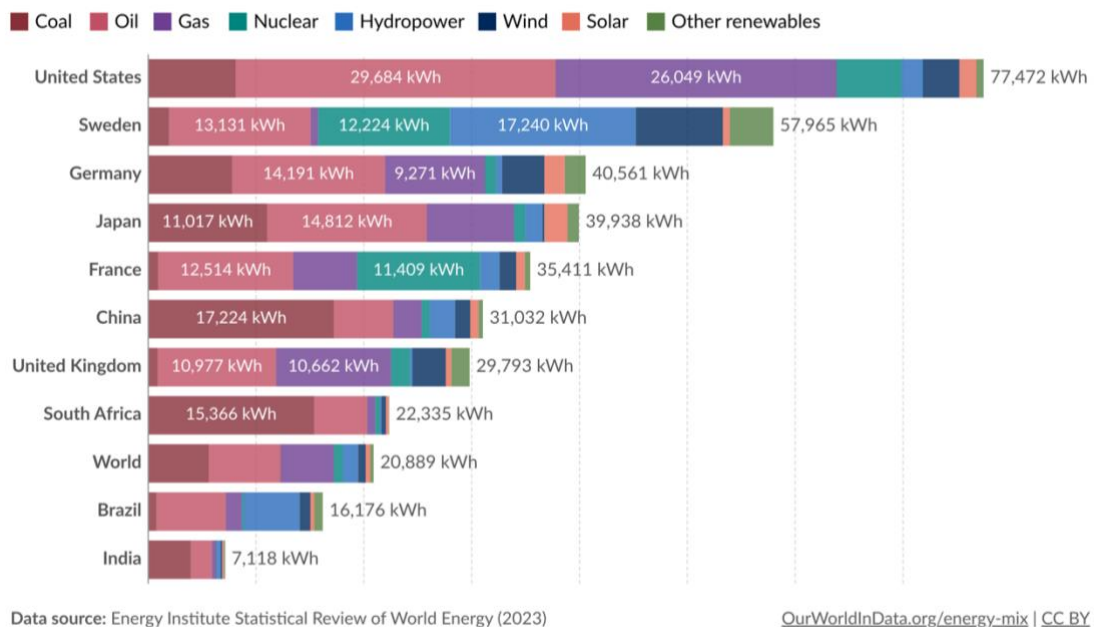


Рис. 1.7 – Глобальне постачання енергії, 2019р. [11]



Data source: Energy Institute Statistical Review of World Energy (2023)

OurWorldInData.org/energy-mix | CC BY

Рис. 1.8 – Глобальне постачання енергії, 2022р. [11]

В контексті ж досягнення цілей Паризького договору, у всьому світі прогрес на шляху до низьковуглецевої економіки був млявим. Така ситуація може зменшити оптимізм щодо подальших дій. Тим не менш, численні країни, включаючи деякі з найбагатших країн світу з високим вуглецевим слідом, демонструють, що декарбонізація наших енергетичних систем цілком можлива. Цим країнам ще належить пройти значний шлях, але наразі вони рухаються у правильному напрямку.

Менш заможні країни стикаються з більшою перешкодою: вони повинні розвивати свою економіку і забезпечувати своїх громадян енергією, охороною здоров'я та боротьбою з бідністю, уникаючи при цьому вуглецево-інтенсивних шляхів, якими йдуть нинішні багатші країни. Для цього їм потрібен дешевий доступ до екологічно чистої енергії, яка б витіснила альтернативи викопного палива. Найбагатші країни світу також повинні зробити свій внесок, впроваджуючи зростання низьковуглецевої енергетики, щоб зменшити витрати. Як ми бачимо на прискореному зниженні цін на сонячну енергію за останні кілька років, такий підхід вже дав свої результати. На рис. 1.8 низьковуглецева енергія визначається як сума ядерної та відновлюваної енергії. Відновлювані джерела включають гідроенергію, сонячну, вітрову, геотермальну, енергію хвиль і припливів та біоенергію. Традиційне біопаливо не включено.

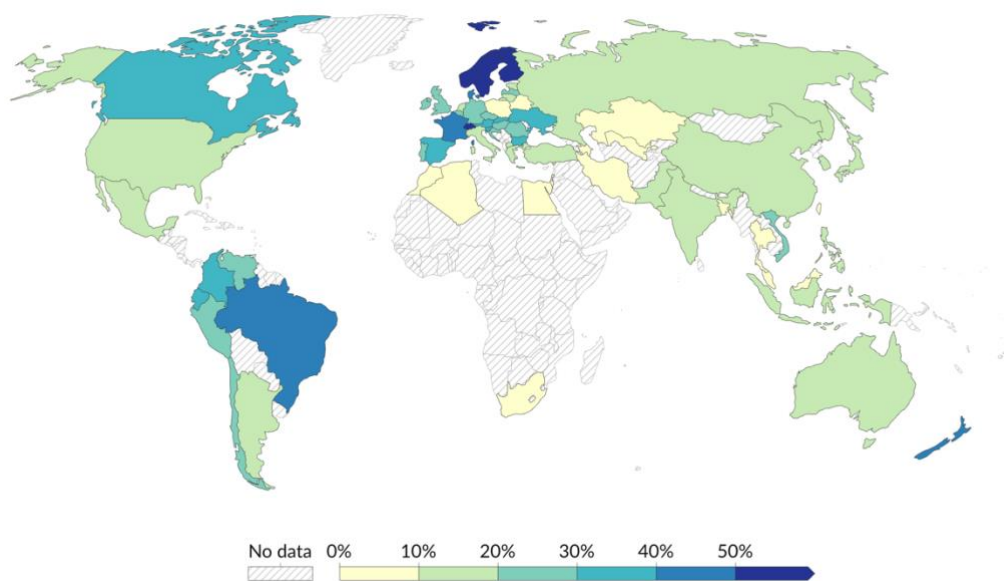


Рис. 1.9 – Глобальне постачання енергії, 2022р. [11]

Що ж чекає на нас у майбутньому? Це буде залежати в основному від двох факторів - економіки та державної політики щодо забруднення навколишнього середовища. Отже, розглянемо коротко ці основні джерела енергії та їхні початкові капітальні витрати на виробництво енергії, поточні витрати на експлуатацію та вплив на навколишнє середовище. Наведена вище інформація є глобальною.

Таблиця 1.2. Основні джерела енергії та їх структура витрат [12, 13]

	Капітальні витрати на кВт	Витрати на паливо за кВт-год	Припущення щодо безвідмовної роботи	Капітальні витрати + витрати на паливо за 5 років	Вироблено кВт-год	Операційні витрати
Вугілля	3500	0.006	90%	3750	39420	Середні
Нафта	1000	0.045	90%	2762	39420	Низькі
Природний Газ	1000	0.013	90%	1531	39420	Низькі
Гідроенергія	4000	0	90%	4000	39420	Низькі
Атомна енергетика	6000	0.0001	90%	6002	39420	Високі

Значним є загальне накопичення викопного палива, яке ми спалюємо, і ця кількість продовжує зростати з кожним роком. Однак ми все ще децю обманюємо себе, розглядаючи наше зростання через призму того, яка частка нашої енергії є низьковуглецевою.

Атмосферу цікавлять не частки, а абсолютні показники, коли йдеться про викиди парникових газів. Саме це, зрештою, визначає кількість CO₂, яку ми викидаємо, і темпи його накопичення в атмосфері.

Світове споживання енергії не стоїть на місці, а зростає. Однак в останні роки воно зростає такими темпами, з якими не можуть зрівнятися відновлювані та ядерні ресурси.

На рис 1.9 показано абсолютне споживання первинної енергії для кожного джерела. Вископні види палива, особливо нафта і газ, продовжують залишатися домінуючими джерелами енергії, і їх видобуток щорічно зростає. Тим не менш, використання низьковуглецевих джерел енергії зростає у всьому світі, що є незаперечною ознакою прогресу на шляху до декарбонізації. Щоб досягти необхідного прогресу, важливого для клімату, нам потрібно, щоб її зростання не лише задовольняло наші нові щорічні потреби в енергії, але й почало витісняти існуючі вископні види палива в енергетичному балансі набагато швидше.

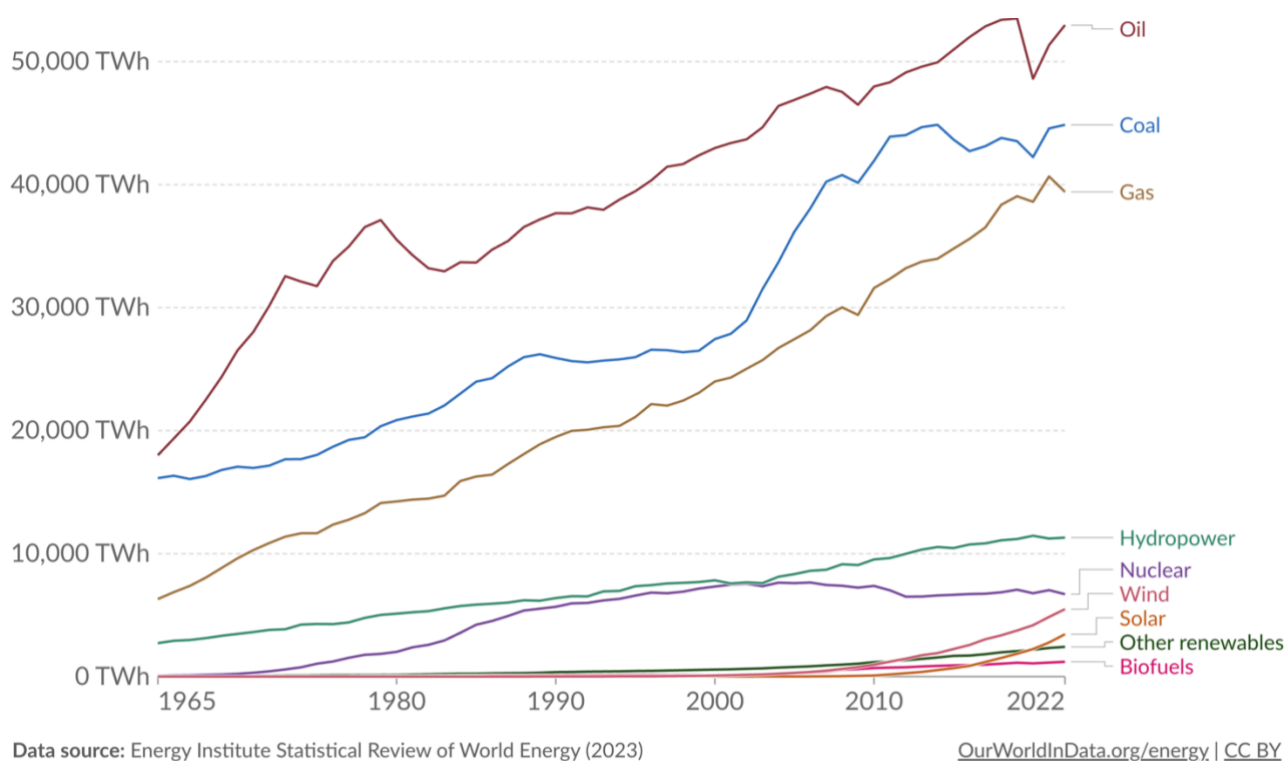


Рис. 1.10 – Глобальне постачання енергії, 2022р. [11]

Отже, фундаментальна ціль в енергетичному ринку на сьогодні – це перехід до безвуглецевої економіки. У випадку, якщо переконаність у необхідності діяти в напрямку скорочення викидів вуглецю буде посилюватися, а амбіції щодо досягнення чистого нуля будуть підкріплені відповідною політикою та

фінансуванням - зокрема, значущою роллю УЗВ - тоді ми можемо побачити сценарій, за яким уловлювальна потужність у 2050 році наблизиться до 1 гігатонни (мільярда тонн) CO₂ на рік.

РОЗДІЛ 2. СУЧАСНІ ТРЕНДИ РОЗВИТКУ ГЛОБАЛЬНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО РИНКУ

2.1. Оцінка динаміки та структури глобального ринку енергоресурсів

Після проведеного аналізу і розуміння того, що традиційна енергетика досі займає значну частину, при цьому забруднюючи повітря, важливо провести оцінку потенційних подальших перспектив даного ринку.

Так, традиційні джерела енергії, такі як вугілля, нафта і природний газ, продовжуватимуть відігравати вирішальну роль на світовому енергетичному ринку в осяжному майбутньому. Тим не менш, їхнє загальне значення зменшуватиметься, оскільки відновлювані джерела енергії (ВДЕ) ставатимуть більш конкурентоспроможними.

За прогнозом Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), у 2022 році традиційні джерела енергії становитимуть 82% світового енергоспоживання. Однак очікується, що до 2050 року їхня частка скоротиться до 65% [14].

Факторами, що сприяють цьому переходу, є:

- **Зростаюче занепокоєння щодо зміни клімату.** Більша екологічна ефективність ВДЕ порівняно з традиційними джерелами, а також їхня здатність уникати викидів парникових газів.
- **Покращення технологій ВДЕ.** Вартість ВДЕ значно знизилася в останні роки, що зробило їх більш конкурентоспроможними.
- **Політичні заходи.** Уряди багатьох країн ухвалили політику, спрямовану на стимулювання переходу до ВДЕ.

Очікується, що з усіх традиційних джерел енергії використання вугілля зменшиться найбільше. Вугілля є найбільш забруднюючим джерелом енергії, а його видобуток призводить до значних викидів парникових газів. У 2022 році вугілля становило 26% світового енергоспоживання, але очікується, що до 2050 року ця частка знизиться до 10%.

Хоча нафта і природний газ залишатимуться життєво важливими джерелами енергії, їхня частка в загальному енергоспоживанні також повільно зменшуватиметься. У 2022 році на нафту припадало 35% світового енергоспоживання, однак, за прогнозами, її частка зменшиться до 25% до 2050 року. Що стосується природного газу, то у 2022 році він становив 21% світового енергоспоживання, але, за прогнозами, його частка зменшиться до 15% до 2050 року [14].

Під час цього переходу в першу чергу виграють відновлювані джерела енергії, такі як сонячна та вітрова енергія. Сонячна енергія вже є найбільш економічним способом виробництва електроенергії в багатьох країнах, а конкуренція за вітрову енергію також зростає.

Очікується, що до 2050 року на відновлювані джерела енергії припадатиме 80% світового споживання електроенергії [14].

Конкретні прогнози щодо традиційних джерел енергії є наступними:

Вугілля: Прогнозується зниження світового споживання вугілля на 60% між 2022 і 2050 роками. У Китаї, який є найбільшим споживачем вугілля у світі, споживання вугілля зменшиться на 80% між 2022 і 2050 роками.

Нафта: За оцінками, світове споживання нафти скоротиться на 20% між 2022 і 2050 роками. У Сполучених Штатах очікується, що споживання нафти зменшиться на 30% з 2022 по 2050 рік.

Щодо **природного газу**, то прогнозується, що глобальне споживання зменшиться на 10% з 2022 по 2050 рік. В Європі очікується зниження споживання природного газу на 20% з 2022 по 2050 рік.

Ці прогнози передбачають поступову заміну традиційних джерел енергії на відновлювані. Цей перехід, який відбудеться протягом наступних кількох десятиліть, помітно вплине на світову економіку та навколишнє середовище.

Серед ключових регуляторних проєктів можна виділити наступні:

США:

- Закон про інфраструктуру та зайнятість, підписаний президентом Байденом у листопада 2021 року, передбачає виділення 1,2 трильйона доларів

на інвестиції в інфраструктуру, включаючи чисту енергію. Закон передбачає будівництво нових вітряних і сонячних електростанцій, а також розширення мережі електропередач.

- Закон про чисту енергію, підписаний президентом Байденом у червні 2022 року, передбачає встановлення цілей збільшення частки ВДЕ в енергобалансі США до 80% до 2030 року. Закон також передбачає введення обмежень на викиди парникових газів від електростанцій.

ЄС:

- План дій ЄС щодо сталої енергетики до 2030 року (EU Energy Strategy for 2030) ставить за мету скоротити викиди парникових газів на 55% до 2030 року порівняно з рівнями 2005 року. План також передбачає, що частка відновлюваних джерел енергії в загальному споживанні енергії ЄС повинна становити 40% до 2030 року.

- Пакет "Fit for 55", який був прийнятий Європейським парламентом у червні 2022 року, містить низку заходів, спрямованих на досягнення цілей Плану дій ЄС щодо сталої енергетики до 2030 року. Серед цих заходів є:

- Введення обов'язкового зобов'язання для країн ЄС скоротити викиди парникових газів на 55% до 2030 року.
- Підвищення цілей щодо частки відновлюваних джерел енергії в загальному споживанні енергії ЄС до 40% до 2030 року.
- Введення податку на вуглець на імпортні товари.

Китай:

- План енергоефективності та охорони навколишнього середовища на 14-й п'ятирічний період (2021-2025 рр.) ставить за мету скоротити викиди парникових газів на 18% до 2025 року порівняно з рівнями 2020 року. План також передбачає, що частка відновлюваних джерел енергії в загальному споживанні енергії Китаю повинна становити 20% до 2025 року.

- План розвитку відновлюваних джерел енергії Китаю на 2021-2025 рр.) ставить за мету збільшити загальну потужність відновлюваних

джерел енергії в Китаї до 1,2 трильйона кіловат-годин до 2025 року. План також передбачає, що частка сонячної енергії в загальному споживанні енергії Китаю повинна становити 10% до 2025 року.

З усіх цих впроваджень найбільш амбітним є Fit for 55 від ЄС. Європейська Комісія запропонувала законодавчий пакет з 11 пунктів, в якому детально викладені плани щодо досягнення цілі скорочення викидів на 55% до 2030 року. Увага в законодавстві зосереджена на проектах з відновлюваної енергетики. Зокрема, існує необхідність реалізації цих проектів для виконання вимоги, щоб до 2030 року частка відновлюваних джерел енергії у валовому кінцевому споживанні становила 38-40%. Основним законодавчим засобом має стати перегляд Директиви з відновлюваної енергетики, при цьому наразі оцінюються політичні заходи, що охоплюють використання відновлюваних джерел енергії в будівлях, підвищення цільових показників відновлюваної енергетики на транспорті (з 14% до 26%), а також спільну міждержавну підтримку офшорної відновлюваної енергетики, наприклад, вітроенергетики. Крім того, буде ініційовано декарбонізацію морського та авіаційного секторів шляхом стимулювання використання сталих альтернативних видів палива, вуглецевих податків (СТВ ЄС та податки на паливо) та використання біопалива. Очікується, що в майбутньому декарбонізація цих секторів значно прискориться через недостатню розвиненість інфраструктури, високі витрати та обмежену доступність сталих альтернатив. Податки на викиди вуглецю у високовуглецевих секторах мають зрости через внесення змін до Директиви про оподаткування енергетики, перегляд СТВ ЄС та запровадження вуглецевого коригування для алюмінію, цементу, електроенергії, добрив та сталі. Ключовим невідомим фактором залишається оновлення цих секторів. Досягнення кліматичної цілі на 2030 рік вимагає вищого рівня енергоефективності - 36-39%, порівняно з попереднім показником у 32,5%. Однак ЄС не досягнув достатнього прогресу в досягненні попередньої цілі. Використання реновації було б важливою стратегією для підтримки досягнення нової мети.

Ці регуляторні впровадження є важливим кроком у переході до чистої енергії. Вони сприятимуть розвитку відновлюваних джерел енергії та зменшенню викидів парникових газів.

Таким чином, найбільш амбітні політики щодо переходу до ВДЕ реалізуються в Китаї та Європі. Китай планує досягти кліматичної нейтральності до 2060 року, а Європа - до 2050 року. У рамках цих планів уряди цих країн встановили обов'язкові цілі збільшення частки ВДЕ в енергобалансі до 30% у Китаї та 40% у Європі до 2030 року.

