

**Проект Дорожньої карти
для виробництва та використання
водню в Україні**

Березень 2021 р.

Зміст

Резюме	6
Введення	8
1. Аналіз найкращих міжнародних практик та планів використання водню	10
2. Аналіз важливості водневих технологій та потенціалу для їх використання в Україні	16
2.1. Використання водню в енергетичному секторі.....	16
2.2. Використання водню в транспортному секторі	20
2.3. Використання водню у промисловому секторі.....	23
2.4. Використання водню у галузі природного газу.....	26
3. Аналіз методів виробництва водню та їхня економічна ефективність	29
3.1 Масове виробництво водню за допомогою парового риформінгу метану (SMR) ²⁹	
3.2 Отримання водню за допомогою електролізу.....	30
3.3 Інші альтернативи для сталого виробництва водню	31
3.4 Економічний аналіз різних методів виробництва водню	33
4. Аналіз інфраструктури для зберігання та транспортування водню	34
5. Аналіз потенціалу та досвіду виробничого обладнання для виробництва водню всередині країни.....	37
6. Дорожня карта для впровадження водневих технологій в Україні	41
6.1. Дії та заходи на національному рівні	41
6.2 Дії та заходи на обласному та муніципальному рівні	75
6.3 Визначення пілотних проектів.....	75
6.4 Виконання завдань Дорожньої карти - моніторинг і перевірка	77
7. Висновки та рекомендації	79
8. ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ.....	87
ДОДАТОК 1 – Економічний аналіз різних методів отримання водню	89
ДОДАТОК 2 – Технології зберігання водню.....	92
ДОДАТОК 3 – Інноваційні рішення.....	96
ДОДАТОК 4 – Українське нормативно-правове та технічне регулювання у водневих технологіях	98

Подяка

Головним автором цього звіту є Станіслав Дубко. Олег Дзюбінський, Бранко Мілічевич та Харікрішнан Тулсідас з Відділу сталої енергетики ЄЕК ООН, Леа Бігот та Юрген Кайнхорст, Федеральне міністерство навколишнього середовища, охорони природи та ядерної безпеки Німеччини, внесли свій внесок у звіт у вигляді його вивчення та надання коментарів. Цінний внесок у звіт внесли респонденти з опитування при виконанні проекту та учасники співбесід, зокрема: Ярослав Демченков та Юлія Рибак, Міністерство енергетики; Костянтин Гура, Держенергоефективності; Олександр Репкін та Оксана Тарасюк, Українська Воднева Рада; та Олександра Гуменюк, Європейсько-Українське Енергетичне Агентство. Учасники семінару з розбудови потенціалу з розвитку водневої інфраструктури, який відбувся в Києві та онлайн 25 лютого 2021 року, також взяли участь у формуванні цього звіту. Коментарі, отримані під час та після семінару, були враховані наскільки це було можливо.

Крайньою датою цього звіту є 9 березня 2021 року.

Оригінальний варіант даного звіту підготовлений англійською мовою, цей текст є перекладом з англійської мови.

Список використаних абревіатур

AEL	Лужні електролізери
AEM	Лужна іонообмінна мембрана
AMC	Антимонопольний комітет
atm	Стандартна атмосфера (одиниця тиску)
ATR	Автотермічний риформінг
CAES	Зберігання енергії у формі стисненого повітря
CAGR	Сукупний середньорічний темп росту
CAPEX	Капітальні вкладення
CCS	Уловлювання та зберігання вуглецю
CO₂	Вуглекислий газ
CoM	Кабінет Міністрів
ESU	Енергетична стратегія України
EU	Європейський Союз
FCEV	Електромобіль з паливними елементами
FCH	Водневий паливний елемент
FCH JU	Спільне підприємство з виробництва паливних елементів
GDP	Валовий внутрішній продукт
GHG	Парникові гази
GTS	Газотранспортна система
GW	Гігават (ГВт)
IEA	Міжнародне енергетичне агентство
IPCEI	Важливі проекти спільного європейського інтересу
IPHE	Міжнародне партнерство з водню та паливних елементів в економіці
IRENA	Міжнародне агентство з відновлюваних джерел енергії
KPIs	Ключові показники ефективності
LOHC	Рідкий органічний носій водню
MCTD	Міністерство розвитку громад і територій України
MENR	Міністерство екології і природних ресурсів
MoE	Міністерство енергетики
MoF	Міністерство фінансів
NASU	Національна академія наук України
NEURC	Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП)
NGO	Недержавні організації
NO	Оксид азоту
Nm³	Звичайний кубічний метр
NPP	Атомна електростанція
NREAP	Національний план дій в області відновлюваних джерел енергії

NREL	Національна лабораторія з вивчення відновлюваних джерел енергії
OJSC	Відкрите акціонерне товариство
OPEX	Операційні витрати
PEC	Фотоелектрохімічна комірка
PEM	Протонообмінна мембрана
POX	Часткове окислення
PPE	Довгостроковий план розвитку енергетичного сектора
PSPS	Гідроакумулюючі електростанції
R&D	Наукові дослідження і розробки
RES	Відновлювані джерела енергії
RPTC	Регулярна програма технічного співробітництва
SAEE	Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження
SMR	Паровий риформінг метану
SMSS	Надпровідникові системи магнітного зберігання
SNRI	Державна інспекція ядерного регулювання України
SOEC	Твердооксидна електролітична комірка
SOFC	Твердооксидний паливний елемент
SPP	Сонячна електростанція
toe	Тонна нафтового еквівалента
TPES	Загальне постачання первинної енергії
TPP	Теплоелектростанція
TRL	Рівень готовності технологій
TWh	Терават-годин (ТВт-год)
UES	Єдині енергетичні системи (України)
UNECE	Європейська економічна комісія ООН
USF	Підземні сховища для зберігання
WPP	Вітрова електростанція

Резюме

Перехід до екологічно чистої енергетики – це перспективний стратегічний вибір України, який визначить головні тренди та напрямки розвитку національної економіки протягом наступних 30 років. Щоб здійснити цей перехід Уряд України зіткнеться з багатьма проблемами:

- Як зменшити залежність від горючих корисних копалин?
- Як декарбонізувати галузь, що сильно залежить від горючих корисних копалин?
- Як декарбонізувати транспортний сектор?
- Як розвинути мобільність на відновлюваній основі?
- Як підвищити енергоефективність та енергозбереження?
- Як інтегрувати гнучкість, щоб забезпечити відповідність між виробництвом відновлюваної електроенергетики та попитом?

Усі ці та ще багато інших питань можна вирішити за допомогою багатьох нових технологій, які будуть необхідні для заміни поточної залежності від традиційної енергетики. Однією з найбільш ефективних сучасних технологій для постачання відновлюваної енергії в економіку у збільшеному масштабі є **водневі технології**, завдяки унікальним хімічним властивостям водню як носія енергії.

У поєднанні із комплексними заходами з енергоефективності та розвитком відновлюваних джерел енергії, масштабне виробництво та використання водню в Україні дозволить декарбонізувати її енергетичний сектор, транспорт та багато інших галузей. Це сприятиме зміцненню міжгалузевих зв'язків та формуванню кластерів сталого розвитку в економіці, посиленню інноваційної та інвестиційної діяльності, створенню нових можливостей для працевлаштування, підвищенню конкурентоспроможності українських підприємств, просуванню України вперед у світових рейтингах для значного покращення інвестиційного клімату.

Виконання рекомендацій, викладених у цьому звіті, має на меті значно покращити енергоефективність економіки з метою наближення середнього рівня країн ЄС з точки зору енергоємності ВВП, а також досягнення збільшення частки ВДЕ у загальному енергетичному балансі, що супроводжується зменшенням викидів парникових газів, вирівнюючи їх до середнього рівня країн ЄС за рівнем вуглецевої інтенсивності ВВП.

Враховуючи розмір та очікуване зростання існуючого водневого ринку, розробка проектів з відновлюваного водню може представити значні інвестиційні можливості для України. Україна не тільки є однією з найбагатших на відновлювані ресурси країн в Європі, але і країною, яка найбільше потребує нових та чистих форм енергії для підтримки економічного розвитку. Забезпечуючи створення альтернативними видами палива нульових викидів, їх доступність та зручність використання є важливими для того, щоб запобігти руху України (та, в кінці кінців, глобальним викидам CO₂) у напрямку, який призведе до значного потепління клімату до середини століття.

Але застосування водню не є таким простим. Відомо, що водень – це газ, який складно зберігати. Він має такі властивості, які необхідно враховувати і бути обережним для забезпечення його безпечного використання. Хоча є технології і процедури, які мінімізують витік та забезпечують, за необхідності, контрольоване вивільнення водню, проте вони не є добре зрозумілими для широкого загалу поза межами нафтогазохімічної галузі. Дійсно, у випадках, де ставалися нещасні випадки з воднем, пов'язані з безпекою, причиною часто були проблеми у збірці водневої установки, що демонструє важливість використання досвідчених професіональних монтажників та інженерів. Також важливо, щоб саме досвідчені спеціалісти виконували технічне обслуговування системних паливних елементів, зокрема тих, що експлуатуються на високих температурах, для яких постачальник рекомендує виконувати базове технічне обслуговування кожні три місяці. Але особливого зберігання та обережної збірки обладнання потребує не лише водень, особливого поведження потребують й інші види палива, такі як аміак - токсична хімічна речовина, або нові технології, такі як акумулювання

електричної енергії, для якої можливі випадки виникнення пожежі в результаті неправильної збірки батарей. Дійсно, головна суть не в тому, що безпека – це нездоланний бар'єр, або що ці проблеми недостатньо зрозумілі, а в тому, що знання про поводження з воднем повинні широко розповсюджуватись та перевірятись на практиці, адже ці нові види застосування набирають обертів.

Вагомою перешкодою для використання водню в Україні є застаріла та не узгоджена база нормативно-правових актів та документації з технічної безпеки, а також необізнаність суб'єктів господарювання в цій сфері. Дуже незначна кількість бізнесів та комунальних компаній в Україні мають чітке розуміння потенційного застосування водню на своїх підприємствах, і таким чином вони не вважають необхідним зв'язуватись з постачальниками, фінансуючими організаціями або урядом для просування його використання. Одночасно, управлінці країни, що приймають політичні рішення, до останнього часу не вважали за необхідне розробляти політичні рамки або національну стратегію для підтримки споживання відновлюваного водню та паливних елементів, тому що вони можуть не знати, яку роль може відігравати водень у національній енергетичній стратегії та промислових цілях. Окрім того, технічні знання та досвід в області водневих систем часто неглибокі, та, у багатьох випадках, відсутні. Із-за того, що навчання може зайняти кілька років для того, щоб професіонали в Україні здобули необхідні навички для роботи з цими технологіями, Україна має покладатись на відносно невелику кількість кваліфікованих міжнародних експертів, які будуть користуватись високим попитом на своїх власних ринках. Це може збільшити витрати на початковому етапі та відстрочити початок застосування водневих технологій в Україні.

З огляду на те, що різні водневі технології мають різний вплив на рівень викидів вуглецю - Україні потрібно надати пріоритет виробництву нейтрального до вуглецю (зеленого) водню, тоді як інші види водневих технологій слід розглядати лише у рамках перехідного періоду.

Введення

Ця Дорожня карта була розроблена на вимогу Міністерства енергетики України та підтримана Європейською економічною комісією ООН в рамках проекту «Посилення потенціалу Уряду України для розвитку інфраструктури для виробництва та використання водню з метою підтримки зеленого відновлення після Covid-19», фінансованого Регулярною Програмою Технічного Співробітництва (RPTC). Дорожня карта намагається привернути увагу до сфер, де зараз спостерігається успіх з використанням водневих технологій, та до сфер, де відновлюваний водень може представляти собою привабливе рішення для економіки України для розв'язання існуючих та очікуваних енергетичних проблем, з якими стикається країна. Таким чином ця Дорожня карта фокусується на тому, як водневі технології та технології паливних елементів могли б із самого початку бути використані у країні, представляючи серію застосувань, які могли б із самого початку використовуватись у деяких сферах і бути масштабовані у майбутньому.

Ця Дорожня карта також розкриває деякі ризики, пов'язані з технологіями, проблеми із впровадженням та проблеми відсутності необхідних знань, оскільки нові водневі проекти та технології застосовуються та випробовуються все більше. Важливо, що Дорожня карта також намагається вказати де ці проблеми є універсальними, а де більш специфічні саме для України.

Ця Дорожня карта структурована таким чином, що спочатку надає читачам огляд щодо того, чому водень набирає оберти в останні роки, чому це має відношення до України, та які існують проблеми, пов'язані з впровадженням. У Розділі 1 звіту надається історичний контекст щодо розвитку глобального ринку водню та паливних елементів, а потім у Розділі 2 пояснюється, що змінилось та надаються приклади того, чому ці технології можуть використовуватись в Україні. Щоб розглянути питання використання водню в глобальному контексті в Розділі 3 надається короткий опис того, як працюють водневі технології та яка їх вартість, а також розміри глобальних ринків сьогодні. В Розділах 4 та 5 надається перелік викликів із впровадження проектів з водню та паливних елементів – включаючи питання, що стосуються технічного регулювання з безпеки на всіх етапах виробництва (генерації) водню, його транспортування, зберігання та використання, а також досвід країни у виробництві обладнання для вітчизняного виробництва водню – з метою допомогти зацікавленим сторонам зрозуміти деякі технічні аспекти розробки проектів управління, які приймають політичні рішення, розробникам та інвесторам, які розглядають ці типи проектів в Україні. І на кінець, Розділ 6 пропонує детальну Дорожню карту для впровадження водневих технологій та визначає сфери для проведення подальшого дослідження, щоб допомогти Україні досягти цілей декарбонізації та розкрити потенціал водневих проектів.

Хоча є різні методи класифікації різних застосувань водневих технологій та технологій паливних елементів, ця Дорожня карта розмежовує потенційне використання на три групи:

- водень для виробництва електроенергії та тепла;
- водень для мобільності;
- водень для промисловості.

У цих сферах типи потенційних водневих проектів можуть сильно різнитися, як географічно, так і стосовно їх застосування.

Для паливних елементів використання є таким ж різним. Паливні елементи розглядаються, наприклад, Міністерством енергетики України для використання на вуглевидобувних підприємствах, які можуть потенційно стати центрами розробки та застосування паливних елементів та водневих технологій в ході трансформацій та декарбонізації вуглецевоємних галузей¹.

¹http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article.jsessionid=CB2E08F1694A7CAB1991BDF44D6DEE89_app1?art_id=245480813&cat_id=244895180

При цьому, ці класифікації допомагають знайти аналітичну опорну точку, враховуючи, що застосування з метою забезпечення мобільності зазвичай представляють найдорожчу форму енергії, за нею друге місце займає виробництво електроенергії і тепла, а на третьому місці – водень, що використовується у промисловості. Відповідно, ці категорії допомагають оцінити коли певні види застосування стануть комерційно життєздатними та конкурентоспроможними у порівнянні з альтернативними, та які умови необхідні для досягнення цього.

1. Аналіз найкращих міжнародних практик та планів використання водню

Європейська практика використання водню має як екологічні, так і технологічні аспекти. Європа переходить до декарбонізованої енергетичної системи. Усі країни-члени ЄС підписали та ратифікували Паризьку угоду, яка спрямована на посилення глобальної реакції на загрозу кліматичних змін, стримуючи глобальне підвищення температури у цьому столітті нижче 2 °C від рівня доіндустрального періоду та докладання зусиль з метою обмежити підвищення температури до 1,5 °C. Перехід до нової енергетичної моделі значно трансформує шляхи виробництва, поставки, зберігання та споживання енергії. Вона вимагає практично безвуглецевого виробництва енергії, покращення рівня енергоефективності та глибокої декарбонізації транспортних засобів, будівництва та промисловості. Як зрозуміло із досліджень, для того щоб досягти енергетичного переходу в ЄС, необхідне широке використання водневих технологій. ЄС не зможе досягти декарбонізації без них (Воднева дорожня карта Європи 2019). Звичайно, водень – це не єдиний важіль, але є важливим фактором разом з іншими технологіями.

По-перше, водень – це один з найкращих варіантів масштабної декарбонізації ряду секторів: транспорт, промисловість та будівництво. Електрифікація разом із тепловими насосами можуть замінити природний газ для обігріву нових будинків, але вимагає дорогої або навіть неможливої модернізації старих будинків. Повна електрифікація також призведе до більшої сезонної диспропорції попиту на електроенергію, яка, в свою чергу, вимагатиме механізму зберігання енергії у великому масштабі. Водень не має таких недоліків та може слугувати як додаток до теплових насосів. Деяка частина водню (до 20% за різними даними) може бути змішана з природним газом без необхідності значної модернізації газотранспортної мережі, та мережі можуть бути адаптовані для роботи з воднем. Іншим варіантом є заміна природного газу синтетичним газом, що виготовляється з водню та CO₂. У транспортному секторі найбільш перспективним є використання водню для вантажних транспортних засобів, автобусів, кораблів, поїздів. Оскільки транспортний сектор складає приблизно одну третю викидів CO₂ у країнах ЄС, тому декарбонізація цього сектору є ключовим елементом переходу до екологічно чистої енергетики. Необхідна розробка станцій для заправки воднем, що робить водень привабливим для бізнесу².

Єдиним доступним рішенням безпосередньої декарбонізації в авіації є використання водню та синтетичного палива. Промисловість може використовувати водень безпосередньо для виробництва тепла та використовувати як паливо у різних процесах безпосередньо або наряду з синтетичним паливом або паливними елементами. Використовуючи це як вихідний матеріал для хімічного виробництва та гідроочищення на нафтопереробних заводах, зменшується використання вуглецю; водень також може замінити вуглеводні, наприклад, природний газ, в інших хімічних процесах.

По-друге, водень відіграє систематичну роль у процесі переходу до відновлюваних джерел енергії, покращуючи гнучкість енергетичної системи. Перехід енергетичної системи ЄС передбачає необхідність інтеграції відновлюваних джерел енергії у енергетичну систему. Водневі технології здатні забезпечити значну трансформацію виробленої енергії у форми, придатні для використання, зберігання та направлення до кінцевого користувача для задоволення поточного попиту. При підвищенні кількості енергії, що отримується від відновлюваних джерел, короткостроковий та довгостроковий дисбаланс між попитом та пропозицією зростає. Це створює необхідність збільшення щоденного збалансування та оптимізації мережі протягом року та сезонного зберігання енергії. Хоча батареї можуть забезпечити короточасну гнучкість, водень - це єдина технологія, доступна для масштабного довгострокового зберігання енергії. Для його зберігання протягом довгого періоду часу з мінімальними втратами можуть використовуватись існуючі газотранспортні мережі. Водень також забезпечує зв'язок між регіонами з дешевими відновлюваними джерелами енергії та

² електромобілі з паливними елементами (FCEV) можуть заправлятися за 3-5 хвилин на станції для заправки воднем (HRS), подібно до звичайних машин, що працюють на бензині або дизельному паливі.

центрами споживання (для Європи це, наприклад, зв'язок регіонів з великою кількістю геотермічної та вітрової енергії на півночі, континентальних регіонів з відновлюваними джерелами енергії з Північної Африки). Водень може бути транспортований через трубопроводи, кораблями та вантажівками у розрідженому стані або може зберігатися в інших формах.

По-третє, перехід до водню створює додаткові переваги та зручності для споживачів. Енергетичні компанії можуть змішувати водень або синтетичний метан у газотранспортній мережі, використовуючи існуючі трубопроводи, не справляючи ніякого впливу на споживачів. Хоча, щоб досягти 100% переходу до водню, обладнання та трубопроводи мають бути модернізовані, це не вплине на існуючу опалювальну інфраструктуру всередині будівель.

Потенційне використання водню у всіх вищевказаних секторах для виробництва електроенергії країнами ЄС складає близько 2250 ТВт-год, що приблизно чверть від загального попиту (див. Воднева дорожня карта Європи 2019). Досягнення такого рівня допомогло б країнам ЄС зменшити викиди CO₂ на 560 мегатонн, тобто забезпечити одну третю частину необхідного об'єму викидів, які необхідно зменшити, у відповідності з кліматичною угодою країн Європи. Більше того, це б забезпечило глибоку декарбонізацію енергетичного сектору та, непрямым чином зменшило б викиди вуглецю. Окрім зменшення викидів вуглецю розвиток використання водневих технологій та паливних елементів усуне низку негативних видів впливу: викиди NO_x (приблизно до 0,5 мегатонн на рік у 2050 р.) можуть бути знижені у транспортному секторі; водойми будуть менш забруднені, сталеливарні заводи та інші промислові заводи зменшили б свої викиди пилу та смоли, а також знизився б шум від залізничного та автомобільного транспорту. Взагалі воднева промисловість ЄС може створити робочі місця приблизно для мільйона висококваліфікованих спеціалістів до 2030 р., потенційно досягши відмітки 5.4 млн. до 2050 (Wietschel and Seydel 2007).

Для того, щоб зрозуміти підвищену увагу до водневих технологій, цей Розділ надає короткий аналіз планів/стратегій/дорожніх карт що стосується глобального розвитку в обраних розвинених країнах.

Національна воднева стратегія **Австралії**, прийнята у 2019 р., є головною метою країни до 2030 р. Стратегія була розроблена як «живий документ» – вона буде оновлюватись та змінюватись з розвитком промисловості. В цілому Стратегія визначає 57 спільних заходів. Заходи пов'язані з координуванням на національному рівні; розвиток потенціалу виробництва, що утримується місцевим попитом; чутке регулювання; міжнародна взаємодія; наукові дослідження і розробки та довіра громади. Ці заходи враховують використання водню у транспортному секторі, промисловому виробництві, газотранспортних мережах, електроенергетичних системах та інших пов'язаних сферах, таких як безпека та вплив на оточуюче середовище.

Стратегія передбачає перевірку та реформування відповідних законів для забезпечення розвитку сильного водневого сектору в Австралії. Другим пріоритетом є створення міжнародних ринків для підтримки інвестицій. Австралія бажає прийняти на себе розробку міжнародної схеми сертифікації водню, приймаючи участь у багатосторонніх форумах та тісно співпрацюючи з країнами-однорумцями, місцевими та міжнародними компаніями. Іншим пріоритетом є прискорення комерціалізації технологій. Уряд Австралії підтримує розробку чистих енергетичних технологій, включаючи водневі, від досліджень та розробки до комерціалізації через Наукову раду Австралії, Державне об'єднання наукових і прикладних досліджень (CSIRO), Австралійське агентство з відновлюваних джерел енергії (ARENA), Корпорацію фінансування чистої енергії та Північноавстралійську організацію з кредитування об'єктів інфраструктури. Завдяки цим інвестиціям будуть розроблені технології, необхідні для досягнення мети країни за Паризькою угодою та зниження викидів після 2030 р. Важливо відмітити, що фінансування різних сфер розвитку водневих технологій в Австралії почався ще у 2015 р., та до 2019 р. розмір підтримки досяг 146 млн. австралійських доларів.

Стратегічна дорожня карта для водню та паливних елементів була прийнята в **Японії**. Японія покладається на використання водню як нового носія енергії для забезпечення поставки енергії, зменшення викидів CO₂ та промислового розвитку. У рамках так званої енергетичної

політики «3E+S» (економічна безпека, енергоефективність, навколишнє середовище + безпека) Японія бажає стати міжнародним лідером у майбутній «водневій громаді». Після програм, які були запущені у 1970-х, Японія прийняла першу Національну водневу дорожню карту у 2014 році. У 2019 році вона розробила Дорожню карту із вказівкою певних заходів. Ця Дорожня карта сфокусована на організації ланцюга поставок, різноманітності використання (мобільність, виробництво електроенергії, промисловість, житловий сектор) та створенні глобальної «водневої громади». Японія приймає участь у розробці технологій для уловлювання та зберігання CO₂, які вона вважає важливими для впровадження водню у довгостроковій перспективі та в очікуванні рентабельного виробництва відновлюваної енергії, яке очікується приблизно у 2032 році зі зниженням витрат на електроліз на 50 000 йен/кВт (приблизно 480 дол. США/кВт) замість 200 000 йен/кВт у 2019 р. (прибл. 1920 дол. США/кВт). Японія прагне просувати використання водню для транспортного та житлового секторів, а також у великомасштабному виробництві електроенергії, замінюючи природний газ. Дорожня карта спрямована на масове виробництво транспортних засобів, прискорюючи локалізацію станцій для заправки воднем та встановлення простих стандартів. На технічному рівні Японія активно співпрацює в області розробки міжнародних стандартів та є світовим лідером у кількості патентів у водневому секторі.

Будучи абсолютним прихильником стратегії, якій слідує національний уряд, деякі громади Японії та виробники об'єднуються для створення «водневої громади». Таким чином, трубопровід для поставки водню встановлено в «Olympic Village», який з часом буде використовуватись як будинок та торгівельний центр. Токіо також планує забезпечити поставку 100 водневих автобусів, виготовлених компанією «Toyota». У своєму бюджеті Японія виділяє значні ресурси на розвиток водневого сектору та формування «водневої громади».

План розвитку водневої економіки у **Південній Кореї** включає Дорожню карту водневої економіки. Головною метою цієї дорожньої карти є створення еко-системи водневої промисловості, включаючи виробництво, зберігання, транспортування енергії, безпеку та використання. Отже, очікується, що воднева економіка стане наступним двигуном економічного росту, який забезпечить 43 трильйони вон (приблизно 24 млрд. євро) та 420,000 робочих місць до 2040 р. Корея сподівається, що ставши лідером водневої енергетики, вона зможе покращити свою катастрофічну ситуацію з якістю повітря, досягти своїх амбіційних цілей щодо зниження викидів, посилити свою енергетичну базу та створити експортну галузь у майбутньому. Південна Корея розпочала свою діяльність, спрямовану на реалізацію «водневої громади», за допомогою державно-приватного партнерства. Метою уряду є створення водневої громади раніше, ніж у інших країнах, у відповідності з Дорожньою картою, яка передбачає використання водню як джерела енергії у всіх секторах. Однак, акцент зроблений на масове збільшення кількості автомобілів на паливних елементах, виготовлених у країні. Хоча тільки приблизно 2000 таких транспортних засобів було виготовлено до 2018 р., очікується зростання їх кількості до 100 000 до 2025 року з подальшим різким зростанням їх кількості до 6.2 млн. у 2040 р., з них – 3.3 млн. планується експортувати. Очікується, що громадський транспорт та сектор комерційних транспортних засобів зіграють свою роль: довгострокова мета уряду – 40 000 автобусів, що працюють на водні, 80 000 таксі та 30 000 вантажівок, а також підтримка вітчизняного виробництва відповідних автомобільних деталей. Уряд прагне досягти цього, розширивши інфраструктуру: кількість станцій для заправки воднем зросте з 14 у 2018 до 310 у 2022 та 1200 до 2040 р.

Дорожня карта з розвитку водневої економіки **Сполучених Штатів** передбачає використання водню як палива для транспортних засобів, будинків та комерційних будівель, як сировинного матеріалу для промисловості, для виробництва та зберігання енергії, балансування електричної мережі тощо. Сполучені Штати мають намір розширити своє лідерство у цьому секторі. Особливий прогрес спостерігається на Південному узбережжі, особливо у Каліфорнії, яка є лідером в області використання водневого транспорту як способу зниження викидів. В той час як Азія та Європа у партнерстві з промисловістю інвестують більше 2 млрд. доларів США на рік у виробництво водню, Сполучені Штати Америки – це ринок для більше, ніж половини від усіх автомобілів на паливних елементах у світі. Більше 7600 із них їздять по дорогах Америки. Окрім того, близько 25000 транспортних засобів, які працюють на водні, таких як вилкові навантажувачі, використовуються у різних логістичних центрах та складах по

усій країні. Державна підтримка покупки передбачається до 2025 року з метою усунення різниці між цінами на автомобіль на паливних елементах у порівнянні з ціною на його аналоги, які працюють на бензині або дизельному паливі. Пізніше, в залежності від досягнення паритету, ця фінансова допомога може бути змінена або припинена.

В період між 2026 та 2030 США планує здійснити перехід до виробництва водню шляхом електролізу з використанням відновлюваних джерел. Цей газ буде використовуватись для залізничного транспорту (4% ринку у 2030 та 17% у 2050) та в авіаційному секторі. Якщо щорічний об'єм продажів легких водневих фургонів у 2019 становив 2500 штук, він зросте до 30 000 у 2022, 150 000 у 2025 та 300 000 у 2030 р. Для того, щоб забезпечити їх воднем, збільшиться кількість станцій для заправки воднем з 63 до 4300 відповідно. Щорічні інвестиції мають становити 1 млрд. доларів у 2022 р., потім 2 млрд. та 8 млрд. доларів відповідно у майбутніх періодах.

У **Німеччині** Національна воднева стратегія (Die Nationale Wasserstoffstrategie) була прийнята 10 червня 2020 р. У той же час Федерація німецької промисловості (BDI) виступає проти використання так званого «блакитного» водню, виготовленого із природного газу з використанням технології уловлювання та зберігання вуглецю (CCS). Асоціація наполягала на імпорті зеленого водню для створення вищого рівня безпеки інвестиційного планування. Оскільки Німеччина не матиме достатньої кількості об'єктів з виробництва відновлюваних джерел енергії для отримання таких об'ємів зеленого водню, вірогідно, їй буде необхідно імпортувати велику кількість водневого палива з інших країн. Національна стратегія, прийнята Урядом, допоможе задіяти 7 із 130 млрд., передбачених Німеччиною за планом з відновлення після пандемії. Планується фінансувати дослідження та інфраструктуру для забезпечення умов, необхідних для виробництва зеленого водню. Оскільки це важливо для декарбонізації сектора, виробництво зеленого водню – це першочерговий пріоритет Уряду Німеччини. Метою є створення промислових об'єктів з виробництва водню із продуктивністю 5 ГВт у 2030 р. Вона має зрости ще на 5 ГВт до 2035-2040 рр.

Сприяючи виробництву за допомогою електролізу, уряд сподівається, що для того, щоб досягти мети у 5 ГВт, що запланована на 2030 р., йому буде необхідно 20 ТВт-год відновлюваної енергії. Це завдання вимагає інтенсивного розвитку відновлюваної енергії. Для того, щоб досягти таких рівнів, Німеччині буде необхідно імпортувати зелений водень. Вона вже співпрацює з країнами, які мають відносний потенціал виробництва водню (особливо у Північній Африці). І тут для України є реальна можливість прийняти участь у таких проектах. Загалом, близько 2 млрд. євро буде додатково виділено для відкриття можливостей для таких ініціатив. Система представлена як «безпрограшний варіант» для обох сторін – Німеччина поставить свої технології до країн-партнерів та матиме змогу натомість імпортувати зелений водень.

Із 38 заходів Водневої стратегії, розробленої урядом Німеччини, 9 пов'язані з транспортним сектором. Зокрема, на думку приходить «координований розвиток» паливної інфраструктури, спроможної задовольнити потреби усіх типів транспортних засобів: автомобілі, вантажівки та залізничний транспорт. У цьому контексті заплановано бюджет у розмірі 3,4 млрд. євро. У додаток до розвитку інфраструктури, уряд має намір підтримати інвестиції у транспортні засоби, що працюють на водні, щоб «запустити ринок».

Нова дорожня карта **Франції** з розвитку енергетики – це Нова енергетична дорожня карта Франції (la nouvelle feuille de route énergétique de la France ou Programmation pluriannuelle de l'énergie) або Довгостроковий план розвитку енергетичного сектора (PPE). Закон про перехід енергії передбачає досягнення рівня відновлюваної енергії у розмірі 32 % у кінцевому споживанні енергії та 40% у виробництві електроенергії до 2030 р. Закон також передбачає зниження споживання горючих корисних копалин на 30%. Водень – це важливий елемент у досягненні цих цілей, але, перш за все, є важливим для переходу до екологічно чистої енергетики, щоб досягти вуглецевої нейтральності до 2050 р. Окрім того, для того, щоб досягти енергетичної автономії до 2030 р. у зонах, де взаємний зв'язок відсутній, та враховуючи високі потреби у гнучкості мереж, ці території визначені як пріоритетні для впровадження демонстраційних проектів у сфері накопичення та зберігання, особливо за допомогою водню.

Водень може відігравати ключову роль у стабілізації мережі в довгостроковій перспективі, коли частка непостійних джерел енергії у мережі буде високою.

Водневий план, як частина RPE, - це Дорожня карта уряду та включає три сфери: промисловість, транспорт та енергетика. План пропонує розпочати інформаційну кампанію у секторі виробництва електролітичного водню для промислового використання, створивши механізм громадської підтримки для розповсюдження, яка доповнить існуючу підтримку у секторі досліджень та інновацій. Завданням уряду є отримання безвуглецевого водню для промислового використання на рівні: 10% у 2023 р. та від 20 до 40% у 2028. У 2020 планується встановити систему моніторингу походження водню, щоб забезпечити можливість усіх учасників ідентифікувати безвуглецевий водень, отриманий за допомогою відновлюваних джерел енергії. RPE робить акцент на завданні зменшити витрати на виробництво водню шляхом електролізу та передбачає скорочення витрат з 4-5 євро/кг «зеленого» водню до 2,5-3,5 євро/кг до 2030 р.

Державна підтримка розвитку сектора забезпечується за допомогою низки різних програм. За станом на січень 2020 р., було виділено близько 90 млн. євро, із них - 11,5 млн. на підтримку 5 проектів з виробництва зеленого водню у промисловості та близько 80 млн. для фінансування переможців конкурсу в рамках програми «Екосистеми водневої мобільності», яка передбачає створення станцій для заправки воднем.

У **Сполученому Королівстві**, Комітет зі зміни клімату опублікував звіт у 2018 р. з оцінкою ролі водню у низьковуглецевій економіці Сполученого Королівства. Необхідне зменшення викидів до 2050 р. у відповідності з Законом про зміну клімату означає, що енергія повинна бути повністю безвуглецевою. Він відіграє важливу роль в електроенергії, для якої доступні деякі дешеві виробничі технології без викидів вуглецю, що також визначає роль водню, який може бути виготовлений шляхом низьковуглецевого виробництва за допомогою електроенергії або шляхом уловлювання та зберігання вуглецю (CCS). Автори звіту склали такі ключові рекомендації: уряд повинен прийняти на себе зобов'язання розробити стратегію низьковуглецевого опалення протягом наступних трьох років; значні об'єми водню з низьким вмістом вуглецю повинні виготовлятися у «кластері» уловлювання та зберігання вуглецю (CCS) до 2030 р. з метою підтримки скорішої демонстрації щоденного використання водню, для того щоб показати практичність переходу від природного газу до водню; серед широкої громадськості дуже низька обізнаність щодо причин переходу від обігріву природним газом до альтернативних варіантів з низьким вмістом вуглецю; має бути розроблена стратегія стосовно низьковуглецевих вантажівок, яка заохочує перехід від горючих корисних копалин та біопалива та рішень з нульовими викидами до 2050 р.

На даний момент Великобританія не виробляє значний об'єм зеленого водню та не має технологій, які б створили ринок цього водню. Однією з ключових проблем для водню та пов'язаних технологій є його закріплення в енергетичній системі. Цього можна досягти, визначаючи кількість водню з низьким вмістом вуглецю, яка може бути поміщена в існуючу енергетичну інфраструктуру (наприклад, шляхом змішування водню у газотранспортній мережі та/або виробництва енергії із отриманого водню), впроваджуючи технології, які можуть бути переведені на водень (наприклад, бойлери або газові турбіни).

