

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ МІЖНАРОДНИХ ВІДНОСИН  
КАФЕДРА МІЖНАРОДНИХ ЕКОНОМІЧНИХ ВІДНОСИН І БІЗНЕСУ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускової кафедри  
\_\_\_\_\_ Л. М. Побоченко  
« \_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

## (ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА  
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 292 «МІЖНАРОДНІ ЕКОНОМІЧНІ ВІДНОСИНИ»  
ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ  
«МІЖНАРОДНІ ЕКОНОМІЧНІ ВІДНОСИНИ»

Тема: «Стан та довгострокові перспективи використання водневої складової в розвитку світової енергетики та авіації»

Виконавець: Єршов Антон Володимирович, група МЕВ-203М

\_\_\_\_\_  
(підпис виконавця)

Керівник:  
к.е.н., професор, професор кафедри міжнародних економічних відносин і бізнесу ФМВ НАУ  
Татаренко Наталія Олексіївна

\_\_\_\_\_  
(підпис керівника)

Нормоконтролер: Панікар Герман Юрійович

\_\_\_\_\_  
(підпис нормоконтролера)

Київ - 2021

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет міжнародних відносин

Кафедра міжнародних економічних відносин і бізнесу

спеціальність 056 «Міжнародні економічні відносини»

освітньо–професійна програма «Міжнародні економічні відносини»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Л. М. Побоченко

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

**Єршова Антона Володимировича**

1. Тема роботи «Стан та довгострокові перспективи використання водневої складової в розвитку світової енергетики та авіації» затверджена наказом ректора від 15 вересня 2021 р. № 1868/ст.
2. Термін виконання роботи: з 04 жовтня 2021 року по 26 грудня 2021 року.
3. Вихідні дані до роботи: нормативно–правові документи, Директиви ЄС у сфері водневої енергетики, статистичні та аналітичні матеріали водневої складової країн світу та Євростат; аналітичні звіти міжнародних організацій: CSR Europe, Green America, Harvard Kennedy School – Corporate Responsibility Initiative, IBLF Global, IISD, WBCSD, World Resources Institute External, CSR UKRAINE; аналітичні матеріали рейтингових агентств The Heritage Foundation, The World Bank, Standard & Poor's, Freedom House.
4. Зміст пояснювальної записки: глобальні енергетичні проблеми та їхній вплив на розвиток світової економіки; воднева енергетика як складова світової енергетики та її вплив на розвиток авіації; воднева енергетика України: перспективи розвитку та економічні наслідки.
5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: у роботі розміщено 7 таблиць, 13 рисунків та 1 додаток.
6. Презентація основних результатів кваліфікаційної роботи в електронному вигляді. Розроблена презентація в Microsoft Office Power Point, складає 25 слайдів.
7. Календарний план–графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Вивчити літературні джерела з предмету дослідження та написати заяву про затвердження теми кваліфікаційної роботи	31.08.2021	Виконано
2.	Затвердити план дослідження та отримати завдання щодо виконання кваліфікаційної роботи	11.10.2021	Виконано
3.	Визначити глобальні енергетичні проблеми та їхній вплив на розвиток світової економіки	12.10.2021– 24.10.2021	Виконано
4.	Проаналізувати водневу енергетику як складову світової енергетики та її вплив на розвиток авіації	25.10.2021– 07.11.2021	Виконано
5.	Дослідити водневу енергетику України: перспективи розвитку та економічні наслідки.	08.11.2021– 21.11.2021	Виконано
6.	Написати реферат, вступ, висновки та оформити список використаних джерел і додатки	22.11.2021– 05.12.2021	Виконано
7.	Передати кваліфікаційну роботу для перевірки на плагіат	06.12.2021	Виконано
8.	Оформити кваліфікаційну роботу	07.12.2021– 16.12.2021	Виконано
9.	Передати кваліфікаційну роботу рецензенту для рецензування (за 10 днів до захисту)	17.12.2021	Виконано
10.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	20.12.2021	Виконано
11.	Передати кваліфікаційну роботу науковому керівникові для написання відгуку (за 7 днів до захисту)	21.12.2021	Виконано

8. Дата видачі завдання: « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021р.

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ (підпис керівника)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_ (підпис випускника)

Татаренко Н.О.

(П.І.Б)

Єршов А.В.

(П.І.Б)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Стан та довгострокові перспективи використання водневої складової в розвитку світової енергетики та авіації»: 149 сторінок, 13 таблиць, 12 рисунків, 142 літературних джерела, 6 Додатків.

**Перелік ключових слів (словосполучень):** ВОДНЕВА ЕНЕРГЕТИКА, ЦИРКУЛЯРНА ЕКОНОМІКА, АВІАЦІЙНА ГАЛУЗЬ, ЄС, УКРАЇНА

**Об'єкт дослідження:** воднева енергетика як новий тренд розвитку світової економіки.

**Предмет дослідження:** процес становлення, розвитку, та перспективних напрямів впровадження водневої енергетики.

**Мета кваліфікаційної роботи:** дослідження сутності та визначення основних пріоритетів здійснення переходу до водневої енергетики, як екологічно чистого фактора сталого економічного розвитку.

**Методи дослідження:** загальнонаукові – аналізу та синтезу, індукції та дедукції, історичного та логічного, причинно–наслідковий (каузальний); емпіричні методи – статистичний, табличний, графічний, експертних оцінок.

**Отримані результати та їх новизна:** визначено пріоритетні країн світу у реалізації переходу до водневої енергетики, обґрунтування ролі водневих паливних елементів у сучасній авіації.

**Значущість виконаної роботи та висновки:** визначення базових пріоритетів країн світу у впровадженні та підтримці водню як базового паливного елементу, узагальнення світового та європейського досвіду у цій сфері – відкриває для України та для країн світу нові можливості щодо переходу до водневої економіки.

**Рекомендації щодо використання результатів:** авторські доробки доцільно використовувати в процесі розробки стратегій щодо переходу до водневої енергетики, у т.ч. в Україні.

# ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ I .....	10
ГЛОБАЛЬНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ТА ЇХНІЙ ВПЛИВ НА РОЗВИТОК СВІТОВОЇ ЕКОНОМІКИ .....	10
1.1. Економічна і екологічна проблеми розвитку світової енергетики.....	10
1.2. Проблеми розвитку енергетики і трансформація підходів до їхнього вирішення.....	20
1.3. Енергетичний фактор розвитку галузей світової економіки.....	30
РОЗДІЛ II.....	39
ВОДНЕВА ЕНЕРГЕТИКА ЯК СКЛАДОВА СВІТОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА РОЗВИТОК АВІАЦІЇ.....	39
2.1. Світовий енергетичний баланс і стан розвитку водневої енергетики.....	39
2.2. Перспективи і механізми регулювання розвитку водневої енергетики і її частка в глобальній енергетичній системі .....	54
2.3. Ефективність водневої складової для розвитку сучасної авіації.....	62
РОЗДІЛ III.....	75
ВОДНЕВА ЕНЕРГЕТИКА УКРАЇНИ: ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТА ЕКОНОМІЧНІ НАСЛІДКИ .....	75
3.1. Стратегічні орієнтири розвитку водневих технологій у країнах світу .....	75
3.2. Економічні механізми регулювання процесу створення водневої енергетики	79
3.3. Застосування водневих технологій в Україні: шляхи реалізації та механізми впровадження.....	87
ВИСНОВКИ .....	104
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	107
ДОДАТКИ .....	116

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження** зумовлена загостренням екологічних проблем планетарного характеру, вирішення яких пов'язано з пошуком нових, більш ефективних, екологічно чистих, таких, які б не забруднювали атмосферу джерел енергії. Введення до комплексу джерел енергії водневої складової останнім часом набуло величезної актуальності ще й тому, що енергоносії, які використовуються і забезпечують розвиток світової економіки вичерпні. Потреби в енергії зростає у зоротнопропорційному напрямку до запасів вугілля, нафти та газу в усьому світі, а використання сонячних та вітрових джерел має свої негативні наслідки, узалежене від природніх аномалій.

Перспективи розвитку водневої енергетики і перспективи її запровадження, економічний ефект від її використання є малодослідженим напрямком в економічній науці. Ця проблема вимагає більш пристальної уваги, зокрема в контексті впливу на такі галузі, як авіаційна.

**Метою кваліфікаційної роботи** є дослідження сутності та визначення основних пріоритетів здійснення переходу до водневої енергетики, як екологічно чистого фактора сталого економічного розвитку.

Відповідно до поставленої мети у кваліфікаційній роботі поставлено та вирішуються **наступні завдання:**

- охарактеризувати економічні та екологічні проблеми сучасної енергетики;
- визначити роль країн світу у впровадженні водневої енергетики;
- дослідити роль водневих паливних елементів у реформуванні авіаційної галузі;
- охарактеризувати досвід країн світу у сфері розробки та впровадження нормативно-правової бази водневої енергетики;
- визначити пріоритети країн світу у фінансуванні водневої енергетики;
- обґрунтувати пріоритети та вектори розвитку водневої енергетики в Україні;

- визначити стратегічні пріоритети країн світу щодо декарбонізації сучасної енергетики.

**Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи** є процес становлення та функціонування водневої енергетики в умовах декарбонізації.

**Предметом дослідження кваліфікаційної роботи** є теоретичні, методологічні та прикладні аспекти становлення, розвитку, визначення та впровадження водню у світову енергетику.

Наукову проблематику щодо водневої енергетики у реалізації цілей сталого розвитку системно дослідили такі іноземні науковці як: Дж. Форрестер, Д. Медоуз, А. Бернстейн, М. Густафсон, Р. Левис, Р. Шарплі, С. Тангі, А. Керролл, С. Хаймер, Дж. Лінтон та інші дослідники. Серед українських науковців питання водневої енергетики та впровадження водневих паливних елементів до авіації досліджували С. Біла, С. Кудря, О. Степанов, Н. Татаренко та інші українські вчені.

**Методологія дослідження.** Методологічну основу кваліфікаційної роботи становлять як загальнонаукові так і емпіричні, спеціальні методи наукових досліджень. В основі підготовки кваліфікаційної роботи – використання принципу єдності теорії та практики, дослідження причинно–наслідкових зв'язків, застосування методу наукової абстракції та конкретизації явищ і процесів, методів історичного та логічного, індукції та дедукції, що дозволяє системно висвітлити вплив водню на сучасний стан світової енергетики.

**У першому розділі,** в процесі теоретико–методологічного обґрунтування глобальних енергетичних проблем та їхнього впливу на розвиток світової економіки – широко застосовується каузальний метод наукових досліджень (причинно–наслідкових зв'язків); методи історичного та логічного, аналізу та синтезу, метод класифікацій та узагальнень.

**У другому розділі,** в процесі узагальнення світового досвіду щодо водневої енергетики як складової світової енергетики та її вплив на розвиток авіації, досліджено пріоритети країн світу у реалізації водневого переходу у енергетиці, продемонстровано пріоритети країн світу в питаннях економічного стимулювання водневої енергетики. Для цього було використано методи індукції та дедукції,

класифікацій, порівняльного аналізу, метод історичного та логічного, аналізу та синтезу, метод статистичного аналізу, експертних оцінок, графічний метод та метод узагальнень, синергетичний підхід.

**У третьому розділі** визначено стратегічні пріоритети водневої енергетики України та інших країн світу, їх перспектив розвитку та економічні наслідки, для чого застосовано методи причинно–наслідкових зв'язків, метод узагальнень та класифікацій, метод конкретного та абстрактного, експертні оцінки, статистичний аналіз, системний підхід.

**Теоретичну основу** кваліфікаційної роботи становлять теоретичні та аналітичні дослідження українських та іноземних вчених за спеціальністю «Міжнародні економічні відносини»; аналітичні доповіді, монографії та наукові статті, матеріали наукових доповідей конференцій та аналітичні матеріали офіційних державних та корпоративних сайтів за тематикою дослідження; експертні оцінки, присвячені проблематиці водородної енергетики різних країн світу щодо досягнення цілей сталого розвитку.

**Інформаційна база кваліфікаційної роботи.** При підготовці кваліфікаційної роботи використовувалися фахові економічні матеріали, а також законодавчі та підзаконні нормативно–правові акти щодо застосування водню (на прикладі ЄС, України та інших країн світу); використовувалися статистичні матеріали, нормативно–правові документи та аналітичні звіти міжнародних організацій: KPMG, World Investment Report. Використано щорічні звіти міжнародних організацій: Конференції ООН з торгівлі та розвитку (ЮНКТАД), Міжнародного банку реконструкції та розвитку (МБРР), Міжнародного валютного фонду (МВФ), Світової організації торгівлі (СОТ), Світового банку (СБ).

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у визначенні пріоритетів країн світу у водневій енергетиці та використанні водню у авіації.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг роботи становить 121 сторінка (з Додатками). У тому числі: обсяг основного тексту – 97 сторінок. Список бібліографічних посилань використаних джерел представлено на



9 сторінках, що містить 76 найменувань (у тому числі 58 іноземних джерел). Робота містить ілюстративний матеріал: 7 таблиць та 13 рисунків (у т.ч. у додатках на 5 сторінках розміщена 1 таблиця).

## РОЗДІЛ I

# ГЛОБАЛЬНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ТА ЇХНІЙ ВПЛИВ НА РОЗВИТОК СВІТОВОЇ ЕКОНОМІКИ

### 1.1. Економічна і екологічна проблеми розвитку світової енергетики.

В даний час зростає інтерес і конкуренція за серйозні інвестиції в розвиток програм і технологій альтернативної енергетики, а також у впровадження та використання зелених технологій у кількох сферах, які разом визначають майбутнє енергетики світу. Економічна енергія в економічному понятті - це вираз, призначений для виробництва енергії, інвестицій, споживання та вигод, що випливають з цього, і включає всі засоби та процедури, спрямовані на збільшення віддачі від використання енергії та зниження її втрат до мінімуму, не впливаючи на економічне зростання, тобто споживання найменших. Аналогічно, енергозбереження має на меті отримати якомога більше енергії з її первинних джерел, зберігаючи при цьому навколишнє середовище та мінімізуючи його шкоду. Кругова економіка надає прагматичні та ефективні рішення для поступового виснаження життєво важливих ресурсів функціонування сучасної економіки. Замикаючи цикли матеріалів, води та енергії, ця «інша» економіка дозволяє економіці рости, зменшуючи видобуток з природи. Циркулярна економіка примножує продуктивність ресурсів, вироблених природою, з точки зору ефективності використання ресурсів. Вона спрямована не лише на оптимальне використання води та сировини, а й на енергетичні ресурси. Потенціал скорочення споживання викопного палива за допомогою політики енергоефективності набагато більший, ніж заміна цих викопних джерел енергії іншими відновлюваними джерелами енергії. Високе енергоспоживання в переробних галузях викликає ряд серйозних екологічних проблем. Відсутність обладнання та відставання в технології призвели до значного перевищення загальних викидів. Збільшується обсяг загальних річних викидів промислових забруднюючих речовин. Забруднення повітря, води та твердих відходів є серйозною загрозою здоров'ю людей

та екологічній безпеці. Технічні вузькі місця та екологічні проблеми переробної промисловості серйозно перешкоджають сталому розвитку. З розвитком економіки, зростанням населення та підвищенням рівня життя кількість споживаної енергії в майбутньому, безсумнівно, збільшуватиметься. Тому підвищення енергоефективності є життєво важливим для зусиль з енергозбереження в обробній промисловості. У обробній промисловості є величезний потенціал для енергозбереження. Енергозберігаючі технології – технічне оновлення, ліквідація застарілого обладнання, нові виробничі потужності з використанням передових технологій.

Циркулярна економіка є одним із напрямків зеленої економіки, що пропонує державі та бізнесу сучасні підходи до підвищення ефективності використання ресурсів, досягнення соціального ефекту у сфері споживання товарів, зокрема, завдяки розширеній відповідальності виробника, оскільки а також зменшення екологічного сліду виробництва та промислових товарів. Концепція циркулярної економіки є практичною основою впровадження зеленої економіки та пропонує ефективні бізнес-моделі для забезпечення більш екологічно чистого використання ресурсів, сприяючи досягненню цілей сталого розвитку суспільства. Деякі економісти стверджують, що політика, яка не вирішує екологічні проблеми, такі як виснаження ресурсів, втрата біорізноманіття, дедалі інтенсивніші шторми, повені та посухи через зміну клімату, може призвести до втрати робочих місць і засобів до існування. Тому вирішення екологічних проблем відкриває можливості для працівників і роботодавців і відображає економічне зростання. Таким чином, сьогодні галузь зміни клімату буде в авангарді сектора CleanTech. [46] Глобальні зусилля по боротьбі зі зміною клімату та її наслідками змінили моделі зайнятості та інвестицій у зелену економіку. Велика кількість робочих місць і мільйони зелених робочих місць було створено в таких секторах, як відновлювані джерела енергії, енергоефективність будівель, стійкі транспортні системи, сільське господарство, охорона навколишнього середовища, промисловість, дослідження та розробки, управління, діяльність та послуги. Зелені робочі місця – це робочі місця, які допомагають пом'якшити екологічні загрози, з якими стикається людство. Таким чином, механізм чистого розвитку та інструменти

спільного впровадження, включені в Кіотський протокол, згідно з якими компанії та уряди можуть отримувати вуглецеві кредити, підтримуючи конкретні проекти скорочення викидів, є потенційними механізмами фінансування зелених проектів.

Здатність навколишнього середовища поглинати забруднені відходи та інші впливи енергетичних технологій обмежені. (рис. 1.1.)

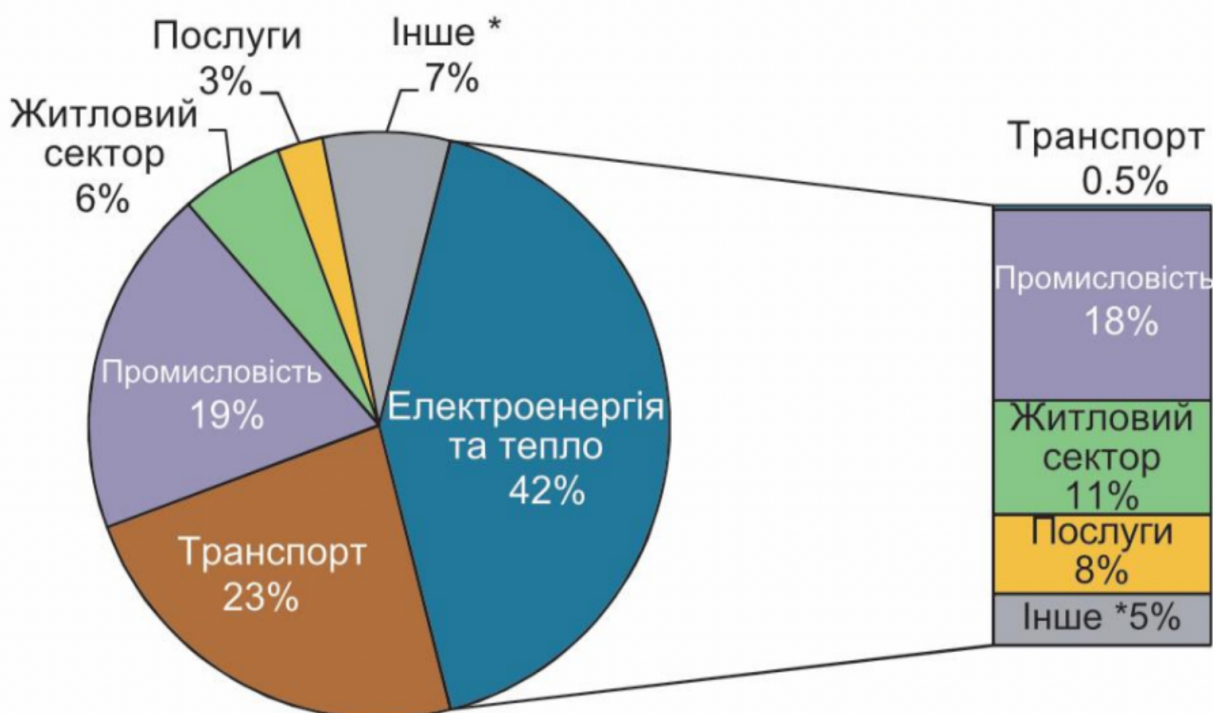


Рис. 1.1. Викиди CO<sub>2</sub> у світі від використання викопного палива.

Джерело. Hydrogen Council.

Це проявляється у двох основних класах екологічних витрат: «зовнішні» витрати, які накладаються на суспільство корупцією суспільства і не впливають на фінансові рахунки споживачів та виробників енергії, та «вхідні витрати», які представляють собою збільшення фінансових витрат, викликані заходами, спрямованими на зниження зовнішніх витрат. [57] Обидва види екологічних витрат зростали і збільшуються з багатьох причин, зокрема: зниження якості в басейнах виробництва палива та на ділянках передачі енергії, необхідність транспортування більшої кількості матеріалів на великі відстані та будівництво більших об'єктів, а також зростання обсягів забруднені відходи енергетичних систем і потреба

задовольняти здатність навколишнього середовища поглинати відходи. Такі відходи не забруднені, а витрати на контроль забруднення мають тенденцію зростати зі збільшенням забруднення. Поєднання підвищення енергоспоживання зі зниженням якості ресурсів вимагає видалення все більшого відсотка забруднюючих речовин, щоб зберегти рівень пошкодження незмінним. А це означає збільшення у вхідних витратах, окрім того, що суспільний і політичний інтерес до навколишнього середовища подовжує час вибору ліцензування та будівництва енергетичних об'єктів, а також збільшує частоту внесення змін до специфікації проекту перед впровадженням і рекомендацій, що призводить до чергового збільшення витрат. . Утилізація відходів лежить в основі концепції циркулярної економіки. Це має стати одним із головних стовпів індустріального ренесансу в ЄС. Сектор відходів може і повинен сприяти підвищенню ефективності використання ресурсів в економіці за умови застосування відповідної політики. Це узгоджується з провідною ініціативою ЄС щодо ресурсоефективної Європи, яка була започаткована у 2011 році в рамках Стратегії Європа 2020. [40] Ініціатива підтримує перехід до ресурсозберігаючої низьковуглецевої економіки для досягнення сталого зростання.

Якщо припустити, що до 2100 року переважна більшість населення світу має бути забезпечена енергією на рівні, що відповідає сьогоdnішньому споживанню в розвинених країнах, повне задоволення енергетичних потреб людства в 2100 році з населенням 11 213 мільярдів становитиме 55,98 мільярда тне/рік. (2,34 Å~ 1021 Дж/рік).

При середній ефективності виробництва енергії 68% у 2100 році має вироблятися 81,68 млрд тне/рік (3,42 Å~ 1021 Дж/рік), або в 4,2 рази більше, ніж у 2015 році. [47]

Вся ця енергія, згідно з фізичними законами, стане термічним відходом і їх накопичення неминуче призведе до катастрофічного глобального потепління, яке до 2100 року може досягти 5,5–7°C, підвищення рівня океану на 6–9 м, зникнення льодовики – джерела питної води для багатьох регіонів. На сьогднішній день немає джерел, здатних забезпечити хоча б частину виробленої енергії, необхідної до 2100 року, особливо в умовах майбутнього вичерпання вуглеводнів. Єдиним джерелом

енергії, здатним забезпечити майбутнє людства, є Сонце, яке за 1 годину віддає енергію Землі в обсязі споживання всього людства у 2015 р. Проте проблема в тому, що щільність сонячної енергії на екватор не перевищує 360 Вт/м<sup>2</sup> і для забезпечення людства енергією знадобляться сонячні батареї площею близько 10 млн км<sup>2</sup>, з урахуванням площ для обслуговування та 4-годинного робочого циклу. Для порівняння, загальна площа країн ЄС становить 4,3 млн км<sup>2</sup>, США – 9,5 млн км<sup>2</sup>. Крім того, знадобиться близько 200 мільйонів тонн найсучасніших акумуляторів з щорічною заміною 30 мільйонів тонн. Інші джерела енергії також не мають довгострокової глобальної перспективи: гідроенергетика – потенціал майже вичерпаний, вітер – низька щільність потужності, неконтрольована частота. Ядерна та термоядерна енергетика, за моделями окремих організацій, здатні забезпечити світові енергетичні потреби людства протягом багатьох століть, але це неминуче призведе до екологічних проблем та збільшення темпів глобального потепління [12]. У XXI столітті нафта, газ і вугілля залишаться основними джерелами світової енергії. Висока ефективність цих джерел енергії має велике значення для сталого розвитку людства. При цьому глобальна стратегія розвитку енергетики повинна враховувати перспективи використання екологічно чистих джерел енергії та новітніх технологій для їх розвитку, що гарантуватиме енергетичну безпеку нашої цивілізації. Світове співтовариство має зробити грандіозний науково-технічний прорив у розвитку енергетики земних надр, океану, сонця, космосу та мирного атома. Тільки тоді ми зможемо задовольнити зростаючий попит на чисту, багату, надійну та безпечну енергію – основу високого рівня життя, розвиненої економіки та культури, міжнародної та національної безпеки. Ми повинні примножити це джерело життєвих сил і передати його в надійні руки наших нащадків.

«Енергетичний сектор, який протягом десятиліть сприяв зростанню та процвітанню світової економіки, сприяв збільшенню викидів і, отже, несе відповідальність за їх скорочення», – говорить генеральний директор Eni Клаудіо Дескальці. [19] Це означає, що всім нам потрібно більш ефективно використовувати енергію, щоб мати можливість відокремити економічне зростання від використання ресурсів і викидів парникових газів. Один із найкращих способів зробити це –

застосувати принципи кругової економіки до виробництва та споживання енергії. Кругова економіка забезпечує прагматичні та ефективні рішення щодо поступового виснаження життєво важливих ресурсів для функціонування сучасної економіки. Замикаючи цикли матеріалів, води та енергії, ця «інша» економіка дозволяє економіці рости, зменшуючи видобуток з природи.

Концепція циркулярної економіки є практичною основою для впровадження зеленої економіки та пропонує ефективні бізнес-моделі для забезпечення більш екологічно чистого використання ресурсів, сприяючи досягненню цілей сталого розвитку суспільства. Насправді економічна безпека може означати створення нових робочих місць або пошук ринків збуту продукції. Ідея національної безпеки полягає в тому, що нижчий попит на енергію вплине на наше відчуття глобальної безпеки. Аналіз багатьох досліджень показує, що потенціал природних ресурсів Землі може забезпечити людство енергією на тривалий термін. Але аналіз інших досліджень також показує, що в майбутньому можна очікувати, що видобуток нафти досягне піку, а споживання та ціни продовжуватимуть зростати, суперечки та конфлікти через обмежені ресурси зростатимуть і стануть постійними.

Енергетичний сектор у всіх країнах відіграє життєво важливу роль у соціальному та економічному розвитку. Нафта, газ і вугілля до кінця 21 століття залишаться основними елементами енергетики, їх частка становитиме близько половини світового енергетичного балансу. Раціональне використання невідновлюваних ресурсів є найважливішим завданням світового співтовариства. Інвестиції в атомну енергетику, як і інвестиції в інші галузі виробництва електроенергії, є економічно виправданими, якщо виконуються дві умови: вартість кіловат-години не більше ніж при найдешевшому альтернативному способі виробництва, а очікуваний попит на електроенергію досить високий, тому яку можна продати вироблену енергію. Відновлювана енергія визначається як невичерпне і швидко відновлюване джерело енергії. Відновлювана енергія одержується шляхом використання звичайних природних явищ, таких як вітер, гідроенергія, енергія рослин або енергія інших планет, наприклад сонячне світло або випромінювана з ядра Землі (геотермальна енергія). Здатність навколишнього середовища поглинати

забруднені відходи та інші впливи енергетичних технологій обмежені. Це проявляється у двох основних класах екологічних витрат: «зовнішні» витрати, які накладаються на суспільство корупцією суспільства і не впливають на фінансові рахунки споживачів та виробників енергії, і «вхідні витрати», які представляють собою збільшення фінансових витрат, викликано заходами, спрямованими на зниження зовнішніх витрат. Єдиним джерелом енергії, здатним забезпечити майбутнє людства, є Сонце, яке за 1 годину віддає енергію Землі в обсязі споживання всього людства в 2015 році. [20]

Енергетичну безпеку можна визначити як часткову відповідність між економічною безпекою, національною безпекою та екологічною безпекою. Насправді економічна безпека може означати створення нових робочих місць або пошук ринків збуту продукції. Ідея національної безпеки полягає в тому, що нижчий попит на енергію вплине на наше відчуття глобальної безпеки. Екологічна безпека включає зв'язок між забрудненням повітря і здоров'ям, а також викидами парникових газів і глобальним потеплінням. Більше того, економічна безпека – це безпека, яка генерує ресурси безпеки, а в її рамках енергетична безпека є однією з фундаментальних передумов нормального функціонування держави та досягнення добробуту її громадян, що може бути перенесено на глобальний рівень.

Збереження навколишнього середовища та зменшення нашої залежності від сировини та енергії вимагають глибокої трансформації наших процесів виробництва та споживання, що було б неможливим без використання концепції циркулярної економіки. Сфери оптимальної трансформації енергії, поводження з відходами та очищення води є тим триптихом, на якому базується наша економіка та екологічний баланс наших територій, а також нашої планети в цілому. На думку експертів Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), енергетична безпека — це комплексна концепція, метою якої є захист споживачів від перебоїв у постачанні, спричинених надзвичайними ситуаціями, тероризмом або неадекватними інвестиціями в інфраструктуру енергетичного ринку.

Останнім часом найбільша увага приділяється таким ключовим питанням, як міжнародне співробітництво, оптимальна організація ринків та уніфікація умов



доступу споживачів до світових енергоресурсів. За середнім прогнозним сценарієм Організації ООН, населення світу зросте з 6,2 млрд осіб (на початку XXI століття) до 8 мільярдів до 2030 року і до 10 мільярдів людей до 2050 року, при цьому 80% населення буде проживати в країнах, що розвиваються. Населення Землі істотно впливає на споживання енергії, але більший енергетичний баланс залежить від темпів розвитку промисловості. Наприклад, у XX столітті населення світу зросло в 3,6 рази, а глобальний енергетичний баланс збільшився більш ніж у 10 разів. Гігантські потреби в енергії визначалися інтенсивним розвитком промисловості переважно в Європі, США та Росії.

Якщо інші країни світу розвивалися останні десятиліття за подібним сценарієм, то обсяги видобутку нафти, газу та вугілля вразі перевищували нинішній рівень. Для країн Південно-Східної Азії в середньостроковій перспективі прогноуються надзвичайно високі темпи економічного зростання – до 4% на рік. Лідером зараз є Китай з щорічним приростом на 9%. Забезпечити енергію для такого економічного зростання за технологіями 20 століття було б неможливо. Саме тому інноваційні технології в енергетиці стають вирішальними у світі. У більшості країн, що розвиваються, нинішній спосіб життя ще не вимагає таких же витрат енергії на душу населення, як у Європі чи США, але до середини 21 століття. В результаті індустріалізації економіки ці країни споживатимуть половину світового енергетичного балансу.

Для більшості фахівців енергетична безпека означає необхідне виробництво енергії у власній країні та мінімальну залежність від іноземного імпорту. Однак енергетична безпека включає три аспекти: забезпечення альтернативних джерел постачання, визначення альтернативних шляхів енергії та забезпечення безпеки існуючих джерел і транспортних мереж.

