

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Кафедра екології та природозахисних технологій

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

зі спеціальності

183 Технології захисту навколишнього середовища

Тема роботи: Екологічно чиста технологія отримання  
«зеленого водню»

Виконала:  
студентка Боруха Олена  
Романівна

Керівник:  
старший викладач Батальцев Є.В.

Залікова книжка  
№ 22510188

Підпис: \_\_\_\_\_  
дата, підпис

Підпис: \_\_\_\_\_

Консультант з охорони праці:  
старший викладач Фалько В.В.

Підпис: \_\_\_\_\_  
дата, підпис

Захищена з оцінкою

\_\_\_\_\_

оцінка, дата

Секретар ЕК  
старший викладач Батальцев Є.В.

Суми 2023

Сумський державний університет  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра екології та природоохоронних технологій  
Спеціальність 183 Технології захисту навколишнього середовища

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**  
**Борухи Олени Романівни**

1. Тема проекту (роботи) «Екологічно чиста технологія отримання «зеленого водню» затверджена наказом по університету від “21” листопада 2023 р. № 1315-VI.
2. Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи) – 25 грудня 2023 року.
3. Вихідні дані до проекту (роботи): якісний та кількісний склад викидів, що знаходяться до атмосферного повітря під час спалювання «зеленого водню», сировина для виробництва «зеленого водню», відходи виробництва, їх структура та склад..
4. Зміст розрахунково–пояснювальної записки (перелік питань, що їй належить розробити)
  - аналіз перспектив використання «зеленого водню»;
  - екологічні аспекти виробництва та використання «зеленого водню»;
  - вибір та обґрунтування методів отримання «зеленого водню»;
  - аналіз технології отримання «зеленого водню» та оцінка її життєвого циклу.

Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень):  
технологічні схеми виробництва «зеленого водню», схема методу електролізу води для виробництва «зеленого водню», структура впливів на навколишнє природне середовище від використання «зеленого водню».

5. Консультанти по проекту (роботі), із значенням розділів проекту, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Фалько В.В.		

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Літературний огляд за досліджуваною проблематикою	Вересень 2023 р.	
2	Аналіз «зеленого водню» як об'єкта дослідження	Жовтень 2023 р.	
3	Огляд технологій отримання водню	Жовтень 2023 р.	
4	Аналіз екологічно безпечної технології виробництва «зеленого водню»	Листопад 2023 р.	
5	Оцінка життєвого циклу «зеленого водню» та перспективи розвитку	Листопад 2023 р.	
6	Робота над розділом «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	Грудень 2023 р.	
7	Оформлення роботи	Грудень 2023 р.	

6. Дата видачі завдання 25.09.2023 року

Студент \_\_\_\_\_

О. Р. Боруха

Керівник проекту \_\_\_\_\_

Є. В. Батальцев

## РЕФЕРАТ

*Структура та обсяг випускної кваліфікаційної роботи магістра.* Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який містить 33 найменування. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 49 с., список використаних джерел на 4 сторінках.

Метою дослідження є розробка та аналіз ефективності новітніх методів отримання зеленого водню з використанням екологічно чистих технологій.

Відповідно до поставленої мети було вирішено такі *завдання*:

- аналіз основних технологічних процесів – джерела виготовлення зеленого водню;
- вивчення складу, структури, властивостей зеленого водню;
- дослідження сучасних підходів до виготовлення зеленого водню.

Об'єктом дослідження є процеси отримання водню з використанням екологічно чистих технологій.

Предметом дослідження є технологічні рішення та методи, що застосовуються для виробництва «зеленого водню».

Методи дослідження включають аналіз наукової літератури, експериментальні методи, моделювання процесів, а також економічний аналіз впроваджених технологій.

