

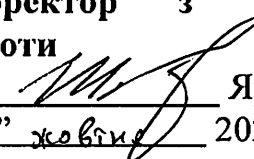
**ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ
«УНІВЕРСИТЕТ КОРОЛЯ ДАНИЛА»**

Факультет суспільних і прикладних наук

Кафедра архітектури та будівництва

ЗАТВЕРДЖУЮ

**проректор з навчально-методичної
роботи**

 **Ярослав ШТАНЬКО**
“03” жовтня 2025 р.

ВОДНЕВІ ТЕХНОЛОГІЇ

СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Галузь знань:	усі
Спеціальність:	усі
Освітньо-професійна програма:	усі
Освітній рівень:	другий (магістр)
Статус дисципліни:	вибіркова
Мова викладання, навчання та оцінювання:	українська

**Івано-Франківськ
2025**

Розробники:

д.т.н., проф., професор кафедри
архітектури та будівництва



Максим КАРПАШ

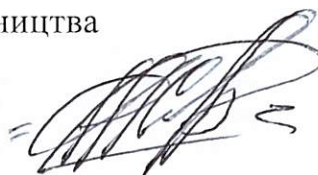
д-р філософії, старший викладач кафедри
архітектури та будівництва



Назарій-Андрій СОРОКА

ЗАТВЕРДЖЕНО:

на засіданні кафедри архітектури та будівництва
протокол № 2 від 09.09. 2025 р.
Завідувач кафедри



Руслан ЖИРАК

СХВАЛЕНО:

на засіданні Науково-методичної ради, протокол № 2 від 26.09 2025 р.

e-mail	maksym.karpash@ukd.edu.ua nazarii.soroka@ukd.edu.ua
Номер аудиторії чи кафедри	Ауд. 402
Посилання на сайт	<u>Максим КАРПАШ</u> <u>Назарій-Андрій СОРОКА</u>
Сторінка курсу в СДО	https://online.ukd.edu.ua/

ВСТУП

Анотація навчальної дисципліни

Водневі технології є важливою складовою розвитку енергетичного майбутнього. Водень, як альтернативне джерело енергії, знаходить застосування в різних галузях – від транспорту й промисловості до побутового використання. Вже сьогодні водень може замінити традиційні викопні види палива, сприяючи зниженню викидів вуглецю та екологічному відновленню планети, можна очікувати, що в подальшому така заміна буде значно масштабнішою.

На даному курсі буде розглянуто повний спектр водневих технологій: від основних принципів виробництва, зберігання та транспортування водню до його застосування у паливних елементах та інших сучасних енергетичних системах. Особливу увагу приділено аналізу сучасного стану ринку водневих технологій, а також розглянуто перспективи його розвитку. Учасники дізнаються про найновіші розробки та дослідження в даній сфері, розглянуть проблеми, які ще необхідно вирішити для широкомасштабного впровадження водню в енергетику, та ключові чинники, що впливають на успішність водневих рішень.

Курс допоможе розвинути навички аналізу та синтезу інформації для створення проєктів, пов'язаних із воднем, а також моделювання водневих енергосистем з урахуванням потреб споживачів і специфіки енергетичного ринку. Крім того, буде приділено увагу практичним аспектам командної роботи, розробки та підтримки проєктів у сфері водневих технологій, що сприятиме ефективному впровадженню інновацій у майбутнє енергетики.

Мета та завдання навчальної дисципліни: навчитися не лише опановувати основи водневих технологій, а і аналізувати існуючі рішення, виокремлювати основні чинники, які сприяють їх успіху або ж перешкоджають поширенню. Також студенти дізнаються про ключові цілі та завдання водневих проєктів, визначатимуть аудиторію споживачів і вивчатимуть можливості застосування водню у різних галузях. Курс також охоплює сучасні технологічні тренди та новітні дослідження, спрямовані на підвищення ефективності, екологічності та універсальності водневих рішень.