Регуляторні заходи, спрямовані на підтримку ВДЕ, призведуть до поступового заміщення традиційних джерел енергії відновлюваними джерелами. Цей перехід матиме значний вплив на глобальну економіку та навколишнє середовище.

З одного боку, перехід до ВДЕ призведе до створення нових робочих місць у галузі відновлюваної енергетики. Це також призведе до зниження залежності від імпорту енергоносіїв та зменшення викидів парникових газів.

З іншого боку, перехід до ВДЕ може призвести до підвищення цін на електроенергію. Це пов'язано з тим, що ВДЕ є більш непередбачуваними джерелами енергії, ніж традиційні джерела. Крім того, розвиток ВДЕ може призвести до конфліктів з інтересами інших галузей економіки, таких як сільське господарство та туризм.

В цілому, перехід до ВДЕ є складним завданням, яке має як позитивні, так і негативні наслідки. Для успішного переходу необхідні чіткі політичні рішення та ефективні регуляторні заходи.

Уряди США, ЄС та Китаю реалізують різні підходи до регулювання ВДЕ.

- У США регуляторні заходи здебільшого спрямовані на стимулювання розвитку ВДЕ шляхом надання податкових пільг та субсидій. Уряд США також встановив цілі збільшення частки ВДЕ в енергобалансі до 80% до 2030 року, але ці цілі не є обов'язковими.

- У ЄС та Китаї регуляторні заходи більш директивні та передбачають встановлення обов'язкових цілей збільшення частки ВДЕ. У

ЄС обов'язкова ціль збільшення частки ВДЕ в енергобалансі до 40% до 2030 року поширюється на всі країни ЄС. У Китаї обов'язкова ціль збільшення частки ВДЕ в енергобалансі до 30% до 2030 року поширюється на всі регіони Китаю.

Ці відмінності в підходах до регулювання ВДЕ пов'язані з різними політичними та економічними умовами в цих країнах. Ми виділяємо наступні 6 пріоритетних напрямків подальшого розвитку регуляторних політик в індустрії для всіх країн:

- Визнання позиції ОСР (Оператори систем розподілу) та підтримка регуляторної бази, включаючи стимули для реалізації ініціатив, які підтримують трансформацію ОСР та дозволяють здійснити енергетичний перехід.
- Збільшити стимули для інноваційних рішень. Пропонувати більші стимули для пом'якшення інноваційних ризиків, які стосуються як капітальних, так і операційних витрат, а також визнавати перехід від одного до іншого. Там, де прибутки матеріалізуються протягом десятиліть, регуляторна стабільність і чіткі інвестиційні рамки допомагають впроваджувати інновації.
- Переосмислити структуру тарифів. Необхідно забезпечити, щоб клієнти, які виробляють власну електроенергію і користуються мережею, брали участь у витратах на модернізацію та оцифрування мережі.
- Своєчасна імплементація пакети законів про чисту енергію. Сприяння наданню гнучких послуг та розподіленій генерації на місцевому рівні уможливорює конкурентні закупівлі та управління перевантаженнями, що призводить до підвищення ефективності системи розподілу.
- Усунення бар'єрів на шляху розвитку акумуляторних батарей має вирішальне значення. Забезпечення більшої державної власності та надання операторам систем розподілу можливості експлуатувати

великомасштабні сховища в межах чітко визначених регуляторних параметрів.

- Впровадження регуляторного втручання щодо енергетичних стандартів та управління даними надасть споживачам та іншим учасникам ринку доступ до інформації, що сприятиме повноцінному залученню до ринку.

Дані ініціативними є важливими для виконання в усіх країнах. Тіки завдяки ним можна буде досягнути умов Паризького договору і цілей Net Zero, оскільки будь яка індустрія, особливо нова, дуже сильно залежить від регуляторної підтримки і субсидій.

2.2. Зелена енергетика в сучасній структурі глобального енергетичного ринку

Енергетичний перехід – це процес переходу від традиційних джерел енергії, таких як вугілля, нафта та природний газ, до відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна, вітрова, гідро- та геотермальна енергія. Цей перехід є важливим для вирішення глобальних проблем, таких як зміна клімату та енергетична безпека.

Чому енергетичний перехід важливий?

- Зміна клімату: Традиційні джерела енергії виробляють викиди парникових газів, які сприяють зміні клімату. Перехід до відновлюваних джерел енергії може допомогти знизити ці викиди та уповільнити темпи зміни клімату.
- Енергетична безпека: Традиційні джерела енергії часто залежать від імпорту. Перехід до відновлюваних джерел енергії може допомогти підвищити енергетичну безпеку країн, зробивши їх менш залежними від імпорту енергоносіїв.
- Стале економічне зростання: Зелена енергетика може сприяти сталому економічному зростанню, створюючи нові робочі місця та підвищуючи конкурентоспроможність економіки.

Так, відновлювані джерела енергії, безсумнівно, є найважливішою технологією, що лежить в основі енергетичного переходу. Вони перебувають на траєкторії стрімкого зниження витрат завдяки технологіям, масштабам, меншим ризикам і падінню вартості капіталу, хоча нещодавній макроекономічний тиск частково змінив цю тенденцію на протилежну. Інвестиції у відновлювану енергетику потребують значного збільшення масштабів - з урахуванням прогнозованого дев'ятикратного збільшення потужностей, до 2050 року необхідно щонайменше \$18 трлн інвестицій. Мережі передачі та розподілу електроенергії потребують ще \$21-28 трлн для електрифікації економіки та інтеграції відновлюваних джерел енергії [15, с. 2541-2551]. Ніхто не сумнівається в неймовірних перспективах зростання відновлюваної енергетики, але питанням №1 для інвесторів є те, чи буде це зростання примножувати вартість і чи буде привабливою прибутковість. А потенціал розширення та популяризації цього напрямку напряму залежить від регуляторів та інвесторів.

Глобальна потужність відновлюваної енергетики (вітрової та сонячної) зростає в сім разів - з ~320 ГВт у 2010 році до ~1 787 ГВт у 2021 році. Ймовірно, вона зростатиме на 14% в середньорічному обчисленні до 2030 року, базуючись на історичних темпах зростання, існуючих проєктах та регуляторних стимулах, а потім на 6% в середньорічному обчисленні протягом 2030-50 років, що в 9 разів більше, ніж сьогодні, завдяки декарбонізації енергетичного, транспортного, промислового та будівельного секторів. Загальний обсяг інвестицій може досягнути \$18 трлн, а питомі капітальні інвестиції скоротяться вдвічі до 2050 року порівняно з сьогоднішнім рівнем.

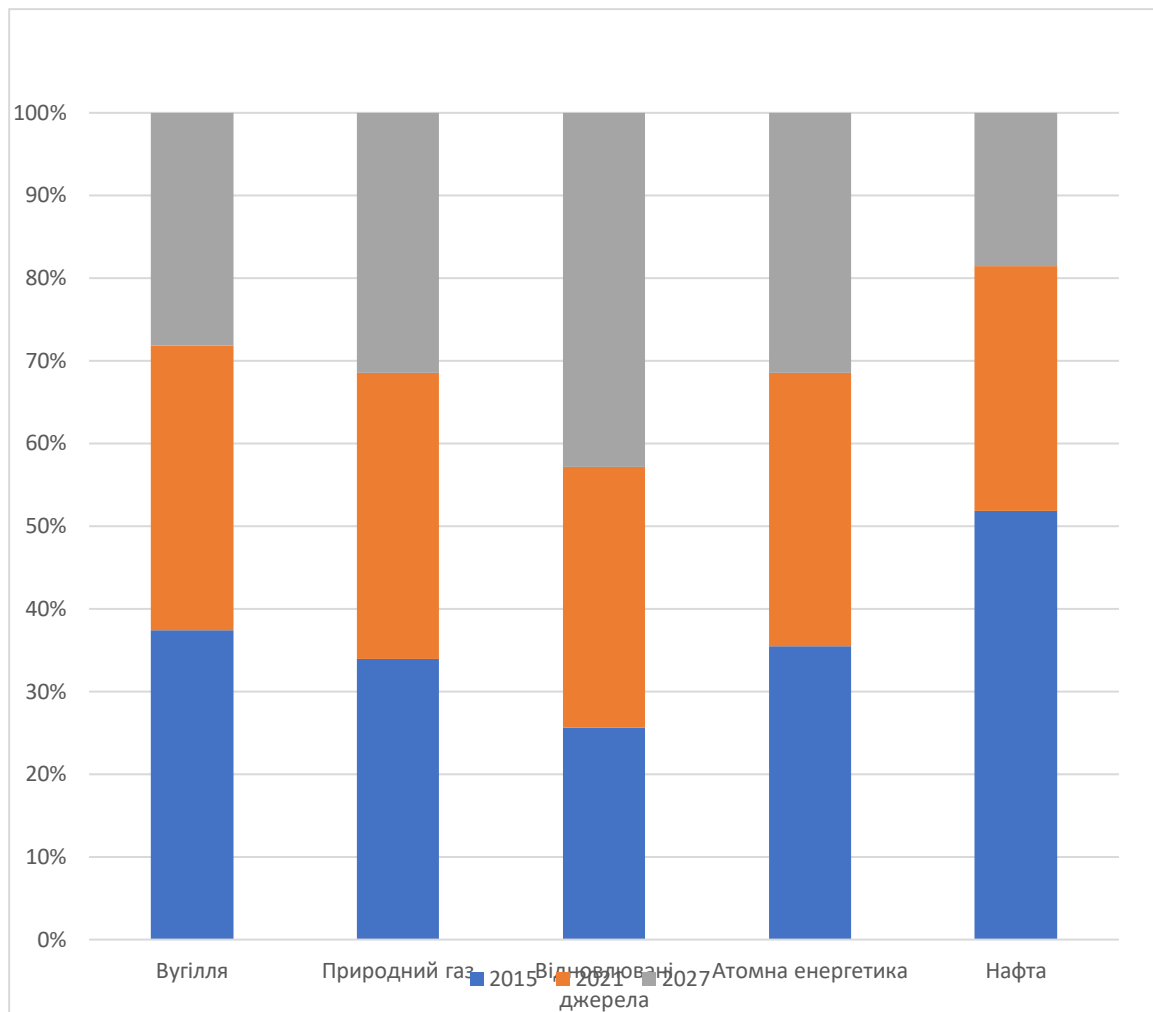


Рис. 2.1 – Світове виробництво електроенергії за технологіями, 2015, 2021 та 2027 роки. [16]

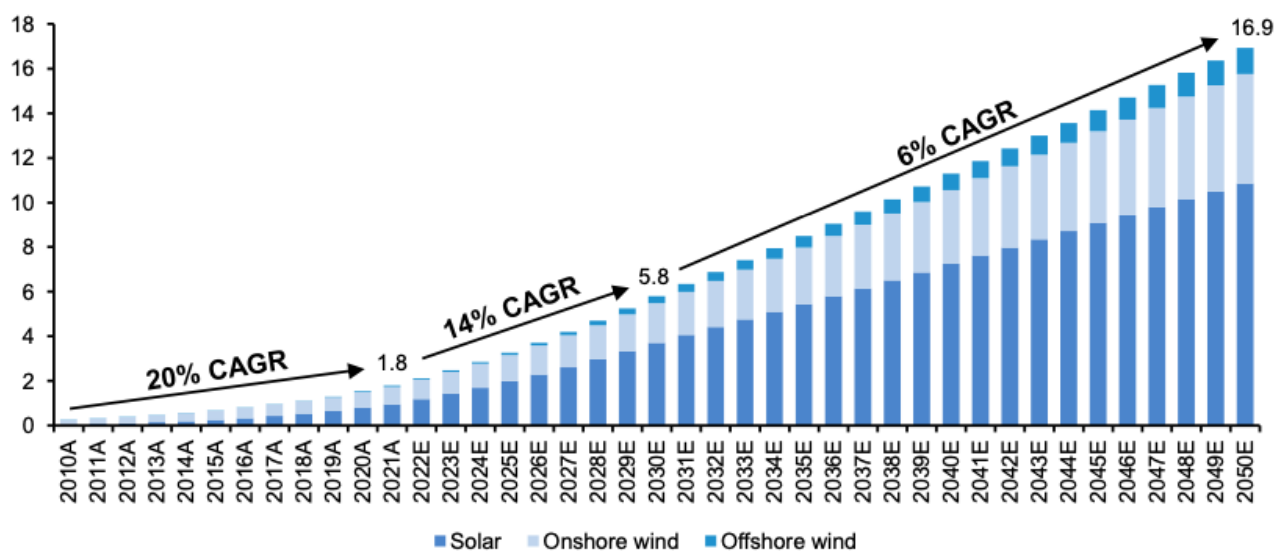


Рис. 2.2 – Глобальна вітрова та сонячна встановлена потужність (ТВт)

Мережі стануть основою енергетичного переходу, і для підтримки декарбонізації енергосистеми знадобляться сукупні інвестиції в розмірі ~\$21-\$28 трлн. Ключовими факторами майбутніх інвестицій у мережі є інтеграція відновлюваних джерел енергії та електрифікація транспорту і теплопостачання, модернізація застарілих мереж, підвищення стійкості мереж, діджиталізація тощо.

Останні макроекономічні та політичні тенденції частково зводять нанівець історичні досягнення. Підвищення відсоткових ставок [17] для боротьби з інфляцією призвело до зростання середньозваженої вартості відновлюваної електроенергії на 130-200 базисних пунктів. Зростання вартості сировини та погіршення умов ланцюга постачання, включаючи надійність логістики, призвели до інфляції капітальних витрат, а геополітична напруженість, що призвела до перенесення виробництва сонячної енергетики, може зробити панелі на 60-70% дорожчими. У офшорній вітроенергетиці тиск на вартість чинять уряди, які прагнуть отримати ренту за користування морським дном, Закон Джонса тощо. Ці тенденції частково компенсуються політичною підтримкою, такою як американський IRA.

Починаючи з базового рівня (за умови, що макроекономічні показники не нормалізуються), природні технологічні вдосконалення та масштаби, ймовірно, призведуть до поступового зниження приведеної вартості енергії (LCOE), подібно до того, як ми спостерігали в минулому. До 2050 року зниження середньозваженої вартості електроенергії на 100 б.п. та нормалізація товарної складової можуть призвести до покращення показника LCOE наземної вітроенергетики в Європі на ~2\$/МВт-год та ~3\$/МВт-год, або на ~9% та ~11% відповідно.

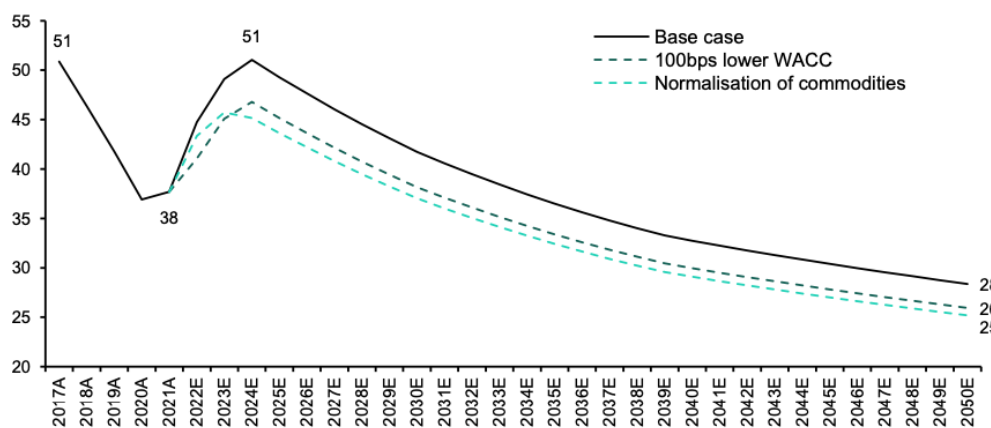


Рис. 2.3 – Європа Динаміка LCOE наземної вітроенергетики (\$/МВт-год) [18, 19]

Незважаючи на зниження вартості, відновлювані джерела енергії є надзвичайно конкурентоспроможними за вартістю порівняно з оптовими цінами, а також за показником LCOE теплової енергетики в Європі, і ця тенденція, ймовірно, збережеться до 2030 року. У США переваги IRA роблять наземну вітрову та сонячну енергетику нижчою за оптові ціни та LCOE теплової енергетики.

Сонячна Енергетика. За даними ІЕА, сонячна енергетика має найбільший потенціал для витіснення традиційних джерел енергії протягом наступних 2-3 років.

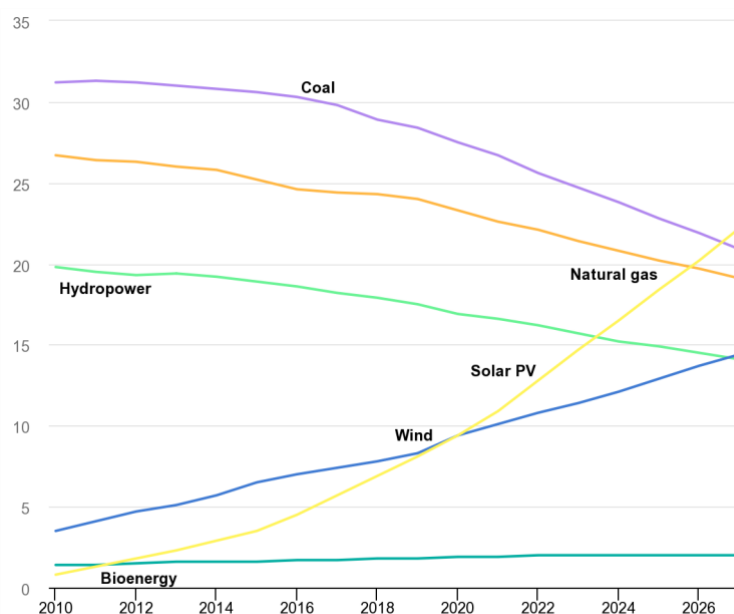


Рис. 2.4 – Частка сукупної енергетичної потужності за технологіями, 2010-2027 рр. [20, 21]

Сонячна фотоелектрична промисловість має значний потенціал розвитку. У ланцюжку створення вартості найбільш перспективними є підсегменти полікремнію та виробництва пластин, які, на нашу думку, мають більш здорову та стійку маржу порівняно з подальшими виробниками фотоелементів і модулів. Чистим підсегментам клітин та модулів бракує переговорної сили, і вони, як правило, першими витісняються, коли справа доходить до штовханини.

Сонячна енергетика - це галузь, для якої характерні як циклічність так і стабільне зростання. Кінцеві ланки ланцюжка створення вартості мають одні з найкращих показників рентабельності.

Оскільки ціни на полікремній знайшли підтримку у другому півріччі, виробники полікремнію змогли зберегти високу маржу. Оскільки пропозиція продовжує бути обмеженою в найближчій перспективі через труднощі з отриманням дозволів на використання енергії насуваються труднощі з отриманням дозволів на використання енергії, ці прибутки стають стійкими.

Примітно, що навіть у 2023 році гравці ринку полікремнію ймовірно, все ще матимуть найвищу маржу прибутку в ланцюжку створення вартості. Це частково пов'язано з ринковою концентрацією ринку в цьому підсекторі. Виробники елементів і модулів мають одні з найнижчих показників рентабельності за нинішніх умов. Частково це пов'язано з сильною ринковою конкуренцією, з якою стикаються ці компанії, а також інфляцією витрат, причому не лише на полікремній, але й на інші товари, таких як метал та сонячне скло. Виробники клітин залишаються практично ні з чим.

Досягнення вуглецевої нейтральності до 2060 року вимагатиме

- збільшення частки сонячної та вітрової енергії при одночасному зменшенні частки викопного палива в енергетичному балансі,
- підвищення енергоефективності
- уловлювання, використання та зберігання вуглецю (УЗВ).