У березні 2019 року Європейська комісія повідомила про реалізацію та прогрес ключових ініціатив свого Плану дій на 2015 рік у «Звіті про впровадження Плану дій з кругової економіки». Через три роки після прийняття «Плану дій для кругової економіки» повністю завершено. Його 54 заходи були завершені, навіть якщо робота над деякими з них триватиме після 2019 року. [36]

Зобов'язання на високому рівні та довгострокові зобов'язання є ключем до розвитку циркулярної економіки в ЄС. Це зобов'язання призвело до схвалення Плану дій ЄС з кругової економіки з перевагами включення та роботи в різних сферах політики для підтримки його впровадження. Це також відображається у зростанні можливостей фінансування конкретних проектів. Залучення широкого кола суб'єктів з державного та приватного секторів має вирішальне значення для успішного переходу до циркулярної економіки. Мобілізація цих акторів і встановлення міцних партнерських відносин можуть вимагати значних зусиль, оскільки цей процес тягне за собою розробку стратегій кругової економіки в різних секторах і на різних рівнях діяльності.

Ці ініціативи мають три чіткі цілі:

1. Політика: розширити співпрацю між ЄС та третіми країнами у сфері екологічної політики шляхом підписання політичних угод, які сприяють розвитку кругової економіки, екологічно чистих державних закупівель та інноваційного, сталого та інклюзивного зростання;

2. Краще зрозуміти екологічні проблеми, з якими стикаються треті країни;

3. Підтримка зелених європейських компаній (особливо МСП), розширення їхньої діяльності за кордоном та пропагування зелених рішень через бізнес-партнерство. [51]

Обговорення в циркулярних економічних місіях зосереджені на темах, пов'язаних з еко-інноваціями, хімікатами та пластмасами, відходами, управлінням водними ресурсами, забрудненням моря та найкращими практиками міст. Кругова економіка забезпечує прагматичні та ефективні рішення щодо поступового виснаження життєво важливих ресурсів для функціонування сучасної економіки. Замикаючи цикли матеріалів, води та енергії, ця «інша» економіка дозволяє економіці рости, зменшуючи видобуток з природи. Циркулярна економіка багаторазово примножує продуктивність ресурсів, що видобуваються природою: отже, вона відповідає цілям, поставленим ЄС щодо ефективного використання ресурсів. Вона спрямована не лише на оптимальне використання води та сировини, а й на енергетичні ресурси. Що стосується енергетичної політики, то сьогодні пріоритетом

є досягнення більшої узгодженості між загальними цілями пом'якшення наслідків зміни клімату та енергетичною безпекою та незалежністю. Енергоефективність є найефективнішим засобом поєднання декарбонізації економіки та підвищення енергетичної безпеки ЄС. Потенціал скорочення споживання викопного палива за допомогою політики енергоефективності набагато більший, ніж заміна цих викопних джерел енергії іншими відновлюваними джерелами енергії. Така політика також може сприяти розвитку нових видів економічної діяльності в країнах-членах та на місцевому рівні в європейських регіонах і містах, створюючи тим самим нові резерви довгострокових робочих місць, стимулюючи зростання та зменшуючи енергетичну залежність. Тим не менш, енергоефективність як фундаментальний інструмент політики та стратегії недостатньо враховується європейськими та національними політиками.

На рівні ЄС на 2020 рік була поставлена обов'язкова мета – досягти 20% енергозбереження. [30] ЄС, імовірно, промахнеться на 1% лише у разі перевищення його цільових показників щодо викидів CO<sub>2</sub> та відновлюваних джерел енергії (для яких обов'язкові цілі були встановлені у 2008 році). Таким чином, переваги обов'язкового підходу є відчутними і є цінним уроком для політиків, які відповідають за визначення енергетичної політики після 2020 року. У часи економічної та енергетичної кризи енергоефективність у поєднанні з диверсифікацією джерел енергії може допомогти вирішити поточні труднощі в контексті нещодавньої Україно-Російської кризи. Економічні теоретики не враховують енергетичний фактор при розробці економічних моделей, за винятком рідкісних випадків, оскільки вони спираються на теорію, яка говорить про роль енергії як двигуна економічного зростання з її часткою в загальному бюджеті кожного країни, оскільки переважні економічні моделі вважають, що економічне зростання залежить від попиту. Проблема полягає в тому, що більшість цих моделей нехтують роллю енергії і не вважаються її істотним фактором в виробництві. Враховуючи низький внесок енергетичного сектору до ВВП, який становив менше 5 відсотків за останні 25 років, він не підпадає під розрахунок економічних моделей, прийнятих такими інституціями, як Співробітництво та економічний розвиток або Міжнародний

валютний фонд, оскільки вони вважають, що зростання обумовлено наявністю грошей. Енергетичні проблеми становлять невелику частку аналізів і статей у міжнародній пресі, за винятком криз на Близькому Сході, тому вважається, що гроші є основою економічного руху у світі.

## **1.2. Проблеми розвитку енергетики і трансформація підходів до їхнього вирішення.**

Аналіз багатьох досліджень показує, що потенціал природних ресурсів Землі може забезпечити людство енергією на тривалий термін. Нафта і газ мають досить потужний ресурс, але цей «золотий фонд» планети необхідно не тільки раціонально використовувати в 21 столітті, а й зберегти для майбутніх поколінь. Але також аналіз інших досліджень показує, що в майбутньому ми можемо очікувати, що видобуток нафти досягне піку, а споживання та ціни продовжуватимуть зростати, суперечки та конфлікти через обмежені ресурси зростатимуть і стануть постійним питанням порядку денного міжнародної спільноти щодо безпеки. Ризик конфліктів на основі отримання доступу та контролю над експлуатацією енергоносіїв залишатиметься високим.

Енергетичний сектор має бути динамічним сектором, який активно підтримує розвиток світової економіки та сприяє зменшенню дисбалансів між країнами. У зв'язку з цим загальною метою глобальної енергетичної стратегії є забезпечення поточних, середньо- та довгострокових потреб в енергії в енергетичному секторі за доступними цінами, які найбільш підходять для сучасної ринкової економіки з гідним рівнем життя, з точки зору якості і безпеки. При цьому необхідно враховувати принципи сталого розвитку. Таким чином, завдяки спільним цілям, які спрямовані на забезпечення безпеки, підтримання балансу між імпортом первинних енергоресурсів та раціональним ефективним використанням національних резервів на основі комерційно-економічних факторів, це є пріоритетом для подальшого розвитку безпечної та конкурентна енергія.

Енергетичний сектор у всіх країнах відіграє життєво важливу роль у соціально-економічному розвитку. Доходи від нафти і газу є основним джерелом доходу в

більшості країн. Нафта все ще залишається найважливішим природним ресурсом арабського світу, і всі можливості вказують на те, що така ситуація збережеться в доступному для огляду майбутньому. Величезні запаси нафти (наприклад, сланцева нафта в США, нафтові піски в Канаді, вугільний газ в Австралії та глибоководні райони Бразилії). Світовий видобуток сирої нафти зріс (+2%) за рахунок вибухового зростання в США (+16,5%). У червні 2018 року члени ОПЕК погодилися збільшити видобуток нафти, щоб запобігти дефіциту пропозиції та зниження цін після того, як попереднє скорочення видобутку було визнано надмірним, а ціни — занадто високими. Це стабілізувало світові ціни, перш ніж вони знову піднялися в очікуванні санкцій США щодо експорту іранської нафти. Видобуток сирої нафти в Сполучених Штатах значно збільшився через збільшення розвідки та видобутку нафти з багатих сланцевих запасів, що призвело до найбільшого щорічного збільшення видобутку для однієї країни в історії. Це пов'язано з запуском нових проектів, стабільним попитом на нафту та підвищенням цін (на 14 доларів за барель вище, ніж у 2017 році). Видобуток нафти продовжував зростати в Росії, на Близькому Сході (за винятком Ірану) та в Африці. Латинська Америка, з іншого боку, пережила загальний занепад. Політичні проблеми Венесуели, доповнені санкціями США, призвели до падіння видобутку нафти на 29%, що еквівалентно третині зростання видобутку в США. Так само видобуток нафти в Ірані впав на 7% після відновлення міжнародних санкцій. [34]

США та Китай сприяли збільшенню світового споживання природного газу (+5%). Світове споживання газу в 2018 році прискорилося завдяки зусиллям США та Китаю, на які припало близько двох третин додаткового споживання. У 2018 році попит на газ у США зріс на 10%, що стало найвищим темпом зростання за останні 30 років, що було спричинено електроенергетикою (+15 ГВт нових газових електростанцій) та будівництвом. У Китаї також прискорилося споживання газу (+18%) відповідно до політики заміни газу вугіллям у секторах електроенергетики та теплопостачання. Зростання також спостерігається в Індії та Південній Кореї завдяки стабільному економічному зростанню. Однак споживання в Японії скоротилося, оскільки перезапуск ядерних реакторів зменшив потребу у виробництві

електроенергії на газі. Споживання газу також продовжувало стабільно зростати в Росії (хоча й повільніше, ніж у 2017 році) і прискорилося в Канаді, Ірані та Алжирі. Незважаючи на економічне зростання, споживання газу в Європі, особливо в Туреччині, Франції, Німеччині та Італії, скоротилося через підвищення температури, збільшення доступності атомної та гідроенергетики, а також збільшення виробництва відновлюваної енергії. [26]

Світовий видобуток вугілля зріс (+1,9%) другий рік поспіль. Китай зміцнив свої позиції як найбільшого у світі виробника вугілля та бурого вугілля (45% світового видобутку). У 2018 році країна схвалила понад 45 млрд китайських юанів (6,7 млрд доларів) на нові проекти видобутку вугілля. Останній дефіцит газу в країні послабив мотивацію уряду переходити з вугілля на газ, який використовується для опалення приміщень, і зберіг його апетит до вугілля. Видобуток вугілля та бурого вугілля в Китаї склав 70% світового зростання. Збільшення імпорту вугілля до Китаю (на 4% порівняно з 2018 роком, найвище зростання за останні чотири роки) підтримало потужний міжнародний ринок вугілля, збільшивши видобуток в Австралії, Індонезії та Росії, трьох основних постачальників вугілля. В Індії відбулося значне зростання виробництва (+5,3% у 2018 році) через внутрішній попит та амбіції уряду зменшити залежність від імпорту. Видобуток вугілля в США впав до найнижчого рівня за 39 років, незважаючи на зростання експорту. Видобуток вугілля також продовжував скорочуватися в Європейському Союзі, оскільки країни-члени все більше зобов'язуються позбавити економіку вугілля. Нафта, газ і вугілля до кінця XXI століття залишаться основними елементами енергетики, їх частка становитиме близько половини світового енергетичного балансу. Раціональне використання невідновлюваних ресурсів є найважливішим завданням світового співтовариства. Нині нафта, газ і вугілля використовуються переважно як паливо, і лише 4–5% їх обсягу постачається в хімічну промисловість. У майбутньому буде потрібно багаторазове збільшення виробництва непаливної продукції (синтетичних матеріалів, добрив тощо). Нафта і газ збережуть свої провідні позиції не тільки як джерела енергії, а й як найважливіша сировина для отримання спеціальних матеріалів, необхідних для розвитку сучасної цивілізації. За прогнозами, до середини XXI

століття в хімічній промисловості буде використовуватися до 10% видобутих вуглеводнів, а до кінця століття – до 30%. Ці обсяги необхідно виключити зі світового паливно-енергетичного комплексу (відповідно збільшиться навантаження на інші галузі енергетики).

Інвестиції в атомну енергетику, як і інвестиції в інші галузі виробництва електроенергії, є економічно виправданими, якщо виконуються дві умови: вартість кіловат-години не більше ніж при найдешевшому альтернативному способі виробництва, а очікуваний попит на електроенергію досить високий, тому що вироблена енергія може бути продана за ціною, що перевищує її собівартість. На початку 1970-х років світові економічні перспективи виглядали дуже сприятливими для атомної енергетики: швидко зростали як попит на електроенергію, так і ціни на основні види палива – вугілля та нафту. Що стосується вартості будівництва АЕС, то майже всі експерти були впевнені, що вона буде стабільною або навіть почне знижуватися. Однак на початку 1980-х років стало зрозуміло, що ці оцінки були хибними: зростання попиту на електроенергію припинилося, ціна на викопне паливо не тільки не зростала, а навіть почала знижуватися, а будівництво атомних електростанцій не було набагато дорожче, ніж передбачалося в найпесимістичнішому прогнозі. Як наслідок, атомна енергетика повсюдно вступила в період серйозних економічних труднощів, найсерйозніших у країні, де вона виникла та найінтенсивніше розвивалася – у США. [50]

Якщо провести порівняльний аналіз економіки атомної енергетики США, то стане зрозуміло, чому ця галузь втратила конкурентоспроможність. З початку 1970-х років вартість атомної електростанції різко зросла. Вартість звичайної теплової електростанції складається з прямих і непрямих інвестицій, витрат на паливо, експлуатаційних витрат і витрат на технічне обслуговування.

Протягом терміну служби вугільної електростанції витрати на паливо в середньому становлять 50–60% від загальних витрат. У випадку з АЕС домінують інвестиції, які становлять близько 70% усіх витрат. Капітальні витрати на нові ядерні реактори в середньому значно перевищують витрати на паливо вугільної

електростанції за весь термін їх служби, що зводить нанівець перевагу економії палива у випадку атомної електростанції.

Серед тих, хто наполягає на необхідності продовження пошуку безпечних та економних шляхів розвитку атомної енергетики, можна виділити два основних напрямки. Прихильники першого вважають, що всі зусилля мають бути спрямовані на ліквідацію недовіри населення до безпеки ядерних технологій. Для цього необхідно розробити нові реактори, безпечніші за існуючі легководні. Тут цікавлять два типи реакторів: «технологічно надзвичайно безпечний» реактор і «модульний» високотемпературний реактор з газоохолодженням. Прототип модульного газоохолоджувального реактора розроблено в Німеччині, а також у США та Японії. На відміну від легкої води реактора, конструкція модульного реактора з газоохолодженням така, що безпека його роботи забезпечується пасивно – без прямих дій операторів або електричної чи механічної системи захисту. У технологічно надзвичайно безпечних реакторах також використовується система пасивного захисту. Такий реактор, ідея якого була запропонована в Швеції, очевидно, не просунувся далі стадії проектування. Але він отримав серйозну підтримку в Сполучених Штатах серед тих, хто бачить його потенційні переваги перед модульним реактором з газовим охолодженням. Але майбутнє обох варіантів туманне через їхню невизначену вартість, труднощі розвитку, а також суперечливе майбутнє самої атомної енергетики.

На атомних електростанціях (АЕС) виробляється близько 16% світової електроенергії, а для багатьох розвинених країн їх частка перевищує 60–70%. [73] Нині атомні електростанції побудовані в 32 країнах, причому близько 70% світового виробництва електроенергії припадає на 5 з них (США, Франція, Японія, Німеччина та Росія). Формується світова ядерна програма, яка забезпечує єдині стандарти безпеки та передбачає контрольований доступ країн, що розвиваються, до мирних ядерних технологій. Розширюється міжнародне співробітництво провідних країн світової енергетики. У ХХІ столітті структура атомної енергетики зміниться. Будуть розроблені реактори на швидких нейтронах і в майбутньому термоядерний синтез, впровадження якого не тільки значно підвищить потужності атомної промисловості,



але й зробить її максимально безпечною. Крім того, використання реакторів-розмножувачів підвищує ефективність використання уранової руди в 60 разів, що забезпечить ядерну енергетику ресурсами не менше тисячі років. Сучасні технології забезпечують надійне захоронення радіоактивних відходів, а перехід до замкнутого ядерного циклу дозволить переробляти та повторно використовувати в реакторах нового покоління. В результаті масштабних міжнародних заходів щодо безпеки атомних електростанцій та утилізації відходів зростає довіра населення до атомної енергетики. У більшості країн планується багаторазове зростання атомної промисловості.

Три чверті зростання світового виробництва електроенергії в 2018 році припало на Китай і США. Основне зростання світового виробництва електроенергії в 2018 році відбулося в Азії (+6,1%): на Китай припадає майже 60% світового зростання завдяки до сильного попиту та швидкого розвитку генеруючих потужностей, за якими йдуть Індія, Японія, Південна Корея та Індонезія. Виробництво електроенергії також зросло в США (+3,6%), оскільки погодні умови та економічне зростання стимулювали споживання електроенергії, тоді як у Канаді воно трохи зменшилося. Виробництво електроенергії продовжувало зростати в Росії (відновлення економіки), на Близькому Сході та в Африці. У Латинській Америці він залишався стабільним, оскільки зростання в Бразилії та Мексиці було компенсовано сильною рецесією у Венесуелі, спричиненою політичною напругою. У Європі виробництво електроенергії залишалося стабільним, незважаючи на зростання у Франції та Туреччині через збільшення виробництва гідроенергії та відновлюваної енергії (плюс покращення ядерної доступності у Франції). З іншого боку, виробництво електроенергії скоротилося в Бельгії (значна недоступність атомної енергії), Німеччині, Італії та Великобританії (м'яка зима). [65]

Відновлювана енергія визначається як невичерпне і швидко відновлюване джерело енергії. Відновлювана енергія одержується шляхом використання звичайних природних явищ, таких як вітер, гідроенергія, енергія рослин або енергія інших планет, наприклад сонячне світло або випромінювана з ядра Землі (геотермальна енергія).

Сонячна енергія - це виробництво тепла шляхом перетворення енергії, властивої сонячному світлу. Ця енергія притягує тепло сонця та його фотоелектричних елементів і передає його в кругообіг води для забезпечення будинків гарячою водою або опаленням. Існує кілька методів ефективного використання сонячної енергії, які можна розділити на три основні категорії: теплові застосування, виробництво електроенергії та хімічні процеси, а найбільш широко використовуваними сферами застосування є нагрівання води. Зараз електрику все частіше виробляють фотоелектричні системи та сонячні теплові технології, оскільки основна увага приділяється перетворенню сонячного світла в електрику за допомогою сонячних панелей.

Переваги фотоелементів полягають у їх здатності перетворювати сонячну енергію безпосередньо в електрику та в простоті використання, що робить їх придатними для використання, особливо в країнах, що розвиваються, де немає великих генераторів. Слід зазначити, що вихід цих елементів залишається обмеженим, оскільки кількість одержуваної енергії залежить від географічного положення та пов'язана з кліматичними умовами, а термін використання становить не більше двадцяти років. Це означає, що енергію викопного палива (наприклад, нафти та вугілля) можна замінити, але існує проблема їх зберігання, оскільки ця енергія не може зберігатися роками. З іншого боку, його можна використовувати для виробництва 50% енергії, необхідної для опалення. Вартість сонячної теплової енергії все ще є відносно високою через високі інвестиційні витрати, необхідні для її будівництва, які можна відновити лише через відносно тривалий період, який може тривати від 10 до 15 років. У цьому контексті у звіті Грінпіс від 7 жовтня 2005 року під назвою «Концентрована сонячна теплова енергія» зазначено, що до 2025 року сонячна енергія забезпечуватиме чисту електроенергію протягом двох десятиліть для понад 100 мільйонів людей у районах, найбільш схильних до впливу сонця. Greenpeace заохочує осіб, які приймають рішення, підтримувати цю сучасну, стійку індустрію та інвестувати в цю нову технологію. У звіті також показано, як Близький Схід і Північна Африка можуть стати основним центром виробництва сонячної енергії у світі та мати можливість експортувати цю енергію до Європи.

Сонячна енергія довела свою техніко-економічну достатність у сфері нагріву води та вироблення електроенергії за допомогою сонячних елементів, а сонячна енергія з інших джерел енергії має відмінну якість у зменшенні споживання палива та забруднення навколишнього середовища. Сонячна енергія майже безкоштовна, але вимагає великих витрат на виробництво та перетворення енергії, що генерує пристроїв. Сучасні дослідження мають на меті звести ці витрати до мінімуму. Сьогодні стало можливим проектувати сонячні електростанції потужністю 80 гібридних мегават, які працюють на сонячній енергії вдень і природному газі вночі, завдяки чому вартість кіловат-години дуже висока. Однак ціни на сонячну енергію не підкоряються відомому закону попиту та пропозиції, а залежать від закону економії на масштабі.

У звіті Всесвітньої асоціації вітроенергетики (WWEA) за 2006 рік зазначено, що технологія вітрової енергії є найбільш динамічним джерелом енергії та найперспективнішою альтернативою виробництву викопного палива. [23] Енергія вітру вважається одним з найважливіших джерел відновлюваної енергії. Вартість енергії вітру стала конкурентоспроможною порівняно з традиційною енергією, оскільки вартість виробництва кіловат вітрової енергії досягла 1000 дол., тоді як вартість кВт виробництва з традиційної енергії становить до 800 дол. В даний час енергія вітру виробляє більше понад 1% світового споживання електроенергії. Вартість електроенергії, виробленої вітром, стала дуже низькою. Використання інтелектуальних електронних засобів управління, використання обтічних поверхонь і постійне вдосконалення матеріалів, що використовуються у виробництві енергії вітру, забезпечили додаткові переваги.

Біомаса вже є провідним джерелом відновлюваної енергії в Європі, але вона ще не повністю розкрила свій потенціал, оскільки навіть при виробництві та споживанні на місцевому рівні вона є важливою складовою циркулярної економіки в галузі енергетики. Як замітник викопного палива, він значно зменшує викиди CO<sub>2</sub> та захищає користувачів від коливань цін, характерних для ринків нафти та газу. Переробка деревних відходів також є потенційним джерелом палива, а розумне відновлення лісів також сприяє уловлюванню CO<sub>2</sub>. [44] Багато економістів

зазначають, що біопаливо є зеленою альтернативою нафті, а на світовому ринку є два основних бренди – біодизель та етанол, які зазвичай виробляють із продовольчих культур. Етанол видобувається з цукрової тростини, кукурудзи, пшениці та іншого зерна, що містить цукор або крохмаль, і додається в бензин, і він становить понад 90% загального виробництва біопалива у світі. Варіанти сонячної енергії передбачають неявне накопичення зеленої речовини в біомасі, яка утворюється в результаті фотосинтезу, і зберігають частину сонячної енергії у вигляді хімічної енергії, яку можна відновити шляхом спалювання рослини. На відміну від викопного палива, біомаса має ряд переваг, оскільки вона доступна в більшості частин Землі і містить менше 0,1 відсотка сірки і від 3 до 5 відсотків золи і еквівалентна кількості вуглекислого газу, що виділяється з біомаси під час спалювання. Це означає, що біоенергетика не викидає додаткового вуглекислого газу в атмосферу.

Біомаса широко використовується для виробництва електроенергії та тепла в лісовій промисловості. Решта деревних відходів, отриманих у процесі виробництва, використовують паливо для когенераційних систем, що працюють на турбінних турбінах. Цей метод економічний лише в тих районах, де широко доступне дешеве паливо з біомаси. Одним із яскравих прикладів ефективного використання матеріалів та енергії в промисловості є Фінляндія.

Целюлозно-паперова промисловість Фінляндії є яскравим прикладом великої промисловості, де майже всі матеріали та побічні продукти переробки деревини вже використовуються для виробництва багатьох видів продукції або для виробництва відновлюваної енергії. Фінські фірми швидко знаходять нові види використання інноваційних деревних біоматеріалів, покращуючи тим самим використання біомаси з раціонально керованих лісів Фінляндії, де щорічно збирають більше деревини, ніж заготовляють. Удосконалення процесу використання сировини, як правило, йде паралельно з економією енергії. Як країна з холодним кліматом, яка не має власних запасів викопного палива, Фінляндія вже давно усвідомила необхідність енергоефективності в промисловості та житлових будинках. Враховуючи необхідність скорочення викидів і зниження глобального потепління, поширення такого досвіду зараз як ніколи важливо. На додаток до створення стійкої вуглецевої

біоекономіки шляхом раціоналізації використання лісової біомаси, Фінляндія також активно впроваджує концепцію кругової економіки в інших ключових сферах. Фінські виробники лісотехнічних машин Ponsse були першими, хто прийняв модульну концепцію продукту, почавши збирати машини з багатоцільових деталей, які можна легко зняти та відправити на технічне обслуговування та повторне використання, навіть якщо тільки через їх міжнародну мережу продажів. [33]

Геотермальна енергія залежить від використання енергії, що міститься в ґрунті, для опалення або перетворення її в електроенергію. Для отримання енергії з надр землі воду нагрівають під землею, а потім використовують її теплову енергію для виробництва електроенергії. Найважливіша частина енергії, що приховується на Землі, пов'язана з радіоактивністю гірських порід, що утворюють земну кору. Це можна охарактеризувати як тип природної ядерної енергії, що виникає в результаті розкладання урану, торію та калію. Ця енергія не пов'язана зі зміною клімату, а тривалість геотермальних шахт оцінюється десятками років. У звіті Міжнародної геотермальної асоціації за 2007 рік зазначено, що світова геотермальна енергія досягла 7,9 гігаватт, що на 800 мегаватт більше, ніж у 2005 році. Ця чиста енергія використовується більшістю країн світу для боротьби із забрудненням навколишнього середовища, і загальна енергетична потужність розподіляється. Геотермальна в різних пропорціях для країн-виробників. Аналогічно, у звіті GEO за 2009 рік зазначено, що австралійський уряд оголосив про проект вартістю 43 мільйони доларів, щоб допомогти видобути енергію з тепла землі, будучи найбільшим у світі експортером вугілля, який виробляв близько 77% електроенергії. Це робить його найбільшим у світі джерелом забруднення населення. У звіті додається, що лише 1% геотермальної енергії в Австралії може задовольнити потребу в чистій електроенергії протягом 26 000 років. З іншого боку, ця технологія, яку іноді називають «гарячим камінням», має величезний потенціал для Австралії як засіб протидії зміні клімату та національній енергетичній безпеці, і перші установки цієї енергії можуть почати працювати в 2012 році. Швейцарія також світовий лідер з використання геотермальної енергії. Тут найбільший відсоток підземних енергетичних об'єктів, оскільки кількість установ, заснованих на інвестиціях надр

Землі (як вітрових, так і водних), досягла 50 000 установок, але в ньому відсутні станції, які перетворюють цю енергію в електричну, на відміну від того, що було раніше. знайдено в Німеччині і навіть в Італії, яка завдяки підземній електростанції в Тоскані зуміла стати першим виробником цього виду електроенергії.

Гідроелектростанції виробляють електроенергію за допомогою сили (падіння) води, яка приводить в рух так звану турбіну, яка, у свою чергу, обертає металеву вісь, з'єднану з генератором. Принцип полягає в будівництві річкової водяної греблі для зберігання великої кількості води та отримання великої висоти, і, таким чином, вода забирається по трубах з нижньої частини стінки греблі, де тиск води пропорційний висоті води греблі. щоб досягти лопатей турбіни і змусити її обертатися, що в свою чергу з'єднано з віссю генератора. А коли магнітні полюси обертаються в генераторі, в обмотках буде вироблятися змінний електричний струм. Висота води в баку зберігається в енергії. Коли дамба відкривається, вода, що проходить через турбіну, перетворюється в кінетичну енергію. Кількість виробленої електроенергії визначається кількома факторами, двома з яких є обсяг проточної води та висота поверхні дамби від турбіни (двигуна). У міру збільшення висоти і потоку води виробляється електрична енергія. Ця енергія пов'язана з кількістю води, що зберігається.

### **1.3. Енергетичний фактор розвитку галузей світової економіки**

Людство завжди покладалося на енергію для розвитку. У 18 столітті промислова революція перенесла виробництво з людської праці на машини, які приводилися в рух паром, що виробляється від спалювання вугілля. Згодом були відкриті нові джерела енергії, які забезпечують природні ресурси, такі як нафта, газ та атомна електростанція. Поступово споживана енергія на душу населення в усьому світі зросла з 0,5 тне/душу населення, майже виключно отриманої з біомаси, до 2,0 тне/душу населення. У промислово розвинених країнах середнє значення сьогодні вдвічі перевищує значення, приблизно 4 н.е. на душу населення. Недоліком цієї енергетичної жадібності є виділення великої кількості вуглекислого газу в атмосферу Землі, що призводить до постійного глобального потепління через парниковий ефект.

Отже, багато людей у всьому світі виступають за вжиття рішучих дій, щоб примусити скоротити загальне споживання енергії за допомогою різних інструментів: податок на вуглець, субсидії на відновлювані джерела енергії, підвищення цін на енергію, екологічні санкції для промисловості тощо. Однак деякі екологічні активісти надсилали змішані та іноді оманливі повідомлення. Головна мета нашої планети, очевидно, полягає в тому, щоб зупинити викиди CO<sub>2</sub>, а не скоротити споживання енергії як таке. Очевидно, існує сильний взаємозв'язок між енергією та економією. Звичайно, енергетичний сектор сам по собі керує багатьма підприємствами і повністю є частиною світової економіки.

У деяких країнах, зокрема країн Перської затоки, вона навіть є основним внеском. Тим не менш, у промислово розвинених країнах, де немає ресурсів викопного палива, як Франція, усі сектори економіки більш-менш залежать від енергії. У цій роботі ми вводимо метод оцінки ваги енергії в кожній діяльності людини, включаючи некомерційні організації. Для кожного виду діяльності розраховується число, що відображає вплив енергії на цю діяльність. Потім для даної країни можна обчислити середнє зважене доданої вартості діяльності з використанням виділеного числа. Отриманий результат можна розглядати як показник впливу енергії на світову економіку.

Численні автори вказували на взаємозв'язок між енергією та розвитком людини. Промислова революція, що розпочалася в кінці 18 століття, характеризується переходом від ручного виробництва до виробництва з використанням механічної роботи, що забезпечується паровими двигунами.

Перехід став можливим завдяки відкриттю вугілля, що дозволило дешево виробляти пар для механізмів. Кокс також був важливим для виробництва заліза та металургії. Для видобутку вугілля було потрібно набагато менше енергії та праці, ніж для вирубки біомаси з деревних лісів, і в 2-3 рази більше енергії на одиницю маси, ніж деревне вугілля. Наступний розвиток людства в західних країнах з тих пір покладався на багату і досить недорогу енергію, доступну з викопного палива. Дуже важко точно визначити рівень людського розвитку в тій чи іншій країні, який виходить за межі простої міри економічного багатства. Проте, за результатами

роботи, проведеної Організацією Об'єднаних Націй, людський розвиток можна охарактеризувати одним числом, а саме індексом людського розвитку (ІЛР), розрахованим Програмою розвитку ООН (ІЛР та ПРООН). [69]

ВВП є стандартним показником глобальної економіки країни, дуже подібним до економічного показника, що складає ІЛР. Якщо побудувати тимчасову еволюцію ВВП країни як функцію відповідного споживання енергії на душу населення, то при низькому ВВП з'являється дуже чітка кореляція.

У кожній країні перший зліт її економіки пов'язаний із збільшенням споживання енергії до заданого рівня. У якийсь момент у промислово розвинених країнах обсяг споживання енергії на душу населення вирівнюється, а ВВП може продовжувати зростати з часом. Останніми роками ми спостерігаємо передумови незначного зниження енергоспоживання, тоді як ВВП все ще може зберігати тенденцію до зростання. Одним із пояснень цього очевидного співвідношення споживання енергії з економічним багатством можуть бути важливі останні інвестиції в підвищення енергоефективності.