В результаті вивчення дисципліни студент повинен **знати**:

- призначення та різновиди проєктів у сфері водневих технологій;
- основні етапи та кроки створення водневих енергетичних рішень;
- методики, поняття і підходи до проєктування, розробки, тестування та підтримки водневих систем;
- підходи до практичної реалізації водневих проєктів;
- ключові фактори та проблеми, які можуть виникнути і впливати на водневі рішення на різних етапах їхнього впровадження і тестування;
- задачі, вимоги та обов'язки фахівців у галузі водневих технологій.

В результаті вивчення дисципліни студент повинен **вміти**:

- застосовувати знання і практичні навички з інженерії водневих технологій для аналізу та постановки завдань у розробці водневих рішень;
- вибирати та застосовувати методи і підходи до створення водневих технологій;
- планувати та реалізовувати проекти у сфері водневих технологій, працюючи як у команді, так і самотійно;
- ефективно здійснювати розробку, тестування та контроль якості водневих систем.

ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Курс	2		
Семестр	3		
Кількість кредитів ЄКТС	3		
Аудиторні навчальні заняття		денна форма	заочна форма
	лекції	16 год.	4 год.
	семінари, практичні	16 год.	4 год.
Самостійна робота		58 год.	82 год.
Форма підсумкового контролю	залік (1 год.)		

Структурно-логічна схема вивчення навчальної дисципліни:

Пререквізити	Постреквізити
немає	(Переддипломна) практика

ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Перелік тем лекційного матеріалу

Тема 1. Основи водневих технологій у сучасному світі (2 год.)

Вступ до водневих технологій та їх значення для сучасної енергетики. Водень як енергоносіє майбутнього: властивості, переваги та виклики. Оцінка життєвого циклу (LCA) водневих технологій: виробництво, зберігання, транспортування та використання. Вплив водневих технологій на економіку та екологію. Огляд структури курсу та основних цілей.

Самостійне вивчення (4 год): вивчити сучасні водневі проекти та проаналізувати їхні основні етапи, успіхи й труднощі у впровадженні [1-3, 24].

Тема 2. Методи виробництва водню (2 год.)

Огляд технологій отримання водню: електроліз, термохімічні методи, біологічні процеси. Порівняння технологій за ефективністю, екологічністю та вартістю. Фактори, що впливають на вибір способу виробництва водню. Техніко-економічне обґрунтування методів виробництва водню для різних галузей.

Самостійне вивчення (8 год): дослідити та проаналізувати існуючі методи виробництва водню в різних країнах та їх вплив на екологію [4-7, 11, 12, 21].

Тема 3. Зберігання та транспортування водню (2 год.)

Виклики зберігання водню: фізичні та хімічні методи. Технології стиснення та охолодження водню. Транспортування водню у різних формах: рідкий водень, трубопроводи, гідридні системи. Порівняння способів зберігання та транспортування за ефективністю та безпечністю.

Самостійне вивчення (6 год): дослідити наявні системи зберігання водню та їхні ключові технічні характеристики, порівняти особливості у різних галузях застосування [7, 8, 14, 18].

Тема 4. Використання водню як енергоносія (2 год.)

Сфери використання водню: транспорт, промисловість, енергетика. Водневі паливні елементи: принцип роботи, переваги, обмеження. Конверсія водню в електроенергію. Перспективи водневих автомобілів, генераторів та промислового обладнання.

Самостійне вивчення (6 год): дослідити використання водневих паливних елементів у сучасних автомобілях та обґрунтувати їх переваги й недоліки [6-8, 10, 16, 18].

Тема 5. Інфраструктура водневих технологій (2 год.)

Інфраструктурні елементи для водневої економіки. Розвиток водневих заправних станцій, трубопровідних мереж та установок для зберігання водню. Виклики створення та експлуатації інфраструктури. Інтеграція водневих технологій у існуючі енергосистеми.

Самостійне вивчення (6 год): дослідити сучасні інфраструктурні проекти для водню, ключові особливості та перспективи розвитку [7, 14, 18, 25].

Тема 6. Екологічні та соціальні аспекти водневих технологій (2 год.)

Екологічні переваги водневих технологій, зменшення викидів CO₂. Соціальні аспекти впровадження водневих технологій: зменшення залежності від викопного палива, створення робочих місць. Обговорення екологічних викликів та ризиків, пов'язаних із виробництвом і використанням водню.