*Ключові слова:* ЗЕЛЕНИЙ ВОДЕНЬ, ВИГОТОВЛЕННЯ ЗЕЛЕНОГО ВОДНЮ, ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА, ТЕХНОГЕННИЙ ВПЛИВ, ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ЗЕЛЕНОГО ВОДНЮ.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	3
<b>РОЗДІЛ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕМИ</b> .....	5
1.1 Визначення та актуальність теми.....	5
1.1 Зелений водень як перспективне джерело енергії.....	8
1.2 Зниження техногенного впливу на довкілля під час виробництва та використання біопалива.....	9
1.3 Мета і завдання дослідження.....	11
<b>РОЗДІЛ 2 ОБ’ЄКТ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ</b> .....	12
2.1 «Зелений водень» як об’єкт дослідження.....	12
2.2 Екологічні аспекти виробництва водню.....	14
2.3 Огляд сучасних підходів до отримання зеленого водню.....	17
<b>РОЗДІЛ 3 ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ЗЕЛЕНОГО ВОДНЮ</b> .....	21
3.1 Вибір та обґрунтування методу отримання «зеленого водню».....	21
3.2 Технологія виробництва «зеленого водню».....	25
3.3 Оцінка життєвого циклу «зеленого водню» та перспективи розвитку.....	27
<b>РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b> .....	33
4.1 Правила техніки безпеки під час експлуатації балонів з воднем (посудин під тиском).....	33
4.2 Порядок дій у разі виникнення аварійних ситуацій з вибухами.....	35
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ</b> .....	46

					<i>ТС 22510188</i>			
<i>Вип.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Боруха</i>			<i>Екологічно чиста технологія отримання «зеленого водню»</i>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Батальцев</i>					4	49
<i>Реценз.</i>		<i>Батальцев</i>				<i>СумДУ, ф-т</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Пляцук</i>				<i>TeCETrp. TC.m-21</i>		
<i>Утверд.</i>								

## ВСТУП

Актуальність досліджуваної теми у сучасному світі визначається низкою факторів, що відображають ключові виклики нашого часу - зміну клімату, необхідність переходу на відновлювані джерела енергії та стремління до сталого розвитку. У світлі глобального потепління та зростання екологічних проблем, пов'язаних з викидами парникових газів, наявність чистих та ефективних джерел енергії, таких як зелений водень, стає життєво необхідною. Водень, як енергоносіє, що не виробляє CO<sub>2</sub> при використанні, відіграє важливу роль у боротьбі зі зміною клімату та підтримці екологічної рівноваги.

З іншого боку, світова енергетична індустрія переживає період трансформації, з метою зменшення залежності від викопних видів палива. У цьому контексті, зелений водень може стати ключовим компонентом нової енергетичної моделі, забезпечуючи не тільки чисту, але й ефективну енергію. Тим не менш, традиційні методи виробництва водню часто асоціюються з значними екологічними проблемами, що підсилює потребу у розробці нових, більш екологічно безпечних технологій.

Дослідження у цій галузі відповідає глобальним цілям сталого розвитку, які включають забезпечення доступу до чистої енергії, боротьбу зі зміною клімату та підвищення екологічної відповідальності. Крім того, використання зеленого водню може сприяти економічній вигоді, знижуючи залежність країн від імпортованих викопних ресурсів та підвищуючи їх енергетичну незалежність.

Робота тісно пов'язана з науковими програмами та планами у сфері екології, енергетики та сталого розвитку. Вона вписується в глобальну тематику зниження впливу людської діяльності на довкілля та підтримки ініціатив з відновлюваних джерел енергії.

Об'єктом дослідження є процеси отримання водню з використанням екологічно чистих технологій.

					ТС 22510188	Арк
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

Предметом дослідження є технологічні рішення та методи, які застосовуються для виробництва зеленого водню.

Методи дослідження включають аналіз наукової літератури, експериментальні методи, моделювання процесів, а також економічний аналіз впроваджених технологій.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розробці нових, ефективніших та екологічно безпечних способів отримання водню, що можуть мати значний вплив на енергетичний сектор та допомогти в реалізації цілей сталого розвитку.

Практичне значення одержаних результатів виявляється у можливості застосування розроблених технологій на практиці, що може сприяти зниженню екологічного впливу енергетичної галузі, підвищенню ефективності виробництва енергії та забезпеченню енергетичної безпеки.