Воднева стратегія **Норвегії** була представлена урядом у 2020 р. Уряд визначає пріоритетні зусилля у сферах, де норвезькі компанії та технологічні кластери можуть чинити вплив на розвиток технологій, пов'язаних з воднем та де є можливості «зеленого» росту. У представленій Стратегії Уряд Норвегії має виділити 120 млн. норвезьких крон (близько 12,4 млн. доларів США) для програми ENERGIX в рамках Науково-дослідницької ради Норвегії. Водневі технології та рішення відіграють центральну роль у цій програмі. У Норвегії деякі сектори особливо підходять для використання водню. Це морський сектор та сектор вантажних транспортних засобів та промислових процесів. Завдяки Фонду NO_x, державне підприємство «Epsa» сприяє швидкій організації ринку водню для транспортних засобів та кораблів, а також розробці технологій у промисловості. Уряд пропонує збільшити фінансування на 20 млн. норвезьких крон для швидкісних кораблів в рамках пакету зеленої реконструкції, що допомагає просувати пасажирські паромні з нульовими або низькими викидами, включаючи кораблі, що працюють на водні.

Стратегія **Нідерландів** стосовно водню (Бачення уряду щодо розвитку водню (Government's vision on hydrogen)) була офіційно оголошена у березні 2020 р. Цей документ – це перший крок у ряді ініціатив стосовно здійснення амбіційної цілі країни щодо водню, яка була раніше визначена Національною кліматичною угодою та Водневою дорожньою картою. Нідерланди хочуть використати своє «унікальне вихідне положення» у газовій інфраструктурі, щоб стати світовим лідером у виробництві та використанні зеленого водню. Нідерландці, перш за все, прагнуть декарбонізувати свою енергетичну систему, використовуючи відновлювану електроенергію та опалення. Очікується, що газ становитиме 30-50% кінцевого споживання енергії у 2050 р., хоча й у контексті декарбонізації. Водень без CO₂, що виготовляється з відновлюваних джерел енергії або природного газу з використанням технологій CCS, вбачається як перспективна енергетична сфера для секторів кінцевого споживання, що технічно або економічно не можуть бути електрифіковані – наприклад, виробництво сталі, цементу, хімікатів та вантажних транспортних засобів.

Водень також розглядається як стратегічний компонент ширшої промислової стратегії. Для того, щоб збільшити попит на зелений водень, Нідерланди пропонують встановити обов'язкове змішування водню у газотранспортних мережах на рівні 2%, який може бути поступово збільшений до 10-20%. Очікується, що виробництво зеленого водню буде підтримано, зокрема, новою фінансовою допомогою у розмірі 35 млн. євро. Гроші повинні відігравати роль мосту між «фазою демонстрації та впровадженням шляхом підтримки виробничих об'єктів. Газ може бути імпортований з регіонів, які можуть отримати велику кількість зеленого водню в результаті електролізу з використанням сонячної енергії, наприклад з Близького Сходу, Північної Африки, Португалії, Іспанії та, можливо, України.

Португалія прагне досягти рівня споживання водневої енергії автомобілями у розмірі 5% до 2030 р.. У додаток до будівництва електролізерів з сумарною потужністю 1 ГВт, які можуть бути приєднані до сонячних станцій еквівалентної потужності вартістю майже 500 млн. євро, уряд планує додатково виділити 6,5 млрд. євро для багатьох водневих проєктів.

У **Польщі**, польська державна нафтогазова компанія (PGNiG) випустила свою водневу програму на 31 млн. злотих (7,4 млн. доларів), яка включає будівництво водневої станції та заводу для виробництва зеленого водню. Завдяки цій програмі компанія вивчає можливості зберігання та передачі водню через газотранспортну мережу та підписала угоду про розробку та будівництво експериментальної водневої станції.

У **Російській Федерації**, «Газпром» (державний нафтогазовий гігант) оголосив у лютому 2020р., що він має намір виготовляти водень із природного газу. Компанія «Росатом» оголосила у 2019 р., що вона запускає програму виробництва водню із надлишкової атомної енергії шляхом електролізу як для вітчизняного ринку, так і на експорт. Ця компанія підписала угоду з Агентством природних ресурсів та енергетики Японії про проведення техніко-економічного обґрунтування у 2020-2021 рр. щодо експорту водню із Росії до Японії. Міністерство енергетики Росії оголосило створення робочої групи для розробки дорожньої карти для водневої енергетичної системи у Російській Федерації. Російська Федерація прагне підключити себе до відповідного сектора та стати світовим лідером із поставки водню, хоча і не «зеленого».

2. Аналіз важливості водневих технологій та потенціалу для їх використання в Україні

2.1. Використання водню в енергетичному секторі

Сьогодні сектор електроенергетики та транспортний сектор України задовольняють свої енергетичні потреби переважно за допомогою традиційних видів палива – вугілля, газ, нафта та нафтопродукти – значна частина яких імпортується. Дуже важливо відмітити поточну роль атомної енергії, яка охоплює приблизно 50% поточного електроенергетичного балансу країни. Один з найбільш перспективних способів диверсифікації джерел виробництва носія енергії – це збільшення частки носіїв енергії, отриманих за допомогою використання відновлюваних джерел у структурі паливно-енергетичного балансу країни.

Україна у своєму розвитку покладається на практики країн Європи, приймаючи до уваги угоду про асоціацію з ЄС, міжнародні угоди, зокрема, у енергетичному секторі. Енергетична стратегія України до 2035 р. передбачає збільшення частки «зеленої» енергії до 25% в енергетичному балансі країни, зменшення залежності енергетичного сектора України від імпорту на 51% у 2015 та до 33% у 2035, а також повна інтеграція з енергетичною системою ЄС. Цільовий показник відновлюваних джерел енергії у Національному плані дій в області відновлюваних джерел енергії знаходиться на рівні 11% від кінцевого споживання енергії. Цілі України як сторони, що підписала Паризьку кліматичну угоду, включають зменшення викидів CO₂ на 25% до 2020 та на 40% до 2030 р.³

У той же час, сектор електроенергетики України особливо вимагає переходу до нових технологій, враховуючи ряд обставин: залежність від імпорту палива, зношені та застарілі виробничі об'єкти, відсутність однорідності розподілу виробництва та споживання енергії серед регіонів, недостатня гнучкість енергетичної системи, погані умови навколишнього середовища, які обмежують можливості розвитку енергетики.

Стан виробничих об'єктів характеризується зносом технічних ресурсів: тому, майже усі енергетичні блоки атомних електростанцій мають продовжений проектний строк служби. Зокрема, із 15 енергетичних блоків атомних електростанцій за станом на кінець 2020 р., первісний проектний строк служби лише трьох ще не завершився – 4-й енергетичний блок Рівненської атомної електростанції (АЕС), 6-й блок Запорізької АЕС та 2-й блок Хмельницької АЕС. Усі інші перебувають на різних етапах продовження терміну служби⁴. Така ж ситуація і з тепловими електростанціями: строк служби бойлерів та турбін українських теплових електростанцій становить 40 років, але, в дійсності, теплові електростанції та конденсаційні електростанції в Україні працюють більше 40 років та навіть до 80 (в середньому 55 років), вони зношені та застарілі та потребують реконструкції або заміни. Погіршення характеристик обладнання спричиняє втрату палива, зниження продуктивності та низькі екологічні показники.

Що стосується енергетичної інфраструктури, більше ніж у 90% ліній електромережі з напругою 220 кВт та вище та у 55% основного обладнання підстанцій закінчився строк служби (25 років), та 56% ЛЕП та 17% підстанцій знаходяться в експлуатації вже більше 40 років (дані державного підприємства «Національна енергетична компанія Укренерго» станом на 2017 р.).

Баланс продуктивності Єдиних енергетичних систем України (ЄЕСУ) характеризується недостатнім маневруванням та відсутністю систем регулювання; частка АЕС, енергетичні блоки яких експлуатуються у базовому режимі, перевищує 50%. Енергетичні блоки теплових електростанцій, призначених для експлуатації у базовому режимі, використовуються для підтримки перемінної частини кривої навантаження енергетичної системи. Збільшення частки відновлюваних джерел енергії витісняє теплові електростанції, що знижує маневрувальні можливості. Завдяки інтенсивному розвитку енергогенеруючих об'єктів, які виробляють

³ https://www4.unfccc.int/sites/submissions/INDC/Published%20Documents/Ukraine/1/150930_Ukraine_INDC.pdf

⁴ Енергетична стратегія України до 2035 року передбачає можливість продовження терміну експлуатації існуючих АЕС на основі періодичних оцінок безпеки; додаткові (більш гнучкі) АЕС можуть бути побудовані відповідно до програм розвитку енергетики України

електроенергію, використовуючи альтернативні джерела енергії, плануючи резерв потужності ЄЕСУ необхідно враховувати додаткові резерви для компенсації нерівномірності їх графіків навантаження. Але навіть зараз об'єм маневрування об'єктів становить менше 10%, а орієнтовна потреба становить більше 15%. У той же час втрати електроенергії в межах мережі становлять майже 12% (дані Науково-технічної спілки енергетиків та електротехніків України).

Значні проблеми в ЄЕСУ виникають із-за недостатньої потужності ліній електромережі для розподілу енергії АЕС та передачі енергії енерговузлам; із-за недостатнього рівня поставки у низку регіонів країни (південь Одеської області, Чернівецька область, місто Київ та Київська область); через некомпенсацію мережі що стосується реактивної потужності та складності забезпечення нормативної якості потужності. Невідповідність між потужністю генерування та споживанням енергії є типовою для всіх регіонів, а особливо помітно це у Північній (2440 МВт у зрівнянні з 610 МВт), Центральній (4260 у зрівнянні з 2360), Західній (2760 у зрівнянні з 4650) енергетичних системах (округлені дані максимальних зимових значень). Відповідно, спожита та вироблена енергія регіональних енергетичних систем відрізняються. Таким чином, для Північної енергетичної системи співвідношення становить 20 до 7 (млрд. кВт-год), Центральної (33 до 12), Південно-Західної (12 до 29), і так далі. Така нерівність викликає необхідність значних змін, вона призводить до втрати надлишкової енергії, створює слабкі місця в ЄЕСУ.

Погодинне моделювання ЄЕСУ показало, що досягнення стабільної подачі енергії протягом року у всіх погодних умовах в Україні можливе завдяки комбінуванню існуючих технологій відновлюваних джерел енергії, газотурбінних станцій (проміжний етап) та технологій зберігання та трансформації енергії, чия роль стане значною після 2030 р. У відповідності з розробленим сценарієм (Джерело: Інститут економіки і прогнозування НАН України (NASU)) вже у 2035 р. 90% виробництва електроенергії буде забезпечуватись відновлюваними джерелами енергії. Ціль сектору відновлюваних джерел енергії, прийнята і у відповідності з Енергетичною стратегією України на період до 2035 р., забезпечує тільки 25% кінцевого споживання енергії. У той же час, відповідно до вказаного сценарію, у 2035 р. можливо досягти збільшення частки відновлюваних джерел енергії до 40%, знижуючи загальне споживання на 28% завдяки заходам із енергозбереження та підвищення енергоефективності.

На думку експертів з Інституту відновлюваної енергетики НАН України, Україна має значний природний потенціал для виробництва енергії із відновлюваних джерел енергії, що становить близько 68 млрд. тон нафтового еквівалента на рік⁵.

Таблиця 1. Потенціал потужності відновлюваних джерел енергії, МВт⁶

Регіон	Сонячна енергія	Вітрова енергія	Дрібномасштабні ГЕС	Геотермічна енергія	Енергія біомаси	Загальна
Автономна Республіка Крим	3 603	22 128	1	840	1 273	27 844
Вінниця	3 646	13 393	24	40	6 192	23 295
Волинь	2 770	7 184	1	40	2 239	12 234
Дніпропетровськ	4 388	38 978	2	120	5 128	48 616
Донецьк	3 646	32 387	5	200	2 835	39 072
Житомир	4 102	10 640	8	50	4 575	19 374
Закарпаття	1 757	1 163	132	1 400	1 209	5 661
Запоріжжя	3 737	33 196	0	40	3 646	40 620
Івано-Франківськ	1 911	2 416	59	600	1 671	6 658

⁵ <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/tpp-may-2017.pdf>

⁶ Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України, Інститут відновлюваних джерел енергії, 2019

Київ	3 868	11 983	3	40	4 961	20 855
Кіровоград	3 381	21 226	15	40	4 482	29 144
Луганськ	3 669	32 591	2	80	2 042	38 384
Львів	3 002	8 015	46	1 400	2 672	15 135
Миколаїв	3 382	30 043	3	80	3 435	36 943
Одеса	4 580	34 719	1	240	4 912	44 453
Полтава	3 953	14 522	6	1 400	5 662	25 544
Рівне	2 756	7 745	3	40	2 594	13 139
Суми	3 277	11 096	2	560	5 009	19 945
Тернопіль	1 901	6 983	12	80	3 019	11 995
Харків	4 320	27 119	10	1 300	5 160	37 908
Херсон	3 913	34 761	1	1 300	3 360	43 335
Хмельницький	2 839	10 429	8	40	4 668	17 984
Черкаси	2 874	10 558	8	40	4 150	17 630
Чернівці	1 113	2 414	24	40	1 252	4 843
Чернігів	4 381	12 311	1	800	5 932	23 425
Усього	82 768	438 000	376	10 810	92 078	624 033
Територіальні води та внутрішні водойми		250 000				
Усього	82 768	688 000	376	10 810	92 078	874 033

Таблиця 2. Потенціал середньорічного виробництва електроенергії за допомогою відновлюваних джерел енергії, млн. кВт-год/рік⁷

Регіон	Сонячна енергія	Вітрова енергія	Дрібномасштабні ГЕС	Геотермічна енергія	Енергія біомаси	Загальна
Автономна Республіка Крим	4 323	60 090	3	6 255	5 236	75 907
Вінниця	4 375	36 371	83	298	25 327	66 453
Волинь	3 324	19 510	4	298	8 310	31 446
Дніпропетровськ	5 266	105 849	7	894	20 646	132 662
Донецьк	4 375	87 949	16	1 489	11 673	105 502
Житомир	4 922	28 893	27	372	16 619	50 834
Закарпаття	2 108	3 157	439	10 424	4 180	20 308
Запоріжжя	4 485	90 148	1	298	14 089	109 020
Івано-Франківськ	2 294	6 562	196	4 468	6 415	19 935

⁷Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України, Інститут відновлюваних джерел енергії, 2019

Київ	4 642	32 540	11	298	20 116	57 606
Кіровоград	4 057	57 641	53	298	17 724	79 773
Луганськ	4 403	88 503	7	596	8 032	101 540
Львів	3 602	21 766	153	10 424	10 428	46 373
Миколаїв	4 059	81 584	11	596	13 448	99 697
Одеса	5 496	94 283	5	1 787	19 693	121 264
Полтава	4 743	39 437	22	10 424	22 425	77 051
Рівне	3 308	21 033	10	298	9 396	34 045
Суми	3 933	30 133	8	4 170	19 445	57 689
Тернопіль	2 281	18 963	42	596	12 301	34 182
Харків	5 183	73 645	33	9 680	20 171	108 713
Херсон	4 696	94 397	2	9 680	13 212	121 987
Хмельницький	3 406	28 321	29	298	18 719	50 774
Черкаси	3 449	28 671	28	298	16 964	49 410
Чернівці	1 336	6 554	80	298	4 714	12 982
Чернігів	5 258	33 433	2	5 957	22 879	67 528
Усього	99 323	1 189 433	1 272	80 494	362 161	1 732 682
Територіальні води та внутрішні водойми		984 337				
Усього	99 323	2 173 770	1 272	80 494	362 161	2 717 019

За даними Національної енергетичної компанії "Укренерго", очікувана потужність вітрових та сонячних електростанцій на рівні 4,7 ГВт - це кількість, яку може поглинути існуюча енергосистема без серйозних відхилень в роботі, а для святкових днів ця цифра становить 3,5 ГВт. Тим не менш, станом на 01.02.2021 року, встановлена потужність відновлюваних джерел енергії становить 8,5 ГВт, з яких потужність сонячних та вітрових електростанцій складає 8,2 ГВт.⁸

Більшість проектів зосереджено в південних регіонах. Зазвичай в місцях розміщення електростанцій ВДЕ немає потужних споживачів, тому надлишок енергії передається в інші регіони за допомогою ліній електропередач. Ці лінії побудовані для забезпечення споживачів енергії в цих районах і не можуть задовольнити зростаючі потреби у ВДЕ найближчим часом. Ця обставина може призупинити реалізацію проектів ВДЕ на невизначений час. Крім того, подальше збільшення потужності ВДЕ витіснить АЕС з базової енергетики та збільшить частку гнучких ТЕС, що суперечить політиці декарбонізації (так званий зелено-вугільний парадокс). Тому збільшення встановленої потужності ВЕС та ГЕС вимагає впровадження нових високошвидкісних потужностей. Будівництво електростанцій швидкого запуску та електрохімічних сховищ входить до планів розвитку об'єднаної енергетичної системи України. Вирішення цих проблем без збільшення викидів CO₂ можливе за рахунок використання надлишкової електроенергії для виробництва водню з подальшим використанням для виробництва електроенергії в паливних елементах та транспортування її по існуючих трубопроводах. Ця технологія має ряд переваг перед будівництвом електричних мереж та ТЕС швидкого запуску, які полягають у наступному.

⁸ Див. частину "Інтеграція ВДЕ в ОЕС" <https://ua.energy/renewables/do-kintsya-2020-roku-vybnytvstvo-elektroenergiyi-z-vde-dorivnyuvatyme-13-generatsiyi-aes-ta-24-tes/>

Зберігання енергії. Електролізери та паливні елементи можна використовувати досить ефективно для збалансування мережі. Це дозволить оптимізувати роботу інших електростанцій із відповідним зменшенням споживання палива. Вибір раціональної технології накопичення енергії в кожному випадку залежить від наступних параметрів: необхідної потужності, кількості енергії, кількості циклів заряду-розряду, терміну служби, приросту витрат на вироблену енергію та інших. Постійні витрати включають, наприклад, системи контролю, управління будівництвом, дозволи на будівництво та експлуатацію.

Порівняльний аналіз технічних та економічних технологій (Дорожня карта технологій зберігання енергії, 2014) показав, що найпоширенішими технологіями зберігання є хімічні батареї, надпровідникові магнітні системи зберігання (SMSS), гідроакумуляючі електростанції (PSPS), електростанції для зберігання стисненого повітря та акумулятори на основі водню. Хімічні та надпровідникові магнітні системи зберігання характеризуються низькою собівартістю (від \$100/кВт встановленої потужності) та високою ефективністю, але невеликою кількістю циклів заряду-розряду (100-2000) та високою вартістю утилізації компонентів після закінчення робочого ресурсу. Результати досліджень (Аналіз вартості робочого ресурсу водню порівняно з іншими технологіями зберігання електричної енергії, 2009 р.) показали, що на цьому етапі розвитку технологій існує лише три технології зберігання, які забезпечують можливість накопичення значних потужностей. Сюди входить накопичення потенційної енергії у вигляді стисненого повітря або газу (CAES) та у формі води (PSPS) або запасу водню (понад 20 000 циклів заряду-розряду).

Ці технології характеризуються найнижчими додатковими витратами на вироблення електроенергії, середнє значення яких для електростанцій, що зберігають стиснене повітря, становить 0,1 дол. / кВт / год, для ГЕС - 0,13 дол./ кВт / год, для водню – 7,5 дол./кг. Накопичення повітря (газу) вимагає наявності великих природних водойм для зберігання. Враховуючи потенціал гідроенергетичних ресурсів та природну різницю висот, найефективнішою з усіх є система зберігання прісної або морської води за допомогою PSPS. Водневі технології є конкурентоспроможною альтернативою акумуляторним системам CAES та PSPS там, де ці технології неможливо впровадити.

2.2. Використання водню в транспортному секторі

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 сирової 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 частой 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

Energy Industry Outlook», Китай, 2018) можна збільшити пробіг водневих транспортних засобів до 700-1000 кілометрів або навіть більше.

Що стосується електроавтомобілів 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 ряд 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 великій 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 млрд⁹. 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 <https://mtu.gov.ua/en/content/statistichni-dani-pro-ukrainski-zalznici.html>

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 ¹¹. 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;

¹⁰ ¹⁰ <https://mtu.gov.ua/en/content/statistichni-dani-pro-ukrainski-zaliznici.html>

¹¹ ¹¹ <https://mtu.gov.ua/en/content/informaciya-pro-vodniy-transport-ukraini.html>

- до досягнення певного порогу споживання, виробництво на місці або доставка існуючими газогонами 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.

2.3. Використання водню у промисловому секторі

«Сірий» водень (той, який отримують із використанням викопного палива, такого як природний газ), широко використовується сьогодні в промисловості. Розширення відновлюваного водню надає компаніям та політикам потужний інструмент для декарбонізації існуючих та нових джерел промислового попиту на енергію та промислових процесів. Виробництво аміаку, процеси переробки та виробництво метанолу складають понад 90% загальної потреби водню сьогодні. Відновлюваний водень може бути чистою альтернативою вугіллю при скороченні залізної руди і може замінити природний газ як джерело високотемпературного тепла в металургійній промисловості. Водневі носії, такі як метанол, аміак та синтетичний метан, легше зберігати та транспортувати, ніж водень, але вони мають більші втрати ефективності. Однак, їхні фізичні властивості роблять їх більш придатними, ніж водень, для конкретних промислових застосувань. Виробництво зеленого аміаку¹² в Україні за допомогою недорогих відновлюваних джерел енергії та електролізу створює більш розподілену модель виробництва, зменшуючи транспортні витрати та створюючи можливості для місцевого промислового розвитку.

Чорна металургія

Промисловість все більше прагне декарбонізувати свої промислові потреби у теплі; ряд компаній вивчають роль зеленого водню в таких процесах, як виробництво сталі, хімічне виробництво, нафтопереробка тощо.

Виробництво сталі є особливо цікавою сферою для водню через високі викиди вуглецю в процесі та відносну відсутність життєздатних альтернатив. В даний час водень вже частково використовується в обробці металів для процесів відновлення заліза, і Air Liquide підраховує, що типове споживання водню в цьому типі установок становить від 360 до 720 тонн на рік (Fraile and others 2015). Таким чином, сталь представляє вакантний ринок електролізу та відновлюваного водню. Дійсно, існують компанії, що використовують водень як захисний газ у виробництві сталевих пластин, при цьому установка, що постачається THE China надає цю послугу в Болгарії (THE n.d.a.). Водень також використовується в залізній промисловості для запобігання часткового окислення залізної руди, поки руда знаходиться в печі. Деякі майданчики затоплять печі воднем, щоб він реагував з будь-якими випадковими молекулами кисню та запобігав окисленню.

Найбільшим питанням, яке намагаються оцінити дослідники, є те, чи може водень відігравати більшу роль, замінюючи вугілля та інші види палива для опалювальних цілей. У цьому просторі діють три флагманські проекти: міжнародні конгломерати (Tata Steel [штаб-квартира в Індії] та Nouryon [штаб-квартира в Нідерландах]) та Port of Amsterdam розвивають найбільший кластер зеленого водню в Європі; HYBRIT у Швеції; та H2FUTURE в Австрії. На сьогоднішній день найбільшим з них є Port of Amsterdam, який знаходиться на стадії техніко-економічного обґрунтування і розглядає електролізер потужністю 100 МВт, який вироблятиме 15000 тонн відновлюваного водню на рік і створюватиме кисень, і для металургійної ділянки. Першим пілотним проектом, який фактично встановлений і працює, є H2FUTURE в Австрії, де PEM електролізер (з протообмінною мембраною) потужністю 6 МВт, що постачається компанією

¹² Зелений аміак відноситься до аміаку, який отримують шляхом 100% відновлюваного та безвуглецевого процесу.

Siemens, працює на сталевому майданчику Voestalpine, використовуючи енергію майже повністю відновлюваного портфеля Verbund (Voestalpine 2018).

Для проекту HYBRIT SSAB, LKAB та Vattenfall використовують лужний електролізер потужністю 4,5 МВт для роботи в Лулео, Швеція, з 2021 по 2024 рік, перш ніж проект вступить у демонстраційну фазу з метою забезпечити промисловий процес до 2035 року. Процес HYBRIT заснований на прямому відновленні залізної руди за допомогою відновлюваної енергії та водню; водень реагує з киснем у залізній руді, створюючи тим самим металеве залізо та воду (Cision 2019). У цей час, за відсутності політики підтримки, дані досліджень HYBRIT свідчать про те, що витрати на електроліз залишаються занадто високими. Капітальні витрати, необхідні для встановлення устаткування для прямого відновлення заліза, електролізера та сховища водню, оцінюються в 1000 євро за тонну сирової сталі, що складає майже 80 відсотків загальних виробничих витрат і дає ціну на сталь 1200 євро за тонну (WEC Нідерланди 2019). Для порівняння, загально визнана вартість сирової сталі, що поставляється 10 найбільшими країнами-експортерами, коливалась у межах від 360 до 560 євро за тонну в 2013 році.¹³

Аміак

Як зазначалося раніше, аміак є найбільшим джерелом попиту на водень на сьогоднішній день та основним варіантом декарбонізації з відновлюваним воднем. Два масштабні проекти, які розглядаються для інвестування, - це блок електролізера потужністю 20 МВт на аміачному майданчику Air Liquide у Квебеку (Air Liquide 2019) та сонячна фотоелектрична установка потужністю 100 МВт у поєднанні з електролізером потужністю 50 МВт для аміачної ділянки YARA в Західній Австралії (ENGIE 2019). Ці проекти є наступними пілотними проектами з перетворення водню з вітру до аміаку, які вже були розгорнуті, і які надають докази технічної доцільності та міркувань витрат для такої програми. Аміак як ринок відновлюваного водню особливо привабливий через масштаби попиту. Дослідження для Спільного підприємства з виробництва водневих паливних елементів (FCH JU) у 2015 році підрахувало, що типовий аміачний завод має потужність виробляти від 1000 до 2000 тонн аміаку на день, що вимагає від 57 500 до 115 000 тонн водню на рік (Fraile and others 2015), тоді як Thyssenkrupp передбачає, що традиційний завод давав би близько 3000 тонн на день (Thyssenkrupp nd). Для такого рівня потрібні електролізерні установки, значно більші за ті, що зараз комерційно використовуються, і один майданчик, ймовірно, поглине річну потужність багатьох виробників впродовж декількох років, враховуючи поточну встановлену потужність постачальників електролізерів.

Інша привабливість полягає в тому, що якщо вартість водню внаслідок електролізу опуститься нижче вартості SMR (парового риформінгу метану), можливо, що сам процес централізованого виробництва аміаку зміниться і перейде до більш розподіленої моделі виробництва. Така ситуація зменшить транспортні витрати, а також створить можливість для багатьох країн виробляти більші обсяги аміаку всередині країни, створюючи робочі місця. Саме з цієї причини такі компанії, як Thyssenkrupp, почали випускати на ринок аміачні рішення меншого масштабу на базі систем, які можуть працювати на потужності 20 МВт, з модульним масштабуванням до 120 МВт.

Хоча основним інтересом в аміаці є його використання як добрива, його також можна використовувати як механізм для дешевого та тривалого зберігання енергії водню до того, як водень знову витягнеться з аміаку. Хоча цей процес спричиняє великі втрати ефективності, показники ефективності в обидва кінці становлять близько 20–30 відсотків, залежно від початкової ефективності використовуваного електролізера/SMR, він все ще може бути життєздатним у районах, де виробництво водню низьке. Крім того, більш пізні дослідження розглядали, чи можна використовувати аміак безпосередньо як паливо, будь то з установкою риформінгу на паливному елементі або спалювати в турбіні. Деякі компанії в енергетичному секторі вже використовують аміак. Найбільшим споживачем аміаку для застосування на паливних елементах є GenCell, агрегати якого забезпечують електромережеве живлення з використанням аміаку з реформером (GenCell n.d.). Ці агрегати мають нижчу ефективність системи, ніж типові водневі елементи або SOFC (твердооксидні паливні елементи), але вони

¹³ <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC100101/Idna27729enn.pdf>

можуть легко зберігати аміак на місці впродовж шести місяців за раз. Такі компанії, як Baker Hughes та MAN Group, також працюють над розробкою та комерціалізацією турбінних технологій, які можуть виробляти енергію із 100-відсоткового аміачного палива. Це ретельно контролюється бізнесом у країнах із встановленими турбінами на природному газі, які розглядають зелений аміак як потенційно більш зручне паливо, одержуване з водню, з безвуглецевою енергією.

Переробка

Одним із найближчих джерел потенційного промислового попиту на відновлюваний водень є переробка. Типовий нафтопереробний завод може вимагати від 7200 тонн до 108 800 тонн водню на рік, а для нових і складних великих НПЗ потрібно до 288 000 тонн на рік (Fraile and others 2015). Хоча економіка в цей час здається складною, цей сегмент може керуватися політикою, якщо визнається, що використання зеленого водню можна врахувати до зменшення викидів на національному транспорті. Таким чином, першим великим випробуванням, швидше за все, буде установка ITM Power потужністю 10 МВт на фабриці Shell's Rhineland, за якою ретельно слідує техніко-економічне обґрунтування 250 МВт в Port of Rotterdam, яке передбачає отримання до 45000 тонн зеленого водню на рік (Port of Rotterdam 2019).

Скляна, харчова та інші галузі

Інші сегменти, що представляють інтерес для водню в промисловості, включають харчову та скляну промисловість. Гідрування жирів є основною сферою застосування для харчової промисловості, оскільки профіль попиту підходить для електролізерних установок від 0,5 МВт до 2 МВт. Ця кількість базується на підрахунках Спільного підприємства з виробництва водневих паливних елементів (FCH JU), що в середньому майданчики гідрування жирів вимагають виробництва водню до 28 кг на годину, що відповідає 672 кг на день, якщо майданчик працює 24 години.

Виробництво скла також є зростаючою сферою інтересів для водню, і постачальники свідчать про зростаючу обізнаність в Азії, Європі та Північній Америці. Враховуючи низький попит на водень на типовому скляному заводі, близько 3,95 кг на годину, цей сегмент ринку добре підходить для генерації на місці шляхом електролізу¹⁴. У Словенії одна компанія використовує сонячну фотоелектричну батарею на даху для створення водню, який змішується з природним газом у скляних печах (Willuhn 2019). Компанія у В'єтнамі використовує водень у своїх процесах виробництва скла (THE n.d.b.).

Іншими помітними напрямками є використання зеленого водню в напівпровідниковій промисловості як теплоносія (при утриманні у вакуумі) та як ракетне паливо для аерокосмічної промисловості.

Інші види палива на основі водню

Хоча сам водень є цінним та ефективним паливом, кілька альтернативних видів палива також можуть бути створені з відновлюваного водню. Ці види палива мають відмінні властивості від водню, які іноді можуть бути більш привабливими, ніж чистий водень, для конкретних випадків та застосувань. Приклади зазвичай включають метанол, аміак і, дедалі частіше, синтетичний метан, котрі значно легше зберігати та транспортувати, ніж водень, але мають більші втрати ефективності у виробництві.

Метанол

За деякими підрахунками, виробництво метанолу становить близько 10 відсотків світового попиту на водень. Незважаючи на те, що він використовується в широкому спектрі застосувань, метанол особливо корисний для блоків паливних елементів, які надають послуги безперебійного живлення, особливо в позамережєвих районах. Один літр метанолу становить приблизно 4,8 кВт-год, або 1 кг становить близько 5,6 кВт-год. Це суттєве зниження від 33,33 кВт-год, що утримується в кг водню. Тим не менше, паливо є дуже легкою рідиною, і його легко

¹⁴ Перетворення 44 нормальних кубічних метрів на годину на 0,08988 кг на 1 нормальний кубічний метр на годину, використовуючи http://www.uigi.com/h2_conv.html із вихідними даними Fraile and others 2015

зберігати та транспортувати. Крім того, він легко доступний як на ринках, що розвиваються, так і на розвинутих, що робить його привабливим для місць, де воднева інфраструктура та можливості безпеки є низькими. Сьогодні метанол значною мірою виробляється за допомогою природного газу і є результатом двоступеневого процесу, який вимагає як виробництва водню, так і подальшого зв'язку з вуглецем всередині нової молекулярної структури. Середня потужність заводу становить близько 5000 тонн на день при річному споживанні водню 266 104 тонн. Серед ключових промислових гравців - «Methanex» та «Sabic» (Fraile and others, 2015).

Синтетичний метан

Однією з найбільших сфер інтересів, особливо для європейських компаній та політиків, які досліджують застосування відновлюваного водню, є здатність синтезувати водень з вуглецем для утворення метану. Створення синтетичного метану може бути надзвичайно привабливим, оскільки воно дозволяє продовжувати використовувати поточну інфраструктуру природного газу та уникає необхідності заміни або виведення з експлуатації існуючих активів природного газу. Синтетичний метан також має додаткову перевагу в тому, що його легше виробляти у більших масштабах і в більш широкому діапазоні місць, ніж біогаз, що здавна розглядався як засіб "екологізації" постачання газу.

В даний час лише кілька пілотних проектів виробляють синтетичний метан. Більшість із них видобувають вуглець з анаеробних зброджувачів, пов'язаних із сільськогосподарськими відходами або земельними. Але пілотний проект в Італії отримує вуглець із технології прямого захоплення повітря, і обидва варіанти можна вважати вуглецево нейтральним.

Найбільшим затвердженим проектом є проект Underground Sun Conversion в Австрії, який поєднуватиме сонячну фотоелектричну базу з лужним електролізером потужністю 13 МВт. Проект буде виробляти та зберігати синтетичний метан у підземній печері, а потім буде випускати метан безпосередньо споживачам у міру необхідності (McPhy 2017). Ще два флагмани знаходяться у Німеччині та Франції. Сюди входить проект "STORE & GO" компанії Uniper у Німеччині, який використовує енергію вітру та електроліз для виробництва до 1400 кубічних метрів синтетичного метану на день або приблизно 14 500 кВт-год енергії (Eckert 2019). У Франції програма Jupiter 1000 спрямована на використання гібриду лужного та PEM-електролізу з накопиченням вуглецю для створення та розподілу синтетичного метану (Jupiter 1000 n.d.).

2.4. Використання водню у галузі природного газу

Україна має добре розвинену мережу магістральних газопроводів та дефіцит власних енергоносіїв, зокрема газу. Водень, як джерело енергії, є екологічно чистим. До головного способу транспортування водню в умовах України відносять трубопроводи, а накопичувальними ємностями можуть слугувати підземні газосховища.

Для трубопровідного транспорту є два можливих сценарії доставки водню:

- додавання водню в існуючі газопроводи до заданих концентрацій;
- транспортування 100% водню через нові або існуючі трубопроводи.

