



Національна академія наук України



«Світові тенденції щодо оптимізації та ефективного використання водневих джерел струму»

Доповідач: зав.лаб. PhD, с.д. Золотаренко Анатолій Дмитрович

12.03.2025



ВСІ "КОЛЬОРИ" ВОДНЮ

Зелений водень



Найекологічніше маркування: при виробництві не виділяється шкідливих продуктів. Такий водень одержують шляхом електролізу з використанням відновлюваної енергії.

Рожевий водень



Створюється за допомогою електролізу на атомній електростанції. Це ще один низьковуглецевий варіант виробництва.

Жовтий водень



Виробляється шляхом електролізу з використанням сонячної енергії, має великий потенціал у регіонах, де багато сонця.

Бірюзовий водень



Новий тип, одержуваний шляхом піролізу метану, у результаті якого утворюються тверді вуглецеві побічні продукти, які можна використовувати інших галузях промисловості.

Синій водень



Виробляється на основі природного газу у процесі парового риформінгу. Оскільки при цьому виділяється вуглекислий газ, ключове значення мають уловлювання та зберігання вуглецю.

Сірий водень



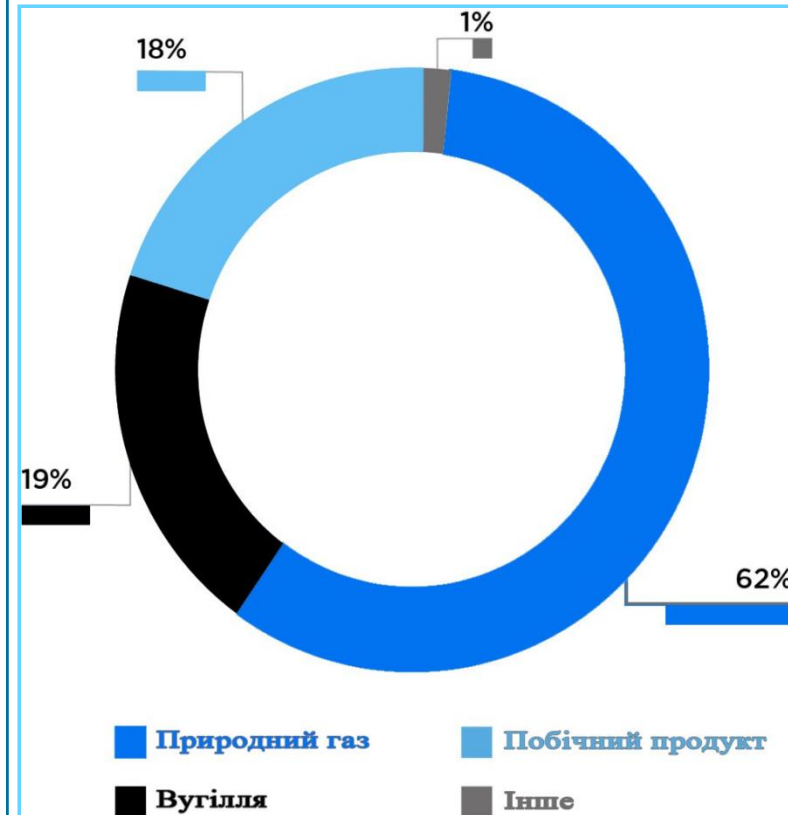
Утворюється у парових метанових реформаторах. Він широко поширений у виробництві аміаку, нафтопереробній промисловості та в метанольній галузі та виділяє CO₂.

Чорний (коричневий) водень




Виготовляється на основі вугілля, що має на увазі високий рівень викидів вуглекислого газу.


Основні споживачі водню у світі




СВІТОВА ТЕНДЕНЦІЯ РОЗВИТКУ

Довгий час водень недооцінювався, але для сезонного зберігання енергії H_2 можна виробляти екологічно чистим шляхом електролізу з води та відновлюваних джерел енергії світла та вітру. Саме тому технологія H_2 пропонує великий потенціал.


 **США** компанія “SoHyCal” у середині 2025р. вироблятиме 3000т/день (1 095 000т/рік) H_2 . (Енергія газу та сонця).

 **Китай** виробляє <20000т/рік H_2 на заводі “Sinopet Tahe Refining & Chemical” з потужністю 260МВт. Планує збільшення виробництва H_2 до 200 000т/рік у 2025р. (Енергія вітру та сонця).

 **Алжир** у 2030 р. готується виробляти 4 млн. тонн водню для Європейського Союзу (Енергія вітру та сонця).

 з Алжиру до **Європейського Союзу** будують трубопровід на 3300км для зеленого воденю, завершення будівництва у 2030р.

 **Індія** компанія “Torrent Power” синтезує аміак із воднем 18 000т/рік до 2030р.

 **Німеччина** на газовій електростанції (Лінген) запустила лужний електролізер з потужністю 100МВ повна потуж. у 2027р.

Загальний потенціал середньорічного виробництва "зеленого" водню в Україні становить близько 505 млрд кубометрів.



Розподіл потенційного середньорічного виробітку відновлюваного водню в Україні.