					<i>ТС 22510188</i>	<i>Арк</i>
<i>Випр.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		6

# РОЗДІЛ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕМИ

## 1.1 Визначення та актуальність теми

«Зелений водень» визначається як водень, який виробляється шляхом електролізу води з використанням електроенергії, отриманої з відновлюваних джерел, таких як сонячна, вітрова, гідроелектрична та інші відновлювані джерела енергії. Процес виробництва зеленого водню не включає викиди вуглекислого газу або інших шкідливих газів, що робить його екологічно стійкою альтернативою традиційним джерелам водню, які зазвичай залежать від викопного палива.

Актуальність теми «зеленого водню» в сучасному світі важко переоцінити. Оскільки світова спільнота зіштовхується з необхідністю вирішення проблеми зміни клімату та зниження вуглецевого впливу, перехід до відновлюваних джерел енергії стає критично важливим. У цьому контексті виробництво зеленого водню відіграє ключову роль, оскільки це дозволяє замінити традиційні, більш забруднюючі джерела енергії, зменшуючи таким чином загальний вуглецевий слід людства [1].

Крім того, зелений водень може використовуватися у різноманітних секторах, включаючи транспорт, промисловість та виробництво енергії, як чиста альтернатива викопним паливам. Це також сприяє енергетичній безпеці країн, зменшуючи їх залежність від імпортованих видів палива. Ураховуючи ці фактори, дослідження та розробка технологій для ефективного та економічно вигідного отримання зеленого водню є важливим кроком на шляху до сталого та екологічно чистого майбутнього.

Історія розвитку технологій отримання зеленого водню є цікавим і різноманітним процесом, який охоплює століття наукових відкриттів та

					ТС 22510188	Арк
Випр.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7





досягнень, але й зростаючої відповідальності перед нашою планетою та майбутніми поколіннями.

Аналіз попередніх наукових робіт, які зосереджені на технології виробництва зеленого водню, є ключовим елементом для розуміння поточного стану цієї галузі та напрямків майбутніх досліджень. Проведення такого аналізу включає не тільки вивчення основних наукових робіт, але й критичну оцінку їхніх сильних та слабких сторін, внеску в галузь та визначення можливих обмежень. Дослідження у цьому напрямі проводили такі вчені як Камінецька А. Р., Кравцов М. М., Ташеєв Ю. В., Уланов М. М., Шведчикова А. О.

Наукові роботи у галузі виробництва зеленого водню охоплюють широкий спектр тем, від фундаментальних досліджень хімічних та фізичних процесів, що лежать в основі електролізу, до розробки конкретних технологічних рішень і стратегій масштабування виробництва. Важливою темою є дослідження використання різних видів відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна, вітрова, гідроелектрична енергія, для ефективного та сталого виробництва водню. Інші дослідження зосереджуються на розробці більш ефективних електролізерів, оптимізації процесів фотоелектрохімічного розкладу води, та використанні нових матеріалів, що можуть покращити ефективність та знизити вартість виробництва водню.

Під час критичної оцінки цих робіт важливо враховувати такі аспекти, як новизна підходів, ступінь їхньої ефективності, вартість впровадження, а також потенціал для масштабування. Серед сильних сторін часто згадується здатність нових технологій значно знижувати вуглецевий відбиток і сприяти переходу до сталого енергетичного майбутнього. Проте, важливо також враховувати і слабкі сторони, такі як висока вартість деяких сучасних технологій, обмеження, пов'язані з нестабільністю деяких видів відновлюваних джерел енергії, та складності, пов'язані з зберіганням та транспортуванням водню.

					TC 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Крім того, важливим аспектом є визначення можливих обмежень існуючих підходів. Наприклад, деякі технології можуть бути менш ефективними в певних географічних умовах або вимагати значних витрат на дослідження та розробку перед їх комерційним впровадженням.

### 1.1 Зелений водень як перспективне джерело енергії

Зелений водень як перспективне джерело енергії займає ключове місце у глобальних зусиллях щодо боротьби зі зміною клімату та переходу до сталої енергетики. Його виробництво, яке не включає викидів вуглекислого газу та інших шкідливих речовин, робить його однією з найбільш екологічно чистих форм енергії. Ця особливість, поряд з високою енергетичною щільністю та широким спектром застосувань, робить зелений водень важливим компонентом у стратегіях енергетичної безпеки та економічного розвитку.