Самостійне вивчення (4 год): провести аналіз існуючих досліджень щодо екологічного впливу водневих технологій у порівнянні з традиційними енергоносіями [6,9].

Тема 7. Економічні аспекти водневих технологій (2 год.)

Економічна доцільність використання водню в різних галузях. Витрати на виробництво, зберігання, транспортування та використання водню. Державні програми підтримки та перспективи розвитку водневих технологій на національних та міжнародних ринках.

Самостійне вивчення (4 год): дослідити існуючі програми підтримки водневих технологій та їхній вплив на економічне зростання в різних країнах [4, 5, 8, 11, 23, 26].

Тема 8. Стандартизація та регулювання у водневій галузі (2 год.)

Стандарти та нормативи безпеки для водневих технологій. Міжнародні організації, що займаються стандартизацією водневих технологій. Національні та міжнародні законодавчі акти щодо використання та транспортування водню.

Самостійне вивчення (4 год): вивчити наявні стандарти безпеки для водневих технологій, порівняти підходи різних країн [15, 18, 22].

Перелік тем практичних занять (16 год.)

Тема 1. Водневі технології: сучасний стан та перспективи (2 год.)

Обговорення ключових водневих проектів та технологій. Аналіз існуючих рішень у виробництві та використанні водню. Огляд та обговорення перспектив розвитку водневих технологій у найближчі десятиліття.

Питання на самостійне опрацювання (2 год.) - [5, 15]: розглянути основні стратегічні документи та інші політичні інструменти, що сприяють розвитку водневих технологій в Україні та світі.

Тема 2. Виробництво водню: економічні та технічні аспекти (2 год.)

Класифікація водню. Розгляд економічних та технічних аспектів виробництва зеленого водню (АЕ, РЕМ, SOEC). Оцінка ефективності отримання зеленого водню. Вибір оптимальних технологій для конкретних умов та цілей.

Питання на самостійне опрацювання (2 год.) - [4-6, 13]: розгляд економічних та технічних аспектів виробництва водню шляхом парового риформінгу метану без та з уловлюванням вуглекислого газу, газифікації вугілля, піролізу природного газу, біохімічних процесів, термохімічного розщеплення води. Оцінка ефективності різних методів отримання водню.

Тема 3. Технічні особливості транспортування та зберігання водню (2 год.)

Транспортування водню за різних агрегатних станів у посудинах під тиском дорожнім та залізодорожнім транспортом, транспортування водню трубопроводами. Зберігання водню в газгольдерах та підземних сховищах газу, зберігання у газоподібному чи зрідженому станах. Ідентифікація та обговорення викликів та можливостей транспортування і зберігання водню.

Питання на самостійне опрацювання (2 год.) - [7, 8, 14, 18]: транспортування танкерами та річковим транспортом, транспортування та зберігання водню у формі гідридів металів.

Тема 4. Використання водню (2 год.)

Застосування водню у транспортному секторі, промисловості, енергетиці. Водневі паливні елементи (ПЕ): принцип роботи, переваги, обмеження. Стаціонарні та мобільні ПЕ. Конверсія водню в електроенергію. Перспективи водневих автомобілів, генераторів та промислового обладнання.

Питання на самостійне опрацювання (2 год.) - [6-8, 10, 16, 17]: застосування водню у хімічній промисловості, водневі автомобілі з двигунами внутрішнього згорання.

Тема 5. Інфраструктура водневих технологій (2 год.)

Розгляд економічних та технічних аспектів водневої заправної інфраструктури, трубопроводних мереж та установок для зберігання водню. Виклики створення та експлуатації інфраструктури. Інтеграція водневих технологій у існуючі енергосистеми.

Питання на самостійне опрацювання (2 год.) - [17, 20]: розвиток електричних мереж для інтеграції водневих установок, вплив електролізерів на якість електричної електроенергії у мережі, термодинамічні властивості газоводневих сумішей.

Тема 6. Екологічні та соціальні аспекти водневих технологій (2 год.)