З економічної точки зору енергоефективність можна проаналізувати як заміну енергії капіталом. Крім того, ця заміна в кінцевому підсумку покаже деякі обмеження, як це буде розкрито в наступному розділі. Хоча зв'язок між ВВП та енергетикою досить чіткий і сильний, не існує прямої теорії, яка б дала оцінку впливу енергії на ВВП. Натомість велика кількість економістів використовує методи економетрики, засновані на статистичних кореляціях між ВВП та споживанням енергії (Chontanawat et al., 2008; Kraft and Kraft, 1978; Soytaş and Sari, 2003). Ці емпіричні підходи зазвичай базуються на регресійних моделях, включаючи тестування причинно-наслідкових зв'язків за Грейнджером (Granger, 1969). [67]

Причинно-наслідковий зв'язок може бути отриманий обома способами: від енергії до ВВП і, навпаки, від ВВП до енергії. Тут ми вирішили вибрати зовсім інший підхід. Замість того, щоб намагатися знайти кореляції зі статистичними апріорно невідомими змінними (тобто ВВП та енергія), ми приймаємо повністю детермінований підхід, оцінюючи прямий вплив енергії на діяльність, створену у ВВП. Це, безумовно, більш виснажлива і тривала робота, ніж виведення значень, які



найкраще підходять за допомогою простого рівняння лінійної регресії, але це завдання варто виконати хоча б один раз, оскільки воно також надає додаткову детальну інформацію про вплив енергії для кожного виду діяльності або сектора.

За визначенням EI — це відношення між GDP та споживанням енергії E. У середньому світовий EI зріс більш ніж удвічі за століття, піднявшись з 2100 долл. США у 1900 році до 4650 долл. США у наш час. Темпи зростання в середньому за п'ять десятиліть наближаються до 1% на рік. Ми можемо обгрунтовано припустити, що ця тенденція, ймовірно, триватиме й у наступні десятиліття. Слід бути дуже обережним, порівнюючи EI між різними економіками, оскільки він може суттєво відрізнятися від структури економічних агентів. Наприклад, трудомісткі країни можуть демонструвати нижчий EI, ніж країни з високим рівнем послуг. [21]

Однак для даної країни EI є показником її енергоефективності з часом. Історично склалося так, що технологічні прориви значно підвищили енергоефективність. Приклад освітлення, ефективність якого з 1820 року по теперішній час підвищилася в 500 разів, є досить репрезентативним для того, як тенденція завжди просувається до забезпечення однакового кінцевого використання з меншою енергією та меншою вартістю (Fouquet, 2015). Негативним ефектом цієї тенденції є добре відомий ефект відскоку (Khazzoom, 1980), оскільки люди, природно, будуть менше турбуватися про економію енергії, коли вона стане надзвичайно дешевою. Наприклад, сьогодні це стосується освітлення.

Підвищення енергоефективності відбувається дуже повільно в часі і пов'язане з поступальним впровадженням нових технологій у всі галузі економіки. Громадські вказівки, стимули та нормативна база можуть підвищити енергоефективність. Однак існує чітке обмеження суми, яку можна досягти від впровадження цієї політики. Яскравим прикладом є економія енергії в будівельному секторі та будівлях. Дія на огорожувальну оболонку будівлі для зменшення втрат на опалення або охолодження призведе до економії енергії в довгостроковій перспективі за рахунок додаткових інвестиційних витрат під час будівництва або реконструкції. Очевидно, що це призведе до компромісу між фактичним збільшенням витрат і сумою всіх майбутніх економій, що виникнуть у результаті приросту енергії.

Оптимальним значенням, безумовно, не буде повна і щільна ізоляція стін і дахів будівлі для досягнення нульових втрат. Прагнення до будівництва будинків з нульовою енергією зменшить споживання енергії в житловому та комерційному секторах, але також буде економічно контрпродуктивним, призведе до вищих витрат на житло та зниження добробуту людей, які бажають отримати доступ до житла.

Насправді, можна було б переглянути політику енергоефективності, щоб переорієнтуватися на підвищення енергопродуктивності, що означає збільшення економічної цінності кожної спожитої одиниці енергії, а не збільшення ЕІ. Тим не менш, як тільки нова технологія буде впроваджена, а потім розгорнута в промисловості або в економічному секторі, тенденція завжди буде спрямована на те, щоб з часом підвищити енергоефективність цієї технології за доступною ціною. Історичні спостереження призвели до середнього темпу зростання глобального ЕІ, який коливався між +0,7%/рік і +1,0%/рік протягом останніх 50 років. І якщо якісь революційні технології не будуть впроваджені в енергетичний ландшафт, ситуація продовжуватиме розвиватися тим же темпом. Тільки руйнівні технології можуть швидко та різко змінити усталену тенденцію.

Енергетичний розвиток на індустріальній стадії якісно відрізняється від доіндустріальної, а на постіндустріальній – від попередніх періодів. Для сучасної енергетики характерна концентрація різних видів енергетичних ресурсів у процесі людської життєдіяльності, яка веде до її інтенсифікації і диференціації, аж до формування нових її видів, що обумовлює зміну технологічних укладів, зростання енергоозброєності трудових і технологічних процесів, і створення індустріального типу економіки. Найважливіші показники енергетичного процесу на усіх його стадіях – диверсифікація і диференціація використовуваних енергетичних ресурсів.

Найвища стадія енергетичного процесу – енергетичний перехід – характеризується окрім його універсальних ознак додатковими якісними характеристиками, а саме: зростанням питомої ваги високоефективних енергетичних ресурсів і трансформованих енергоносіїв у структурі енергетичного балансу, радикальною зміною ролі і місця енергетичного господарства в суспільно-

економічній системі, посиленням впливу енергетики на продуктивність праці і культуру побуту, повсякденне життя.

З одного боку, енергетичний перехід формує інфраструктуру економіки і чинить вагомий вплив на ефективність виробництва, його галузеву і територіальну організацію. З іншого боку, усякі більш чи менш значні зміни в економіці країни, структурні, технічні та технологічні зрушення у виробничій та невиробничій сферах відображаються у обсязі, рівні і структурі виробництва та споживання енергетичних ресурсів. Іншими словами, енергетичний перехід – це процес, який інтегрує усі грані суспільно-економічної системи, включаючи енергетичну основу виробництва, систему розміщення виробництва і напрями енергетичних потоків, соціальну структуру суспільства, структуру зайнятості населення та інше.

Енергетичний перехід можна охарактеризувати як комплексний модернізаційний процес, який включає надзвичайно високе за історичними темпами, радикальне перетворення усіх сторін суспільного життя на «енергетичних» засадах: виробничої, поселенської, соціальної структур. Мова іде про якісну інноваційну зміну усіх матеріальних, соціокультурних основ життя суспільства, його продуктивних сил, про радикальні зміни способу життя та менталітету суспільства. Темпи енергетичного процесу мають прямий вплив на швидкість індустріального оновлення: низька енергоозброєність обумовлювала панування ручної праці у доіндустріальних суспільствах, виступаючи одним з факторів повільних якісних змін у всій сукупності виробничих відносин. Освоєння джерел енергії і способів їх перетворення обумовило розвиток машинного виробництва, зміну технологій, а разом з ними і накопичення суспільно-економічних зрушень на індустріальній стадії, а потім – забезпечило перехід до постіндустріальної з її високотехнологічним інноваційним виробництвом, зростанням частки відновлюваних джерел енергії, усвідомленням необхідності забезпечення екологічності виробничих процесів.

Оскільки кожна країна перебуває на різному рівні економічного розвитку, то, очевидно, і потреба у енергетичних ресурсах для кожної із країн стає відмінною. Міграція центрів розвитку промисловості зумовлює відповідні зміни і у структурі світової енергетики. Зокрема, у розвинутих країнах спостерігається зниження темпу

зростання споживання енергетичних ресурсів, що супроводжується зниженням темпів економічного зростання. Як відомо, даний ефект зумовлюється поступовим вичерпанням відносно доступних економічних ресурсів та наближенням до потенційно можливого максимуму внутрішнього виробництва за умов поточного технологічного укладу. У той же час, центрами зростання споживання енергетичних ресурсів стають країни, котрі активно розвивають внутрішнє виробництво, і відповідно потребують значного приросту постачання енергетичних ресурсів. При цьому енергетична ефективність технологій, що застосовуються у таких країнах зазвичай нижча за відповідну у розвинених країнах. Таким чином, доцільно виділити тенденцію до зміщення центрів приросту світового споживання енергетичних ресурсів.

За період з 1961 р. світова економіка продовжує зберігати тенденцію до підвищення потреби у енергетичних ресурсах, формуючи середньорічний приріст їх споживання на рівні 2%, що забезпечило зростання споживання енергетичних ресурсів у 6 раз (за період з 1971 р. – у 3,4 рази) . За цей же період, середнє щорічне зростання світового ВВП становить 6,7 %, що свідчить про зниження енергоемності та структурні зміни, котрі відбуваються у світовій економіці. [27]

Як відомо, поштовхом до формування нової парадигми енергоспоживання у західних країнах стала перша енергетична криза, вплив якої змусив переглянути відповідність поточної економічної моделі умовам низької доступності стратегічно важливих видів енергетичних ресурсів. У результаті тривалих послідовних адаптивних змін західними країнами було досягнуто суттєве зниження залежності від зовнішніх постачальників енергетичних ресурсів та сформовано енергоефективний тип розвитку економіки, котрий ґрунтується на принципах енергозаощадження, енергетичної незалежності, енергетичної ефективності, екологічності та соціальної відповідності. Низкою країн було досягнуто зниження показника енергоемності економіки від 0,4-0,5 т.н.е./тис. дол. до 0,10 – 0,14 т.н.е./тис. дол., що відображає високий рівень ефективності використання енергетичних ресурсів, суттєві зміни у технологіях видобування, трансформування та споживання енергоресурсів. [61]

В цілому, представлені дані можуть бути трактовані на користь гіпотези про міграцію центрів споживання енергетичних ресурсів відповідно до поточної стадії індустріального розвитку економіки країни. Таке бачення рушійних сил і трансформаційних процесів в енергетичній сфері розширює можливості прогнозування середньо- та довгострокових тенденцій розвитку світової енергетики.

Загальним трендом постає зниження темпів зростання використання енергетичних ресурсів, що, є відображенням комплексного впливу ряду факторів, до яких належать: зниження темпів економічного зростання в індустріально-розвинених країнах; поширення ідей енергозбереження та формування бачення енергоефективного типу розвитку національної економіки; підвищення волатильності ринків енергетичних ресурсів при збереженні загальної тенденції до зростання цінового рівня; зниження технологічної доступності енергетичних ресурсів, підвищення витрат на їх видобування та переміщення до центрів споживання; зміни у структурі енергетичної сфери на користь зростання частки альтернативних методів отримання енергетичних ресурсів, для яких, на даний час, характерний занижений рівень технологічної та економічної ефективності. Саме такі глобальні зрушення є складовими енергетичного процесу і стають підґрунтям енергетичного переходу.

Таким чином країни з різним рівнем економічного розвитку знаходяться на різному рівні енергетичного процесу. Даний факт зумовлює нерівномірність розвитку енергетичної галузі у різних регіонах, що, у тому числі, відображається різною інтенсивністю споживання енергоресурсів. Період активного економічного зростання супроводжується і забезпечується здебільшого екстенсивним шляхом розвитку енергетичної галузі країни, що замінюється переважно інтенсивним в міру економічного розвитку. Концепція розвитку енергетики країни полягає у формуванні та реалізації цілей, що відповідають поточному етапу розвитку економіки. Дослідження та прогнозування кон'юнктури енергетичних ринків потребує врахування особливостей поточного періоду розвитку економіки країн світу.

## Висновки до розділу 1

З одного боку, енергетичний перехід формує інфраструктуру економіки і чинить вагомий вплив на ефективність виробництва, його галузеву і територіальну організацію. З іншого боку, усякі більш чи менш значні зміни в економіці країни, структурні, технічні та технологічні зрушення у виробничій та невиробничій сферах відображаються у обсязі, рівні і структурі виробництва та споживання енергетичних ресурсів. Іншими словами, енергетичний перехід – це процес, який інтегрує усі грані суспільно-економічної системи, включаючи енергетичну основу виробництва, систему розміщення виробництва і напрями енергетичних потоків, соціальну структуру суспільства, структуру зайнятості населення та інше.

Енергетичний перехід можна охарактеризувати як комплексний модернізаційний процес, який включає надзвичайно високе за історичними темпами, радикальне перетворення усіх сторін суспільного життя на «енергетичних» засадах: виробничої, поселенської, соціальної структур. Мова іде про якісну інноваційну зміну усіх матеріальних, соціокультурних основ життя суспільства, його продуктивних сил, про радикальні зміни способу життя та менталітету суспільства. Темпи енергетичного процесу мають прямий вплив на швидкість індустріального оновлення: низька енергоозброєність обумовлювала панування ручної праці у доіндустріальних суспільствах, виступаючи одним з факторів повільних якісних змін у всій сукупності виробничих відносин. Освоєння джерел енергії і способів їх перетворення обумовило розвиток машинного виробництва, зміну технологій, а разом з ними і накопичення суспільно-економічних зрушень на індустріальній стадії, а потім – забезпечило перехід до постіндустріальної з її високотехнологічним інноваційним виробництвом, зростанням частки відновлюваних джерел енергії, усвідомленням необхідності забезпечення екологічності виробничих процесів

## РОЗДІЛ II

### ВОДНЕВА ЕНЕРГЕТИКА ЯК СКЛАДОВА СВІТОВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА РОЗВИТОК АВІАЦІЇ

#### 2.1. Світовий енергетичний баланс і стан розвитку водневої енергетики.

Безперервне зростання ціни на нафту і газ стало поштовхом до заміни найпоширенішого потужного агрегату сучасного автомобіля – двигуна внутрішнього згоряння. Сьогодні у світі існують найбільш перспективні широкомасштабні варіанти застосування водневих технологій. Концепція чистої водневої енергії, яку часто називають «водневою економікою», включає в себе:

- 1) виробництво водню з води з використанням невідновлюваних джерел енергії (вуглеводні, ядерна енергія, термоядерна енергія);
- 2) виробництво водню з використанням відновлюваних джерел енергії (енергії сонця, вітру, припливів, біомаси);
- 3) надійне транспортування та зберігання водню;
- 4) широке застосування водню в промисловості, на транспорті (на суші, в повітрі, на воді та під водою), у побуті;
- 5) забезпечення надійності матеріалів та безпеки водневих енергетичних систем.

На даний момент, водень користується невисоким попитом в порівнянні з іншими джерелами енергії. До 2018 року загальний видобуток водню не перевищив 70 мільйонів тонн, що є набагато меншим показником в порівнянні з 4,4 мільярдами тонн нафти і 3,86 трильйонами кубометрів метану. [41]

Але в перспективі водень може стати справжнім паливом майбутнього. Це найпоширеніший елемент не тільки на Землі, а й у всьому Всесвіті. Його теплотворна здатність становить 120 МДж/кг. У його найближчого конкурента – метану, за рахунок природного газу, втричі менше – 56 МДж/кг. При згорянні водню

утворюється чиста вода, що робить його найбільш екологічно чистим паливом. Це повністю відповідає глобальній кліматичній програмі, яка вимагає радикального скорочення енергії. [31]

Особливості згоряння водню виділяють його серед інших альтернативних джерел енергії, наприклад, біопалива. Адже бум біопалива в Європі закінчився ще до того, як він почався, в тому числі через те, що при спалюванні етанолу утворюється вуглекислий газ. Однак цей вид палива у будь-якому випадку став чудовою альтернативою дизелю в деяких країнах, особливо в Бразилії.

Довгострокова стратегія вуглецевої економіки до 2050 року та Європейський зелений новий курс були розроблені відповідно до мети Паризької угоди, яка прагне обмежити підвищення глобальної температури більше ніж на 2 °C і докласти зусиль, щоб утримати її на рівні 1,5. °C. В національних енергетичних планах, представлених державами-членами щодо досягнення цих цілей, водень став відповідним варіантом для переходу на чисту енергетику.

На думку деяких експертів, використання водню зможе подолати глобальне потепління і радикально скоротити викиди парникових газів. Згідно доповіді аналітичного центру Всесвітньої водневої ради, що налічує 20 держав-членів і близько 60 корпорацій, стверджується, для того, щоб уповільнити зростання потепління до 2 градусів до 2050 року достатньо буде перевести на водневе паливо 400 мільйонів приватних автомобілів, 15-20 мільйонів вантажівок і 5 мільйонів одиниць громадського транспорту. [48]

І хоча цей перехід тільки починається, традиційна сфера застосування водню залишається досить обмеженою і рідко виходить за межі заводського паркану.

Водень в основному користується попитом у нафтопереробній, хімічній промисловості, металургії, частково у виробництві ракетного та автомобільного палива. Цей попит поступово, але зростає, проте ще всього 30 років тому світове виробництво водню не перевищувало 20-25 млн. тонн. (Див. Рис. 2.1.)





Рис. 2.1. Прогноз споживання чистого водню різними галузями, млн тон.  
Примітка. Побудовано автором за даними Hydrogen Council.

Hydrogen Council вважає водень не просто вторинним реагентом, а ключовим елементом енергетичної революції в глобальній економіці. Якщо газ, як правило, замінює нафту і вугілля, водень, може замінити їх усі, враховуючи його теоретично майже невичерпні запаси, отримані від звичайних джерел енергії та основного джерела життя на планеті – води. Водень здатний до роботи на ТЕС, ГЕС, та на металургійних заводів. Скрізь, де вже є природний газ. За даними МЕА, майже 25% світової електроенергії виробляється на теплових електростанціях з природного газу, в Росії цей показник досягає 47%. [71]

Причому водень можна використовувати не тільки як джерело енергії, а і її накопичувач. У формі стисненого газу, аміаку та синтетичного метану водень може стати акумулятором. У зворотному процесі, коли водень реагує з киснем повітря, цілком можна виробити електрику, тепло і воду.

З точки зору виробництва, водень, ймовірно, буде одним з найбільш гнучких джерел енергії. Нині найбільш вигідними, продуктивними методами отримання

водню є газифікація вугілля та паровий риформінг природного газу. Водень можна отримати щонайменше трьома способами – за допомогою піролізу масла, електролізу води та термохімічного розкладання. Звичайно, такі технології дуже цікаві для провідних країн світу, які в той же час є найбільшими споживачами первинного палива. Найбільшого успіху в цьому напрямку досягли Німеччина, Японія та США, які послідовно виконують власну програму розвитку водневої енергетики. (табл. 2.1)

Таблиця 2.1

Сумарні дані по цільовим показникам використання водню

Країна	Комбіновані системи тепла та енергії		Автомобілі з водневими паливними елементами			Водневі заправочні станції		
	2020 р	2030 р	2020 р	2025 р	2030 р	2020 р	2025 р	2030 р
Японія	1,4 млн	5,3 млн	40 тис	200 тис	800 тис	160	320	900
Німеччина	-	-	100% нульова емісія до 2040 року	-	-	400	-	-
Китай	-	-	3 тис (лише для Шанхая)	50 тис	1 млн	100	1000	-
США	-	-	0	3,3 млн	-	100	-	-
Південа Корея	-	1,2 МВт	10 тис	100 тис	630 тис	100	210	520
Великобританія	-	-	100% нульова емісія до 2040 року	-	-	30	150	-

Примітка. Побудовано автором за даними Hydrogen Council.

За даними Європейської комісії, лідерами з розвитку водневої енергетики є США, Японія, країни ЄС, Південна Корея та Китай. Європейський Союз і Японія

зосереджені на покращенні екологічних якостей цього палива, в той час як Сполучені Штати, насамперед, ставлять перед собою задачу підвищення енергетичної безпеки та зручності використання. Китай, значною мірою, розробляє водневі технології для того, щоб досягти світового технологічного лідерства. За оцінками аналітиків, до 2050 року водневі технології можуть задовольнити близько чверті потреб Європи в паливі та 20% світових потреб в енергії. Ці технології забезпечать достатньо енергії для заряджання 42 мільйонів легкових автомобілів, понад півмільйона вантажних автомобілів і чверть мільйона автобусів. Для того, щоб повністю використати потенціал водню, ЄС включив його до переліку шести стратегічних напрямків пріоритетних політичних рішень та інвестицій. [58]

Розвиток водневої інфраструктури потребує величезних інвестицій (відомо, що газопроводи для транспортування водню дорожчі, ніж електричні лінії далекої відстані). Воднева енергетика та економіка водневих виробництв не можуть розвиватися без наявності та можливості експлуатації розвиненої мережі газових трубопроводів, якими можна передавати метан водневу суміш, а потім вже у споживача розділяти цю суміш на водень і метан. У наші дні воднева інфраструктура поки що перебуває у стадії становлення. В основному вона тримається на великомасштабному трубопровідному транспорті водню та обладнаних воднем заправних станціях, розташованих на транспортних водневих магістралях. Ті ж заправні станції, які розташовані далеко від водневих трубопроводів, повинні забезпечуватися водневими баками, трейлерами зі стисненим або зрідженим воднем, або повинні монтуватися безпосередньо на газовому родовищі.

Специфічні фізико-хімічні властивості водню зумовлюють технічну складність та високу вартість його зберігання та транспортування. Вибір оптимальних способів зберігання та транспортування критично важливий для ринку комерційного водню, що передбачає поділ виробників та споживачів та необхідність організації логістики водню. Зберігання та транспортування водню мають ключове значення у формуванні кінцевої ціни продукції для споживача. При реалізації найбільш сприятливого сценарію з підвищеним попитом та планомірним розвитком технологій очікується зниження вартості зберігання та транспортування водню. (див. Рис 2.2)

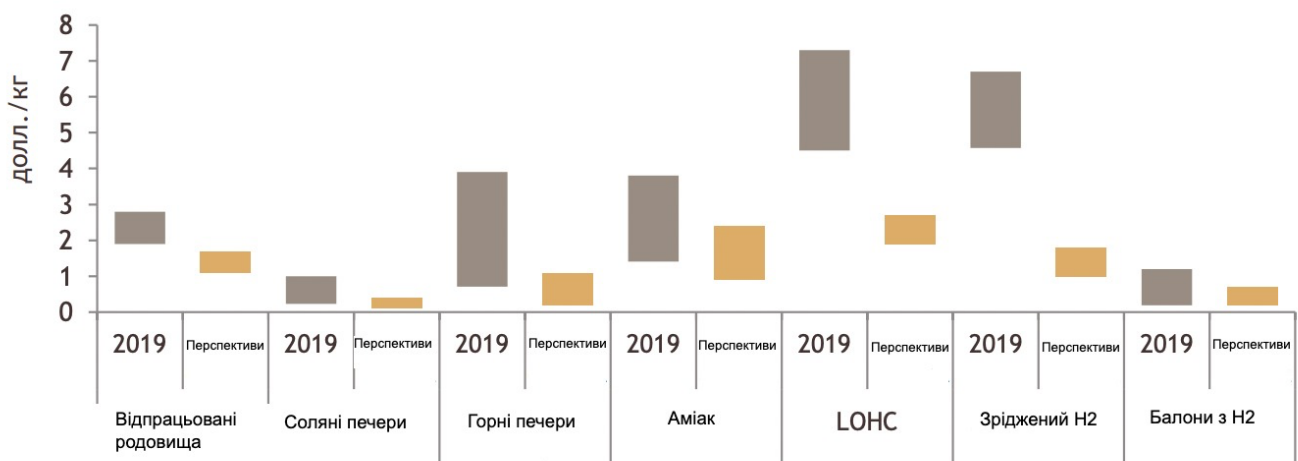


Рис 2.2. Вартість зберігання водню, дол. США/кг.

Примітка. Побудовано автором за даними Hydrogen Council.

З огляду на те, що водень робить сталь крихкою, викликаючи корозію і “хрупкування” сталевих газових трубопроводів, то для останніх потрібне спеціальне покриття. Водень в три рази об’ємніший за обсяг природнього газу тієї ж ентальпії; він прискорює розтріскування сталі, що підвищує експлуатаційні витрати, швидкість витоку та вартість матеріалів виготовлення трубопроводів та резервуарів для зберігання.

Передача водню трубопроводами є найдешевшим способом його транспортування. Якщо для виробництва водню доступна відновлювана енергія (вітрова, сонячна, енергія поділу ядра, термоядерна енергія тощо), то його використання для отримання синтетичних палив може розширити сектор споживання водню з прив'язкою до певного з'єднувального газопроводу від 5 до 10 разів. Водневі автозаправні станції (ВАЗС) вже працюють у США, Японії, Китаї та деяких країнах ЄС. [42]

Роботою з розвитку водневої заправної інфраструктури займаються в таких європейських компаніях, як Air Liquide Air products, Danish Hydrogen Fuel, H2 Logic, Hydrogen Link, Hydrogen Sweden, Icelandic New Energy, Linde, McPhy. Водневі заправки ВАЗС складаються із системи зберігання водню, охолодження, компресора та роздавальних пристроїв для заправки автомобілів. Вони проектується за

міжнародними стандартами, які модульна структура дозволяє адаптувати їхні робочі характеристики під необхідний обсяг споживання.

Практикується також змішування водню із природним газом. Так, водень у невеликих кількостях можна безпечно додавати до існуючих газотранспортних та газорозподільних мереж подачі природного газу, проте адміністративні та технічні обмеження в різних країнах лімітують допустиму в таких випадках кількість водню. Великобританія та США мають найнижчий дозволений рівень 0,1 % (за обсягом), тоді як у Німеччині та Нідерландах цей рівень значно вищий і дорівнює 10–12 %. У Німеччині є кілька подібних об'єктів, зокрема така станція працює у Франкфурті-на-Майні з 2014 року, додаючи до 2% водню до місцевої газорозподільної мережі. Зустрічається таке підмішування водню в мережі природного газу та в Італії, Данії та Нідерландах. Підраховано, що підмішування 20% водню до масштабної європейської газотранспортної системи могло б знизити викиди CO<sub>2</sub> на 60 млн. тонн на рік (або на 7%). (Рис. 2.3)

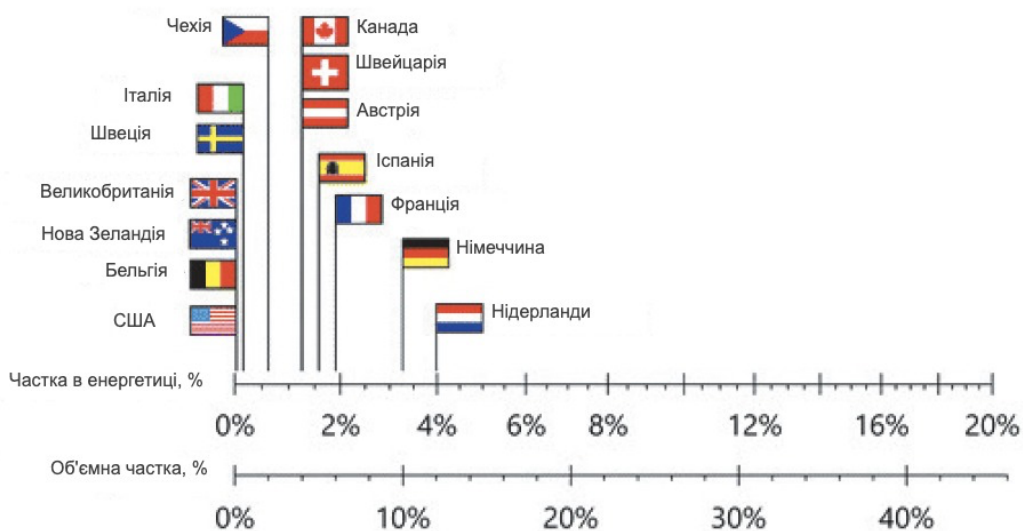


Рис. 2.3 Частка водню у природному газі країн світу.

Джерело. Hydrogen Council.

Незважаючи на величезний потенціал цієї галузі, розвиток інфраструктури для водневої економіки залишається важким та дорогим завданням. (табл. 2.2) Для посилення зусиль у цьому напрямку, за участю Європейської комісії та науковців була створена технологічна ініціатива “Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking”, яка зосереджена на вивченні паливних елементів та водню.

Таблиця 2.2

Вартість перевезення водню за типами, дол. США/кг

Тип водню	Вартість перевезення морським транспортом (дол. США/кг)	Вартість перевезення залізничним транспортом (дол. США/кг)	Вартість перевезення автотранспортом (дол. США/кг)
Скраплений водень	0.02	0.03	0.23
У вигляді аміаку	0.06	0.20	0.64
Компрімований водень, 350 бар	0.36	0.39	1.63
Компрімований водень, 150 бар	0.41	0.43	2.09

Примітка. Побудовано автором за даними Hydrogen Council.

До списку провідних компаній з виробництва водню, згідно з даними аналітичної компанії Maketsandmarkets, входять: Air Liquide (Франція), Air Products and Chemicals (США), Iwatani (Японія), Hydrogenics (Канада), Linde (Німеччина) та Praxair (США). З інших відомих гравців у водневому бізнесі відзначають компанії Messer Group (Гермнія), Showa Denko (Японія), Ally Hi-Tech (Китай), Caloric (Німеччина), Claind (Італія), Erredue (Італія), HyGear (Нідерланди), Nuvera Fuel Cells (США), Proton OnSite (США), Taiyo Nippon Sanso (Японія), Teledyne Energy Systems

(США), Xebec (Канада), Ballard Power Systems (Канада), FuelCell Energy (США) та Plug Power (США). [60]

Компанія Air Liquide є провідним постачальником промислових газів (водню, кисню та азоту) для хімічної, нафтохімічної, нафтоперегінної та сталеливарної галузей та низки підприємств охорони здоров'я. У вересні 2018 р. Air Liquide відкрила свою 10-у в Німеччині водневу станцію та нове виробництво в Нобро (Данія) з випуску чистого безвуглецевого водню.

Існують різні прогностичні оцінки досяжних обсягів світового ринку енергетичного водню, що базуються на консервативному, помірному та оптимістичному сценарії розвитку. Згідно з помірним сценарієм, прийнятим як базовий, до 2025 р. світовий ринок водневої енергетики має досягти 26 млрд. дол. (табл. 2.3), при цьому в період 2025–2040 рр. ціни на водневе паливо мають знижуватися з 4 тис. до 2 тис. дол. За тону. [72]

Таблиця 2.3

Варіанти прогнозу виробництва водню у 2025-2040 рр., млн. тон/рік

Рік	Консервативний сценарій	Помірний сценарій	Оптимістичний сценарій
2025	0,3	1,4	3,7
2030	3,4	8,5	18,3
2035	8,9	20,0	43,9
2040	15,8	34,8	82,2

Примітка. Побудовано автором за даними Hydrogen Council.

Так, згідно з прогнозами компанії Persistence Market Research у період 2017-2025 років. середньорічне зростання світового ринку водню в цілому складе 6,1% і до кінця 2025 р. вартість ринку досягне 200 млрд. дол. цьому показнику в 130 млрд. дол. вуглецевої до водневої світової економіки, зі зниженням викидів в атмосферу шкідливих парникових газів і переходом на транспортні засоби, що працюють на водні. [24]

Експерти Hydrogen Council прогнозують, що завдяки переходу на водневу енергетику, до 2030 р. одна з дванадцяти проданих у Каліфорнії, Німеччині, Японії та Південній Кореї машин могла б їздити на водневому паливі. Згідно з прогнозами аналітичної компанії Navigant Research, до 2024 р. кількість транспортних засобів із водневими паливними елементами у світі збільшиться до 580 тис., до 2026 р. – до 800 тис., а до 2030 р. – до 1,5 млн. [66]

У доповіді Hydrogen Council зазначається, що до 2050 р. емісія CO<sub>2</sub> знизиться на 60%, навіть якщо населення людства на той час збільшиться більш ніж на 2 мільярди. Буде створено ринок водню у розмірі 2,5 трл. дол. та забезпечено робочими місцями понад 30 млн. осіб; до 400 млн. пасажирських транспортних засобів (~ 25 %), 5 млн. вантажівок (~ 30 %) та понад 15 млн. автобусів працюватимуть на водні; 20% поїздів на дизельному паливі перейдуть на водень; буде замінено на день близько 20 млн. барелів нафти, при цьому попит на водень може зрости в 10 разів. Дається прогноз, що до 2050 р. на водень припаде близько 18% від усіх енергетичних потреб у світі. Споживання водню на той час збільшиться до 370 млн. тонн на рік, а 2100 р. – до 800 млн. тонн. [22]

Згідно з оцінкою аналітичної компанії Research & Markets, у період 2019–2024 років. світовий ринок водню розвиватиметься із середньою швидкістю 5,8 % на рік. Наразі спостерігається збільшення попиту на водень із боку хімічної промисловості, а також із боку стаціонарних та портативних джерел енергії. Технології водневої енергетики стають особливо популярними завдяки комерціалізації технологій енергія-в-газ (power-to-gas) і зростаючому попиту на використання водню в якості транспортного палива. А експерти компанії Mordor Intelligence роблять прогнози, що у період 2020-2025 років. ринок водню активно розвиватиметься, і зростатиме зі швидкістю понад 5 % на рік, при цьому зростання ринку помірно стримуватиметься високою ціною виробництва та транспортування газу.