Джерело – Інститут відновлюваної енергетики НАН України

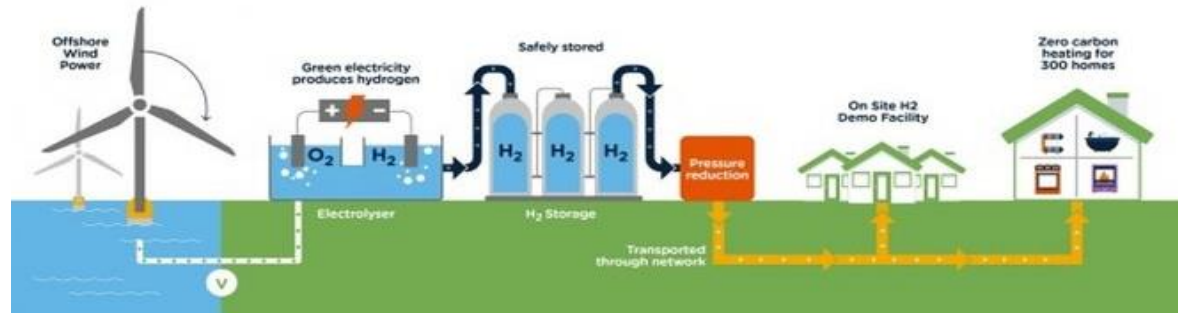
ВОДНЕВІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ПОБУТУ У СВІТІ



Південна Корея (м. Ульсан) побудувала "водневий" житловий комплекс «Yuldong-With-U» (437квартир) (2024р.). Потужність 840МВт-г. (51кг/ч H₂). Новобудова отримує 100% тепла та електроенергії від водневих паливних елементів. Три паливні елементи розміром з контейнер, розміщені на даху комплексу, виробляли 1,31МВт електроенергії з 51кг водню на годину. Цього достатньо, щоб забезпечити електроенергією чотири середньостатистичні домогосподарства протягом місяця.



Великобританія (муніципальний район Файф в Шотландії) використовує водневі джерела електричного живлення у 300 житлових будинків (з 2020р.).



ВОДНЕВІ ПОЇЗДИ У СВІТІ



Німеччина у 2018р. створено Французьким концерном «Alstom» 2од. водневого поїзду «Coradia iLint» (140км/год, 80-1000км,). На заправку потрібно близько 15 хв. Сьогодні готується до випуску ще 41 поїзд в 2025р.



Нідерланди у 2020р. Створена "воднева електричка" "Alstom Coradia iLint". (800км, 140км/ч) Дозаправка займає менше часу, ніж заправка дизелем і становить близько 10-15 хвилин.



Китай у 2024р. Створив водневий поїзд компанією "Changchun Railway Vehicles". (1 тис. км., 160км/ч, 5кВт·ч/км)

ВОДНЕВИЙ ВАНТАЖНИЙ ТРАНСПОРТ У СВІТІ



Германія (компанія MAN Truck & Bus) у 2025р. серійне виробництво та експорт 200од. водневих вантажівок “MAN hTGX” в Німеччину, Нідерланди, Норвегію, Ісландію та ін. країни (600км, 383кВт,).



США у 2024р. (компанія Hyundai Motor Company) запустили вантажні транспортні перевезення, створивши 30шт. водневих електровантажівок XCIENT Fuel Cell та побудувала заправні станції First Element Fuel. Йде впровадження в 7 країнах (Швейцарію, Німеччину, Нову Зеландію, Австралію, Корею, Ізраїль та Саудівську Аравію)



Китай (м.Таншань) у 2022р. Створив парк водневих транспортних засобів (вантажівки Hesteel та автобуси). У 2021р. продано 6910од. водневого транспорту.



Австралія у 2022р. Створили вантажівку з дизельно-водневим двигуном.

ВОДОРОДОБУСИ У СВІТІ



Мексика (м.Санта-Ану) у 2020р. Придбала водневі автобуси “Xcelsior Charge H2” 10од.



Китай (м. Пекіні) у 2022р. Виготовив водневий автобус “Foton BJ1623”



США з 2019-2023р. Має водневих автобусів “Xcelsior ChargeH2” (ком-я New Flyer)25% від всього автопарку 565км.,100 ВТ·ч. (2040р.-100%парк)



Англія (компанія Caetano Bus)у2019р.(400км,60кВт).



Бразилія (м. Кашіас-ду-Сул) від TuttoTrasporti



Сінгапур має автобус H₂ “Higer KLQ6129G” у 2010 р.



Японія (компанія Caetano Bus) у 2018р. Запуск виробництва (400км,9кВт).



Південна Корея (м.Сеулі) автобус “Hyundai ElecCity”у2019р.



Німеччина у 2013р. розробила та випустила водневий автобус MAN Truck & Bus.

ВОДНЕВІ АВТОМОБІЛІ У СВІТІ

Водневі авто на одній заправці їдуть ≥ 500 км.

Toyota Mirai - водневий гібридний автомобіль потужністю—114кВт, на 650км, балон 700атм. (2013р.).

175км/г.



BMW Hydrogen 7.

Honda CR-V 2024.

Honda FCX Clarity 2014.



Audi A7 h-tron quattro.



Mazda RX-8 Hydrogen RE.

NAMI Hydrogen - Водневий автомобіль класу люкс потужністю – 750кВт, на 870км, балон 700атм. (2021р.).



ВОДНЕВИЙ АВТОМОБІЛЬ В УКРАЇНІ



Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України
Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

В 2000 р. Інститутами виготовлений водневий автомобіль в Україні.



Заправна станція та автомобіль

ВОДНЕВІ МОТОЦИКЛИ

Мотоцикл Kawasaki
2023р. (299км/год)



Мотоцикл Segway-
Ninebot 2023р.



Мотоцикл Intelligence Energy
2007р.



ВОДНЕВИЙ МОТОЦИКЛ В УКРАЇНІ

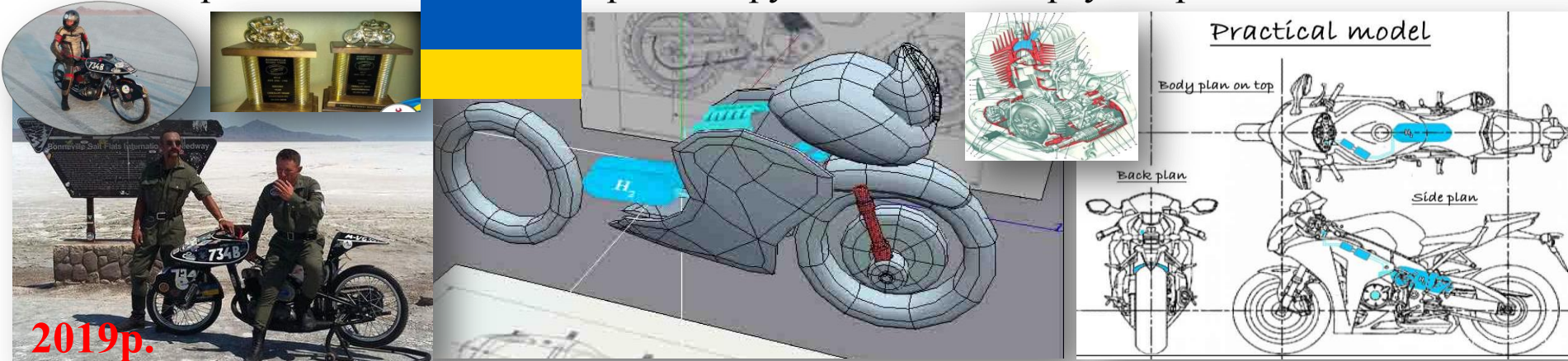
Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