Декарбонізація наявного виробництва водню. Порівняння кількості викидів парникових газів внаслідок виробництва 1 т сірого, блакитного та зеленого водню.

Питання на самостійне опрацювання (2 год.) - [6,9, 20]: оцінка потенціалу відновлюваних джерел енергії для виробництва зеленого водню, оцінка наявних ресурсів прісної води для виробництва зеленого водню. Опріснення морської води та застосування морської води у спеціальних електролізерах.

Тема 7. Економічні аспекти водневих технологій (2 год.)

Розрахунок приведеної вартості водню (LCOH). Державні програми підтримки та перспективи розвитку водневих технологій на національних та міжнародних ринках.

Питання на самостійне опрацювання (2 год.) - [4, 5, 8, 11, 26]: дослідити національні та міжнародні програми розвитку та фінансування водневих технологій на рівні громад.

Тема 8. Нормативно-правове забезпечення у галузі водневих технологій (2 год.)

Розглянути національне та міжнародне нормативно-правове забезпечення, яке регламентує конкретні етапи у ланцюзі створення вартості водню.

Питання на самостійне опрацювання (2 год.) - [15, 18]: розгляд нормативно-правового забезпечення щодо якості електроенергії та щодо уловлювання, зберігання та використання CO₂ (CCUS).

Зміст самостійної роботи здобувачів

Розподіл годин, виділених на вивчення дисципліни:

Найменування видів робіт	Розподіл годин за формами навчання	
	денна	заочна
Самостійна робота, год, у т.ч.:	58	82
Опрацювання матеріалу, викладеного на лекціях	12	24
Підготовка до практичних занять та контрольних заходів	12	24
Підготовка звітів з практичних робіт	-	-
Підготовка до поточного контролю	12	12
Опрацювання матеріалу, винесеного на самостійне вивчення	22	22

ПОЛІТИКА КУРСУ

1) щодо системи поточного і підсумкового контролю

Організація поточного та підсумкового семестрового контролю знань студентів, проведення практик та атестації, переведення показників академічної успішності за 100-бальною шкалою в систему оцінок за національною шкалою здійснюється згідно з “Положенням про систему поточного і підсумкового контролю, оцінювання знань та визначення рейтингу здобувачів освіти”. Ознайомитись з документом можна за [покликанням](#).



2) щодо оскарження результатів контрольних заходів

Здобувачі вищої освіти мають право на оскарження оцінки з дисципліни отриманої під час контрольних заходів. Апеляція здійснюється відповідно до «Положення про політику та врегулювання конфліктних ситуацій». Ознайомитись з документом можна за [покликанням](#).



3) щодо відпрацювання пропущених занять

Згідно “Положення про організацію освітнього процесу” здобувач допускається до семестрового контролю з конкретної навчальної дисципліни (семестрового екзамену, диференційованого заліку), якщо він виконав усі види робіт, передбачені на семестр навчальним планом та силабусом/робочою програмою навчальної дисципліни, підтвердив опанування на мінімальному рівні результатів навчання (отримав ≥ 35 бали), відпрацював визначені індивідуальним навчальним планом всі лекційні, практичні, семінарські та лабораторні заняття, на яких він був відсутній. Ознайомитись з документом можна за [покликанням](#).



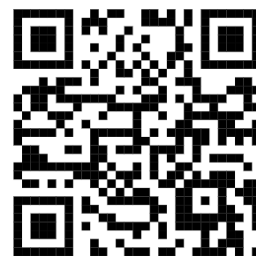
4) щодо дотримання академічної доброчесності

“Положення про академічну доброчесність” закріплює моральні принципи, норми та правила етичної поведінки, позитивного, сприятливого, доброчесного освітнього і наукового середовища, професійної діяльності та професійного спілкування спільноти Університету, викладання та провадження наукової (творчої) діяльності з метою забезпечення довіри до результатів навчання. Ознайомитись з документом можна за [покликанням](#).