Що стосується розвитку географії регіональних ринків водню, то, згідно з даними компанії Persistence Market Research, найвище зростання ринку в період 2017-2025 рр. спостерігатиметься в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні (АТР), Північній



Америці та Європі. Найбільш привабливим є ринок країн АТР, зокрема у Японії, де спостерігається стаłe зростання потреби у водневому транспортному паливі. [25]

Якщо в 2017 р. ринок АТР склав 35 млрд. дол., то до кінця 2025 р. він має збільшитися майже вдвічі і перевищити 70 млрд. дол. Більше того, експерти прогнозують, що найближчими роками ринок водню в АТР зможе досягти більше однієї третини світового ринку і розвиватиметься з найбільшою швидкістю у світі. Другим за величиною регіональним ринком водню є ринок Європи, який у період 2017-2025 років. збільшуватиметься зі швидкістю 6,4 % на рік. Експерти компанії MarketsandMarkets зазначають, що у прогнозований ними період 2018–2023 років. найбільшим за розмірами регіональних ринків також буде ринок АТР, який розвиватиметься із середньорічною швидкістю 8 % та з розмірів 135,5 млрд. дол. у 2018 р. досягне розмірів у 199,1 млрд. дол. до 2023 р. (див. Рис. 2.4).

А в прогнозі компанії Research & Markets на період 2019–2024 рр., найбільш швидко зростаючим регіональним ринком водневої енергетики виявиться не ринок Азіатсько-Тихоокеанського Регіону, а ринок Північної Америки, де спостерігається стійке зростання попиту на водневі паливні елементи, дотримуються жорстких правил контролю емісії. парникових газів і посилюється тенденція до використання більш чистого палива. Крім Північної Америки, другим найбільшим регіональним ринком стане Європа, де зростання ринку буде пов'язане здебільшого зі збільшенням кількості транспортних засобів, що працюють на водневих паливних елементах, а також з розвитком інфраструктури, що забезпечує безпечне зберігання водню. [35]

При цьому складається враження, що світові економічні та енергетичні лідери починають розглядати ринок водневих технологій, що зароджується, як новий інструмент впливу і переділу фінансових потоків. Зокрема, йдеться про сильну конкуренцію між США та Китаєм за сфери впливу на водневому ринку.

У період 2012-2016 років. світовий ринок водню стійко розвивався. Що стосується прогнозів різних аналітичних компаній щодо його розвитку, то в цілому вони збігаються, хоча іноді спостерігаються і деякі відмінності.

У науковій полеміці водень все частіше розглядається в якості ключа до успішного енергетичного переходу. Експерти Міжнародного енергетичного

агентства підрахували, що додання лише 20% водню в європейську мережу природного газу зменшить викиди CO<sub>2</sub> на 60 млн т на рік. [28]

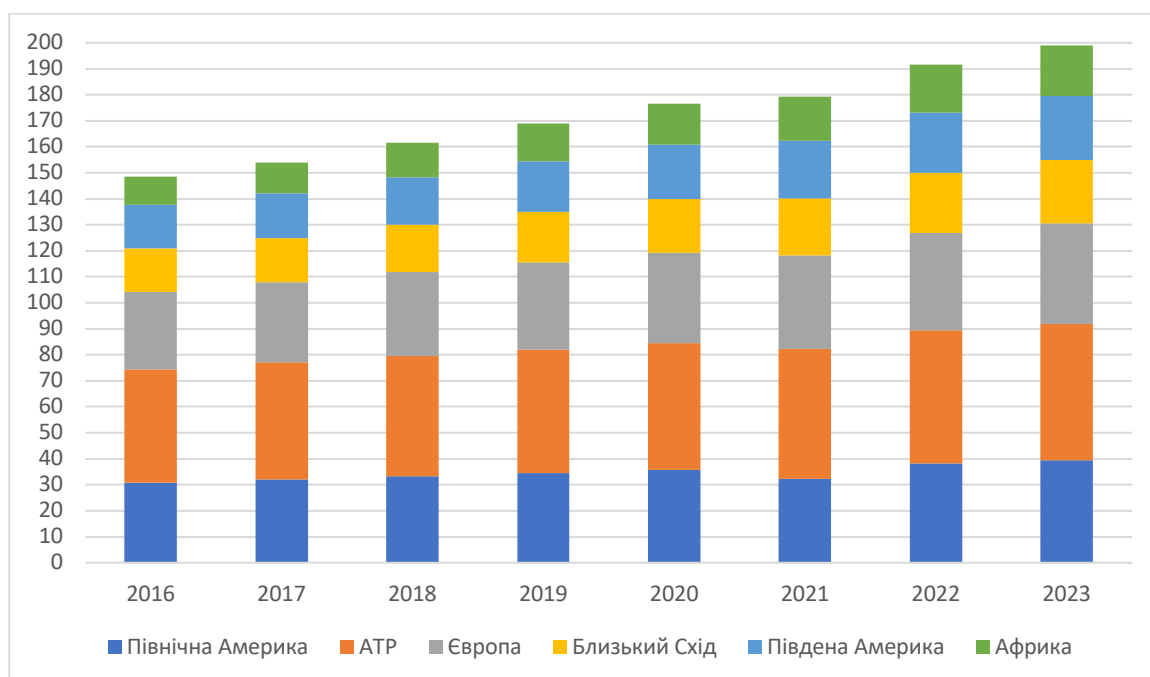


Рис. 2.4. Розвиток регіональних ринків водню у 2016-2023 рр., млрд. дол. США.

Примітка. Складено автором за даними MarketsandMarkets.

Коли йде мова про екологічно чистий, «зелений» водень, зазвичай мають на увазі його отримання електролізом на основі відновлюваної електроенергії. (див. Рис. 2.5) Однак поряд з цим є й інші нові технологічні розробки. Дослідники з Технологічного інституту Карлсруе в Німеччині розробили ефективний процес піролізу метану. Піроліз метану дозволить використовувати викопний природний газ без шкоди для навколишнього середовища: метан буде розділено на газоподібний водень і твердий вуглець, які є цінною сировиною для різних галузей промисловості, а також можуть безпечно зберігатися.

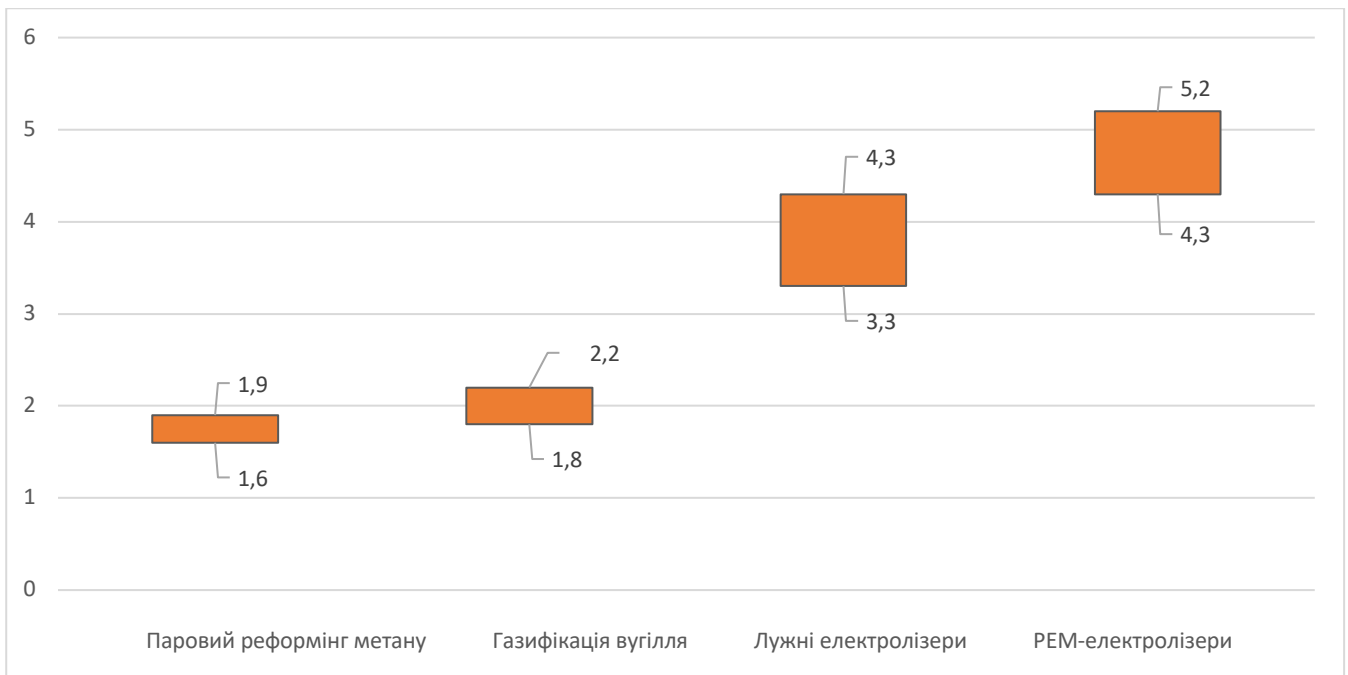


Рис. 2.5 Вартість виробництва водню різними методами, дол. США/кг.  
Примітка. Складено автором за даними MarketsandMarkets.

У Німеччині перша воднева програма з'явилася в 2006 році. Це був план з будівництва 1000 водневих заправних станцій до 2030 р. Однак, перше помітне досягнення з'явилося у вересні 2018 року, коли інжинірингова компанія Alstom запустила в Північно-Західній Німеччині перший у світі потяг під назвою Coradia Lint, що працює на водневих паливних елементах. Його запуск був успішним і наразі ця технологія допрацьовується. [56]

І все ж таки першою країною, яка інтегрувала водневий транспорт у міський транспортний парк є Канада, адже сама канадська компанія Ballard у 1995 році поставила на ринок перші «Водоробуси» - автобуси, що використовують водневий паливний елемент в якості джерела енергії для електродвигуна, які і досі працюють належним чином. З 2005 року ці ж самі технології активно використовуються в Нідерландах, Іспанії, Італії, Люксембурзі та Ісландії. Єдина проблема, яку доводиться вирішувати - це невеликий запас енергії, який поступає двигуну внутрішнього згоряння, адже балони з воднем відносно компактні, а саме тому і мають нижчий коефіцієнт корисної дії, ніж бензобак.

Схожа програма з'явилася навіть у Великобританії, найбільшого споживача газу в Європі. Головною її метою було скорочення викидів парникових газів до 2050

року. Країна поклала великі сподівання, що в майбутньому з'явиться можливість використання водню в газовій промисловості.

У звіті Британського інженерно-технологічного інституту «Перехід на водень», опублікованому у червні 2019 р., зазначається, що до 2030 року значна частина британської газової мережі, яка зараз складається з металевих труб буде замінена пластиком. Це дозволить ввести водень в мережу без шалених інвестицій. Таким чином, наразі водневі технології стають затребуваними, як ніколи раніше.

Але тоді як деякі регіони працюють над удосконаленням транспортування палива, в 2017 р. у Чилі компанія «Enel Green Power Shile» запустила першу в світі стовідсотково чисту мережу електрики, що забезпечує складну гібридну систему приводу, яка, в свою чергу, складається з сонячної енергії, системних водневих і літійових батарей. [68]

На відміну від країн ЄС, США в розвитку виробництва водню були зосереджені на технологіях та методах одержання водню. Однак істотні успіхи в цьому напрямку публічно не фіксуються.

Найамбітнішою програмою може похвалитися Японія, яка поставила водень в ранг майбутнього первинного палива для всієї країни. Програма базується на трьох китах: енергоефективність, енергетична безпека та зниження навантаження на навколишнє середовище. Сьогодні тут можна побачити 2,5 тисячі автомобілів з водневими паливними елементами, що їздять японськими дорогами, а також велику мережу водневих заправних станцій, які також працюють справно. Окрім цього, в країні є кілька тисяч автономних водневих станцій.

З метою забезпечення енергетичної безпеки Японія розглядає декілька сценаріїв розвитку водневої енергетики в майбутньому, а тому не виключає перспективу закупівель водню з інших країн, наприклад Австралії. Однак основною перешкодою для цього залишається відсутність джерела виробництва водню задля його ширшого поширення і використання у світі. Через те, що в чистому вигляді в природі водню не існує, нам потрібно навчитися виділяти його штучно. При цьому варіант синтезу водню з природнього газу залишається найбільш доступним - як

технологічним, так і економічним шляхом отримання водню. Таким чином, одне джерело енергії допоможе виготовленню іншого.

Сьогодні частка водню, що виробляється з природного газу, в нафтохімічній та хімічній промисловості промислового сектору в ЄС, досягає 80-95% загального обсягу виробленого водню. Але в той же час це спричинює значну кількість викидів вуглекислого газу, що, по суті, суперечить концепції водневої енергії, яка має сприяти вирішенню екологічних проблем. Крім того, різні домішки, сірку, які, потрапляючи в атмосферу, теж шкодять навколишньому середовищу, неможливо видалити з газу.

Такі «дрібниці» стали великою перепоною для потенційних інвесторів в водневій технології. Більш того, обережне ставлення до глобальної проблеми зміни клімату та ідея взяти на себе серйозні зобов'язання над скороченням викидів парникових газів і досі переважають серед консервативних інвесторів. В цілому ж, країни ще не готові вкладати значні кошти для преференцій з виробництва водневих технологій. Особливо це стосується країн з великими потужностями в області переробки нафти і газу. [39]

У 2019 році Китайська воднева асоціація випустила офіційну брошюру щодо перспектив водневої енергетики в Китаї. Планується, що до 2025 року обсяг виробництва водневої промисловості досягне 148 млрд доларів. [59]

Світовий ринок водню, безумовно, буде конкурувати з ринками вуглеводнів. Найкращою відповіддю на такі виклики буде інтеграція водневих технологій в російську енергетичну стратегію та, загалом, в стратегію низьковуглецевого розвитку. Само по собі водневе паливо навряд чи стане панацеєю від викидів вуглецю, але це лише один із багатьох шляхів більш ефективного та безпечного використання енергії та вирішення глобальних екологічних проблем та задоволення зростаючих потреб в енергії.

На глобальному рівні до розвитку інтегрованого міжнародного ринку водню потрібно буде залучати не лише країн-виробників та споживачів, а й такі міжнародних організації, як ОПЕК, МЕА та IRENA. З цієї точки зору, вищий ступінь взаємозалежності може сприяти співпраці та посиленню глобальних зусиль проти зміни клімату.

У світі існує розуміння, що відновлювана енергія, вироблена за допомогою вітрової або сонячної енергії шляхом електролізу водню, в майбутньому займатиме важливе місце в економіці. Використання водню для «проміжного зберігання» надлишку електроенергії, виробленої змінними відновлюваними джерелами енергії, у багатьох моделях вважається важливим елементом енергосистеми з великою часткою відновлюваних джерел енергії. Сучасні напрямки розвитку водневої енергетики продиктовані економічними потребами світового ринку та вимогами підвищення екологічної відповідальності енергетики.

Ключовий момент успішної реалізації концепції «водневої економіки» полягає в наявності дешевого, екологічно прийняттого і доцільного способу водневого виробництва.

Техніко-економічна оцінка можливого великого виробництва електролітичного водню може бути корисною для підвищення економічної ефективності низки існуючих електростанцій. Гідро- та парогенератори можуть працювати в базовому режимі та з максимальним використанням встановленої потужності за допомогою кислотно-кисневих парогенераторів та металогідридного водню.

Основними споживачами водню можуть стати багато іноземних компаній, які зацікавлені в експорті зрідженого водню в країни Східної Азії (Японія, Китай).

## **2.2. Перспективи і механізми регулювання розвитку водневої енергетики і її частка в глобальній енергетичній системі**

Останнім часом тема використання водороду набуває широкого розголосу не лише у представників енергетичного сектору, а й інших дотичних секторів, що борються за декарбонізацію.

У ЄС вважають, що оскільки водород є універсальним енергоресурсом, саме він може зіграти ключову роль на шляху до кліматичної нейтральності. З одного боку, водород може використовуватись як енергоносіє або як сировина. З іншого - його можна застосовувати для сезонного зберігання енергії. Більше того, водород має великий потенціал для «важко декарбонізовуваних» та енергоємних промислових

секторів, таких як металургія, або його можна використовувати як «зелене» паливо в транспортному секторі.

Як зазначається у звіті Міжнародного енергетичного агентства (МЕА)<sup>2</sup>, саме через можливість широкого застосування цього ресурсу, тема впровадження та розвитку водородних проектів отримує безпрецедентну підтримку з боку урядів та бізнесу, з одночасним впровадженням відповідних політик та плануванням проектів.

Кількість країн із політичними рішеннями, що безпосередньо підтримують інвестиції у водородні технології, зростає разом із кількістю сфер, на які вони націлені. За даними МЕА, станом на 2019 рік вже було визначено близько 50 цілей політичних стимулів, які безпосередньо підтримують впровадження водородних технологій, більшість з яких зосереджуються у транспортному секторі. (рис. 2.6).

З'явився консенсус, що водень з низьким вмістом вуглецю та нульовим вмістом вуглецю відіграватиме важливу роль в енергетичному майбутньому Європи. Президент Комісії фон дер Ляєн заявила, що «Чистий водень демонструє, що ми можемо узгодити нашу економіку зі здоров'ям нашої планети. І саме в цьому полягає дух Європейської зеленої угоди».

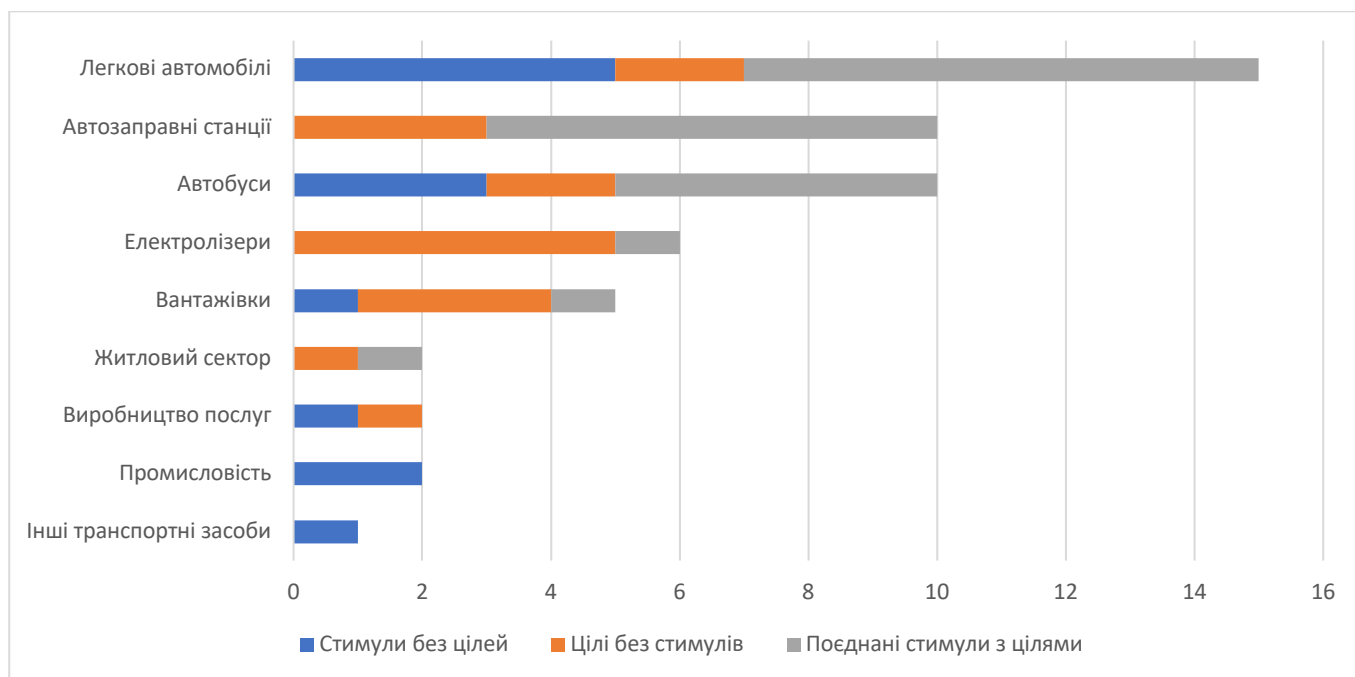


Рис. 2.6 Політична підтримка розгортання водню.

Примітка. Побудовано автором за даними Міжнародного енергетичного агентства.

У своїй водневій стратегії Європейська комісія оголосила, як ціль, щорічна потужність виробництва відновлюваного водню становить один мільйон тонн до 2024 року і десять мільйонів тонн до 2030 року. Це трохи більше, ніж «сірий» (високий рівень викидів парникових газів інтенсивний) водень, який зараз споживається як сировина в ЄС. Мета амбітна. Але це також реалістично: нещодавнє дослідження FSR розрахувало ціни ETS, необхідні для каталізації водню з низьким і нульовим вмістом вуглецю для заміни водню «сірої» сировини, а також є фінансування з Європейського плану відновлення та національних водневих стратегій.

Виконавчий директор IEA Bifulco вважає, що для досягнення цілей Паризької кліматичної угоди глобальне виробництво водню з низьким вмістом вуглецю має досягти 40 мільйонів тонн до 2030 року з 450 000 тонн сьогодні. Знову ж таки, це амбітно, але також реально і необхідно. [37]

Зараз завдання полягає в тому, щоб забезпечити правильні стимули та вибрати найкращу нормативно-правову базу, щоб запровадити ці зміни економічно ефективним способом, який принесе користь громадянам ЄС. Деякі пропозиції надає IRENA, але знову ж таки ЄС має бути лідером. (див. Табл. 2.4) Комісія має намір представити законодавчу базу в жовтні, а держави-члени вже розробляють свої національні програми підтримки. Законодавство ЄС навряд чи буде прийнято раніше 2023 року, і відповідно до цього терміну воно набуде чинності лише у 2024 році.

Як зазначається у звіті Міжнародного енергетичного агентства (МЕА)<sup>2</sup>, саме через можливість широкого застосування цього ресурсу, тема впровадження та розвитку водородних проектів отримує безпрецедентну підтримку з боку урядів та бізнесу, з одночасним впровадженням відповідних політик та плануванням проектів.

Кількість країн із політичними рішеннями, що безпосередньо підтримують інвестиції у водородні технології, зростає разом із кількістю сфер, на які вони націлені. За даними МЕА, станом на 2019 рік вже було визначено близько 50 цілей політичних стимулів, які безпосередньо підтримують впровадження водородних технологій, більшість з яких зосереджуються у транспортному секторі.



## Існуючі міжнародні стандарти в сфері водневої енергетики

Стандарт	Опис
ISO/DIS 14687	Якість водню - специфікація продукту
ISO/DIS 22734	Генератори водню з використанням процесу електролізу води - Промислові, комерційні та житлові приміщення
ISO/TS 20100:2008	Водень газоподібний. Заправні станції
ISO 14687-1:1999	Водневе паливо - Специфікація продукту - Частина 1: Усі застосування, крім паливного елемента протонної мембрани (PEM) для транспортних засобів
ISO 14687-2:2012	Водневе паливо - Специфікація продукту - Частина 2: Застосування паливних елементів для протонних обмінних мембран (PEM) для дорожніх транспортних засобів
ISO 14687-3:2014	Водневе паливо - Специфікація продукту - Частина 3: Застосування паливних елементів PEM для стаціонарних приладів
ISO 16110-1:2007	Генератори водню з використанням технологій переробки палива - Частина 1: Безпека
ISO 16110-2:2010	Генератори водню з використанням технологій переробки палива - Частина 2: Методи випробувань на продуктивність

Примітка. Побудовано автором за даними Міжнародного енергетичного агентства.

Щонайменше 250 мільярдів євро з інструменту NextGenerationEU Recovery Plan, мобілізованого для відновлення економіки ЄС, буде витрачено на дії для досягнення Зеленої угоди. Разом з енергоефективністю для «хвилі оновлення» та інвестиціями у відновлювані джерела енергії, початок водневої економіки є першим у списках витрат багатьох держав-членів. Такі інструменти ЄС, як ETS Innovation Fund і Horizon, будуть зосереджені на розвитку технологічного лідерства в ЄС. Незабаром з'являться водневі долини, водневі острови та Європейський водневий хребет. [53]

Таким чином, протягом наступних років ЄС інвестуватиме значні кошти у запуск економіки чистого водню. Отже, терміново, щоб ЄС запровадив регуляторну базу, яка отримуватиме максимальну користь від державних інвестицій, з точки зору

збереження парникових газів, придбання технологічного лідерства, водночас ставлять ЄС на шлях розробки ефективного водню з нульовим рівнем вуглецю. ринку до кінцевого терміну 2050 року.

ЄС уже зробив важливий перший крок із запропонованим переглядом Регламенту TEN-E. Структура TEN-E є центральним інструментом у розвитку внутрішнього енергетичного ринку. У майбутньому вона матиме важливу роль у досягненні цілей Європейської зеленої угоди так само, як у минулому вона відігравала вирішальну роль у сприянні її енергетичній безпеці. Інтегрована мережа водневої інфраструктури є важливим елементом на конкурентному водневому ринку, який може запропонувати лише єдиний ринок. Запропонований Регламент включає нову та перепрофільовану інфраструктуру передачі та сховища водню, а також транскордонні електролізерні об'єкти в межах своєї сфери дії. Планування та розвиток цієї мережі необхідно розпочати негайно, і, таким чином, перегляд TEN-E передбачає, що інфраструктура та сховище водню будуть включені до майбутніх десятирічних планів розвитку мережі, TYNDP. Отримані PCI – проекти спільного інтересу – з транскордонним значенням можуть потім фінансуватися в рамках Механізму з'єднання Європи, за умови, що вони відповідають визначеним критеріям стійкості та іншим критеріям. Законодавчий процес ЄС тривалий. Проте зміни є невідкладними. Планування потрібно починати сьогодні. Тому ми можемо сподіватися, що Рада і Парламент прискорять обговорення, навіть якщо залишаться деякі спірні питання, і ми можемо очікувати, що нова структура буде введена в дію до 2023 року. [38]

Група європейських компаній запропонувала розпочати планування європейської водневої магістралі. За їхніми підрахунками, для повного розвитку водню до 2030 року має бути готова мережа трубопроводів довжиною 6800 км, а до 2040 року — до 23000 км. За оцінками, 75% мережі буде досягнуто шляхом перепрофілювання існуючої трубопроводу природного газу, відповідно до висновків у Водневій стратегії Комісії, що це найбільш економічно ефективний підхід. Вони оцінюють транспортні витрати в інтервалі 0,09-0,17 євро за кілограм водню на 1000 км. [43]

Таким чином, ми можемо очікувати, що значні державні інвестиції та фінансування будуть спрямовані на запуск ринку водню протягом наступних кількох років. Тому необхідно терміново подумати про майбутній режим регулювання водню. Необхідно розробити умови доступу до транспортних мереж та спільні правила внутрішнього ринку водню, а також структуру того, як водень має конкурувати за попит.

Багато в чому це далеко не просто, особливо щодо правил торгівлі та гарантій походження. Є багато невідомого, і значний технологічний розвиток відбудеться в найближчі кілька років. Наприклад, з'являються нові перспективні процеси виробництва водню з нульовим і навіть негативним вмістом вуглецю, такі як піроліз на відновлюваній електроенергії. Важливо не створювати ринкові структури та механізми підтримки для фінансування того, що може стати заблокованими активами: якщо підтримка не спрямована на конкретну технологію з метою доведення її до зрілості/промислового масштабу.

Тим не менш, є деякі питання, які є відносно зрозумілими. Воднева мережа в основному матиме ті ж характеристики, що й мережа природного газу. Це буде важливою послугою для учасників ринку, і вона буде фізично транспортувати молекули.

Тому на даному етапі найкращим способом встановити основні правила майбутнього ринку водню було б дотримуватися логіки та принципів, встановлених для регулювання ринку природного газу через Газовий регламент та Газову директиву. Недискримінаційний доступ до мереж та правила відокремлення добре послужили у створенні динамічного ринку природного газу. Немає жодних підстав вважати, що той самий підхід не слід дотримуватися для регулювання водню. Хоча для визначення того, чи потрібен «поступовий підхід» для збалансування простоти регулювання та ефективного регулювання протягом перших років розвитку електромережі, потрібне детальне вивчення газових правил, принцип дзеркального регулювання газу та водню має сенс. Що стосується дуже детального регулювання, наприклад кодексів електромереж, один підхід, який заслуговує на розгляд, полягає в

тому, щоб делегувати Комісії відповідальність за впровадження/адаптацію кодексів газової мережі для ринку водню, що розвивається, коли це необхідно.

Також знадобляться нові правила торгівлі та механізми, які дозволять новому ринку водню ефективно функціонувати.

Зокрема, розвиток ринку чистого водню вимагатиме використання гарантій походження. Водень з низьким і нульовим вмістом вуглецю є ідентичним товаром з точки зору споживача, незалежно від його джерела та процесу виробництва. Знову ж таки, тут є багато невідомих. У Водневій стратегії Комісії передбачено, що відновлюваний водень буде конкурентоспроможним із блакитним воднем до 2030 року. Але це ґрунтується на припущеннях про дуже низькі ціни на електроенергію з відновлюваних джерел до цієї дати, які, в кращому випадку, є невизначеними; навіть якщо є можливість виробляти недорогу відновлювану PV електроенергію, це не є нескінченно масштабним ресурсом у короткостроковій перспективі, і виробники отримають більший прибуток, продаючи її на ринку електроенергії з вищими цінами, ніж виробляючи дешевий відновлюваний водень. Так само невідомо, які потенційні споживачі водню будуть піддані дії механізму ETS та ціни ETS. Таким чином, регуляторна технологія «збір вишні» буде нерозумною з точки зору гарантій походження; вони повинні об'єктивно вказувати рівні парникових газів у виробленому/проданому водню (який буде доступний для всіх форм водню з низьким вмістом вуглецю та нульовим вмістом вуглецю на основі аналізу життєвого циклу). Це означає створення надійної системи для сертифікації та відстеження відновлюваного водню.

Нарешті, у Водневій стратегії Комісії є ідея введення квоти для фактичних/потенційних споживачів водню, наприклад тих, які вже використовують водень як сировину (аміак, метанол, сталь) або як джерело енергії (цемент, сталь, хімікати, транспорт...). Хоча це, безсумнівно, прискорить перехід на чистий водень, це так само створить серйозні спотворення на ринках і потенційно вплине на глобальну конкурентоспроможність європейських галузей. Враховуючи нового мешканця Білого дому, було б доцільніше спочатку шукати глобальний підхід.