2019р.



Соляне озеро Бонневіль (США), керівник Групи компаній "Аргус Сервіс" Максим Сагдієв



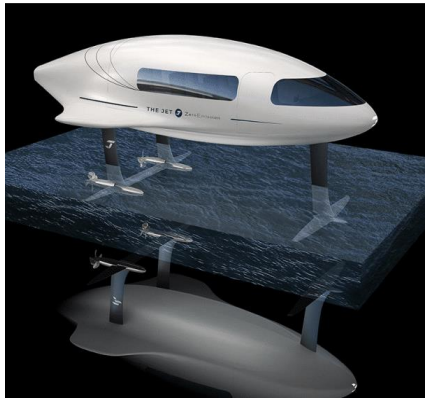
2019р.

ВОДНЕВІ ЯХТИ В СВІТІ

США у 2024р. створена воднева яхта Project 821 (119метрів), а будівництво починалось з 2020р.



Об'єднані Арабські Емірати (м.Дубає) у 2025р. розробляють водневу «літаючу» яхту Jet (10метрів на 13 людей), де висота польоту 0,9метрів із швидкістю 75км/ч.



Франція у 2017р.



Нідерланди 2023р.



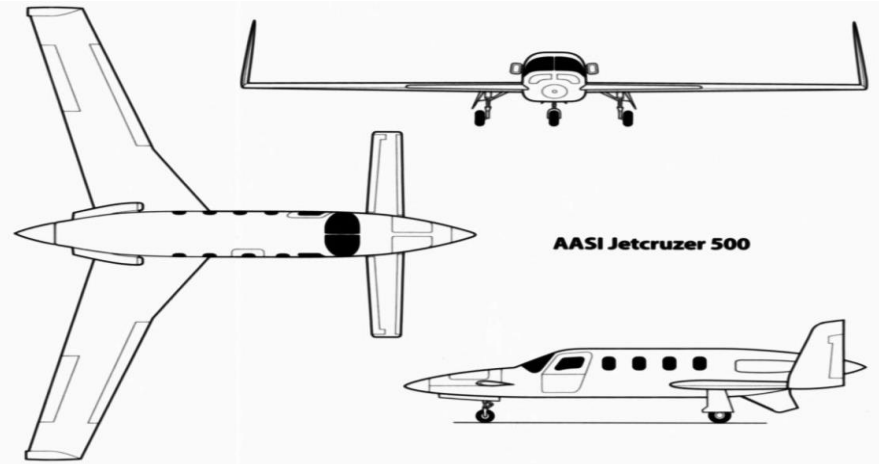
Франція у 2024р.



Норвегія (2026р.)



ВОДНЕВО-ЕЛЕКТРИЧНИЙ ЛІТАК JETCRUZER500E(6чол.)

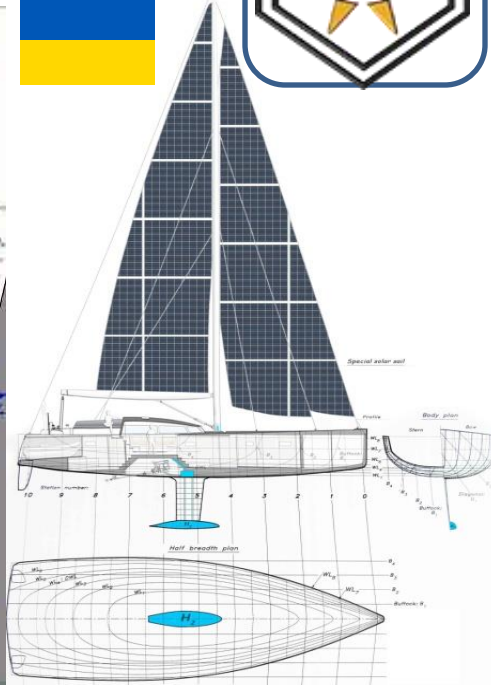
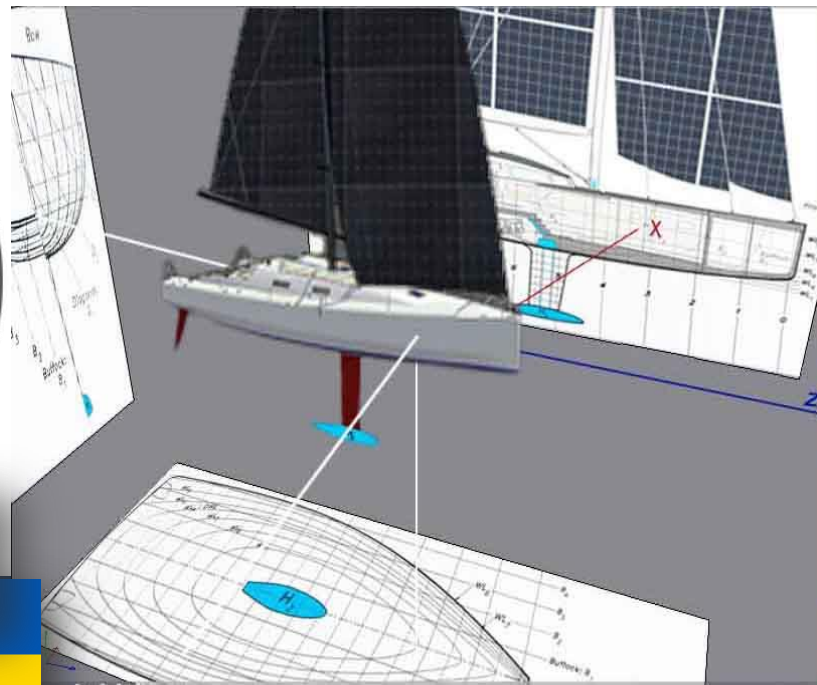


США у 2025р. (компанія «Zero Avia»)
створила літак Jetcruzer 500E
(926км, на 6 чол., 600кВт).