5) щодо використання штучного інтелекту

“Положення про академічну доброчесність” визначає політику щодо використання технічних засобів на основі штучного інтелекту в освітньому процесі. Ознайомитись з документом можна за [покликанням](#). “Положення про систему запобігання та виявлення академічного плагіату, самоплагіату, фабрикації та фальсифікації академічних творів” містить рекомендації щодо використання в академічних текстах генераторів на основі штучного інтелекту. Ознайомитись з документом можна за [покликанням](#).



6) щодо використання технічних засобів в аудиторії та правила комунікації

Використання мобільних телефонів, планшетів та інших гаджетів під час лекційних та практичних занять дозволяється виключно у навчальних цілях (для уточнення певних даних, перевірки правопису, отримання довідкової інформації тощо). На гаджетах повинен бути активований режим «без звуку» до початку заняття. Під час занять заборонено надсилання текстових повідомлень, прослуховування музики, перевірка електронної пошти, соціальних мереж тощо. Під час виконання заходів контролю використання гаджетів заборонено (за винятком, коли це передбачено умовами його проведення). У разі порушення цієї заборони результат анулюється без права перескладання. Ознайомитись з відповідним документом можна за [посиланням](#). Комунікація відбувається через електронну пошту і сторінку дисципліни в Moodle.



7) щодо зарахування результатів навчання, здобутих шляхом формальної/інформальної освіти

Процедури визнання результатів навчання, здобутих шляхом формальної/інформальної освіти визначаються «Положенням про порядок визнання результатів навчання, здобутих шляхом неформальної та / або інформальної освіти». Ознайомитись з документом можна за [покликанням](#).



МЕТОДИ НАВЧАННЯ

При вивченні дисципліни застосовується комплекс методів для організації навчання студентів з метою розвитку їх логічного та абстрактного мислення, творчих здібностей, підвищення мотивації до навчання та формування особистості майбутнього фахівця.

Програмний результат навчання	Метод навчання	Метод оцінювання
Залежно від ОП	- словесні методи (МН 1.1 – лекція; МН 1.2 – розповідь-пояснення);	диференційований залік

	- наочні методи (МН 2.1 – ілюстрування, МН 2.2 – демонстрування, МН 2.4 – комп'ютерні і мультимедійні методи); - практичні методи (МН 3.4 – практичні роботи); - МН 9 – порівняння.	
--	---	--

ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Контрольні заходи

(в разі потреби - розділити за семестрами)

Вид	Зміст	% від загальної оцінки	Бал	
			min	max
Поточні контрольні заходи	всього	60	35	60
Підсумкові контрольні заходи		40	25	40
Всього:		100	60	100

Процедура проведення контрольних заходів, а саме поточного контролю знань протягом семестру та підсумкового семестрового контролю, регулюється «Положенням про систему поточного та підсумкового контролю оцінювання знань та визначення рейтингу студентів».

Фіксація **поточного** контролю здійснюється в “Електронному журналі обліку успішності академічної групи” на підставі чотирибальної шкали - “2”; “3”; “4”; “5”. У разі відсутності студента на занятті виставляється “н”. За результатами поточного контролю у Журналі, автоматично визначається підсумкова оцінка, здійснюється підрахунок пропущених занять.

Усі пропущені заняття, а також негативні оцінки студенти зобов'язані відпрацювати впродовж трьох наступних тижнів. У випадку недотримання цієї норми, замість “н” в журналі буде виставлено “0” (нуль балів), без права перездачі. Відпрацьоване лекційне заняття в електронному журналі позначається літерою «в».

Критерії оцінювання (за необхідності, поточного та/або підсумкового контролю)

До підсумкового контролю допускаються студенти які за результатами поточного контролю отримали не менше 35 балів. Усі студенти, що отримали 34 балів і менше, не допускаються до складання підсумкового контролю і на

підставі укладання додаткового договору, здійснюють повторне вивчення дисципліни впродовж наступного навчального семестру. За результатами підсумкового контролю (диференційований залік/екзамен) студент може отримати 40 балів. Студенти, які під час підсумкового контролю отримали 24 бали і менше, вважаються такими, що не здали екзамен/диференційований залік і повинні йти на перездачу.

Загальна семестрова оцінка з дисципліни, яка виставляється в екзаменаційних відомостях оцінюється в балах (згідно з **Шкалою оцінювання знань за ЄКТС**) і є сумою балів отриманих під час поточного та підсумкового контролю.