Щоб перейти на реалістичний шлях декарбонізації, ЄС має досягти своєї цілі щодо скорочення викидів ПГ на 55% до 2030 року. [29] Чистий водень є ключовим компонентом цих змін, і його нормативну базу необхідно швидко створити. Тим не менш, існують нові виклики, головне, як має бути розроблена ринкова структура для продукту, де ми можемо очікувати важливих технологічних змін. Таку зміну можна очікувати як щодо виробництва водню з нульовим вмістом вуглецю, так і його потенційного кінцевого використання. Крім того, ми повинні враховувати багато регуляторних і ринкових факторів невизначеності, включаючи ціну ETS і галузеве покриття, ціни на відновлювану електроенергію, а також доступність і ціни на викопне паливо (який водень повинен витіснити). Встановлення майбутньої нормативної бази для того, що, по суті, є рухомою метою, вимагає визнання цих невизначеностей.

При розробці структури ринку майбутнього, наприклад, важливо розуміти, що в недалекому майбутньому ринок водню з нульовим рівнем вуглецю буде простим товарним ринком. Переважатиме найдешевша форма водню з нульовим вмістом вуглецю, незалежно від того, виробляється він у ЄС чи імпортується. Таким чином, базові основи внутрішнього енергетичного ринку також повинні бути найбазовішою основою майбутнього ринку водню з низьким вмістом вуглецю. Це також є основою інтеграції енергетичного сектору: неспотворена (наскільки це можливо) конкуренція між джерелами енергії з повним врахуванням їхніх відповідних зовнішніх ефектів, і перш за все рівнів парникових газів. Розробка структури, яка полегшує і стимулює цю конкуренцію до джерел та векторів енергії з нижчими викидами парникових газів, принесе найбільші переваги громадянам ЄС, стимулюватиме інновації, уникаючи випадкових проблем.

На даний час в ЄС діє ряд нормативних актів, що містять положення, що стосуються також розвитку водороду, серед яких:

– Директива (ЄС) 2018/2001 про стимулювання використання енергії з відновлюваних джерел встановлює юридично обов'язкове визначення відновлюваних рідких та газоподібних транспортних топлив небіологічного походження. Це визначення також включає водород для розрахунку відповідності цілям, визначеним

у Директиві (32% долі відновлюваної енергії у валовому кінцевому споживанні ЄС та 14% долі ВДЕ у транспортному секторі до 2030 року). Варто відзначити, що відповідно до опублікованого Єврокомісією пакету ініціатив «Fit for 55», надано пропозицію підвищення частки ВДЕ до 38-40%;

– Директива 2014/94/ЄС27 щодо розгортання інфраструктури альтернативних видів палива встановлює спільні рамки та мінімальні вимоги до запровадження інфраструктури альтернативних видів палива в державах-членах ЄС, включаючи пункти заправки водороду. Документ підлягатиме розгляду та оновленню відповідно до пакету пропозицій «Fit for 55»;

– Директива 98/70/ЄС29 щодо якості бензину та дизельного палива сприяла використанню водороду, вимагаючи від постачальників палива скоротити викиди парникових газів на 6% на одиницю енергії до 31 грудня 2020 року. Документ доповнено Директивою Ради (ЄС) 2015/65230 щодо встановлення методів розрахунків та вимог до звітності, що встановлює КПД електричної трансмісії з водневих паливних елементів на рівні 40% та фіксує інтенсивність викидів парникових газів у паливних елементах залежно від походження водороду. Щодо розгортання водороду в газових мережах, то на даний час існують релевантні акти ЄС у газовому секторі, проте об'єднання регуляторів ACER та CEER вказують на юридичні та адміністративні перешкоди, а саме відсутність рамкових вимог щодо закачування водороду в такі мережі. Саме тому, актуалізується потреба в адаптації чинного законодавства. [75]

Окремими регламентами ЄС регулюються публічно-приватні партнерства у сфері досліджень та інновацій щодо виробництва та використання водороду, паливних елементів, а також створення окремого партнерства щодо водородних технологій зберігання енергії в рамках Horizon Europe.

### **2.3. Ефективність водневої складової для розвитку сучасної авіації**

Незважаючи на сучасний фокус на електрифікації та акумуляторах для зберігання енергії, водень є справжнім претендентом на авіацію. Водень має ряд

переваг перед SAF та батареями як технологія накопичення енергії. По-перше, відносно SAF (та й реактивного палива), використання водню зменшує викиди ПГ. (рис. 2.7)

У випадку двигуна на паливних елементах – розчині водню з майже «нульовим» – газоподібні викиди обмежуються водяною парою, побічним продуктом процесу виробництва енергії. Хоча водяна пара є парниковим газом, її шкідливий вплив можна звести до мінімуму шляхом обережної експлуатації. По-друге, особливо щодо SAF, водень, ймовірно, проникне і в інші галузі промисловості, що може прискорити розвиток паливних елементів і систем зберігання, сприяти розвитку інфраструктури нижнього потоку та знизити витрати виробництва. Це піде на користь авіаційній промисловості, оскільки витрати на НДДКР та розвиток інфраструктури частково покриватимуться іншими галузями

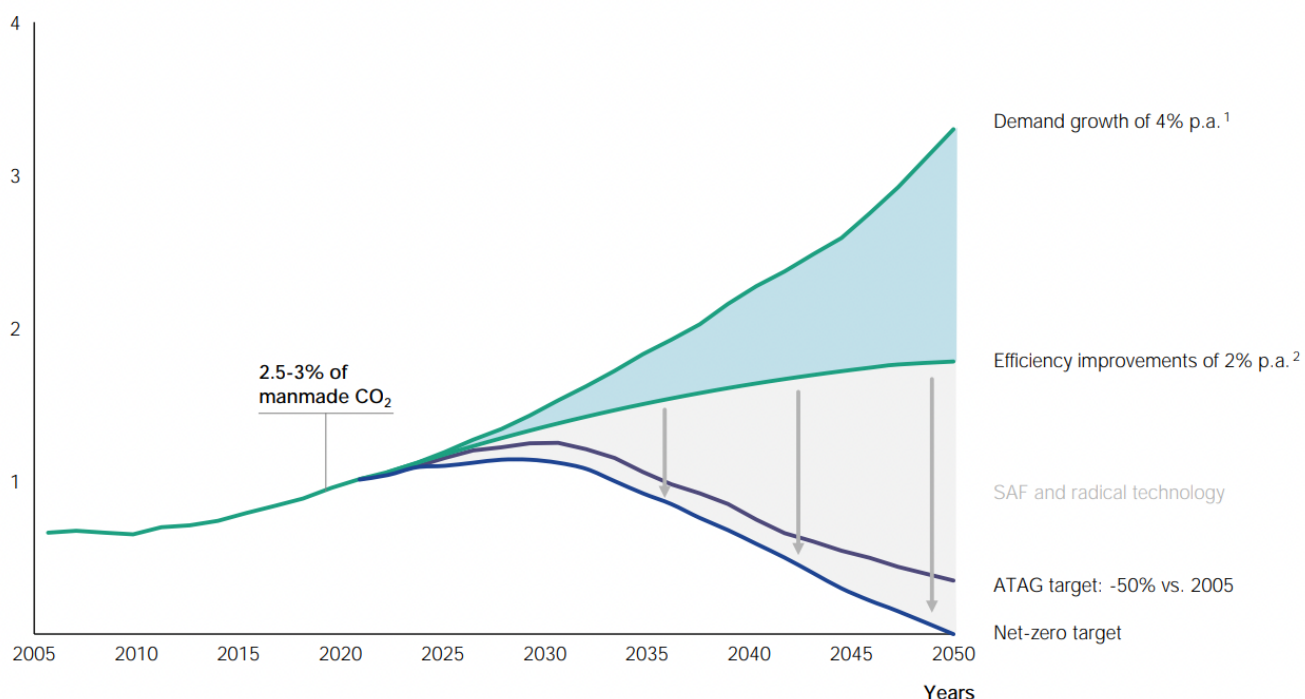


Рис. 2.7 Прогноз викидів CO2 авіацією, % від загальної кількості.

Джерело: Baroutaji, A., Wilberforce, T., Ramadan, M., Olabi, A.G. (2019). Comprehensive investigation on hydrogen and fuel cell technology in the aviation and aerospace sectors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 106, 31-40.

По-третє, порівняно з батареями, водень має гравіметричну щільність енергії в три рази більшу, ніж газ (33 кВт·год/кг). Важкі резервуари для зберігання послаблюють цю перевагу, оскільки зараз досліджуються авіаційні системи зберігання, які використовують 30-65 відсотків масової частки водню, знижуючи в майбутньому очікувану щільність зберігання водню до 10-21 кВт·год/кг. Тим не менш, водень перевершує звичайне паливо за питомою потужністю на одиницю ваги. Це дуже актуально для польоту, програми з критичною вагою, оскільки пропонує перевагу максимальної злітної ваги (MTOW) над усіма іншими альтернативами накопичення енергії. Головний недолік водню полягає в тому, що через його низьку об'ємну щільність йому потрібно в чотири-п'ять разів більше звичайного палива для передачі тієї ж бортової енергії. Тим не менш, водень все ще має переваги порівняно з накопичувачем в батареї в щільності енергії, як у гравіметричному (наразі батареї пропонують 0,3 кВт·год/кг), так і в об'ємному вимірюванні. По-четверте, заправка літаків воднем, швидше за все, буде швидшою, ніж підзарядка батарей, що дозволить швидший час виконання. Подібність процесу заправки воднем і газом може полегшити перехід між новими і старими процесами: для водню потрібні лише різні трубопроводи та потенційно різні температури рідини. Навпаки, підзарядка акумуляторів тягне за собою зовсім інший процес, який вимагає надшвидкої зарядки або швидкої заміни батареї та локалізованої інфраструктури розподілу енергії. [70]

Водень має бути ключовим фактором скорочення викидів і шумового забруднення в різних секторах економіки. Кінцеві користувачі в мобільності, енергетиці та промисловості будуть дивитися на водень як на джерело енергії з нульовими викидами, наприклад, в електричних силових агрегатах на паливних елементах для автомобілів, стаціонарних паливних елементах для розподіленої когенерації електроенергії, а також для опалення та сировини в промисловості. виробничі процеси. Вплив використання водню на викиди протягом життєвого циклу – наприклад, викиди від колодязя до колеса паливних елементів – залежить від основного методу виробництва водню. Водень класифікується як «сірий», якщо він виробляється з використанням викопного палива, що викликає викиди вуглецю, «синій», якщо ці викиди вловлюються або компенсуються, і «зелений», якщо він



виробляється за допомогою відновлюваної енергії без викидів вуглецю. «Зелений» водень також може діяти як варіант зберігання чистої енергії для надлишку електроенергії від періодичного виробництва електроенергії з відновлюваних джерел. Однак виробничі потужності залежатимуть від попиту, який, ймовірно, буде керуватися політикою та нормативними актами, що створюють стимули для секторів до декарбонізації. Таким чином, використання водню буде найпоширенішим там, де він є економічно ефективним шляхом порівняно з альтернативами (наприклад, електрифікація, біопаливо або уловлювання та зберігання вуглецю) і там, де стане доступною інфраструктура постачання водню.

Літаки з водневим згорянням і літаки на водневих паливних елементах – це дві широкі водневі галузі, які розвиваються. Наразі розробляються сім загальновідомих водневих літаків, у яких використовуються паливні елементи. Про це свідчать попередні техніко-економічні обґрунтування, дослідження Airbus та NASA. Лише один із цих літаків уже літає на водневому паливі, а інші залишаються на нижчих рівнях технологічної готовності.

Тяга створюється за рахунок згоряння водню в модифікованому реактивному двигуні. Цей процес усуває CO<sub>2</sub>, CO, SOX та більшість викидів сажі, що утворюються звичайними реактивними двигунами. NOX і водяна пара все ще виділяються, що є певним внеском у рівень ПГ в атмосфері. Що стосується NOX, то для управління його виробництвом розглядаються дві різні конструкції камер згоряння: Lean Direct Injection (LDI), який, як було показано, обмежує викиди NOX до того ж рівня, що й сучасні газові двигуни, і камери згоряння мікро-мікс (ММС), які можуть виробляти нижчі рівні NOX, ніж сучасні газові двигуни. Важливо те, що сліди та хмарність, викликана авіацією (AIC), все ще можуть утворюватися через виділення водяної пари, хоча тривають дебати щодо того, чи будуть вони кращими чи гіршими, ніж ті, які створюються газовими турбінами на звичайному паливі. У звичайних газових турбінах частинки сажі у вихлопних газах поведуться як точки зародження водяної пари, що призводить до довготривалих слідів і потенційного утворення перистих хмар. З воднем, якщо будь-які домішки палива можна усунути, це зародження може бути значно зменшено, що призведе до нижчої оптичної щільності і, отже, меншого

впливу через утворені сліди, хоча термін служби слідів може бути збільшений через більш високий рівень викидів водяної пари. Відносний вплив цих двох факторів залишається неясним, і тому дискусія на цю тему, як очікується, триватиме. Перехід на спалювання водню вимагатиме зміни двигуна, зберігання палива та елементів подачі палива звичайних літаків. Хоча це вимагатиме нових конструкцій та тривалого процесу сертифікації, перехід потребуватиме значно менше переробки, ніж водневий паливний елемент або інші варіанти електричних літаків. Як наслідок, перехід до спалювання водню може бути менш руйнівним для поточної установки аерокосмічної промисловості порівняно з альтернативами.

Літаки з ГФУ потенційно можуть запропонувати "справжнє нульове" рішення для викидів ПГ. Єдиним виходом паливних елементів є вода, яка усуває викиди CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO, HC та сажі. Однак утворену воду – приблизно дев'ять кілограмів на кожен кілограм водню, що прореагував – потрібно було б вивільнити, а водяна пара також є парниковим газом, який може викликати сліди та авіаційну хмарність (AIC).

Це важливо, оскільки літаки на водневих паливних елементах можна вважати рішеннями «справжнього нуля», якщо вони усувають викиди слідів/AIC. Дослідження показують, що через чисту природу реакції електролізу водню та кисню в паливному елементі будь-які домішки, ймовірно, будуть мінімальними, що значно знижує щільність точок зародження і, таким чином, вплив утворення сліду/AIC. Крім того, польоти на менших висотах можуть зробити вплив водяної пари на глобальне радіаційне вплив менш значним, обмежуючи польоти залишатися в тропосфері, де викиди водяної пари є набагато менш шкідливими (нижче 8-12 кілометрів на висоті, залежно від широти та пора року). Крім того, на відміну від літаків, що працюють на згорянні водню, літаки з HFC можуть бути сконструйовані так, щоб зберігати частину води, що виробляється, і випускати її в умовах, що сприяють утворенню низьких слідів/AIC (хоча це ще не повністю зрозуміло). Тим не менш, хоча є запропоновані рішення, необхідні подальші дослідження, щоб довести ліквідацію сліду/AIC. Експерти також вважають, що літаки на водневих паливних елементах будуть більш ефективними, ніж конструкції з водневим згорянням, оскільки їм потрібно перевозити на 20-40 відсотків менше палива, що обумовлено двома факторами. По-

перше, двигун на паливних елементах може забезпечити більш ефективно перетворення енергії – приблизно на 45-50 відсотків завдяки комбінації ефективності паливних елементів (55 відсотків) та ефективності електричної трансмісії (90 відсотків) – проти приблизно 40 відсотків для ефективності спалювання водню. По-друге, завдяки тому, що літаки на паливних елементах є електричними, вони можуть отримати переваги від розподіленого двигуна, який може забезпечити додаткові 20-30 відсотків економії палива, враховуючи такі вдосконалення, як проковтування прикордонного шару та технології контролю потоку. [74]

Літаки на паливних елементах також мають багато інших властивостей з електричними літаками, включаючи потребу в високовольтних/потужних кабелях, силовій електроніці та електродвигуні. Таким чином, система отримує переваги від сумісності з ланцюгом поставок електричних силових агрегатів, що швидко розвивається в автомобільній та аерокосмічній галузях, а також вдосконалення дизайну щодо того, як найкраще максимізувати переваги розподіленого двигуна. Як і електричні літаки, літаки на водневих паливних елементах також можуть бути менш шумними, ніж звичайні і водневі конструкції.

Щоб воднева технологія стала життєздатним рішенням для авіації, галузі необхідно подолати п'ять ключових бар'єрів. Два з них стосуються аерокосмічного дизайну, а саме перепроєктування літаків і двигунів, а також зберігання водню. Решта три стосуються факторів ланцюга постачання водню: сталого виробництва, інфраструктури та вартості.

Пеше завдання – це редизайн літака та двигуна. Щоб використовувати всі переваги водню, літаки повинні істотно змінитися. Це може скласти переконструкцію майже всіх компонентів літака, від силової установки і форми фюзеляжу до сховища палива. Спалювання водню вимагає часткової перебудови літака, тоді як паливні елементи потребують повної перебудови. Літаки з водневим згорянням покладатимуться на модифіковані звичайні системи тяги. Основні зміни відбудуться в результаті доставки та зберігання палива, а також знадобиться додатковий об'єм для зберігання палива у фюзеляжі, враховуючи знижену об'ємну щільність відносно реактивного палива. Це вимагатиме збільшення розміру фюзеляжу, створення

додаткового опору або повного перепроєктування конструкції літака, наприклад, переходу на змішані корпуси крила зі значним закритим об'ємом зберігання. На додаток до міркувань зберігання, двигуни на водневих паливних елементах вимагатимуть перепроєктування систем тяги для інтеграції розподіленого електричного двигуна, що включає електричні системи високої напруги/високої потужності. Форма та функція таких літаків вимагатимуть повної зміни від сучасної архітектури труб і крил і відображають зміни дизайну, необхідні для серійного гібридного або повністю електричного польоту на рівні літака.

Друга проблема – зберігання водню. Ефективні рішення для зберігання є ключовими для розкриття високої гравіметричної щільності енергії водню, і їх потрібно буде вдосконалити, щоб вирішити проблему низької об'ємної щільності енергії. Зберігання в рідкому стані на даний момент є найбільш перспективним варіантом, який пропонує високу об'ємну щільність порівняно з газоподібною альтернативою. Недоліком зберігання рідини є вимога до криогенного охолодження (нижче  $-253$  градусів за Цельсієм). На охолодження використовується до 45 відсотків накопиченої енергії, що означає значну втрату енергії між накопиченою енергією та енергією, що додається для тяги (ефективність від танка до крила). Це демонструє компроміс, який необхідно зробити між підтримкою високої об'ємної щільності поряд з високою ефективністю від танка до крила. Крім того, вимога до криогенності вимагає включення систем охолодження та значної ізоляції. Це призводить до складних і важких конструкцій резервуарів, які, отже, знижують ефективну вагову щільність енергії палива. Щоб повною мірою скористатися перевагами високої щільності енергії водню, необхідно досягти значного прогресу в розробці легких резервуарів для зберігання та вдосконалення криогенних систем охолодження.

Третій бар'єр – стале виробництво водню. Значне збільшення виробництва «зеленого» водню або уловлювання та зберігання вуглецю (CCS) для виробництва «блакитного» водню буде необхідним для стабільного виробництва обсягів, достатніх для авіаційної промисловості. У нинішньому виробництві переважають «сірі» процеси водню, при цьому 96 відсотків водню виробляється безпосередньо за допомогою процесів, що виділяють CO<sub>2</sub>, таких як паровий риформінг метану або

газифікація вугілля. Решта чотири відсотки виробляються за допомогою електролізу, який виробляє «зелений» водень лише за умови використання поновлюваних джерел енергії. Із 70 мільйонів тонн водню, що виробляється сьогодні, лише близько мільйона тонн є «зеленим». [52]

На щастя, існує чіткий шлях до сталого водню. Рішення в цьому випадку, ймовірно, буде зумовлено енергетичним сектором, оскільки перехід до відновлюваних джерел пікового навантаження може спричинити потребу в управлінні постачанням енергії та зборі надлишкової енергії, а зберігання водню є життєздатним рішенням. Це джерело, поряд з більш широким розгортанням CCS через податки на вуглець, може призвести до зростання сталого виробництва водню та пов'язаного з цим зниження його ціни.

Четверте питання – інфраструктура. Покращення водневої інфраструктури потрібно буде рухатися в ногу з технологією, яка дозволить використовувати водень авіацією. Дві ключові сфери тут – доставка палива в аеропорти та інфраструктура заправки в аеропортах. Одним із варіантів доставки палива буде існуючі газові мережі. Це є багатообіцяючим для основних будівельних блоків водневої інфраструктури, але значні інвестиції будуть потрібні всім залученим секторам. Необхідно також враховувати транспортування водню на великі відстані, особливо враховуючи розрив між тим, де виробляється водень (станції відновлюваної енергії з надлишковою потужністю та місця виробництва водню) і де він буде використовуватися (аеропорти). В аеропортах може виникнути додаткова вимога щодо зрідження водню на місці, за умови, що буде створена інфраструктура для доставки газоподібного водню. Для цього буде потрібно місцеве виробництво електроенергії або надійне з'єднання з мережею, щоб гарантувати відсутність витрат на порушення роботи мережі. (див. Рис. 2.8)

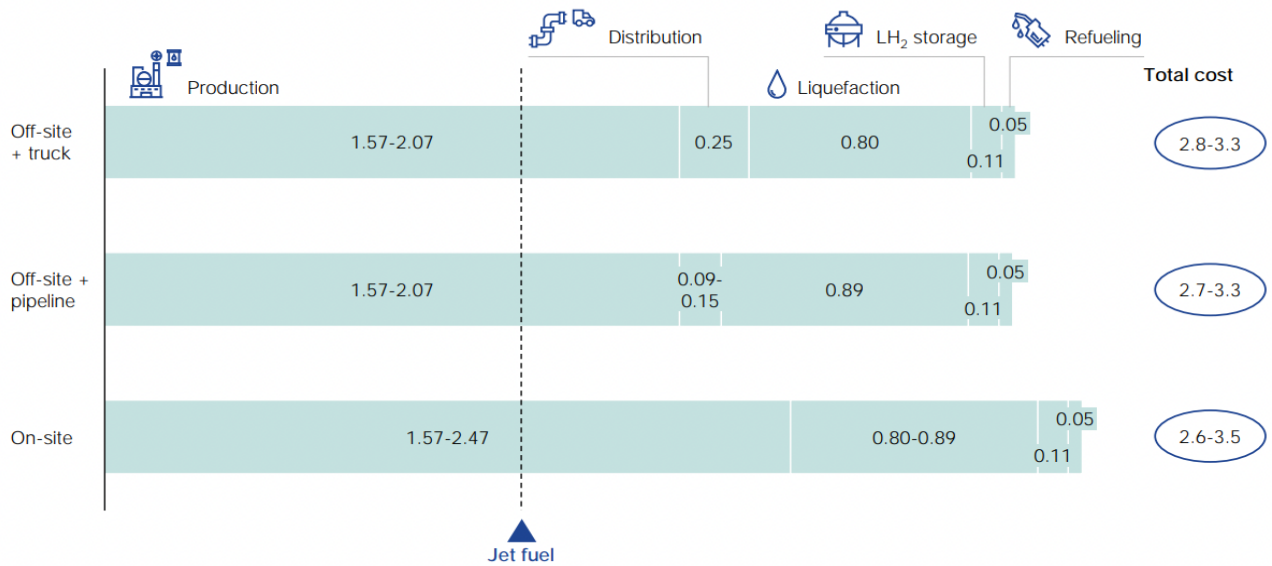


Рис. 2.8. Вартість трьох шляхів доставки водню, дол. США/кг.

Джерело: Baroutaji, A., Wilberforce, T., Ramadan, M., Olabi, A.G. (2019). Comprehensive investigation on hydrogen and fuel cell technology in the aviation and aerospace sectors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 106, 31-40.

Вартість. Водень дорожчий за газ та керосин за кВт-год: без урахування витрат на зберігання, середні витрати виробництва становлять 0,14 дол. США/кВт-год для «зеленого» водню і 0,05 дол. США/кВт-год для «сірого» водню. Останній нарівні з газом, але оскільки «зелений» водень був би необхідний для стійкої авіації з «справжнім нулем» або «нульовим вуглецем», ціна цих методів виробництва повинна знизитися, щоб конкурувати на основі витрат. (див. Рис. 2.9)

На щастя, існує чіткий шлях до сталого водню. Рішення в цьому випадку, ймовірно, буде зумовлено енергетичним сектором, оскільки перехід до відновлюваних джерел пікового навантаження може спричинити потребу в управлінні постачанням енергії та зборі надлишкової енергії, а зберігання водню є життєздатним рішенням. Це джерело, поряд з більш широким розгортанням CCS через податки на вуглець, може призвести до зростання сталого виробництва водню та пов'язаного з цим зниження його ціни.

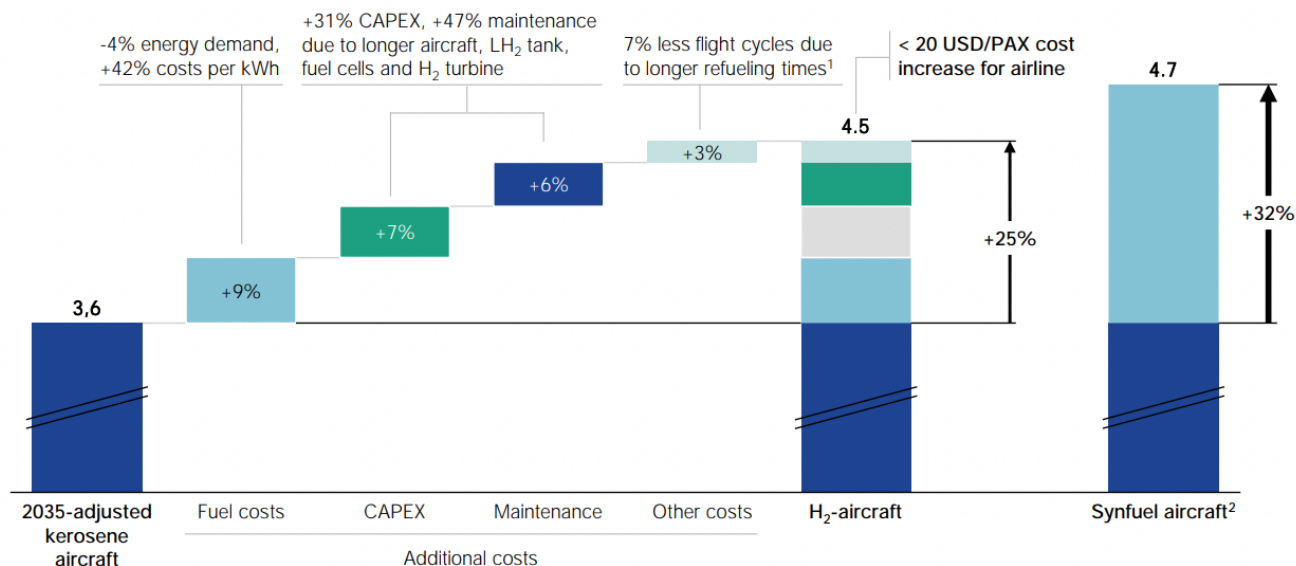


Рис. 2.9 Вартість використання керосину, водню та синтетичного палива в авіації.

Джерело: Baroutaji, A., Wilberforce, T., Ramadan, M., Olabi, A.G. (2019). Comprehensive investigation on hydrogen and fuel cell technology in the aviation and aerospace sectors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 106, 31-40.

Основна загальна вартість виробництва — це ефективність «сітка-крило». Виробництво водню часто критикують за те, що вимагає занадто багато етапів перетворення електроенергії, кожен з яких знижує загальну ефективність виробництва (і збільшує вартість). Наприклад, перетворення електроенергії на водень може здатися зайвим кроком, щоб просто перетворити його назад в електрику в паливному елементі. Навпаки, використання батареї для живлення літака здавалося б простішим і ефективнішим. Однак, якщо покращення батареї вийдуть на плато в точці, недостатній для польоту на середні та дальні відстані, водень може залишитися єдиним варіантом «нульового вуглецю» або «справжнього нуля». Більше того, питання ефективності виробництва швидко розв'язується у питання лише вартості: якщо спалювання водню може бути дешевим, то чи має значення, скільки кроків воно займає? Знову ж таки, інші сектори можуть надати рішення. Оскільки попит на водень з інших транспортних секторів збільшується, а пропозиція зростає відповідно до потужностей відновлюваної енергії, витрати, ймовірно, знизяться. Наприклад, розробляються проекти в Австралії, Саудівській Аравії та Північній Африці, де

очікується, що в майбутньому «зелений» водень коштуватиме всього 0,07 дол. США/кВт-год. Удосконалення технології електролізаторів і методів стиснення водню, ймовірно, також сприятиме подальшому зниженню витрат, оскільки покращена ефективність таких процесів зменшить споживання енергії на тону виробленого водню. Більш важливим, ніж зниження вартості водню, може бути зростання вартості вуглецю. Якщо на авіацію, як-от ETS і CORSIA, будуть введені більші санкції щодо викидів, експлуатаційні витрати на спалювання авіаційного палива зростуть. Тому авіаційна промисловість повинна уважно стежити за тенденціями цін як на водень, так і на газ, оскільки інверсія різниці у вартості між двома видами палива покращить бізнес-обґрунтування для інвестування у водень. [63]

Беручи до уваги конкурентні переваги та обмеження різних доступних екологічних рішень, ми очікуємо появу трьох різних технологічних сегментів літаків з різними розмірами та діапазонами. По-перше, менші літаки з меншою дальністю польоту, швидше за все, стануть повністю електричними, і, як очікується, гравіметрична щільність батареї досягне мінімальних порогових значень для виконання цих місій. По-друге, можна очікувати, що більші далекомагістральні літаки будуть покладатися на стійке авіаційне паливо (SAF), оскільки алеелектричні, гібридно-електричні або водневі рішення зіткнуться з проблемами гравіметричної та об'ємної щільності потужності при необхідній вазі та діапазоні. По-третє, і між цими двома крайнощами, регіональні та вузькофюзеляжні/середньоринкові літаки, ймовірно, стануть полем битви, де водень змагатиметься з гібридно-електричними. У вузькокорпусній/середній категорії водень має кілька переваг перед гібридно-електричними. Він може покінчити з усіма викидами вуглецю, тоді як гібриди лише частково зменшують викиди вуглецю. Він залишиться значно більшою потужністю за вагою, ніж батареї, що обмежить ступінь, до якого гібриди можуть відійти від газу як основного джерела живлення. І спалювання водню, зокрема (і на відміну від серійного гібридно-електричного) не вимагає повної переробки літака, щоб забезпечити значне підвищення стійкості.