Крім свого основного призначення, як механізму транспортування водню, використання трубопроводів може забезпечити ряд додаткових переваг:

1. *Поліпшення постачання газу:* з невизначеністю навколо обмежень постачання природного газу, заміщення воднем могло б забезпечити більш короткострокову можливість компенсувати зростаючий попит на газ.
2. *Конвергенція електроенергетичної та газової мережі:* зі збільшенням частки ВДЕ в електроенергетичній мережі та вимогам надійності/стабільності, водень забезпечує новий напрямок для оптимізації виробництва електроенергії: конвертуючи надлишкову відновлювальну енергію в газоподібний водень за допомогою технології електролізу з протообмінною мембраною ("power-to-gas"). Водень можна закачувати до мережі

постачання природного газу. Таким чином, водень може замінити природний газ зменшуючи викиди парникових газів та залежність від високовуглецевих видів палива.

3. *Зберігання енергії*: газопроводи забезпечують додатковий варіант зберігання водню за допомогою пакувального трубопроводу або «перенесення енергії в часі».

4. *Декарбонізація газової мережі*: закачування водню в трубопроводи природного газу збільшує можливості для декарбонізації в енергетичному секторі.

Один із прикладів знаходиться у Німеччині, де експерти вже тестують параметри безпечності. Німецькі експерти випробовують безпечні параметри безпечного транспортування водню для інтеграції H₂ до мережі. «Воднева стратегія для кліматично-нейтральної Європи» від ЄС у липні 2020 року є останнім кроком у низці програм, побудованих для заохочення використання зеленого водню для декарбонізації та інтеграції в енергетичну систему. Німеччина, Японія та G20 виявили значний інтерес до розвитку цієї технології. Знову ж таки, у Німеччині в доповіді, опублікованій операторами трубопроводів Nowega, Cascade та Siemens Energy, вивчались різні вимоги щодо перетворення газопроводів природного газу як центральних компонентів майбутнього переходу на зелену водневу енергію. Хоча водень можна транспортувати в термоізольованих контейнерах високого тиску у вигляді рідини, або в контейнерах високого тиску як газ, а також у формі аміаку або метанолу після переробки, найбільш життєздатною стратегією його транспортування та зберігання буде за допомогою трубопровідних систем. Якщо ці системи газопроводу вже існують, це лише підвищить життєздатність цього зеленого відновлюваного джерела енергії для загального використання.

Ключовим чинником для збагачення природного газу воднем є можливість досягти деякої декарбонізації в газовому секторі без необхідності модернізації існуючої інфраструктури. Концентрація водню 20% за обсягом вважається прийнятною. Головним обмеженням є здатність приладів кінцевого використання задовольнити більш високі концентрації водню. В Україні рівень використання природного газу, що прокачується трубопроводами, становить 30-35 млрд.м³ в рік (у 2018 р. – 32, 4 млрд.м³), отже, місткість цього сегменту економіки може становити 6-7 млрд.м³ водню в рік.

Для транспортування водню може бути задіяна існуюча мережа газопроводів, що прокладені на території України. Це магістральні газопроводи (Торжок-Долина, Уренгой-Помари-Ужгород, Курськ-Київ, Ананьїв-Чернівці-Богоджани, Кременчук-Ананьїв, Джанкой-Феодосія-Керч, Донецьк-Маріуполь, Острожськ-Шебелинка, Івацевичі-Долина), газопроводи-відгалуження, газорозподільні станції, компресорні станції, підземні сховища газу, газовимірювальні станції та пункти вимірювання витрат газу. Діаметри магістральних газопроводів варіюють від 500 до 1400 мм, робочий тиск – від 45-55 до 75 атм.

Однією з помітних проблем із включенням водню в мережу природного газу є вплив, який він має на вимірювання. Традиційно вимірювання та подальше ціноутворення на газ у трубопроводах базується на витраті та енергоємності використовуваного газу. Таким чином, вимірювачі трубопроводів повинні бути відрегульовані, щоб відобразити відсоток водню в природному газі, а також їхні відмінності в щільності енергії.

Транспортування 100% водню через трубопровід може викликати проблеми, пов'язані з крихкістю труб в залежності від робочого тиску і матеріалу трубопроводу. Незважаючи на те, що цей ризик зростає при збільшенні робочого тиску, використання сталевих, армованих пластиком труб, здатне транспортувати водень при тисках 70-105 бар. У внутрішній газорозподільній мережі, де тиск коливається в межах 1-7 бар, ризик зниження міцності буде значно зменшений. Поліетилен високої щільності вважається кращим матеріалом для такого трубопроводу.

В 2019 році «Регіональна газова компанія» (РГК) вперше в Україні розпочала тестове транспортування суміші водню і природного газу на закритих ділянках газорозподільної системи в п'яти областях країни. Експериментальні полігони знаходяться у Волинській, Дніпропетровській, Житомирській, Івано-Франківській та Харківській областях. Це закриті ділянки мереж, які не підключені до зовнішніх споживачів – підприємств або населення. Вони відповідають фактичному стану реальних газорозподільних мереж – є металеві і поліетиленові

труби різного діаметру, з різними термінами експлуатації та різними ущільнювальними матеріалами. Також використовуються різноманітні технології управління тиском, кілька видів газорегуляторних пунктів. Зараз важливо зрозуміти, як себе поведе існуюча система доставки газу при використанні водню. Спочатку для тестування мереж використовуються суміші природного газу з воднем в концентраціях від 2% до 100%. Планується на одному з полігонів побудувати установку з виробництва водню. Науковий супровід проекту дозволяє отримати детальну і вичерпну інформацію про всі нюанси використання нових, екологічних енергоносіїв. Проект не обмежується тестуванням газоводневої суміші, готується робота і з іншими синтетичними газами, наприклад, з біогазом. А пріоритет за воднем через те, що у водню найменша молекула газу і умовно мінімальна щільність. Використовується закордонний досвід, однак є момент, який робить проект РГК унікальним у порівнянні з усіма закордонними. У Європі поступово підвищують концентрацію водню в суміші, починаючи з 1-3%, і зараз подекуди довели до 20%. В РГК планується відразу проводити тести з транспортуванням 100% водню, що дозволить отримати уявлення про відповідність мереж новому енергоносію.

У серпні 2020 року почала діяти практична частина програми випробувань по використанню водню в діючих газорозподільних мережах. Перший експеримент проведений на полігоні в Черняхіві Житомирської області з урахуванням перспектив EU Hydrogen Strategy, з якою взаємодіє РГК. Для випробувань воднем газова система полігону в Черняхіві була реконструйована фахівцями АТ «Житомиргаз» таким чином, щоб за складом обладнання, підбором матеріалів і ступенем їхнього зносу вона стала моделлю діючої газорозподільної системи. В процесі експерименту системи полігону були прокачані інертним газом, а потім заповнені воднем, концентрація якого була доведена до 99%. Висока концентрація водню в системі дозволяє отримати унікальну інформацію про поведінку різних матеріалів газопроводів та обладнання. Наступні етапи дослідницької програми компанії РГК передбачають статичні і динамічні випробування водню і його сумішей з природним газом на ще чотирьох спеціально підготовлених полігонах у Волинській області.

3. Аналіз методів виробництва водню та їхня економічна ефективність

3.1 Масове виробництво водню за допомогою парового риформінгу метану (SMR)

Водень може бути отриманий з використанням ряду виробничих методів і технологій. У всьому світі широкомасштабне виробництво водню відбувається за допомогою перетворення природного газу. SMR-технологія є перетворенням природного газу через реакцію з водяною парою, і є найбільш поширеним варіантом.

Стандартна установка зазвичай має продуктивність 100 000 м³ або 9 тонн водню на годину. Процес відбувається в декілька кроків, але його можна приблизно розділити на два етапи. Під час першої фази природний газ обробляють паром при температурі від 800° до 1000°C. Утворюється синтез-газ, що складається з монооксиду вуглецю (CO) і водню (H₂). Другою фазою є перехід вода-газ, який відбувається при більш низькій температурі. Впродовж цієї фази CO з синтез-газу реагує з ще більшою кількістю пари (H₂O), утворюючи CO₂ і більше водню. Потім суміш CO₂ і водню відокремлюють у секції розділення газу, генерується концентрований потік CO₂, придатний для захоплення і зберігання CO₂. Це стандартний промисловий процес, який використовується у великих масштабах для виробництва аміаку і добрив, через потребу в CO₂ при перетворенні аміаку в сечовину.

У SMR частина природного газу не перетворюється на водень, а замість цього використовується для утворення пари і зовнішнього нагрівання реактора. Це стандартний процес, під час якого генеруються димові гази, що містять низький рівень CO₂. Це ускладнює захоплення 100% CO₂ під час SMR. Типовий відсоток захоплення складає від 50 до 60%. Хоча введення модифікацій процесу може збільшити відсоток CO₂, що захоплюється, приблизно до 90%, це знижує загальну ефективність на приблизно 7%.

Існують два варіанти, автотермальне перетворення (ATR) і часткове окислення (POX), які дозволяють захоплювати 100% CO₂. Під час цих двох варіантів теплота процесу значно зростає через те, що частина природного газу реагує з чистим киснем в реакторі. В результаті весь CO₂ зберігається в концентрованому потоці. Однак у порівнянні з SMR цей процес вимагає більш високого рівня інвестицій через необхідність використання повітряних сепараторів для кисню. Тому, щоб бути конкурентоспроможними, процеси повинні працювати в ще більшому масштабі.

Навіть у такому випадку ці методи могли б бути цікавими в майбутньому, якщо поєднати їх з виробництвом водню шляхом електролізу, оскільки під час процесу генерується кисень. Витрати на виробництво водню з природного газу значною мірою залежать від цін на природний газ. На природний газ припадає 70-80% виробничих витрат при великому виробництві за допомогою SMR. Витрати на виробництво складають приблизно від 1 € до 1.50 € за кілограм H₂.

Мале виробництво з природного газу за допомогою парового риформінгу метану (SMR)

Транспортні витрати на водень є порівняно високими, особливо на великих відстанях. Альтернативою є виробництво водню в приміщеннях замовника (на станції заправки або в приміщенні промислового клієнта з обмеженим споживанням). З цією метою різні сторони розробляють дрібномасштабні одиниці SMR, які мають потужність від 100 до 300 нм³/год, що еквівалентно приблизно від 200 до 600 кг H₂ на добу. Виробництво в цих малих підрозділах базується на тих самих принципах, що і у великому виробництві. Ефективність зазвичай становить від 60% до 65%. Підраховано, що в короткостроковій перспективі ці підрозділи могли б довести виробничі витрати до 4-5 євро за кілограм H₂, з перспективою подальшого падіння до 3-4 євро за кілограм або трохи менше в період до 2030 р. Цей рівень витрат є конкурентоспроможним у порівнянні з поєднанням великомасштабного виробництва та транспорту.

Виробничі одиниці повинні використовуватися безперервно. Таким чином, основний ринок в даний час знаходиться на виробництві для малих промислових споживачів. Сильні коливання експлуатаційних умов, які можна очікувати в період запуску заправних станцій, можуть призвести до збільшення витрат на обслуговування та експлуатацію. Крім того, виробництво водню відбувається при порівняно низькому тиску, що означає, що в точці заправки необхідно буде забезпечити значний рівень стиснення. Для визначення найбільш практичного та економічно ефективного варіанту необхідно провести оцінку у кожному конкретному випадку.

3.2 Отримання водню за допомогою електролізу

Електроліз води в даний час розглядається як ідеальна технологія для отримання стійкого водню. Це передбачає використання постійної електроенергії. Тим не менш, поточна суміш електроенергії, яка в значній мірі все ще базується на вугіллі, означає, що виробництво водню за допомогою електролізу є ще більш інтенсивним, ніж виробництво природного газу з використанням SMR, хоча швидкий розвиток проектів з вітрової та сонячної енергії змінить це в найближчі роки.

Електролізу можна досягти за допомогою низки методів. У всіх випадках електроенергія використовується для розділення молекул води, а результатом цього є виробництво водню та кисню. Найбільш відомими і найбільш розвинутими варіантами є звичайні методи лужного електролізу (AEL) і електроліз з протонообмінною мембраною (PEM). Обидва методи працюють при низьких температурах 60-70°C. Електроліз лужної іонообмінної мембрани (AEM) є третім низькотемпературним варіантом. Цей варіант є найменш розвиненим, оскільки технологія все ще проводиться в масштабах лабораторії.

Четвертий варіант, твердо оксидна електролітична комірка (SOEC), просунувся трохи далі, але також все ще знаходиться на початковому рівні готовності технології (TRL). SOEC пов'язана з високотемпературними твердооксидними паливними елементами (SOFCs) і працює при температурах 600-800°C. У порівнянні з низькотемпературними варіантами ця технологія підвищує енергетичну ефективність, оскільки для поділу молекул води при цих температурах потрібно менше енергії. AEL і PEM комерційно доступні в масштабі 1-5 МВт.

Інвестиційні витрати на PEM електроліз наразі складають близько 1400 євро за кВт. Збільшення масштабів виробництва може швидко скоротити витрати, ринкові оцінки на 2030 рік - € 760 за кВт, хоча широко варіюються від € 250 до € 1270 за кВт. Споживання електроенергії системами PEM в даний час ще трохи вище, ніж у AEL. Проте, ці показники швидко покращуються, і, як очікується, найближчим часом споживання електроенергії знизиться до рівня значно менше 50 кВт·год/кг у 2030 році (ефективність > 70%).

Припускаючи максимальну кількість робочих годин на рік та витрати на електроенергію в розмірі 70-80 євро за МВт·год, поточні виробничі витрати оцінюються в 5-5.5 євро за кг H₂ і 6-6.5 євро за кг H₂ для AEL та PEM відповідно. Очікується, що витрати до 2030 року становитимуть близько 3-3.5 євро за кг H₂ на виробничому майданчику. До цього часу також з'являться великі установки потужністю 10-100 МВт (4-40 тонн H₂ на добу), можливо й більше, і будуть розташовані централізовано. Це може призвести до зниження витрат на виробництво до 3 євро за кг і, можливо, навіть до 2 євро за кг. Тоді витрати стануть конкурентоспроможними при централізованому виробництві з використанням природного газу, особливо, якщо ціни на природний газ та CO₂ будуть збільшуватися, а виробництво повинно поєднуватися з технологією улавлювання та зберігання вуглецю (CCS). Однак, якщо інвестиційні витрати будуть знижуватися, то виробничі витрати будуть дедалі більше визначатися цінами на електроенергію, і існує висока ступінь невизначеності щодо того, як вони будуть розвиватися.

Таблиця 3. Показники основних технологій виробництва водню¹⁵

	SMR масове	SMR мале	Електроліз AEL	Електроліз PEM
Інвестиційні витрати, €/кВт			1000	1400
Інвестиційні витрати 2030 р., €/кВт			370-800	250-1270
Ефективність, %	70-85	60-65	61-67	65-78
Витрати, €/кгH ₂	1,0-1,5	4,0-5,0	5,0-5,5	6,0-6,5
Витрати 2030 р., €/кгH ₂		3,0-4,0	3,0-3,5	

Основні переваги лужного і мембранного електролізу можна відобразити у таблиці 4.

Таблиця 4. Матриця переваг і недоліків електролізу

	Лужний	PEM
Переваги	- Нижче CAPEX / OPEX - Зріла та перевірена технологія у розмірі декількох МВт для стаціонарної роботи - Значний термін експлуатації стека	- Короткий час відгуку в динамічній роботі - Стабільний твердий електроліт - Належні значення показників при частковій експлуатації - Високий рівень чистоти водню
Недоліки	- Менш стійкий рідкий електроліт - Необхідність очищення водню для кінцевих цілей - Більш тривалий час відгуку - Тривалий час холодного пуску	- Вища CAPEX / OPEX - Менший термін експлуатації штабеля - Наявність металів платинової групи - Менш зріла та перевірена технологія для використання у мегаватному обладнанні

3.3 Інші альтернативи для сталого виробництва водню

Дослідження альтернатив для стійкого виробництва водню, крім електролізу, визначило в цілому 11 варіантів, з яких наступні п'ять альтернатив можуть мати потенціал, оскільки інші все ще потребують значних досліджень та розробок:

- 1) Піроліз і газифікація біомаси
- 2) Ферментація потоків біомаси в біогаз у поєднанні з біогазовим перетворенням
- 3) Термохімічне розщеплення води
- 4) Фотокаталіз (з використанням фотоелектрохімічних комірок (PECs))
- 5) Надкритична газифікація води біомасою

Біомаса є джерелом енергії для трьох варіантів, де водень утворюється частково з біомаси і частково з води. У світлі дискусій щодо наявності стійкої біомаси та багатьох альтернативних видів використання біомаси для застосувань, які потребують стійкого водню, а також вуглецю, нейтрального для клімату, сумнівним є те, що довгостроковою метою має бути використання біомаси тільки для виробництва водню. Існує більша потреба у використанні біомаси, безпосередньо чи через синтез-газ, що також використовує вуглець, для стійких хімічних продуктів та матеріалів або стійкого біопалива та синтетичного палива для авіації, та судноплавства.

Два інші варіанти використовують сонячну енергію, причому весь водень виробляється з води. Термохімічні шляхи вимагають високотемпературного нагрівання від концентрованого сонячного світла (за допомогою концентрованої сонячної енергії або CSP). CSP неможлива у багатьох місцях, але високотемпературне тепло від CSP може бути імпортоване. Альтернативою може бути використання тепла з ядерних реакторів. Останній варіант тягне за собою виробництво водню з використанням фотоелектрохімічних комірок (PECs). Ця технологія цікава, оскільки вона поєднує в собі функціональність сонячних батарей з

¹⁵ ESMAP. 2020. Green Hydrogen in Developing Countries. Washington, DC: World Bank.

електролізом. Це по суті тип сонячних елементів, занурений у воду. Вхідне світло викликає реакції на поверхні, які безпосередньо генерують водень. Проте, не розроблені ще матеріали, які поєднують ефективність, довговічність і економічну ефективність на рівні, достатньому для забезпечення життєздатної системи. До того, як ці системи перевершуватимуть комбінацію окремих сонячно-фотоелектричних та електролізних систем, ще довгий шлях. Така комбінована система може бути розгорнута гнучко для перетворення сонячної енергії в електроенергію або водень.

Перелічені варіанти виробництва водню мають TRL 3 для фотокаталізу, 7 - для надкритичної газифікації води і 8 для перетворення біогазу¹⁶. Витрати на виробництво у 2030 р. для різних варіантів були оцінені з використанням практичних даних і математичного моделювання. У випадку малого виробництва на місці (0,2-4,0 т на добу H₂) витрати на ферментацію в поєднанні з перетворенням були оцінені як найнижчі, на рівні 3,5-5,5 євро за кілограм водню. Інші варіанти використання біомаси становлять 4,5-6,5 євро/кг.

У випадку великомасштабного централізованого виробництва (більше 20 тонн H₂ на добу) витрати на газифікацію біомаси, фотокаталіз та виробництво за допомогою термохімічних циклів відповідно становлять 3,0-3,5 євро за кілограм, 4,50-5,0 євро за кілограм і 6,0-6,5 євро за кілограм. Оскільки більшість варіантів все ще потребують великих науково-дослідних зусиль, витрати мають дуже приблизні значення.

Природний водень зустрічається нечасто, і його використання пов'язане з певними складнощами. За даними Університету Рейк'явіка та Наукового інституту Сігфуссон (Ісландія), в зонах тектонічного розширення плит і вулканічної активності газоподібний водень пробивається на поверхню і виділяється в атмосферу в технічно видобувній концентрації і кількості. Очищення газоподібного водню має першорядне значення для подальшого використання водню в паливних елементах. Дослідники зазначають, що це досить складне завдання, враховуючи існуючі технології очищення газу.

В Україні наразі відсутня інформація щодо наявності джерел природного водню в обсягах, придатних для промислового використання, що не виключає знаходження таких родовищ в майбутньому.

Таблиця 5. Прогнозні значення техніко-економічних показників виробництва «зеленого» водню

Виробництво водню електролізерами	Капітальні затрати (євро/кВт)	Операційні затрати/рік, %	Ефективність системи	Електроенергія (євро/МВт·год)	Водень (євро/кг)
2020-2025	300-600	1,5 %	75-80 %	25-50	1,5 – 3,0
2025-2030	250-500	1 %	80-82 %	15-30	1,0 – 2,0
До 2050	< 200	< 1%	> 82 %	10-30	0,7 – 1,5

¹⁶ Рівні готовності технологій (TRL) - це тип вимірювальної системи, що використовується для оцінки рівня зрілості певної технології. Кожен технологічний проект оцінюється за параметрами для кожного рівня технології, а потім присвоюється рейтинг TRL на основі прогресу проектів. Існує дев'ять рівнів готовності технологій. TRL 1 є найнижчим, а TRL 9 - найвищим. Коли технологія знаходиться на рівні TRL 1, починаються наукові дослідження і ці результати транслюються у майбутні дослідження та розробки. TRL 2 виникає після вивчення основних принципів та практичного застосування до цих початкових висновків. Технологія TRL 2 є дуже спекулятивною, оскільки експериментальних доказів концепції цієї технології практично немає. Коли починаються активні дослідження та проектування, технологія підвищується до TRL 3. Як правило, на цьому рівні необхідні як аналітичні, так і лабораторні дослідження, щоб перевірити, чи є технологія життєздатною та чи готова вона продовжувати процес розвитку. Часто під час TRL 3 будується модель підтвердження концепції. Після того, як технологія випробування концепції готова, вона переходить на TRL 4. Під час TRL 4 кілька компонентів випробовуються один з одним. TRL 5 є продовженням TRL 4, однак, технологія, яка знаходиться на рівні 5, визначена як макетна технологія і повинна пройти більш суворе випробування, ніж технологія, яка знаходиться лише на TRL 4. Моделювання слід виконувати в середовищах, наближених до реальних. Після завершення тестування TRL 5 технологія може перейти до TRL 6. Технологія TRL 6 має повністю функціональний прототип або репрезентативну модель. Технологія TRL 7 вимагає демонстрації робочої моделі або прототипу в космічному середовищі. Технологія TRL 8 протестована та "кваліфікована для польоту", і вона готова до впровадження до уже існуючої технології або технологічної системи. Після того, як технологія була «перевірена на польоті» під час успішної місії, її можна назвати TRL 9.

3.4 Економічний аналіз різних методів виробництва водню

Економічний аналіз різних методів виробництва водню наведено у **ДОДАТКУ 1**.

4. Аналіз інфраструктури для зберігання та транспортування водню

Зберігання водню

Водень може зберігатися в рідкому та газоподібному стані, що знаходиться під тиском (стисненому стані). Ємності для зберігання рідкого водню - це стаціонарні та транспортні контейнери, резервуари. Стислий газоподібний водень може зберігатися не тільки в резервуарах або балонах / контейнерах, але також під землею в соляних печерах, виснажених нафтових і газових родовищах або водоносних горизонтах, а також на ділянках газопроводів, які вже були виведені з експлуатації.

Існуючі соляні кімнати, що залишились після виснаження соляних шахт, є найбільш перспективним варіантом зберігання водню, враховуючи масштабні плани Європейського Союзу щодо інтеграції водневих технологій у різні галузі промисловості, з метою декарбонізації останньої. Деякі соляні кімнати на території країн ЄС вже використовуються для зберігання природного газу, стисненого повітря та палива, тоді як у Великобританії вони використовують їх для зберігання водню вже десятки років.

За даними Hydrogen Europe Industry Board, зберігання водневої енергії в соляних кімнатах є щонайменше в сто разів дешевшим, ніж зберігання електроенергії у сховищі енергії. Окрім соляних кімнат, доведено великий потенціал для нових резервуарів для зберігання в соляних шарах. Крім того, водень, ймовірно, може зберігатися в деяких виснажених газових родовищах, проте така технологія вимагає додаткових досліджень. Додаткова інформація про технології зберігання наведена в **ДОДАТКУ 2**.

Найдосконаліша технологія - це зберігання водню в електромобілях, що входить до складу паливних елементів, або, як альтернатива, накопичувач енергії.

Транспортування водню

Транспортування водню здійснюється в спеціальних контейнерах, призначених для цього (ємності, резервуари, контейнери / балони) і в трубопроводах як у чистому стані, так і в суміші з природним газом, перебуваючи в стислому або рідкому стані.

Транспортування водню, пов'язане з трубопроводами, також має перевагу перед передачею електричної енергії, коли водень відносно легко накопичувати і зберігати в підземних та наземних сховищах під тиском і передавати через газопроводи до споживачів за їх бажанням у заздалегідь визначений час та у контрольованій кількості.

У цьому відношенні перспективним є будівництво водневих трубопроводів. Захист таких транспортних шляхів від ворожого середовища вимагає значних інвестицій, однак готовий водневий трубопровід є найдешевшим способом доставки великих обсягів водню. Розвиток мережі спеціалізованих трубопроводів також може перетворити водень на найдешевший спосіб передачі електричної енергії на великі відстані.

Потенційні можливості України у зберіганні та транспортуванні водню

Як і в інших країнах, газова промисловість України більш готова до отримання водню та його сумішей, ніж інші галузі. Вона володіє величезною мережею трубопроводів зі значно вищою потужністю передачі енергії, ніж лінії електропередач.

Розгалужена система основних газопроводів та газорозподільної мережі в Україні має значний потенціал для використання водню як на національному ринку, так і для експортних поставок.

Компанія РГК, яка контролює близько 70% газорозподільних мереж в Україні, у 2020 році почала проводити перші польові експерименти з транспортування суміші природного газу та водню. Це надасть можливість проаналізувати можливості інфраструктури для забезпечення надійних поставок газових / водневих сумішей кінцевим споживачам у різних регіонах. Попередні висновки, згідно з офіційними звітами компанії РГК, продемонстрували можливість використання 10-15% водню в суміші з природним газом для доставки клієнтам компанії.

Інфраструктура основних газопроводів України може широко використовуватися для експорту сумішей газ / водень або лише водню за різними маршрутами та напрямками, без негативного впливу на безпеку та надійність постачання газу всередині країни. Наявність різних режимів організації роботи газотранспортної системи (ГТС) дозволяє використовувати різні сценарії транспортування. Така гнучкість експлуатації є важливою конкурентною перевагою української системи магістральних газопроводів, що дозволяє їй залишатися помітним активом на європейському газовому ринку, незважаючи на факт її трансформації під впливом нових політичних та економічних факторів.

Таблиця 6. Загальна технічна характеристика газотранспортної системи України¹⁷

Довжина газопроводів	38.9 тис. км
Довжина магістральних трубопроводів	22.2 тис. км
Пропускна здатність на вході	288 млрд. куб. м на рік
Пропускна здатність на виході	178.5 млрд. куб. м на рік
Пропускна спроможність на виході до ЄС	146 млрд. куб. м на рік
Кількість газотранспортних одиниць	702 шт
Кількість компресорних станцій	72 шт
Електрична потужність компресорних станцій	5448.0 МВт

Джерело: ПАТ “Укртрансгаз”

Найбільш актуальною проблемою на даний момент є перспективи української ГТС після ймовірного розірвання поточного контракту на транзит російського природного газу в 2024 році. Навіть на даний момент потужності ГТС використовуються не повністю і можуть бути частково виведені з експлуатації. Однак, існує також можливість модернізації газопроводів для альтернативних варіантів їхнього використання, пов'язаних із поставками водню або суміші газ / водень як на національний ринок, так і на експорт до країн ЄС, зокрема: Румунії, Словаччини, Угорщини та Польщі.

Можна стверджувати, що режими роботи основних українських газопроводів дозволяють організувати не тільки експорт водню або суміші газ / водень з території України до ЄС, а й зворотний потік з європейського ринку назад до України. Також можливо реалізувати інвестиційні проекти з будівництва нових спеціальних трубопроводів для транспортування водню.

Потенціал можливостей зберігання водню в Україні вимагає подальших досліджень. Це, зокрема, стосується потужностей підземних сховищ газу (USF), які зосереджені в західних регіонах країни. Особливістю українських споруд USF є те, що вони були створені на вже виснажених родовищах видобутку природного газу. Хоча більша частина USF в ЄС - це соляні кімнати, які мають найбільш підходящі характеристики для зберігання водню.

Виведені з експлуатації магістральні газопроводи в процесі модернізації української ГТС також можуть бути використані для зберігання водню. Географія їх розташування стане зрозумілішою після того, як з'явиться більше визначеності щодо перспектив співпраці між Україною та Росією.

Попередньо можна зробити висновок, що розвиток допоміжних послуг на ринку електричної енергії в Україні не стимулюватиме розширення потужностей для зберігання водню. Цьому, зокрема, сприятиме будівництво сховищ енергетичних споруд на базі паливних елементів - вони накопичуватимуть електричну енергію, перетворену у водень за допомогою водного електролітичного процесу за допомогою відновлюваних джерел енергії.

¹⁷ Ситуація на українському ринку природного газу та транспортної системи, KPMG Market study, 10 April, 2017 (<https://www.nord-stream2.com/media/documents/pdf/en/2017/04/kpmg-situation-of-the-ukrainian-natural-gas-market-and-transit-system-2017-04-10.pdf>)

Крім того, балони / контейнери тих типів, які на даний час використовуються для стиснених вуглеводневих газів або скрапленого природного газу в якості палива для автотранспорту або побутових цілей, де немає централізованого газопостачання, і можуть використовуватися для зберігання і транспортувати водень. За умов тенденції декарбонізації економіки попит на природний газ у цих сегментах споживачів буде постійно зростати. Тому Україні краще почати думати про розширення власного виробництва газомісних цистерн. Ці підприємства з виробництва резервуарів могли б виготовляти спеціальні резервуари для зберігання водню в рідкому та газоподібному стані під тиском. Такі системи будуть затребувані як на національному ринку, так і для постачання водню для експортних цілей.

5. Аналіз потенціалу та досвіду виробничого обладнання для виробництва водню всередині країни

5.1. Потенціал виробництва водню в Україні

Використання водню як проміжного енергоносія для забезпечення збалансованого використання неконтрольованих відновлюваних джерел енергії (вітрової та сонячної електроенергії) на всіх етапах може орієнтуватися на відповідні обсяги генерації. Можливі обсяги виробництва електроенергії вітровими та сонячними електростанціями (ВЕС та СЕС) означено «Енергетичною стратегією України на період до 2035 року». Оскільки ця Стратегія орієнтована переважно на традиційну енергетику, Інститут відновлювальної енергії НАН України розрахував найбільш перспективні досяжні показники і визначив найбільш перспективні показники як альтернативні положення для розвитку стратегії в електроенергетичному секторі. Оскільки головною перепоною для масштабного впровадження ВЕС та СЕС є перемінливий характер їхньої генерації, то на регулювання енергобалансу вони можуть спрямувати частину своєї потужності.

Якщо балансування здійснюється шляхом акумуляування та повторного використання частини енергії, то з урахуванням ККД процесу «електроенергія-електроліз-паливний елемент-електроенергія» на рівні 40% та потреби спрямувати на балансування 10-15% перемінної енергії, пропорція генерації в мережу та потреб балансування має становити 3:1 (експертні дані). Обсяги «зеленого» водню, генерованого для потреб електроенергетики в рамках поточної стратегії, наведено в Таблицях 7, 8 та 9.

Використання водню як проміжного енергоносія для забезпечення збалансованого використання відновлюваних джерел енергії (вітрової та сонячної електроенергії) на всіх етапах може орієнтуватися на відповідні обсяги генерації. Потенційно можливий обсяг виробництва «зеленого» водню в Україні розраховано Інститутом джерел відновлювальної енергії НАН України за результатами проведених наукових досліджень потенціалу генерації електроенергії вітро- та фотоелектричними станціями. Для розрахунку потенційно можливого обсягу виробництва «зеленого» водню за допомогою електролізу передбачено питоми споживання електроенергії 4,5 кВт·год/нм³ або 50,6 кВт·год на 1 кг водню.

Таблиця 7. Орієнтовний прогноз виробництва «зеленої» електроенергії та водню¹⁸

		рік	2025	2030	2035
Енергетична стратегія	млрд. кВт·год		12	18	25
	H ₂ (млрд. нм ³)		0,6	0,9	1,2
Дані ІВЕ	млрд. кВт·год		21,6	35,5	52,5
	H ₂ (млрд. нм ³)		1,1	1,8	2,6

Зазначені обсяги «зеленого» водню можуть застосовуватися в енергетичній системі в якості акумуляючого енергоносія. Решта водню, отриманого в тому числі з відновлюваних джерел (Див. Табл.7), може спрямовуватися для інших потреб.

У Таблиці 8 надано сценарії розрахунку технічно досяжного потенціалу «зеленого» водню в Україні на базі ВДЕ (вітер, сонце). Сценарії базуються на дослідженнях природного потенціалу України, виконаних Міжнародною Енергетичною Агенцією (IRENA) та Інститутом відновлюваної енергетики НАН України та, виходячи з «Енергетичної стратегії України на період до 2035 року».

¹⁸ Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України, Інститут відновлюваних джерел енергії, 2019

Таблиця 8. Оцінка середньорічного енергетичного потенціалу ВДЕ України та еквівалентного електролізу «зеленого» водню¹⁹

Джерело інформації	Вид ВДЕ		Потужність, ГВт	Електроенергія, млрд. кВт-год	Виробництво H ₂ , млрд. нм ³
IRENA	ВЕС	Разом, у т.ч.:	466	1428	317
		наземні	320	858	191
		офшорні	146	570	126
	СЕС		71	88	20
	Всього ВДЕ		537	1516	337
IBE НАН України	ВЕС	Разом, у т.ч.:	688	2174	483
		наземні	438	1190	264
		офшорні	250	984	219
	СЕС		83	99	22
	Всього ВДЕ		771	2273	505
Енергетична стратегія	Всього ВЕС і СЕС		-	25	5,5

Оскільки потреби інтеграції ВДЕ до енергетичної системи у водні незначні порівняно з досяжним потенціалом виробництва «зеленого» водню, то означені в Табл. 8 обсяги водню можуть бути спрямовані на декарбонізацію енергетики в цілому, комунальні потреби, транспорт, промисловість чи на експорт.

Отже, ми бачимо потенціал для створення на території України 537-771 ГВт потужностей на базі ВДЕ з середньорічним виробництвом електроенергії 1516-2273 млрд. кВт-год, що в 10-15 разів перевищує річне споживання електроенергії в Україні і може забезпечити виробництво 337-505 млрд./нм³ водню шляхом електролізу.

Розподіл потенціалу «зеленого» водню територією України наведено в Табл. 9.

Таблиця 9. Розподіл потенційного середньорічного виробітку «зеленого» водню²⁰

Область	Млн. нм ³	Тис. тонн
Автономна Республіка Крим	14314	1274
Вінницька область	9055	806
Волинська область	5074	452
Дніпропетровська область	24692	2198
Донецька область	20516	1826
Житомирська область	7515	669
Закарпатська область	1170	104
Запорізька область	21029	1872
Івано-Франківська область	1968	175
Київська область	8263	735
Кіровоградська область	13711	1220
Луганська область	20646	1837
Львівська область	5637	502
Миколаївська область	19032	1694
Одеська область	22173	1973
Полтавська область	9818	874

¹⁹ IRENA, 2019; Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України, Інститут відновлюваних джерел енергії, 2019; Енергетична стратегія України на період до 2035 року.