Шкала оцінювання знань за ЄКТС:

Оцінка за національною шкалою	Рівень досягнень, %	Шкала ECTS
Національна диференційована шкала		
Відмінно	90 – 100	A
Добре	83 – 89	B
	75 – 82	C
Задовільно	67 – 74	D
	60 – 66	E
Незадовільно	35 – 59	FX
	0 – 34	F
Національна недиференційована шкала		
Зараховано	60 – 100	-
Не зараховано	0 – 59	-

Студенти, які не з'явилися на заліки/екзамени без поважних причин, вважаються такими, що одержали незадовільну оцінку.

РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

Основна література

1. Thomas J. M., Edwards P. P., Dobson P. J., Owen G. P. Decarbonising energy: The developing international activity in hydrogen technologies and fuel cells. *Journal of Energy Chemistry*. 2020. Volume 51. P. 405–415. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2020.03.087>.
2. Advancing Hydrogen Technologies: Key Research and Innovation Priorities. Hydrogen Europe Research. 2024. URL: https://hydrogeneuroperesearch.eu/content/uploads/2024/11/HydrogenEuropeResearch_ResearchPositionPaper_Nov24_ONLINE.pdf (дата звернення: 09.08.2025)
3. Vallejos-Romero A., Cordoves-Sánchez M., Cisternas C., Sáez-Ardura F., Rodríguez I., Aledo A., Boso Á., Prades J., Álvarez B. Green Hydrogen and Social Sciences: Issues, Problems, and Future Challenges. *Sustainability*. 2023. Vol. 15(1). P. 303. <https://doi.org/10.3390/su15010303>
4. Megía P. J., Vizcaíno A. J., Calles J. A., Carrero A. Hydrogen Production Technologies: From Fossil Fuels toward Renewable Sources. A Mini Review. *Energy & Fuels*. 2021. Vol. 35 (20). P. 16403-16415. URL: <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.1c02501>
5. Hydrogen Handbook. California Hydrogen Business Council. 2022. URL: <https://californiahydrogen.org/wp-content/uploads/2023/03/CHBC-Hydrogen-Handbook-v3.pdf> (дата звернення: 04.08.2025).
6. Santos-Lyons J., Makhijani A., Hersbach T. J. P., Chi S., Schaefer A. Hydrogen Energy: A Critical Review to Ensure Community and Climate Benefits. *Journal of Climate Resilience and Justice*. 2025. Vol. 2. P. 112–128. URL: https://doi.org/10.1162/crcj_a_00019
7. Pereira J., Souza R., Oliveira J., Moita A. Hydrogen Production, Transporting and Storage Processes—A Brief Review. *Clean Technologies*. 2024. Vol. 6(3). P. 1260-1313. URL: <https://doi.org/10.3390/cleantechnol6030061>
8. Rivard E., Trudeau M., Zaghib K. Hydrogen Storage for Mobility: A Review. *Materials (Basel)*. 2019. Vol. 12(12). P. 1973. URL: <https://doi.org/10.3390/ma12121973>
9. Nnabuike S.G., Darko C.K., Obiako P.C., Kuang B., Sun X., Jenkins K. A Comparative Analysis of Different Hydrogen Production Methods and Their Environmental Impact. *Clean Technologies*. 2023. Vol. 5(4). P. 1344-1380. URL: <https://doi.org/10.3390/cleantechnol5040067>

10. Sazali N., Wan Salleh W. N., Jamaludin A. S., Mhd Razali M. N. New Perspectives on Fuel Cell Technology: A Brief Review. *Membranes (Basel)*. 2020. Vol. 10 (5). P. 99. URL: <https://doi.org/10.3390/membranes10050099>

Додаткова література

11. Emiliani C., Cappelletti A., Saoner L., Pagliai T., D’Orazi G. M., Giobbi L. Publishable Summary on revised Cost and performance target, manufacturing routes for AEM electrolyzers. Development of the most Cost-efficient Hydrogen production unit based on ANioN exchange membrane Electrolysis. D.6.4. 2023. 14 p.