Створення ВОДНЕВОЇ ЯХТА в УКРАЇНІ (2026)

Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України



Яхта розроблена Українцями у 2018 році та виготовлена Туреччиною у 2025 року.

На спільно розробленій моделі яхти за кресленнями та 3D-моделі можна побачити вітрильні сонячні батареї, що виробляють не тільки сонячну енергію, але й дозволяють використовувати вітрову енергію.

Електроенергія, отримана від сонця, йде на отримання водню (H_2), після чого водень надходить у сховища, а потім у металогідридний накопичувач.



ВОДНЕВІ СТАНЦІЇ ЗАПРАВКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ



Китай у 2025р. запланував ≥ 200 шт. станцій заправок воднем.



Німеччина (м.Ульсан) у 2023р. компанія SK Energy відкрила першу водневу заправку для вантажних автомобілів (80кг/год, 16авто/год,)



Південна Корея (м.Ульсан) компанія SK Energy у 2023р. відкрила першу водневу заправку для вантажних автомобілів (80кг/год, 16авто/год,)



США (компанія New Flyer) у 2018р. створила в кожному регіоні (> 34 міст) станції заправки воднем. 25% перевезень.

Станція дозаправлення водневих транспортних засобів (2000)

Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України



Заправна станція у зборі.

Металлогідридний накопитель водороду.



Станція заправки водневого транспортного засобу є втіленням наукових досягнень свого часу у сфері сонячно-водневої енергетики. Такі станції дозаправки можуть встановлюватися незалежно від наявності у власника водневого транспортного засобу, оскільки такі станції заправки дозволяють господареві мати додаткове джерело енергії, води та кисню.

Сучасні ВОДНЕВІ БПЛА У СВІТІ

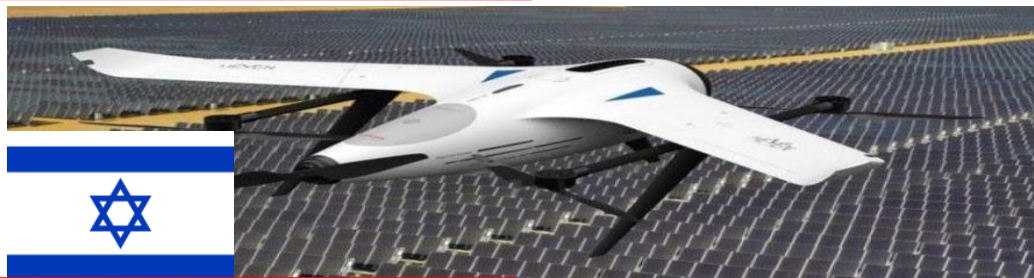
Республіка Сингапур компанія Spectronik виготовила водневий дрон "Феникс" (2400Вт), що експортується з 2019р., у якого час польоту 90хв. (30км) з корисним навантаженням 2кг.



Південній Кореї компанія Hogeer Air виготовила безшумний водневий дрон на паливних елементах, (2023р.) що має час польоту 14 годин (9334км) при корисному навантаженні масі ≤ 10 кг.



Ізраїльська компанія Neven Drones у 2023р. створила водневий БПЛА "H2D200" для збройних сил. Час польоту 8год (750км) при корисній вазі ≥ 7 кг.



Китай виготовляє водневі БПЛА. Час польоту 12-15год (800-1000км) при корисній вазі 1тонна (100км/год).



США планує водневий висотний БПЛА High Altitude Long Endurance (HALE) для морських сил з 2025р., де розмах крила 61м, час польоту 7дб.



ВОДЕНЬ У ЗБРОЙНИХ СИЛАХ СВІТУ

Південній Кореї у 2024р. компанія Hyundai Rotem КЗ виготовила безшумний танк “Next Generation Main Battle Tank (NGMBT)” на водневих паливних елементах, що надійде у серійне виробництво до 2040року та вже поставлений на озброєння.



Південній Кореї до 2026р. компанія Hogeon Rotem створює безшумний водневий бронетранспортер (БТР) “Next Generation Wheeled Armored Vehicle (NGWAV)” на паливних елементах, що матиме 40-мм гармату та ракетну установку (маса ≤ 30 тонн, 100 км/год, 600км).



Австрія (м.Граткорн) з 2024р. компанія Liebherr створює колісний навантажувач “L566H”.