²⁰ Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України, Інститут відновлюваних джерел енергії, 2019

Рівненська область	5409	481
Сумська область	7570	674
Тернопільська область	4721	420
Харківська область	17517	1559
Херсонська область	22021	1960
Хмельницька область	7051	628
Черкаська область	7138	635
Чернівецька область	1753	156
Чернігівська область	8598	765
Разом	286390	25489
Акваторії	218742	19468
Всього	505132	44957

Підвищений потенціал виробництва водню в південних регіонах обумовлений більшими середніми швидкостями вітру і вітровим потенціалом загалом, а також вищим рівнем сонячної радіації на одиницю території в річному вимірі. Звичайно, не увесь цей водень може бути отримано в даний час з огляду на ряд технічних та економічних обставин. Однак потенціал зеленого водню є цілком достатнім як для внутрішнього ринку.

5.2 Досвід виробництва обладнання для виробництва водню в Україні

Аналіз виробничої бази України здійснено шляхом використання даних, які стосуються різних аспектів водневих технологій, а саме: отримання водню, застосування водню, а також можливості його транспортування та приклади практичного застосування водневих установок.

В Україні цирконієво-керамічна паливна комірка на полегшеному металевому носії для енергетичних систем безпілотних літальних апаратів розроблялась низкою інститутів НАН України (Інститутом проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича, Інститутом загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського, Інститутом біологічної хімії, Фізико-механічним інститутом ім. І.В. Карпенка, Інститутом фізичної хімії ім. М.В. Писаржевського), а також створено зразки низькотемпературних паливних комірок з мембрано-електролізним блоком на основі комерційної іон-провідної мембрани «Нафіон».

В Інституті проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України розроблено технологію виготовлення новітніх мембрано-електродних блоків різних розмірів для низькотемпературних воднево-кисневих паливних елементів і батарей на основі протон-провідних мембран та вдосконалених катодних і анодних каталізаторів. На основі цієї технології на ПАО "ЕЛМІЗ" організоване виробництво демонстраційних наборів до курсу «Електрохімічна енергетика» у вищих навчальних закладах та середній школі. Ці набори демонструють сучасні технологічні принципи створення та роботи паливних елементів і можуть використовуватися для проведення дослідів і наукових експериментів.

Співробітниками Інституту відновлюваної енергетики НАН України споруджено і введено в дію демонстраційну вітрову електростанцію ВЕУ-08, яка призначена для виробництва водню за допомогою електролізера. Основні елементи системи: вітроелектрична установка, блок керування, акумуляторні батареї, електролізер.

В Інституті проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України розроблені електролізні комірки та електролізери з використанням активного газопоглинаючого електроду.

В конструкції електролізера реалізується розроблена технологія розділення процесів виділення газів (водню та кисню) в часі, тобто процес роботи електролітичної системи стає циклічним – складається з періодів виділення водню та кисню, що чергуються. Розроблений

варіант електролізера, забезпечує отримання водню та кисню при тиску 150 атм. без використання компресора.

Для електрохімічного процесу генерації водню та кисню доцільно застосовувати просту конструкцію електролізерів водню високого тиску (ЕВТ), що дозволить виключити складнощі з його установкою та обслуговуванням в процесі експлуатації. Компонувачні схеми ЕВТ виконані на основі єдиної рами та умовно розділені на два основні відсіки:

- відсік електрохімічної генерації водню та кисню;
- відсік силової електроніки та управління.

Для збільшення продуктивності ЕВТ необхідно відповідне збільшення кількості електрохімічних комірок, або підбір відповідного корпусу електрохімічної комірки.

В Інституті проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України розроблені ЕВТ модульної конструкції, що забезпечують можливість отримання необхідної продуктивності шляхом об'єднання уніфікованих електролізних комірок:

- 1) ЕВТ 0,2-150, забезпечує продуктивність 0,2 м³ Н₂/год та 0,1 м³ О₂/год ;
- 2) ЕВТ 0,5-150, забезпечує продуктивність 0,5 м³ Н₂/год та 0,25 м³ О₂/год;
- 3) ЕВТ 1,0-150, складається з двох комірок типу ЕВТ 0,5-150, що забезпечує продуктивність 0,5 м³ Н₂/год та 0,25 м³ О₂/год;

Національний університет суднобудування (Миколаїв) розробив експериментальну сонячно-водневу установку з виробництва водню з використанням електроенергії, отриманої з сонячних фотоелектричних панелей. Установка призначена для зберігання отриманого водню, стиснення його за допомогою гідридного металевго компресора та заповнення композитних балонів для подальшого використання на електростанціях з паливними елементами. Продуктивність установки становить 10,0 кг Н₂ на добу, чистота водню 99,97%, тиск стиснення 60-80 МПа, режим роботи циклічний: вдень виробляється водень, вночі відбувається стиснення та наповнення балонів.

Цей Університет також розробив експериментальну установку для вилучення водню із газової суміші (синтетичного газу, супутніх та технологічних газів тощо) з використанням технології гідриду металу та його очищення. Продуктивність заводу становить 0,5 - 2,0 кг Н₂ на добу залежно від вмісту його в газовій суміші, чистота водню 99,97%, тиск подачі споживачеві 3,0-15,0 МПа. Режим роботи - безперервний.

В даний час Університет випробовує експериментальну установку для транспортування водню із застосуванням суспензії гідридоутворюючого матеріалу в органічній рідині. Рідка суспензія, насичена воднем до вмісту 1,0%, перекачується трубопроводами до споживача, де нагрівання виділяє водень під тиском 5,0... 15,0 МПа.

6. Дорожня карта для впровадження водневих технологій в Україні

6.1. Дії та заходи на національному рівні

Україна бере активну участь у процесі пом'якшення наслідків зміни клімату, є учасницею Рамкової конвенції ООН про зміну клімату (РКЗК ООН) та її Кіотського протоколу та була однією з перших європейських країн, яка ратифікувала Паризьку угоду (14 липня 2016 року). Зміна клімату впливає безпосередньо на Україну та призводить до підвищених ризиків для здоров'я та життя людей, природних екосистем та економіки.

Європейський Союз (ЄС) займає перше місце в міжнародних зусиллях по боротьбі зі зміною клімату. Мета переходу ЄС на кліматично нейтральний розвиток у період до 2050 року, викладена в Європейській стратегії "Зеленої угоди", призведе до значного прискорення трансформації енергії в країнах ЄС, що відобразиться на всіх секторах економіки, а також на співпраці з іншими країнами Європи та за її межами. Ця трансформація буде одночасно викликом та можливістю для України як країни, яка має Угоду про асоціацію з ЄС та є учасницею Договору про Енергетичне Співтовариство. Україна повністю підтримує європейські угоди на 2020, 2030 і 2050 роки (Європейська політика щодо клімату та енергетики до 2020, 2030 та 2050 роки, опублікована в лютому 2019 року) і прагне виконувати свої зобов'язання за Паризькою угодою. Україна прагне:

- 1) зменшити загальний обсяг викидів парникових газів на 20% до 2020 року, 40% до 2030 року;
- 2) збільшити частку відновлюваної енергії до 25% у виробництві енергії до 2035 року;
- 3) стати кліматично нейтральною до 2050 року відповідно до довгострокових амбіцій членів ЄС (бути синхронізованою з політикою ЄС).

Для досягнення цих цілей Україна має намір застосувати інновації та стати регіональним лідером у технологіях чистої енергетики. Це дасть країні конкурентну перевагу. Рада національної безпеки і оборони України прийняла рішення забезпечити перегляд Енергетичної стратегії України на період до 2035 року "Безпека, ефективність, конкурентоспроможність", затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України № 605-р від 18 серпня 2017 р.²¹, у зв'язку з чим була розроблена Концепція «зеленого переходу». Вона передбачає динаміку скорочення викидів промислового газу для переходу до кліматично нейтральної економіки з дотриманням принципу справедливості та в контексті досягнення сталого розвитку, зокрема, "зелений" енергетичний перехід покликаний забезпечити стимули для розвитку високотехнологічного виробництва в Україні, що призведе до збільшення внутрішнього попиту на товари та послуги, пов'язані з чистими технологіями, та посилення їхнього експортного потенціалу. Концепція «зеленого переходу» буде інтегрована до Національного плану з питань енергетики та зміни клімату до 2030 року. Енергетична стратегія України до 2035 року передбачає розмежування споживання енергії та економічного зростання: прогнозується, що ВВП у 2011 р. за КПС (паритетом купівельної спроможності) збільшиться у 2,3 рази за 20 років, із середньорічним рівнем 4,2%, тоді як загальне постачання первинної енергії (TPES) збільшується лише на 7%. Як результат, енергетична інтенсивність, за прогнозами, зменшиться більш ніж удвічі з 0,28 до 0,13. Крім того, структура TPES значно змінюється, загальна частка ВДЕ зростає з 4% у 2015 році до 25% у 2035 році.

Енергетичний перехід - це амбіційний стратегічний вибір України, який визначить основні тенденції та напрямки розвитку національної економіки. Реалізація Концепції сприятиме зміцненню міжгалузевих зв'язків та формуванню кластерів сталого розвитку в економіці, посиленню інноваційної та інвестиційної діяльності, створенню нових можливостей для працевлаштування, підвищенню конкурентоспроможності українських підприємств,

²¹ <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80>

просуванню України вперед у світових рейтингах для значного покращення інвестиційного клімату.

Поточна політика підтримки відновлюваних джерел енергії є недостатньою для повної декарбонізації, зменшення викидів, щоб залишатися на рівні Паризької угоди. Більшість відновлюваних джерел енергії в Україні в даний час забезпечують лише електроенергією, тоді як енергетичний перехід сприяв би збільшенню використання ВДЕ у транспорті та промисловості.

Для досягнення енергетичного переходу такого масштабу знадобиться багато нових технологій, які замінять поточну залежність від звичайної енергії. **Водневі технології** (особливо на основі поновлюваних джерел) останнім часом розглядаються як потенційно важливі для реалізації амбітних планів декарбонізації національного значення. Для різних форм кінцевого споживання безвуглецевий водень є одним із варіантів, який може призвести до поліпшення стійкості. Розвиток попиту та пропозиції на цей тип водню в ідеалі повинен прогресувати паралельно. Високий попит з боку кінцевих споживачів стимулюватиме швидкий розвиток ринку водню. Після встановлення чітких правил на ринку та вжиття успішних кроків у масштабі виробництва, що призведе до зменшення витрат, це призведе до більш чіткої картини для потенційних споживачів щодо того, наскільки водень може бути для них корисним. Поліпшення розуміння серед основних потенційних споживачів щодо економічної ефективності стійкого водню у зменшенні викидів CO₂ порівняно з іншими заходами, такими як електрифікація, у свою чергу, дасть кращу картину загальної потенційної потреби у водню. Крок за кроком розвиватиметься новий ринок, де водень займе своє місце як носій енергії в енергетичній системі з нульовим рівнем вуглецю.

Ця Дорожня карта висвітлює водневі технології як значну частину поєднання технологій, необхідних для переходу України до кліматично нейтральної економіки у другій половині цього століття, і покликана внести ясність щодо їхньої адаптації як однієї з основних технологій, здатних підтримати повний процес "зеленого переходу" з великим потенціалом:

- зменшити залежність України від викопного палива;
- декарбонізувати промисловість, яка сильно залежить від викопного палива;
- декарбонізувати транспортний сектор;
- розвивати мобільність на відновлюваній основі;
- покращити енергоефективність та енергозбереження;
- інтегрувати варіанти гнучкості, щоб забезпечити баланс виробництва відновлюваної електроенергії та попиту.

У цій Дорожній карті водень представляє широкий спектр можливостей та технологій. Він може використовуватися для отримання аміаку, сечовини, вуглеводнів, біо- та синтетичного палива разом із іншими молекулами (насамперед азотом та вуглекислим газом). Водень може зберігатися і транспортуватися різними способами: у вигляді рідини, в газоподібному стані або зв'язаний з іншими речовинами. Водень може вироблятися різними способами. У всіх цих сферах компанії та науково-дослідні інститути працюють над фундаментальними та прикладними дослідженнями та інноваціями, спрямованими на те, щоб зробити процеси та програми більш ефективними, стійкими та дешевими. Напередодні 2030 р. буде необхідний значний інноваційний стимул як в організаційному, так і в технологічному плані, щоб прогресивні водневі технології могли впроваджуватися впродовж 2030-2050 рр. Посилення цільових інновацій та надання підтримки пілотним проектам становитимуть ядро спільних зусиль уряду, ділових кіл та науково-дослідних інститутів. Уряд повинен вітати системні інновації, що поєднують енергетичні рішення з альтернативною сировиною та системами CCS. Нарешті, уряд очікує від підприємств, щоб вони взяли на себе відповідальність, інвестуючи в ті енергоефективні технології, які вже є економічно вигідними.

Дорожня карта визначає чотири сектори (Базові принципи) для впровадження водневих технологій в Україні.

Базовий принцип 1. Трансформація систем електропостачання та опалення

Навіщо трансформувати?

Енергетичний перехід означає перехід від економіки на основі викопного палива до економіки, що базується на відновлюваних джерелах енергії з нульовими викидами вуглецю. У 2018 році на відновлювані джерела припадало лише 5% енергетичного комплексу та 9% виробництва електроенергії (13,4 ТВт-год у 2019 році). Хоча енергетичний комплекс в Україні відносно диверсифікований, при цьому жодне паливо не становить більше 30% енергетичного комплексу, енергоємність на ВВП за паритетом купівельної спроможності (ПКС) дуже висока: 0,25 тонни нафтового еквіваленту (тобто друга за величиною серед країн-членів EU4Energy, після Туркменістану, і вдвічі перевищує середній показник у світі (0,11 тонни нафтового еквівалента / 1000 доларів США). У 2018 році частка вугілля (основного палива в країні) впала до 30%, а потім природного газу (28%) та ядерного (24%). Україна виробляє все викопне паливо (у 2018 році: 14,4 мільйона тонн нафтового еквіваленту [Mtoe] вугілля, 16,5 Mtoe природного газу та 2,3 Mtoe сирової нафти), але в кількості, недостатній для забезпечення загальної потреби в енергії. В даний час природний газ є основним джерелом енергії для опалення будівель та водопостачання, причому основними споживачами його є домогосподарства (8,7 Mtoe в 2018 році). Більшість вугілля, яке споживається в країні, використовується для виробництва електроенергії та тепла.²²

Сектор електропостачання потребує декарбонізації, а також переходу до нових цифрових технологій, беручи до уваги його сучасний стан: основна інфраструктура енергетичної системи України все ще схожа на інфраструктуру 60-річної давнини, яка сильно залежить від імпорту палива. Зношеність генеруючих потужностей, нерівномірний розподіл генерації та споживання енергії між регіонами, недостатня гнучкість енергосистеми, складні екологічні умови, що обмежують можливості розвитку енергетики тощо - це лише кілька причин, які можна назвати виправданням змін у межах енергетичної системи. Цього можна досягти шляхом інтеграції цифрових технологій у всі аспекти енергетичної системи, включаючи технології виробництва, передачі та попиту. Повинні бути паралельні процеси модернізації, скорочення викидів вуглецю та поступове зменшення частки видобутку вугілля відповідно до принципу соціальної прийнятності та пристосованості галузі до змін. Частка виробництва ядерної енергії в електроенергетичному балансі України залишатиметься приблизно на тому ж рівні (~ 50%) принаймні до 2030 року²³, але згодом зменшиться, оскільки деякі АЕС будуть виведені з експлуатації (згідно з Енергетичною стратегією 2035 року нові потужності АЕС будуть збудовані, але не повністю замінюючи виведені з експлуатації потужності). Гідроенергетика також залишиться на сучасному рівні, враховуючи обмежені наявні водні ресурси для цих цілей. Беручи до уваги політичний курс на інтеграцію національної енергосистеми з енергосистемою Європейського Союзу, імпорту та експорту електроенергії забезпечить необхідну технічну та ринкову конвергенцію.

Що трансформувати?

1. **Сектор електропостачання:** Сектор електропостачання України сьогодні представляє централізоване виробництво, яке базується переважно на широкомасштабному спалюванні викопного палива та енергії, що надходить від пропозиції до попиту. Після енергетичного переходу виробництво електроенергії базуватиметься переважно на відновлюваних джерелах енергії, таких як сонячна енергія. Як результат, генерація більше не відбуватиметься на великих промислових підприємствах. Вона буде розсіяна в системі в місцях споживання. Зміна відбуватиметься від системи, що базується на великому масштабі транспортованої електроенергії на великі відстані, до системи з місцевим виробництвом та зберіганням поблизу споживання. Щоб замінити видобуток викопних енергетичних ресурсів, слід збільшити масштаби виробництва енергії з відновлюваних джерел. Перехід призведе до різкого

²² (<https://www.iea.org/reports/ukraine-energy-profile>)

²³ Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей

збільшення використання низьковуглецевих джерел електроенергії, таких як сонце, вітер та вода.

Впродовж 2014-2020 років, 6,2 млрд. євро було інвестовано у будівництво 7,7 ГВт потужностей відновлюваних джерел енергії, потужність підприємств, що виробляють електроенергію з ВДЕ, збільшилась з 5,5 до 13,2 ГВт (з яких 4,7 ГВт складають великі гідроелектростанції), включаючи:

- потужність вітроелектростанцій збільшилась з 426 to 1314 MW;
- потужність сонячних електростанцій збільшилась з 411 до 6094 МВт
- потужність сонячних електростанцій домогосподарств зросла до 779 МВт;
- потужність великих гідроелектростанцій збільшилась з 4547 до 4716 МВт;
- потужність малих гідроелектростанцій збільшилась з 80 до 117 МВт;
- потужність біоенергетичних установок збільшилась з 49 до 212 МВт.

За сценарієм, розробленим експертами Національної Академії Наук (НАН), до 2035 року 90% виробництва електроенергії в Україні може бути забезпечено відновлюваними джерелами енергії. Згідно з Енергетичною стратегією України на період до 2035 року, метою частки ВДЕ у загальному енергетичному комплексі є лише 25% кінцевого споживання енергії. У той же час, згідно з вищезазначеним сценарієм, до 2035 року можна досягти збільшення частки відновлюваної енергії до 40% при одночасному зменшенні загального споживання на 28% за рахунок енергозберігаючих заходів та підвищення енергоефективності.

2. Опалення житлових та нежитлових приміщень: Споживання енергоресурсів у житлових та нежитлових будинках в Україні становить приблизно 40% від усіх споживаних енергоресурсів, а кількість споживаної енергії на 1 м² у кілька разів перевищує показник у країнах ЄС з подібними кліматичними умовами. В даний час опалення в значній мірі залежить від викопного палива. Перехід тепла потребуватиме змін в інфраструктурі. Способи отримання безвуглецевого опалення:

- а) сонячно-теплове опалення (працює лише в більш південних регіонах);
- б) теплові насоси (витягують тепло ззовні або з землі);
- в) електричне опалення (перетворення електроенергії на тепло. Потрібно використовувати електроенергію, яка передбачає, що вона буде здебільшого вироблятися за рахунок відновлюваних джерел енергії).

Прийняття рішень щодо більш стійкого теплопостачання повинно поєднуватися з планами встановлення нової або поступової відмови від існуючої інфраструктури, або планами реструктуризації житлових районів та нежитлових будівель (шкіл, лікарень, бізнес-парків тощо). Рішення щодо організації теплопостачання найкраще приймати на місцевому рівні, виходячи з місцевих умов та переваг. Отже, для полегшення прийняття індивідуальних рішень для житлових районів, прийняття рішень щодо переходу тепла повинно стати більшим регіональним питанням, ніж сьогодні, з більшою роллю місцевих органів влади, керівників будівель, забудовників та мешканців.

Як водневі технології можуть допомогти?

ЗАВДАННЯ	ВОДНЕВІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РІШЕННЯ	ДІЇ ТА НОРМИ, НЕОБХІДНІ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ВОДНЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Цілі скорочення ПГ в Україні	Україна повинна відкрити більше галузей для більш відновлюваних та декарбонізованих газів. Впровадження водневих технологій перетворення енергії в газ (P2G) може створити галузь для виробництва водню та інших низьковуглецевих, декарбонізованих та	<ul style="list-style-type: none"> • узгодити використану термінологію з міжнародно прийнятою з огляду на майбутні дебати щодо енергетичного переходу; • інтегрувати амбіційні цілі декарбонізації в нову газову термінологію;

	<p>відновлюваних газів для потреб енергосистеми. Електростанції на біомасі в поєднанні з впровадженням нових виробничих потужностей та, можливо, нових атомних енергетичних технологій - особливо на природному газі із захопленням та зберіганням вуглецю (у довгостроковій перспективі - на основі технологій відновлюваною водню) та біогазу, будуть накопичувати та зберігати технології електроенергії для балансування в енергосистемі.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • забезпечити прозорість процесів видобутку газу та їхньої стійкості / скорочення ПГ; • узгодити різні робочі потоки з огляду на розвиток нових газових ринків; • сприяти розмежуванню гарантій походження від відновлюваних, декарбонізованих та низьковуглецевих газів; • стимулювати попит та інвестиції в заводи, що виробляють / використовують відновлювані, декарбонізовані та низьковуглецеві гази. • створити інвестиційну перспективу для необхідної модернізації газотранспортних та розподільчих мереж • уряд повинен провести дослідження переваг та недоліків прив'язки виробництва водню до вітрової та сонячної енергії за допомогою інтегрованих тендерів.
<p>Енергетичний перехід для трансформації електроенергетичної системи та виробництва електроенергії</p>	<p>Масштабне виробництво відновлюваної електроенергії залишатиметься важливим для задоволення попиту жителів та підприємств на енергію. Якщо постачання безвуглецевого водню вдасться вчасно збільшити, це дасть перспективи більшій кількості сторін, в тому числі невеликим клієнтам, які відіграють роль у забезпеченні гнучкості, досягти зменшення CO₂ в електроенергетичному секторі в довгостроковій перспективі.</p>	<p>Уряд України повинен вітати та підтримувати місцеві ініціативи. Широкий спектр політичних інструментів може бути використаний для підтримки ініціатив та стимулювання та сприяння розвитку ринку. Ключовим процесом у цьому контексті є перегляд чинних положень та норм України, с також розвиток нових керівництв з технічної безпеки, заснованих на міжнародних та європейських директивах.</p> <p>На місцевому та регіональному рівнях слід розпочати ініціативи щодо поєднання місцевого виробництва відновлюваної енергії з виробництвом, використанням та зберіганням водню. Як результат, генерація більше не відбуватиметься на великих промислових підприємствах. Вона буде розподілена в системі в місцях споживання.</p>
<p>Гнучкість і стабільність електричної мережі</p>	<p>Використання чистого водню на установках, що працюють на природному газі, дає можливість стійко реалізувати гнучку енергетичну потужність. Газотурбінні двигуни із звичайною системою згорання природного газу або системою згорання з впорскуванням води можуть працювати на H₂ або H₂-насичених паливах з трохи модифікованими або немодифікованими центральними інжекторами. Потрібні модифікації системи подачі палива та інжекторів. Невеликі газові турбіни потужністю менше 25 МВт можуть працювати на H₂ або H₂-насичених паливах з незначними модифікаціями або зовсім без них, подібно до газових турбін для центрального виробництва електроенергії.</p> <p>Оскільки H₂ можна спалювати в газових турбінах, ці турбіни можуть забезпечити ранній ринок додаткового виробництва</p>	<p>Існує необхідність досліджень та розробок для вирішення питань, які включають наступне:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) технологія спалювання для зменшення викидів NO_x та досягнення більш високої ефективності, (2) управління паливом та засоби контролю функціональності та вимог безпеки, (3) компроміси щодо економічності та ефективності, (4) сумісність матеріалів компонентів з газом, що згоряє, воднем, і (5) розробка та оптимізація систем.

	<p>H₂ - припускаючи, що H₂ не генерується з природного газу. Турбіни, розташовані на місці виробництва водню, могли б виробляти електроенергію, яка могла б передаватися за допомогою звичайної системи передачі та розподілу електричної енергії (T&D) житловим, комерційним та промисловим споживачам.</p> <p>Погодинне моделювання роботи Інтегрованої електромережі України продемонструвало, що можна досягти стабільного енергопостачання впродовж року в будь-яких погодних умовах в Україні на основі поєднання існуючих технологій ВДЕ, газотурбінних станцій (на проміжному етапі) та водневих технологій зберігання та перетворення енергії.</p>	
Розробка оновленої електромережі	<p>Міжнародний досвід показав, що надзвичайно важливим є ефективне узгодження розвитку електричної та водневої мереж. Близькість до газової інфраструктури, місця для електролізерів та простір та потужності електроенергетичної інфраструктури є ключовими аспектами в цьому відношенні. Перетворення електроенергії у водень характеризується втратами енергії, які можуть вплинути на просторові потреби у виробництві енергії.</p>	<p>Уряд потребуватиме вказівок у консультації з промисловими кластерами щодо точного розташування електролізерів.</p>
Стабільність опалення будівель та районів	<p>Оскільки очікується, що доступність відновлюваного водню буде обмежена, водень у забудованому середовищі спочатку буде використовуватися для будівель та районів, які важко зробити іншими більш стійкими способами.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Початковою точкою буде впровадження місцевих планів систем опалення. Уряд повинен підтримувати спільні зусилля та процес прийняття рішень на місцевому рівні, де це можливо, серед іншого переглядаючи політику та ринкові правила щодо постачання альтернативної енергії та обслуговування нової інфраструктури. • Оновити Національний план дій з енергоефективності (НПДЕ), прийнятий у 2015 році, наголошуючи на ізоляції будівель та енергоефективності як на найбільш бажаних стратегіях.

Досі важко передбачити, за якою ціною відновлюване паливо насправді стане доступним, і чи ця ціна також призведе до доступного варіанту. Також важко підрахувати, коли і які обсяги стануть доступними. Отже, деякі зміни можуть бути внесені в енергетичні процеси під час переходу енергії. Побутові прилади та ліхтарі потрібно зробити більш ефективними, щоб зменшити попит на електроенергію. Потрібно буде різко скоротити використання природного газу, щоб зробити енергопостачання України більш стійким, насамперед, *зосередившись на енергозбереженні*.

Україна вже прийняла Національний план дій з енергоефективності (НПДЕЕ) у 2015 році, узгоджений з Договором про Енергетичне Співтовариство. НПДЕЕ визначає заходи з енергоефективності для досягнення економії енергії на 9% у 2020 році порівняно із середнім внутрішнім кінцевим споживанням впродовж 2005-09 років. Однак, два великі спади в 2009 та 2013- 14 рр. та втрата державного авторитету над Кримом та частиною Донбасу вже зменшили

загальне кінцеве споживання на 29,6% у 2015 р. Порівняно із середнім показником у 2005 р., що значно перевищило затверджену мету на 2020 р. Це зниження споживання може бути пов'язане здебільшого зі структурними змінами у промисловості та загальним падінням активності, цілі енергоефективності НПДЕЕ слід переглянути, щоб скористатися значним невикористаним потенціалом енергоефективності України. Тому затверджений урядовий Національний план дій (НПД) передбачає розробку нового НПДЕЕ та оновленого НПДОВДЕ, які діятимуть до 2030 року, припускаючи, що всі плани на 2019 рік (для НПДЕЕ) та на 2020 рік (для НПДОВДЕ) реалізовані. У червні 2019 року НПД також поклав на Мінірегіон відповідальність за звітування про оціночні показники показника енергоефективності (EEI) в Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження, засновану на методології Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), та публікацію таких оцінок для промисловості, сільського господарства, сфери послуг, будівництва та житловий сектор до кінця 2019 року. EEIs мають важливе значення для оцінки невикористаного потенціалу економії енергії, встановлення цілей енергоефективності та забезпечення моніторингу прогресу.

Базовий принцип 2. Перетворення тепла, що виділяється в процесі виробництва

Навіщо потрібне перетворення?

Промисловість є найбільшим кінцевим споживачем енергії (19,1 МТНЕ у 2018 році) в Україні²⁴. Енергоємність ВВП в промисловому секторі України перевищує середній показник по Європі більш ніж у чотири рази, тому конкурентоздатність місцевих товарів набагато нижча, ніж у товарів, вироблених в ЄС. Однією з цілей Концепції «зеленого» енергетичного переходу є зменшення енергоємності ВВП України до середнього показника по країнах ЄС. Перетворення тепла, що виділяється в процесі виробництва, — це важлива частина переходу на альтернативні джерела енергії. В Україні великий промисловий сектор. Основними споживачами енергії є нафтопереробна, хімічна, металургійна та целюлозно-паперова промисловості.

Поточний стан справ в цих секторах не дозволяє впроваджувати великомасштабне збереження енергії. Часто виникає потреба у повному перегляді технологічного процесу, що займає багато часу. Першим завданням є організація процесів таким чином, щоб зменшити потреби в теплі або теплі низького потенціалу. Серед інших варіантів є електрифікація, більш ефективне використання виробленої пари, а також застосування залишкового тепла в промислових кластерах. Але в найближчому майбутньому не обійтись без викопного палива, необхідного для виробництва тепла високої температури. З часом для такого виробництва мають використовуватись системи уловлювання та зберігання вуглецю. Компанії цих секторів часто конкурують на світових ринках, де можуть бути надлишкові виробничі потужності, а також з компаніями країн, у яких витрати на енергію є структурно нижчими. Багато промислових процесів сильно залежать від джерел, що виділяють велику кількість вуглецю, наприклад виробництво цементу або хімічна обробка. Тож знадобиться багато часу, щоб замінити ці усталені методи обробки. Хоча такі методи вже досліджуються, більшість з них знаходяться лише на стадії розробки.

Що треба перетворювати?

В Україні на промисловість припадає близько 30% загального споживання енергії, а більш ніж половину енергоресурсів споживає місцевий металургійний комплекс. Виробництво сталі в Україні в 2019 році становило 21 мільйон тонн (у 2013 році — 33 мільйони тонн). Згідно з даними агентства Bloomberg, металургійні підприємства повинні виробляти з використанням водню не менше 10–50 % сталі й виробів з неї, щоб до 2050 року досягнути глобальної мети з припинення викидів. (Bloomberg Businessweek, 23.11.2019 р.). Це якнайкраще характеризує потенціал використання водню в металургії. Іншим напрямком є виробництво «зелених» аміачних добрив. Зазвичай в процесі виробництва тепло виділяється у вигляді гарячих газів. Ці гази можна пропускати через теплообмінники й (або) теплові насоси для нагрівання води.

²⁴ <https://www.iea.org/reports/ukraine-energy-profile>

А потім цю воду можна використовувати для опалення сусідніх будинків або цілих містечок. Тепло в централізованій системі опалення циркулює ізольованими трубопроводами, задовольняючи потреби у тепlopостачанні житлових та нежитлових будівель. Цю теплофікаційну воду можна використовувати для обігріву будівель або нагрівання води. Технологічні процеси застосовуються постійно, тож це може сприяти реалізації програм збереження енергії та підвищення ефективності, а також забезпечити джерело відновлюваної енергії для цілорічного обігріву будинків. Методи заміни традиційного опалення:

- для середніх і низьких температур — електричний обігрів і теплові насоси;
- для технологічних процесів з більш високою температурою — альтернативні види палива, зокрема водень і біогаз.

В ході більшості технологічних процесів все одно виділятиметься CO₂, навіть у разі нагрівання з нейтральним рівнем викидів вуглецю (виробництво цементу або ліків). Для процесів з виділенням великої кількості вуглецю мають бути передбачені системи уловлювання вуглецю. Накопичений CO₂ можна використовувати іншими способами, зокрема для створення синтетичного природного газу. Під час технологічних процесів також утворюється багато скидного тепла й матеріалів, які можна повторно використовувати за умов належної нормативної бази. Це допоможе покращити циклічність й ефективність таких процесів.

Чим можуть допомогти водневі технології?

ЗАВДАННЯ	ВОДНЕВІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РІШЕННЯ	ДІЇ ТА НОРМИ, НЕОБХІДНІ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ВОДНЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Декарбонізація секторів з виділенням великої кількості вуглецю, особливо промислового тепlopостачання	В українській економіці впровадження водневих технологій важливе для хімічної та металургійної промисловостей, що вироблятимуться «зелені» добрива й «зелена» сталь. Використання водню в якості сировини для промисловості вимагає невичерпного джерела його виробництва. Зараз водень в Україні отримують переважно з вичерпного палива («блакитний» водень). Дослідження показали, що завдяки меншим витратам, особливо у промисловості та електропостачанні, існують реальні можливості для «блакитного» водню. Це відкриває шлях для масштабної інтеграції відновлюваного водню.	Для підтримки енергоефективної модернізації компаній може бути створений Фонд декарбонізації, який фінансується за рахунок податку на CO ₂ .
Заміна традиційного опалення	Використання водню в якості джерела палива для промислових бойлерів і нагрівачів має потенційно великий ринок кінцевого застосування. Окрім цього, можливе підвищення теплового ККД — 99 відсотків порівняно з 80 відсотками для традиційної технології (Міністерство енергетики США, 2003d). В промисловому секторі вже є досвід комбінованого використання водню з іншими видами палива й розріджувачів.	Україна повинна розробити й реалізувати <u>національну політику для переходу в сфері постачання тепла, що виділяється в процесі виробництва</u>

Базовий принцип 3. Перетворення транспортного сектора

Навіщо потрібне перетворення?

Транспорту належить значна доля від загального споживання енергії в Україні. В 2017 році на транспорт (разом з трубопроводами) припадало 20% кінцевого споживання енергії. Більше половини пасажирських перевезень здійснювалось автобусами. Залізниця перевозить 390 мільйонів пасажирів на рік, в той час як автотранспорт перевозить в 7,5 разів більше — понад 3 мільярди пасажирів. Згідно з офіційною статистикою кожен житель України користується

автобусом 70 разів на рік. Станом на 2018 рік експлуатаційна довжина залізничних колій становить 19,8 тис. км, з яких електрифікованих колій — 9,9 тис. км (47,4%). Переважну більшість палива, що використовується в секторі, становлять нафтопродукти (дизельне паливо й бензин). Саме тому транспорт є одним з найбільших джерел забруднення та викидів парникових газів. Водночас цей сектор відіграє ключову роль у перевезенні товарів і пасажирів, а також створенні й наданні відповідних послуги для розвитку економіки країни. В Україні перехід до використання екологічно чистих технологій в транспортному секторі є критично важливим як з екологічної, так і з економічної точки зору.

Що треба перетворювати?

На першій стадії водневої дорожньої карти необхідно впровадити технології декарбонізації в декількох сегментах транспортного сектора: легкові автомобілі, великовантажні вантажівки, автобуси, залізничний транспорт, морські вантажні перевезення.

Україна взяла на себе зобов'язання із запровадження більш жорстких вимог щодо викидів CO₂ в сфері автомобільного, водного й повітряного транспорту. Більше того, вона має прагнути виконувати європейські зобов'язання щодо додавання біопалива, оскільки це буде вважатись першим важливим кроком до застосування альтернативних видів палива, широко розповсюдженого на ринку. Використання біопалива в ЄС залежить від конкретної країни-члена, тобто від встановлених нею цільових показників щодо відновлюваних джерел енергії в сфері транспорту й кількості парникових газів при спалюванні палива в рамках Директиви щодо якості палива. Деякі країни члени встановили загальні цільові показники для додавання біопалива, деякі встановили окремі для біопалива в бензині або дизельному паливі чи в обох. А деякі розраховують виключно на зниження кількості вуглецю при спалюванні палива. Більш глибоких змін щодо збереження енергії можна досягти лише шляхом переходу до нових типів транспортних засобів та палива. Електричні двигуни вже використовуються на легкових автомобілях і забезпечують відносно невеликий пробіг. Рідке біопаливо та біогаз є найкращою альтернативою для великогабаритного автомобільного, водного й повітряного транспорту.