Основною перевагою зеленого водню є його екологічна чистота. Він виробляється через електроліз води, використовуючи електроенергію, отриману з відновлюваних джерел, як-от сонячні, вітрові, та гідроелектричні енергії. Відсутність викидів вуглецю під час його виробництва та використання робить його ідеальним вибором для зниження вуглецевого сліду в різних секторах, включаючи транспорт, промисловість та виробництво енергії [3].

Зелений водень може використовуватись як енергетичний носій та як сировина у хімічній промисловості. У транспортній галузі, водневі паливні елементи можуть слугувати екологічно чистою альтернативою традиційним двигунам внутрішнього згорання, особливо для важких транспортних засобів, таких як вантажівки та автобуси, а також у залізничному та морському транспорті. У промисловості, зелений водень може використовуватись для виробництва тепла та як вихідна сировина для виробництва аміаку та інших хімічних речовин.

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Незважаючи на свої численні переваги, розвиток технологій зеленого водню все ще стикається з деякими викликами. Одним з найбільших викликів є вартість: виробництво зеленого водню досі дорожче, ніж традиційні методи. Також існують питання, пов'язані з інфраструктурою для зберігання та транспортування водню, що вимагають значних інвестицій та розвитку.

Крім того, для максимальної ефективності та екологічної чистоти виробництва зеленого водню, необхідно забезпечити, що енергія для електролізу походить зі стовідсотково відновлюваних джерел. Це вимагає подальшого розвитку відновлюваних джерел енергії та їх інтеграції у енергетичні мережі.

Незважаючи на ці виклики, зелений водень залишається однією з найбільш обіцяючих технологій у сфері сталої енергетики. Інвестиції у дослідження, розвиток інфраструктури та міжнародне співробітництво можуть сприяти подальшому зниженню вартості та розширенню застосування зеленого водню, роблячи його ключовим елементом у досягненні глобальних цілей у сфері зниження викидів парникових газів і переходу до відновлюваних джерел енергії.

## 1.2 Зниження техногенного впливу на довкілля під час виробництва та використання біопалива

Зниження техногенного впливу на довкілля при виробництві та використанні біопалива є критично важливим завданням, що сприяє переходу до сталої енергетичної системи. Біопаливо, яке виробляється з біологічних відходів, енергетичних культур та інших органічних матеріалів, вважається одним із ключових елементів в стратегіях зменшення залежності від викопних палив та зниження викидів парникових газів.

Починаючи з вибору сировини, екологічний вплив біопалива значною мірою залежить від типу використовуваних матеріалів. Енергетичні культури, такі як ріпак, кукурудза або цукровий очерет, мають свої переваги, але можуть

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

призводити до проблем, таких як вирубка лісів, втрата біорізноманіття та конкуренція за земельні ресурси з продовольчим сектором. Тому важливо зосередитися на використанні непродовольчих відходів та інших відновлюваних ресурсів, що мінімізують вплив на довкілля.

Оцінка енергетичного балансу є ще одним критичним аспектом. Виробництво біопалива повинно споживати менше енергії, ніж виробляється в результаті його використання. Це включає в себе усі етапи – від вирощування та збору сировини до її переробки та транспортування [4].

Що стосується викидів парникових газів, то незважаючи на те, що біопаливо вважається низьковуглецевим, повний аналіз його впливу на довкілля вимагає врахування викидів на всіх етапах виробничого ланцюга. Це включає викиди, пов'язані з вирощуванням, збором, переробкою сировини, а також транспортуванням та використанням готового продукту.

Застосування біопалива в автомобільному транспорті, енергетиці та інших промислових секторах може сприяти зниженню залежності від викопних палив і відповідно зменшенню загальних викидів вуглекислого газу. Однак важливо звернути увагу на вплив біопалива на якість повітря, оскільки деякі види біопалива можуть випускати інші забруднювачі, такі як оксиди азоту.