Наприклад, в Китаї, викопне паливо в даний час становить 85% енергетичного балансу, але до 2060 року їхня частка на ринку, швидше за все, знизиться до 20%, згідно із заявою президента Сі в жовтні 2021 року. У наступні п'ять років ми

очікуємо 400 ГВт сонячних електростанцій проти 211 ГВт, встановлених у 2016-20 роках.

Вітрова енергетика

Сучасні наземні вітрові турбіни почали набувати популярності в 1990-х роках. До 2000 року у світі було встановлено близько 16 ГВт вітроенергетичних потужностей. Сьогодні ця загальна потужність зросла до понад 750 ГВт. За останні 20 років сукупна потужність зросла на 4500%, або приблизно на 21% в середньорічному обчисленні. Морські турбіни з'явилися дещо пізніше, ніж наземні. Лише у 2007 році офшорна вітроенергетика досягла 1 ГВт сукупної світової потужності. У 2020 році сукупна світова офшорна потужність досягла 36 ГВт, що становить близько 5% від загальної світової потужності. Починаючи з 2015 року, нові щорічні офшорні установки здебільшого знаходяться в діапазоні 4-7 ГВт. 28 ГВт із сукупних 36 ГВт офшорних потужностей були встановлені після 2014 року. Світовий наземний ринок збільшувався приблизно на 30-60 ГВт на рік у 2009-2019 роках і досяг рекордних 91 ГВт у 2020 році. Зростання в 2020 значною мірою було зумовлене закінченням терміну дії податкових пільг у всьому світі, включаючи податковий кредит на видобуток (PTC) у Сполучених Штатах [22, с. 10-30].

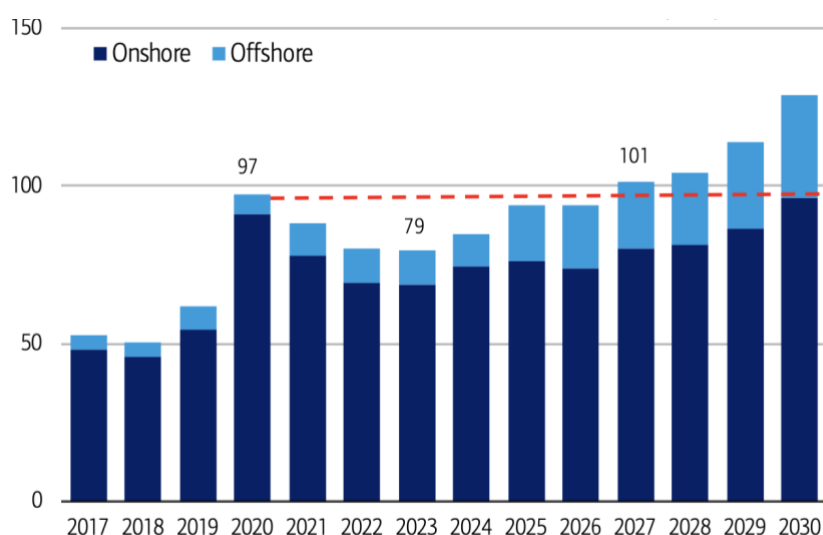


Рис. 2.4 – Нові щорічні глобальні інсталяції, 2017-2030 рр. [14, 16, 21, 22]

Хоча історично склалося так, що сонячна та вітрова енергетика спочатку розвивалися в географічних регіонах, які найкраще використовують відповідні ресурси (наприклад, дуже сонячні та вітряні місця), ми бачимо, що зниження вартості обох технологій продовжує розширювати сферу застосування обох технологій. У зв'язку з цим ми бачимо зростаючу готовність до переорієнтації з вітрової енергетики (яка домінує на більшості ринків ОЕСР) на сонячну, щоб диверсифікувати перебої в роботі енергосистеми від відновлюваних джерел енергії. Однак в останні роки, коли вітрова дефляція виявилася скромнішою, ми вважаємо, що тривале зниження частки сонячної енергетики та більша передбачуваність і узгодженість з піками споживання створюють кращі економічні аргументи на користь сонячної енергетики порівняно з вітровою. Хоча цей баланс між вітровою та сонячною енергією здебільшого зосереджений на географічних регіонах, де є і вітер, і сонце, ми бачимо, що розвиток зміщується в бік сонячної енергетики навіть у більш північних широтах (де спостерігається більша річна мінливість між зимою та літом, а також ризик тривалих льодових/снігових умов). Ми можемо бачити це, наприклад, на прикладі нещодавнього розгортання сонячних електростанцій на Середньому Заході, що свідчить про цю тенденцію. Але це не одностороння динаміка. Каліфорнія, схоже, готова відмовитися від сонячної енергетики після великого буму. Очікується, що за розгортання вітрових електростанцій буде сплачуватися премія, щоб забезпечити більшу різноманітність диспетчеризації. Ми цілком можемо побачити, як існуючі вітрові турбіни будуть розширюватися, збільшуватися в розмірах завдяки поновленим контрактам.

Так, з приводу регуляторного прогресу в ЄС, за даними Євростату, у 2020 ЄС в середньому перевершили свою ціль у 20% альтернативної енергії, досягнувши у загальній структурі споживання енергії. Лідерами є Швейцарія, Фінляндія, Латвія та Австрія. Лідерами за темпами зростання у 2019-2020 є Люксембург, Нідерланди і Бельгія. При цьому в Данії, Естонії і Словачії відсоток зменшився. Цілей досягли усі країни, окрім Польщі, Франції і Словенії.

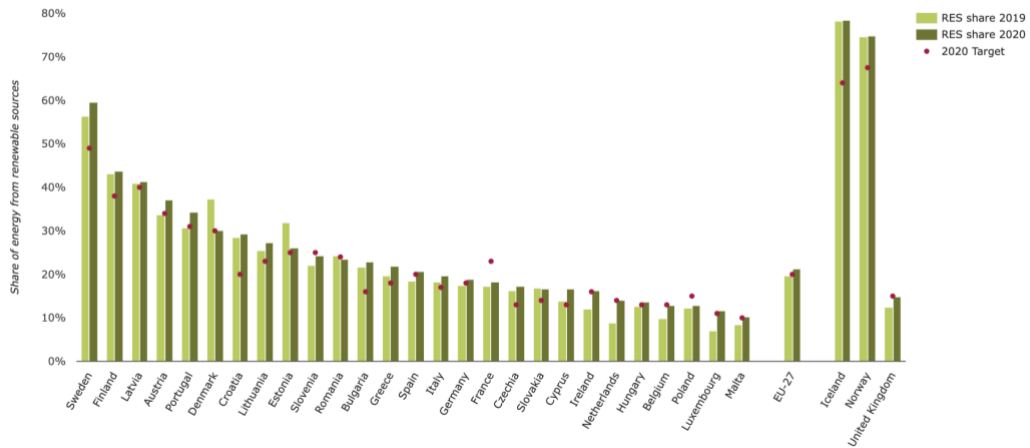


Рис. 2.5 – Прогрес у досягненні цілей з відновлюваних джерел енергії за країнами [23]

Найбільшими компаніями по виробництву вітряної енергії є Vestas (9.6 ГВт), Siemens Gamesa (8.8 ГВт) та Goldwind (8.3 ГВт) [24, 25, 26]. Перші дві компанії – ЄС, третя – Китай. При цьому в Європі немає великих підприємств, що виробляють сонячну енергію. Лідерами на цьому ринку знаходяться у Китаї. Утім, велика кількість компаній, що спеціалізуються на енергії вітру, виробляють і сонячну енергію.

У підсумку, сонячна енергетика виглядає принципово дешевшою технологією, яка легше пристосовується до споживчих моделей споживання. Ми очікуємо, що тенденція розвитку сонячної енергетики продовжуватиметься, але бачимо постійну тенденцію до впровадження обох технологій.

2.3. Оцінка ефективності технологій, альтернативних зеленій енергетиці

На сьогоднішній день основна альтернатива зеленій енергетиці – технологія уловлювання та зберігання вуглецю. Уловлювання та зберігання вуглецю (УЗВ) не є чимось новим - деякі великомасштабні установи працюють вже понад 20 років. Ця технологія може забезпечити потенційне скорочення викидів CO₂ від вуглецевоємних процесів та використання викопного палива на 90% у низці галузей

промисловості, але її впровадження як технології зі скорочення викидів, яку обирають політики та корпорації, поки що є недостатнім.

Історія "стоп-старт" навколо УЗВ призвела до того, що рівень її впровадження блідне у порівнянні з дуже сильним зростанням вітрової та сонячної енергетики як форм безвуглецевої електроенергії з середини 2000-х років; їй також бракує широкого оптимізму, який супроводжував нещодавній підйом "зеленого" водню як майбутнього джерела енергії. Оскільки вловлювання вуглецю залишалося дещо "сплячим" протягом останніх роки, воно не має значного впливу на глобальні викиди сьогодні і є яскравим прикладом технології, про яку більше говорять, ніж використовують.

Однак, оскільки світ приділяє все більше уваги все більш амбітним кліматичним цілям, які передбачають серйозні зміни в енергетичній системі, всі способи скорочення викидів CO₂ повертаються в моду. Інтерес до уловлювання вуглецю останнім часом помітно зріс, особливо в Європі, де сьогодні уловлювання вуглецю має обмежену присутність, але все частіше розглядається як ключова частина інструментарію для досягнення цілей "net zero" ("чистого нуля") викидів до 2050 року, встановлених на національному та регіональному рівнях (цю думку поділяють МЕА та МГЕЗК, які відзначають складність досягнення "чистого нуля" без використання УЗВ) [18, 21, 29].

Тим не менш, ідея витратити потенційно сотні мільярдів доларів США на збільшення глобального сліду уловлювання вуглецю також викликає розбіжності; дехто вважає, що припущення, що УЗВ буде широко застосовуватись у майбутньому, ризикує створити враження, що сьогоднішні дії зі скорочення викидів в інших частинах енергетичної системи або не є необхідними, або менш нагальними. Ми не вважаємо уловлювання вуглецю "срібною кулею", а скоріше частиною пазла, що має стимулювати декарбонізацію. 2020-ті роки мають стати потенційно визначальними для уловлювання вуглецю, щоб відіграти важливу роль у майбутній низьковуглецевій енергетичній системі, а також висвітлюємо деякі перешкоди, які необхідно буде подолати на цьому шляху [27, 29].

Що таке уловлювання та секвестрація вуглецю? [27, 28, 29, 30]

- Уловлювання вуглецю залишається одним з небагатьох технологічних варіантів глибокої декарбонізації в певних видах діяльності з інтенсивними викидами; зокрема, це так звані "важкі для скорочення сектори, де інші варіанти можуть бути обмеженими, зокрема, цементна, сталеливарна та металургійна промисловість.
- Це може допомогти уникнути значних "закріплених" викидів від існуючих активів, де основний капітал є достатньо молодим для того, щоб За оцінками МЕА, УЗВ можуть бути встановлені на об'єктах, які в іншому випадку все ще викидають об'єктах, які в іншому випадку все одно викидатимуть 8 млрд тонн CO₂ у 2050 році (~25% від глобальних викидів 2019 року). глобальних викидів, пов'язаних з енергетикою, у 2019 році).
- Залежно від масштабу проекту та потреб у новій інфраструктурі, УЗВ може бути впроваджене досить швидко (від двох до чотирьох років) і є постійним рішенням для поглинання CO₂ з меншим ризиком (наприклад, у порівнянні з лісами, яким потрібно більше часу для поглинання CO₂).
- За відсутності в середньостроковій перспективі дефіциту придатних місць для поглинання CO₂ в усьому світі, існує можливість для уловлювання вуглецю може бути розширено в набагато більших масштабах, ніж це відбувається сьогодні.
- Уловлювання вуглецю може розраховувати на зниження витрат і підвищення ефективності, оскільки воно отримує вигоду від від "навчання на власному досвіді" та економії на масштабах завдяки розгортанню.
- Певні форми уловлювання вуглецю - BECCS (біоенергетика та УЗВ) або DAC (пряме повітряне (BECS) або DAC (Direct Air Capture) - можуть запропонувати реальні шляхи для видалення двоокису вуглецю або так звані "негативні CO₂ або так званого "негативного CO₂", щоб допомогти збалансувати викиди, яких не можна уникнути в інших місцях.
- Уловлений CO₂ також може бути ключовим внеском у виробництво синтетичного палива як низьковуглецевого для транспортування на великі відстані (наприклад, синтетичного гасу для авіації).

Чим НЕ є уловлювання та секвестрація вуглецю [27, 28, 29, 30]:

- Наразі ця технологія не є основним фактором, що сприяє скороченню викидів, і, на нашу думку, не повинна розглядатися як заміна або спосіб уникнути структурних змін в енергетичній системі на основі припущення, що УЗВ може "вирішити проблему".
- Уловлювання вуглецю не завжди є відносно простим або економічно ефективним рішенням для всіх типів викидів (наприклад, воно зазвичай застосовується до фіксованих або стаціонарних джерел CO₂); у багатьох випадках інші варіанти, такі як інші варіанти, такі як відновлювані джерела енергії, енергоефективність або водень, можуть бути кращими компромісами.
- Коефіцієнт уловлювання часто приймається на рівні 90%, а отже, залишаються залишкові викиди CO₂. Таке припущення припущення також не враховує потенційні викиди, які відбуваються в інших частинах процесу, наприклад, CO₂ від видобутку газу до його використання (з уловлюванням вуглецю).
- Небагато компаній з високим рівнем викидів зможуть повністю декарбонізуватися лише за допомогою лише за допомогою уловлювання вуглецю.
- Не існує єдиної вартості УЗВ на тону CO₂ на глобальному рівні або в межах окремих галузей, витрати також можуть бути високими і змінюватися від проекту до проекту, що зменшує наочність його економічної ефективності.
- УЗВ не будується ізольовано, а часто вимагає розбудови супутньої інфраструктури.
- Широкомасштабні комерційні застосування та постійне секвестрування, як правило, не мають тривалого досвіду роботи в різних галузях промисловості та географічних регіонах.

- Інфраструктура уловлювання вуглецю, як правило, не дуже гнучка; це часто велике, жорстке та стаціонарне обладнання (хоча розробляються менші модульні установки УЗВ).
- Залучення приватного капіталу на сьогоднішній день є проблематичним, оскільки інвестиції часто залежать від прямої політичної підтримки або участі уряду разом з корпораціями.
- Протягом багатьох років уловлювання вуглецю також страждало від іміджевих проблем, пов'язаних з його роллю як технології декарбонізації, зокрема, щодо того, чи є воно технології декарбонізації, в тому числі щодо того, чи слід надавати їй пріоритет у фінансуванні, чи є вона інструментом для продовження використання викопного палива, а також її економічна ефективність.

Таким чином, враховуючи усі фактори, технологію УЗВ складно назвати повною заміною зеленій енергетиці. Скоріш це певного роду тимчасова альтернатива, оскільки покращити існуючий завод до цієї технології сильно простіше, ніж побудувати нові зелені електростанції, які зможуть повністю замінити існуючі.

При цьому, на нашу думку, наступні роки є вирішальним десятиліттям для глобальних кліматичних дій. За підрахунками МГЕЗК, до 2030 року світові викиди мають скоротитися вдвічі порівняно з нинішніми рівнями, аби втримати потепління в межах 1,5°C. Враховуючи зростаючу національну та корпоративну переконаність у створенні економіки та бізнесу з нульовим рівнем викидів, ми вважаємо, що у 2020-х роках кліматичні дії повинні будуть перейти на вищу передачу; однак залишаються питання щодо ролі уловлювання вуглецю на шляху до 2050 року. Імпульс, що стоїть за уловлюванням вуглецю, вищий, ніж це було останнім часом, але якщо ця технологія не зможе закріпитися в найближчі роки завдяки більш широкому впровадженню в ряді галузей, то вона ризикує застопоритися і, можливо, бути проігнорованою в гонці за декарбонізацію. Іншими словами, на нашу думку, УЗВ може бути важко розширити масштаби в наступні десятиліття (коли це може знадобитися), якщо воно залишиться дещо "сплячим" у 2020-х роках і не досягне

значного прогресу в створенні платформи для майбутнього масштабного впровадження. Політична підтримка матиме вирішальне значення на шляху розвитку технології, щоб забезпечити стимули для інвестицій і створити імпульс у галузі, що має вирішальне значення для скорочення витрат, створення міцного послужного списку і збільшення кількості успішно реалізованих проєктів, що знижують ризики. Зрештою, до кінця цього десятиліття УЗВ має досягти такого рівня, щоб почати залучати приватний капітал, а також створити певну ринкову структуру для уловлювання CO₂, яка б винагороджувала інвестиції відповідною віддачею.

Іншим альтернативним рішенням є Методи видалення вуглекислого газу (CDR) [31]. CO₂ видаляється з атмосфери шляхом посилення біологічних або геохімічних поглиначів вуглецю або шляхом прямого захоплення CO₂ з повітря та зберігання. Негативні викиди - це видалення парникових газів (ПГ) з атмосфери та їх довготривале, в ідеалі постійне, зберігання. Цей процес найкраще налагоджений для видалення CO₂, і зосереджується майже виключно на видаленні двоокису вуглецю, який позначається як CDR. Технологія видалення метану (CH₄) знаходиться в зародковому стані, і увага в основному зосереджена на усунення викидів цього газу, який має високий потенціал глобального потепління (ППП), але нижчу (10 років) концентрацією, але має обмежений термін життя. Для видалення CO₂ з атмосфери можна використовувати три широкі підходи [31, 32]:

- посилене біологічне поглинання та зберігання наземними екосистемами або в океані (природоорієнтовані рішення);
- посилення геохімічних процесів на суші або в океані;
- інженерні промислові процеси - пряме поглинання та зберігання повітря за допомогою хімічних процесів.

Для повноти картини, повторимо, що пов'язане з викопним паливом і промислове УЗВ скорочує викиди CO₂, але не видаляє CO₂ з атмосфери. Аналогічно, вуглецеві компенсації запобігають збільшенню кількості CO₂ в атмосфері, в той час як негативні викиди зменшують кількість CO₂ в повітрі. Уряди прагнуть розгорнути комплекс процесів, враховуючи питання, пов'язані з

постійністю зберігання; використанням енергії, землі та води; супутніми вигодами, ризиками та витратами; а також необхідність видалення парникових газів в потрібних масштабах і темпах. Інженерні рішення з геологічним зберіганням виходять на перший план, коли увага зосереджена на сталості; однак, інші технології які виробляють багаті на вуглець продукти і генерують супутні вигоди, можуть мати комерційні переваги і можуть бути простішими, швидшими та дешевшими у впровадженні.

Суспільство працює з обмеженим бюджетом вуглецю, що залишився, і даними аспектами: 1) технології видалення ще не здатні досягти масштабу, необхідного для компенсації поточних рівнів викидів; та 2) через асиметрію у реакції вуглецевого циклу, викиди більш ефективно підвищують вміст CO₂ в атмосфері, ніж еквівалентне поглинання CO₂ в атмосфері, ніж еквівалентне поглинання для його зниження, то увагу слід зосередити насамперед на скороченні викидів. на скороченні викидів. Лише абсорбція може вирішити проблему застарілих викидів; отже, CDR має відігравати певну роль у досягненні чистого нуля, незалежно від того, чи вона спочатку призначена для "усунення залишкових викидів з секторів, які важко або дорого декарбонізувати", або як додаткове страхування. Тим часом інновації та скорочення витрат можуть допомогти прискорити розгортання нових технологій, і ми очікуємо, що розвиток DAC, зокрема, допоможе вдосконалити технології промислового захоплення, і навпаки. Дійсно, продуктивність твердих сорбентів і рідких розчинників, що використовуються для видалення CO₂ з атмосфери в установках DAC, є критичним параметром, який впливає на вартість уловлювання, і ряд компаній, включаючи Aker, працюють як з промисловими, так і з Carbon Capture, працюють як з промисловими проектами CCUS, так і з проектами DAC. Загалом, у секторах, які найважче піддаються скороченню викидів, може виявитися більш життєздатним, з технічної та фінансової точки зору, використання CDR для нейтралізації викидів, ніж розробка альтернативних технологій [32].