Зараз у логістичній галузі існує тенденція щодо створення інфраструктури для транспортних засобів на паливних елементах, щоб забезпечити їх пересування на великі відстані за будь-яких умов експлуатації. Окрім мережі заправних станцій на основних українських магістралях, такі ж станції мають з'явитись і в суміжних регіонах.

Чим можуть допомогти водневі технології?

ЗАВДАННЯ	ВОДНЕВІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РІШЕННЯ	ДІЇ ТА НОРМИ, НЕОБХІДНІ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ВОДНЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Декарбонізація автотранспорту	В 2018 році в Україні електротранспорт спожив 7 мільярдів кВт-год електроенергії. Це свідчить про потенціал ринку транспортних засобів з водневими паливними елементами. Особливу увагу слід звернути на використання в автотранспорті паливних елементів і водню (FCH). Водневий транспорт може перевершити електромобілі, недоліками яких є малий пробіг і необхідність частого заряджання. Пробіг автомобілів на паливних елементах може становити від 350 до 1200 км між заправленнями, а загальний ресурс може сягати 500 000 км. В Україні багато довгих маршрутів, на яких водневі автобуси могли би посперечатись із звичайними автобусами. Щоб	<ul style="list-style-type: none"> • Необхідно скласти довгостроковий план для відновлюваних видів палива, залучивши до цього процесу різні організації. • Необхідно розробити схеми субсидювання великогабаритного транспорту та міської логістики з нульовими викидами. • Має заохочуватись подальше розгортання мережі заправних станцій.

	сприяти впровадженню альтернативних видів палива в більшому масштабі, потрібні більш інноваційні рішення, зокрема водневі технології.	
Декарбонізація залізничного транспорту	Що стосується залізничного транспорту, то потяги з водневими паливними елементами є екологічною та економічно доцільною альтернативою технологіям, що застосовуються на слабо електрифікованих мережах.	
Декарбонізація сектора судноплавства	В секторі судноплавства судна в паливними елементами знаходяться на стадії демонстраційних проєктів. Водневі паливні елементи також можуть замінити бортові й берегові джерела живлення, завдяки чому можна зменшити шкідливі викиди та уникнути суттєвих витрат на монтаж електричних з'єднань в портах. В Україні використання водню на водному транспорті виглядає досить перспективно. Потенціал річкового транспорту використовується лише на третину. Загалом він може забезпечити до 20% з обсягом перевезень у 10–12 мільйонів тон на рік.	
Зниження загального обсягу викидів у транспортному секторі у 2050 році до рівня не більше 60% від обсягу 1990 року	Розвиток ринку екологічного водню для транспортного сектора. Європейська зелена угода та ініціатива «2x40 ГВт нових потужностей з виробництва водню» стимулюватимуть використання водню в судноплавстві (морські й річкові перевезення) і портах України, оскільки вироблений чистий водень планується експортувати.	<u>Комплексний Національний план з енергетики та зміни клімату до 2030 року</u> має містити довгострокові угоди з секторами щодо перевезень певних груп (наприклад, інвалідів), сміттєвозів, міської логістики з нульовими викидами, а стратегія для магістральних перевезень внутрішньоконтинентального сполучення повинна сприяти впровадженню водневих технологій. Це має бути відображено в програмах закупівель національного уряду та місцевих органів влади.

Базовий принцип 4. Газотранспортна система України та поетапне збільшення обсягів виробництва, зберігання й транспортування водню

Україна має добре розвинену мережу магістральних газопроводів і дефіцит власних енергоносіїв, особливо природного газу. Частина існуючої газової мережі можна використовувати для транспортування водню у вигляді домішки. Фізично вже можливо додавати до 2% водню, роблячи незначні регулювання. А завдяки більш складним регулюванням відсоткове відношення поступово можна підняти приблизно до 10–20 %. Нині, досі тривають дослідження з визначення оптимальної частки водню в газотранспортній системі України.

Перетворення електроенергії, виробленої на місцевому та регіональному рівнях, у водень та його подавання до газової мережі збільшить можливості для децентралізації виробництва енергії в тих місцях, де електрична мережа не має достатньої потужності. Найближчим часом в ході консультацій з «Нафтогазом», регіональними операторами мережі та споживачами природного газу будуть вивчені різні варіанти фізичного та адміністративного подавання водню, а також технічні, практичні, нормативні аспекти, питання безпеки та ціни для кінцевих споживачів. Ключовим фактором для додавання водню до природного газу є можливість отримання певного рівня декарбонізації газового сектора без модернізації існуючої

інфраструктури. Використання трубопроводів може забезпечити ряд додаткових переваг, наприклад збереження енергії: газопроводи дозволяють зберігати водень за допомогою збірних трубопроводів або «передачі енергії в часі».

Однією з найважливіших проблем, пов'язаних з додаванням водню в мережу природного газу, є вплив цієї суміші на результати вимірювань. Зазвичай, вимірювання й подальше визначення ціни газу в трубопроводах здійснюється на основі споживання та енергоємності використаного газу. Тому встановлені в трубопроводах лічильники мають відображати відсоток водню в газовій суміші, а також різницю їх питомої енергії.

Різні державні та міжнародні дослідження показали, що протягом наступних десяти років можна на 50–60 % знизити витрати на виробництво відновлюваного водню. Щоб домогтися такого зниження витрат, потрібне поетапне збільшення обсягів виробництва зеленого водню в міжнародному масштабі — з декількох мегават до десятків гігават до 2030 року. Це дозволить виробляти водень у промислових масштабах і, як наслідок, здешевити виробництво. Також інноваційні рішення можуть підвищити ефективність електролізу й привести до зниження витрат. В першу чергу за рахунок використання дешевших матеріалів (для електродів і мембран), що є критичним у цьому відношенні й потребує поглибленого вивчення. Проте очікується, що великі обсяги відновлюваного водню з'являться лише після 2030 року.

При розробці водневої інфраструктури слід враховувати розвиток європейського водневого ринку, що є важливим з огляду на роль України як потенційного центру для постачання в сусідні країни. Особливу зацікавленість викликають зв'язки з партнерами по ініціативі «2x40 ГВт нових потужностей з виробництва водню». Частина цього огляду буде присвячено визначенню потенційного попиту, необхідних обсягів постачання й зберігання. У цьому контексті порти Одеської, Херсонської та Миколаївської областей визначатимуть експортний потенціал постачання (за кордон). На міжнародному рівні Україна сприятиме співпраці у сфері водневих технологій, зокрема й як учасниця проєкту «Дунайської водневої долини». В цьому сенсі вкрай важливим є монтаж потужностей з виробництва зеленого водню в Південній Україні, а саме в Одеській, Запорізькій, Херсонській та Миколаївській областях. З огляду на географічне розташування основних виробничих потужностей, важливо врахувати стратегію розвитку водневої логістики по всій Україні з використанням Дніпра й автотранспорту. Також велике значення відіграє визначення потенційних споживачів зеленого водню на території України та створення внутрішніх трубопроводів для водню.

Чим можуть допомогти водневі технології?

ЗАВДАННЯ	ВОДНЕВІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РІШЕННЯ	ДІЇ ТА НОРМИ, НЕОБХІДНІ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ВОДНЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Розвиток інфраструктури для забезпечення екологічності й декарбонізації газових мереж	<ul style="list-style-type: none"> Заповнення водню в газопроводи збільшує можливості для декарбонізації енергетичного сектора. Одним з варіантів збільшення попиту на відновлювальний водень є зобов'язання щодо його додавання до газу в мережу газопроводів. 	<ul style="list-style-type: none"> Варіант змішування водню в природним газом у ГТС повинен бути розроблений як економічно ефективний та гнучкий спосіб підтримки нарощування зеленого водню. Україні потрібно вивчити політичні, правові та ринкові аспекти з цього питання.
Підвищення ефективності газопостачання	<ul style="list-style-type: none"> Враховуючи можливі обмеження щодо постачання природного газу, водень в короткостроковій перспективі може компенсувати зростаючий попит на це паливо. 	<ul style="list-style-type: none"> Зобов'язання щодо додавання водню може забезпечити певний рівень прибутків від проєктів, пов'язаних із зеленим воднем. Уряд України має вказати, що уряд відіграватиме ключову роль у розвитку водневої інфраструктури. Уряд разом з національними операторами

		<p>мереж і мережевими компаніями «Нафтогаз» і «Оператор ГТС України» повинен визначити, за яких умов і чи взагалі можливо використовувати частину газової мережі для транспортування й розподілу водню. До цього процесу залучатимуть регіональні оператори мереж і мережеві компанії.</p>
--	--	--

Три стадії та матриця принципів проектування дорожньої карти

Дорожня карта з впровадження водневих технологій в Україні може складатись з трьох послідовних стадій. Ці стадії переважно збігаються з трьома етапами оновленої Енергетичної стратегії України (ЕСУ), прийнятої в серпні 2017 року. Але цю стратегію чекає оновлення на 1-й стадії реалізації водневої дорожньої карти, яке має відобразити найновіші розробки на шляху до водневої економіки.

Наразі реалізація ЕСУ складається з наступних трьох етапів:

1. Метою першого етапу (2021–2023 рр.) є створення лібералізованих, конкурентних ринків енергоресурсів і зменшення втручання держави в їх роботу.
2. Основним завданням другого етапу (2024–2026 рр.) є розвиток інфраструктури та її інтеграція з європейською системою, а також залучення необхідних інвестицій в енергетичний сектор.
3. І, зрештою, третій етап (2027–2029 рр.) стосується сталого розвитку: дотримання зобов'язань щодо зменшення викидів парникових газів; швидкий розвиток відновлюваних джерел енергії; забезпечення енергетичної безпеки шляхом збільшення виробництва газу, зокрема нетрадиційного газу, й морського буріння, але після досягнення газової незалежності на другому етапі.

Протягом цих трьох стадій розвитку важливо якомога швидше розробити й прийняти відповідні закони й норми. Слід переглянути використання існуючої газової мережі, а також регулювання всього ланцюга створення вартості. Якомога швидше слід розпочати розробку системи гарантій походження. Окрім того, в короткостроковій перспективі зусилля будуть зосереджені на будівництві перших великих установок з виробництва водню. Отримання досвіду з виробництва відновлюваного водню в Україні та за її межами та використання водню в різних секторах також призведе до розуміння механізмів зниження витрат і потенційних масштабів ринку. Базові умови для росту водневого ринку формуватимуться в період до 2025 року.

Три стадії реалізації дорожньої карти, яка призначена для впровадження й прийняття водневих технологій українською економікою в рамках виробництва, зберігання, транспортування та використання водню, допомагають зрозуміти, де саме існує попит на енергоносії, щоб зосередити зусилля на переході до альтернативних джерел живлення. Це дозволить українському уряду визначити, в яких секторах слід вжити заходів для спрощення переходу до постачання енергії з відновлюваних джерел. Вони містять наступні завдання:

- створення бази даних для визнаного у світі обладнання водневої енергетики;
- розробка наукових і технічних проєктів на базі визнаного у світі обладнання водневої енергетики, затвердження та розробка рекомендацій з його впровадження;
- створення основних демонстраційних зразків;
- проведення наукових і технічних досліджень щодо створення власного обладнання й технологій;
- створення узгодженої регулюючої, технічної та промислової бази, необхідної для виробництва пристроїв та обладнання, його сертифікації, а також монтажу, експлуатації та обслуговування.

Міжнародна воднева стратегія, описана в Дорожній карті

Міжнародна стратегія вже давно стала частиною українського підходу щодо систематичної декарбонізації економіки. Основні зусилля зосереджені у Європі, але й Україна приймає активну участь в глобальних партнерських ініціативах. Європейська ініціатива України має наступні напрямки:

- а. В 2014 році український уряд підписав і ратифікував Угоду про асоціацію з Європейським Союзом, а 1 січня 2016 року вступила в силу Угода про поглиблену та всеохоплюючу зону вільної торгівлі України з Європейським Союзом. Має бути безпосередній контакт з Єврокомісією на всіх можливих рівнях. Основною метою цього є чітке роз'яснення Комісії, яку саме політику щодо водневих технологій обирає Україна для вирішення таких проблем, як загальні стандарти для екологічності, безпеки, якості, додавання водню до газу газових мереж, гнучке регулювання ринку, що дозволяє гнучко формувати ринок, а також адекватна підтримка інновацій (порівняно з Китаєм, Японією та США); багатосторонні форуми й консультації з країнами ЄС, на яких Україна виступатиме ініціатором розробки загальних підходів до вирішення критично важливих питань, зокрема стандартів, ринкових стимулів і регулювання ринків, перед їх обговоренням в контексті ЄС.
- б. Двостороння співпраця з сусідніми країнами ЄС: Важливі проекти спільного європейського інтересу (IPCEI) — це європейські інструменти для реалізації проектів великої соціальної значущості, в рамках яких уряди можуть надавати більшу підтримку, ніж за звичних умов. В *Національній кліматичній угоді* має бути вказано, що Україна, в контексті IPCEI, зосередиться на важливій ролі в ініціативі «2x40 ГВт нових потужностей з виробництва водню» та проекті IPCEI «Блакитний Дунай».
- с. Україна в листопаді 2006 року стала спостерігачем в рамках Договору про заснування енергетичної спільноти, а у вересні 2010 року — його повноцінним членом. Тому вона повинна приймати та застосовувати нормативно-правову базу в сфері енергетики, а саме електроенергетики і газового сектора, а також вимоги у сфері відновлюваної енергії, конкуренції та довкілля.

Окрім того, Україна зайняла позицію активного учасника міжнародних ініціатив, зокрема Міжнародного партнерства з водню та паливних елементів в економіці (IPHE), Міжнародного енергетичного агентства (IEA), міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії (IRENA).

Торговельна політика обов'язково враховуватиме можливості, пов'язані з експортом українського водню, знань, досвіду. Політика, спрямована на залучення іноземних інвестицій, чітко продемонструє привабливість України для компаній, що займаються воднем. Велика зацікавленість іноземних компаній в реалізації водневих проектів в Україні свідчить про визнання сприятливих початкових умов. Двостороння зовнішня політика особливо зосереджуватиметься на розвитку потенційних експортних відносин з країнами, що є потенційними нетто-імпортерами чистого водню, зокрема з Німеччиною у Європі та Японією в Азії.

Поінформованість населення про перетворення енергії та водневу економіку

Україна приймає участь у міжнародних зусиллях щодо розвитку безпечної, надійної та доступної економіки з низькими викидами вуглецю. Тому в першу чергу слід укласти громадську *енергетичну угоду для сталого розвитку* з промисловістю, неурядовими організаціями та органами місцевого самоврядування. В енергетичній угоді мають бути визначені цільові показники для збереження енергії за рахунок ефективності до 1,5% від кінцевого споживання енергії, а також для збільшеної частки відновлюваної енергії. Для цього в Україні треба оголосити про *«Енергетичний діалог»*. Це всебічні громадські слухання під час 1-ї стадії, які формально мають тривати три місяці. Під час цих слухань всі сторони матимуть можливість поділитися власними поглядами на майбутнє енергетичних систем і внести свої пропозиції до проекту політичного порядку денного. Результати цього обговорення будуть представлені наприкінці 1-ї стадії в так званому *«Порядку денному енергетичної політики»*. Також «Енергетичний діалог» буде інструментом, що сприятиме поінформованості населення України стосовно переходу до альтернативних джерел енергії.

Щоб перехід до альтернативних джерел виявився успішним, необхідно на ранньому етапі залучити громадськість, бізнес і неурядові організації до конструктивного обговорення щодо

розміщення енергетичної інфраструктури. За можливості, треба залучити всі зацікавлені сторони, щоб оцінити переваги ініціативи з енергопостачання та перешкоди на шляху її втілення, а також ризики для місцевого населення та бізнесу. Для цього всі сторони повинні допомогти з визначенням розташування об'єктів виробництва, зберігання й транспортування енергії. Після цього можна укласти угоди зі сторонами щодо розташування таких об'єктів у регіоні та розподілу зобов'язань, прибутків і витрат. Такий процес вимагає чіткого розподілу обов'язків під час розробки енергетичних проєктів. Основну відповідальність за процес територіального планування несуть конкретні органи місцевого самоврядування, а уряд — це повноважний орган, що відповідає за ініціативи, що збігаються з національними інтересами. Ініціатор несе основну відповідальність за співпрацю з громадськістю, бізнесом і неурядовими організаціями та має підтримку з боку повноважного органу.

Воднева дорожня карта України

Перша стадія (2021–2023 рр.):

Оцінка української економіки щодо «зеленого енергетичного переходу» та запуску водневої економіки

Оцінка структури економіки та джерел викидів, яка може допомогти у визначенні пріоритетних напрямків роботи. Рекомендовано: оцініть різні варіанти впливу викидів.

*Керівництво в енергетичному секторі*²⁵

Кабінет Міністрів (КМ), вищий орган, який приймає рішення та відповідає за узгодження політики й нагляд за державними енергокомпаніями. Енергетична політика займає пріоритетне місце в його порядку денному, при цьому до прийняття рішень також залучені Парламент і Президент. За енергетичну політику відповідають декілька основних відомств державного рівня:

- **Міністерство енергетики (МЕ)** відповідає за більшість питань щодо політики енергопостачання, політики екологічної енергії та кліматичних змін, а також за узгодження політики всередині уряду й консультування парламенту.
- **Міністерство екології та природних ресурсів (МЕПР)** відповідає за державну політику в сфері захисту навколишнього середовища, зокрема збереження озонового шару, екологічну безпеку, переробку відходів, небезпечні хімічні речовини, пестициди, агрохімікати, роботу державної екологічної експертизи.
- **Міністерство економічного розвитку, торгівлі та сільського господарства (МЕРТСГ)** відповідає за реалізацію державної політики з технічних регулювань.
- **Міністерство інфраструктури (МІ)** відповідає за повітряний, автомобільний, залізничний, морський, річковий та міський електротранспорт, питання, пов'язані з використанням українського повітряного простору, систем метрополітену, доріг, безпеки транспорту, торгового судноплавства.
- **Міністерство фінансів (МФ)** відповідає за оподаткування діяльності в енергетичному секторі.
- **Міністерство розвитку громад і територій України (МРГТ або Мінрегіон)** відповідає за узгодження процесів розвитку та забезпечує запровадження реформ регіонального й місцевого розвитку.
- **Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження (ДАЕЕ)**, підпорядковується Міністерству енергетики та є центральним органом влади, відповідальним за сприяння й заохочення до енергоефективності, а також розробок і технологій у сфері відновлюваної енергії.
- **Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП)**, створена Указом Президента № 715/2014 у вересні 2014 року, здійснює нагляд за ринками природного газу, електричної та теплової енергії. НКРЕКП підпорядковується Президенту й звітує перед Парламентом.
- **Державна служба зайнятості України (ДСЗ)** відповідає за державний нагляд та контроль у сфері промислової безпеки, охорони праці.
- **Антимонопольний комітет України (АМКУ)** відповідає за запобігання домінуючому становищу на ринку.

²⁵ функціональний опис та аббревіатури, що застосовуються нижче для таблиць принципів проектування в рамках дорожньої карти

		Тип документа	Відповідальний орган	Суміжний орган											
I	II	III	IV	V											
ЗАКОНОДАВСТВО	Визначення необхідних змін до законодавства в сфері водневих технологій	<ol style="list-style-type: none"> Аналіз законодавства й формування переліку змін до законодавства з метою сприяння розвитку водневих технологій. Вивчення переваг і недоліків поєднання виробництва водню з вітровою та сонячною енергетикою шляхом об'єднаних тендерів. Аналіз політики та механізмів, які діють в країнах ЄС щодо впровадження водневої енергії. Аналіз в контексті ЄС та його вимог: <ul style="list-style-type: none"> вимоги директиви RED II щодо відновлюваної енергії на транспорті; доступ до європейських схем отримання грантів; точки взаємодії з Європейським Союзом і національними європейськими водневими стратегіями; можливості, що їх дає двостороннє партнерство з європейськими країнами; можливості для уряду; декарбонізація в секторах; об'єднання відновлюваної енергії; енергетична безпека. 	<ul style="list-style-type: none"> МЕ МЕПР МРГТ 	<ul style="list-style-type: none"> Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства; Міністерство інфраструктури; Національна академія наук України; Інститут відновлюваної енергетики НАН України; Інститут економіки та прогнозування НАН України Промислові професійні організації 											
	Принципи та стратегії	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Сектори</th> <th>Тип документа</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. Декарбонізація економіки</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1.1. Загальна стратегія</td> <td>1. Розробка Національної Водневої Стратегії</td> </tr> <tr> <td>1.2. Енергоефективність і збереження</td> <td>2. Політика енергозбереження й енергоефективності</td> </tr> <tr> <td>1.3. Джерела відновлюваної енергії (ДВЕ)</td> <td> <ol style="list-style-type: none"> Національна воднева програма: розробка концепції виробництва й використання «коричневого», «сірого», «блакитного» та «зеленого» водню до 2050 року із залученням проєктів міжнародної технічної допомоги (МТД), спеціалізованих асоціацій та наукових установ. Розробка й внесення правок до законів та норм для забезпечення використання й розширення переліку альтернативних джерел енергії в усіх секторах економіки, зокрема ланцюга створення вартості для водню. </td> </tr> <tr> <td>1.4. Утилізація відходів</td> <td>1. Розробка дорожньої карти для принципів економіки замкнутого циклу.</td> </tr> </tbody> </table>	Сектори	Тип документа	1. Декарбонізація економіки		1.1. Загальна стратегія	1. Розробка Національної Водневої Стратегії	1.2. Енергоефективність і збереження	2. Політика енергозбереження й енергоефективності	1.3. Джерела відновлюваної енергії (ДВЕ)	<ol style="list-style-type: none"> Національна воднева програма: розробка концепції виробництва й використання «коричневого», «сірого», «блакитного» та «зеленого» водню до 2050 року із залученням проєктів міжнародної технічної допомоги (МТД), спеціалізованих асоціацій та наукових установ. Розробка й внесення правок до законів та норм для забезпечення використання й розширення переліку альтернативних джерел енергії в усіх секторах економіки, зокрема ланцюга створення вартості для водню. 	1.4. Утилізація відходів	1. Розробка дорожньої карти для принципів економіки замкнутого циклу.	<ul style="list-style-type: none"> КМ МЕ МЕПР МРГТ МІ
Сектори	Тип документа														
1. Декарбонізація економіки															
1.1. Загальна стратегія	1. Розробка Національної Водневої Стратегії														
1.2. Енергоефективність і збереження	2. Політика енергозбереження й енергоефективності														
1.3. Джерела відновлюваної енергії (ДВЕ)	<ol style="list-style-type: none"> Національна воднева програма: розробка концепції виробництва й використання «коричневого», «сірого», «блакитного» та «зеленого» водню до 2050 року із залученням проєктів міжнародної технічної допомоги (МТД), спеціалізованих асоціацій та наукових установ. Розробка й внесення правок до законів та норм для забезпечення використання й розширення переліку альтернативних джерел енергії в усіх секторах економіки, зокрема ланцюга створення вартості для водню. 														
1.4. Утилізація відходів	1. Розробка дорожньої карти для принципів економіки замкнутого циклу.														

		<p>2. Декарбонізація енергетичного сектора</p> <p>2.1. Постачання енергоресурсів</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Прогнозування потреб для розвитку інфраструктури й оптимізації існуючих транспортних систем, розподілу, зберігання водневого палива, електроенергії, тепла. 2. Запуск програми головної енергетичної інфраструктури. 3. Національний комплексний план на 2021–2030 рр. з енергетики та клімату <p>2.2. Електроенергія</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Розробка політики щодо збільшення частки високоефективної когенерації 2. Аудит економічної доцільності політики, спрямованої на збільшення частки високоефективної когенерації та її впровадження в регіонах України <p>3. Декарбонізація теплопостачанні житлових та нежитлових будівель</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Розробка програми для масштабної модернізації теплових мереж в будівлях з метою отримання певного енергоспоживання на квадратний метр, що відповідатиме середньому рівню в країнах ЄС 2. Розробка місцевих планів теплопостачання <p>4. Декарбонізація тепла, що виділяється в процесі виробництва</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Меморандум про розвиток промисловості до 2030 року 2. Національна політика щодо енергетичного переходу в постачанні тепла, що виділяється в процесі виробництва 3. Прийняття політики промислової модернізації <p>5. Декарбонізація транспортного сектора</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. План дій з вдосконалення транспортної мережі та планування маршрутів громадського транспорту 2. Розробка плану з використання в містах екологічного й мікромобільного транспорту. 3. Оптимізація структури пасажирського й вантажного потоків шляхом збільшення частки пасажирських перевезень за рахунок громадського транспорту, а вантажних перевезень — за рахунок залізничного та річкового транспорту 4. План дій для альтернативних (відновлюваних) видів палива 			

<p>Стандарти, норми, сертифікація та моніторинг</p>		<ol style="list-style-type: none"> 1. Створення переліку необхідних міжнародних (державних) технічних стандартів та вимог у сфері виробництва, транспортування, зберігання та використання водню. 2. Розробка нових та коригування існуючих національних технічних стандартів та вимог з подальшою їх гармонізацією з міжнародними та європейськими стандартами та вимогами у галузі виробництва, транспортування, зберігання та використання водню.²⁶ 3. Впровадження Національної системи моніторингу, звітності та верифікації викидів;. 4. Розробка стандартів економії палива для транспортних засобів. 5. Для розповсюдження відновлюваної енергії потрібні норми щодо виробництва енергії з водню, її постачання й використання в якості резервного живлення. 6. Розробка й застосування Національної системи технічних норм для «зеленого» будівництва. 7. Розробка технічних стандартів для підвищення ефективності індивідуального опалення та кондиціонування повітря в будинках, заміна енергоресурсів, що виділяють велику кількість вуглецю (вугілля, газ), лише на екологічні види палива — електричну й теплову енергію з джерел відновлюваної енергії (сонячної, вітрової, геотермальної, біопаливо). 8. Контроль відповідності передових водневих технологій стандартам безпечної експлуатації енергосистем України. 9. Стандартизація та сертифікація обладнання для виробництва водню, обладнання, в якому використовується водень або яке працює на водні, зокрема: стандарти для частки водню, безпечного використання водневих сумішей, використання ГТС, транспортування за кордон, на великі відстані та ін. 10. Забезпечення функціонування механізму, що підтверджує гарантію походження «зеленого» водню, а також виробленої з нього електроенергії. 11. Розробка механізму для контролю реалізації ключових показників ефективності, який дозволить реагувати на кліматичні зміни й зменшити викиди парникових газів у всіх секторах економіки. 	<ul style="list-style-type: none"> • МЕ • МЕПР • МРГТ • ДАЕЕ 	<ul style="list-style-type: none"> – Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства; – Міністерство інфраструктури; – Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості – Комітети з технічної стандартизації – Національна академія наук України; – Національний авіаційний університет – Київський політехнічний інститут – Професійні асоціації
<p>Державні механізми підтримки заходів і проєктів для виробництва водню й використання водневих технологій</p>		<ol style="list-style-type: none"> 1. Розробка механізмів державної підтримки водневих технологій та відповідного законодавства 2. Розробка пропозицій щодо масового виробництва обладнання, а також вивчення доцільності й технічна документація. 3. Запуск експериментальних проєктів енергетичних установок, в яких використовується водень і ДВЕ, аналіз їх ефективності та рекомендації щодо подальшого розвитку водневої енергії. 4. Сприяння технологічному розвитку та співпраця з відповідними організаціями. 5. Розробка концепції для економічно доступних і екологічно безпечних енергетичних секторів, створення яких дозволить уникнути стрибків цін для споживачів, а також соціально-економічного й політичного спротиву. 6. Розробка механізмів для захисту малозабезпечених споживачів: адресна соціальна допомога для певних категорій таких споживачів. Всі пільги й субсидії необхідно 	<ul style="list-style-type: none"> • М • МЕПР • МРГТ • МФ • ДАЕЕ 	<ul style="list-style-type: none"> – Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства; – Міністерство інфраструктури; – Національна академія наук України; – Інститут відновлюваної енергетики НАН України; – Інститут економіки та прогнозування НАН України

²⁶ див. **ДОДАТОК 4** для переліку чинних норм, що стосуються водню в Україні

		<p>монетизувати, а сплата рахунків має проводитись на підставі цін на енергоресурси (включно з податками й зборами).</p> <p>7. Проведення аудиту існуючих програм для підтримки соціально-економічного розвитку й економічної диверсифікації з метою створення нових механізмів фінансування.</p> <p>8. Розробка програми безперебійного постачання.</p> <p>9. Рішення щодо оптимальних механізмів державної підтримки водневих технологій та розробки відповідних законодавчих актів.</p> <p>10. Визначення технічного потенціалу для виробництва водню, створення відповідних баз даних і обрання перспективних технологій та напрямків реалізації, аналіз різних варіантів розвитку й оцінка їх економічної ефективності:</p> <ul style="list-style-type: none"> - визначення логістичних можливостей України; - визначення можливого побутового застосування та відповідних обсягів водню; - встановлення цінового діапазону для водню (для внутрішнього споживання й експорту); - пошук декількох найбільш підходящих місць для виробництва водню та визначення розмірів відповідних установок; - визначення потенційних обсягів виробництва, з яких випливає вартість водню, і потенційних внутрішніх покупців, які матимуть доступ до установки (а також тип використання й кількість); - підрахунок потенціалу виробництва відновлюваної енергії (ВЕ), який дозволить оцінити потенціал виробництва водню в Україні; - оцінка можливостей для транспортування водню та його вартість для відповідних внутрішніх покупців і споживачів у Європейському Союзі, зокрема з використанням існуючої газотранспортної інфраструктури; - аналіз можливостей для використання водню в промисловості: лише на транспорті (автомобільному, залізничному, водному, повітряному), лише для хімічної промисловості (зокрема виробництво аміаку), лише для видобувної, обробної промисловості, будівництва, сільського господарства 		
ЕКОНОМІЧНІ ЗАХОДИ	Відображення економічних процесів в енергетичній системі в цифровому форматі	<p>1. Розробка концепції фундаментально нової технологічної платформи для енергоресурсів.</p> <p>2. Забезпечення кібербезпеки та керування особистими й промисловими даними в контексті переходу до альтернативних джерел живлення.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • МЕ • МРГТ • ДАЕЕ 	<p>– Міністерство цифрової трансформації</p> <p>–</p>
	Розвиток ринку	<p>1. Залучення міжнародної технічної допомоги (МТД) для реалізації експериментальних проєктів: з виробництва, транспортування й керування попитом на водень, отриманий з джерел відновлюваної енергії.</p> <p>2. Розробка бази даних потенційних проєктів у сфері виробництва й використання «зеленого» водню.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • МЕ • МЕПР • МРГТ • ДАЕЕ • АМКУ 	<p>– Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства;</p> <p>Міністерство інфраструктури</p>

	<ol style="list-style-type: none"> 3. Прийняття рішень щодо будівництва транспортної інфраструктури, а також місцевих експериментальних проєктів (водневі заправні станції, великі електролізери для відновлюваного водню). 4. Моделювання розвитку й сталого функціонування енергетичних ринків з високим ступенем відкритості та конкурентоздатності, яке стимулюватиме в учасників ринку оптимізацію витрат і ринкове ціноутворення, а у споживачів — раціональне споживання енергії й надання збалансованих послуг. 5. Впровадження технології акумулювання електроенергії на рівні промислових підприємств і забезпечення їх активної участі в ринку електроенергії. 6. Проведення попередніх консультацій та перемовин щодо диверсифікації джерел постачання обладнання для водневих технологій в Україні та їх експорту на іноземні ринки. 7. Розробка законодавчого заохочення до інвестування в інфраструктуру й покращення з економічної точки зору систем виробництва, постачання та використання водню. 8. Організація та участь в заходах, спрямованих на заохочення до розвитку виробництва й використання водню, покращення поінформованості місцевих органів самоврядування про переваги й перспективи їх розвитку. Проведення попередніх консультацій та перемовин з міжнародними партнерами щодо диверсифікації джерел постачання обладнання для водневих технологій в Україні та їх експорту на іноземні ринки. 		
Економічні стимули	<ol style="list-style-type: none"> 1. Заохочення побутового застосування, наприклад в транспорті й опаленні; захист інтелектуальної власності щодо водневих технологій. 2. Розробка методів для посилення ролі споживачів, тобто їх активної участі в ринку, зокрема в заходах з виробництва електроенергії, розробка концепції та реалізації законодавчих ініціатив щодо вугілля, відсутність цифрового формату для міжнародного й прозорого доступу в третіх сторін до енергетичної інфраструктури (електроенергія, газові мережі, сховища), яка потребує суттєвої модернізації. 3. Створення стимулів для впровадження інновацій в енергоефективних технологіях, зокрема заходів для електрифікації технологічних процесів. 4. Розвиток використання технологій, які підвищуватимуть ефективність систем тепlopостачання, зокрема застосування високоефективної когенерації та тригенерації. В нових ТЕЦ для централізованого опалення слід в першу чергу зосередитися на використанні біомаси й біогазу, а також водневих технологій. 	<ul style="list-style-type: none"> • МЕ • МФ • МРГТ • ДАЕЕ • НКРЕКП 	<ul style="list-style-type: none"> – Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства; – Міністерство інфраструктури
Збільшення частки наукових досліджень у сфері кліматичних змін	<ol style="list-style-type: none"> 1. Підтримка приєднання до існуючих дослідницьких проєктів, створення консорціумів (наприклад, довгострокових програм ЄС, США, Японії й ін.). 2. Підтримка взаємодії українських науковців з передовими науковими установами світу. 3. Створення дослідницьких установок з використанням джерел відновлюваної енергії (вітрові й сонячні електростанції, інші джерела електричної й теплової енергії) та установок для виробництва водню, обробки спільних технологій. 	Національна академія наук України	<ul style="list-style-type: none"> – МЕ – ДАЕЕ

ПІДТРИМКА НІОКР	Посилення та поглиблення співпраці між науковцями, представниками урядових структур та бізнесом	<ol style="list-style-type: none"> 1. Визначення сфер, які потребують дій для подолання потенційних перешкод. 2. Створення механізмів для розвитку внутрішнього потенціалу щодо інноваційних енергетичних технологій та обладнання. 3. Створення концепції систематичної інтеграції освіти, науки, бізнесу. Така інтеграція критично важлива для надійності персоналу, фінансової та технологічної підтримки інновацій в енергетиці. Вона сприятиме виникненню інноваційних і виробничих кластерів, покращуватиме зайнятість, особливо серед молоді. 4. Розробка бази для залучення сталих інвестицій та підтримки зелених технологій з метою безперешкодного переходу до зеленої економіки, а також політики державно-приватного партнерства для забезпечення розвитку інноваційних зелених технологій. 	<ul style="list-style-type: none"> • МЕ • Національна академія наук України 	– ДАЕЕ
ПОІНФОРМОВАНІСТЬ НАСЕЛЕННЯ		<ol style="list-style-type: none"> 1. Проведення інформаційної кампанії для населення щодо безпеки водню й переваги його використання. 2. Зміна підходу в інформуванні населення центральною владою з традиційних інформаційних кампаній «для всіх» до цільового підходу, розрахованого на «ініціаторів змін» — гравців ринку, інвесторів, активних споживачів, місцевих організацій самоврядування. 3. Ініціювання громадських слухань у вигляді «Енергетичного діалогу» з подальшим представленням результатів такого діалогу в документі «Порядок денний енергетичної політики». Слід укласти громадську енергетичну угоду для сталого розвитку з промисловістю, неурядовими організаціями та органами місцевого самоврядування. 	<ul style="list-style-type: none"> • МЕ • МРГТ • Органи місцевого самоврядування 	– ДАЕЕ

Друга стадія (2024-2026 рр.).