Але водневі технології також мають ряд недоліків у порівнянні з гібридно-електричними рішеннями. Наука ще не зрозуміла, чи є загальний вплив парникових газів, що виробляються водневими літаками (викиди водяної пари, сліди, авіаційна хмарність і NOX для спалювання водню), кращий чи гірший, ніж ефективні гібриди. Крім того, гібриди не вимагають інвестицій у ланцюг постачання водню і сумісні з SAF, на відміну від водневих літаків. А серійні гібриди з розподіленими електричними силовими установками, наприклад, були б надійними в майбутньому, з можливістю переходу на повністю електричні, якщо технологія батарей буде достатньо покращена, шляхом заміни турбо-електричного генератора на батареї з великою потужністю. Отже, переможуть водневі паливні елементи чи літаки з водневим спалюванням? Оскільки спалювання водню вимагає меншого технологічного стрибка, ніж літаки на водневих паливних елементах, ми очікуємо, що спалювання водню з'явиться першим – потенційно як новаторська конструкція, яка допоможе побудувати ланцюг постачання водню в авіації. Це може закласти основу для більш ефективних літаків на паливних елементах, які, ймовірно, з'являться пізніше. Зараз унікальний час, коли тиск на галузь, щоб вона стала стійкою, є високим, існує ряд варіантів, а довгострокові рішення щодо капіталу ще не прийняті. Справді, зацікавлені сторони по всьому ланцюжку створення вартості – включаючи OEM-виробників, постачальників, аеропорти, авіакомпанії та уряди – можуть впливати на майбутні напрямки галузі. Керівники, які приймають інвестиційні рішення щодо майбутніх двигунів, повинні серйозно подумати про виділення ресурсів для вивчення потенціалу водневої технології, диверсифікації технологічних ризиків і допомоги в подоланні бар'єрів для водневого двигуна. [73]

Незважаючи на кілька десятиліть широкої технологічної однорідності в аерокосмічній та авіаційній галузі, майбутнє виглядає складнішим, оскільки галузь бореться з проблемою стійкості. У той час як менші літаки можуть електрифікуватися, а літаки великої дальності, ймовірно, будуть обмежені стійким авіаційним паливом, це буде найважливіший вузькофюзеляжний/середньоринковий сектор, де водень буде сильним кандидатом для майбутнього двигуна. У цій категорії OEM-виробникам доведеться довести, що водень є більш життєздатним, ніж

гібридно-електричні рішення, а авіакомпаніям доведеться переконатися, що вартість впровадження цієї технології виправдана на тлі зростаючих проблем стійкості. Поряд з електричними силовими установками та SAF ми бачимо чітку роль водню у вирішенні проблеми сталої авіації, і керівники повинні виділяти ресурси, щоб забезпечити вивчення його потенціалу.

## **Висновки до розділу 2**

У зв'язку з перспективою переходу до низьковуглецевої енергетики в XXI столітті прогнозується збільшення попиту на водень, оскільки багато галузей перейдуть на нові способи виробництва високоякісної продукції з використанням водню, будуть потрібні екологічно чистий транспорт та системи розподіленого енергопостачання, що працюють на водневих паливних елементах. Ключове завдання молодій водневої енергетики: з метою декарбонізації світової енергетичної системи, що намітилася, розгорнути ефективно виробництво водню в промислових масштабах.

Незважаючи на те, що становлення та розвиток світового ринку водню пов'язане з серйозними труднощами (вартість виробництва, зберігання та транспортування, специфіка інфраструктури водню), останні наукові та прикладні дослідження та розробки показали, що у вирішенні цих питань спостерігається явний прогрес, який може забезпечити широке використання водню як екологічно чистого джерела енергії та сировини для отримання широко затребуваних хімічних та нафтохімічних продуктів.

Літаки з водневим згорянням і літаки на водневих паливних елементах – це дві широкі водневі галузі, які розвиваються. Наразі розробляються сім загальновідомих водневих літаків, у яких використовуються паливні елементи. Про це свідчать попередні техніко-економічні обґрунтування, дослідження Airbus та NASA. Лише один із цих літаків уже літає на водневому паливі, а інші залишаються на нижчих рівнях технологічної готовності.

## РОЗДІЛ III

### ВОДНЕВА ЕНЕРГЕТИКА УКРАЇНИ: ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТА ЕКОНОМІЧНІ НАСЛІДКИ

#### 3.1. Стратегічні орієнтири розвитку водневих технологій у країнах світу

У наші дні домінує вуглецева енергетика, транспорт в основному працює на нафтовій сировині, а опалення проводиться за рахунок природного газу, при цьому попит на ці енергетичні продукти зростає, особливо в Китаї, Індії та багатьох інших країнах. Водень може стати екологічно чистим джерелом енергії для кінцевих споживачів без виділення в атмосферу таких шкідливих домішок, як суспензії вихлопних газів або діоксид вуглецю. Підраховано, що для того, щоб до 2050 р. уповільнити приріст потепління до 2 градусів на рік, потрібно буде перевести 400 млн. приватних автомобілів, 15–20 млн. вантажівок та 5 млн. одиниць громадського транспорту на водневе паливо, на що у світі знадобляться щорічні інвестиції у вигляді 20–25 млрд. дол. Декарбонізація та низьковуглецевий розвиток є основним трендом нинішньої світової енергетики. Провідні країни світу, окремі регіони та великі корпорації декларують свої довгострокові стратегічні цілі щодо зниження викидів парникових газів (або вуглецевого сліду у продукції) для боротьби з глобальною зміною клімату (див. Табл. 3.1).

Водень привертає все більше уваги як перспективний засіб декарбонізації економіки (у зв'язку з його високим потенціалом енергоносія та здатністю виступати як засіб накопичення та зберігання енергії). Поки використання водню переважно обмежено традиційними секторами, а його виробництво спирається на викопне паливо, але у майбутньому ринок водню, включаючи водень з урахуванням низьковуглецевої енергетики, може помітно зрости. Це вимагатиме стимулювання попиту та розширення підтримки водневих проектів, і низка розвинених країн уже представили відповідні стратегії.

Таблиця 3.1

## Декларовані національні цілі по скороченню викидів парникових газів

Країна	Декларовані скорочення викидів парникових газів
США	До 2025 р. – на 28 % від рівню 2005 р.
Канада	До 2030 р. – на 30 % від рівню 2005 р.
Німеччина	До 2030 р. – на 45 % від рівню 1990 р.
Франція	До 2030 р. – на 40 % від рівню 1990 р.
Норвегія	До 2030 р. – на 40 % від рівню 1990 р.
Бразилія	До 2025 р. – на 40 % від рівню 2005 р.
Мексика	До 2030 р. – на 22-36 % від базової лінії
Китай	До 2030 р. – на 65 % від базової лінії
Австралія	До 2030 р. – на 28 % від рівню 2005 р.

Джерело: Nagashima, M. “Japan's Hydrogen Strategy and its Economic and Geopolitical Implications“. IFRI, 2018.

Воднева індустрія зазнала дуже серйозного впливу кризи 2020 року в порівнянні з іншими секторами енергетики — саме таку оцінку дало МЕА ситуації останніх місяців, вказуючи на суттєві втрати в нафтопереробці, хімічній галузі та металургії, які формують основну частину сучасного попиту на водень. Це може поставити в складне становище ланцюжки вартості у галузі, а отже, й інноваційні проекти у сфері технологій водневої енергетики. Незважаючи на обережність при оцінці впливу кризи, прогноз МЕА від 2020 року з виробництва водню можна охарактеризувати як позитивний, принаймні у частині низьковуглецевого виробництва водню. Більше того, 2020 рік стає «точкою перелому», що означає початок експоненційного розвитку галузі, принаймні на найближчі кілька років. [54]

Стратегічні перспективи водню для розвинених країн значною мірою пов'язані саме із низьковуглецевою водневою енергетикою, що дозволяє скоротити викиди

парникових газів. Така енергетика передбачає використання водню, що має низький вуглецевий слід, як енергоносії. В даний час найбільш ефективно виробляти такий водень можливо або з природного газу або вугілля з використанням технологій уловлювання та зберігання вуглецю (CCS), або шляхом електролізу, використовуючи електроенергію з низьким вуглецевим слідом.

Прямий позитивний ефект застосування водню з кліматичної точки зору пов'язаний з розширенням його використання як палива замість викопних джерел, оскільки при його спалюванні не утворюється CO<sub>2</sub> (при цьому необхідно враховувати, що викиди NO<sub>x</sub> при спалюванні водню перевершують аналогічні викиди при спалюванні газу за рахунок високої температури горіння).

Найбільш перспективними галузями для використання водню як засобу декарбонізації, крім розширення наявного застосування у промисловості, є енергетика, транспорт та комунальне господарство. Високий потенціал декарбонізації має сталеплавильна галузь у разі широкого застосування методів прямого відновлення заліза. Найближчим часом перспективне також використання водню як палива для автомобілів на водневих паливних елементах. Парк таких автомобілів на кінець 2019 року перевищив 25 тис. машин, причому понад 12 тис. було продано за останній рік. Здебільшого розширення цього парку відбувається у Азії (Китай, Японія, Республіка Корея), хоча лідером за його розмірами залишаються США. Іншим напрямком застосування водню є часткове заміщення газу з використанням існуючої газопровідної інфраструктури. [76]

Водень має високий потенціал застосування як засіб зберігання та накопичення енергії, а також балансування навантаження енергомереж, особливо з урахуванням нестабільності споживання електроенергії та її генерації (при використанні ВДЕ). У разі нестачі попиту на енергію, її надлишки можуть витрачатися на виробництво водню (методом електролізу), а у разі підвищеного попиту напрацьований водень може використовуватися для генерації електроенергії.

Істотними обмеженнями широкого застосування є висока вартість виробництва низьковуглецевого водню, і навіть проблеми його транспортування.

Цим багато в чому зумовлений локальний характер виробництва та споживання. У разі успішного розвитку технологій нормована собівартість водню (з урахуванням виробництва, транспортування та зберігання) має знизитись, а географія та обсяги споживання — розширитися. За оцінкою IRENA (2019 рік), вартість 1 кг водню на базі вітрової енергії складає в середньому близько 4 дол., сонячної — майже 7 дол., тоді як виробництво з вугілля або газу коштує 1,5–2,5 дол. навіть з урахуванням CCS), і з розвитком технологій ця різниця зникне далеко після 2030 року, хоча у окремих випадках сумісність витрат може бути досягнута і зараз. Використання автопалива зіштовхується з проблемою заправної інфраструктури.

Розширення енергетичного використання водню потребує державної підтримки, і ця підтримка зростає. За оцінками MEA, збільшується і кількість заходів, спрямованих на стимулювання водневих технологій, та кількість секторів, які вони охоплюють. Станом на 2018 рік у світі налічувалося близько 50 заходів, які підтримують енергетичне використання водню — переважно в сфері транспорту(пасажирський транспорт, заправна інфраструктура, автобуси, вантажний транспорт). У 2019-2020 роках спостерігається зміщення акценту державної політики з окремих заходів на комплексні стратегії розвитку водневої енергетики. Воно відбиває відновлення інтересу до одночасного розкриття потенціалу водню у різних секторах економіки: як у транспорті, так і в промисловості, тепло- і електроенергетиці тощо.

Першою країною, яка сформувала свою національну водневу стратегію, стала Японія. Її стратегія з'явилася у грудні 2017 р., а у 2019 році була створена «Стратегічна дорожня карта для водню та паливних елементів». У 2019 році стратегічні плани розвитку водню розкрила Республіка Корея. Погляди цих найбільших розвинених імпортерів енергоресурсів в АТР на роль водню близькі: підвищення енергетичної безпеки за допомогою диверсифікації джерел енергії, орієнтація імпорту водню, розвиток технологій експорту і виконання кліматичних зобов'язань. [45]

На зацікавленість ключових регіональних енергоспоживачів у водні та сприятливі прогнози світового попиту оперативно відреагувала Австралія —

найбільший експортер енергоресурсів в АТР серед розвинутих країн. Її національна воднева стратегія побачила світ також у 2019 році. Вона спрямована на посилення експортних позицій за рахунок освоєння нової ринкової ніші та перехід до більш стійких енергетичних технологій усередині країни (в т.ч. технологій CCS). Австралія вже організувала партнерство з Японією щодо розвитку пілотного проекту зі створення ланцюжка енергетичних поставок водню та підписала угоду про наміри з Республікою Корея у досягненні співпраці з експорту та імпорту водню.

МЕА зазначає, що в умовах кризи, пов'язаної з поширенням Covid19, важливо не прогати момент для просування водневих технологій і не знижувати їх підтримку. Кількість водневих стратегій (принаймні в європейському регіоні), що зростає, дозволяє розраховувати, що водневі технології продовжать динамічно розвиватися. Зокрема, у березні 2020 р. затверджено стратегію Нідерландів, у червні — Німеччині та Норвегії, у липні — Португалії та ЄС у цілому, а у вересні була стратегія Франції. Примітно, що європейські стратегії (наприклад, Німеччини та Франції) представлені в контексті планів відновлення економік.

### **3.2. Економічні механізми регулювання процесу створення водневої енергетики**

Створення нової галузі енергетики потребує стимулюючої підтримки, в першу чергу, з боку держави, причому відновлювана енергетика в даному випадку не є винятком – атомна енергетика досягла свого рівня розвитку винятково за рахунок державної підтримки. (див. Табл. 3.2)

У світі щорічно витрачаються значні кошти на субсидії та інші види стимулювання розвитку атомної і традиційної енергетики, які досі працюють на викопних видах палива. Найбільш поширеними основними напрямками впливу держави на енергетичну сферу є ціноутворення, оподаткування, кредитування та державне субсидування. Державне регулювання сфери відновлюваної енергетики необхідно розглядати як комплекс інструментів, за допомогою яких держава встановлює вимоги до учасників взаємодії в даній сфері діяльності та контролює їх дотримання. Визначення методів законодавчо-правового стимулювання розвитку

відновлюваної енергетики є важливим з ряду причин. Технологічний прогрес не здатний самостійно подолати окремі нетехнічні бар'єри, що перешкоджають проникненню технологій відновлюваної енергетики на енергетичні ринки. У даний час ціни на більшість традиційних видів палива знаходяться на історично сформованому низькому рівні, що, безумовно, перешкоджає можливостям використання ВДЕ. В даному випадку необхідним є застосування політичних заходів для виконання фундаментальних зобов'язань щодо стану оточуючого середовища та надійності енергопостачання. При цьому довгострокові плани розвитку відновлюваної енергетики, які включають політичні, законодавчі, адміністративні, економічні та маркетингові аспекти, відіграють найбільш важливу роль в процесі розвитку відновлюваної енергетики.

Таблиця 3.2

Державні заходи підтримки для реалізації програм по водню

Країна	Комбінована система тепла та енергії в житловищах	Водородні паливні елементи транспортних засобів	Заправка воднем на станціях
Японія	93 млн. дол. США, 700-17000 дол. США за одиницю	147 млн. дол. США	61 млн. дол. США
Німеччина	13600 дол. США за одиницю	4000 дол. США за тарнспортний засіб	466 млн. дол. США
Китай	-	1700 дол. США за кВ (до 57000 дол. США за транспортний засіб)	1,1 млн. дол. США за одиницю
США	1000 дол. США за одиницю	До 13000 дол. США за транспортний засіб	30 відсотків від ціни
Південна Корея	5,3 млн. дол. США	До 31000 дол. США за транспортний засіб	-

Джерело: Nagashima, M. "Japan's Hydrogen Strategy and its Economic and Geopolitical Implications". IFRI, 2018.



Розвиток енергетики на основі відновлюваних джерел енергії на протязі досить значного часу є основною метою енергетичної політики Європейського Союзу – вже в 1986 році на Раді Міністрів ЄС серед інших енергетичних завдань була визначена необхідність сприяння розвитку ВДЕ. Значного технологічного прогресу було досягнуто завдяки виконанню різних дослідницьких та демонстраційних програм (JOLE-THERMIE, INCO, FAIR), які не тільки сприяли створенню європейського сектора промисловості відновлюваної енергетики, але й забезпечили досягнення передового положення в даній галузі в світі. У даний час держави-члени ЄС перетворюють внутрішні енергетичні ринки відповідно до Директиви Європейського парламенту, яка створює умови для переважного використання електроенергії виробленої за рахунок використання ВДЕ. Європейська комісія уважно досліджує різні схеми і пропозиції, представлені державами-членами ЄС для включення в Директиву з тим, щоб забезпечити узгоджену політику держав-членів ЄС для гарантованої частки відновлюваної енергетики в загальному виробництві електроенергії на рівні ЄС і на національних рівнях. Такий підхід є важливим елементом на шляху створення єдиного ринку електроенергії, при цьому будуть враховуватись значні розходження між державами-членами ЄС в обсягах сприяння і засобах фінансування відновлюваної енергетики.

Вважається, що в деяких випадках для влади держав-членів ЄС достатньо буде врахувати в законодавстві наступне:

- гнучку амортизацію капіталовкладень у відновлювану енергетику;
- звернення до податкових пільг для третіх сторін, що фінансують відновлювану енергетику;
- умови виділення субсидій для створення нових електростанцій, середніх та малих підприємств, а також нових робочих місць;
- фінансове стимулювання споживачів для купівлі обладнання і послуг у відновлюваній енергетиці. Європейська комісія відслідковує досягнення Європейського Союзу в цій сфері енергетики. Будуть також досліджені і більш

широко впроваджені інші фінансові методи стимулювання освоєння використання ВДЕ, які добре себе зарекомендували в деяких країнах-членах ЄС:

- так звані «золоті» або «зелені» фонди, адресовані ринкам довгострокового позикового капіталу. Такі фонди фінансуються приватними банками, для яких, в цьому випадку, характерні більш низькі процентні ставки. Норма прибутку, при якій можлива більш низька процентна ставка, оплачувана власником рахунку, передається банком інвестору відновлюваної енергетики;

- пільгові кредити і спеціальні позики від інституціональних банків. [64]

Методи стимулюючої підтримки розвитку ВДЕ, визначені у фінальному документі комісії Європейського Союзу, включають цільове сприяння та вплив на ринок і комерційні банки для стимулювання ВДЕ. Загальна мета ЄС щодо збільшення частки використання ВДЕ має на увазі, що держави-члени ЄС повинні заохочувати збільшення обсягів використання ВДЕ відповідно до власних можливостей. Кожна з держав-членів ЄС повинна розробити власну стратегію щодо стимулювання розвитку відновлюваної енергетики, яка буде важливим інструментом, необхідним для зменшення енергетичної залежності, зменшення шкідливих викидів в оточуюче середовище та для розвитку національної промисловості і створення додаткових робочих місць.

Таблиця 3.3

Кількість водневих установок в світі у 2020р.

Країна	Комбіновані системи тепла та енергії	Водневі паливні елементи транспортних засобів	Водневі Заправні станції	Складські навантажувачі
Японія	223000	1800 авто	90	21
Німеччина	12000	467 авто, 14 автобусів	33	16
Китай	1	60 авто, 50 автобусів	36	-
США	225 МВт	2750 авто, 33 автобуси	70	11600

Примітка. Побудовано автором за даними Міжнародного енергетичного агентства.

Згідно із загальноєвропейською енергетичною політикою, але враховуючи місцеві особливості окремих країн, уряди європейських держав приймають власні програми щодо збільшення частки ВДЕ, стосовно тих ресурсів, якими даний регіон найкраще забезпечений і практикують в даних галузях тендерну політику. (табл. 3.3).

Державну підтримку в західних країнах можна розділити на декілька напрямів:

- фінансування науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт (НДДКР) з розвитку об'єктів відновлюваної енергетики; в даний час доля фінансування становить 20-30 % від загального фінансування науки; провідне місце займає державне фінансування НДДКР фотоелектроенергетики та паливних елементів;

- фінансування загальноосвітніх програм, курсів для підготовки спеціалістів у відповідній області, програм навчального характеру на телебаченні, радіо, в спеціальних центрах;

- підтримка виробників та користувачів обладнання відновлюваної енергетики. Здійснюється субсидування нових зразків обладнання на основі ВДЕ шляхом зниження податків на виробників. Широкого поширення набула державна підтримка користувачів або власників невеликих приватних станцій на основі ВДЕ.

Найпопулярнішим домінуючим заходом підтримки відновлюваної енергії в виробництві електроенергії, які нині застосовуються в 18 з 25 країн-членів ЄС, є фіксовані дотації за підведення струму в мережу. Гарантовані виплати дозволяють незалежним виробникам струму вводити в мережу вироблений ними струм за встановленим тарифом. Ці тарифи визначаються теоретично за граничними витратами на виробництво і затверджуються на законодавчому рівні. Головним аргументом на користь саме цього способу є мінімізація фінансового ризику для незалежних виробників електроенергії, яка таким чином гарантує стабільний дохід за визначений період. Різні країни використовують різні варіанти та комбінації методів державного стимулювання розвитку відновлюваної енергетики. Так Данія використовує пільгові позики та компенсацію по тарифах на енергію, вироблену з ВДЕ; в Італії діють змішані «зелені» системи в поєднанні з системою квот; в Хорватії – пільговий «зелений» тариф та пільгові позики; в Естонії «зелена» надбавка (FIP)

виплачується від максимальної ринкової ціни на електроенергію та діють пільгові позики. Ряд країн мають більш складні механізми стимулювання. У Франції «зелений» тариф (FIT), що гарантує фіксовану ціну за 1 кВт·год електроенергії, диференціюється в залежності від виду джерела (тривалість дії 15-20 років); підтримка діє лише для ВЕС, що розташовані в певних зонах; споживачі усіх видів «чистої» енергії звільняються від екологічних податків; зменшуються податки на прибуток для всіх джерел та ПДВ для фотовольтаїчних джерел. У Німеччині, яка планує збільшення частки у виробництві електроенергії наступним чином: 40-45 % до 2025 року, 55-60% до 2035 року, 65 % до 2040 року та 80 % до 2050 року, діють «зелений» тариф (FIT) + «зелена» надбавка (FIP); а також пільгові позики. Акт Німеччини про відновлювану енергетику встановлює критерії для одержувачів та тарифні ставки (один із ключових документів у німецькій політиці зі зміни клімату та енергетиці), зміни набрали чинності 1 січня 2012 р. Надалі цей акт був доповнений постановою про так званий механізм компенсацій – введено ринкову надбавку та надбавку за маневреність для операторів електростанцій, які безпосередньо постачають електроенергію з ВДЕ. Найбільш поширеними методами стимулювання практично для всіх країн, що активно використовують енергію відновлюваних джерел, є «зелений» тариф (FIT) + «зелена» надбавка (FIP) та пільгові позики. [84]

Для ефективної реалізації завдань щодо освоєння енергії відновлюваних джерел в Україні, в першу чергу, необхідно створення вітчизняної моделі розвитку відновлюваної енергетики, як окремої енергетичної галузі – створення нормативно-правової бази з урахуванням особливостей освоєння кожного з видів відновлюваних джерел енергії, визначення основ економічної стимулюючої політики держави і створення законодавчої бази відновлюваної енергетики, основаної на проведенні пільгової політики для виробників та споживачів енергії відновлюваних джерел, визначення механізмів фінансування. Для встановлення реального співвідношення основних техніко-економічних показників традиційної і відновлюваної енергетики в Україні необхідно проведення відповідних реформ у ціновій політиці традиційної енергетики. Досвід країн, що активно використовують енергію відновлюваних

джерел, показує, що одним з перших чинників при їх освоєнні є вихід на ринкові ціни на енергоносії.

Першочерговими завданнями відновлюваної енергетики України є:

- проведення наукових фундаментальних і прикладних досліджень, науково-дослідних і проектно-конструкторських розробок та організації їх впровадження;
- здійснення підготовки фахівців за всіма напрямками розвитку відновлюваної енергетики;

- створення профільної інфраструктури на основі вже існуючих навчальних, проектно-конструкторських та науково-дослідницьких організацій;

- розробка нормативно-правової бази, що сприятиме впровадженню розробок на основі ВДЕ, у тому числі щодо доступу об'єктів ВДЕ до електричних і теплових мереж енергокомпаній та відведення земельних площадок;

- створення сертифікаційної та метрологічної бази;

- створення бази для виробництва технічних пристроїв та обладнання, монтажу, експлуатації, ремонту та сервісу. Розробка вітчизняних законопроектів, направлених на розвиток відновлюваної енергетики, свідчить про визнання Урядом України важливості вирішення проблеми забезпечення надійного і диверсифікованого енергопостачання суспільного виробництва й населення із підвищенням екологічної чистоти енерговиробляючого та паливо- і енергоспоживаючого обладнання. Для вирішення головних проблем, що виникають при впровадженні техніки та технологій відновлюваної енергетики, необхідно:

- визначення порядку відведення земельних площадок під установку обладнання відновлюваної енергетики;

- проведення робіт щодо підвищення потужності електромереж для забезпечення приймання електроенергії, отриманої від обладнання на основі відновлюваних джерел. Вирішення цих питань сприятиме залученню інвестицій у відновлювану енергетику. Будівництво потужних електростанцій повинно проводитись паралельно із розширенням електромереж у напрямку підвищення їх пропускної спроможності. На стадії відведення земельних ділянок та виготовлення проектно-документації необхідне проведення екологічних експертиз, які для кожного

із видів енергетичного обладнання відновлюваної енергетики мають свої особливості. Так, наприклад, для встановлення вітроенергетичного обладнання необхідно висновки орнітологів.

Використання відновлюваних джерел для вирішення проблем енергозабезпечення населення та промисловості є надзвичайно важливим для України, що по першу чергу пов'язано з енергодефіцитністю і негативними тенденціями в галузі існуючої вітчизняної енергетичної системи та незадовільним станом оточуючого середовища. Головним завданням для нашої країни в даний час є створення науково-технічної бази відновлюваної енергетики з метою поступової заміни в Україні традиційних методів отримання енергії на практично невичерпні екологічно чисті відновлювані джерела енергії в межах доцільної реалізації їх потенціалу. Пошук перспективних шляхів розвитку техніки та технологій на основі використання енергії відновлюваних джерел є однією з проблем, вирішення якої в Україні дасть гарантію енергетичної безпеки, що є одночасно і гарантією незалежності держави. Серед комплексу питань щодо широкомасштабного впровадження обладнання на основі відновлюваних джерел енергії ключовими є питання суттєвого покращення техніко-економічних показників існуючого енергетичного обладнання, створення і впровадження нового устаткування, новітніх технологій та матеріалів. Важливою передумовою розвитку нової галузі енергетики на основі відновлюваних джерел є створення навчально-освітньої бази щодо сучасних методів, засобів та технологій освоєння енергії основних видів відновлюваних джерел для підготовки фахівців у галузі відновлюваної енергетики – сонячної, вітрової, геотермальної, енергії малих річок, біомаси та доквілля. Основними стримуючими факторами широкомасштабного розвитку відновлюваної енергетики України в першу чергу є низький рівень довіри до державної політики щодо стимулювання її розвитку. Це пояснюється відсутністю планів щодо довгострокового розвитку, в першу чергу після 2030 року, енергетичного вітчизняного сектору. Негативний вплив мають останні зміни – відміна податкових пільг для ВДЕ, зменшення розміру «зелених» тарифів, а також збільшення вартості приєднання до електромереж та перспектива штрафів за небаланс енергії. Для подолання упередженості потенційних споживачів

енергії ВДЕ необхідно проведення ефективної комунікаційної роботи із місцевими органами самоуправління із наданням економічних, соціальних та екологічних переваг проєктам відновлюваної енергетики. Необхідна розробка інформаційно-освітніх програм з метою пояснення переваг та можливостей освоєння енергії ВДЕ, надання інформації щодо оцінки технічного потенціалу різних видів ВДЕ у регіонах України. Зі сторони державних органів влади необхідно зробити державну політику у сфері відновлюваної енергетики більш прогнозованою за рахунок створення довгострокових стратегічних планів, спрямованих на досягнення нульового викиду вуглецю, із відповідним наповненням щодо стимулювання, гарантій та фінансової кредитної підтримки проєктів та програм залучення місцевих громад до проєктів ВДЕ. [55]

### **3.3. Застосування водневих технологій в Україні: шляхи реалізації та механізми впровадження**

Україна має величезний потенціал ВДЕ, що за розрахунками Інституту відновлюваної енергетики НАН України в цілому становить 874 ГВт<sup>64</sup> встановленої потужності. З урахуванням потенціалу вітрових та сонячних електростанцій експерти розраховали, що технічний потенціал виробництва «зеленого» водню становить 337-505 млрд н.куб.м (44 954 тис. т) щороку. Цього достатньо не лише для задоволення потреб внутрішнього ринку, а й для експорту в ЄС. З урахуванням цілей Енергетичної стратегії України до 2035 року щодо встановлених потужностей вітрових та сонячних електростанцій середньорічне виробництво «зеленого» водню може скласти 5,5 млрд н.куб.м. (див. Рис. 3.1) Втім, необхідно подолати низку технічних та економічних перепон, щоб використати наявний потенціал повною мірою.

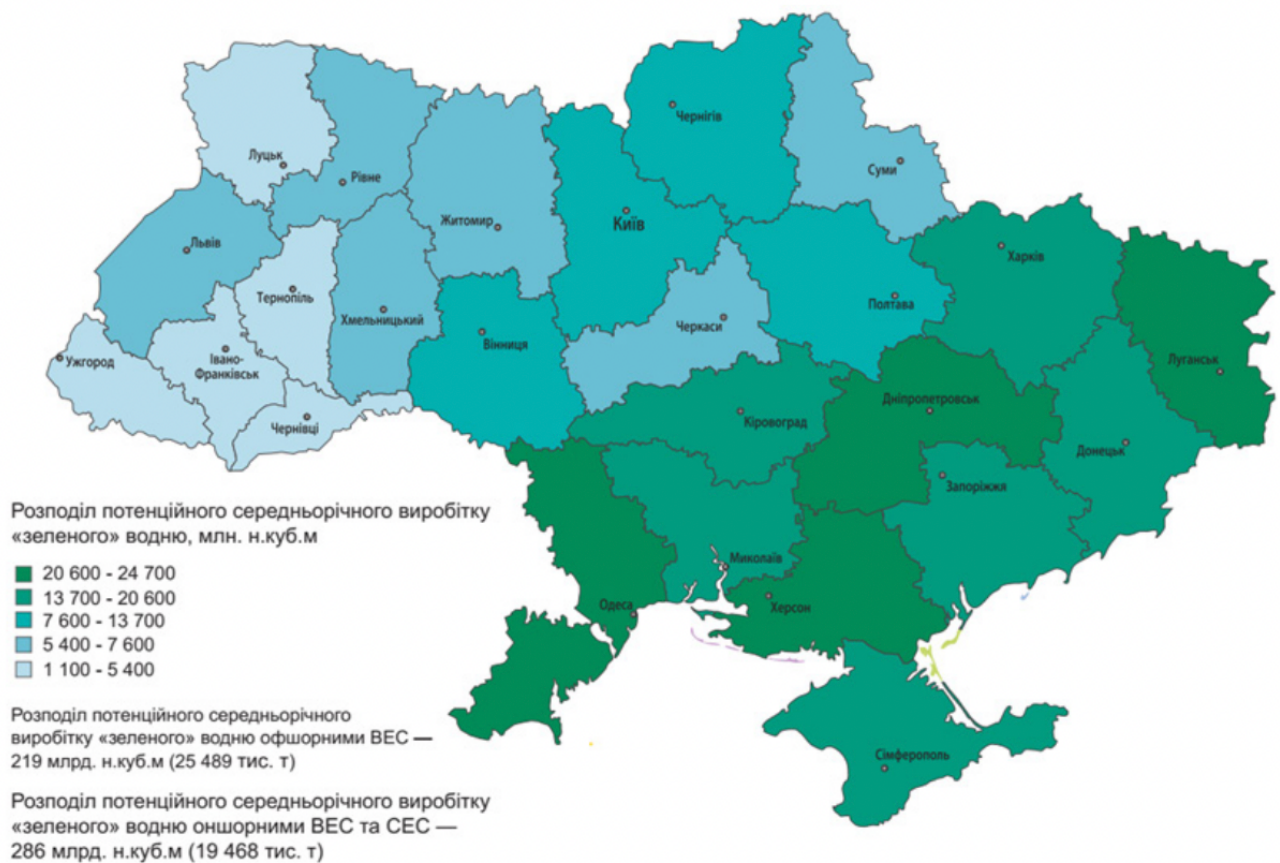


Рис. 3.1 Розподіл потенційного середньорічного виробітку відновлюваного водню, млн н. куб. м.