12. Norouzi N., Fani M. Hydrogen Industry: A Technical, Economic, and Market Analysis Overview. *Online Journal of Chemistry*. 2021. Vol. 1(1). P. 59–84. URL: <https://doi.org/10.31586/ojc.2021.106>

13. El-Shafie M., Kambara S., Hayakawa Y. Hydrogen Production Technologies Overview. *Journal of Power and Energy Engineering*. 2019. Vol. 7. P. 107-154. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Hydrogen-Production-Technologies-Overview-El%E2%80%90Shafie-Kambara/002abf8007d602636c09d8c9f8bf88c6e6584c4e>

14. Ткач М., Тимошевський Б., Проскурін А., Галинкін Ю. Металогідринний акумулятор-компресор водню з автоматичною системою управління та контролю. *Aerospace technic and technology*. 2020. No. 5. P. 53-60. URL: <https://doi.org/10.32620/aktt.2020.5.07> .

15. Сорока Н.-А. Ю. Інформаційно-вимірювальне забезпечення робіт пов’язаних з декарбонізацією постачання природного газу: дис. на здобуття наук. ступеня доктора філософії за спец. 152 – метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка / Івано-Франківський національний технічний ун-т нафти і газу. Івано-Франківськ, 2024. 204 с.

16. Jayachandran M. et al. Challenges and Opportunities in Green Hydrogen Adoption for Decarbonizing Hard-to-Abate Industries: A Comprehensive Review. *IEEE Access*. 2024. Vol. 12. P. 23363–23388. URL: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3363869>.

17. Molina S., Novella R., Gomez-Soriano J., Olcina-Girona M. New Combustion Modelling Approach for Methane-Hydrogen Fueled Engines Using Machine Learning and Engine Virtualization. *Energies*. 2021. Vol. 14. P. 6732. URL: <https://doi.org/10.3390/en14206732>

18. LaFleura C., Hecht E., Ehrharta B., Ronevicha J., San Marchia C. Safety of hydrogen for large-scale energy deployment in a decarbonized economy. *Hydrogen Economy: Processes, Supply Chain, Life Cycle Analysis and Energy Transition for Sustainability* / edit. Scipioni A., Manzardo A., Ren J. 2nd ed. Academic Press, 2023. P. 511-535. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99514-6.00011-X>

19. Younus H. A., Al Hajri R., Ahmad N. et al. Green hydrogen production and deployment: opportunities and challenges. *Discov. Electrochem.* 2025. Vol. 2. P. 32. URL: <https://doi.org/10.1007/s44373-025-00043-9>

20. Hubert M. K., Esposito A. M., Peterson D., Miller E., Stanford J. Hydrogen Shot: Water Electrolysis Technology Assessment. US DOE. 2024. P. 58. URL: <https://www.energy.gov/sites/default/files/2024-12/hydrogen-shot-water-electrolysis-technology-assessment.pdf>

Електронні інформаційні ресурси

21. Electrolysers. *IEA*: веб-сайт. URL: <https://www.iea.org/energy-system/low-emission-fuels/electrolysers> (дата звернення: 04.08.2025).

22. Regulations, Guidelines, and Codes and Standards. *US DOE*: веб-сайт. URL: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/regulations-guidelines-and-codes-and-standards> (дата звернення: 06.08.2025).

23. Technologies for Hydrogen Production. *NETL*: веб-сайт. URL: <https://www.netl.doe.gov/research/carbon-management/energy-systems/gasification/gasifipedia/technologies-hydrogen> (дата звернення: 06.08.2025).

24. Hydrogen Infrastructure Map. URL: <https://www.h2inframap.eu/> (дата звернення: 06.08.2025).

25. Hydrogen Production Projects Interactive Map. *IEA*: веб-сайт. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/hydrogen-production-projects-interactive-map> (дата звернення: 09.08.2025).

26. Levelised Cost of Hydrogen Calculator. *European Hydrogen Observatory*: веб-сайт. URL: <https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/tools-reports/levelised-cost-hydrogen-calculator> (дата звернення: 09.08.2025).