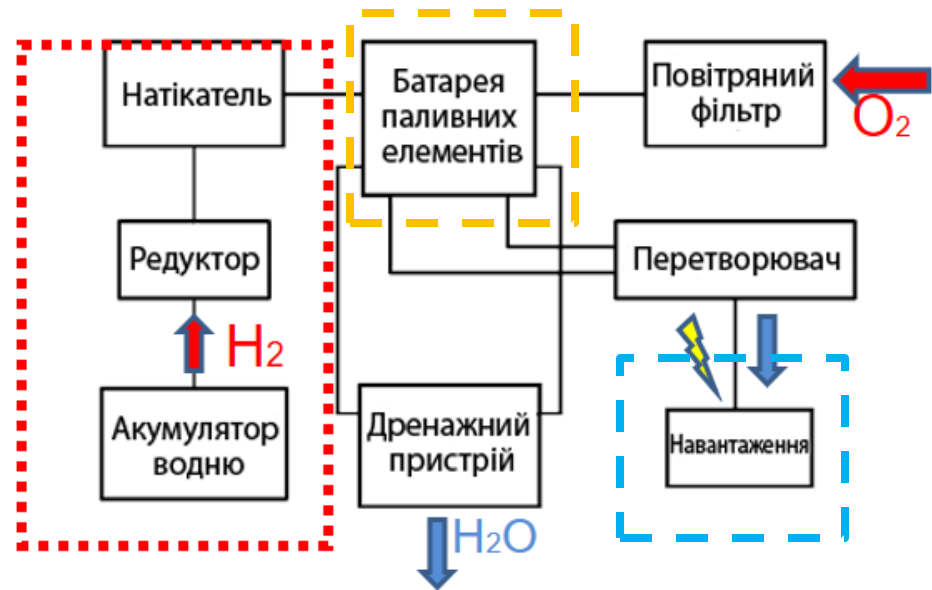
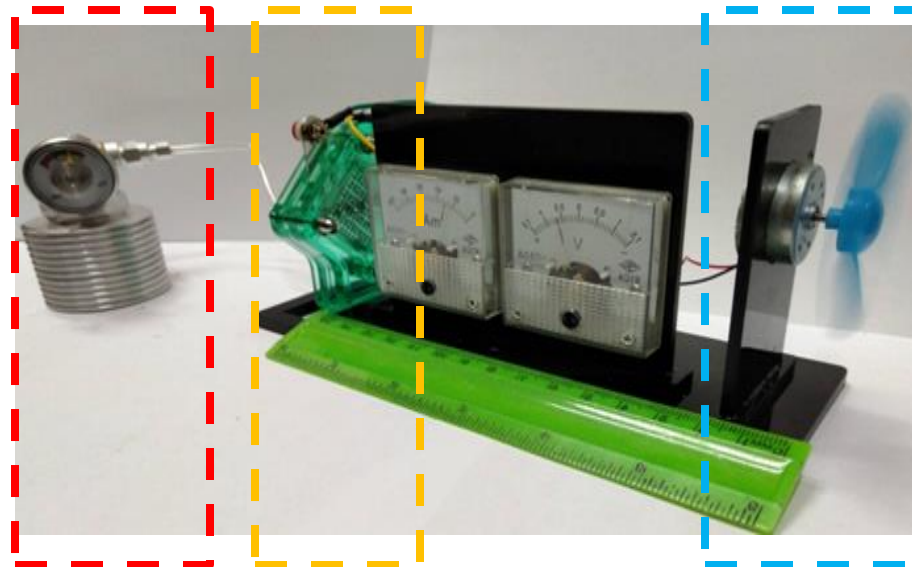


Переваги водневих блоків живлення

1. При роботі не відбувається виділення тепла .
2. При роботі немає виділення токсичних газів.
3. При роботі немає рухомих частин в процесі експлуатації, що не створює шумовий ефект при використанні.
4. Не деградує з часом при не використанні (простої).
5. Можливість використання - водневі блоки живлення у зачинених герметичних приміщеннях, підводних човнах, бункерах, бронетранспорті та ін.;
6. Можливість виготовлення водневих блоків живлення на 66% із запчастин українського виробництва, а 34% USA.

Водневі блоки живлення (водневий цикл) мають на 38% більше енергоефективність на одиницю маси системи при його порівнянні з Li-ion джерелами струму.

Водневі джерела електричного струму



Проблеми водневих блоків живлення:

1. Компактне та безпечне зберігання водню:

Стиснення або охолодження водню для зберігання потребує енергії, а також можуть виникати проблеми з безпекою.

2. Методи очистки та отримання чистого водню:

Чистий водень здатний подовжити час роботи на «відмову» паливного елемента.

3. Підвищення енергетичної ефективності (ККД) паливних елементів:

Процеси виробництва, зберігання та перетворення водню в енергію можуть бути неефективними, що знижує загальну ефективність використання водневої енергії.

Ці проблеми потребують комплексного підходу та інноваційних рішень. Воднева енергетика може стати важливим компонентом глобальної енергетичної системи.

Через надзвичайно низьку щільність водню (-0,09 кг / м³) для рентабельного зберігання необхідно збільшувати його щільність

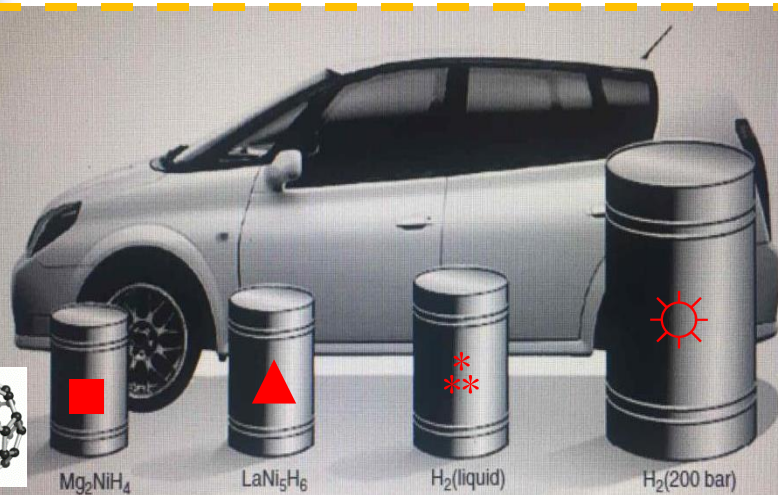
КОМПРИМУВАННЯ ДО СОТЕНЬ АТМОСФЕР



ОХОЛОДЖЕННЯМ НИЖЧЕ ТЕМПЕРАТУРИ КИПІННЯ (20 К)



ЗВ'ЯЗУВАННЯ ІЗ СЕРЕДОВИЩЕМ ЗБЕРІГАННЯ



Об'єм зберігання 4 кг H₂ (44 000л)