Джерело: Міністерство енергетики України.

Українські компанії намагаються не відставати від європейських трендів, цікавляться стрімким розвитком водневих технологій та шукають можливості розширення своєї виробничої сфери і на цю галузь. Так, у 2020 році ДТЕК створила команду з дослідження можливостей застосування водню в сферах транспорту, енергетики і промисловості України, а влітку того ж року стала першою українською компанією, що приєдналася до асоціації Hydrogen Europe. Асоціація об'єднує європейські компанії по всьому ланцюжку виробництва і транспортування водню з метою сприяння переходу на низьковуглецевий розвиток. У серпні 2021 року «Нафтогаз» та німецький газовий трейдер RWE Supply & Trading підписали меморандум щодо співпраці у напрямку створення повного ланцюжка виробництва та постачання «зеленого» водню та його похідних. Компанії також домовилися про пошук комерційних можливостей для реалізації «зеленого» водню на європейських



ринках, зокрема, у Німеччині, що особливо актуально в контексті ініціативи H2Global. Окрім того, станом на кінець 2020 року понад 20 українських компаній - зокрема «ОГТСУ», «Енергоатом», «РГК», «Сумське НВО», UDP Renewables та інші - доєдналися до Європейського альянсу чистого водню (European Clean Hydrogen Alliance), що має на меті пришвидшити розгортання виробництва та споживання «зеленого» та низьковуглецевого водню до 2030 року. Українські компанії-девелопери об'єктів ВДЕ також розпочали розробку пропозицій для потенційних інвесторів у водневій проєкти в енергетиці та промисловості. Так, компанія MCL розробляє пілотний проєкт на Рівненщині «вітер – водень – аміак», що передбачає виробництво водню на основі електроенергії, отриманої на ВЕС, який планують постачати для виробництва аміаку. В Одеській області планується створення енергетичного кластера, що передбачає будівництво електролізної станції потужністю 3 тис. МВт та сонячної електростанції потужністю 5 тис. МВт для виробництва «зеленого» водню. Іншим прикладом є пілотний проєкт «сонце – водень – аміак» ТОВ «Аргус Сервіс» в Херсонській області. В рамках проєкту передбачається будівництво сонячної станції потужністю до 125 МВт для виробництва водню, який постачатиметься на внутрішній ринок та до ЄС. У липні 2021 року Вінницька міська рада вже надала науково-дослідному центру KNESS RnD Center містобудівні умови та обмеження на будівництво демонстраційно-дослідного майданчику з генерації «зеленого» водню.

Активна політика та готовність до співпраці з боку ЄС можуть стати катализатором розвитку виробництва «зеленого» водню в Україні. У своїй водневій стратегії ЄС розглядає Україну серед ключових партнерів у постачанні водню, враховуючи природний потенціал, взаємопов'язаність інфраструктури та технологічний розвиток. У амбіційному плані євро пейських компаній «Зелений водень для Європейського зеленого курсу: Ініціатива 2x40 ГВт»<sup>81</sup> також відведена роль для України. Згідно з планом, європейські компанії мають на меті побудувати 40 ГВт потужностей з виробництва водню за технологією електролізу в країнах ЄС до 2030 року та стільки ж – за межами ЄС, зокрема в Україні (до 10 ГВт) та країнах Північної Африки. Таке зростання водневого ринку забезпечить здешевлення

технологій виробництва «зеленого» водню і зробить останній конкурентним із «сірим» воднем, що виробляється на основі викопних палив. Уряд України активно займається налагодженням співпраці з міжнародними партнерами задля розвитку виробництва водню в Україні. У жовтні 2020 року, делегація України в Німеччині представила портфель потенційних проєктів з виробництва водню, які можуть бути реалізовані спільно з Німеччиною в рамках Ініціативи 2x40 ГВт. (рис. 3.2)

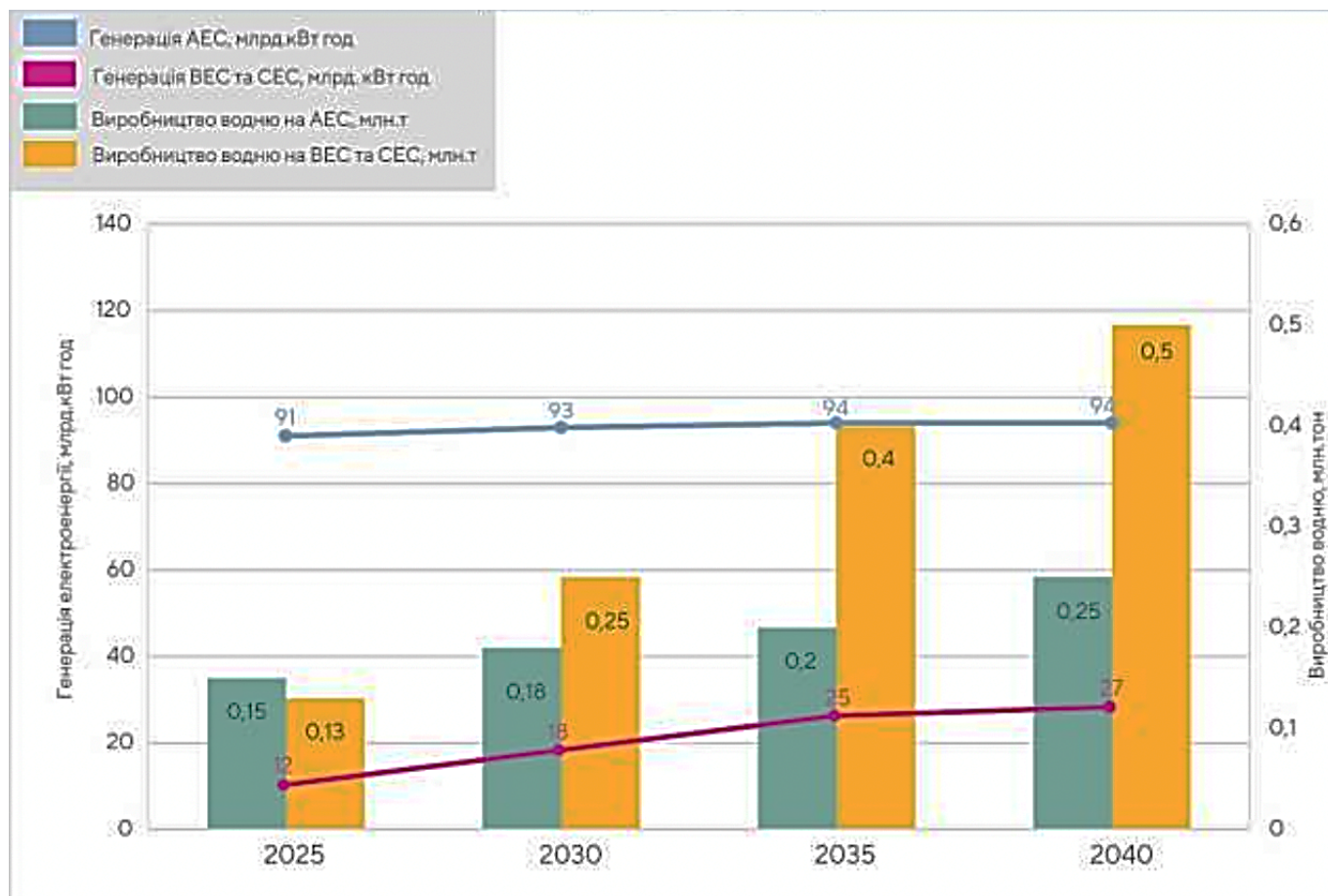


Рис. 3.2 Прогноз виробництва водню в Україні, млн. тон.

Джерело: Міністерство енергетики України.

Україна має розвинену газотранспортну систему (ГТС), що включає понад 33 тис. км трубопроводів, 57 компресорних станцій, 33 газовимірювальних станцій і 1389 газорозподільних станцій, експлуатація якої забезпечує близько 15 млрд грн надходжень до державного бюджету щороку та 11 тис. робочих місць. Однак, вже сьогодні майже половина транзитних потужностей ГТС є надлишковими<sup>84</sup>. Перспективи української ГТС є ще більш невизначеними після 2024 року, коли закінчиться чинний контракт на транзит російського газу, – надто з огляду на

розгортання обхідних газопровідних проєктів РФ, передусім «Північного потоку-2». Окрім того, амбітна кліматична політика ЄС призведе до поступового скорочення попиту на природний газ, а відтак спаде і потреба у його транспортуванні. Все це створює ризики того, що Україна може втрати суттєві надходження до бюджету, що наразі забезпечує робота ГТС. З огляду на це, вкрай важливим є пошук можливостей перепрофілювання ГТС для транспортування відновлюваних та низьковуглецевих палив, зокрема біометану та водню. Так, «Оператор газотранспортної системи України» розглядає можливість її використання для транспортування водню, і українсько-словацький газовий коридор може стати найефективнішим маршрутом до Європи. Однак, більшість газопроводів побудовано ще у 1960-1980-х роках, відтак «ОГТСУ» поки вивчає готовність інфраструктури. Компанія вже співпрацює з іншими європейськими операторами задля вивчення всіх технологічних, регуляторних та економічних аспектів транспортування водню. Разом з тим, за оцінками «Української водневої ради», ГТС України може безпечно приймати суміш природного газу із 10-20% водню без додаткових витрат на модернізацію.

Українська ГТС також може стати частиною водневого транспортного коридору, про що заявили представники галузевої ініціативи European Hydrogen Backbone (ЕНВ)<sup>91</sup>, що об'єднує 23 газові інфраструктурні компанії ЄС. Зокрема, передбачається переобладнання під транспортування водню низки трубопроводів, які з'єднують ринки ЄС з країнами-експортерами газу. Також, рішенням РНБОУ «Про заходи з нейтралізації загроз в енергетичній сфері» від 30 липня 2021 року уряду була поставлена задача щодо опрацювання питання створення нового водневого продуктопроводу Україна – ЄС. При цьому, наприкінці 2020 року в Міненерго розглядали використання газотранспортної інфраструктури для постачання та експорту водню у довгостроковій перспективі. Для короткострокової перспективи передбачалося використання цистерн і вантажних автомобілів, у середньостроковій – вантажівок та залізничної інфраструктури. (див. Рис. 3.3)

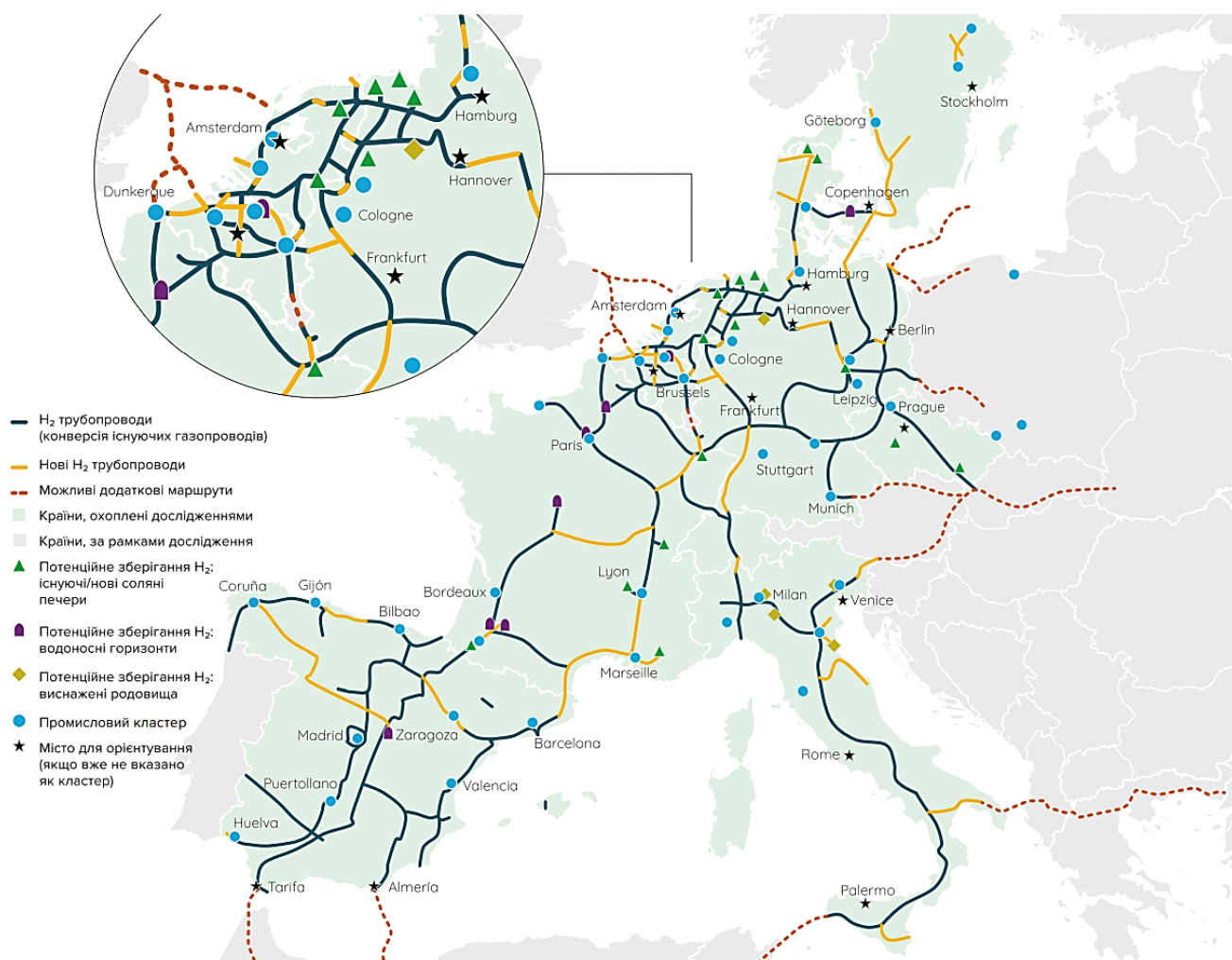


Рис 3.3 Розвинена європейська воднева мережа у 2040 році.

Джерело: Міністерство енергетики України.

Незважаючи на те, що питання розвитку виробництва водню та використання української ГТС для його експорту до ЄС є предметом обговорень на високому політичному рівні вже близько двох років, правова база у цій сфері практично відсутня.

За чинним регулюванням, водень належить до небезпечних паливних газів. Відповідно, пов'язана з воднем діяльність регулюється низкою норм та стандартів, зокрема ДСТУ 2655-94 «Водень. Терміни та визначення. Нижче наведено перелік основних технічних регламентів та правил.

Технічні регламенти:

- обладнання та захисні системи, призначені для використання в потенційно вибухонебезпечному середовищі (узгоджено з Директивою 2014/34/ЄС);

- обладнання, що працює під тиском (узгоджене з Директивою 2014/68/ЄС);
- прості посудини високого тиску (узгоджено з Директивою 2014/29/ЄС);
- водогрійні котли, що працюють на рідкому або газоподібному паливі;
- пристрої для газоподібного палива (узгоджено з Регламентом (ЄС) 2016/426);
- мобільне обладнання під тиском (узгоджено з Директивою 1999/36/ЄС);
- вимоги до автомобільного бензину, дизельного палива, корабельного та котельного палива (узгоджено з Директивами 98/76/ЄС та 2005/33/ЄС).

#### Правила техніки безпеки та охорони праці:

- правила пожежної безпеки в Україні (НАПБ А.01.001-2014);
- правила безпеки при виробництві водню електролізом води (НПАОП 24.11-1.03-78);
- безпечна робота поршневих компресорів, що працюють на вибухонебезпечних та токсичних газах (НПАОП 0,00-1,14-76);
- безпека систем газопостачання (НПАОП 0,00-1,76-15);
- охорона праці під час роботи обладнання під тиском (НПАОП 0,00-1,81-18);
- безпека під час експлуатації засобів та систем автоматизації та управління в газовій промисловості (НПАОП 11.1-1.07-90);
- електроустановки (НПАОП 40.1-1.32-01);
- безпечна експлуатація та обслуговування автомобільних газонаповнювальних компресорних станцій (НПАОП 63.2-1.06-02). Окрім того, виробництво водню та інша пов'язана з воднем діяльність ймовірно вимагатиме отримання низки дозволів згідно вимог чинного законодавства, зокрема, дозволу на спеціальне водокористування для експлуатації установок електролізу водню, дозволів на виконання робіт підвищеної небезпеки та на експлуатацію (застосування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки, а також ідентифікації відповідних виробничих потужностей як об'єктів підвищеної небезпеки, а також проведення оцінки впливу на довкілля.

Розробники проекту Дорожньої карти для виробництва та використання водню в Україні дійшли висновку, що чинні технічні регламенти та нормативи щодо водню не відповідають міжнародній практиці, низці директив ЄС та чинному законодавству

України у галузі стандартизації. Відповідно, виникає нагальна потреба щодо перегляду існуючих та розробки нових стандартів по всьому ланцюжку виробництва й постачання водню. Розробка стандартів на національному рівні здійснюється в рамках роботи технічних комітетів Державного підприємства «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»). У березні 2020 року УкрНДНЦ створив технічний комітет стандартизації «Водневі технології», до сфери діяльності якого належить стандартизація у сфері систем і пристроїв для виробництва, зберігання, транспортування, вимірювання та використання водню в якості енергоносія та для енергетичної генерації. До комітету увійшли зацікавлені компанії у галузі ВДЕ, науково-дослідні та проєктні організації, виробники та постачальники водню, тощо. Головною метою діяльності комітету є розробка національних стандартів, що мають бути гармонізовані з міжнародними та європейськими. Так, за оцінками Інституту відновлюваної енергетики НАНУ, необхідно буде адаптувати 67 європейських стандартів до законодавства України. Окрім того, передбачається співпраця з технічними комітетами міжнародних та регіональних організацій зі стандартизації ISO/TC 197 Hydrogen technologies (Водневі технології) та CEN/CLC/JTC 6 Hydrogen in energy systems (Водень в енергетичних системах).

Розробка нових норм і законів для водневої галузі має передусім стосуватися виробництва водню на установках електролізу й інших елементів ланцюга доданої вартості технологій Power-to-gas (P2G), а також зберігання та транспортування водню через газові мережі (зокрема, у складі сумішей з природним газом). За оцінками «РГК», для того щоб закачати водень до газопроводу навіть лише в рамках експерименту, необхідно прийняти цілу низку законодавчих змін, зокрема до законів «Про ринок природного газу», «Про метрологію та метрологічну діяльність», кодексів ГТС і ГРМ, технічних норм, ДБНів. Використання водню у промисловості та, особливо, транспорті вимагатиме іншого набору правових регулювань, передусім з питань безпеки. Зокрема, у транспортному секторі необхідно переглянути чинні та напрацювати нові законодавчі норми щодо використання повітряного простору, доріг і портів, водного транспорту з урахуванням особливостей водневих технологій<sup>105</sup>. З

точки зору чинного регулювання виробництво водню вимагатиме багатьох дозволів (на виконання робіт підвищеної небезпеки, на експлуатацію устаткування підвищеної небезпеки, на спеціальне водокористування) не кажучи про будівельні дозволи та процедуру оцінки впливу на довкілля. Відтак не виключено, що особливості роботи водневих об'єктів необхідно буде врахувати у подібних дозвільних процедурах.

Використання водневих технологій також є перспективним для розбудови систем накопичення енергії (СНЕ) з метою балансування енергосистеми з високою часткою потужностей ВДЕ та забезпечення її стабільності. Однак, законодавче підґрунтя наразі відсутнє і в цій сфері. У Верховній Раді наразі зареєстровано два законопроекти, що стосуються СНЕ (реєстр. № 2582107 та № 2582108). При цьому, водневі технології зазначаються серед інших можливих технологій накопичення енергії лише у законопроекті № 2582, що наразі перебуває на розгляді парламентських комітетів. [13]

Враховуючи значний потенціал України щодо виробництва та постачання «зеленого» водню, необхідно переглянути ключові стратегічні документи в енергетичному секторі для врахування особливостей та обмежень цього енергоносія. Так, у чинних енергетичній та транспортній стратегіях взагалі відсутні згадки про водень, оскільки ці документи розроблялися та були прийняті ще до того як питання водневої енергетики стало пріоритетним на порядку денному урядів та бізнесових асоціацій в Україні. У Національній економічній стратегії на період до 2030 року, яку було схвалено у березні 2021 року, водень згадується лише в контексті можливого експорту до ЄС. У Стратегії енергетичної безпеки, затвердженій Кабінетом Міністрів на початку серпня 2021 року, воднева енергетика згадується в контексті розвитку науково-технічного та інноваційного потенціалу України для потреб енергетичного сектору. Серед стратегічних документів у сфері кліматичної політики, питання водневих технологій розглядаються у Стратегії низьковуглецевого розвитку до 2050 року, яку було прийнято протокольним рішенням уряду в липні 2018 року. Так, у Стратегії згадується промислове виробництво та використання водню серед політики впровадження інноваційних технологій в енергетиці, а також стимулювання використання транспортних засобів, що можуть працювати на альтернативних видах

моторного палива, зокрема на водні та водневих паливних елементах. Окрім того, використання водневих технологій в енергетиці, промисловості й транспортному секторі враховано при моделюванні<sup>115</sup> сценаріїв розвитку України в рамках підготовки оновленого Національно визначеного внеску (НВВ) України до Паризької угоди. Таким чином, загальнонаціональні цілі щодо скорочення викидів парникових газів на 65% до 2030 року від рівня викидів 1990 року, а також досягнення кліматичної нейтральності не пізніше 2060 року<sup>116</sup> вже враховують потенційну роль водневих технологій. У березні 2021 р. було представлено проекти Дорожньої карти для виробництва та використання водню і в Україні<sup>117</sup> та Дорожньої карти використання водню в Україні в сфері дорожнього транспорту<sup>118</sup>, які було розроблено за підтримки Європейської Економічної Комісії ООН в рамках проекту «Посилення потенціалу уряду України для розвитку інфраструктури для виробництва та використання водню з метою підтримки зеленого відновлення після Covid-19».

У проєкті Дорожньої карти для виробництва та використання водню<sup>119</sup> наведено огляд найкращих міжнародних практик та водневих технологій, перспективних до застосування в Україні, а також представлено ризики та проблеми, що потребують розв'язання. У документі запропоновано розгортання водневих технологій у чотирьох напрямках, зокрема в енергетиці, промисловості, транспортному секторі, а також використання ГТС. Окрім того, окреслено найважливіші кроки та заходи на національному та локальному рівні, які необхідно втілити для стимулювання розвитку водневих технологій в країні. У документі наголошується, що виробництво саме «зеленого» водню має бути пріоритетним для України, тоді як інші технології доцільно розглядати лише на етапі перехідного періоду. Відповідно до проєкту Дорожньої карти, розбудову водневої економіки передбачається здійснити у три етапи, що ґрунтуються на чинній Енергетичній стратегії України до 2035 року<sup>120</sup>. На першому етапі (2021-2023 рр.) планується проведення оцінки національної економіки щодо перспектив втілення «зеленого» енергетичного переходу та запуск водневої економіки. На другому етапі (2024-2026) передбачається впровадження пріоритетних політик та розвиток водневого ринку. Протягом третього етапу (2027-2029) очікується розвиток стратегічних водневих



проектів та подальше реформування нормативно-правової бази. Проект Дорожньої карти використання водню в Україні в сфері дорожнього транспорту<sup>121</sup> включає аналіз найкращих міжнародних практик та планів використання водню у автотранспортному секторі з фокусом на міському громадському транспорті. У документі також наведено огляд релевантної законодавчої та нормативної бази та надано рекомендації уряду щодо розвитку водневих технологій у транспортному секторі, а також представлено політики та заходи, що мають стати частиною загальної «дорожньої карти» для виробництва та використання водню. Ці документи слугуватимуть підґрунтям Водневої стратегії України<sup>122</sup>, основна мета якої – дати поштовх для побудови в Україні водневої економіки. Стратегія розроблятиметься за підтримки Світового банку із залученням міжнародних компаній й вітчизняних експертів<sup>123</sup>. Окрім того, здійснено перші кроки із забезпечення інституційного підґрунтя задля розвитку водневої енергетики в Україні. Так, у листопаді 2019 р. в Міністерстві енергетики України був створений підрозділ із впровадження водневих технологій, а у червні 2020 р. при РНБОУ була створена робоча група з питань розвитку водневих технологій<sup>124</sup>. Таким чином, урядом вже здійснено перші кроки з розробки стратегічних документів задля розвитку водневих технологій в енергетиці й транспортному секторі. Однак, розробка секторальної нормативно-правової бази, інтеграція питань водневої енергетики до законодавства України, а також розробка та адаптація технічних стандартів ще перебувають на початковій стадії.

Україна має значний потенціал виробництва «зеленого» водню, а також потужну газотранспортну систему, яку можна використати для його потенційного експорту до ЄС. [18] Окрім того, європейські партнери готові надати технічну та фінансову підтримку<sup>125</sup> задля розвитку водневого ринку України. Втім, досвід інших країн свідчить про те, що для втілення водневих амбіцій у реальність необхідно переглянути та розробити великий масив нормативно-правових актів. Окрім того, необхідно вирішити наявні проблеми<sup>126</sup> у секторі ВДЕ – з тим, щоб була можливість суттєво збільшити виробництво електроенергії з ВДЕ, частину якої можна буде переправити на виробництво «зеленого» водню.

В Україні потреба переходу до використання водню в транспортній галузі обумовлена екологічними та економічними факторами. Так, Україна потрапила до рейтингу країн із найбільш забрудненим повітрям – вона посіла 49 місце із 73 країн світу. Міністерство екології та природних ресурсів України наполягає на необхідності розроблення планів покращення якості атмосферного повітря на основі аналізу показників його стану. Ефекти забруднення повітря часто досить помітні в столиці України, місті Києві. Існуючий транспорт використовує паливо, яке більшою мірою є імпортованим, що збільшує собівартість перевезень.

За даними державної статистики, у 2018 році в Україні в якості моторного палива було спожито приблизно 1,8 млн.т бензину та 5,1 млн.т дизельного палива, це при тому, що власний видобуток сирої нафти лише трохи перевищив 2 млн.т. Отже, потреба в альтернативних екологічно безпечних місцевих джерелах енергії для транспорту є надзвичайно актуальною. В транспортній галузі особлива увага приділяється використанню водню і паливних елементів на автомобільному транспорті. Перед розвиненими країнами, зокрема перед багатьма країнами Європи, постало невідкладне завдання створення відповідної водневої інфраструктури, тобто достатньої кількості водневих заправних станцій. Франція, наприклад, передбачає, що до 2030 року у країні не залишиться жодного куточка, де б неможливо було дістати водень для автомобіля. Вже зараз в деяких країнах створюються автономні заправні станції, які для отримання водню використовують енергію вітру та/або сонця, зберігають його, наприклад, у стисненому стані і подають для заправки транспортних засобів на паливних елементах. Водневий транспорт може подолати недоліки інших електромобілів з низьким діапазоном пробігу і необхідністю частішої зарядки. Для цього потрібно в повній мірі використовувати дешеву електроенергію для електролізу води в водень. Одночасно потрібні матеріали з високою щільністю накопичення водню, щоб подолати низьку енергетичну щільність традиційного зберігання водню в газових балонах.

За оцінкою Minxiart («Hydrogen 21 Energy Industry Outlook», Китай, 2018) можна збільшити пробіг водневих транспортних засобів до 700-1000 кілометрів або навіть більше. Що стосується електромобілів з паливними елементами (FCEV),

то очікується, що ці транспортні засоби увійдуть у стадію масового виробництва в 2020-2025 роках. Передбачається, що виробництво комерційних транспортних засобів на паливних елементах у Китаї досягне 20 тис. у 2025 році, а після 2025 року – перебуватиме на стадії масштабного розвитку. Поточними завданнями для цього є: оптимізація обладнання для виробництва водню; розробка матеріалів для зберігання водню високої щільності; оптимізація водневих паливних елементів.

На території України є низка маршрутів значної протяжності, де автобуси на водні могли б конкурувати з традиційними. Автобус на паливних елементах є дуже ефективним громадським транспортом з нульовим рівнем викидів для поїздок на великі відстані містом, а також ефективно вирішує недоліки електричних транспортних засобів з коротким пробігом та тривалою зарядкою. Очікується, що він швидко замінить традиційні дизельні та електричні автобуси. Створення інфраструктури транспортних засобів на паливних елементах на великих відстанях, у середніх і важких умовах експлуатації, є тенденцією розвитку галузі логістики.

Транспортні засоби на паливних елементах можуть досягти разового пробігу від 350 до 1200 кілометрів, а загальний ресурс досягає 500 тис. кілометрів. Легкові автомобілі можуть заправлятися за 3-5 хвилин, мають діапазон пробігу до 500 км і загальний пробіг за термін служби більше 200 тис. км (дані Minxiart). В Україні більше половини пасажирських перевезень виконують саме автобуси. Залізниця перевозить 441 млн. пасажирів на рік (дані статистики станом на 2016 рік), в той час як автомобільний транспорт перевозить в 7,5 разів більше – більше 3 млрд. пасажирів на рік, а з урахуванням приватних перевезень, пасажиропотік перевищує 5 млрд.

Навіть за офіційною статистикою в середньому кожен житель України користується автобусами в середньому 70 разів на рік. При цьому парк великих автобусів загального користування на 90% вичерпав свій ресурс і підлягає заміні на більш комфортабельні, місткі і якісні. Сьогодні більшість перевезень у містах здійснюється мікроавтобусами, що належать господарським суб'єктам і не відповідають сучасним вимогам собівартості та екологічності. На ринку регулярних автобусних перевезень можна виділити декілька основних сегментів: міжнародні, міжміські міжобласні, міжміські внутрішньообласні, приміські та міські. В

основному це автобуси малого класу, побудовані на основі вантажівок. Для використання більш нових і сучасних автобусів на міських та приміських маршрутах необхідне відповідне стимулювання автоперевізників. Зараз правила видачі допусків перевізників на міські та приміські маршрути ставлять лише мінімальні вимоги до автобусів, як за комфортом, так і за екологічністю.

При проведенні конкурсів на міських і приміських маршрутах необхідно віддавати перевагу перевізникам, які використовують більш екологічні автобуси та надають більш високий рівень сервісу. Особливу увагу необхідно приділяти автобусам, які працюють на альтернативних видах палива: автобуси з гібридним приводом, автобуси з двигуном, що працює на зрідженому природному газі (метані), і електробуси. Стосовно залізничного транспорту, поїзди з живленням від водневих паливних елементів (FCH) представляють екологічно чисту та економічно доцільну альтернативу існуючим технологіям в розгалужених мережах з низьким рівнем електрифікованих ліній («Study on use of fuel cell hydrogen in railway environment», Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking, 2018). Магістральні локомотиви на базі FCH все ще стикаються з перепонами для виходу на ринок, але вже можуть бути конкурентоспроможними у випадках, коли оперативна сумісність маршрутів обмежена, великі відстані перевезень при значних навантаженнях і незначній частці холостого пробігу. Їхній ринковий потенціал буде залежати також від проектного обсягу закупівель дизельних локомотивів.