Пріоритетність політики, водневий ринок і розробка та демонстрація ланцюга постачання, розширення

До критеріїв обрання політики відносяться потенціал зниження викидів, витрати та інші аспекти. В першу чергу визначається пріоритетність політики з огляду на її потенціал щодо зменшення викидів парникових газів, оскільки це основна мета кліматичної політики. Наступним за важливістю критерієм є економічний вплив певної політики. Важливо розглянути два типи впливу: безпосередній економічний та макроекономічний. Інші аспекти: політична доцільність, енергетична безпека, стан здоров'я населення й інші супутні переваги, соціальна рівність, водень без вуглецю (використання бурого вугілля в поєднанні з уловлюванням та зберіганням вуглецю, використання відновлюваної енергії).

		Тип документа	Відповідальний орган	Суміжний орган													
I	II	III	IV	V													
ЗАКОНОДАВСТВО	Визначення необхідних змін до законодавства в сфері водневих технологій	<ol style="list-style-type: none"> 1. Розробка норм і законів у сфері виробництва й використання відновлюваного водню. 2. Включення положень про виробництво й використання «зеленого» водню під час розробки та (або) перегляду стратегічних державних документів та ініціатив у сфері енергетики, енергоефективності (включно з будівлями й спорудами) та клімату з урахуванням положень водневої програми. 3. Визначення необхідних норм і законів про транспорт, використання повітряного простору, доріг і портів України з урахуванням положень водневої програми. 4. Розробка правил техніки безпеки на транспорті, навігації торговельного флоту, навігаційної та гідрографічної підтримки суден у відповідності до цілей з розвитку водневих технологій та водневої програми. 5. Розробка й прийняття законів і ринкових правил для нових гравців на енергетичному ринку: про'юмерів (виробники, що є споживачами власної продукції), енергетичних кооперативів, агрегаторів, організацій, що керують спільною власністю, та інших. 	<ul style="list-style-type: none"> • МЕ • МІ • МФ • МРГТ • ДАЕЕ • НКРЕКП 	<ul style="list-style-type: none"> – Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства; – Міністерство інфраструктури; – Національна академія наук України; – Інститут відновлюваної енергетики НАН України; – Промислові професійні організації; – Інститут економіки та прогнозування НАН України 													
	Принципи та стратегії	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Сектори</th> <th style="width: 50%;">Тип документа</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">1. Декарбонізація економіки</td> </tr> <tr> <td colspan="2">1. Розробка й затвердження стратегії захисту довкілля.</td> </tr> <tr> <td colspan="2">2. Розробка й затвердження стратегії безперешкодного переходу, яка має поєднувати в собі подолання негативних соціально-економічних наслідків і інвестування у створення нових можливостей, переважно на малих та середніх підприємствах (включно зі стартапами та новими компаніями), що сприяє диверсифікації місцевої економіки.</td> </tr> <tr> <td>1.2. Джерела відновлюваної енергії (ДВЕ)</td> <td>1. Оновлення енергетичної стратегії до 2035 року.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2. Розробка й прийняття угоди про міських голів і повний перехід міст на ДВЕ.</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3. Розробка політики щодо збільшення частки незалежних гравців на енергетичних ринках України, включно з іноземними.</td> </tr> </tbody> </table>	Сектори	Тип документа	1. Декарбонізація економіки		1. Розробка й затвердження стратегії захисту довкілля.		2. Розробка й затвердження стратегії безперешкодного переходу, яка має поєднувати в собі подолання негативних соціально-економічних наслідків і інвестування у створення нових можливостей, переважно на малих та середніх підприємствах (включно зі стартапами та новими компаніями), що сприяє диверсифікації місцевої економіки.		1.2. Джерела відновлюваної енергії (ДВЕ)	1. Оновлення енергетичної стратегії до 2035 року.		2. Розробка й прийняття угоди про міських голів і повний перехід міст на ДВЕ.		3. Розробка політики щодо збільшення частки незалежних гравців на енергетичних ринках України, включно з іноземними.	<ul style="list-style-type: none"> • КМ • МЕ • ДАЕЕ • МЕРП • МРГТ • МІ
Сектори	Тип документа																
1. Декарбонізація економіки																	
1. Розробка й затвердження стратегії захисту довкілля.																	
2. Розробка й затвердження стратегії безперешкодного переходу, яка має поєднувати в собі подолання негативних соціально-економічних наслідків і інвестування у створення нових можливостей, переважно на малих та середніх підприємствах (включно зі стартапами та новими компаніями), що сприяє диверсифікації місцевої економіки.																	
1.2. Джерела відновлюваної енергії (ДВЕ)	1. Оновлення енергетичної стратегії до 2035 року.																
	2. Розробка й прийняття угоди про міських голів і повний перехід міст на ДВЕ.																
	3. Розробка політики щодо збільшення частки незалежних гравців на енергетичних ринках України, включно з іноземними.																

		<p>1.3. Утилізація відходів</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Прийняття політики щодо утилізації різних типів відходів (наприклад, переробка відходів на сміттєзвалищах, сільськогосподарські відходи та лісове господарство). 2. Прийняття плану дій для економіки замкнутого циклу, який дозволить збільшити повторне використання цінних матеріалів у відходах, а також покращити спосіб переробки міських відходів і використаних пакувальних матеріалів, роблячи економіку замкнутого циклу реальністю. Він закріпить «ієрархію відходів», чітко визначивши пріоритет захисту довкілля, повторного використання й переробки над загодуванням і спалюванням відходів. 		<ul style="list-style-type: none"> – Промислові професійні асоціації – Оператор ГТС України; – Антимонопольний комітет України
		<p>2. Декарбонізація енергетичного сектора</p> <p>2.1. Постачання енергоресурсів</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Розробка принципів застосування технології перетворення енергії на газ, завдяки яким можна створити потужну галузь з виробництва водню й інших газів з низькими викидами вуглецю, необхідних для енергосистеми (акумуляція енергії, рознесення пікових показників виробництва й споживання) та (або) транспортування. 2. Розробка політики модернізації для основної мережі та розподільчих мереж, локалізації енергопостачання й ін. 3. Прийняття планів (програм) для розвитку місцевих енергосистем та іншого застосування водневих технологій, регіональних програм для належної модернізації централізованого теплопостачання 4. Розробка й реалізація політики й заходів, спрямованих на покращення ефективності енергоресурсів, а також збереження енергії з покращенням якості послуг і постачання енергоресурсів. 5. Розробка й реалізація політики інтеграції енергетичних ринків України до Європейських ринків, зокрема синхронізація Єдиних енергетичних систем (ЄЕС) України з ENTSO-E.²⁷ 6. Розробка програми використання водню в енергетичному секторі для поступової заміни АЕС і вугільних ТЕС. 		
		<p>2.2. Електроенергія</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Впровадження принципів для нових генеруючих потужностей для водню та (або) синтетичного газу, виробленого з використанням ДВЕ. 		

²⁷ В Угоді про умови майбутнього об'єднання UES1 з ENTSO-E, яка набрала чинності 7 липня 2017 р., слід внести зміни з точки зору синхронізації фаз

			<ol style="list-style-type: none"> 2. Розробка принципів для сонячної та вітрової генерації, електростанцій на біомасі разом з впровадженням нових генеруючих потужностей, зокрема на природному газі й біогазі, технологій акумулювання та зберігання електроенергії для збалансованої роботи енергосистеми та, можливо, нових технологій в сфері ядерної енергії. 		
		1.3. Теплопостачання	<ol style="list-style-type: none"> 1. Реалізація урядової програми для розвитку ефективних систем опалення. 2. За умов економічної доцільності, здійснення в певних регіональних громадах часткового переходу до використання індивідуальних систем й електрифікація опалення. 		
		3. Декарбонізація теплопостачанні житлових та нежитлових будівель			
			<ol style="list-style-type: none"> 1. Реалізація національних і муніципальних програм розвитку технологій акумулювання енергії на місцевому рівні (водневі технології). 2. Програми для розвитку систем централізованого опалення, кондиціонування повітря й гарячого водопостачання, особливо в містах, на базі джерел відновлюваної енергії. 3. Розробка політики переходу для охоплення технологій використання біомаси й водню в бойлерних системах в громадських і приватних будівлях. 		
		4. Декарбонізація тепла, що виділяється в процесі виробництва			
			<ol style="list-style-type: none"> 1. Політика щодо великомасштабного використання джерел відновлюваної енергії (біопаливо й відходи, електрична та теплова енергія від ДВЕ) в технологічних процесах замість ресурсів, що дають викиди вуглецю. 2. Прийняття стратегії збільшення промислового виробництва і використання водню, інших синтетичних енергоресурсів, вироблених з ДВЕ. 		
		5. Декарбонізація транспортного сектора			
			Впровадження технологій для різних видів вантажного транспорту		

	Стандарти, норми, сертифікація та моніторинг	<ol style="list-style-type: none"> 1. Розробка нових та коригування існуючих стандартів та норм для проектування об'єктів водневої інфраструктури. 2. Впровадження стандартів для газових сумішей. 3. Стандартизація та сертифікація обладнання для виробництва водню, обладнання, в якому використовується водень або яке працює на водні, зокрема: <ul style="list-style-type: none"> - норми частки водню, безпечне використання сумішей з воднем, використання на міжнародних, міжміських перевезеннях тощо; - заправні станції для водневих автомобілів; - виробництво й використання паливних елементів, які працюють на водні; - водневі автомобілі. 4. Розробка стандартів для будівництва нових енергоефективних будівель — «пасивних будинків», споживання в яких близьке до нуля. 	<ul style="list-style-type: none"> • МЕ • ДАЕЕ • МЕПР • МРГТ 	<ul style="list-style-type: none"> - Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства; - Міністерство інфраструктури; - Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості - Національна академія наук України; - Промислові професійні організації
ЕКОНОМІЧНІ ЗАХОДИ	Державні механізми підтримки заходів і проєктів для виробництва водню й використання водневих технологій	<ol style="list-style-type: none"> 1. Реалізація заходів стимулювання для всього ланцюга постачання водню (виробники обладнання, оператори інфраструктури, користувачі). Незмінна й підтримувальна політика для заохочення приватних інвестицій. Повній експлуатації джерел відновлюваної енергії з установками з виробництва водню має сприяти сертифікація водню, отриманого з відновлюваної енергії. 2. Розробка нової реформи для системи соціальної підтримки в енергетичному секторі. 3. У середньостроковій перспективі програми підтримки відновлюваної енергії включатимуть визначення витрат на виробництво електроенергії, тепла, холоду на конкурентній основі й будуть переходити від монетарної підтримки (пільгові ціни й (або) тарифи) до інших форм (наприклад, пільгове під'єднання, пріоритетний доступ до мереж й ін.). До 2050 року відновлювана енергія має стати основним джерелом енергії, яка не потребуватиме будь-якої підтримки. 4. Цільові програми енергоефективності й продукти фонду енергоефективності будуть вдосконалені та розширені, завдяки спрощенню й широкому вибору масштабних проєктів для комплексної теплової модернізації багатоквартирних та індивідуальних житлових будинків. 5. Поступова мінімізація державного субсидіювання викопного палива, допомоги на викопне паливо; заходи з декарбонізації енергії та (або) заходи, що сприятимуть досягненню стратегічних цілей із забезпечення енергетичної безпеки та енергетичної незалежності України, з обов'язковою оцінкою відповідності українського законодавства й принципів ЄС. У середньостроковій перспективі має бути розроблений підхід до державної підтримки викопного палива, зокрема шляхом визначення відповідних критеріїв Кабінетом Міністрів України. 	<ul style="list-style-type: none"> • КМ • МЕ • ДАЕЕ • МЕПР • МРГТ • МФ 	<ul style="list-style-type: none"> - Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства; - Міністерство інфраструктури; - Національна академія наук України; - Інститут відновлюваної енергетики НАН України

	<p>6. Необхідно сприяти енергоефективності будівель (особливо громадських), «зеленому» транспорту, науково-дослідницьким роботам, підтримці експорту послуг й ін. шляхом прямих дотацій та податкових пільг. Будуть створені певні фонди й програми для спільного фінансування муніципальних ініціатив з переходу до альтернативних джерел живлення, особливо в рамках Угоди міських голів. Всі програми й проєкти, які передбачають бюджетне фінансування, в обов'язковому порядку повинні надавати показники ефективності та результати незалежної перевірки.</p> <p>7. Створення й реалізація програм підтримки державно-приватного партнерства, стимулювання інвестицій у сфері розвитку інфраструктури для виробництва й використання водню.</p> <p>8. Розробка плану міжнародної технічної допомоги для реалізації експериментальних проєктів.</p>		
Відображення економічних процесів в енергетичній системі в цифровому форматі	<p>1. Розробка Концепції для введення Малих Енергетичних систем (Smart Grids) в Україні на період до 2035 року.</p> <p>2. Впровадження й використання сучасних технологій, пов'язаних з керуванням попитом, розподілом генерації й акумуляуванням відновлюваної енергії.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • МЕ • НКРЕКП • ДАЕЕ 	<ul style="list-style-type: none"> – Міністерство цифрової трансформації – Оператор систем передачі електроенергії – Оператор систем розподілу електроенергії
Розвиток ринку	<p>1. Запуск комерційного впровадження водневих технологій на транспорті. Будівництво місцевих (регіональних) експериментальних транспортних мереж, зокрема придбання парку транспортних засобів, а також будівництво заправних станцій та їх технічне обслуговування.</p> <p>2. Стратегічний проєкт розвитку водневих станцій, реформа нормативно-правової бази, технологічний розвиток.</p> <p>3. Затвердження експериментальних проєктів в газовій промисловості з використанням водню в якості додаткового компонента.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • МЕ • МІ • ДАЕЕ • МЕПР • МРГТ 	<ul style="list-style-type: none"> – Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства; – Міністерство інфраструктури; – Національна академія наук України – Інститут економіки та прогнозування НАН України
Економічні стимули	<p>1. Запровадження на законодавчому рівні спеціальних інструментів для ризикованих інвестицій в інфраструктуру та покращення економічної політики для систем ланцюга постачання водню. Зокрема, доступ до надходжень енергетичних ринків і ринків квот на викиди шкідливих газів як важливий елемент в досягненні адаптивності банків до інвестицій</p>	<ul style="list-style-type: none"> • МЕ • МФ • МРГТ • МЕПР • ДАЕЕ 	<ul style="list-style-type: none"> – Міністерство розвитку економіки, торгівлі та

		<p>в інфраструктуру в середньостроковій перспективі, що відповідає стратегічному баченню ролі водню та запровадженню гнучких систем ціноутворення.</p> <ol style="list-style-type: none"> Впровадження дієвих механізмів керування купівельним попитом. Розробка системи для стимулювання впровадження нових технологій геотермальної енергії, теплових насосів й ін. Стимулювання розвитку й застосування технології уловлювання, зберігання й використання вуглецю на великих спалювальних установках, що дозволить виконати взяті на себе Україною міжнародні зобов'язання, а також підвищити енергоефективність економіки. Підвищення кваліфікації та професійна переорієнтація працівників, програми працевлаштування й технічної допомоги. 		<p>сільського господарства;</p> <ul style="list-style-type: none"> Міністерство інфраструктури
ПІДТРИМКА НІОКР	Збільшення частки наукових досліджень у сфері кліматичних змін	<ol style="list-style-type: none"> Забезпечення на державному рівні відповідної підтримки наукових досліджень, що стосуються пошуку шляхів, технології, методів і засобів у сфері боротьби з кліматичними змінами. Необхідно поступово збільшувати державне фінансування досліджень та інновацій, керуючись конкурентними принципами й одночасно впроваджуючи дієву систему оцінювання ефективності використання коштів. Спеціальні програми для підтримки стартапів і наукових проєктів. Особливу увагу слід звернути на молодих науковців, чиї дослідження сприятимуть досягненню цілей водневої програми. 	Національна академія наук України	<ul style="list-style-type: none"> МЕ ДАЕЕ
	Посилення та поглиблення співпраці між науковцями, представниками урядових структур та бізнесом	<ol style="list-style-type: none"> Інновації є головною рушійною силою перетворення енергії. Впровадження інноваційних рішень для підвищення гнучкості енергосистеми, більш широкого й рентабельного використання відновлюваної енергії (щоб ознайомитись детальніше, див. ДОДАТОК 3 цього звіту). Стимулювання співпраці бізнесу й науково-дослідницьких установ відбуватиметься як завдяки зміні механізмів державно-приватного партнерства, так і завдяки продовженню реформи вищої освіти, оскільки головними дослідницькими центрами, на базі яких можна створювати комплекси технологічного підприємництва, будуть університети й інші вищі навчальні заклади. 	Національна академія наук України	<ul style="list-style-type: none"> МЕ ДАЕЕ
ПОІНФОРМОВАНІСТЬ НАСЕЛЕННЯ		<ol style="list-style-type: none"> Важливо проводити широку інформаційну роботу на рівні місцевих громад, оскільки «зелений» енергетичний перехід повинен стимулювати ефективно й відповідальне споживання енергії, активну участь у виробництві та споживанні енергії на місцевому рівні, механізми для керування попитом, а також стимулювати розвиток нових форм і типів економічної діяльності, пов'язаної з реалізацією дорожньої карти. 	<ul style="list-style-type: none"> КМ МЕ Органи місцевого самоврядування 	<ul style="list-style-type: none"> Міністерство культури та інформаційної політики

Третя стадія (2027-2029 рр.).

Зведення разом складових частин лінійки високотехнологічних продуктів і розвиток стратегічних водневих проектів, реформування нормативно-правової бази, технологічний розвиток

		Тип документа		Відповідальний орган	Суміжний орган
I	II	III		IV	V
ЗАКОНОДАВСТВО	Принципи та стратегії	Сектори	Тип документа	<ul style="list-style-type: none"> • КМ • МЕ • МЕПР • МФ • МІ • МРГТ 	<ul style="list-style-type: none"> - Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства; - ДАЕЕ - НКРЕКП - Національна академія наук України; - Інститут відновлюваної енергетики НАН України; - Промислові професійні організації; - Інститут економіки та прогнозування НАН України
		1. Декарбонізація економіки			
		1.	Пошук шляхів для подальшого використання матеріально-технічної бази та майна підприємств, виведених з експлуатації, протягом перетворення в певних регіонах.		
		2.	Розробка й реалізація відповідних планів зі скорочення викидів для міст, які є основними забруднювачами.		
		1.2. Джерела відновлюваної енергії (ДВЕ)			
		1.	Оновлення енергетичної стратегії до 2035 року		
2.	Розробка політики й принципів інтеграції секторів (поєднання секторів) електроенергетики, теплопостачання та кондиціонування повітря, транспорту, промисловості й сільського господарства.				
1.3. Утилізація відходів					
1.	Подальша розробка нормативно-правової бази для утилізації відходів.				
2.1. Постачання енергоресурсів					
1.	Зміна структури української економіки: програма поступового «зеленого» енергетичного переходу та заміни частки економіки, яку займали галузі видобувної промисловості, новими секторами, що підвищують використання ДВЕ. Наслідком програми буде зменшення попиту на традиційне викопне паливо та скорочення певних галузей видобувної промисловості, в першу чергу вугільний сектор.				
2.	Реформування бізнес-моделі комунального сектора				
2. Декарбонізація тепла, що виділяється в процесі виробництва					
1.	Політика щодо викидів технологічних процесів: підрахунок худоби, запобігання витокам з нафтогазових систем, заміщення цементного клінкеру, поводження з орними угіддями та добривами, запобігання витокам метану зі сміттєзвалищ, знищення холодоагентів, що сприяють глобальному потеплінню, контроль витоку метану з вугільних шахт, зниження викидів метану під час очищення стічних				

		<p>вод, скорочення виробництва металургійного коксу для заліза й сталі.</p> <p>2. Політика виплат за викиди вуглецю.</p> <p>3. Політика сприяння (1) промисловим стандартам енергоефективності для обладнання, (2) освіти й технічній допомозі, (3) фінансовому стимулюванню, (4) обов'язковим цільовим показникам.</p>		
	3. Декарбонізація транспортного сектора	<p>1. Програма модернізації та збільшення кількості річкових портів.</p> <p>2. Політика заохочення використання водневих і електричних автомобілів.</p> <p>3. Програма максимального переобладнання парку транспортних засобів з ДВЗ на електричні, водневі, з паливними елементами чи використанням інших технологій, що відповідають критеріям екологічності та захисту довкілля.</p> <p>4. Програма максимального використання біопалива, біометану й інших видів палива з нейтральним рівнем викидів вуглецю, в першу чергу в сфері громадського транспорту.</p> <p>5. Політика міської мобільності, наприклад обмеження щодо паркування,</p>		
	Стандарти, норми, сертифікація та моніторинг	<ol style="list-style-type: none"> 1. Набір стандартів для ДВЕ та пільгові тарифи. 2. Норми експлуатації транспортних засобів. 3. Штрафи й знижки для транспортних засобів, 4. Будівельні норми й стандарти для побутової техніки. 5. Стимулювання прийняття систем керування енергоспоживанням: енергетичний аудит і вимоги до відповідального за енергогосподарство 6. Забезпечення цифрової стандартизації та сертифікації в сфері виробництва й використання «зеленого» водню з урахуванням європейських стандартів і норм. 7. Вдосконалення або впровадження системи збирання, систематизації та публікації статистичної інформації про водневі технології, контроль викидів. 	<ul style="list-style-type: none"> • МЕ • МФ • ДАЕЕ • МЕГР • МРГТ 	<ul style="list-style-type: none"> – Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства; – Міністерство інфраструктури; – Національна академія наук України

ЕКОНОМІЧНІ ЗАХОДИ	Державні механізми підтримки заходів і проєктів для виробництва водню й використання водневих технологій	<ol style="list-style-type: none"> 1. Організація промислового виробництва обладнання для виробництва водню. 2. Впровадження відновлюваної електроенергії на рівні 25% від загальної генерації з одночасним забезпеченням паралельних потужностей за схемою «електроліз-водень-паливні елементи». 3. Одночасне розгортання великомасштабних демонстраційних проєктів виробництва енергії з водню з будівництвом теплової електростанції (ТЕС) на паливних елементах. 4. Розробка й запуск експериментального проєкта для декарбонізації газотранспортної системи. 5. Заміна до 10% природного газу на водень в житлово-комунальному господарстві. 6. Доступ України до ініціативи «Блакитний Дунай». 	<ul style="list-style-type: none"> • МЕ • ДАЕЕ • МРГТ • Органи місцевого самоврядування 	<ul style="list-style-type: none"> – Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства; – Міністерство інфраструктури; – Національна академія наук України; – Інститут відновлюваної енергетики НАН України; – Комітети з технічної стандартизації
	Відображення економічних процесів в енергетичній системі в цифровому форматі	<ol style="list-style-type: none"> 1. Розробка заходів в впровадження розумних енергосистем в Україні 	<ul style="list-style-type: none"> • МЕ • НКРЕКП • ДАЕЕ 	<ul style="list-style-type: none"> – Міністерство цифрової трансформації – Оператор систем передачі електроенергії – Оператор систем розподілу електроенергії
	Розвиток ринку	<ol style="list-style-type: none"> 1. Організація національної мережі газозаправних станцій для водневих автомобілів з централізованим постачанням водню, яка могла би забезпечити до 10% транспортних засобів, зокрема до 15% пасажирських перевезень. 2. Розробка міжнародних ланцюгів постачання водню та внутрішнього застосування технології перетворення енергії на газ для постачання відновлюваного водню. 3. Створення об'єднаних мереж утилізації відходів і пунктів утилізації, завдяки яким можна утилізувати власні відходи в усій державі або регіоні. 4. Перехід до екологічної моделі економіки замкненого циклу, в якій максимально довго використовується весь обсяг продукції, матеріалів та ресурсів, а кількість відходів зводиться до мінімуму. 	<ul style="list-style-type: none"> • МЕ • ДАЕЕ • МРГТ • Органи місцевого самоврядування 	<ul style="list-style-type: none"> – Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства; – Міністерство інфраструктури

	Економічні стимули	<ol style="list-style-type: none"> 1. Розробка інструментів для запровадження критеріїв „зелених державних закупівель”. 2. Перегляд й вдосконалення механізмів соціального захисту споживачів: вільний доступ до консультацій та інформації про енергоефективність, пільгове кредитування та (або) субсидії для заміни пристроїв з великим споживанням енергії, захист споживачів, включно із запровадженням інституту енергетичного омбудсмена. 3. Проведення великомасштабної теплової модернізації державних установ і організацій, а також обов’язкових публічних закупівель з урахуванням критерію енергоефективності та екологічності («зелені» закупівлі), що продемонструє пріоритетність таких заходів для України. 4. Кошти, зекономлені внаслідок заходів із забезпечення енергоефективності, зокрема теплової модернізації закладів освіти та охорони здоров’я, мають бути направлені на підтримку розвитку системи освіти й охорони здоров’я. Це дасть стимулюючий ефект і забезпечить підтримку інтересів місцевих громад. 	<ul style="list-style-type: none"> • МЕ • МФ • ДАЕЕ • Органи місцевого самоврядування 	<ul style="list-style-type: none"> – Міністерство економіки; – Міністерство розвитку громад і територій України (Мінрегіон) – Міністерство інфраструктури
ПІДТРИМКА НІОКР	Збільшення частки наукових досліджень у сфері кліматичних змін	<ol style="list-style-type: none"> 1. Послідовність наукових досліджень щодо розробки й сертифікації обладнання власного виробництва. 	Національна академія наук України	– Приватні компанії
ПОІНФОРМОВАНІСТЬ НАСЕЛЕННЯ		<ol style="list-style-type: none"> 1. Основною метою подання інформації, окрім посилення ролі споживачів, має бути економічне зростання та покращення добробуту громадян, зокрема виникнення можливостей для зайнятості, розвиток підприємництва. 	<ul style="list-style-type: none"> • МЕ • ДАЕЕ • Органи місцевого самоврядування 	Міністерство культури та інформаційної політики

6.2 Дії та заходи на обласному та муніципальному рівні

Розвиток місцевих ланок постачання водню є вирішальним для української економіки з кількох причин:

- доступне, надійне та стійке енергопостачання є ключовим фактором, що може впливати на рішення компаній щодо місця їхнього розташування та який є необхідним для допомоги енергоємним галузям в регіонах України стати стійкими. Українська економіка має великий відсоток енергоємних галузей. Для того, щоб зберегти подібні галузі в регіонах, надзвичайно важливо, щоб компанії мали можливість придбати енергоносії з нульовим рівнем вуглецю за міжнародними конкурентоспроможними цінами;
- розвиток ланок постачання водню в регіонах України призведе до нових можливостей для українських компаній та навчальних установ, що також сприятиме подальшому працевлаштуванню. Україна мала велику кількість компаній в обробній промисловості, які мають потенціал перерости у ключових гравців у розвитку регіональних та міжнародних ланок постачання водню на основі своїх знань у таких галузях, як промислові гази, передові матеріали та хімічні процеси. У співпраці з Міністерством економіки місцеві муніципальні органи повинні розробити карти потенційного становища місцевої обробної промисловості у галузі водню для виявлення потенційних компаній, які працюють у водневому секторі. У кожному регіоні повинен бути сформований потужний кластер компаній, які працюватимуть у галузі технології водню в районі основних портів та вузлів газотранспортної системи;
- це стосується портів та, зокрема, портів Одеської, Миколаївської та Херсонської областей, які зберігають поточну функцію вузла в рамках міжнародних енергетичних потоків, що є вирішальним фактором із стратегічної точки зору. Водень має потенціал стати товаром, яким торгуватимуть у всьому світі. Враховуючи значний очікуваний попит на водень у промисловості Європи, для України було б цілком вигідно стати опорою у цьому ланцюзі постачання та використовувати для цього існуючу регіональну інфраструктуру.

Регіони по всій країні повинні розвивати водневі кластери, співпрацюючи на міжнародному рівні з такими організаціями, як Спільне підприємство ЄС з паливних елементів та водню. Одеська область вже утворює першу в Україні Водневу долину, співпрацюючи з компанією «Воднева долина Дунаю» в рамках Ініціативи електролізерів 2x40GW. Інтегрований підхід також розробляється в таких регіонах, як Херсонщина, Запоріжжя та Дніпропетровщина.

У меншому масштабі різні групи зацікавлених сторін - муніципалітети, підприємства малого та середнього бізнесу, громадяни, оператори системних мереж, сільськогосподарські підприємства, серед іншого, повинні працювати над інноваційними програмами використання водню. Ці зусилля матимуть економічні можливості, пов'язані з місцевими стратегіями сталого розвитку. Місцеві органи влади повинні розвивати ці ініціативи та використовувати їх як важливу частину того, як планується формувати енергетичний перехід разом із центральним урядом у найближчі роки.

6.3 Визначення пілотних проектів

Розробка проектної пропозиції щодо технічної допомоги для підтримки законодавчих реформ та залучення прямих інвестицій та іншого фінансування водневої економіки.

Проектна пропозиція № 1 - Розробка водневої стратегії України.

Загальною метою проекту є підтримка впровадження реформ в енергетичному секторі України відповідно до законодавства ЄС про енергетику з урахуванням положень Водневої стратегії ЄС. Основна діяльність буде зосереджена на створенні стійких аргументів щодо використання водню при передачі, зберіганні, розподілі та подачі.

Діяльність проекту буде зосереджена на розробці водневої стратегії України, яка повинна включати:

- Огляд виробництва водню в ЄС - обсяги, зростання, останні зміни, нові джерела та технології, транспорт та мобільність, перспективи розвитку;
- Огляд нормативних актів ЄС та програм підтримки, спрямованих на декарбонізацію та десульфурізацію (наприклад, податки на CO₂ та наявні схеми торгівлі викидами, як наприклад EU-ETS (Схема торгівлі квотами на викиди ЄС), підтримка нейтрального до вуглецю бізнесу);
- Огляд перспектив використання водню в ЄС - останні зміни, подальший розвиток (замінник метану, виробництво енергії тощо) та потенціал експорту;
- Короткий огляд ключових стратегічних пріоритетів у розвитку водню в усьому світі, розвиток стратегічних ініціатив, можливостей та ризиків;
- Огляд поточного стану електроенергетичної та енергетичної системи України з порівняльним аналізом нестачі або надлишку, аналізом використання потужності, потенціалу для внутрішнього використання водню;
- Формулювання стратегічних цілей та передумов реалізації стратегії (що і коли слід досягти);
- Аналіз потенціалу виробництва водню з ядерної енергії в Україні: світовий досвід та останні розробки, реалізовані проекти, профіль виробництва (ключові показники ефективності та економіки, інвестиційні витрати та доцільність), потенціал швидкої виробничої системи в Україні (обсяги, витрати, транспорт та споживання);
- Потенціал виробництва зеленого водню в Україні: аналіз зеленого тарифу проти економічного профілю виробництва водню, аналіз інвестиційної вартості та доцільності, ключові рекомендації;
- Огляд інших джерел виробництва водню: плюси та мінуси, вартість використання та порівняльний аналіз конструкцій, високорівнева оцінка економічної доцільності (синій, сірий, бірюзовий інший);
- Стислий опис ключових висновків: вигоди для України від виробництва водню; застосування та профіль технологій, що використовуються для виробництва водню; інвестиційна вартість та прибутковість; потенційні споживачі водню; перелік пілотних проектів, в тому числі профіль потенційного інвестора; обсяг державної підтримки.
- Розробка дорожньої карти та плану дій щодо реалізації водневої стратегії.

Орієнтовний бюджет та тривалість: 2 млн. Євро, тривалість 24 місяці.

Порядок реалізації: Договір про надання послуг / міжнародний відкритий тендер.

Проектна пропозиція № 2 - Аналіз різних аспектів впровадження водневої економіки в Україні.

Загальною метою проекту є підтримка впровадження реформ в енергетичному секторі України відповідно до законодавства ЄС про енергетику з урахуванням положень Водневої стратегії ЄС. Основна діяльність буде зосереджена на створенні стійких аргументів щодо використання водню при передачі, зберіганні, розподілі та подачі.

Діяльність проекту буде зосереджена на досягненні наступних результатів:

- Аналіз інвестиційних витрат на технології виробництва водню;
- Аналіз фізико-хімічних властивостей водню та характеристик впливу на різні типи металів, що використовуються в існуючих газопроводах в ЄС;
- Аналіз граничних діапазонів змішування водню з природним газом для подальшого транзиту до ЄС;
- Аналіз практики ЄС щодо змішування водню та природного газу у разі передачі значного обсягу газу (більше 1 мкм) та його промислового використання (технологія);

- Принципи, методи та технології відділення водню від суміші з природним газом (з прикладами);
- Оцінка існуючої законодавчої бази (включаючи регуляторну) в ЄС стосовно водню з метою виявлення шляхів вдосконалення української законодавчої бази на основі кращих практик та законодавства ЄС.

Орієнтовний бюджет та тривалість: 1 млн. Євро, тривалість 12 місяців.

Порядок реалізації: Договір про надання послуг / міжнародний відкритий тендер.

6.4 Виконання завдань Дорожньої карти - моніторинг і перевірка

Дорожня карта передбачає впровадження великого обсягу науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, випробувальних та оціночних робіт, обробки нормативної та технічної документації для пілотного промислового будівництва, впровадження найбільш ефективних проектів у промислову експлуатацію, а також використання стандартних методів адміністративного контролю системою організації роботи та контролю за виконанням програм, прийнятою на рівні цієї країни, враховуючи міжгалузевий характер деяких завдань Дорожньої карти.

Організація роботи стосовно регіональних аспектів Дорожньої карти буде виконуватися відповідними центральними та місцевими органами виконавчої влади. Їхні функції та обов'язки вже визначені в Енергетичній стратегії України. Державні органи та національні регуляторні органи забезпечують:

- дотримання положень та цілей Дорожньої карти при розробці нормативно-правових актів для регулювання діяльності на ринку ресурсів, в водневих технологіях та супутніх послугах;
- баланс інтересів країни, природних монополій та споживачів товарів (послуг);
- відображення положень та цілей Дорожньої карти у вимогах щодо впровадження та здійснення ліцензованої діяльності на ринку водневих технологій та супутніх послуг.

Міністерство енергетики разом із **Державним агентством з енергоефективності та енергозбереження України (Держенергоефективності)**, що підпорядковується йому як виконавчому органу, повинні мати спільну координацію заходів, передбачених Дорожньою картою.

Міністерство економічного розвитку, торгівлі та сільського господарства під час формування та реалізації державної економічної політики забезпечує впровадження положень Дорожньої карти за допомогою:

- створення та реалізації програм підтримки суб'єктів господарювання та державно-приватного партнерства;
- координації зовнішньоекономічної політики, визначення пріоритетів економічного співробітництва під час спілкування з торговими партнерами;
- вдосконалення системи збору, систематизації та публікації статистичної інформації про водневі технології.
- координація діяльності національного органу зі стандартизації стосовно впровадження національної програми стандартизації для прийняття / узгодження / реалізації стандартів стосовно водневих технологій.