Так, на нашу думку, на сьогоднішній день суспільству треба приділити сильно більше уваги до обох технологій, в особливості ж до CDR. Справа в тому,

що технології УЗВ, не дивлячись на свою ефективність, є повністю перехідним етапом, і фактично, вони тільки сповільнюють процес, в той час як зелена енергетика його повністю припиняє і реверсує. При цьому технологія CDR може також допомогти атмосфері при розвитку зеленої енергетики. При цьому, проаналізувавши ринки, ми вважаємо, що в майбутньому буде більше уловлювання вуглецю як спосіб обмежити викиди в певних секторах, але перспектива до 2050 року містить багато невизначеностей. За сценарієм, в якому уловлювання вуглецю не буде успішно розвиватися на основі поточного портфеля проектів, а буде впроваджуватися лише в певних куточках світу або в нішевих промислових галузях, за нашими оцінками, до середини століття глобальний потенціал уловлювання може становити близько 350 млн тонн CO₂ на рік. У випадку, якщо переконаність у необхідності діяти в напрямку скорочення викидів вуглецю буде посилюватися, а амбіції щодо досягнення чистого нуля будуть підкріплені відповідною політикою та фінансуванням - зокрема, значущою роллю УЗВ - тоді ми можемо побачити сценарій, за яким уловлювальна потужність у 2050 році наблизиться до 1 гігатонни (мільярда тонн) CO₂ на рік.

При цьому, жодна з цих технологій, як виявляється, не є альтернативою, хоч про них так і кажуть. Це лише тимчасове рішення, подібне до гібридних автомобілей, які є тимчасовим рішенням до переходу на повністю електричні авто.

РОЗДІЛ 3. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГЛОБАЛЬНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО РИНКУ

3.1. Пріоритетні напрями розвитку зеленої енергетики в умовах глобальних викликів

Так, враховуючи, що світ стикається з планетарною кліматичною кризою, для боротьби зі зміною клімату вкрай важливо мінімізувати викиди парникових газів. Як ми вже дослідили, одним із життєздатних рішень є перехід до екологічно чистих джерел енергії, таких як вітрова та сонячна енергія. Проте, потенціал таких джерел енергії може бути обмеженим. Саме тут "зелений" водень може відіграти важливу роль. Зелений водень виробляється шляхом електролізу води з використанням відновлюваних джерел енергії. Це означає, що він не генерує жодних викидів парникових газів. Зелений водень можна використовувати в різних галузях, включаючи транспорт, промисловість та енергетику. Він може допомогти нам декарбонізувати ці галузі та досягти чистої енергії. Він не генерує жодних викидів парникових газів. Це означає, що він може допомогти нам зменшити наш вплив на навколишнє середовище та боротися зі зміною клімату. Він гнучкий і може використовуватися в різних галузях промисловості. Це означає, що він може допомогти нам декарбонізувати широкий спектр економічних секторів. Він має високий енергетичний потенціал. Це означає, що він може забезпечити значну кількість чистої енергії.

Безумовно, існують виклики, які необхідно подолати, щоб зробити "зелений" водень більш комерційно життєздатним і доступним. Одна з головних проблем полягає в тому, що собівартість виробництва зеленого водню все ще досить висока.

Тим не менш, уряди і компанії по всьому світу інвестують в розробку і виробництво зеленого водню, що допоможе знизити собівартість його виробництва і зробити його більш доступним.

Так, політична підтримка та промисловий імпульс водню продовжує зростати. Понад 50 країн світу взяли на себе зобов'язання щодо водневої дорожньої

карти з конкретними цілями. Досягти чистого нуля без водню просто неможливо, і ми очікуємо, що попит на нього зросте з 80 млн т/рік до 600 млн т/рік до 2050 року, або ~12% від загального попиту на енергію. Понад 1 000 проєктів з виробництва чистого водню було оголошено в усьому світі, що додає до 63 млн т/рік пропозиції водню. У найближчій перспективі 2022 рік стане проривним для "зеленого" водню на тлі зростання цін на газ завдяки 6-кратному збільшенню продажів електролізерів до 3 ГВт [21, 34]. До 2030 року планується досягти щонайменше 280 ГВт встановленої потужності, і це лише початок. Хоча зелений водень буде довгостроковим рішенням, ми все ще очікуємо, що блакитний водень відіграватиме важливу роль доти, доки відновлюваних потужностей буде достатньо як для зеленої електроенергії, так і для водню. Автомобілі на паливних елементах (FCEV) також зростають. Продажі FCEV в Китаї зросли майже на 200% у 1 півріччі 22 року. Китай має на меті досягти 1 мільйона FCEV на дорогах до 2030 року [33].

Державна політика залишається важливою для розвитку водневої економіки, але суть полягає в тому, що водень повинен стати більш екологічним, дешевим і широкодоступним. Субсидії необхідні для того, щоб дозволити галузі розширити масштаби і знизити витрати. Ми очікуємо, що до кінця десятиліття вартість "зеленого" водню буде дешевше, ніж сьогоднішня сира нафта в енергетичному еквіваленті. Витрати на транспортування та дистрибуцію також мають знизитися. Для транспортування на великі відстані практичним рішенням сьогодні є аміак, але рідкий водень є більш перспективним рішенням у довгостроковій перспективі. Водень, що постачається з насосів за ціною 5-10 доларів США/кг, сьогодні є конкурентоспроможним порівняно з дизельним паливом, але для того, щоб водень міг конкурувати в промисловості та енергетиці, його вартість має знизитися до 2 доларів США/кг [34]. Хороша новина полягає в тому, що технологія паливних елементів вже зараз придатна для використання і не потребує нових технологічних проривів. Протонно-обмінні мембранні (ПЕМ) та твердооксидні паливні елементи, ймовірно, домінуватимуть у транспорті, енергетиці та електролізерах.

Цілі декарбонізації передбачають, що водень може стати галуззю з річним обсягом продажів 2,6 трлн доларів США до 2050 року. Сукупні продажі паливних

елементів для транспорту, енергетики та електролізерів для виробництва "зеленого" водню можуть становити до 10 трлн доларів США протягом наступних 30 років, або 10% від загального обсягу енергетичного переходу в 100 трлн доларів США.

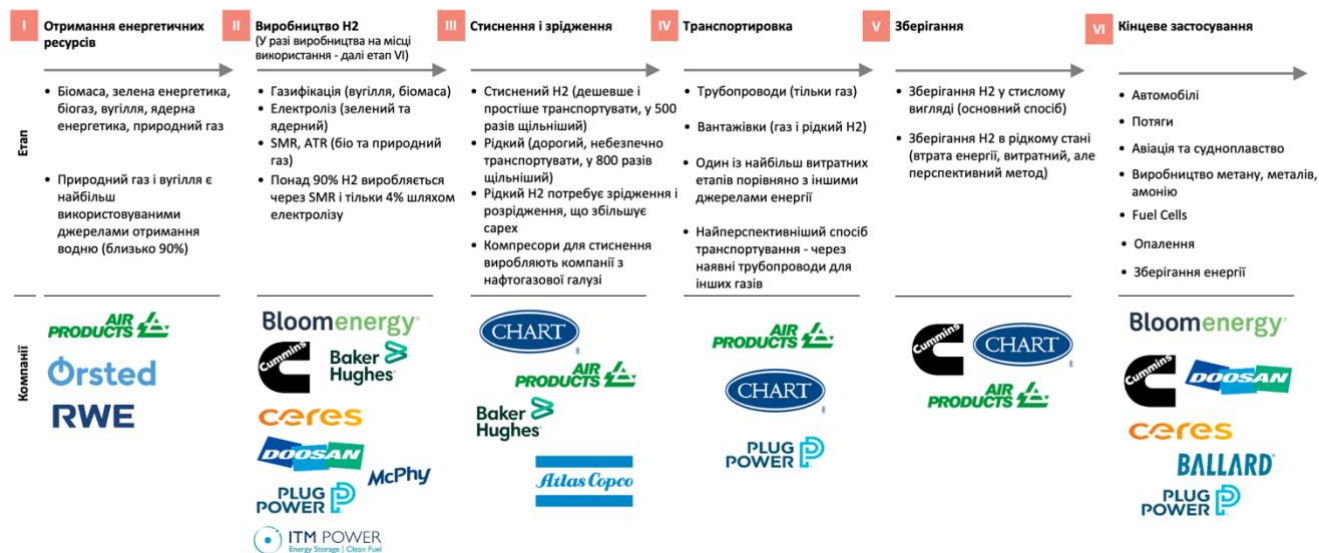


Рис. 3.1 – Value Chain зеленого водню.

Джерело: складене автором на основі особистого аналізу всіх вказаних компаній і їх бізнесів.

Потенційні кінцеві сектори-споживачі водню:

- Автотранспорт (2025 - вантажівки, 2030 - SUV). H2 менш вигідний для автомобілів через поширення електробатарей, але більш вигідний для вантажівок. Переваги: швидка заправка, велика дистанція. Поїзди (2025 - регіональні поїзди)
- Як у випадку і з вантажівками, для далеких поїздок найбільш вигідним рішенням може стати водень. Але на поточному етапі існує проблема зберігання водню - потрібно у 8х більше місця.
- Авіація (2030+). Використання водню в літаках наразі досліджується або шляхом використання паливних, або шляхом його спалювання в авіаційних двигунах у рідкій або газоподібній формі.

- Судноплавство (2030 - 2035). H₂ - найкраще рішення для суден, яким потрібно долати великі дистанції. Наразі використовується на малих і середніх судах.

- Цементна та металургійна галузь. Під час спалювання вугілля і газу в печі на заводах викидається 50% всіх CO₂ у цементній і металургійній індустрії. Переведення печей на водень - основне рішення для цієї галузі (спільно з CCUS).

- Резервне паливо. Нафтопереробні та нафтохімічні заводи використовують водень для десульфурації виробленого ними палива. Однак можливості застосування H₂ виходять далеко за рамки сіркоочищення.

У value chain H₂ багато компаній прагнуть вертикальної інтеграції, перебуваючи на різних етапах ланцюжка створення водню. Деякі етапи перетинаються з іншими галузями, особливо з нафтогазовою галуззю, де вже давно існують технології, застосовні для виробництва H₂.

Газові турбіни є найбільш популярним способом створення енергії, однак, відсутність можливості спалювати 100% водень - унеможливорює виконання планів з декарбонізації. А турбіни завжди включають в себе тільки якусь частку водню (зазвичай це до 50%).

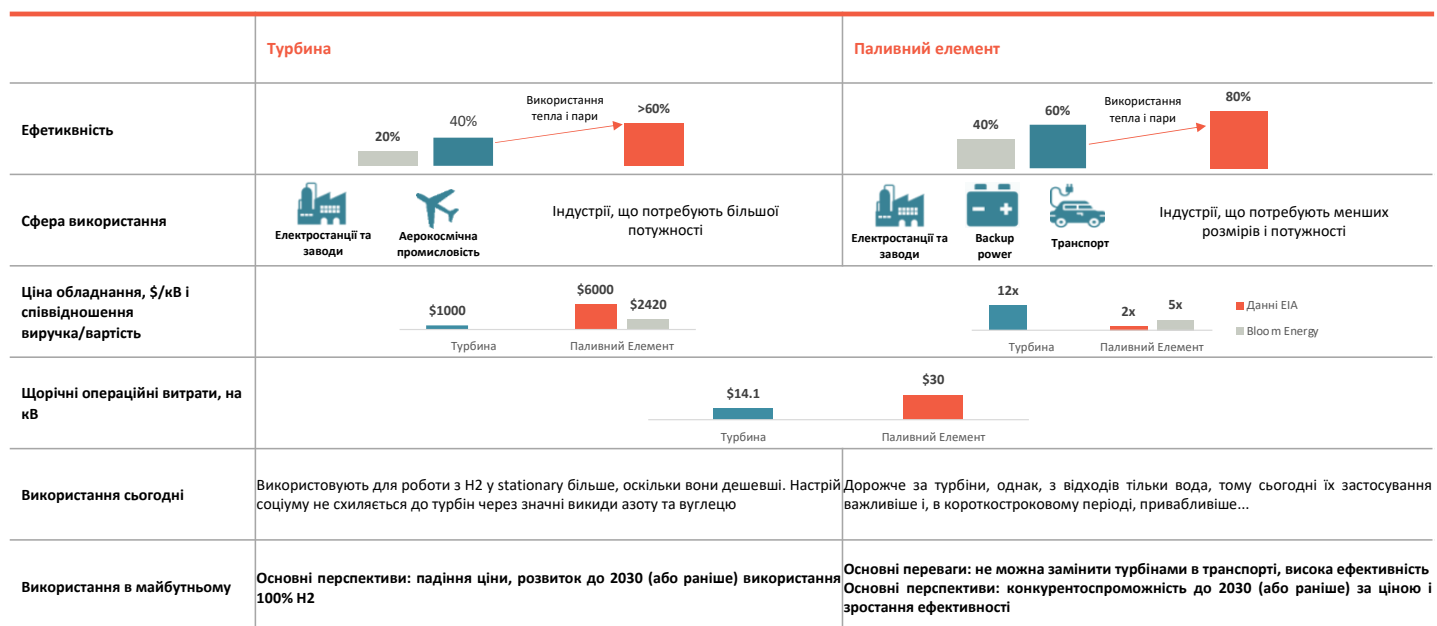


Рис. 3.2 – Сфери використання зеленого водню: Турбіни vs Паливний Елемент.

Джерело: складене автором на основі особистого аналізу всіх вказаних компаній і їх бізнесів.

Для виробництва зеленого водню потрібно від 30 до 120 ЕДж відновлюваної електроенергії (еквівалент від 4 до 16 ТВт сонячних і вітряних генерувальних потужностей). На сьогодні тільки лише все світове виробництво електроенергії становить близько 7 ТВт, при цьому сонячні та вітрові потужності становлять 1 ТВт. Ці значення говорять про потребу щонайменше 4 кратного зростання потужностей.

Державна політика, яка підтримує водневу енергетику, залишається критично важливою для розвитку водневої галузі. Багато компаній підкреслили високий рівень зацікавленості у водневій енергетиці, але також і проблеми, пов'язані з тим, щоб переконати клієнтів взяти на себе зобов'язання. Багато компаній вважають, що вартість водню значно знизиться, а це означає, що у них є стимул відкласти інвестиції, а не брати на себе зобов'язання сьогодні. Однак уряди можуть розірвати це коло. Для виробників електромобілів існують субсидії для компаній, які впроваджують технології на ранніх стадіях, які поступово припиняються в міру зниження витрат; це може бути застосовано до водневих FCEV. Китай є лідером у цьому питанні. Альтернативи включають обов'язкове виробництво певної кількості "зеленого" водню (як це робить ЄС), ціноутворення на викиди вуглецю для

компаній, які вирішили забруднювати навколишнє середовище, або податок на прикордонне коригування викидів вуглецю, щоб запобігти перенесенню виробництва в країни з менш суворими цілями.

У США політика починає змінюватися, але повільно. У 2022 році США оголосили про ухвалення Закону про оборону для заохочення внутрішнього виробництва паливних елементів, електролізерів та ключових матеріалів для ланцюжку створення вартості, включаючи платину та іридій. Інші заходи включають податковий кредит у розмірі 3 долари США за кілограм для "зеленого" водню. Це може змінити правила гри для галузі. Фінансування (8-10 млрд доларів США) на підтримку розвитку водневих кластерів також є ймовірним і може прискорити використання водню в США. У Південній Кореї водень буде підтримуватися за допомогою спеціального стандарту портфеля чистих водневих проектів (Clean Hydrogen Portfolio Standard, CHPS) [35]. Попередні цілі були спрямовані на досягнення 8 ГВт внутрішньої потужності водневих паливних елементів до 2040 року. В останніх цілях цей показник буде прискорено до 6 ГВт до 2030 року, що означає >600 МВт на рік у водневій енергетиці протягом наступних восьми років. Це означає значне збільшення у порівнянні з запланованим на сьогодні щорічним зростанням потужності на 400 МВт. До 2050 року, якщо водень досягне цільового показника у 25% в енергобалансі, може знадобитися потужність у 36 ГВт [35]. У Китаї, який має одну з найбільш сприятливих політик щодо водню, розгортається кластерна програма в Пекіні, Гуандуні, Шанхаї, Хебеї та Хенані. Не виключено, що вона буде розширена і на інші провінції. Ціни на водень на заправках були обмежені на рівні 35 юанів за кілограм, а для заохочення переходу на автомобілі з водневими паливними елементами були оголошені субсидії в розмірі до 150 тис. доларів США за транспортний засіб. Однак, згідно з дорожньою картою розвитку водню, оголошеною в 2022 році, в найближчі роки основна увага буде зосереджена на розробці технологій і зниженні витрат, а не на розширенні галузі, яке, ймовірно, почнеться лише з 2025 року і надалі. Але до 2030 року Китай прагне досягти 100 ГВт потужності електролізерів і одного мільйона FCEV на дорогах [34]. Це більше, ніж будь-яка інша країна. В Європі основна увага

приділяється зростанню пропозиції водню, особливо "зеленого" та "блакитного" водню. Європа має намір досягти 180 ГВт потужності електролізерів до 2030 року, що є більшим показником, ніж у будь-якому іншому регіоні. В рамках плану RePower EU Plan, спрямованого на забезпечення енергетичної безпеки після російського вторгнення в Україну, Європа має намір досягти виробництва водню в обсязі 20 млн т/рік. У той час як багато уваги приділяється пропозиції водню, менше уваги приділяється ініціативам з боку попиту на транспорті, промисловості та енергетиці. Великобританія була однією з найбільш прогресивних країн у впровадженні водню. Серед інших країн, які також активно розробляють водневі дорожні карти та плани, - Канада, Австралія, Чилі та деякі регіони Близького Сходу (Саудівська Аравія та ОАЕ). Станом на сьогодні понад 50 країн світу оголосили про створення водневих дорожніх карт.

	 Європа	 Китай	 Південна Корея	 США - Каліфорнія
Основні плани	Директива від AFID: встановлено цілі для водневих станцій Hydrogen Strategy for a Climate-neutral Europe: 2024 рік - виробництво 1 млн тонн водню і встановлення електролізерів із загальною потужністю 6 GW; 2030 рік - виробництво 10 млн тонн водню і 2x40GW; 2050 рік - використання H2 у всіх секторах, де альтернативні джерела енергії дорожчі.	Fuel Cell Development Plan: 10 міст для розвитку інфраструктури та паливних елементів, протягом 4 років, з інвестиціями в \$260M у кожне місто. NDRC план щодо H2 - TBA	Hydrogen Roadmap - 2050 рік: H2 - 20% від усієї енергії, \$62B продажів H2 і устаткування, 600K робочих місць, і \$31-49B на виробництво H2 і \$40-52B на використання/зберігання H2. Hydrogen Act: додаткові регуляції, субсидії та податкові пільги для досягнення цілей 2050 року. Hydrogen Energy Portfolio Standard: з 2022 року може зобов'язати 21 найбільшу компанію Кореї використовувати водень за допомогою 8 GW fuel cells до 2040 року.	California Fuel Cell Partnership: до 2030 року мають встановити 1,000 станцій H2 і 1 мільйон FCEV. Assembly Bill забезпечує \$20 млн щорічно для побудови щонайменше 100 водневих станцій. CEC plan for clean transportation, буде виділено \$70 млн на станції і \$129.8 млн на medium and heavy duty vehicles протягом наступних 3 років.
Роки прийняття	Директива від AFID - 2014 рік Hydrogen Strategy for a Climate-neutral Europe - червень 2020 року	План розвитку паливних елементів - 2020 рік	Hydrogen Roadmap - січень 2019 року Hydrogen Act - лютий 2021 року Hydrogen Portfolio Standard - 2022 рік	California FC Partnership - 2018 рік Assembly Bill 8 - 2013 рік CEC plan - жовтень 2020 року
Ціль з транспортної індустрії	2025: заправки для 300 вантажівок; <2030: мінімум 1,000 станцій кожні 200 км по TEN-T core network, >6т щоденних потужностей станцій.	TBA	2022: 310 станцій, 810,000 FCEV; 2040: 1,200 станцій, 6.2M FCEV; 2050: 7M пасажирських FCEV, 1M вантажівок	2030: 1,000,000 FCEV, 1,000 станцій
Ціль по industrials	NA	TBA	2050: 60TWh генерації енергії, 120 TWh опалення та енергії	NA
Обсяг інвестицій	2030: \$29-51 млрд на установку електролізерів, \$79 млрд на виробництво і зберігання водню. Потенційне розширення до \$565B до 2030 року.	TBA	2050: \$31B-\$49 млрд на виробництво водню; \$40-52B на використання/зберігання H2	2030: ~\$90 млн на станції H2, ~\$129.8 млн на середні та важкі транспортні засоби

Рис. 3.3 – Водневі дорожні карти [36].