Комерційне використання FCH-поїздів розпочато в Німеччині для заміни 9 22 дизельних поїздів на неелектрифікованих лініях, що дозволяє системним провайдером уникнути високих капітальних витрат на будівництво електричних мереж. Кілька інших країн планують подібні кроки в найближчі декілька років (в тому числі, Сполучене Королівство, Нідерланди та Австрія). В Україні експлуатаційна протяжність головних колій становить 19,8 тис.км, при цьому електрифікованих колій – 9,9 тис.км (47,4 %)10. При цьому парк тепловозів становить 1,9 тис.од., парк електровозів –1,6 тис. од. (станом на 2018 рік). За 2018 р. транспорт спожив 7,0 млрд. кВт-г електроенергії. Це визначає потенційний ринок FCH-транспорту. Перш за все, FCH-поїзди замінять тягові тепловози. У морському секторі кораблі з паливними

елементами знаходяться на етапі демонстраційних проектів. Водневі паливні елементи також можуть бути використані для заміни бортової та берегової енергетики для зменшення забруднюючих викидів та уникнення значних витрат на встановлення електричних з'єднань в гавані.

В Україні використання водню на водному транспорті має свої перспективи. Зокрема, за останні 5 років відзначається збільшення обсягів перевезень товарів річковим транспортом, потенціал якого використаний не на повну потужність (ІА «АПК-Інформ»). Частка перевезень сільгосппродукції річковим транспортом на даний момент складає 7%. Потенціал річкового транспорту освоєно лише на третину, в цілому він здатний досягти 20% з обсягом перевезень в 10-12 млн.т на рік<sup>11</sup>. Для нарощування обсягів перевезень існують усі передумови, оскільки вартість перевезення товарів річковим транспортом більш вигідна в порівнянні з вартістю перевезень автотранспортом і залізницею. У 2018 році по Дніпру було перевезено 9,9 млн.т вантажів, що більш ніж удвічі перевищує показники 2013 року; обсяги вантажопотоку Південним Бугом склали 850 тис.т.

Інфраструктура виробництва і розподілу водню потребує значних капіталовкладень, і такі інвестиції є ризикованими без довгострокової видимої перспективи попиту на водень та без гарантій (можливо політичних зобов'язань), необхідних для забезпечення ринку. Це особливо проблематично для пасажирського автотранспорту. З одного боку, виробники неохоче інвестують виготовлення транспортних засобів на паливних елементах без інфраструктури заправки воднем, оскільки жоден споживач не придбав би автомобіль без можливості заправки. З іншого боку, енергетичні та промислові газові компанії не готові розгортати необхідну водневу інфраструктуру, поки транспортні засоби та паливних елементах з пробігом і часом заправки, як для звичайного транспорту, не стане комерційно прийнятним, зі зрозумілим терміном повернення їхніх інвестицій. Тому, у ряді країн уряди намагаються забезпечити не тільки інвестиційну підтримку, але й забезпечують всебічну підтримку з боку законодавства та пільгового режиму оподаткування.

Державна підтримка у сфері вантажних перевезень, а також громадського транспорту повинна бути пріоритетом для сталого розвитку. Забезпечення

критичного об'єму попиту на водень є основним фактором для інвестицій в інфраструктуру. Тому, для створення життєздатних водневих технологій, повинні бути встановлені досить великі установки, що забезпечують економічну ефективність за рахунок масштабу і, тим самим, знижують вартість водню для кінцевого користувача. Проте в короткостроковій і середньостроковій перспективі спочатку водень можна виробляти місцево, для забезпечення невеликих заправних станцій, зокрема, для автопарків, що матимуть власну базу для заправки. Ці станції можуть бути відкритими для громадськості. Загалом на структуру системи поставок будуть впливати такі обставини: - наявність джерел водню або сировини для його отримання в безпосередній близькості чи на місці споживання, тому що виробництво водню є найбільш капіталомісткою частиною ланцюга постачання; - до досягнення певного порогу споживання, виробництво на місці або доставка існуючими газогонями можуть бути єдиним життєздатним режимом постачання. Вони, ймовірно, залишаться такими в найближчому майбутньому; - з точки зору управління ризиками, інвестиції в нове масштабне виробництво традиційно можливі, якщо велика частка виробництва продається одному клієнту (або обмеженому числу клієнтів) з підписаними довгостроковими контрактами, або якщо це може бути обґрунтовано наявністю достатнього резервного капіталу для покриття початкових втрат або фінансових інструментів зниження ризику.

### **Висновки до розділу 3**

Водень привертає все більше уваги як перспективний засіб декарбонізації економіки (у зв'язку з його високим потенціалом енергоносія та здатністю виступати як засіб накопичення та зберігання енергії). Поки використання водню переважно обмежено традиційними секторами, а його виробництво спирається на викопне паливо, але у майбутньому ринок водню, включаючи водень з урахуванням низьковуглецевої енергетики, може помітно зрости. Це вимагатиме стимулювання попиту та розширення підтримки водневих проектів, і низка розвинених країн уже представили відповідні стратегії.

Стосовно України, наша країна має величезний потенціал ВДЕ, а українські компанії намагаються не відставати від європейських трендів, цікавляться стрімким розвитком водневих технологій та шукають можливості розширення своєї виробничої сфери і на цю галузь.

Активна політика та готовність до співпраці з боку ЄС можуть стати каталізатором розвитку виробництва «зеленого» водню в Україні. У своїй водневій стратегії ЄС розглядає Україну серед ключових партнерів у постачанні водню, враховуючи природний потенціал, взаємопов'язаність інфраструктури та технологічний розвиток.

Державна підтримка впровадження водневої енергетики є нагальною проблемою: зацікавленість країни в цілому у впровадженні чистих джерел енергії, підтверджена низкою законодавчих ініціатив та рішень уряду, стикається з обмеженими фінансовими можливостями дотування її розвитку.

## ВИСНОВКИ

Освоєння джерел енергії і способів їх перетворення обумовило розвиток машинного виробництва, зміну технологій, а разом з ними і накопичення суспільно-економічних зрушень на індустріальній стадії, а потім – забезпечило перехід до постіндустріальної з її високотехнологічним інноваційним виробництвом, зростанням частки відновлюваних джерел енергії, усвідомленням необхідності забезпечення екологічності виробничих процесів.

З одного боку, енергетичний перехід формує інфраструктуру економіки і чинить вагомий вплив на ефективність виробництва, його галузеву і територіальну організацію. З іншого боку, усякі більш чи менш значні зміни в економіці країни, структурні, технічні та технологічні зрушення у виробничій та невиробничій сферах відображаються у обсязі, рівні і структурі виробництва та споживання енергетичних ресурсів. Іншими словами, енергетичний перехід – це процес, який інтегрує усі грані суспільно-економічної системи, включаючи енергетичну основу виробництва, систему розміщення виробництва і напрями енергетичних потоків, соціальну структуру суспільства, структуру зайнятості населення та інше.

Енергетичний перехід можна охарактеризувати як комплексний модернізаційний процес, який включає надзвичайно високе за історичними темпами, радикальне перетворення усіх сторін суспільного життя на «енергетичних» засадах: виробничої, поселенської, соціальної структур. Мова іде про якісну інноваційну зміну усіх матеріальних, соціокультурних основ життя суспільства, його продуктивних сил, про радикальні зміни способу життя та менталітету суспільства. Темпи енергетичного процесу мають прямий вплив на швидкість індустріального оновлення: низька енергоозброєність обумовлювала панування ручної праці у доіндустріальних суспільствах, виступаючи одним з факторів повільних якісних змін у всій сукупності виробничих відносин.

У зв'язку з перспективою переходу до низьковуглецевої енергетики в XXI столітті прогнозується збільшення попиту на водень, оскільки багато галузей перейдуть на нові способи виробництва високоякісної продукції з використанням



водню, будуть потрібні екологічно чистий транспорт та системи розподіленого енергопостачання, що працюють на водневих паливних елементах. Ключове завдання молоді водневої енергетики: з метою декарбонізації світової енергетичної системи, що намітилася, розгорнути ефективно виробництво водню в промислових масштабах. У разі організації великого конкурентоспроможного вітчизняного виробництва водню для нашої країни відкриються можливості виходу на світовий ринок водню та супутніх продуктів із високою додатковою вартістю.

Незважаючи на те, що становлення та розвиток світового ринку водню пов'язане з серйозними труднощами (вартість виробництва, зберігання та транспортування, специфіка інфраструктури водню), останні наукові та прикладні дослідження та розробки показали, що у вирішенні цих питань спостерігається явний прогрес, який може забезпечити широке використання водню як екологічно чистого джерела енергії та сировини для отримання широко затребуваних хімічних та нафтохімічних продуктів.

Літаки з водневим згорянням і літаки на водневих паливних елементах – це дві широкі водневі галузі, які розвиваються. Наразі розробляються сім загальновідомих водневих літаків, у яких використовуються паливні елементи. Про це свідчать попередні техніко-економічні обґрунтування, дослідження Airbus та NASA. Лише один із цих літаків уже літає на водневому паливі, а інші залишаються на нижчих рівнях технологічної готовності.

Водень привертає все більше уваги як перспективний засіб декарбонізації економіки (у зв'язку з його високим потенціалом енергоносія та здатністю виступати як засіб накопичення та зберігання енергії). Поки використання водню переважно обмежено традиційними секторами, а його виробництво спирається на викопне паливо, але у майбутньому ринок водню, включаючи водень з урахуванням низьковуглецевої енергетики, може помітно зрости. Це вимагатиме стимулювання попиту та розширення підтримки водневих проєктів, і низка розвинених країн уже представили відповідні стратегії.

Україна має величезний потенціал впровадження водневої енергетики, а українські компанії намагаються не відставати від європейських трендів, цікавляться

стрімким розвитком водневих технологій та шукають можливості розширення своєї виробничої сфери і на цю галузь, але поки що не мають відповідних ресурсів. Тому державна підтримка українських компаній у впровадженні водневої енергетики є нагальною проблемою: зацікавленість країни в цілому у впровадженні чистих джерел енергії, підтверджена низкою законодавчих ініціатив та рішень уряду, стикається з обмеженими фінансовими можливостями дотування її розвитку.

Активна політика та готовність до співпраці з боку ЄС можуть стати каталізатором розвитку виробництва «зеленого» водню в Україні. У своїй водневій стратегії ЄС розглядає Україну серед ключових партнерів у постачанні водню, враховуючи природний потенціал, взаємопов'язаність інфраструктури та технологічний розвиток.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» від 21.07.2020 № 810–ІХ
2. Закон України «Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання» від 03.12.2020 № 1060–ІХ
3. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 13.04.2020 № 554–ІХ
4. Закон України «Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері сприяння розвитку соціально відповідального бізнесу в Україні на період до 2030 року» від 24.01.2020 № 66–р
5. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Національної економічної стратегії на період до 2030 року» від 10.03.2021 № 202
6. Біла С.О. Інституційна підтримка міжнародного економічного співробітництва у сфері відновлюваної енергетики / С.О.Біла // Економічний вісник університету. – Збірник наукових праць учених та аспірантів. – Вип. 37/1. – Переяслав–Хмельницький: ДВНЗ «Переяслав–Хмельницький державний педагогічний університет імені Григорія Сковороди, 2018. – С. 267–275.
7. Біла С.О. Міжнародне економічне співробітництво України у сфері ядерної енергетики / С.О.Біла, Я.М. Філоненко// Причорноморські економічні студії. – Науковий журнал. – Вип. 16. – Одеса: Причорноморський науково–дослідний інститут економіки та інновацій, 2017. – С. 12–16.
8. Біла С.О. Роль «зеленої енергетики» у забезпеченні міжнародної економічної безпеки /С.О. Біла, К.Ю.Овчаренко // Стратегія розвитку України. – Науковий журнал, НАУ. – 2019. – № 1. – С. 26–34.
9. Біла С.О. Стратегічні пріоритети міжнародного економічного співробітництва України та ЄС у сфері сталого розвитку / С.О. Біла. І.М. Захаров // Стратегія розвитку України. НАУ. – 2017. – № 2. – С. 27– 34.

10. Висоцька М.П. Тенденції та перспективи розвитку світового ринку цивільних повітряних суден. Проблеми системного підходу в економіці». Зб. наук. праць № 5/73. К.: НАУ, 2019. – С.14–22. DOI: <https://doi.org/10.32782/2520-2200/2019-5-2>
11. Набок І.І. Проблеми відновлення світової авіаційної галузі внаслідок коронавірусної кризи / І.І.Набок // Modern international relations: topical problems of theory and practice: collective monograph / Faculty of International Relations of the National Aviation University; under general editorship of W. Welskora, Y.O.Voloshin – Lodz: Wydawnictwo Naukowe Wyższej Szkoły Biznesu i Nauk o Zdrowiu w Łodzi, 2021. – С. 186–192.
12. Побоченко Л.М. Вплив COVID–19 на авіаційні перевезення в світі. The Fifteenth International Scientific Conference "AVIA–2021". – Kyiv, Ukraine. – April 20–22, 2021. – Kyiv. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://conference.nau.edu.ua/index.php/AVIA/AVIA2021/schedConf/presentations>
13. Прокоп'єва А.А. Перспективи розвитку авіаційного транспорту в Україні в контексті глобальних змін. / А.А. Прокоп'єва // Стратегія розвитку України (соціологія, економіка, право). – 2014. – №1. – с. 47–59.
14. Румянцев А.П. Пріоритети розвитку економічної співпраці України з ЄС / А.П. Румянцев, Д.О. Антоненко // Стратегія розвитку України. – 2018. – № 2. – С. 130–133.
15. Сидоренко К.В. Вплив світових криз на формування глобального ринку авіаційних перевезень / К. В. Сидоренко // Сучасні міжнародні відносини: актуальні проблеми теорії і практики – 2020: міжнар. наук.–практ. конф., 20 квітня 2020 р.: тези доп. – К., 2020. – Т. 2. – С. 175–180.
16. Степанов О.П., Дікарев О.І. Теоретичний дискурс в очікуванні водневої економіки. Стратегія розвитку України. 2020. – №2. – С.21–28.
17. Степанов О.П., Дікарев О.І., Краснощек О.В., Зваженко Ю.В., Накалюжна А.С. Геополітичні та правові стратегії курдської еліти в

епoxy «вуглецевої» демократії // Стратегія соціально-економічного розвитку України // Збірник наукових праць № 2. – КНУКіМ, 2015. – Т. 1. – С. 221-281

18. Татаренко Н.О. Політика реалізації угоди про асоціацію України і ЄС у контексті торгових війн // Стратегічна панорама (Журнал Національного інституту стратегічних досліджень), 2016. – № 1. – К.: НІСД, 2016. – С. 40-51.

19. Airbus Deutschland. (2003). Liquid Hydrogen Fuelled Aircraft – System Analysis. Retrieved from [https://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/dgIrr/hh/text\\_2004\\_02\\_26\\_Cryoplane.pdf](https://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/dgIrr/hh/text_2004_02_26_Cryoplane.pdf)

20. Airbus. (2020, March 31). Airbus reveals its blended wing aircraft demonstrator. Retrieved from <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2020/02/airbus-reveals-its-blended-wing-aircraft-demonstrator.html>

21. Albrecht, U., Schmidt, P., Weindorf, W., Wurster, R., Zittel, W. (2013). Zukünftige Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren und Gasturbinen. Retrieved from [https://www.fvv-net.de/fileadmin/user\\_upload/medien/materialien/FVV-Kraftstoffstudie\\_LBST\\_2013-10-30.pdf](https://www.fvv-net.de/fileadmin/user_upload/medien/materialien/FVV-Kraftstoffstudie_LBST_2013-10-30.pdf)

22. Alder, M., Moerland, E., Jepsen, J. (2020). Recent advances in establishing a common language for aircraft design with CPACS, Aerospace Europe Conference 2020

23. Alonso, J.J., Colonno, M.R., Economon, T., Lukaczyk, T., Variyar, A. (2014). Enabling Carbon-free Aviation through High-Fidelity Conceptual Design Phase I Final Report. Retrieved from [https://nari.arc.nasa.gov/sites/default/files/Alonso\\_LEARN%20Phase%20I%20Final%20Report.pdf](https://nari.arc.nasa.gov/sites/default/files/Alonso_LEARN%20Phase%20I%20Final%20Report.pdf)

24. Arnold, S.M., Bednarczyk, B.A., Collier, C.S., Yarrington, P.W. (2007). Spherical Cryogenic Hydrogen Tank Preliminary Design Trade Studies. Retrieved from <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20070030205.pdf>

25. Azar, C., Johansson, D.J.A. (2011). Valuing the non-CO2 climate impacts of aviation. *Climatic Change*, 111, 559-579. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0168-8>

26. Baharozu, E., Soykan, G., Ozerdem, M.B. (2017). Future aircraft concept in terms of energy efficiency and environmental factors. *Energy*,140(2), 1368-1377. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.09.007>
27. Baroutaji, A., Wilberforce, T., Ramadan, M., Olabi, A.G. (2019). Comprehensive investigation on hydrogen and fuel cell technology in the aviation and aerospace sectors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,106, 31-40. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.02.022>
28. Bock, L., Burkhardt, U. (2019). Contrail cirrus radiative forcing for future air traffic. *Atmos. Chem. Phys*,19, 8163-8174. <https://doi.org/10.5194/acp-19-8163-2019>
29. Borer, N.K., Geuther, S.C., Litherland, B.L., Kohlmann, L. (2019). Design and Performance of a Hybrid-Electric Fuel Cell Flight Demonstration Concept. Retrieved from <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20190033418.pdf>
30. Brander, M. (2012). Greenhouse Gases, CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e, and Carbon: What Do All These Terms Mean?. Retrieved from <https://ecometrica.com/assets/GHGs-CO2-CO2-e-and-Carbon-What-Do-These-Mean-v2.1.pdf>
31. Brdnik, A.P., Kamnik, R., Marksel, M., Bozicnik, S. (2019). Market and Technological Perspectives for the New Generation of Regional Passenger Aircraft. *Energies* 2019,12(10), 1864. <https://doi.org/10.3390/en12101864>
32. Brewer, G.D., (1991). *Hydrogen Aircraft Technology*. CRC Press.
33. Brewer, G.D., Morris, R.E. (1976). Study of LH<sub>2</sub> fueled subsonic passenger transport aircraft. Retrieved from <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19760012056>
34. Brynolf, S., Taljegard, M., Grahn, M., Hansson, J. (2018). Electrofuels for the transport sector: A review of production costs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,81(2), 1887-1905. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.288>
35. Burkhardt, U., Bock, L., Bier, A. (2018). Mitigating the contrail cirrus climate impact by reducing aircraft soot number emissions. *npj Clim Atmos Sci*,1, 37. <https://doi.org/10.1038/s41612-018-0046-4>

36. Caiazzo, F., Agarwal, A., Speth, R.L., Barrett, S.R.H. (2017). Impact of biofuels on contrail warming. *Environmental Research Letters*,12(11). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa893b>
37. Cardella, U., Decker, L., Klein, H. (2016). Economically viable large-scale hydrogen liquefaction. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*,171, 012013. DOI:10.1088/1757-899X/171/1/012013
38. Comincini, D. (2018). Modular approach to hydrogen hybrid-electric aircraft design. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10589/143966>
39. Contreras, A., Yigit, S., Özay, K., Veziroglu, T.N. (1998). Hydrogen as aviation fuel: A comparison with hydrocarbon fuels. *International Journal of Hydrogen Energy*, 22(10-11), 1053-1060. [https://doi.org/10.1016/S0360-3199\(97\)00008-6](https://doi.org/10.1016/S0360-3199(97)00008-6)
40. Corchero, G., Montanes, J.L. (2005). An approach to the use of hydrogen for commercial aircraft engines. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 219(1), 35–44. <https://doi.org/10.1243%2F095441005X9139>
41. Crespi, P. (2017, October). Liquid Hydrogen: A Clean Energy for Future Aircrafts. Presentation at the E2Flight Symposium, Stuttgart, Germany.
42. Dagget, D., Hendricks, R., Walther, R. (2019). Alternative Fuels and Their Potential Impact on Aviation. Retrieved from <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20060051881.pdf>
43. Dahl, G., Suttrop, F. (2018). Engine control and low-NOx combustion for hydrogen fuelled aircraft gas turbines. *International Journal of Hydrogen Energy*, 23(8), 695-704. [https://doi.org/10.1016/S0360-3199\(97\)00115-8](https://doi.org/10.1016/S0360-3199(97)00115-8)
44. Dietl et al. (2018). Polaris - Design of Liquid Hydrogen Turbo-Electric Transport Aircraft. <https://doi.org/10.25967/480344>
45. EASA. (2019). Survey on standard weights of passengers and baggage. Retrieved from <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Weight%20Survey%20R20090095%20Final.pdf>

46. Energy Transitions Commission. (2018). Mission Possible - Reaching net-zero carbon emissions from harder-to-abate sectors by mid-century - Sectoral Focus Aviation. Retrieved from [http://www.energy-transitions.org/sites/default/files/ETC%20sectoral%20focus%20-%20Aviation\\_final.pdf](http://www.energy-transitions.org/sites/default/files/ETC%20sectoral%20focus%20-%20Aviation_final.pdf)
47. European Commission DG Ener. (2015). Study on Actual GHG Data for Diesel, Petrol, Kerosene and Natural Gas. Retrieved from <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/Study%20on%20Actual%20GHG%20Data%20Oil%20Gas%20Executive%20Summary.pdf>
48. EU EDGAR Database (Joint Research Centre (European Commission), 2018. Fossil CO<sub>2</sub> emissions of all world countries, 2018 report. URL: <https://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=booklet2018>
49. Global Market Study on Hydrogen: Robust Growth in the Adoption of Hydrogen Across Various Applications to be Observed in North America in the Coming Years. Persistence Market Research. URL: <https://www.persistencemarketresearch.com/market-research/hydrogen-market.asp>
50. Harada M., Ichikawa T., Takagi H., Uchida H. Building a hydrogen infrastructure in Japan // Compendium of Hydrogen Energy. Vol. 4 : Hydrogen Use, Safety and the Hydrogen Economy. Woodhead Publishing Series in Energy, 2016. P. 321–335. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-364-5.00014-2>
51. Hydrogen Council. URL: <https://hydrogencouncil.com/en/>
52. Hydrogen Market – Industry Analysis, Market Size, Share, Trends, Application Analysis, Growth and Forecast 2019–2025. URL: <https://www.industryarc.com/Research/Hydrogen-Market-Research-501664>
53. Hydrogen Market Overview. Industry Analysis Report, 2024. Prescient & Strategic Intelligence. URL: <https://www.psmarketresearch.com/market-analysis/hydrogen-market>
54. Hydrogen Gas Market – Growth, Trends, and Forecast (2020–2025). URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/hydrogen-gas-market>



55. IEAGHG, Techno-Economic Evaluation of SMR Based Standalone (Merchant) Plant with CCS. February, 2017. URL: [https://ieaghg.org/exco\\_docs/2017-02.pdf](https://ieaghg.org/exco_docs/2017-02.pdf)
56. Juschus et al. (2018). “The Greenliner”, Green Flying Final Report DSE Group 8. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/326294480\\_The\\_Greenliner\\_Green\\_Flying\\_Final\\_Report\\_DSE\\_Group\\_8](https://www.researchgate.net/publication/326294480_The_Greenliner_Green_Flying_Final_Report_DSE_Group_8)
57. Jun Chi, Yu. Hongmei. Chin. J. Catal., 2018. v. 39. p. 390.
58. Jocelyn Timperley. Renewable hydrogen “already cost competitive”, says new research. March 15, 2019. URL: <https://energypost.eu/renewable-hydrogen-already-cost-competitive-says-new-research/>
59. Kadyk, T., Schenkendorf, R., Hawner, S., Yildiz, B., Römer, U. (2019). Design of Fuel Cell Systems for Aviation: Representative Mission Profiles and Sensitivity Analyses. *Frontiers in Energy Research*, 7(35). <https://doi.org/10.3389/fenrg.2019.00035>
60. Kadyk, T., Winnefeld, C., Hanke-Rauschenbach, R., Krewer, U. (2018). Analysis and Design of Fuel Cell Systems for Aviation. *Energies*,11(2), 375. <https://doi.org/10.3390/en11020375>
61. Khandelwal, B., Karakurt, A., Sekaran, P.R., Sethi, V., Singh, R. (2013). Hydrogen powered aircraft: The future of air transport. *Progress in Aerospace Sciences*,60, 45-59. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2012.12.002>
62. Klug, H.G. (2000). CRYOPLANE Hydrogen Fuelled Aircraft. Retrieved from <http://staffwww.itn.liu.se/~clryd/KURSER/TNK027/Kurslitteratur2011/CRYOPLANE.pdf>
63. Lawrence W.J. Toward a Liquid Hydrogen Fuel Economy. University of Michigan Engineering Technical Report, 1970.
64. Lee B., Heo J., Kim S., Sung Ch., Moon Ch., Moon S., Lima H. *Energy Convers. Manage.* 2018. V. 162. P. 139.

65. Moller, K. T. et al. "Hydrogen-A sustainable energy carrier". *Progress in Natural Science: Materials International*, vol. 27, no. 1 (2017): 34-40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2016.12.014>
66. Nagashima, M. "Japan's Hydrogen Strategy and its Economic and Geopolitical Implications". IFRI, 2018. [https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/nagashima\\_japan\\_hydrogen\\_2018\\_.pdf](https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/nagashima_japan_hydrogen_2018_.pdf)
67. Niklass et al. (2019). Potential to reduce the climate impact of aviation by climate restricted airspaces. *Transport Policy*, 83, 102-110. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2016.12.010>
68. Nikoladius P., Poullikkas A. A comparative overview of hydrogen production processes // *Renewable Sustainable Energy Rev.* 2017. № 67. P. 597–611. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.044>
69. Randolph K. U.S. DOE. Hydrogen production – Session introduction, 2013 Annual Merit Review and Peer Evaluation Meeting, May 16, 2013. URL: [https://www.hydrogen.energy.gov/review13/pd000\\_randolph\\_2013\\_o](https://www.hydrogen.energy.gov/review13/pd000_randolph_2013_o).
70. Riis, T., Sandrock, G., Ulleberg, O., Vie, P.J.S. (2018). Hydrogen Storage – Gaps and Priorities. Retrieved from [http://ieahydrogen.org/pdfs/Special-Reports/HIA\\_Storage\\_G-P\\_Final\\_with\\_Rev.aspx](http://ieahydrogen.org/pdfs/Special-Reports/HIA_Storage_G-P_Final_with_Rev.aspx)
71. Sapountzi, F. M. et al. "Electrocatalysts for the generation of hydrogen, oxygen and synthesis gas". *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 58 (2017): 1-35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2016.09.001>
72. Sapountzi, F. M. et al. "Electrocatalysts for the generation of hydrogen, oxygen and synthesis gas". *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 58 (2017): 1-35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2016.09.001>
73. Shabani, B., and Andrews, J. "Hydrogen and fuel cells". In *Energy Sustainability through Green Energy*, 453-491. New Delhi: Springer, 2015
74. Tsygankov, A. A. "Polucheniye vodoroda biologicheskim putem" [Obtaining Hydrogen by Biological Means]. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*, vol. 50, no. 6 (2006): 26-33.

75. Young, J. L. et al. "Reversible GaInP<sub>2</sub> Surface Passivation by Water Adsorption: A Model System for Ambient-Dependent Photoluminescence". *The Journal of Physical Chemistry C*, vol. 120, no. 8 (2016): 4418-4422. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b12498>

76. Zeng, K., and Zhang, D. "Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications". *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 36, no. 3 (2010): 307-326. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2009.11.002>

# ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А.1

Країна	Орієнтири	Фінансування	Управління
Японія	<p>Базова воднева стратегія 2017 року</p> <p>1.Досягнення «суспільства водню» для підвищення енергобезпеки та декарбонізації</p> <p>2.Орієнтація на імпорт водню (з акцентом на зелений водень після 2040 року)</p> <p>2.Основне застосування в електроенергетиці</p> <p>4.Розвиток експорту автомобілів на паливних елементах (наприклад, Toyota)</p>	664 млн дол. США у 2020 фінансовому році.	Міністерська рада з ВДЕ, водню та суміжних питань.
Республіка Корея	Дорожня карта водневої економіки 2019 року та Національна дорожня	2,6 трлн (2,2 млрд дол. США) на промислову екосистему	Міністерство торгівлі та енергетики, а також H2KOREA - державно-приватне партнерство; у

	<p>карта розвитку водневих технологій 2019 року:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Лідерство у виробництві паливних елементів для автомобілів та електростанцій</li> <li>2. Орієнтація на імпорт водню</li> </ol> <p>2. Розвиток експорту автомобілів на паливних елементах (наприклад, Hyundai) та паливних елементів для електростанцій</p>	<p>для водневих автомобілів до 2022 року.</p>	<p>січні 2020 р. прийнято водневе законодавство.</p>
Австралія	<p>Національна воднева стратегія 2019 року</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Розвиток експортного спрямування (в т.ч. ініціатива «H2 менш ніж за 2 австр. дол. (1,4 дол. США)/кг» – оцінка виходу на конкурентоспроможність)</li> <li>2. Створення ланцюжків енергетичних поставок водню на основі енергії сонця, вітру та води та великомасштабної експортно</li> </ol>	<p>145 млрд євро (170 млрд дол. США) до 2030 року на гранти та субсидії.</p>	<p>Європейський альянс чистого водню, що включає представників влади, бізнесу та громадянського суспільства.</p>

	орієнтованої виробничої інфраструктури та використання CCS для отримання низьковуглецевого водню з викопних ресурсів (вугілля та природного газу)		
Німеччина	<p>Національна воднева стратегія 2020 року:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Досягнення кліматичної нейтральності</li> <li>2. Орієнтація на імпорт та внутрішнє виробництво «зеленого» водню</li> <li>3. Основне застосування на транспорті та в промисловості</li> <li>4. Розвиток технологій PowertoX</li> </ol>	1,4 млрд євро (1,7 млрд дол. США) у 2016-2026 роках на інновації; 1,1 млрд євро (1,3 млрд дол. США) у 2020-2023 роках на R&D та трансфер технологій; 9 млрд євро (10, 6 млрд дол. США) - План відновлення.	Державний комітет з водню (що складається з міністрів); Координаційний офіс водню в уряді; Національна рада з водню (експертна).
Франція	<p>Національна стратегія розвитку «чистого» водню 2020 року:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Досягнення кліматичної нейтральності</li> </ol>	7,2 млрд євро (8,5 млрд дол. США) до 2030 року - План відновлення.	Національний комітет із водню; Французька асоціація з водню та паливних елементів.

	<p>2. Розширення потужностей електролізу та внутрішнє виробництво «зеленого» водню</p> <p>3. Основне застосування на транспорті та в промисловості.</p>		
Нідерланди	<p>Державна стратегія з водню 2020 року:</p> <p>1. Досягнення кліматичної нейтральності</p> <p>2. Розширення потужностей електролізу та внутрішнє виробництво «зеленого» водню, в т.ч. з використанням CCS</p> <p>2. Зміцнення ролі енергетичного хаба.</p>	<p>35 млн євро (41 млн дол. США) щорічно з 2021 року для «зеленого» водню.</p>	<p>Уряд на різних рівнях.</p>
Португалія	<p>Національна воднева стратегія 2020 року:</p> <p>1. Досягнення кліматичної нейтральності</p>	<p>7 млрд євро (8,3 млрд дол. США) до 2030 року - інвестиції.</p>	<p>Уряд на різних рівнях.</p>
Норвегія	<p>Воднева стратегія 2020 року:</p>	<p>120 млн крон (13 млрд дол. США) - План відновлення.</p>	<p>Уряд</p>



	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Досягнення кліматичної нейтральності.</li><li>2. Розширення потужностей електролізу та внутрішнє виробництво «зеленого» водню, в т.ч. з використанням CCS.</li><li>3. Основне застосування на транспорті та в промисловості.</li></ol>		
--	---	--	--

Примітка. Побудовано автором за даними Міжнародного енергетичного агентства.