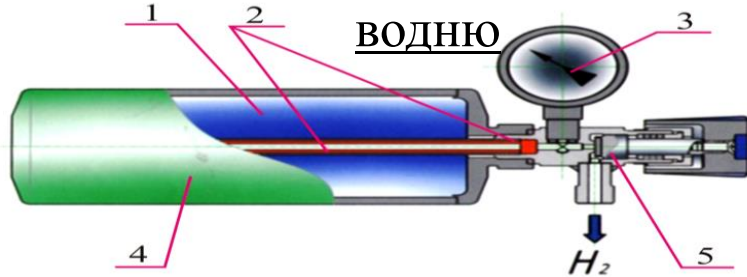


1. Компактне та безпечне зберігання водню



У співпраці в галузі водневої енергетики були отримані наступні напрацювання:

Схема металогідридного джерела



- 1- сорбент водню; 2- патрубок;
3- манометр; 4- балон;
5- запірна арматура.

• Розроблені сучасні накопичувачі водню, як джерело водню, де водень зберігається в твердому тілі, на відміну від інших варіантів, де водень є під великим тиском та в зрідженому стані.

• Сорбент водню для накопичувача водню, вирішує проблеми компактного зберігання водню, де в 1кг сорбенту міститься мінімум 300л водню.

• У накопичувачі водню відбувається безпечне зберігання водню при низькому тиску (1-50атм) на відміну від водневих балонів великого тиску (150-700атм).

• **Економічно доцільним** є зберігання водню у сорбенті тому, що водень у сорбенті не вимагає затрат енергії на постійне стиснення та його зберігання в рідкому стані.

• Ряд запобіжних засобів безпеки є у накопичувача водню.

Концепти таких балонів (накопичувачів водню) із сорбентом водню вже розроблено, а їх застосування здатне майже вдвічі знизити витрати на зберігання й обслуговування водневих станцій живлення.



2. Методи очистки та отримання чистого водню

Запропоновані накопичувачі водню можуть мати сорбент різного хімічного складу який здатний:

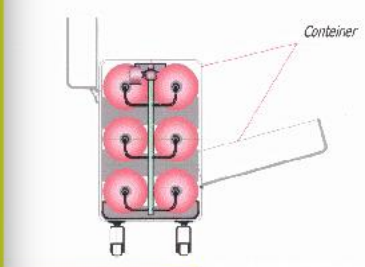
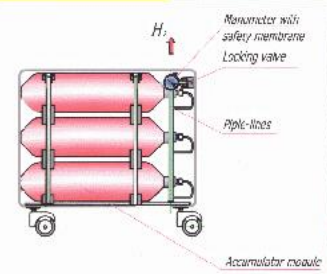
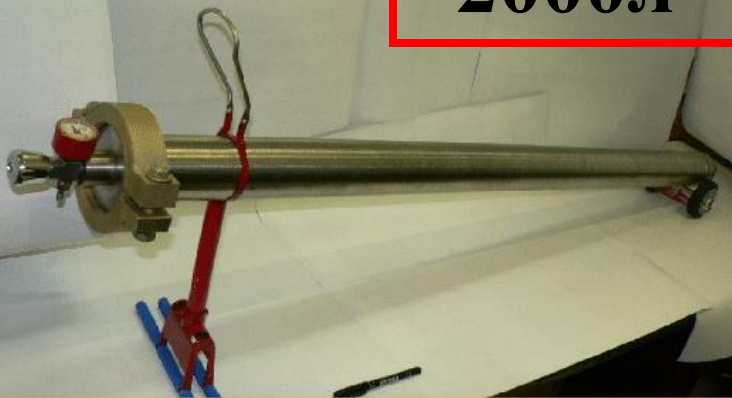
- Очищувати водень в процесі експлуатації для паливного елемента до чистоти 99,9999%.
- Сорбувати водень з електролізера та не деградувати при взаємодії з вологою, що поступає з воднем.
- Збільшувати тиск на виході з накопичувача водню при його незначному нагріванні (20-80 C), що дозволяє створювати безпечні компресори високих тисків (до 1000атм).



При необхідності накопичувач водню можна заправляти стандартним технічним воднем з балонів, який очищується до високої чистоти під час процесу гідрування. Це спрощує логістику та знижує витрати на використання водню.

Застосування зазначених розробок дозволить нашій державі 5-10 років стати одним із лідерів в галузі водневої енергетики, а продукція буде конкурентоспроможною на світовому ринку