Хоча оцінки частки водню значно варіюються від кількох відсотків до 20-25%, більшість вважає, що водень становитиме 12-15% енергетичного балансу, що передбачає попит на рівні понад 600 млн т/рік (порівняно з нинішнім попитом у 80 млн т/рік). Більше того, тиск на декарбонізацію є більшим, ніж будь-коли. Оскільки рівень CO2 сягає 420 ppm, що на 10 ppm менше межі, яка дозволяє утримати

глобальне потепління в межах 1,5°C, необхідно терміново вжити заходів для значного зниження рівня CO₂. За даними Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (МГЕЗК), до 2030 року необхідно скоротити викиди CO₂ на 50%, що означає збільшення інвестицій у водень, відновлювані джерела енергії, акумулятори, уловлювання вуглецю та ядерні технології. На нашу думку, майже неможливо уявити, як ми досягнемо чистого нуля без використання водню для заміщення викопного палива у галузях, що важко піддаються декарбонізації, де електроенергія або акумулятори менш ефективні через меншу щільність енергії. Ми бачимо великі можливості для водню на ринках великовантажного транспорту, промисловості та енергетики. За нашими оцінками, до 2050 року загальний сукупний попит на водень становитиме 2,6 трлн доларів США на рік. Неминуче, що багато водневих компаній залишатимуться збитковими, враховуючи вищу вартість водню порівняно з іншими видами палива. Ситуація зміниться, коли галузь почне розширюватися, так само, як ми бачили у сонячній, вітровій, акумуляторній та електромобільній енергетиці. Зростання відсоткових ставок, безумовно, є більш складним для цих компаній, оскільки їхня оцінка залежить від довгострокових грошових потоків. Хоча ще рано говорити про це, ми вважаємо, що точка перегину для водню настане у 2025-30 роках, коли ми перейдемо від фази демонстрації до фази імплементації.

Враховуючи що ми вже проаналізували і побачили, що сонячна енергетика є найбільш перспективною, ми хочемо проаналізувати перспективи розвитку водню через використання сонячної енергетики.

1. Витрати на сонячні панелі

За останні роки ціна на сонячні фотоелектричні системи значно знизилася. За десять років ринкові ціни на фотоелектричні модулі впали приблизно на 90%, тоді як ціни на системи знизилися майже на 80%, в результаті чого сонячна енергія стала найдешевшим ресурсом для виробництва електроенергії в багатьох регіонах світу, а в деяких країнах угоди про купівлю електроенергії можуть коштувати до 10 фунтів стерлінгів за МВт-год. Дискусії зосереджені на фотоелектричних системах комунального масштабу, які мають потужність 100 МВт або більше [37, 41, 42].

Експлуатація та обслуговування (O&M) є основним компонентом OPEX. Витрати на O&M варіюються залежно від розміру системи, обсягу O&M та місця розташування. У 2019 році Bloomberg New Energy Finance (BNEF) повідомив, що середня ціна контракту на повну експлуатацію та обслуговування становила 6,7 євро/кВт/рік, хоча вартість може бути меншою за 4 євро/кВт/рік у випадку більшого проекту або меншого обсягу. За відправну точку приймається 1% капітальних інвестицій (4,7 євро/кВт/рік) у 2020 році. Інші компоненти OPEX, окрім EE, включають оренду землі, страхування, плату за користування мережею, балансування, управління активами та різноманітні податки. Сума цих елементів витрат варіюється в залежності від країни та проекту. Ціна на експлуатацію та обслуговування передбачає загальну вартість цих компонентів; отже, загальні операційні витрати у 2020 році становили 9,4 євро/кВт/рік. Прогнозується, що в майбутньому OPEX зменшиться на 10% в річному обчисленні [38, 39, 40].

2. Витрати на електроліз

Вартість електролізерів сильно залежить від масштабу. Сьогодні електролізер потужністю 200 кВт-год у 2,3 рази дорожчий за одиницю, ніж електролізер потужністю 1 МВт-год, а електролізер потужністю 1 МВт-год у 2,4 рази дорожчий за одиницю, ніж електролізер потужністю 100 МВт-год. Разом ці цифри дають 5,5-кратне збільшення між 200 кВт-год і 100 МВт-год. Це важливо, оскільки більшість проектів електролізерів у 2018 році все ще не перевищували 1 МВт-год, тоді як зараз доступні системи потужністю 100 МВт-год. Масштабування досягається за допомогою багаторушних систем, які дозволяють модульну конструкцію та економію витрат завдяки масовому виробництву. IRENA стверджує, що вартість інвестицій в електролізери потужністю 100 МВт-год становить 370 фунтів стерлінгів за кВт-год (у перерахунку з 450 доларів за кВт-год за обмінним курсом на травень 2021 року). Цей рівень витрат охоплює всі витрати на систему, включаючи електролізери, баланс заводу, монтаж, будівельні роботи, підключення до електромережі та комунальні послуги. Можна стверджувати, що інвестиційні витрати на гібридну фотоелектричну та електролізерну установку будуть значно

нижчими, оскільки підключення до електромережі може використовуватися обома технологіями. Ще однією перевагою використання постійного струму, виробленого фотоелектричними установками, в електролізері є економія витрат на силову електроніку. Це становить приблизно 20% від загальної вартості системи потужністю 100 МВт-год. Пропозиції китайських виробників повідомляють про вартість системи на рівні 200 доларів США за кВт-год. Однак тут використовується консервативна цифра 400 євро за кВт-год. як базова ціна для електролізерної системи потужністю 100 МВт-год. у 2020 році. Вартість майбутніх електролізерних систем буде залежати від зростання обсягів виробництва та LR. Виходячи зі сценаріїв зростання обсягів, показаних на Рисунку 3, при прийнятті 18% LR, капітальні витрати на електролізери зменшаться, як показано на Рисунку 4. У базовому сценарії CAPEX системи становитиме 240 євро/кВт-год у 2030 році, 140 євро/кВт-год у 2040 році та 80 євро/кВт-год у 2050 році [38, 39, 40, 43, 45].

Розрахунок витрат на зелений водень

$$\begin{aligned}
 LCOH = & \frac{CAPEX_{PV} + \frac{InvRepl}{(1+WACC_{nom})^{0.5 \times N}} + \sum_{t=1}^N \left[\frac{OPEX_{PV}(t)}{(1+WACC_{nom})^t} \right]}{Eff \times \sum_{t=1}^N \left[\frac{Yield(0) \times (1-Degr)^t}{(1+WACC_{real})^t} \right]} \\
 & + \frac{CAPEX_{el} + \frac{StackRepl}{(1+WACC_{nom})^{20}} + \sum_{t=1}^N \left[\frac{OPEX_{el}(t)}{(1+WACC_{nom})^t} \right]}{Eff \times \sum_{t=1}^N \left[\frac{FLH(0) \times (1-Degr)^t}{(1+WACC_{real})^t} \right]}
 \end{aligned}$$

(3.1)

LCOH - це сума вартості електроенергії та електролізу за коефіцієнтом використання, де N - економічний термін служби системи; t - номер року від 1 до N; CAPEXPV - капітальні витрати на фотоелектричну систему, здійснені в t ¼ 0 в €/кВт-год; InvRepl - витрати на заміну інвертора в t ¼ N/2 в €/кВт/год; OPEXPV(t) - витрати на експлуатацію та обслуговування фотоелектричної системи в рік t в €/кВт/год; Yield(0) - початкова річна продуктивність фотоелектричної системи в рік 0 в кВт-год/кВт/год без деградації; Degr - річна деградація номінальної потужності

системи; Eff - ефективність електролізера; $CAPEX_{el}$ - капітальні витрати на електролізерну систему, здійснені в $t = 0$ в €/кВт; $StackRepl$ - витрати на заміну штабеля електролізера, здійснені в $t = 20$ в €/кВт; $OPEX_{el}(t)$ - витрати на експлуатацію та обслуговування електролізера в рік t в €/кВт; $FLH(0)$ - початкова річна кількість годин повного завантаження електролізера в році 0 в годинах без деградації; $WACC_{nom}$ - номінальна середньозважена вартість капіталу на рік; i - $WACC_{real}$ - реальна середньозважена вартість капіталу на рік. У цьому дослідженні всі результати наведено в реальних грошах 2021 року. Оскільки тут використовуються номінальні ставки WACC, для отримання реальних значень необхідно враховувати інфляцію. Наприклад, номінальний WACC на рівні 4% при інфляції 2% відповідає реальному WACC на рівні 2%. Оскільки ставки WACC є дуже суб'єктивними і залежать, серед іншого, від країни, сегменту ринку, типу інвестора та схильності до ризику, до аналізу чутливості включено набір з трьох різних номінальних ставок WACC: 4%, 7% та 10%. Дохідність фотоелектричних станцій розраховується на основі бази даних Solargis для п'яти європейських та п'яти інших міст: Гельсінкі (Фінляндія), Мюнхен (Німеччина), Тулуза (Франція), Рим (Італія), Малага (Іспанія), Раджастан (Індія), Ель-Пасо (Техас, США), Західна Австралія, Південна Африка та пустеля Атакама (Чилі). Оскільки фотоелектрична система рідко генерує електроенергію на номінальній піковій потужності, доцільно збільшити розмір фотоелектричної системи по відношенню до вхідної потужності електролізера. Тут використовується коефіцієнт 1,33, що означає, що електролізери мають на 33% більше годин повного навантаження (ГПН) порівняно з вихідною потужністю фотоелектричної системи в кожному місці. Для початкових значень виходу фотоелектричної енергії передбачається 2% деградація в перший рік і щорічна деградація на 0,5% після цього.[32] У дослідженні 11 комерційних лужних електролізерів з вхідною електричною потужністю від 0,3 до 3,3 кВт щорічна деградація ефективності становила 0,10-1,50% при тривалості експлуатації від 50 000 до 96 000 годин.[62,63] Як базовий випадок тут передбачається деградація на 0,5%. У таблиці 1 наведено вихід фотоелектричної енергії та FLH електролізера для кожного місця розташування. Термін служби фотоелектричної системи

приймається рівним 30 рокам, що стає галузевим стандартом для гарантій виробництва фотомодулів.[32] Припускається, що заміна інвертора відбувається в половині терміну служби фотоелектричної системи. Термін служби електролізера також становить 30 років. Термін служби електролізерів повинен становити до 90 000 годин, що має бути достатнім для 30-річного очікуваного терміну служби фотоелектричної системи в обраних європейських регіонах. Однак для місць, розташованих ближче до екватора, використання електролізера протягом 30 років може перевищити 90 000 годин. З цієї причини в рівняння включена одна заміна електролізерів, що становить 25% капітальних інвестицій через 20 років. Слід зазначити, що в багатьох звітах наводяться занадто високі цифри OPEX для фотоелектричних електролізерів, оскільки вони включають заміну штабелів в OPEX. Це значно перебільшує вплив заміни штабелів на LCOE, оскільки вона здійснюється лише один раз в кінці терміну служби системи і дисконтується до теперішнього часу в реальному вираженні.

Таблиця 3.1 – Дані по витратах на виробництво водню по країнам [44, 45, 46]

	Вихід фотоелектричної енергії [кВт-год (кВт/год) ⁻¹]	Коефіцієнт фотоелектричної потужності [%]	Електролізер FLH [h a ⁻¹]	Коефіцієнт використання потужності електролізера [%]
Гельсінкі, Фінляндія	1220	13.9	1620	18.5
Мюнхен, Німеччина	1370	15.6	1820	20.8
Тулуза, Франція	1580	18.0	2100	24.1
Рим, Італія	1900	21.7	2530	28.9
Малага, Іспанія	2110	24.1	2810	32.1
Раджастан, Індія	2120	24.2	2820	32.2
Техас, США	2530	28.9	3370	38.5
Західна Австралія	2660	30.4	3540	40.4
ПАР	2710	30.9	3610	41.2
Атакама, Чилі	3230	36.9	4300	49.1

Як вже було згадано, Водень є дуже універсальним енергоносієм, який може використовуватися в секторі виробництва електроенергії, зберігання, транспортування, опалення та енергопостачання будівель, в промисловості та як сировина для промисловості, безпосередньо, а також опосередковано для виробництва електронного палива та електронних хімікатів. У наступних розділах порівняння буде зроблено з паровим метаном.

Виробництво водню шляхом риформінгу парового метану

Поточні капітальні інвестиції в паровий метановий риформінг (SMR) без уловлювання та зберігання вуглецю (CCS) становлять 800 фунтів стерлінгів/кВт-год_{2,LHV}, а операційні витрати - 38 фунтів стерлінгів/кВт-год_{2,LHV} на рік при ефективності 76%. Коли водень виробляється в SMR з використанням природного газу за ціною 15 фунтів стерлінгів за МВт-год, при 8000 годинах повного навантаження (FLH), 30-річному терміні служби і номінальній WACC 7% при річному темпі інфляції 2%, LCOH становить 31 фунт стерлінгів за МВт-год_{2,LHV} (1,0 фунт стерлінгів за кгH₂) без УЗВ. На сьогоднішній день капітальні витрати на SMR з УЗВ складають близько 1500 фунтів стерлінгів/кВт-год_{2,LHV}, а операційні витрати - 44 фунтів стерлінгів/кВт-год_{2,LHV} на рік при ефективності 69%[23]. При ціні природного газу 15 фунтів стерлінгів/МВт-год, 8000 FLH, 30-річному терміні експлуатації та номінальній середньорічній вартості капіталу (WACC) 7% при річному темпі інфляції 2% це призводить до показника LCOH приблизно 50 фунтів стерлінгів/МВт-год_{2,LHV} (1 фунт стерлінгів. 7/кгH₂), якщо врахувати витрати на транспортування та зберігання CO₂[64]. Крім того, необхідно взяти до уваги витрати на 10% CO₂, які не вловлюються УЗВ. Виходячи з цих показників витрат, сонячний водень вже є конкурентоспроможним порівняно з низьковуглецевим воднем на основі природного газу у всіх п'яти розглянутих неєвропейських регіонах, а також у Південній Європі. До 2030 року він буде конкурентоспроможним по всій Європі. У довгостроковій перспективі сонячний водень буде конкурентоспроможним у всіх європейських регіонах, навіть без урахування додаткових витрат на УЗВ [45].

Використання "зеленого" водню в транспортному секторі є можливим.

Вартість експлуатації транспортного засобу на паливних елементах (ПЕ) на відстані 1 км залежить від ефективності транспортного засобу (в $\text{кгH}_2/\text{км}$) і відносної вартості в $\text{євро}/\text{кгH}_2$. Розглядаючи водневий автобус як приклад, його ефективність становить приблизно $0,1 \text{ кгH}_2/\text{км}$ ($10 \text{ кгH}_2/100 \text{ км}$). Відповідно до вартості, наведеної в розділі 6.1, і при використанні H_2 , виробленого SMR, загальна вартість пробігу на 1 км становитиме $0,1 \text{ євро}/\text{км}$ без УЗВ і $0,17 \text{ євро}/\text{км}$ з УЗВ. Вартість виробництва водню з використанням фотоелектричних установок промислового масштабу (див. Рисунки 5 і 6) коливається від 1,0 до 2,7 фунтів стерлінгів за кг H_2 залежно від широти в 2021 році. Однак, за прогнозами, ця вартість знизиться до $0,7\text{-}1,8$ фунтів стерлінгів за кг H_2 до 2030 року.

Очікується, що до 2030 року вартість "зеленого" водню знизиться приблизно на третину, а до 2050 року - приблизно на дві третини. Слід зазначити, що хоча "зелений" водень може швидко стати більш життєздатним економічним варіантом, ніж водень, створений за допомогою методу SMR, він потребує подальшого порівняння з електричними автобусами з акумуляторними батареями, яким надається перевага через їхні нижчі капітальні витрати і витрати на енергопостачання. Таким чином, наразі вони є кращим видом транспорту для місцевих транспортних організацій [49, 50].

Зелений водень для сектору опалення будівель

Комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (ТЕЦ) може інтегрувати системи паливних елементів (ПЕ) для забезпечення будівель теплом та електроенергією. Оптимальним методом опалення та охолодження нових та реконструйованих будівель є використання теплових насосів з електричним приводом. Для використання водню як альтернативи тепловим насосам необхідно розробити інфраструктуру, порівнянну з тією, яка зараз використовується для природного газу, щоб транспортувати його до будівель з обмеженими загальними втратами. Цей шлях видається нездійсненним для масового впровадження "зеленого" водню, і тому він не перебуває в центрі уваги ретельного економічного аналізу, який би вимагав включення витрат на інфраструктуру [45, 49].

Зелений водень у промислових процесах

Зростаюча доступність "зеленого" водню відкриває шлях до нових можливостей у хімічних процесах, наприклад, у секторі "зеленої сталі", де водень замінює кокс як відновник, а побічним продуктом замість вуглекислого газу є водяна пара. Європейська дорожня карта з водню оцінює попит на водень у 665 ТВт-год (амбітний сценарій), з яких 427 ТВт-год для існуючої промислової сировини і 62 ТВт-год для нової промислової сировини. Водень відіграватиме вирішальну роль, особливо у галузях, які важко скоротити, і де водень вже використовується як сировина, навіть за найамбітнішим сценарієм у 2030 році. Однією з таких галузей промисловості є виробництво хлору/соди, де водень є побічним продуктом. Для виробництва 35,5 кг хлору, 40 кг каустичної соди та 1 кг H_2 хлорно-лужний процес потребує 97 кВт-год. Отже, для виробництва 1 кг H_2 потрібно 1,3 кВт-год. Дуже важливо, щоб електроенергія, яка використовується для керування процесом, повністю походила з відновлюваних джерел. Собівартість виробництва 1 тонни Cl_2 залежить від витрат електроенергії, солі та води, хімічних реагентів, пари та виробництва. Компанія Eurochlor пропонує ціну від 140 до 500 фунтів стерлінгів за тонну Cl_2 , при цьому витрати на електроенергію коливаються від 34 до 86 фунтів стерлінгів/МВт-год. Вартість виробництва 28 кілограмів газу H_2 як побічного продукту становить від 0,064 до 0,23 фунта стерлінгів за кілограм H_2 . Доступ до фотоелектричної генерації та ціни на електроенергію, нижчі за 34-86 фунтів стерлінгів/МВт-год, призведуть до зниження собівартості виробництва H_2 як побічного продукту. Очікується, що значний обсяг промислового попиту буде забезпечений хімічною промисловістю, яка використовує е-аміак та е-метанол як сировину для виробництва неорганічних хімікатів. Ці основні сипучі хімікати вважаються основою, на якій будується хімічна промисловість. Очікується, що у 2050 році попит на зелений водень для хімічної промисловості у вигляді е-аміаку сягне приблизно 3800 ТВт-год-год², а для е-метанолу - приблизно 15 200 ТВт-год-год² [45, 49].