Міністерство розвитку громад та територій України забезпечує виконання положень Енергетичної стратегії України за допомогою:

- формування та реалізації державної політики у сфері теплопостачання, затвердження регіональних програм модернізації систем комунального опалення;

- затвердження планів (схем) розвитку місцевої системи опалення;
- узгодження інвестиційних планів комунальних енергетичних компаній;
- розробка стратегічних ініціатив у сфері енергоефективності будівель та споруд.

Міністерство екології та природних ресурсів забезпечує:

- дотримання положень та цілей Дорожньої карти при веденні зовнішній політики України під час переговорів, укладення міжнародних угод, участь України у міжнародних ініціативах з питань зміни клімату та охорони навколишнього середовища;
- дотримання положень та цілей Дорожньої карти при розробці стратегії низьковуглецевого розвитку України для імплементації положень Паризької угоди;
- забезпечення виконання зобов'язань України для досягнення цілей Паризької угоди та інших міжнародних угод з питань зміни клімату.

Міністерство інфраструктури України буде залучено до виконання наступних завдань про впровадження водневих технологій:

- формулювання та впровадження державної політики з питань транспорту, використання українського повітряного простору, доріг та портів;
- формулювання та реалізація державної політики з питань безпеки перевезень, торгового судноплавства та навігаційно-гідрографічної підтримки суден;
- у межах наших повноважень участь у формуванні та впровадженні державної тарифної політики та політики державних закупівель у транспортній галузі;
- Міністр інфраструктури координує з Державною авіаційною службою України, Державною службою морського та річкового транспорту України, Державною інспекцією України з безпеки на наземному транспорті та з Державним агентством автомобільних доріг України.

Місцеві органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування забезпечують впровадження та виконання Дорожньої карти в межах своєї компетенції, а саме:

- розробка та затвердження планів (схем) розвитку місцевих енергетичних систем та іншого використання водневих технологій, регіональних програм необхідної модернізації комунальних систем теплоенергетики;
- затвердження інвестиційних планів комунальних енергетичних та транспортних компаній; - реалізація потенціалу відновлюваної енергії на місцевому рівні.

Цивільне суспільство здійснюватиме громадський контроль за діяльністю органів виконавчої влади стосовно впровадження Дорожньої карти наступним чином:

- проводити оцінку проектів нормативно-правових актів;
- брати участь у роботі громадських рад при органах виконавчої влади, які займаються реалізацією енергетичної політики та інформуванням суспільства про діяльність органів виконавчої влади стосовно впровадження Дорожньої карти.

Нагляд з боку українського суспільства може здійснюватися недержавними організаціями, які працюють у секторах енергетики та охорони навколишнього середовища, а також професійними асоціаціями, як наприклад, Енергетична асоціація «Українська воднева рада».

Було б правильно делегувати наукову, технічну та інформаційну підтримку цієї програми спеціалізованим установам - **Національній академії наук (НАН)**, зокрема, **Інституту відновлюваних джерел енергії НАН України (ІВД НАН)**, технічним комітетам зі стандартизації.

7. Висновки та рекомендації

Водень є гнучким носієм енергії, який можна виробляти з різних вітчизняних енергетичних ресурсів і використовувати у всіх галузях економіки. Якщо досягнути того, що базована на вітчизняних енергетичних ресурсах енергетична система є широко застосовувана та використовує водень як носій енергії, то така енергетична система може покращити енергетичну безпеку, якість повітря та управління парниковими газами. Така система потребуватиме розробки в ряді додаткових технологій для виробництва, транспортування, зберігання та використання водню. Перехід до водневої економіки розпочався у всіх розвинених країнах світу, для досягнення цього може знадобитися кілька десятиліть. Воднева енергія може відігравати більш важливішу роль в енергетичному майбутньому України, оскільки може допомогти зменшити залежність від імпорту енергоносіїв та зменшити забруднення зовнішнього середовища та викиди парникових газів.

Центральним та місцевим органам влади України буде потрібно впроваджувати та підтримувати послідовну енергетичну політику, що підвищує рівень водню як пріоритетного носія енергії. Міцне державно-приватне партнерство повинно бути зосереджене на пошуку нових шляхів співпраці у розробці та використанні водневої енергії. Наступним логічним кроком буде розробка Національної стратегії та водневої програми, які потребуватимуть досліджень, розробок, випробувань, залучення кодексів та стандартів про виробництво, доставку, зберігання та використання водню.

КЛЮЧОВІ ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЙ ВОДНЮ В УКРАЇНІ

Підтримка подальшого розвитку:

- Національна безпека та необхідність зменшення імпорту нафти
- Глобальні зміни клімату та необхідність зменшити й остаточно зменшити викиди парникових газів та забруднення зовнішнього середовища
- Потреба в нових, чистих джерелах енергії за доступними цінами
- Якість повітря та необхідність зменшення викидів від транспортних засобів та електростанцій
- Швидкі темпи розвитку технологій, що підтримують водень та конкуруючі енергоносії

Стимування подальшого розвитку:

- Труднощі у формуванні та розвитку національного консенсусу щодо довгострокових пріоритетів енергетичної політики
- Відсутність водневої інфраструктури та значні витрати на її будівництво
- Відсутність доступних у продажу недорогих пристроїв для виробництва, зберігання та переробки водню
- Питання безпеки водню як енергоносія
- Необхідність додаткового просунення методів секвестрації (вилучення) вуглецю та дешевих методів секвестрації
- Сьогоднішня наявність порівняно недорогих видів пального посилює неминуче виснаження цих ресурсів
- Споживачі одночасно бажають, як чистого навколишнього середовища, так і доступних енергоносіїв

Основні висновки цього дослідження включають наступне:

1) ВИРОБНИЦТВО ВОДНЮ

- **Витрати на виробництво водню високі порівняно зі звичайними видами палива.** На даний момент більшість водню виробляється з вуглеводнів, таким чином вартість одиниці енергії, що надходить через водень, є вище, ніж вартість тієї самої одиниці енергії з вуглеводню. Особливо це той випадок, коли порівняння вартості проводиться в точці продажу замовнику, оскільки витрати на доставку водню також вищі, ніж вартість доставки вуглеводнів. Широкомасштабна, добре розвинена інфраструктура виробництва та постачання природного газу, нафти, вугілля та електроенергії підтримує низькі ціни на енергію та встановлює жорсткі цінові обмеження для досягнення цих цін на водневу енергію.
- **Низький попит стримує розвиток виробничих потужностей.** Незважаючи на те, що на нафтопереробних і хімічних заводах існує здоровий, зростаючий попит на водень, на теперішній час попит на водень як енергоносіє є невеликим. Зростання попиту залежатиме від розробки та впровадження пристроїв для зберігання та перетворення водню, а також від попиту на такі продукти, як автомобілі, що працюють на водні, та електрогенератори. Без попиту на високоякісний водень на ринку енергоносіїв, промисловість не матиме стимулів повністю розвивати, оптимізувати та впроваджувати існуючі та нові технології.
- **Вдосконалені методи виробництва водню потребують розвинення.** Хоча вітрові, сонячні та геотермальні ресурси можуть виробляти водень в електролітичному режимі, а біомаса може виробляти водень напряму, інші вдосконалені методи отримання водню з відновлюваних та стійких джерел енергії без утворення вуглекислого газу все ще перебувають на ранніх стадіях досліджень та розробок. Відновлювані технології, зокрема, сонячні, вітрові та геотермальні, потребують подальшого розвитку таким чином, щоб виробництво водню із цих джерел було більш конкурентоспроможним.
- **Демонстраційні проекти державно-приватного партнерства мають суттєве значення.** Зацікавленим сторонам необхідне базове розуміння різних джерел виробництва водню, перш ніж вони захочуть прийняти для себе концепції виробництва водню. Демонстрація та показ - найкращий спосіб отримати необхідну зацікавленість. Однак великий масштаб деяких виробничих процесів водню робить процедуру демонстрації доволі складною та дорогою.

Рекомендації

- **Для вдосконалення та розширення методів економічного отримання водню необхідні дослідження, розробки та демонстрація процесів.** Виробничі витрати необхідно знизити, підвищити ефективність та розробити технології секвестрації (вилучення) вуглецю. Потрібні кращі методи як для виробництва центральної станції, так і для станції розподілу водню. Необхідно спрямувати зусилля на електролізери. Перелік конкретних дій відрізняється для кожної з технологій виробництва водню. Різні комбінації технологій виробництва будуть використовуватися для різних застосувань.
- **Запровадити політику, яка сприятиме розвитку технологій та ринку.** Державна підтримка досліджень та розробок має бути зосереджена на розробці передових відновлюваних та низьковуглецевих методів, а також технологій уловлювання та секвестрації (вилучення) вуглекислого газу. Покращити процеси розділення та очищення газу.
- **Розробити та продемонструвати невелику установку виробництва водню на основі відновлюваних джерел енергії з електролізером.** Технологія потребує в подальшому вдосконалення для підвищення надійності та інтеграції з системами зберігання та паливними елементами. Оптимізувати та зменшити витрати на електролізери. Необхідно докласти зусиль для підвищення ефективності

та зниження витрат на електролізери в подальшому, оскільки цей метод виробництва ідеально підходить для розподіленої генерації та може запропонувати ринкові можливості на ранніх стадіях. Незважаючи на те, що в даний час електроліз є дорожчим за виробництво тепла, краще розуміння високих температур та електролізу під високим тиском може зменшити витрати. У розподілених водневих системах водень, що виробляється на місці, часто вимагає стиснення для зберігання (тиск до 5000 фунтів на квадратний дюйм); а електроліз під високим тиском може усунути потребу в цьому додатковому стисненні. Необхідно провести короткострокове дослідження для розробки досяжних цілей стосовно електролізу з точки зору ефективності виробництва, капітальних витрат та ціни. Конкретні цілі допоможуть узгодити та зосередити зусилля на розвитку. Розробити передові методи відновлюваної енергії, які не виділяють вуглекислого газу.

- **Розробити передові технології атомної енергетики для отримання водню.** Необхідні дослідження для виявлення та розробки методів економічного отримання водню з атомної енергії, які дозволять уникнути викидів вуглецю. Термохімічне розщеплення води з використанням високотемпературного тепла з сучасних ядерних реакторів може бути включене до майбутніх конструкцій атомних станцій.

- **Розробити методи широкомасштабного захоплення та відведення вуглекислого газу.** Економічно ефективний спосіб уловлювання та секвестрації (вилучення) вуглекислого газу полегшить виробництво величезної кількості водню з низьким рівнем викидів вуглецю. Необхідно проводити демонстрацію технологій виробництва та застосування водню. Проводити демонстрацію вважається занадто дорого, особливо враховуючи те, що початковий попит на вироблений водень може бути незначним. Демонстрація, що пов'язує технологію виробництва та інші елементи інфраструктури водню, включаючи використання на ринку, будуть більш економічно ефективними в подальшому. Такі демонстрації повинні показувати безпеку та інші переваги використання водню, щоб стимулювати зацікавленість на ринку. Демонстрації виробництва, очищення, зберігання, розподілу водню та виробництва електроенергії на паливних елементах слід продовжувати у великих столичних районах. Відтак для технологій, які потребують масштабних випробувань та демонстрації, слід розробити місце випробувань у промислових масштабах, щоб полегшити пошук наявних для цього локацій.

2) СИСТЕМИ ДОСТАВКИ ВОДНЮ

Наявні системи доставки водню повинні будуть значно збільшитися та розширитися, аби безпечно та доступно доставляти водень до всіх регіонів країни. Розподілене виробництво водню вірогідно гратиме значну роль, проте альтернативні системи доставки (наприклад, транспортування водню в безпечних гідридах твердих металевих сплавів, вуглецевих наноматеріалах та інших хімічних формах), що вже пристосовані до потреб споживачів, повинні бути розроблені для транспортування водню до місць кінцевого використання за необхідності.

Рекомендації

- **Розробити план розгортання демонстраційних проектів.** Потрібно запустити інфраструктуру доставки водню в декількох регіонах України. Проведене державою пілотне випробування систем заправки, подібних до тих, що застосовуються для стисненого природного газу, допомогло б закласти базу для сертифікації компонентів заправних станцій. Демонстраційні програми могли б стимулювати розвиток технологій доставки та кінцевого споживання. Регіональні мережі доставки в декількох областях могли би бути гарним підходом для будівництва систем.

- **Розробити спільну точку зору про загальні витрати на альтернативні види доставки водню.** Необхідно провести аналіз загальних витрат на альтернативні варіанти доставки. Порівняльний аналіз має зважувати варіанти, що стосуються усіх потенційних пунктів доставки палива, витрат на підтримку існуючої паливної інфраструктури та придатності існуючої інфраструктури для майбутнього використання водню.
- **Збільшити кількість досліджень та розробок систем доставки водню.** Необхідно вдосконалювати такі сфери, як детектори для пошуку водню; одоризація; вибір матеріалів для трубопроводів, ущільнювачів та клапанів; транспортних контейнерів для доставки водню. Валідація технологій має відповідати потребам досліджень і розробок таких паливних компонентів, як високий тиск, відривні шланги; датчики водню; компресори; системи виробництва водню на місці; та роботизовані машини з подачі палива. Дослідники мають перевірити доцільність методів доставки з центральних та розподільчих заводів з виробництва водню, а також компресорів, систем зберігання та інших компонентів, вже інтегрованих у системи повної доставки водню. Звичайно, випробування та перевірки повинні відбуватися постійно. Має бути створено організацію для проведення випробувань та сертифікації, та для виявлення компонентів, які вимагають окремих протоколів перевірки та випробувань. Ця організація має включати представників страхових компаній, державних установ, національних лабораторій та промислових підприємств.

3) ЗБЕРІГАННЯ ВОДНЮ

Відсутність або нестача недорогих та легких пристроїв для зберігання, а також відсутність або нестача комерційно доступних та економічно вигідних паливних елементів заважає впровадженню водню на ринку як енергоносія. Для розвитку «водневої економіки» споживачі повинні мати зручний доступ до водню, а пристрої для зберігання при цьому будуть одним із ключових факторів. Кращі системи зберігання водню забезпечать легкий доступ до водню для транспортних засобів, об'єктів розподілення енергії або центральних електростанцій.

Рекомендації

- **Розробити скоординовану національну програму для поліпшення матеріалів для зберігання водню.** Необхідна повністю профінансована національна програма для покращення показників зберігання та зменшення вартості зберігання водню. До сучасних матеріалів для зберігання, які демонструють перспективу для зберігання водню, належать аланати, вуглецеві структури, хімічні гідриди та гідриди металів. Технології зберігання є невід'ємною частиною виробництва, транспортування, доставки та застосування водню як енергоносія
- **Розпочати програму підтримки розвитку технологій з високим ризиком.** Жодна з відомих в даний час технологій не задовольняє всі бажані характеристики зберігання водню, які шукають виробники та кінцеві користувачі. Кожна технологія на сьогодні має свої переваги та недоліки.
- **Розробити процес масового виробництва носіїв/умов для зберігання водню.** В сьогодні жодна ринкова сила не спрямовує зусиль на зменшення витрат на сировину та на розвиток ефективних процесів масового виробництва. Навіть більш досвідчені технології зберігання стисненого та рідкого водню є дорогими через відсутність великого попиту. Нові технології, які все ще знаходяться в лабораторії, включаючи гідриди, аланати та адсорбційні матеріали вуглецю, мають йти далі шляхом комерціалізації та масового виробництва. Фундаментальні вдосконалення процесів зберігання водню залишаються повністю зрозумілими та оптимізованими. Коли у лабораторії буде зроблена оптимізація матеріалів, необхідно розробити та продемонструвати практичні інтегровані системи зберігання. На цей час також необхідно розглянути питання проектування та масштабування виробництва та витрат.

4) ПАЛИВНІ ЕЛЕМЕНТИ

Двигуни, турбіни згоряння та паливні елементи можуть перетворювати водень у корисні форми енергії. Дослідження та розробки необхідні для зниження витрат та розширення виробничих можливостей паливних елементів та для розробки більш ефективних та дешевих конструкцій двигунів та турбін. Необхідно зосередити зусилля промисловості на розробці вигідних бізнес-моделей для розподільчих енергосистем, оптимізації конструкцій паливних елементів для мобільних та стаціонарних застосувань та збільшення випробувань згоряння сумішей водню та природного газу. Уряд повинен сприяти розробці кращої інформації про основні властивості згоряння водню та вдосконаленню фундаментального розуміння сучасних матеріалів, електрохімії та інтерфейсів для паливних елементів.

Паливні елементи потребують вдосконалених матеріалів, мембран та каталізаторів, щоб відповідати як технічним, так і ціновим критеріям. Для всіх типів паливних елементів, окрім фосфорної кислоти, надійність експлуатаційних характеристик та довговічність протягом багатьох годин роботи залишаються підтвердженими фактами. Фосфорно-кислотні паливні елементи вважаються єдиним типом паливних елементів, що мають великий комерційний досвід, але зусилля для пошуку, як знизити їхні виробничі витрати, на жаль, ще не мають результатів. Також залишаються питання щодо експлуатаційних характеристик усіх типів паливних елементів у різних кліматичних умовах та в залежності від географічного розташування. Проблеми збільшення масштабів виробництва та пов'язана з цим потреба у розвитку попиту є основними перешкодами на шляху зменшення витрат. Для заповнення критичних прогалів у знаннях необхідні дослідження.

В свою чергу дослідникам потрібна краща інформація про характеристики вогню/полум'я при згорянні водню та вплив технологій перетворення на поршневі конструкції двигунів та турбін. Більше знань потрібно для спрямування використання новітніх матеріалів у системах згоряння водню. Існуючі бази даних необхідно наповнити розширеною інформацією про продуктивність двигунів та турбін, що працюють на водні, протягом тривалого періоду. Така інформація про продуктивність має включати ефективність, обсяги викидів та безпеку як для портативного, так і для стаціонарного застосування.

Ринкові та бюрократичні бар'єри перешкоджають розробці конкурентоспроможних пристроїв для перетворення водню. Потенційні клієнти не бачать вагомих пропозицій, які переконують у виборі продуктів для перетворення водню. Суттєве зниження витрат буде вкрай важливим, особливо без урядового доручення на це, що сприятиме використанню продуктів перетворення водню, а не дешевих звичних видів палива та продуктів. За відсутності такої політики, звичайне паливо та пристрої для переробки залишатимуться єдиним практичним варіантом для споживачів. З такою ж проблемою у розробці інноваційних технологій безпеки та досягненні вигідних операцій до того, як почати розвиток на великому ринку, стикаються виробники паливних елементів.

Рекомендації

- **Розширення виробничих можливостей для паливних елементів.** Необхідні нові методи для обробки великих обсягів виробництва паливних елементів та досягнення кращої послідовності в цьому та контролю якості. Всі досягнення в цій галузі є одним із найвірніших способів скорочень витрат, що необхідно для виходу сфери виробництва паливних елементів на масові ринки. Вдосконалення вартості та інтеграція компонентів неосновного устаткування, зокрема, кондиціонування енергії, зберігання та управління теплом, управління водою та обладнання для переробки палива – є необхідними чинниками для розвитку.

- **Збирати більше та якіснішу інформацію про показники продуктивності на існуючих майданчиках для демонстрацій.** Поліпшений інструментарій та більше зусиль для збору інформації необхідні для полегшення аналізу всього спектру витрат, ефективності та обсягів викидів для всіх портативних та стаціонарних застосувань у більш широкому діапазоні екологічних умов. Необхідно запроваджувати більш масштабні випробування надійності та довговічності сучасних матеріалів, зокрема, полімер-електролітної мембрани та твердооксидних паливних елементів. Так само, в цей же час необхідно проводити посилений аналіз ринку, щоб надати фінансовому співтовариству краще розуміння всього потенціалу паливних елементів, двигунів, що використовують водень, та газових турбін.

5) ЗАСТОСУВАННЯ

Кінцевою метою є надання споживачам можливості використовувати водневі енергетичні пристрої для транспортування, виробництва електроенергії в містах та будинках та портативних джерел живлення в електронних пристроях, таких як мобільні телефони та ноутбуки. Після того, коли будуть вирішені питання витрат та продуктивності, пов'язані з водневими енергетичними системами, наступні виклики включатимуть розуміння та усвідомлення споживачів. Безпека, зручність, доступність та екологічність є ключовими вимогами споживачів. Промислова сфера повинна зосередити свої зусилля на вивченні вподобань споживачів та впровадженні цих вподобань у конструкцію та роботу водневої системи. Уряд має визначити можливості використання водневих систем в пристроях для розподіленого виробництва, комбінованого тепла й електроенергії, та автомобільного господарства.

Необхідно знизити економічні витрати для застосування водню як палива, ніж на поточних промислових ринках. Оскільки масштаб виробництва є дуже важливим для скорочення витрат, необхідно забезпечити впровадження великого масштабу використання водню в усі державні напрямки та проекти демонстрацій. Зусилля мають бути зосереджені на розробці кращих компонентів для існуючих систем доставки, в тому числі таких компонентів як датчики водню, матеріали трубопроводів, компресори та відривні шланги високого тиску. Демонстраційні проекти повинні наголошувати на випробуваннях для компонентів водневої інфраструктури, як наприклад, в заправних станціях та електростанціях.

Рекомендації

- **Проводити дослідження та розробки для вирішення найважливіших викликів для водневої економіки.** Транспортування та стаціонарне застосування вимагатимуть розробки дешевих та довговічних батарей та систем паливних елементів. Великий виклик становить розвиток наступних компонентів: високотемпературні мембрани для паливних елементів; недорогі датчики та елементи керування, які мають швидку реакцію та споживають мало енергії; недорогі, надійні компоненти підсистеми, такі як компресори, насоси та силова електроніка; недорогі та надійні гібридні акумулятори та ультраконденсатори. У застосуванні в сфері транспорту дослідження мають бути спрямовані на тимчасове кінцеве використання водню до того, як буде розроблена загальнодержавна система доставки водню. Дослідження накопичення водню для транспортних засобів повинні зробити фокус на системах, які здатні відповідати діапазону руху подібних бензинових автомобілів. Ці системи повинні бути безпечними, мати малу вагу та невеликі розміри та бути конкурентоспроможними. Системи зберігання повинні бути сумісними з наявною заправною інфраструктурою, а безпека конструкцій систем зберігання має забезпечуватися шляхом розробки кодексів та стандартів. Необхідно оптимізувати системи згоряння та доочищення для максимізації потужності та теплової ефективності при мінімізації викидів у вихлопну трубу. Проблеми в

інженерному дизайні конструкцій включають розробку систем управління потоком та управління двигуном для комерційного пристрою. Потрібні дослідження для розробки кращих стратегій контролю, які допоможуть водню та збагаченому воднем вуглеводневому паливу отримати ширше визнання.

- **В найближчій перспективі необхідні дослідження для вирішення таких питань, як довговічність, вартість паливних елементів, інтеграція системи, архітектура системи.** Демонстраційні проекти мають показувати доступність кількох альтернативних технологій для енергопарків розподіленого виробництва в найближчій перспективі. Ці зусилля можуть включати розвиток міні-економік на основі водню, базуючись навколо існуючої водневої інфраструктури. Традиційні пристрої перетворення водню повинні бути продемонстровані в стаціонарних, транспортних та гібридних застосуваннях, та вони мають бути розроблені для сприяння створенню нових кластерів водню. Зі збільшенням кількості демонстраційних проектів зростатиме і кластер водню. Це допоможе розпочати створення водневої інфраструктури як для стаціонарного, так і транспортного застосування. Для подальшої мінімізації економічних ризиків будуть необхідні державно-приватні партнерства для демонстрації первинних типів автомобілів та пов'язаної з цим паливної інфраструктури. Необхідно узаконити правила, кодекси та стандарти для покращення статусу водню в очах споживачів. Стандартні загальнонаціональні угоди про взаємозв'язок галузей необхідні для того, щоб забезпечити підключення до поточної електричної мережі без витрат на штрафи. Типова документація та навчальні матеріали мають бути підготовлені для використання службовцями, які працюють в сфері надзвичайних ситуацій, страхування та будівництва. Необхідно розробити державну політику, яка заохочує використання водню як палива. Для того, щоб переконати українців використовувати водневі системи, необхідно буде застосовувати такі стимули, як демонстрація розподілу витрат, політика щодо паритету цін та «права переваги» для водневої інфраструктури (подібні до тих, що працюють у галузі природного газу). Уряд повинен прийняти національні стандарти взаємозв'язку галузей, вимагати від комунальних підприємств поведінки зі споживачами стаціонарного водню таким чином, як і до інших споживачів у тому ж класі тарифу, а також забезпечити оцінку варіантів розподіленого виробництва за їх здатність використовувати відпрацьоване тепло та досягати високої ефективності. Стратегії можуть включати розвиток торгівлі викидами, що на сьогодні має дуже низький рівень розвитку, присвоєння вартості зовнішнім ефектам через «податок на вуглець» або інші подібні заходи. Уряд може також стимулювати інвестиції у нові технології, зокрема, вводити податкові пільги на транспорт, стаціонарні та портативні водневі системи та на розвиток водневої інфраструктури.

6) НАВЧАННЯ ТА СУСПІЛЬНЕ УСВІДОМЛЕННЯ

Інформування та роз'яснення багатьох переваг водню є суттєвим елементом цієї Дорожньої карти. Для цього вимагатиметься довгострокове, скоординоване зобов'язання різних зацікавлених сторін ефективно передавати ключові водневі переваги широкій аудиторії. Програма навчання та роз'яснювальної роботи, що включає зв'язки з громадськістю, медіа-кампанії, демонстраційні заходи та політичні ініціативи, повинна розпочатися негайно. Навчання є постійним процесом, який впливає на всі аспекти водневої Дорожньої карти та впливає на її перспективи на успіх. Потрібно вжити конкретних дій для подолання бар'єрів та досягнення водневої економіки.

Потрібні інноваційні ідеї та творчі підходи, щоб підготувати населення до переходу до водневої економіки. Споживачі повинні відчувати себе вимушеними дізнатися більше про водень і повинні чітко розуміти, як воднева економіка може принести користь екології та енергетичній безпеці країни. Водень повинен бути

«брендованим» та «індивідуальним» для споживача; потрібно підкреслити його безпечність.

Рекомендації

- **Створювати регіональні, державні та місцеві мережі.** Слід розробити мережі для включення представників із сфери законодавства, інженерів, енергетичних регуляторів та споживачів для проведення демонстрації водневих технологій. Ці мережі повинні забезпечувати державну освіту з нормативних правил та стандартів, а також з питань безпеки.
- **Створювати широку коаліцію для впливу на українську енергетичну політику щодо впровадження водню.** Може бути створена коаліція з питань захисту водню для підтримки державної політики, яка заохочуватиме розвиток технологій виробництва, зберігання та використання водню; усунення ключових регуляторних та ринкових бар'єрів; для розробки освітніх програм; і створення державної політики, яка зробила б водень важливою складовою безпечною, ефективною та екологічно прийнятною державного енергетичного комплексу. Коаліція може звернутися до державних та приватних підприємств, що приймають рішення, стосовно необхідності впровадження послідовної та стійкої політики та процедур, які будуть підтримувати водневі системи. Це також може заохочувати водневі ініціативи та партнерства в регіонах. Інші зв'язки з громадськістю та інформаційна діяльність мають включати: Будівництво мобільних виставок на тему водню; Розширення онлайн баз даних про водень та створення інформаційного центру; Створення матеріалів Інтернет-маркетингу; Ефективне ознайомлення споживачів, Інформаційні кампанії, зокрема у засобах масової інформації.
- **Розробити всеосяжну програму освіти суспільства та роз'яснювальної роботи.** Водень повинен потрапити на карту держави та в свідомість споживачів. Ознайомлення населення вимагатиме узгоджених зусиль уряду, галузей промисловості та бізнесу для розробки широкої програми освіти та роз'яснювальної роботи. Ця програма повинна бути розроблена якомога швидше та повинна включати зв'язки з громадськістю та рекламні кампанії. Потрібно заохочувати представників громадськості та провести брифінг для ЗМІ.
- **Створити відкрите селище для демонстрації, яке б використовувало водень.** Будівельники, архітектори, кредитні установи, ріелтори, виробники технологій та пов'язані з цим різні асоціації повинні докласти зусиль для запуску моделі цього селища, яка визначає зацікавлені сторони, продукти та інфраструктуру водневої економіки.
- **Залучити ресурси для довгострокової освіти студентів на всіх рівнях.** Навчання студентів є ключовим компонентом впровадження обізнаності про водень та розвитку мережі підтримки теми водню. Без цілеспрямованої технологічної освітньої програми для студентів та викладачів наше минуле і надалі визначатиме наше майбутнє. Для навчання всіх студентів слід виділити довгострокові ресурси. Повинні бути розроблені навчальні програми для легкої інтеграції, починаючи від дитячих садків до 12 класу, професійно-технічних, чотирирічних інженерних та вищих ступенів освіти. Необхідно створити навчальні програми про водень, включаючи плани уроків, відеоматеріали, демонстраційне обладнання та випробування, які допоможуть навчати вчителів природничих наук та їх учнів. Підготовка вчителя повинна бути доступною для всіх зацікавлених фахівців, наприклад, під час літніх семінарів та на курсах підвищення кваліфікації. Крім того, необхідно створити програму стипендій з водневої тематики для заохочення інтересу до галузі на рівні аспірантів.

8. ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

1. "Biomass Explained: Landfill Gas and Biogas." U.S. Energy Information Administration, 12 Nov. 2019
2. "FAQ – Key Questions and Answers at a Glance." Clean Energy Partnership
3. "Hydrogen Production: Electrolysis." US Department of Energy, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy
4. "Hydrogen Production: Natural Gas reforming" US Department of Energy, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy
5. "New Catalyst Efficiently Produces Hydrogen from Seawater." ScienceDaily, 11 Nov. 2019
6. Acil Allen Consulting. 2018. "Opportunities for Australia from Hydrogen Exports." Report for ARENA (Australian Renewable Energy Agency), Canberra
7. African Hydrogen Partnership. 2019. "Green African Hydrogen: Operational Planning." Report, African Hydrogen Partnership, Henley-on-Thames, UK, and Harare, Zimbabwe.
8. Air Liquide. 2019. "Air Liquide Invests in the World's Largest Membrane-Based Electrolyzer to Develop Its Carbon-Free Hydrogen Production." News release, February 25
9. Ajayi-Oyakhire, Olu. 2012. *Hydrogen—Untapped Energy?* Derbyshire, UK: Institution of Gas Engineers and Managers
10. Attwood, James. 2018. "Hyundai Nexo Fuel Cell SUV Achieves Top Safety Rating." News release, October 24
11. Babcock, Stephane. 2019. "Kenworth, Toyota Unveil Jointly Developed Hydrogen Fuel Cell Truck." Heavy Duty Trucking news release, April 22
12. Ballard Power Systems. 2018. "Ballard Announces Planned Deployment of 500 Fuel Cell Commercial Trucks in Shanghai." Press release from Ballard Power Systems
13. Ballard Power Systems. 2019a. "Recent Developments in Europe's Fuel Cell Bus Market." Ballard website, February 11
14. Belleprat, Elie, and Kira West. 2018. "Clean and Efficient Heat for Industry." Commentary, International Energy Agency (IEA) website, January 23
15. BNEF (Bloomberg New Energy Finance). 2019. "Hydrogen: The Economics of Production from Renewables. Costs to Plummet." Report released August 21.
16. Business Wire. 2019. "Bloom Energy and Samsung Heavy Industries Team Up to Build Ships Powered by Solid Oxide Fuel Cells". News release, September 25
17. Buttler, Alexander, and Hartmut Spliethoff. 2018. "Current Status of Water Electrolysis for Energy Storage, Grid Balancing and Sector Coupling via Power-to-Gas and Power-to-Liquids: A Review." *Renewables and Sustainable Energy Reviews*
18. CLEAN HYDROGEN MONITOR 2020
19. Crolius, Stephen. 2017. "Kawasaki Moving Ahead with LH2 Tanker Project." Ammonia Energy Association news release, September 14
20. Crosse, Jesse. 2019. "New Hyundai Nexo Fuel Cell SUV: UK Pricing Revealed." News release, April 5
21. D. Pichota, L. Granadosa, T. Morela, A. Schullera, R. Dubettiera, F. Lockwood, "Start-up of Port-Jérôme CRYOCAP Plant: Optimized Cryogenic CO2 Capture from H2 Plants", *Energy Procedia*
22. Dagle et al. (2017), "An overview of natural gas conversion technologies for co-production of hydrogen and value-added solid carbon products";
23. DNV GL. 2019. *Produksjon og Bruk av Hydrogen i Norge*. Høvik, Norway: DNV GL Markets and Technology. Report in Norwegian with English summary
24. Eckert, Vera. 2019. "Germany's Uniper Feeds Wind Power-to-Methane into Gas Grid." Reuters, March 26
25. ENGIE. 2019. "ENGIE and YARA Take Green Hydrogen Into the Factory." News release, February 12
26. *Engineering News Online*. 2019. "CHEM to Set Up South Africa's First Fuel Cell Factory in the Dube TradePort." September 11.
27. ESMAP. 2020. *Green Hydrogen in Developing Countries*. Washington, DC: World Bank.
28. Fraile, Daniel, Jean-Christophe Lanoix, Patrick Maio, Azalea Rangel, and Angelica Torres. 2015. "Overview of the Market Segmentation for Hydrogen Across Potential Customer Groups, Based on Key Application Areas." Report for the FCH JU. CertifHy, Brussels
29. FuelCell Energy. 2018. "FuelCell Energy Announces Increase in Annual Production and Creation of Over 100 New Manufacturing Jobs." Press release, July 18
30. FuelCellWorks. 2020. "In 2019: 83 New Hydrogen Refuelling Stations Worldwide."
31. Fulcheri (2018), "Direct decarbonization of methane by thermal plasma for the co-production of hydrogen and carbon nanostructures";
32. GenCell. 2019. "GenCell Launches Fuel Cells in the Philippines to Deliver Clean, Reliable Power to Mitigate Impact of Frequent Power Outages." News release, May 31
33. GII (Global Information, Inc.) 2019. *Global Water Electrolysis Sales Market Report 2019*. West Hartford, CT: Global Information, Inc.
34. Gupta, Ashish. 2019. "IOC Bets on Hydrogen Fuel Cells." *Fortune India*, October 23
35. H2-Industries. 2018. "German Company Plans Using an Innovative Energy Storage Technology for Solar Energy Distribution in Botswana and Southern Africa with Shumba Energy." Press release, December 13
36. Haskel. 2019. "Hydrogen Technology and Refueling Stations: How One Country Is Normalizing the Change to Clean Energy." Haskel website, May 9
37. HDF Energy. 2019. "HDF Energy Announces Meridiam's Investment in CEOG, Currently the Greatest Project Worldwide of a Power Generating Plant Storing Intermittent Renewable Energy Using Hydrogen." News release, September 12
38. HTAP (Hydrogen Technology Advisory Panel). 1998. "Analysis of the Effectiveness of the DOE Hydrogen Program: A Report to Congress Required by the Hydrogen Future Act of 1996 (P.L. 104-271)." HTAP, Washington, DC