2000л



3, 10, 15, 75, 175 л

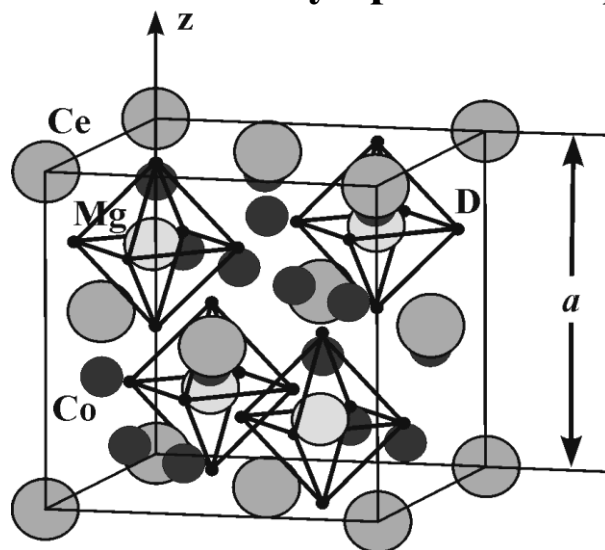
7000л

Теоретичні розрахунки сорбентів

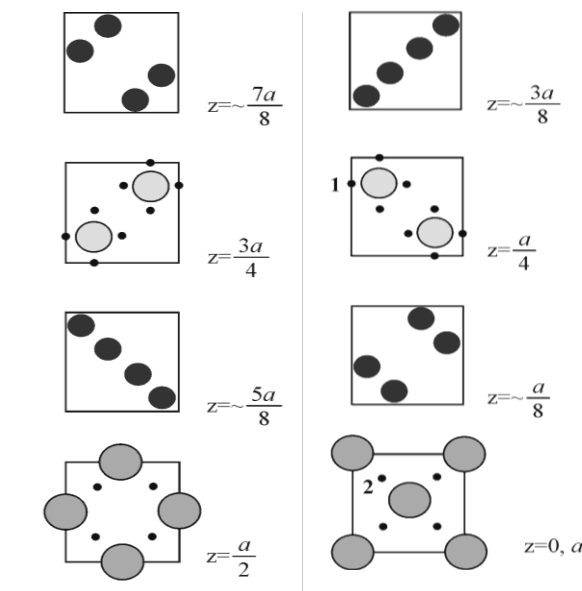
систем типу $MgRT_4-H_2$ ($R = Ce, La, Nd, Pr, Y$; $T = Co, Ni$)

при гідруванні та реалізації фазових переходів під дією тиску

Сьогодні розробляються сучасні сорбенти водню виходячи із ізоструктурності сплавів на базі молекулярно-кінетичних уявлень та проводяться теоретичні розрахунки магнієвих кристалів з кубічною структурою складу $MgCeCo_4H_x$ при наводнюванні сплаву і реалізації фазових переходів під тиском.

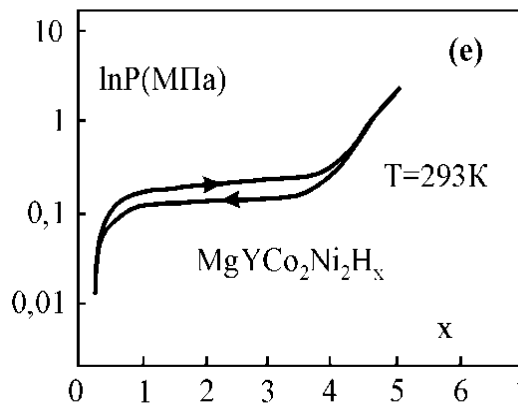
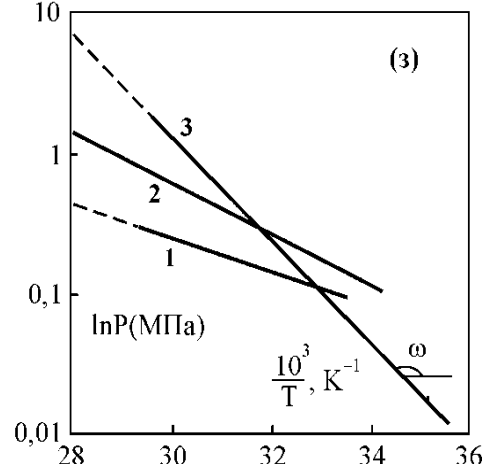
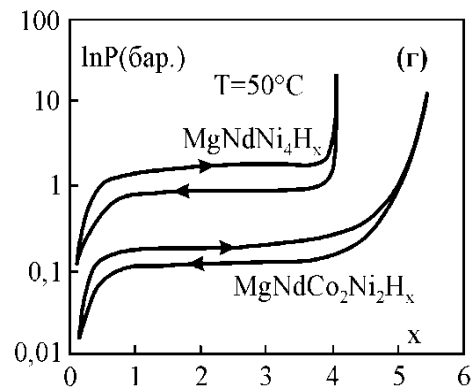
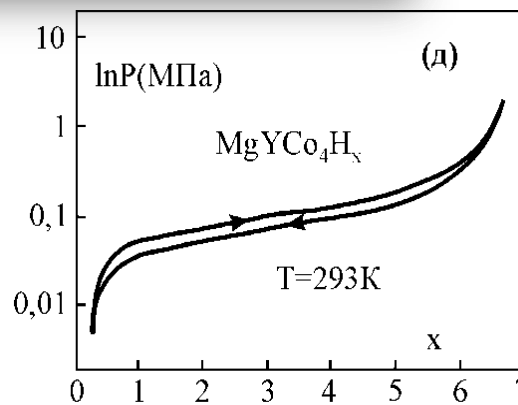
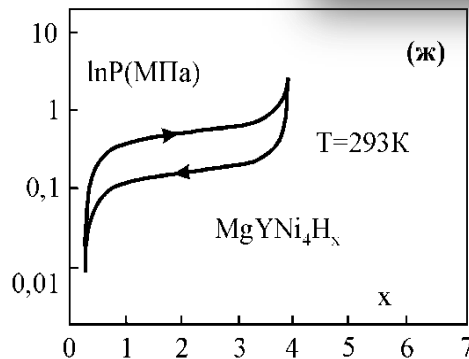
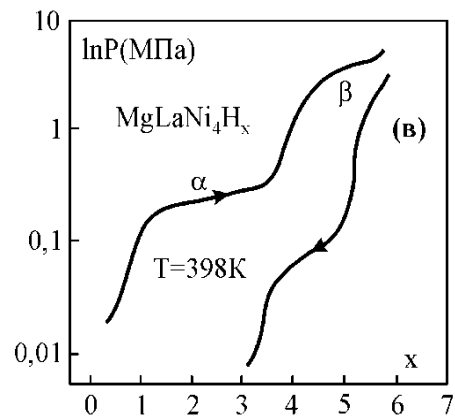
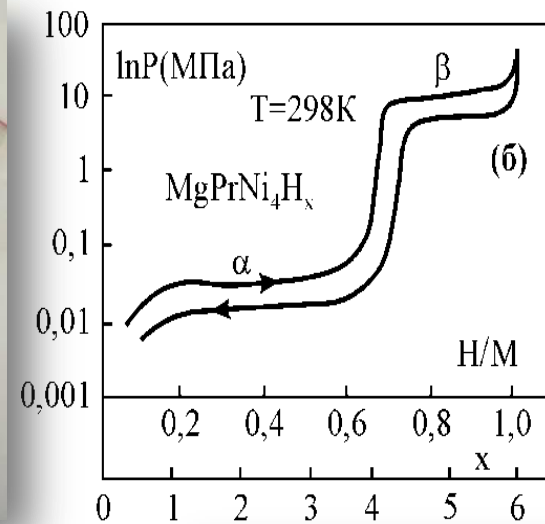


Кубічна решітка C15b типу $MgSnCu_4$ кристаллу $MgCeCo_4H_6$ в просторовому зображенні (a) і в проекції на планарні площини, перпендикулярні осі z, для різних значень координати z.