Зелений водень для виробництва електроенергії

Водень розглядається як життєздатне паливо для збалансування нерівномірного розподілу між споживанням електроенергії та відновлюваними

джерелами енергії. Газові турбіни, що працюють на природному газі, використовуються для виробництва електроенергії в години пік. Виробники газових турбін вже випустили більші агрегати, які працюють на високих сумішах водневого палива, а турбіни, що працюють виключно на водні, перебувають у стадії розробки. Виробники газових турбін пообіцяли, що до 2030 року газові турбіни, що працюють на водневому паливі, будуть використовуватися на 100%. Згідно з оцінками, капітальні витрати (CAPEX) на газові турбіни з комбінованим циклом (ПГУ) будуть на 10-20% вищими при використанні водню в якості палива порівняно з природним газом, що призведе до зниження ефективності на 10%. Збільшення капітальних витрат на ПГУ, що працюють на природному газі, на 15% призводить до цифри 900 фунтів стерлінгів/кВт-год капітальних витрат, а ефективність знижується на 47%. Операційні витрати (OPEX) встановлені на рівні 2,5% від капітальних витрат (CAPEX) з розрахунковим терміном експлуатації 35 років. Зберігання водню у великих соляних кавернах або невеликих контейнерах, за прогнозами, коштуватиме близько 0,2 фунтів стерлінгів за кг H₂, тоді як локальний розподіл через трубопроводи коштуватиме приблизно 0,1 фунтів стерлінгів за кг H₂. Враховуючи поточну вирівнювану вартість водню (LCOH) на рівні 1,0 фунтів стерлінгів за кг H₂ в Атакамі, вартість водню на газотурбінній установці комбінованого циклу (ПГУ) становитиме 40 фунтів стерлінгів за МВт-год H₂, LHV (1,3 фунтів стерлінгів за кг H₂). При 3000 годинах повного навантаження (FLH) на рік для комбінованої газової турбіни, 7% номінальної середньозваженої вартості капіталу (WACC) і 2% річної інфляції, вирівняна вартість енергії (LCOE) для сонячного водню в Атакамі наразі становить 111 євро/МВт-год. У Гельсінкі, при поточній вартості водню 90 євро/МВт-год,2, нижчій теплотворній здатності (LHV) (еквівалент 3,0 євро/кгH₂), LCOE становитиме 217 євро/МВт-год з тими ж параметрами. Прогнозується, що до 2050 року LCOE при використанні сонячного водню знизиться до 64 євро/МВт-год в Атакамі та 102 євро/МВт-год у Гельсінкі.

Результати аналізу

Наразі сонячний водень коштує 31-81 євро/МВт-год H₂, скраплений водень (1,0-2,7 євро/кг H₂) у досліджуваних регіонах, що означає, що "зелений" водень все

ще не може конкурувати з природним газом як паливо. Тим не менш, ситуація швидко зміниться, оскільки витрати на сонячну електроенергію та електроліз води швидко зменшуються. Зелений водень стане більш конкурентоспроможним, як тільки буде повністю врахована вартість викидів CO₂ на реалістичному рівні. До 2030 року вирівняна вартість сонячного водню знизиться до 20-54 євро/МВт-год H₂,LHV (0,7-1,8 євро/кг H₂), що забезпечить його життєздатність як чистого, конкурентоспроможного палива в глобальному масштабі, особливо в порівнянні з воднем, виробленим з природного газу з технологією УЗВ. Крім того, коли масове виробництво електролізерів дійсно почнеться, з'явиться ще більша перспектива зниження витрат. На сьогоднішній день ініціативи з виробництва електролізерів були досить невеликими і часто індивідуальними, що призводило до значних капітальних інвестицій. Наразі існує значний попит на електролізери, який супроводжується недостатніми виробничими потужностями, що призводить до зростання цін. У майбутньому збільшення обсягів і конкуренція з боку азійських виробників повинні знизити ціни на електролізери, як це вже відбулося у фотоелектричній промисловості.

Крім того, високі операційні витрати, що використовуються в розрахунках, спричиняють збільшення LCOH у численних оцінках. Однак, насправді електролізні системи не потребують великих витрат на експлуатацію та технічне обслуговування. Якщо операційні витрати (OPEX) розраховуються як відсоток від початкових капітальних витрат (CAPEX), які є занадто високими, OPEX також стає занадто високим. Найважливішим компонентом, включеним до OPEX у більшості оцінок, є заміна електролізерної батареї. Заміна не повинна включатися в OPEX щороку, а повинна здійснюватися в той момент, коли вона необхідна, а потім дисконтуватися до теперішнього часу. Це може мати суттєве значення, особливо при високій середньозваженій вартості капіталу (WACC). В умовах з низьким сонячним виходом і низьким коефіцієнтом корисної дії електролізера заміна стеку може бути непотрібною. Правильний вибір розміру системи має вирішальне значення: пікова потужність фотоелектричної системи повинна постійно перевищувати вхідну потужність електролізера, оскільки він рідко працює на

максимальній потужності. Гібридна фотоелектрична вітроенергетична система, яка використовує взаємодоповнюючі криві генерації сонячної та вітрової енергії, значно підвищила б продуктивність електролізера FLH. Такі гібридні установки можуть бути інтегровані на місці (75) або відокремлені в місцях з оптимальними ресурсами і, в кінцевому підсумку, з'єднані лініями електропередач. Довгострокова цінність гібридних фотоелектричних і вітрових систем може бути обмежена через недорогу природу фотоелектричної електроенергії, як зазначають Fasihi і Breyer. Після проведення повної погодинної оптимізації з використанням припущень щодо вартості з 2018 року, а також гібридних фотоелектричних і вітрових систем, було встановлено, що собівартість виробництва зеленого водню у 2030 році становитиме приблизно 40-80 фунтів стерлінгів/МВт-год H_2 , LHV (що дорівнює 1,3-2,7 фунтів стерлінгів/кг H_2) для низки порівнянних регіонів по всьому світу. Порівняно з цим, вартість знизилася до 20-54 фунтів стерлінгів/МВт-год. Дослідження показало, що зелений водень на основі фотоелектричних перетворювачів можна виробляти за ціною 0,7-1,8 євро за кг H_2 . Воно документує значну динаміку зниження вартості сонячних фотоелектричних установок та електролізерів. Подальшого зниження вирівняної вартості водню (LCOH) можна досягти, використовуючи постійний струм, що генерується безпосередньо фотоелектричною системою. Перетворення між змінним і постійним струмом збільшує витрати і є неефективним, оскільки і фотоелектричні установки, і електроліз працюють на постійному струмі. Хоча системи постійного струму ще не є стандартом у водневому секторі, їх розробка необхідна для місцевого виробництва сонячного водню. Подальший потенціал для зниження витрат можуть мати електролізери з полімерною електролітною мембраною (ПЕМ), які ще не досягли такого ж рівня зрілості, як лужні електролізери. Однак певні матеріали, з яких виготовляються комірки ПЕМ, викликають певне занепокоєння щодо їхньої адекватності. Наприклад, доступність іридію може стати проблемою, коли встановлена потужність досягне декількох ГВт. Електролізери раніше були оптимізовані для промислових умов базового навантаження, тому можна стверджувати, що зростання темпів розвитку сонячної енергетики може поставити під загрозу ефективність, надійність і довговічність

електролізерів. Таке занепокоєння нехтує значними технічними можливостями електролізерів щодо нарощування потужності, які можуть легко відповідати темпам нарощування фотоелектричних установок у комунальному масштабі. Крім того, електролізери можуть підтримувати послуги зі стримування частоти на ринках електроенергії. Нарешті, з розвитком технології електролізерів пов'язаний з ними ризик, який сприймається інвесторами, повинен зменшитися, що призведе до зниження ставки WACC для інвестицій. Це заслуговує на увагу, оскільки аналіз чутливості підтверджує, що WACC є найважливішим вхідним параметром для розрахунку LCOH, після місця розташування та сонячної енергії. Тим не менш, необхідно чітко зазначити, що водень є складовою цілісної оптимізації енергетичної та промислової системи, де рішення з прямою електрифікацією, як правило, є більш економічно вигідними та ефективними, ніж водневі альтернативи, у випадках, коли доступна пряма електрифікація та водневі рішення. Однак певні сфери застосування не можуть бути безпосередньо електрифіковані в осяжному майбутньому або взагалі не можуть бути електрифіковані, наприклад, морські та авіаційні перевезення на далекі відстані, хімічне та сталеливарне виробництво, і, за прогнозами, ці сегменти попиту будуть домінувати у попиті на "зелений" водень у найближчі роки і десятиліття.

Так, зелений водень стане основним паливом і вирішальним енергетичним вектором для майбутньої на 100% сталої енергетики та промислової системи. Без суб'єктивних оцінок, до третини необхідної сонячної та вітрової електроенергії нарешті буде використовуватися для електролізу води з метою виробництва водню, тим самим збільшуючи сукупну потужність електролізерів приблизно до 17 ТВт-год до 2050 року. Існує значний потенціал для зростання за межами нинішніх 20 ГВт-год. Очікується, що витрати на електроліз знизяться завдяки масовому виробництву, зростанню обсягів і збільшенню розміру електролізера. За оцінками, капітальні витрати на електролізери для великої комунальної системи знизяться з нинішніх 400 євро/кВт-год до 240 євро/кВт-год до 2030 року і до 80 євро/кВт-год до 2050 року. Постійне зниження вартості сонячних фотоелектричних систем призведе до зниження показника LCOH з поточного рівня 31-81 євро/МВт-

год²,LHV (1,0-2,7 євро/кгH₂) до 20-54 євро/МВт-год²,LHV (0,7-1,8 євро/кгH₂) до 2030 року та 10-27 євро/МВт-год²,LHV (0,3-0,9 євро/кгH₂) до 2050 року, в залежності від місцезнаходження. До 2050 року частка фотоелектричної електроенергії в ЗППВ зросте з нинішніх 63% до 74%. До кінця цього десятиліття сонячне водневе паливо буде глобально більш економічним, ніж природний газ з воднем, виробленим за допомогою УЗВ.

3.2. Розробка інструментів вдосконалення енергетичної стратегії країни

Енергетична стратегія країни є основою її економічного розвитку, забезпечення енергетичної безпеки та захисту навколишнього середовища. Вона визначає пріоритети розвитку енергетичного сектору, напрями використання енергетичних ресурсів та заходи щодо підвищення енергоефективності.

У сучасних умовах, коли світова економіка стрімко розвивається, а виклики зміни клімату стають все більш серйозними, енергетичні стратегії країн повинні бути спрямовані на підвищення частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), зниження викидів парникових газів та забезпечення енергетичної безпеки.

Розробка інструментів вдосконалення енергетичної стратегії є важливим завданням для країн, які прагнуть до сталого розвитку. Ці інструменти повинні бути ефективними та економічно доцільними. Ми хотіли б розглянути які можуть бути ефективні стратегії для країн в цьому контексті, описавши використання усіх 4 напрямів про які ми говорили (сонце, водень, вітер, CCS та видалення CO₂).

Стратегії покращення вітряної енергетики

Так, основними проблемами вітряних турбін є діаметр лопаті та значний шум від них, яким примушує ставити турбіни та значній відстані від місць проживання людей. Логічним рішенням є використовування вітру у морях та океанах, що називається офшорним вітром. Однак, турбіни у морі встановлювати можна тільки на глибині до 50 метрів, в зв'язку з чим створили технологію плаваючого офшорного вітру, яка дозволяє встановлювати турбіни на буях на глибині 50-500 метрів. Не дивлячись на переважне обмеження у <50 метрів, темпи зростання встановлення подібних турбін починають перевищувати темпи встановлення турбін на землі, що буде продовжуватися і надалі. На сьогодні в Європі майже немає

плаваючих офшорних турбін, утім, на 2050 рік, ця технологія буде складати 14% від офшорного вітру, себто 3% усієї енергії в Європі.



Рис. 3.4 – Технології офшорної вітряної енергетики [21].

Іншу технологією, яка має потенціал подолати проблему діаметру лопатей, представила Іспанська компанія Vortex. Наразі це лише на рівні стартапу у розроботці, але дана технологія може дозволити використовувати енергію вітру за рахунок вібрацій, а не через силу обертання лопатей.

Таким чином, країнам, у яких є можливість розміщати вітряну енергетику в морі/океані, дуже важливо було б почати встановлювати плаваючі станції на далекій глибині. Плаваючі станції – це нова технологія, яка потребує сильного скорочення в ціні проведення дротів і капексів для повноцінно ефективного функціонування. В той самий час для країн з меншою територією і без виходу в море, дуже гарним варіантом було б застосування технології Vortex, яка на даний момент не користується великою популярністю і залишається локальним

стартапом, оскільки, не дивлячись на геніальність технології, удешевлення буде потребувати значного масштабування.

Стратегії покращення сонячної енергетики

Не дивлячись на швидкий розвиток сонячної енергетики, ціна залишається проблемою, як вже було згадано раніше. Утім, не в усіх країнах це настільки велика проблема.

Ціна на сонячну енергетику залежить від багатьох факторів, зокрема, від вартості обладнання, вартості праці та місцевих умов. У Китаї, де є потужна промисловість сонячної енергетики та низька вартість праці, ціна на сонячну енергетику є порівняно низькою.

Це побуджує такі країни як США експортувати сонячну енергетику з Китаю. У 2020 році США імпортували з Китаю сонячної продукції на суму 12,1 мільярда доларів. Це становить близько 40% загального імпорту сонячної продукції в США.

Однак, США накладає великі тарифи на імпорт сонячної енергетики з Китаю. У 2018 році США ввели тарифи на сонячні фотоелектричні модулі з Китаю на рівні 30%. Ці тарифи були введені з метою захисту американської сонячної промисловості.

Тарифи на імпорт сонячної енергетики з Китаю негативно вплинули на розвиток сонячної енергетики в США. Вони призвели до підвищення ціни на сонячну електроенергію для споживачів, а також до скорочення інвестицій у сонячну енергетику.

Зменшення тарифів на імпорт сонячної енергетики з Китаю могло б мати дуже позитивний вплив на сонячну енергетику в США. Це дозволило б:

Знизити ціну на сонячну електроенергію для споживачів, що стимулюватиме її поширення;

Створити додаткові робочі місця в США;

Зменшити залежність США від імпортних джерел енергії;

За даними Асоціації сонячної промисловості США (SEIA), зменшення тарифів на імпорт сонячної енергетики з Китаю на 25% могло б призвести до

скорочення ціни на сонячні фотоелектричні модулі на 10%. Це дозволило б знизити вартість сонячної електроенергії на 20% для споживачів.

SEIA також оцінює, що зменшення тарифів на імпорт сонячної енергетики з Китаю створило б 100 000 нових робочих місць у США. Ці робочі місця були б зосереджені в таких галузях, як виробництво сонячного обладнання, монтаж сонячних систем та обслуговування сонячних електростанцій.

Крім того, зменшення тарифів на імпорт сонячної енергетики з Китаю дозволило б США зменшити свою залежність від імпортних джерел енергії. Китай є найбільшим виробником сонячного обладнання у світі, і він експортує сонячну енергетику до багатьох країн, включаючи США. Зменшення тарифів на імпорт сонячної енергетики з Китаю дозволило б США виробляти більше сонячної енергії всередині країни, що зменшило б залежність від імпорту.

Розуміючи важливість цих дій, вже 10 січня 2023 року президент США Джо Байден підписав указ, який зменшив тарифи на сонячні модулі з Китаю на 15%. Це було зроблено для того, щоб стимулювати розвиток сонячної енергетики в США та зменшити залежність країни від імпорту енергії.

Адміністрація Байдена заявила, що зменшення тарифів на сонячні модулі з Китаю дозволить створити робочі місця в США, знизити ціни на сонячну електроенергію та сприяти переходу країни до відновлюваних джерел енергії.

- Тарифи на сонячні модулі з Китаю були зменшені з 30% до 15%.
- Це зменшення тарифів було запроваджено поетапно протягом 18 місяців.
- Уряд США також запровадив ряд інших заходів, спрямованих на підтримку розвитку сонячної енергетики, зокрема, податкові пільги та програми субсидій.

За оцінками Асоціації сонячної промисловості США (SEIA), зменшення тарифів на сонячні модулі з Китаю призведе до створення 230 000 нових робочих місць у США до 2030 року. Це також дозволить знизити ціну на сонячну електроенергію для споживачів на 15%.

Зменшення тарифів на сонячні модулі з Китаю є важливим кроком у переході США до відновлюваних джерел енергії. Воно дозволить створити робочі місця, знизити ціни на сонячну електроенергію та зменшити залежність країни від імпорту енергії.

З іншої сторони, це негативно вплинуло на американський ринок, бо компаніям довелося знижувати ціну, щоб бути конкурентними. Це добре для розвитку індустрії і очищення середовища, але не так добре для американських компаній. Утім, ми вважаємо, що США варто поступово знижувати ці тарифи заради досягнення цілей Net Zero.

Стратегії розвитку CCS

Дана стратегія більш актуальна для ринків, на яких сонячна енергія і енергія вітру малорозвинені. Наприклад, з приводу енергії вітру:

Країни з сильним вітром для встановлення вітряних електростанцій можна розділити на два типи:

- Країни з сильним вітром у прибережних районах: Данія, Німеччина, Великобританія, Іспанія, Нідерланди, Ірландія, Норвегія, Швеція, Фінляндія, Польща, Китай, Японія, Південна Корея, США.
- Країни з сильним вітром у внутрішніх районах: США, Канада, Росія, Австралія, Нова Зеландія, Аргентина, Чилі, Перу, Індія, Пакистан, Іран, Туреччина.

У прибережних районах вітер дує сильніше, оскільки він зустрічає менший опір від суші. У внутрішніх районах вітер може бути сильним у горах або на відкритих рівнинах.

В контексті сонячної енергетики:

Країни з сильним сонячним випромінюванням для встановлення сонячних електростанцій можна розділити на два типи:

- Країни з жарким кліматом: Сахара, Аравійський півострів, Африка, Південна Америка, Австралія, Центральна Азія, Індія.

- Країни з помірним кліматом: Європа, США, Канада, Японія, Південна Корея, Китай.

У країнах з жарким кліматом сонячне випромінювання більш інтенсивне, оскільки повітря там тепліше. У країнах з помірним кліматом сонячне випромінювання може бути менш інтенсивним, але його можна компенсувати за рахунок більшої кількості сонячних годин на рік.

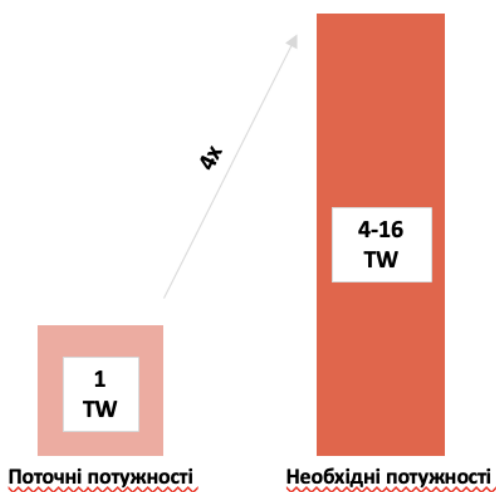
Для країн з холодним кліматом, наприклад, у Північній Європі, як вітер, так і сонце можуть бути нестабільним джерелом енергії. Узимку вітер може бути слабким, а сонце може бути приховане хмарами.

Для країн з густою лісовою рослинністю, наприклад, у Північній Америці та Європі, встановлення вітряних електростанцій може бути складним або дорогим.

Для країн, для яких і вітер, і сонце є проблемою територіально, ми рекомендуємо розвивати технологію CCS (Carbon Capture and Storage). CCS дозволяє захопити вуглекислий газ, що виділяється при спаленні викопного палива, і заховати його під землею. Це дозволить зменшити викиди парникових газів і зробити енергію з викопного палива більш екологічною. Ми вважаємо, що найбільший потенціал розвитку CCS саме в цих країнах.