39. Hydrogen Council. 2020. "Path to Hydrogen Competitiveness—A Cost Perspective." Hydrogen Council report, Brussels, January 20
40. IEA (International Energy Agency). 2015. *Technology Roadmap: Hydrogen and Fuel Cells*. Paris: IEA
41. IEA and OECD. 2005. *Prospects for Hydrogen and Fuel Cells: Energy Technology Analysis*. Paris: IEA
42. IEA. 2017. "Global Trends and Outlook for Hydrogen." Brief, IEA, Paris, December
43. IEA. 2019. *The Future of Hydrogen: Seizing Today's Opportunities*. Report prepared for the G20, Japan. Paris: IEA.
44. IRENA (International Renewable Energy Agency). 2018. "Hydrogen from Renewable Power: Technology Outlook for the Energy Transition." International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi
45. IRENA. 2019. "Hydrogen: A Renewable Energy Perspective." Report prepared for the 2nd Hydrogen Energy Ministerial Meeting in Tokyo, Japan," September. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi
46. ITM Power. 2018. "World's Largest Hydrogen Electrolysis in Shell's Rhineland Refinery." News release, January 18
47. Klippenstein, Matthew. 2017. "Fuel Cells in 2017 Are Where Solar Was in 2002." *Greentech Media*, December 27
48. Kreetzer, Alex. 2019. "Grove and DSM Launch New Partnership for Hydrogen Car Distribution in Nepal." *Auto Futures*, April 25
49. Lazard. 2018. "Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis – Version 12.0"
50. LePan, Nicholas. 2019. "The Evolution of Hydrogen: From the Big Bang to Fuel Cells." Visual Capitalist news release, April 23
51. Maisch, Marija. 2019. "Australia's First Solar to Hydrogen-Based Microgrid Gets Nearly \$1 Million in Federal Funding." *PV Magazine*, May 7
52. Market Watch. 2019. "Water Electrolysis Market 2019 Global Industry Size, Segments, Development Status, Sales Revenue, Historical Analysis, Landscape, Demand, Upcoming Trend and Forecast to 2023." Press release, January 18
53. Markets and Markets. 2018. "Hydrogen Generation Market Worth \$199.1 Billion by 2023." Press release, November 13
54. McKinsey & Company. 2018. "Roadmap towards a Hydrogen Economy: Market Perspective." Investor Day presentation for the Hydrogen Council, July 24
55. Mulder, Machiel, Peter L. Perey, and José L. Moraga. 2019. Outlook for a Dutch Hydrogen Market: Economic Conditions and Scenarios." CEER Policy Papers, 5, Centre for Energy Economics Research, University of Groningen, the Netherlands.
56. Müller, Kerstin K., Frank Schnitzeler, Aleksandar Lozanovski, Sabine Skiker, and Madeline Ojakovoh. 2017. *Clean Hydrogen in European Cities (CHIC) Final Report*. Brussels: Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU).
57. Nel. 2018. "Constructing the World's Largest Electrolyzer Manufacturing Plant." Press release, August 22
58. Obiko Pearson, Natalie. 2019. "After 40-Year Losing Streak, Fuel-Cell Maker Shares Are Soaring." Bloomberg news, October 25
59. OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 2019. "IEA Energy Technology RD&D Statistics." Dataset, accessed March 7, 2020
60. OECD/IEA. 2005. *Prospects for Hydrogen and Fuel Cells*. Energy Technology Analysis. Paris: IEA
61. Ogden, Joan. 2004. "Transition Strategies for Hydrogen and Fuel Cells." University of California, Davis
62. Philibert, Cédric. 2017. "Commentary: Producing Industrial Hydrogen from Renewable Energy." IEA news release, April 18
63. Plummer, Brad. 2016. "The Rapid Growth of Electric Cars Worldwide, in 4 Charts." Vox, June 6
64. Pocard, Nicolas, and Catherine Reid. 2016. *Fuel Cell Electric Buses: An Attractive Value Proposition for Zero-Emission Buses in the United Kingdom*. Burnaby, Canada: Ballard Power Systems
65. Port of Rotterdam. 2019. "BP, Nouryon and Port of Rotterdam Partner on Green Hydrogen Study." Press release, April 15
66. Ruth, Mark. 2019. "H2@Scale: Hydrogen Integrating Energy Systems." Presentation from National Renewable Energy Lab to the MIT Energy Club, November 13.
67. Sampson, Joanna. 2019. "Hydrogen Mobility Europe Reaches Key Milestone." *H2 View*, August 8
68. Sanderson, Henry. 2019. "Hydrogen Power: China Backs Fuel Cell Technology." *Financial Times*, January 1
69. STFC (Science and Technology Facilities Council). 2018. "UK Team Develop World's First Green Energy Storage Demonstrator to Deliver Carbon Free Power." News item, June 27
70. Stromsta, Karl-Erik. 2019. "Proterra Rolls Out \$200 Million Electric Bus Battery Leasing Program with Mitsui." *Greentech Media*, news release, April 16
71. Tractebel and Chilean Solar Committee. 2018. "Opportunities for the Development of a Solar Hydrogen Industry in the Regions of Antofagasta and Atacama: Innovations for 100% Renewable Energy System." Tractebel and Chilean Solar Committee, Santiago.
72. Unicredit. 2019. "Hydrogen Fuel Cell or Battery Electric Vehicles?" Sector report—Automobiles & Parts
73. United Nations. 2019. "Climate Action Summit 2019", UN website
74. Voestalpine. 2018. "H2FUTURE on Track: Construction Starts at the World's Largest Hydrogen Pilot Facility." News release, April 16
75. WEC (World Energy Council) Netherlands. 2019. "Hydrogen—Industry as a Catalyst: Accelerating the Decarbonisation of Our Economy by 2030." World Energy Council Netherlands, Tilburg
76. Wiles, Russ. 2019. "See the Zero Emissions Heavy Trucks That Nikola Will Build in Arizona—and That Could Revolutionize the Industry." *Arizona Republic*, April 17
77. Willuhn, Marian. 2019. "Slovenian Glass Factory to Use PV for Green Hydrogen." *PV Magazine*, April 5
78. Xu, Wei. 2019. "Toyota Debuts Hydrogen Bus for 2022 Beijing Winter Olympics." *Yicai Global*, April 22

ДОДАТОК 1 – Економічний аналіз різних методів отримання водню

Таблиця 1. Ключові експлуатаційні показники (далі по тексту КЕП) виробництва водню з біогазу-сірцю

№	Параметр	Один.виміру	Досягнуті за станом на ... (далі по тексту ДС)		Заплановані показники		
			2017	2020	2024	2027	2030
СИСТЕМА*							
1.	Споживання енергії системою	кВтч/кг	56	56	55	54	53
2.	Капітальні витрати на систему	€/кг/д)	3800	3100	2400	2000	1550
3.	Експлуатаційні витрати на систему	€/кг	1,35	1,35	1,32	1,30	1,28

Таблиця 2. КЕП фотокаталітичного розкладання води*

№	Параметр	Один.виміру	ДС		Заплановані показники		
			2017	2020	2024	2027	2030
СИСТЕМА*							
1.	Виробництво H ₂ за витратами енергії**	кВт.год/(м ² год)	-	30	100	300	500
2.	Вартість системи	€/м ²	-	300	210	185	110
3.	Капітальні витрати на систему	€/м ²	-	125	40	20	12
4.	Термін служби системи	років	-	0,3	3	5	10

* Фотоелектрохімічний елемент

** Дані значення дійсні для сумарної поверхневої густини потоку сонячного випромінювання у 2000 кВтгод / (м²а)

Таблиця 3. КЕП біологічного виробництва

№	Параметр	Один.виміру	ДС		Заплановані показники		
			2017	2020	2024	2027	2030
СИСТЕМА*							
1.	Вироблення вуглецю системою	H ₂ /C	0,62	0,64	0,65		0,65
2.	Виробнича потужність реактора	€/м ²	10	40	100		200
3.	Масштабування реактора	€/м ²	0,5	1	10		>10

Таблиця 4. КЕП сонячного / теплового виробництва

№	Параметр	Один. виміру	ДС		Заплановані показники		
			2017	2020	2024	2027	2030
СИСТЕМА*							
1.	Продуктивність за воднем	кг/м ²	0,8	1,13	2,16	3,26	4,11
2.	Капітальні витрати на систему	€/кг/д)	33,9	29,9	15,2	9,7	7,4
3.	Експлуатаційні витрати на систему	€/кг	1,39	1,17	0,59	0,38	0,30
4.	Витрати на виробництво водню	€/кг		8,42	4,26	2,71	2,07

Таблиця 5. КЕП при виробництві водню за допомогою піролізу

№	Параметр	Один. виміру	ДС		Заплановані показники		
			2017	2020	2024	2027	2030
СИСТЕМА*							
1.	Коефіцієнт перетворення водню *, [a, b, c, f, h]	кгН ₂ /кг	0,262	0,29	0,32	0,34	0,355
		%HHV (вища теплотворна здатність палива)	49	50	52	54	56
2.	Вироблення вуглецю системою**, [c, b, f]	Н ₂ /С	0,27	0,28	0,30	0,31	0,32
3.	Капітальні витрати на систему***, [a, b, e, d]	€/кг/д)	1550	1442	1299	1192	1085
4.	Сумарні Експлуатаційні витрати на систему****	€/кг	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2
5.	Експлуатаційні витрати на систему*****	€/кг	0,01	0,01	0,009	0,008	0,008

Таблиця 6. КЕП при виробництві водню за допомогою отримання газоподібного палива з відходів / біомаси

№	Параметр	Один. виміру	ДС		Заплановані показники		
			2017	2020	2024	2027	2030
1.	Вироблення вуглецю системою**, [g]	Н ₂ /С	0,11	0,15	0,22	0,27	0,32
2.	Капітальні витрати на систему***, [g]	€/кг/д)	7654	7124	6417	5887	5357
3.	Загальні Експлуатаційні витрати на систему****, [g]	€/кг	4,2	3,9	3,5	3,2	2,9
4.	Експлуатаційні витрати на систему*****, [g]	€/кг	0,057	0,053	0,048	0,044	0,040

Посилання:

- (a) A comparative overview of hydrogen production processes Pavlos Nikolaidis, Andreas Poullikkass Renewable and Sustainable Energy Reviews 67 (2017) 597–611
- (b) Di Marcoberardino, D. Vitali, F. Spinelli, M. Binotti, and G. Manzolini, "Green hydrogen production from raw biogas: A techno-economic investigation of conventional processes using pressure swing adsorption unit," Processes, vol. 6, no. 3, 2018.
- (c) J. M. Encinar, J. F. González, G. Martínez, and M. J. Martín, "Pyrolysis and catalytic steam gasification of olive oil waste in two stages," Renew. Energy Power Qual. J., vol. 1, no. 6, pp. 697–702, 2008.
- (d) D. Paper, Z. Erdgas, and M. Consulting, "Hydrogen from natural gas – The key to deep decarbonisation," Poyry. July, 2019.
- (e) P. Size, G. Price, and H. Cost, "Supporting Information," vol. 57, pp. 1–17, 2018.
- (f) H. F. Abbas and W. M. A. Wan Daud, "Hydrogen production by methane decomposition: A review," Int. J. Hydrogen Energy, vol. 35, no. 3, pp. 1160–1190, 2010.
- (g) K. Nath and D. Das, Hydrogen from biomass, task 33 IEA, vol. 85, no. 3. 2003.
- (h) S. Timmerberg, M. Kaltschmitt, and M. Finkbeiner, "Hydrogen and hydrogen-derived fuels through methane decomposition of natural gas – GHG emissions and costs," Energy Convers. Manag. X, vol. 7, no. May, p. 100043, 2020.

Методичні вказівки:

* оцінка виконувалася методом лінійних наближень значень, наявних у відповідній літературі

** для 2017 року вихід вуглецю оцінювався у вигляді масового співвідношення, заснованого за його складом на виході, як зазначено в публікації "Hydrogen from biomass gasification" IEA Bioenergy («Вироблення водню способом виробництва газоподібного пального з біомаси» Міжнародного енергетичного агентства Bioenergy) Task 33 (Завдання 33): Грудень 2018 р. Для оцінки очікуваного збільшення виходу вуглецю до 2030 року передбачалося, що 50% перетворення буде досягнуто до 2030 року. Таке припущення вважається обґрунтованим по відношенню до максимального теоретичного перетворення, яке становить 88%. Перетворення в 50% призводить до виходу вуглецю до значення 0,32. Тому, якщо брати до уваги величину виходу вуглецю для 2017 року і його значення, очікуване до 2030-го року, то тимчасова еволюція цього параметра виявляється величиною лінійної.

*** Виробництво газоподібного палива: капітальні витрати оцінювалися на підставі даних з публікації "Hydrogen from biomass gasification" агентства IEA Bioenergy: Завдання 33: Грудень 2018 р. Капітальні витрати оцінювалися як (повні інвестиції) / (кгH₂ / д) з урахуванням нижчої теплотворної здатності (НТЗ) водню для установки потужністю 1 МВт. Капітальні витрати системи з енергетичною установкою потужністю 50 МВт в 2017 році становили 1806 € / (кг / д), а для 2030 року вони були оцінені в 1200 € / (кг / д)

При піролізі: капітальні витрати із заслання [a] вище для установки 2,7 тонн H₂ / день.

Така тимчасова еволюція капітальних витрат (виробництво газоподібного палива з біомаси та піроліз) була оцінена з використанням кривої зростання продуктивності і при можливому лінійному подвоєнні кількості газовиробляючих установок до 2030 року. Застосування методу «Кривої зростання продуктивності» з подвоєнням кількості газовиробляючих установок до 2030 року показує тенденцію до зниження капітальних витрат приблизно на 15%. Крім того, беручи до уваги видатні досягнення нових технологій до 2030 року, очікується додаткове зниження капітальних витрат на 15% до 2030 року, що приводить до подальшого загального зниження на 30% до 2030 року. Тому, з урахуванням поставленої мети досягти зниження капітальних витрат до 2030 року на 30% була висунута гіпотеза про лінійне зниження витрат в період з 2017 по 2030 роки.

**** Повні експлуатаційні витрати оцінювалися на підставі даних з публікації "Hydrogen from biomass gasification" агентства IEA Bioenergy: Завдання 33: Грудень 2018 г. для установки потужністю в 1 МВт. До цієї оцінки була також включена вартість вихідної сировини. Зниження експлуатаційних витрат до 2030 року оцінювалося із застосуванням того ж методу, що і для капітальних витрат з використанням гіпотези про зниження капітальних витрат на 30% до 2030 року.

***** Експлуатаційні витрати оцінювалися з урахуванням терміну служби установки в 20 років; в них були включені тільки витрати на експлуатацію та технічне обслуговування за цей період.

ДОДАТОК 2 – Технології зберігання водню

Найважливіші методи зберігання водню, які були випробувані протягом досить тривалого проміжку часу, включають в себе фізичні методи зберігання, засновані на процесах стиснення або охолодження, або з використанням їх комбінації (гібридне зберігання). Крім цього, в даний час розробляється і досліджується цілий ряд нових технологій зберігання водню. Такі технології можуть бути згруповані разом з технологіями зберігання на основі застосовуваних матеріалів. Вони можуть включати в себе тверді речовини, рідини або поверхні.

Зріджений водень. Крім зберігання газоподібного водню під тиском, також можливо зберігати криогенний водень в рідкому стані. На рідкий водень (далі по тексту - LH_2) існує попит в областях, що вимагають високого рівня чистоти, таких як при виробництві мікропроцесорів. Як носій енергії, LH_2 володіє більш високою щільністю енергії, ніж газоподібний водень, але він вимагає переходу в рідку фазу при -253°C , що само по собі є складним технічним процесом і залучає додаткові економічні витрати. При зберіганні рідкого водню ємності і складські приміщення повинні бути ізольовані з метою попередження випаровування водню. Цистерни для LH_2 сьогодні використовуються в основному в космічних подорожах.

Холодний і стислий при знижених температурах водень. Окремі процеси стиснення і охолодження можуть застосовуватися в комбінації. Після цього охолоджений водень стискається, що веде до подальшого зберігання водню для забезпечення його мобільності. Перші такі установки вже працюють. Перевага холодного або криогенного стиснення полягає в більш високій щільності зберігається енергії в порівнянні зі стисненим воднем. Однак для охолодження потрібно і додаткова енергія.

Матеріальне зберігання H_2 . Альтернативою фізичних методів зберігання є зберігання водню в складі твердих і рідких тіл і на поверхнях. Більшість з цих методів зберігання все ще знаходяться в стадії розробки. Більш того, досягнуті щільності зберігання все ще недостатні, а витрати і час, пов'язані з «заправкою» водню в тверді і рідкі тіла і на поверхні і «вивантаженням» з них, надто високі і / або технологічні витрати на це є занадто високими. Матеріальні носії для зберігання водню можна розділити на три класи:

- 1) гідридні системи зберігання;
- 2) рідкі водневі носії;
- 3) поверхневі (мікропористі) системи зберігання, вилучення водню за допомогою адсорбції.

Гідридні системи зберігання. У системах зберігання гідридів металів водень утворює сполуки з металами. Тут молекулярний водень спочатку адсорбується на поверхні металу, а потім вбудовується в елементарній формі (H) в металеву решітку з виділенням тепла, і потім вивільняється з використанням тепла. Гідриди металів засновані на елементарних, з точки зору складу, металах, таких як паладій, магній і лантан, міжметалевих сполук, легких металів, таких як алюміній, або деяких сплавах. Паладій, наприклад, може поглинути газоподібний водень в обсязі до 900 разів більше свого власного обсягу.

Рідкі органічні водневі носії. Рідкі органічні носії водню є ще одним варіантом хімічного зв'язування водню. Це хімічні сполуки з високою здатністю поглинання води. В даний час вони включають, зокрема, похідну карбазолу N-етілкарбазол, а також толуол.

Системи поверхневого зберігання (сорбенти). Водень можна зберігати в вигляді сорбата за допомогою приєднання (адсорбції) до матеріалів з високою питомою поверхнею. Такі сорбційні матеріали включають, але не обмежуються ними, мікропористі металоорганічні каркасні сполуки (металоорганічні сполуки), мікропористі кристалічні

алюмосилікати (цеоліти) або вуглецеві нанотрубки. Адсорбуючі матеріали у формі порошку можуть захоплювати обсяги зберігання високої щільності.

Підземне зберігання. Коли мова йде про промислове зберігання водню, у якості підземного сховища можуть бути використані соляні печери, виснажені нафтові і газові родовища, або водоносні горизонти. Незважаючи на свою дорожнечу, соляні печери вважаються найбільш придатним сховищем для водню. Підземні сховища використовувалися протягом багатьох років для зберігання природного газу та нафти / нафтопродуктів, для того, щоб збалансувати наступні сезонні коливання попиту / пропозиції, або для підготовки до кризи.

Сьогодні досвід експлуатації сховищ водню в печерах / виробках існує лише в декількох місцях в Сполучених Штатах і Європі. Зокрема, подібні підземні газові сховища в Європі і Північній Америці можуть використовуватися в якості великих резервуарів для водню, який генерується з поновлюваних джерел енергії. Однак, лише відносно невелика їх частина служить в якості приміщень для зберігання. Найбільш поширеною формою підземного зберігання є виснажені газові горизонти, до того ж слід мати на увазі, що запаси природного газу нерівномірно розподілені по регіонах.

Газові мережі. Іншим варіантом зберігання надлишкової відновлюваної енергії в формі водню - це подача її в існуючу мережу природного газу (збагачений воднем природний газ).

До початку 20-го століття багатий воднем газ, або газ коксових печей з вмістом водню понад 50 об'ємних% розподілявся серед домашніх господарств в Німеччині, Сполучених Штатах і Англії, наприклад, по газопроводах, хоча і не на великі відстані.

Встановлені в той час елементи інфраструктури, а саме трубопроводи, установки, опалювальні газом, газові апарати та т. п., були спроектовані саме для газу, багатого воднем, а згодом вони були замінені на використання звичайного природного газу. Багато країн розглядали можливість додавання водню в існуючі мережі природного газу. Таким чином, обсяги від 5 до 15.% водню за обсягом в США можуть бути реалізовані без значного негативного впливу на кінцевих користувачів або на інфраструктуру трубопроводів. Тим часом, в деяких випадках практичне застосування великих обсягів водню вимагає дорогого переобладнання обслуговуючих приладів. Зазначена вище межа була встановлена в Німеччині на кілька менший обсяг - до 10 об.%.

Як правило, газ з вмістом водню до 10 об.% може транспортуватися по існуючій газовій мережі без ризику пошкодження газових установок, розподільної інфраструктури і т. п.

Можна з упевненістю припустити, що багато хто з газотранспортних мереж, розподільчих ліній і сховищ, які експлуатувалися в минулому, використовуються і в даний час. Так, наприклад, в Лідсі (Великобританія) проводилися дослідження про можливість переобладнання існуючих газових мереж (використовуваних в основному для міського опалення) повністю на водень. З огляду на протяжність великих газових мереж у багатьох індустриальних країнах, приходимо до висновку, що в них можна зберігати значну кількість водню.

Вартість. Зберігання водню - ключовий компонент у забезпеченні воднем. Вибір найбільш відповідної технології зберігання - це збалансоване рішення між кількістю водню, його зберіганням (наприклад, розмір ємності) і використанням енергії.

У загальному випадку, **стиснення** газоподібного водню є найбільш привабливим варіантом для довготривалого зберігання, з огляду на відносно низьку вартість і кращу доступність цього методу. Передбачається, що разом з можливим підвищенням ефективності стиснення, зберігання водню збільшить вартість виробленого водню на 0,3 долара за кг в період до 2025 року.

Ще одна технологія зберігання, що включає в себе розрідження в середовищі для зберігання, такий як аміак, має кращі щільності, але при більш високій ціні. Таким чином, ці технології стають більш життєздатними з фінансової точки зору за умови зберігання (або транспортування) великих кількостей водню особливо там, де існують серйозні обмеження. Разом з можливим поліпшенням процесу зрідження це, швидше за все, додасть ще 1,59-1,94 долара за кг до вартості водню, виробленого до 2025 року.

Зведені дані про основну собівартості різних технологій виробництва і зберігання водню показані в наведеній нижче таблиці (на основі Національної дорожньої карти Австралії за воднем, 2018 г.).

Таблиця 1. Досягнута і очікувана вартість водневої технології

Технологія	Наведена вартість	2018	2025
Виробництво газоподібного палива з кам'яного вугілля з вилученням і зберіганням вуглецю	Нормована вартість тепла (далі по тексту - LCOH), \$/ кг	2,57-3,14	2,02-2,47
Стиснення газу і зберігання в ємностях / танках (35/150/350 бар)	LCOH, \$/ кг	0,48/0,34/0,38	0,41/0,26/0,27
Стиснення газу і зберігання в соляних печерах	LCOH, \$/ кг	0,22-0,26	0,16-0,20
Виробництво і зберігання аміаку з відновленням водню	LCOH, \$/ кг	1,39-1,68	1,10-1,33
Виробництво і зберігання зрідженого водню	LCOH, \$/ кг	2,57-3,14	1,59-1,94
Паливні елементи	LCOE, \$/МВт·ч (Наведена вартість енергії)	330-410	120-150
Електромобілі на паливних елементах	LCOT ^{автомобіль,} \$/ тонна-кілометр (LCOT = повна наведена вартість транспортування)	1,29-1,57	0,63-0,77
	LCOT ^{автомобіль,} \$/ тонна-кілометр	2,66-3,25	1,66-2,02

Використання газопроводів є найкращим рішенням для споживачів, підключених до газотранспортної мережі, в той час як для автономних споживачів доставка газу в балонах є кращим з можливих варіантів в порівнянні з доставкою автотранспортом. Його можна використовувати безпосередньо як паливо або спільно з паливними елементами при автономному енергопостачанні, що тим самим знижує обмеження в газопроводах з високою концентрацією водню в складі паливного газу. Одне з кращих рішень - це місцеве виробництво водню з використанням електрики з відновлюваних джерел енергії, що дозволяє домогтися збалансованого енергопостачання.

Водневі технології відіграють принципово важливу роль у вирішенні специфічних проблем, пов'язаних із забезпеченням стабільної роботи енергетичного сектора і промисловості в цілому. Виробництво водню методом електролізу води з використанням електроенергії, отриманої з поновлюваних джерел, дозволяє акумулювати надлишкову енергію для подальшого зберігання до тих пір, поки вона не буде затребувана споживачами, а також транспортувати її на далекі відстані.

У звіті **Hydrogen Insights 2021**²⁸ Водневої Ради, McKinsey & Company аналізує конкурентоспроможність використання водню в різних секторах на період до 2030 року у порівнянні зі звичайними та низьковуглецевими альтернативами. Зниження витрат на виробництво та розподіл водню в усіх регіонах покращить конкурентоспроможність усіх кінцевих застосувань, що відображено у зміщенні праворуч у матриці конкурентоспроможності витрат порівняно з дослідженням Водневої Ради 2020 року «Шлях до конкурентоспроможності водню: перспектива витрат».

На додаток до ролі водню як загального складової витрат, звіт Hydrogen Insights визначає три додаткові фактори витрат, що мають наслідки для окремих кінцевих застосувань. Вони включають оптимізовані маршрути для зеленої сталі завдяки поєднанню методу прямого відновлення заліза (DRI) та брукху, які допомагають зеленій сталі досягти конкурентоспроможності; вдосконалення технології акумуляторів, які впливають на беззбитковість водню за допомогою низьковуглецевих альтернатив у транспортному

²⁸ <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2021/02/Hydrogen-Insights-2021-Report.pdf>

секторі; та нові програми щодо використання водню або палива на основі водню (див. **Додаток 17, с. 26** звіту).

При вартості виробництва водню 1,6-2,3 дол. США / кг, більшість галузей дорожнього транспорту та водневої сировини для промисловості знаходяться «в межах ціни контракту» (див. **Додаток 18, с.27 – звіт Hydrogen Insights за 2021 р.** Водневої Ради, McKinsey & Company). Оскільки витрати водню між синьою та зеленою цілями водню на 2030 рік і без будь-яких витрат на викиди вуглецю, водень є конкурентоспроможним лише у важких дорожніх перевезеннях (не включаючи пасажирські автомобілі). Вартість вуглецю в розмірі 100 доларів США / тeCO₂ може призвести до переробки промислових сировинних ресурсів, таких як сталь, аміак та переробка, до беззбитковості та не тільки. Інші види транспорту, такі як судноплавство або авіація, розриваються навіть при більш високих витратах вуглецю (> 70 дол. США / тeCO₂), але вимагають палива на основі водню як єдину можливість безвуглецевого палива, яке може реалізувати амбіції декарбонізації.

ДОДАТОК 3 – Інноваційні рішення

Інтегрування сонячної і вітрової енергії створює особливі проблеми, оскільки оператори систем мають на меті інвестувати в низьковуглецеві технології і в довгострокову екологічно безпечну енергетичну перспективу. Оскільки ці змінні Поновлювані Джерела Енергії (далі по тексту ПДЕ) складають більшу частку у виробництві електроенергії, то енергетичні системи повинні бути виключно гнучкими, щоб підтримувати баланс попиту і пропозиції протягом кожного дня чи року. У всьому світі з'являється і впроваджується велика кількість інновацій, які можуть бути використані для об'єднання в одне ціле високих часткою ПДЕ.

Інновації з'являються по всіх чотирьох основних вимірах світових енергосистем:

Підтримуючі технології: Технології, які грають ключову роль у сприянні інтегруванню поновлюваних джерел енергії.

Бізнес-моделі: Інноваційні моделі, які створюють економічне обґрунтування для нових послуг, підвищуючи гнучкість системи і стимулюють подальше інтегрування технологій поновлюваних джерел енергії.

Структура ринку: Нові ринкові структури і зміни в нормативно-правовій базі з метою заохочення гнучкості і підвищення вартості послуг, необхідних в енергетичній системі на основі відновлюваних джерел, що стимулює нові ділові можливості.

Робота системи: Інноваційні методи управління електроенергетичною системою, що дозволяють інтегрувати вищі частки змінного виробництва відновлюваної енергії.

Інновації - це рушійна сила перетворення енергії. Інноваційні рішення можуть зробити енергетичну систему більш гнучкою, забезпечуючи більш ефективно і економічно використання поновлюваних джерел енергії. Дослідження IRENA (Міжнародне агентство з відновлюваних джерел енергії) під назвою «Інноваційний ландшафт» (Innovation Landscape) за 2019 рік називає 11 рішень для створення надійних і ефективних енергосистем майбутнього з використанням великих часток сонячної і вітрової енергії:

- Рішення I: Зниження невизначеності виробництва ПДЕ за рахунок вдосконаленого передбачення погодних умов
- Рішення II: Гнучка генерація, що дозволяє компенсувати можливість змін
- Рішення III: Об'єднання енергосистем і регіональні ринки в якості параметрів забезпечення гнучкості
- Рішення IV: Узгодження виробництва відновлюваної енергії і попиту при транспортуванні енергії на великі відстані за допомогою магістральних мереж.
- Рішення V: Великомасштабне зберігання і експлуатація нової мережі з метою відстрочки інвестицій в посилення мережі
- Рішення VI: Енергоресурси, що надають послуги мережі
- Рішення VII: Управління стороною, яка відповідає за попит
- Рішення VIII: Міні-мережі поновлюваних джерел енергії, що надають послуги основної мережі

- Рішення IX: Оптимізація роботи системи розподілу з розосередженими енергоресурсами
- Рішення X: Рішення для акумуляторних батарей комунального масштабу
- Рішення XI: Рішення типу Power-to-X (сектор електроенергії від електроенергетичного сектора для використання в інших (X-секторах), наприклад, у виробництві аміаку, хімікатів, продуктів харчування і т.п.)

В пропонованих рішеннях використовується 30 інновацій - див. таблицю нижче:

ПІДТРИМУЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ	БІЗНЕС-МОДЕЛІ	СТРУКТУРА РИНКУ	РОБОТА СИСТЕМИ
<ul style="list-style-type: none"> • Акумулятори комунального масштабу • Акумулятори (зазвичай до 5 кВт), накопичують надлишкову енергію у споживача і повертають її в енергомережу при її надлишку • «Розумна» зарядка електромобілів • Перетворення відновлюваної енергії в тепло • Перетворення відновлюваної енергії в водень • Мережа фізичних об'єктів для зв'язку та обміну даними з пристроями і системами через Інтернет • Штучний інтелект і великі обсяги даних • Ланцюг блоків баз даних • Відновлювальні міні-мережі • Супер-мережі (магістральні) • Гнучкість звичайних енергетичних установок 	<ul style="list-style-type: none"> • Торгівля електроенергією за допомогою тимчасової рівноправної мережі (Модель Peer-to-peer) • Енергія як послуга • Моделі комунальної власності • Моделі оплати за фактом надання послуги / отримання товару 	<ul style="list-style-type: none"> • Підвищення ступеня поділу ринків електроенергії в часі • Підвищення ступеня поділу ринків електроенергії в просторі • Інноваційні допоміжні (необов'язкові) послуги • Перепроекткування ринків потужності • Регіональні ринки • Тарифи за часом їх використання • Ринкова інтеграція розподілених енергоресурсів • Схеми чистого білінгу (виручки від продажів) 	<ul style="list-style-type: none"> • Співпраця між операторами систем передачі і розподілу • Вдосконалене прогнозування змінного генерування відновлюваної енергії • Інноваційна експлуатація системи зберігання енергії за допомогою гідроаккумуляції • Віртуальні лінії електропередач • Рейтинг динамічної лінії (регулювання розміщення додаткової енергії в енергомережі для споживачів в залежності від прогнозованих температурних умов)

ДОДАТОК 4 – Українське нормативно-правове та технічне регулювання у водневих технологіях

Водень класифікується як небезпечні паливні гази, і, як результат, діяльність, пов'язана з проектуванням, будівництвом, виробництвом, експлуатацією технологічних споруд, систем та обладнання, виробництвом та використанням водню, регулюється в Україні низкою нормативних актів (НПА) (норми, правила, технічні регламенти) та відповідними стандартами різного рівня. Основні нормативні вимоги (на рівні НПА України) включають:

1. Технічний регламент:

- обладнання та захисні системи, призначені для використання в потенційно вибухонебезпечному середовищі (узгоджено з Директивою 2014/34 / ЄС від 26.02.2014)
- обладнання, що працює під тиском (узгоджене з Директивою 2014/68 / ЄС від 15.05.2014)
- прості посудини високого тиску (узгоджено з Директивою 2014/29 / ЄС від 26.02.2014)
- водогрійні котли, що працюють на рідкому або газоподібному паливі
- пристрої для газоподібного палива (узгоджено з Регламентом ЄС 2016/426 від 09.03.2016)
- мобільне обладнання під тиском (узгоджено з Директивою: 1999/36 / ЄС від 29.04.1999)
- вимоги до автомобільного бензину, дизельного палива, корабельного та котельного палива (узгоджено з Директивами 98/76 / ЄС від 13.10.1998 та 2005/33 / ЄС від 06.07.2005)

2. Правила техніки безпеки, правила охорони праці, правила техніки безпеки під час експлуатації:

- 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)

Нормативні вимоги технічної безпеки НПА щодо використовуюваного обладнання, пристроїв, систем та їхніх компонентів встановлюються, як правило, стандартами. Оскільки стан національної нормативної технологічної бази стосовно водню не відповідає існуючому світовому рівню, запровадження національних стандартів, узгоджених з міжнародними, усуне існуючі адміністративні та технічні бар'єри, спричинені застарілими українськими нормативними документами, які не відповідають низці директив ЄС та чинному законодавству України у галузі стандартизації (Закон No 114-IX від 19 вересня 2019 р.).

Розробка стандартів на державному рівні здійснюється комітетами з технічних стандартів, до складу яких входять виробники та споживачі продукції, науково-дослідні та громадські організації, контролюючі органи тощо. В Україні в 2020 році було створено Технічний комітет зі стандартизації ТК 197 "Водневі технології" (наказ Державного підприємства "УкрНДНЦ" No 130 від 22.06.2020 р.), який працює у водневих технологіях відповідно до прийнятої

міжнародної класифікації стандартизації. У зв'язку з тим, що водневі технології охоплюють різні галузі, ТК 197 також координує діяльність національних технічних комітетів, діяльність яких пов'язана з проектуванням, будівництвом, виробництвом, експлуатацією технологічних об'єктів, систем та обладнання, виробництвом та використанням водню:

- ТК 8 "Труби та сталеві балони"
- ТК 21 "Динамічні та об'ємні насоси"
- ТК 25 "Пожежна безпека"
- ТК 26 "Експлуатація літальних апаратів"
- ТК 28 Компресори
- ТК 38 "Рафіновані та нафтохімічні продукти"
- ТК 55 "Метанол, продукти синтезу"
- ТК 80 "Автомобільний транспорт"
- ТК 108 "Трубопровідна арматура"
- ТК 133 "Газ природний"
- ТК 146 "Матеріали, обладнання, технології та обладнання для нафтової та газової промисловості"
- ТК 187 "Вибухобезпечне обладнання"
- ТК 318 "Будівництво об'єктів видобутку, транспорту та зберігання нафти та газу"