● ● ● ● - позиції атомів церію, магнію, кобальту і водню типу 1 і 2.

Досліджуються та створюються сучасні сорбенти на основі магнію, що можуть працювати при кімнатній температурі (24 C)

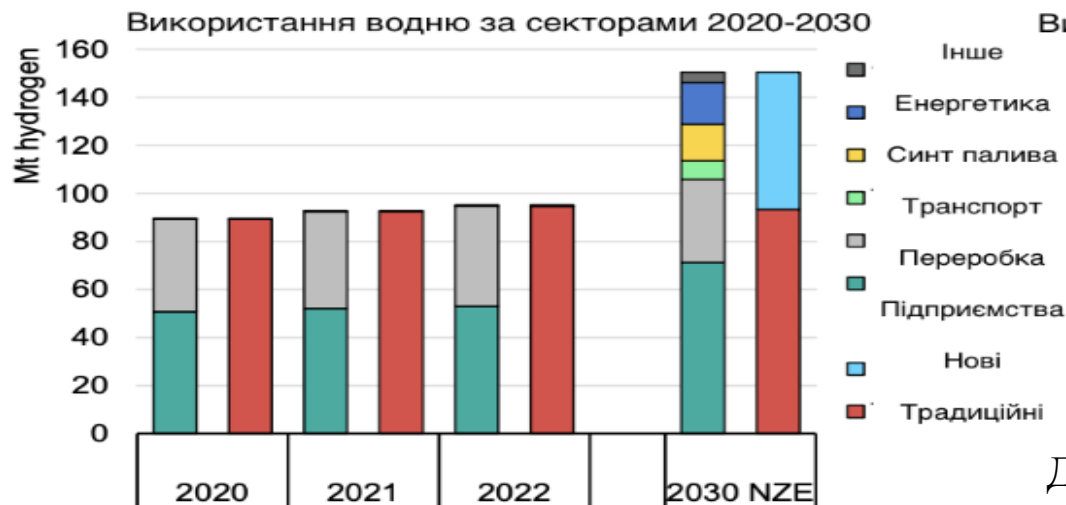


2025-01-29

YATSENKO, O., MORDAN, V., & IATSENKO, O. (2025). HYDROGEN'S POTENTIAL FOR SUSTAINABLE GLOBAL ENERGY DEVELOPMENT: INNOVATION AND TRADE DYNAMICS. Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences, Vol. 338 No. 1 (2025), 94-100.

<https://doi.org/10.31891/2307-5740-2025-338-13>

Обґрунтовано, що перспективи водневої енергетики включають її можливість забезпечити до 18% світових енергетичних потреб до 2050 року.



Використання водню за регіонами 2022

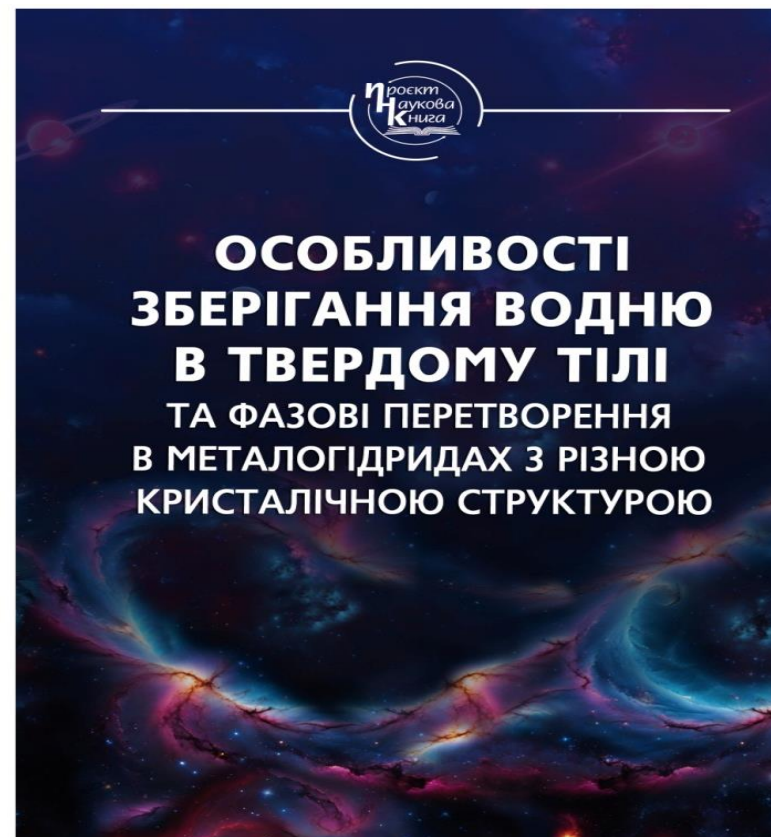


Джерело: «Global Hydrogen Review 2023»

Секторний та регіональний розподіл використання водню: поточні дані та прогнози відповідно до концепції досягнення чистих нульових викидів до 2050 року, 2020–2030 р.



В. Ю.Сторіжко, Ю.В. Жирко, Д. Щур, Н. Гаврилюк,
Ол. Золотаренко, Ан. Золотаренко,
«Особливості зберігання водню в твердих тілах і
фазові перетворення в гідридах металів з різною
кристалічною структурою». Монографія, 2024,
Видавництво «Наукова думка» НАН України, 526с.,





ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!!!