Переходячи до енергії водню, як ми вже визначили – ЄС має найбільші перспективи в контексті розвитку цього напрямку.

Поточні vs необхідні потужності альтернативної енергетики для виробництва H₂



Цілі щодо встановлення електролізерів у Європі на 2030 рік

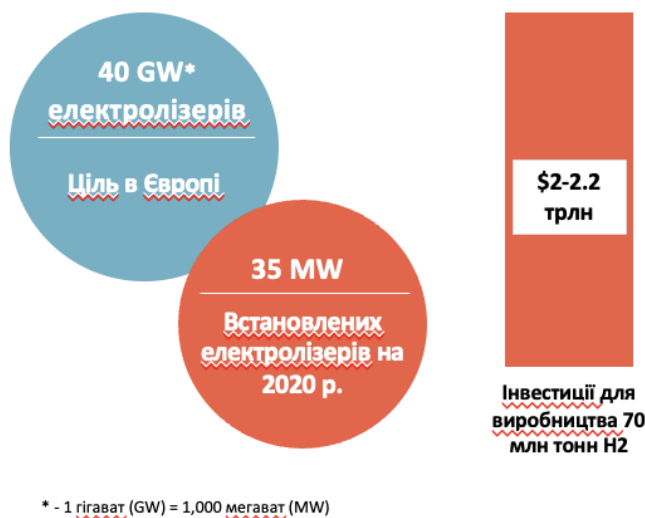


Рис. 3.5 – Плани ЄС по розвитку зеленого водню [45].

Водень має масу переваг, про які вже йшла мова раніше, але ефективне використання водню потребує встановлення великої кількості сонячної та вітрової енергетики. Окрім вже загданих методів розширення даних джерел, ми хочемо зазначити можливість ЄС до встановлення джерел на території інших країн. Близькою до ЄС країною з великою територією куди можна встановити і сонячні панелі і вітряки, є Україна. Україна увійшла до п'ятірки європейських країн за темпами розвитку сонячної енергетики у 2021 році. За словами прем'єр-міністра Шмигала, Україна уклала контракт на встановлення 100 МВт електролізерів. Тривають переговори зі Словаччиною, Німеччиною та Чехією щодо створення водневого коридору, який забезпечить постачання водню з України до ЄС.

Крім того, у 2020 році Німеччина та Україна підписали енергетичне партнерство. Відповідно до партнерства, Україна планує встановити 8 ГВт найбільш перспективної технології зеленої енергетики - електролізерів. Цей план вимагатиме встановлення щонайменше 20 ГВт сонячної та вітрової енергії. Україна співпрацює з Німеччиною над проектом, спрямованим на досягнення потужності 8 ГВт до 2030 року. Досягнення цієї амбітної мети потягне за собою інвестиції в

розмірі 20 мільярдів євро. Синергія між двома країнами частково пояснюється тим, що Німеччина намагається самотужки досягти своїх цілей у сфері зеленої енергетики, а Україна, маючи величезні земельні простори, що ідеально підходять для будівництва об'єктів зеленої енергетики, є підходящим партнером [51].

Таким чином, Україна стає важливим гравцем у зусиллях Європейського Союзу, спрямованих на досягнення вуглецево-нейтральної економіки. Це надає унікальну можливість для подальшого зростання та розвитку України. Країна має потенціал стати лідером у виробництві "зеленого" водню, що може значно підвищити її статус на світовій арені.

Тому "зелена" енергетика сьогодні є ключовим фокусом для кожної людини. Для нашої планети вкрай важливо досягти всіх вищезазначених цілей, оскільки їх невиконання призведе до підвищення температури, збільшення кількості стихійних лих та підвищення ризиків появи нових вірусів. Участь Європейського Союзу, інших країн та України в досягненні цих цілей безпосередньо впливає на подальше існування людства на Землі.

ВИСНОВКИ

Підсумовуючи викладений матеріал щодо форсайту глобального енергетичного ринку, можна зробити наступні висновки:

1. Аналізуючи етапи розвитку енергетичного ринку в умовах глобалізації, було доведено, що ринок динамічно трансформується, залежно від нових технологій і політичних та регуляторних рішень. Врховуючи існуючі поточні регуляторні зміни в ЄС і США, а також вплив енергетичної кризи та війни в Україні, визначено, що поточний енергетичний ринок має трансформуватись заради досягнення цілей екологічного розвитку, а також задля збереження безпеки планети і окремих країн.

2. Обґрунтовано пріоритетність розвитку зеленої енергетики та технології CCS, що дозволить країнами зменшити викиди CO₂ в атмосферу та запобігти розвитку екологічних катастроф та погіршення вже існуючих проблем в екології, при цьому розвиваючи бізнес та генеруючи значні прибутки з державною підтримкою і субсидіями. Виявлено, що технологія сонячної енергетики є найбільш перспективною, утім розвиток вітряної має йти паралельно задля досягнення поставлених екологічних цілей.

3. Визначено, що рішення CCS та CDR не є заміною зеленим джерелам енергії, а лише тимчасово та частково (в межах певних країн) можуть бути корисними для загального зменшення теперешніх викидів CO₂. Фундаментально подібна стратегія не є прибутковою, більш доцільним буде перехід на зелену енергетику, що відбувається потроху зараз навіть в найбільших традиційних енергетичних компаніях США та ЄС. Також визначено, що технологія CDR занадто непопулярна серед існуючих бізнесів, утім фундаментально важлива частина досягнення екологічних цілей і розвитку енергетичного ринку.

4. Оцінювання конкурентних привабливості сонячної енергії та потенціального розвитку офшорної вітряної енергії вказало на важливість створення плаваючих вітряних станцій для забезпечення найкращих умов розвитку зеленою енергетики в найближчі роки, оскільки потенціал розвитку наземних станцій значно обмежено територіально через проблеми розміщення.

5. Проведено порівняльний аналіз ключових стратегій країн і визначено, що ЄС рухається найбільш активно у напрямку досягнення цілей NZE і має найбільший потенціал для повноцінного переходу на зелену енергетику в довгостроковій перспективі. Це пов'язано як з розвитком енергії вітру та сонця, так і з найбільш перспективними планами по розвитку енергії водню. ЄС має найбільшу регуляторну підтримку зеленого водню серед усіх інших регіонів, переганяючи США та Китай.

6. Результати глибокого математичного, статистичного та аналітичного вивчення технології зеленого водню вказують на значні перспективи розвитку цього напрямку та досягнення паритету цін із сонячною та вітряною енергетикою. Утім, подальший розвиток цього напрямку потребує значних інвестицій в ці технології і збільшення державної підтримки. Визначено, що країни будуть збільшувати свій фокус на зелений водень по мірі розвитку технологій електролізерів, удешевлення цін на електролізери та сонячну енергетику, а також в процесі введення нових регуляторних цілей і їх успішного досягнення в майбутні роки в Євросоюзі.

7. Запропоновано ключові сфери розвитку зеленого водню в різних країнах, які дозволять досягнути цілей NZE не тільки швидко, а й ефективно, використовуючи найбільш доступний елемент у світі – водень, використовуючи найбільш ефективні технології електролізерів. Проаналізовано використання водню у різних сферах та визначено найбільш перспективні сфери для використання зеленого водню в країнах.

8. Визначено ключові переваги України на глобальному ринку зеленої енергетики та виділено можливі стратегії розвитку України разом з іншими партнерами для розвитку галузі в нашій країні. Визначено, що Україна є одним із лідерів в Європі в сонячній енергетиці і має значний потенціал подальшого розвитку як в енергії вітру та сонця, завдяки значимим територіям з постійним сонцем та вітром, так і в напрямі зеленого водню. Також Україна може стати плацдармом для ЄС для імпорту зеленої енергетики та досягнення своїх екологічних цілей Fit for 55.

Практична значущість дипломної роботи полягає в оцінці поточного стану глобального енергетичного ринку та визначення найбільш ефективних способів вирішення існуючих світових проблем, пов'язаних з викидами CO₂ в атмосферу.

Новизна наукової роботи полягає у виділенні зеленого водню як найбільш перспективної технології, а також сфери її використання. Крім того, було запропоновано тимчасові рішення на шляху до NZE у вигляді CCS та CDR, а також створено математичну модель для прогнозування ціни на водень і досягнення ним цілей паритету цін.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ritchie H. - “How have the world’s energy sources changed over the last two centuries?”. 2021. P.1. URL:

<https://ourworldindata.org/global-energy-200-years>

2. Distribution of electricity generation worldwide in 2022, by energy source. Statista. URL:

<https://www.statista.com/statistics/269811/world-electricity-production-by-energy-source/#:~:text=Global%20electricity%20mix%202022%2C%20by%20energy%20source&text=In%202022%2C%20coal%20accounted%20for,for%20electricity%20generation%20in%202021.>

3. Generation of electricity worldwide from 1990 to 2022, by energy source. Statista. URL:

<https://www.statista.com/statistics/273273/world-electricity-generation-by-energy-source/>

4. Global Energy Crisis. IEA. URL:

<https://www.iea.org/topics/global-energy-crisis>

5. The global energy crisis pushed fossil fuel consumption subsidies to an all-time high in 2022. IEA. URL:

<https://www.iea.org/commentaries/the-global-energy-crisis-pushed-fossil-fuel-consumption-subsidies-to-an-all-time-high-in-2022>

6. IEA. World Energy Outlook, 2022. 5-50 с.

7. So-Eco J. How Long Will The Energy Crisis Last? 2023. URL:

<https://so-eco.co.uk/how-long-will-the-energy-crisis-last/>

8. Wingenroth J., Brian C. Prest, Rennert K. Achieving the Paris Agreement Temperature Targets Would Yield Major Global Economic Benefits. 2023. P. 2

9. IEA. Net Zero Emissions by 2050 Scenario (NZE). 2023. URL:

<https://www.iea.org/reports/global-energy-and-climate-model/net-zero-emissions-by-2050-scenario-nze>

10. UN. Water Scarcity. URL:
<https://www.un.org/waterforlifedecade/scarcity.shtml>
11. Our World in Data. Energy Institute Statistical Review of World Energy (2023).
URL: OurWorldInData.org/energy-mix
12. Wikipedia. Cost of energy by source. URL:
https://en.wikipedia.org/wiki/Cost_of_electricity_by_source
13. Lazard. "2023 Levelized Cost Of Energy+". 12 April 2023. p. 9.
14. IEA. Electricity. URL: <https://www.iea.org/energy-system/electricity>
15. Nowotny, J.; Dodson, J.; Fiechter, S.; Gür, T.M.; Kennedy, B.; Macyk, W.; Bak, T.; Sigmund, W.; Yamawaki, M.; Rahman, K.A. Towards global sustainability: Education on environmentally clean energy technologies. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018, 81, 2541–2551.
16. IEA. Global electricity generation by technology, 2015, 2021 and 2027. 2022.
URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-electricity-generation-by-technology-2015-2021-and-2027>
17. Taylor T. Federal Funds Rate History 1990 to 2023. 2023. URL:
<https://www.forbes.com/advisor/investing/fed-funds-rate-history/>
18. Irena, Renewable Power Generation Costs In 2022 (2023)
<https://www.irena.org/Publications/2023/Aug/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2022>
19. Wiser, R., Jenni, K., Seel, J., Baker, E., Hand, M., Lantz, E., & Smith, A. (2016). Forecasting Wind Energy Costs & Cost Drivers : The Views of the World's Leading Experts
20. IEA. Renewables. URL: <https://www.iea.org/energy-system/renewables#tracking>
21. IEA. Renewables 2022. 2023. c. 10-85
22. Dyrholm M. GWEC. Global Wind Report 2022. 2023. c. 10-30
23. EEA Report. Trends and projections in Europe 2021. c. 5-15
24. Vestas, Investor Relations URL: <https://www.vestas.com/en/investor>

25. Siemens Gamesa, Investor Relations URL: <https://www.siemensgamesa.com/en-int/investors-and-shareholders>
26. Goldwind, Investor Relations URL: <https://www.goldwind.com/en/invest/>
27. Jinfeng M., Lin L., Haofan W. , Yi Du , Junjie M., Xiaoli Z.c, Zhenliang W. Carbon Capture and Storage: History and the Road Ahead. 2022.
28. Chu S. Carbon capture and sequestration. Science 2009.
29. IEA. Net zero by 2050. A roadmap for the global energy sector. Report. Paris: International Energy Agency; 2021.
30. Carbon Sequestration Leadership Forum. The carbon sequestration leadership forum (CSLF) technology roadmap 2021. Report. Washington, DC: CSLF Publications; 2021.
31. B B Cael, P Goodwin, C R Pearce. Benefit-cost ratios of carbon dioxide removal strategies. 2023.
32. Grant N., Hawkes A., Mittal S. Quantifying global carbon dioxide removal deployment 2023.
33. S&P Global. Electric Vehicle Trends. 2023. URL: https://www.spglobal.com/mobility/en/topic/electric-vehicle-trends.html?utm_source=google&utm_medium=ppc&utm_campaign=PC023665&utm_term=electric%20vehicle%20sales&utm_network=g&device=c&matchtype=p&gclid=Cj0KCQiA35urBhDCARIsAOU7Qwn732nokTjzI3y6AlXBW-rz2a0kX6ZKbUVOdGJ5clmLC306zVrIYUUaAo0kEALw_wcB
34. Mneimneh F. Mohammad H. Manganelli M. Ramakrishna S., Roadmap to Achieving Sustainable Development via Green Hydrogen, 2023, c. 10-15
35. Yeong G., Hyung G., Sung H., Sung Y. Marginal fixed premium for clean hydrogen portfolio standard (CHPS) considering techno-economic analysis of clean hydrogen production based on hydropower plants. 2023.
36. Hydrogen Strategies & Roadmaps. URL: <https://www.nzhydrogen.org/strategy-reports-roadmaps-copy>

37. C. J. Quarton, O. Tlili, L. Welder, C. Mansilla, H. Blanco, H. Heinrichs, J. Leaver, N. J. Samsatli, P. Lucchese, M. Robinius, S. Samsatli, Sustainable Energy Fuels. 2020
38. IRENA, Green Hydrogen Cost Reduction, 2020. URL: <https://www.irena.org/publications/2020/Dec/Green-hydrogen-cost-reduction>
39. Y. Wang, A. Sharma, T. Duong, H. Arandiyana Adv. Energy Mater. 2021, c. 11
40. IEA, Data and Assumptions. The Future of Hydrogen. Analysis. Assumptions Annex, 2019. URL: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen/data-and-assumptions>
41. PVinsights. URL: <http://pvinsights.com/>
42. Photovoltaics Report - Fraunhofer ISE. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. URL: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/photovoltaics-report.html>
43. IEA PVPS, Trends in PV Applications 2020, https://iea-pvps.org/trends_reports/trends-in-pv-applications-2020/
44. E. Vartiainen, G. Masson, C. Breyer Progr. Photovoltaics: Res. Applic. 2020
45. Hydrogen Roadmap Europe: A sustainable pathway for the European Energy Transition, <https://www.fch.europa.eu/news/hydrogenroadmap-europe-sustainable-pathway-european-energy-transition>
46. P. Puranen, A. Kosonen, J. Ahola, Sol. Energy 2021, c. 210-236
47. A. Rinaldi, M. C. Soini, K. Streicher, M. K. Patel 2021. c. 240-286
48. D. Ludwig, C. Breyer, A. A. Solomon, R. Seguin, AIMS Energy 2020, c. 6-12
49. ВЧЕНІ ЗАПИСКИ Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського / редкол.: Н. Славогородська та ін. 2023. Київ: Том 34, Ч. 2, с. 180-230
50. В Колесніков. Значення зеленого водню для енергетичної та транспортних галузей. 2023
51. Трипольська Галина Сергіївна. Світовий Досвід Розвитку Ринку Зеленого Водню Та Потенціал Його Виробництва В Україні. 2023.

Ім'я користувача:
Міжнародної економіки Москалюк Наталія

ID перевірки:
1015955259

Дата перевірки:
30.11.2023 12:43:21 EET

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
30.11.2023 12:54:28 EET

ID користувача:
100005722

Назва документа: КМР_Чайковський_О.В._Форсайт_ровитку_енергет_сектору

Кількість сторінок: 70 Кількість слів: 15626 Кількість символів: 114400 Розмір файлу: 4.40 MB ID файлу: 1015631647

2.1% Схожість

Найбільша схожість: 0.38% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1005980593)

1.24% Джерела з Інтернету

201

Сторінка 72

1.75% Джерела з Бібліотеки

275

Сторінка 73

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

18

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВАДИМА ГЕТЬМАНА**

Факультет міжнародної економіки і менеджменту

**ЗБІРНИК ДОПОВІДЕЙ
Ювілейної 90-ї щорічної студентської
наукової конференції**

**«ІННОВАЦІЙНІ ПРОЄКТИ ДЛЯ ПІСЛЯВОЄННОГО
ВІДНОВЛЕННЯ ТА РОЗВИТКУ УКРАЇНИ»**

(17 квітня – 20 травня 2023 р.)

Відповідальні за випуск:

Бондарчук Л.М. – к.філол. наук, доцент кафедри бізнес-лінгвістики
Вінська О.Й. – к.е.н., доц, доцентка кафедри європейської економіки і бізнесу
Грищенко Н.В. – к.е.н., доцент кафедри міжнародного менеджменту
Капуш А.В. – к.філол. наук, доцент кафедри німецької мови
Козачок Т.С. – к.е.н., доцент кафедри міжнародного менеджменту
Курбатов С.В. – професор кафедри соціології
Лобецька І.М. – ст. викладач кафедри іноземних мов і міжкультурної комунікації
Машина Ю.П. – к.е.н., доцент кафедри міжнародних фінансів
Сандул М.С. – к.е.н., доцент кафедри міжнародної торгівлі і маркетингу
Черницька Т.В. – к.е.н., доцент кафедри міжнародної економіки
Швиданенко О.А. – д.е.н., професор кафедри міжнародної економіки

*Редколегія може не поділяти погляди, викладені у збірнику.
Автори тез доповідей несуть відповідальність за їхній зміст*

*Рекомендовано до друку
Науково-експертною радою КНЕУ
Протокол № 4 від 18.05.2023 р.*

I-66 Інноваційні проекти для післявоєнного відновлення та розвитку України: зб.
доп. Ювілейної 90-ї щорічної студентської наукової конференції, 17 квітня – 20 травня
2023 р. [Електронний ресурс]. Київ, КНЕУ, 2023. 426 с.
ISBN 978-966-926-445-9

Збірник тез здобувачів вищої освіти факультету міжнародної економіки і менеджменту укладено за підсумками їх досліджень, представлених на науковій конференції КНЕУ 17 квітня – 20 травня 2023 р. Доповіді здобувачів присвячено інноваційним проектам для післявоєнного відновлення та розвитку України.

УДК 657:330.341-048.38](477)(06)

*Розповсюджувати та тиражувати
без офіційного дозволу КНЕУ забороняється*

Маков Олександр	102
Розвиток нанотехнологій у формуванні міжнародної конкурентоспроможності України	
Мелех Дмитро	105
Реалізація національних інтересів США у проєктах з відновлення економіки України	
Назарець Яна	108
Політика протекціонізму у зовнішній торгівлі України: євроінтеграційний контекст	
Охрамович Андрій	111
Роль зовнішньої торгівлі у повоєнній реструктуризації економіки України	
Поліщук Вадим	114
Національні економічні інтереси Китаю в інвестуванні повоєнної	
Поліщук Павло	118
Міжнародні проєкти компаній "Великої Четвірки" у відновленні економіки України	
Полтора Ярослав	121
Формування повоєнних пріоритетів вітчизняної імміграційної політики	
Попрійчук Назар, Стародуб Тетяна	123
Перспективи реалізації «зеленої реконструкції» у повоєнній відбудові економіки України	
Примич Анастасія, Лашевич Марина	125
Стратегії міжнародної конкурентоспроможності компаній харчової промисловості у контексті повоєнного відновлення вітчизняної економіки	
Сафонов Данило	128
Інноваційна трансформація України в умовах війни та повоєнного відновлення	
Сідоренко Валерія	132
ESG-інвестування в українському бізнесі як інструмент відбудови економіки в повоєнний період	
Сидорчук Юлія	134
Діджиталізація економіки України в умовах інтеграції в єдиний цифровий європейський ринок	
Сіраков Віталій	137
Трансформація енергетичної політики країн світу в контексті міжнародної безпеки	
Степаненко Денис	140
Блокчейн-технології у фінансуванні міжнародних проєктів з відновлення економіки України	
Сукач Даніїл	142
Зелена енергетика в економічній безпеці країн ЄС	
Тупчий Максим	145
Пріоритети участі країн G7 в повоєнній відбудові України	
Чайка Дарина	146
Пріоритетні напрями залучення прямих іноземних інвестицій в Україну у воєнний та повоєнний період	
Чайковський Олексій	148
Стратегічні пріоритети розвитку безвуглецевої економіки України	
Юрковська Маргарита	154
Міжнародні проєкти у реструктуризації ринку праці України	
Ясінська Аліна	158
Ключові пріоритети формування міжнародної конкурентної стратегії підприємств АПК України	

СТРАТЕГІЧНІ ПРІОРИТЕТИ РОЗВИТКУ БЕЗВУГЛЕЦЕВОЇ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ

Вступ до безвуглецевої економіки

Ні для кого не є таємницею, що за останнє десятиліття градус дискусії про майбутнє нашої планети значно збільшився. Зокрема, досить гостро постало питання екології. Практично всі глави держав одногосно говорять про важливість переходу економіки з використання традиційних джерел на відновлювану енергетику, а також заборону авто на ДВЗ, подальшу газифікацію і водородизацію багатьох галузей.

На сьогоднішній день ключовим прийнятим документом є Паризька угода, згідно з якою в 2015 було поставлено низку екологічних цілей для боротьби з проблемою зміни клімату. Ключовими цілями є обмеження зростання середньої температури у світі до 1.5°C до 2100 року та досягнення балансу між викидами та їх поглинанням до 2050 року.

Таким чином, на шляху до досягнення поставлених цілей, країни зосередились на розвитку безвуглецевої економіки. Основні сфери діяльності, які захоплює даний напрям включають в себе скорочення викидів CO₂ на виробництві, електрифікація транспортної індустрії, а також розвиток зеленої енергетики.

Кожен із напрямів має як частково «зелену» варіацію, так і повністю безвуглецеву технологію. Так, скорочення викидів CO₂ на виробництві можна досягти за рахунок використання газу та пару замість вугілля. Дана технологія надає можливість частково зменшити викиди шкідливих речовин, в той час як технологія CCS (вловлення та зберігання вуглецю) дозволяє вловлювати вуглець на виробництві та зберігати його під землею протягом довгого часу. Однак, обидва рішення не захищають зовнішню середу на 100%, як це робить використання водню (H₂), завдяки якому викиди шкідливих речовин при виробництві можуть дорівнювати нулю.

Аналогічна ситуація і з напрямом транспортної індустрії, де існують технології гібридних автомобілів, палг-ін гібридів (більш розвинена технологія), а також повністю електрифіковані або водородизовані автомобілі, які не завдають шкоди зовнішньому середовищу.

Більш детально варто розглянути технології у сфері альтернативної енергетиці, адже базове розуміння недоліків та переваг буде важливим для подальшого розуміння контексту досягнень Євросоюзу і важливості України на шляху до безвуглецевої економіки.

На сьогоднішній день основними технологіями є енергія сонця, вітру та водню. Сонячна енергія є основним видом енергії із загальною потужністю у 773 ГВт на 2020 рік. Енергія вітру, не дивлячись на близькість до паритету витрат з термальною енергетикою, є дещо менш популярною, встановлено 743 ГВт [1]. Основними перевагами сонячної енергетики над вітровою є більша передбачуваність видобутку енергії, відсутність шуму, конкретної території для встановлення (можна встановити навіть на даху дома), а також сонячні панелі можуть знаходитися максимально близько один до одного, в той час як вітряні турбіни мають бути на значній дистанції через великий діаметр лопатей. Енергія водню сьогодні є найменш популярною - встановлено лише 0.2 ГВт. Основною причиною

є те, що технологія відносно нова, а також дуже дорога, через нерозвинену інфраструктуру. Прогнозують, що у майбутньому основним джерелом енергії в Євросоюзі може стати саме водень.

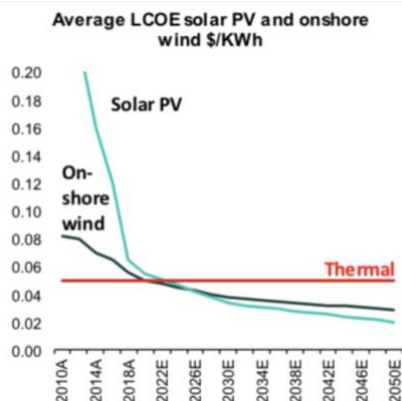


Рис. 1. Паритет цін на альтернативну енергетику. Джерело: Morgan Stanley.

Розвиток безвуглецевою економіки у світі

Базуючись саме на Паризькій угоді, вперше три провідні економічні держави світу – США, ЄС та Китай – дійшли єдиної думки про важливість кліматичної політики, встановивши як проміжні цілі на 2030 рік, так і цілі з нульових викидів на 2050-2060 роки.

Для досягнення даних цілей як ЄС, так і США з Китаєм використовують низку забороняючих та стимулюючих інструментів. Серед основних варто відзначити заборону продажу нових автомобілів на ДВС, надання податкових пільг для збільшення використання вітряних, сонячних станцій та виробництва водню, а також прямі бюджетні виплати при купівлі гібридних і повністю електрифікованих авто.

У 2020 році ЄС представили так званий Європейський Зелений Курс. Основна ціль даної регуляції полягає у перетворення Європи на перший у світі кліматично нейтральний континент до 2050 року. В межах певних країн існують більш амбітні дати. Так, Франція планує досягти кліматичної нейтральності у 2022, Словаччина – 2023, Італія – 2025, Греція – 2028. Крім того, ЄС розробили систему податків для автовиробників, за якою на кожну компанію відводиться свій ліміт на кількість викидів CO₂. Перевищення ліміту карається жорстокими штрафами. В той час купівля електромобілей супроводжується зменшенням податку та іншими субсидіями.

У 2021 ЄС представили найбільш амбітний план було прийнято в ЄС під назвою Fit for 55, який є проміжною ціллю до Європейського Зеленого Курсу, основна мета – зменшення викидів до 2030 року на 55%.

Європа як лідер у безвуглецевій економіці

Порівнюючи Китай, ЄС та США, достатньо важко визначити однозначного лідера у досягненні безвуглецевої економіки. Розглянемо наступні фактори для порівняння:

- Досягнення кліматичної нейтральності;
- Виробництво сонячної та вітрової енергетики;
- Відсоток електромобілей у структурі автотранспорту в 3 кв. 2021;
- Стратегія CCS (вловлення та зберігання вуглецю) і цілі по виробництву водню.

Як вже було зазначено, ЄС має найбільш амбітну ціль – досягнути повної кліматичної нейтральності у 2050. У той час Китай націлений досягнути даного показника у 2060. За

новою політикою Байдена США мають стати кліматично нейтральними також у 2050 році, але, як ми далі переконуємося, передова економіка відстає від Китаю та Євросоюзу за більшістю показників.

Щодо порівняння встановлення енергії сонця та вітру, ЄС встановили більше 140 ГВт сонячної енергетики на 2020, США – майже 100 ГВт, Китай – 253 ГВт. Звісно, Китай є лідером за абсолютними показниками, але якщо перерахувати на душу населення, то Китай, з показником 0.18 ГВт на 1 млн чоловік, відстає від ЄС у розмірі 0.33. Подібну картинку можна побачити і у вітровій енергетиці. Так, в Китаї встановлено 281 ГВт, ЄС – 210, США – 121 ГВт. Таким чином, Євросоюз є лідером у встановленні енергії вітру і сонця на душу населення.

В третьому кварталі 2021 значно збільшилась кількість електромобілей. Так, Китай частка нових електрокарів у структурі продажу автомобілей в 3 кв. 2021 зайняла 18.6%, у порівнянні із 13.2% у 2 кв. В США даний дана частка склала 10.4%, а у ЄС рекордні 18.9%. При цьому продажі плаг-ін гібридів збільшилися на 43% у порівнянні з 2Q, а продажі повністю електрифікованих авто на 57%. Подібні показники роблять Євросоюз лідером і у цій сфері, не дивлячись на те, що по продажам в абсолютному значенні, лідером залишається Китай, в якому продажі електромобілей досягли 1.34 млн в 2020, тоді як на всю Європу (не тільки країни Євросоюзу) було продано 1.36 млн. Однак, з перерахуванням на кількість населення, ЄС знову стає лідером.

За даними Rystad Energy, однозначним лідером в об'ємах вловлення вуглецю є Північна Америка [2]. Європа займає други місце, об'єми Китаю є незначними. Причиною цьому є те, що дана технологія недостатньо ефективна у довгостроковий термін. А ось якщо розглядати стратегію по виробництву водню, то ЄС знову стає лідером з цілями встановити 6 ГВт електролізерів (технологія для видобування енергії з водню) до 2024 і 80 ГВт до 2030 [3]. США та Китай на сьогоднішній день не встановлювали цілей та регуляцій по виробництву водню, що робить ЄС абсолютний лідером у цій новітній сфері.

Global large-scale CCS capacity by region (m tonnes CO₂ per annum)

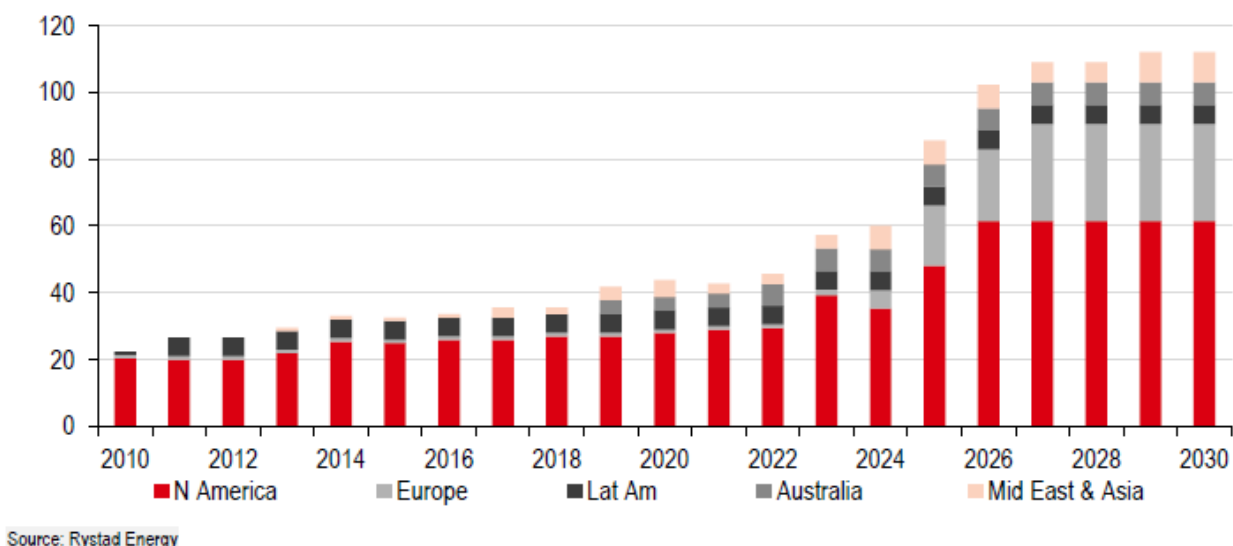


Рис. 2. Потужності технології CCS по країнам. Джерело: Rystad Energy

Розвиток безвуглецевої економіки в Україні

Україна - країна з багаторічною історією інновацій у сфері зеленої енергетики. В роки до початку повномасштабного вторгнення в країні спостерігався сплеск стартапів і нових технологій, які допомагають зробити Україну одним з лідерів на світовому ринку зеленої енергетики. Одним з найбільш перспективних напрямків інновацій в Україні є розвиток вітроенергетики. Країна має одні з найкращих вітрових ресурсів у Європі, і низка стартапів працює над розробкою нових технологій для використання цього потенціалу. Наприклад, компанія "Вінд Енерджі Україна" розробляє новий тип вітрогенератора, який є більш ефективним і дешевшим, ніж традиційні турбіни.

Інша сфера інновацій в Україні - розвиток сонячної енергетики. В країні багато сонячного світла, і ряд стартапів працюють над розробкою нових технологій, щоб зробити сонячну енергію більш доступною і дешевою. Наприклад, компанія Solargate розробляє новий тип сонячних панелей, які є більш ефективними та довговічними, ніж традиційні панелі.

Нарешті, Україна також робить успіхи у розвитку водневої енергетики. Низка стартапів в Україні працюють над розробкою нових технологій для виробництва та використання водневої енергії. Наприклад, компанія Green Hydrogen Systems розробляє новий тип водневих паливних елементів, які є більш ефективними та доступними, ніж традиційні паливні елементи.

Так, в 2021 році Україна відвітувалась про наступні зміни на ринку зеленої енергетики:

- Станом на 2021 рік встановлена потужність відновлюваних джерел енергії в Україні становить 12,4 ГВт, порівняно з 10,2 ГВт у 2020 році.
- Найбільшим джерелом відновлюваної енергії в Україні є гідроенергетика, на яку припадає 5,8 ГВт встановленої потужності.
- Вітроенергетика є другим за величиною джерелом відновлюваної енергії в Україні з 3,4 ГВт встановленої потужності.
- Сонячна енергія є третім за величиною джерелом відновлюваної енергії в Україні з 1,9 ГВт встановленої потужності.
- Біомаса є четвертим за величиною джерелом відновлюваної енергії в Україні з встановленою потужністю 1,2 ГВт.
- Україна поставила собі за мету досягти 25% відновлюваної енергії до 2030 року.
- Уряд прагне підтримувати розвиток відновлюваної енергетики і запровадив низку заходів, спрямованих на підтримку цього розвитку, включаючи "зелені" тарифи, податкові пільги та субсидії.

Український ринок зеленої енергетики серйозно постраждав від повномасштабного вторгнення у 2022 році. Багато проєктів з відновлюваної енергетики було відкладено або скасовано, а деякі компанії з відновлюваної енергетики були змушені закритися. Війна також завдала значної шкоди енергетичній інфраструктурі України, що ускладнило виробництво та розподіл відновлюваної енергії.

Незважаючи на ці виклики, український уряд залишається відданим розвитку відновлюваної енергетики. У березні 2022 року уряд оголосив про новий пакет заходів для підтримки сектору зеленої енергетики, включаючи збільшення субсидій та податкових пільг. Уряд також планує прискорити процес отримання дозволів для проєктів з відновлюваної енергетики.

Очікується, що український ринок зеленої енергетики відновиться в найближчі роки. Війна підкреслила важливість енергетичної безпеки, і багато країн зараз розглядають відновлювану енергетику як спосіб зменшити свою залежність від імпортованого викопного палива. Україна має потенціал стати великим виробником відновлюваної енергії, і уряд зобов'язується підтримувати цей розвиток.

Участь України в розвитку безвуглецевої економіки ЄС

Фактично, використання альтернативних джерел енергії повністю змінює стиль життя людей на всій планеті. Змушує відкривати нові горизонти, розроблювати програми на трильйони доларів. Держави та компанії конкурують за кількість встановлених ГВт енергії. На 2020 в Україні встановлено 6.3 ГВт сонячної енергії та 1.3 ГВт енергії вітру. Для порівняння, в Німеччині встановлено 60 ГВт енергії вітру і лише 5 ГВт сонячної енергії (що менше, ніж в Україні). Бессарабія має велику кількість території із сильним постійним вітром. Річне надходження сонячного світла в Україні перебуває на рівні із Німеччиною та Швецією. І це є певною можливістю для України стати на інший рівень, мати певний економічний вплив на «великій шахматній дошці».

Розглянемо деякі важливі дії України для використання цих можливостей. Так, у першій половині 2021 було встановлено 280 МВт потужностей вітрової, 260 МВт сонячної енергії та 1.6 МВт електролізерів. У 2021 Україна увійшла до ТОП 5 європейських країн за темпами розвитку сонячної енергетики.

Крім того, за словами прем'єр-міністра Шмигала, Україна отримала контракт на встановлення 100 МВт електролізерів. Більш того, наразі ведуться переговори із Словачею, Німеччиною та Чехією про встановлення центрального водневого коридору, за яким водень буде поставлятися із України в країни ЄС.

Крім того, ще у 2020 році було заключено енергетичне партнерство між Німеччиною та Україною. В рамках цього партнерства, на сьогоднішній день в Україні планують встановити 8 ГВт найбільш перспективної технології із зеленою енергетики – електролізерів. Для цього треба буде встановити не менше 20 ГВт сонячної та вітрової енергії. Даним проєктом Україна займається разом із Німеччиною, потужності у 8 ГВт очікують до 2030 року. Це потребує 20 млрд євро інвестицій. Важливою причиною подібного партнерства є те, що Німеччина не може досягнути всіх цілей у зеленій енергетиці самостійно, а Україна, зі своєю великою територією, яка ідеально підходить для встановлення джерел зеленої енергетики, є ідеальним партнером для Німеччини.

Таким чином, Україна починає відігравати важливу роль для досягнення Євросоюзом своїх цілей по безвуглецевій економіці. Сьогодні це особлива можливість та перспектива для подальшого розвитку України. Ми можемо з часом стати серед лідерів по виробництву зеленого водню, що може значно прискорити розвиток України на світовій арені.

Саме тому зелена енергетика сьогодні є особливо важливим напрямом для кожного з нас. І є ще більш важливим напрямом для нашої планети, адже без досягнення усіх вищезазначених цілей, температура на планеті буде зростати, кількість катаклізмів буде збільшуватися, як і небезпека розвитку нових вірусів. Досягнення Євросоюзом та іншими країнами своїх цілей, а також участь України в цьому, напряду впливає на подальше існування людства на планеті Земля.

Література:

1. IEA (2021) Renewables 2021 – Analysis and Forecast, С. 21-35. Режим доступу: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/5ae32253-7409-4f9a-a91d-1493ffb9777a/Renewables2021-Analysisandforecastto2026.pdf>
2. Rystad Energy [Електронний ресурс] (2022) Режим доступу: <https://www.rystadenergy.com/newsevents/news/press-releases/carbon-capture-capacity-poised-to-surge-more-than-10-times-by-2030-but-aggressive-investment-needed-to-meet-mid-century-targets/>
3. Lu Fang, CFA; Terence Han (2022) Bernstein. The new solar paradigm, С. 177-197.
4. Stellantis, EV Day. (2021) Режим доступу: https://www.stellantis.com/content/dam/stellantis-corporate/investors/events/stellantis-ev-day-2021/ev_day_2021_presentation_slides.pdf
5. Center for Strategic and International Studies. (2022) Developing Renewable Energy in Ukraine. Режим доступу: <https://www.csis.org/analysis/developing-renewable-energy-ukraine>
6. Scientific American. (2023) Ukrainians Shift to Renewable Power for Energy Security amid War. Режим доступу: <https://www.scientificamerican.com/article/ukrainians-shift-to-renewable-power-for-energy-security-amid-war/>
7. Європейська правда. (2021) Україна, Чехія, Словаччина і Німеччина планують створити водневу магістраль через Центральну Європу. Режим доступу: <https://www.eurointegration.com.ua/news/2021/09/23/7128159/>