Також важливо розглядати соціально-економічні наслідки виробництва біопалива, включаючи вплив на ціни на продовольство, землекористування та можливості для розвитку місцевих спільнот.

У підсумку, зниження техногенного впливу на довкілля під час виробництва та використання біопалива вимагає збалансованого підходу, що враховує екологічну стійкість, енергетичну ефективність та соціально-економічний вплив. Це означає інвестування в дослідження та розвиток більш сталих форм біопалива, оптимізацію виробничих процесів та впровадження стратегій, що забезпечують екологічну та соціальну відповідальність на всіх етапах ланцюга створення вартості.

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

### 1.3 Мета і завдання дослідження

Головною метою дослідження є розробка та аналіз ефективних, економічно вигідних та екологічно стійких методів виробництва зеленого водню. Це включає ідентифікацію та оптимізацію процесів, що дозволяють виробляти водень з мінімальним впливом на довкілля, максимізуючи використання відновлюваних джерел енергії.

Перше завдання полягає у глибокому аналізі існуючих технологій виробництва зеленого водню. Це включає оцінку поточних методів, таких як водний електроліз з використанням відновлюваної енергії, та ідентифікацію їхніх сильних та слабких сторін.

Друге завдання - це розробка та тестування нових методів та технологій для оптимізації процесу виробництва. Це може включати використання нових каталізаторів, вдосконалення процесів електролізу, та інтеграцію із системами відновлюваної енергії.

Третє завдання пов'язане з оцінкою екологічного впливу виробництва зеленого водню. Це включає аналіз вуглецевого відбитку, впливу на місцеві екосистеми та інших потенційних негативних наслідків.

Четверте завдання зосереджено на економічному аналізі. Важливо оцінити вартість виробництва зеленого водню, можливості для масштабування та економічну життєздатність технологій на ринку.

П'яте завдання включає інтеграцію виробленого зеленого водню у сучасні енергетичні системи. Це означає розробку ефективних способів зберігання та транспортування водню, а також його використання у різних галузях, від транспорту до промисловості [5].

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

## РОЗДІЛ 2 ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 «Зелений водень» як об'єкт дослідження.

«Зелений водень» як об'єкт дослідження займає ключове місце в сфері альтернативної енергетики. Він представляє собою водень, отриманий із відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова енергія, і відрізняється від традиційних методів виробництва тим, що не спричиняє викидів шкідливих газів.

Методика дослідження «зеленого водню» охоплює кілька ключових аспектів:

1. Вивчення технологій виробництва: цей етап включає аналіз різних методів отримання водню, зокрема електролізу води з використанням енергії вітру та сонця. Особлива увага приділяється новітнім технологічним розробкам, які можуть підвищити ефективність та знизити вартість виробництва.

2. Економічний аналіз: важливо оцінити економічну вигоду виробництва зеленого водню. Це включає порівняння вартості виробництва з традиційними методами, а також аналіз потенціалу комерційного використання зеленого водню.

3. Екологічний вплив: оцінка екологічного впливу зеленого водню є ключовою. Досліджується, як використання зеленого водню може сприяти зниженню викидів парникових газів та покращенню якості довкілля.

4. Інтеграція в енергетичні системи: аналізується, як зелений водень може бути інтегрований у існуючі енергетичні системи, його роль у переході до відновлюваних джерел енергії та його потенціал у забезпеченні енергетичної безпеки.

					ТС 22510188	Арк
						14
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Політичні та регулятивні аспекти: розглядаються законодавчі та політичні рамки, які можуть сприяти або перешкоджати розвитку та розповсюдженню технологій зеленого водню. Це включає аналіз політичних ініціатив, субсидій, податкових стимулів та інших регуляторних механізмів [6].

Таким чином, дослідження «зеленого водню» є багатограним і охоплює технічні, економічні, екологічні та політичні аспекти, що дозволяє глибоко зрозуміти його потенціал як важливого елемента в боротьбі зі зміною клімату та переходу до сталої енергетики.

«Зелений водень» як об'єкт дослідження відіграє важливу роль у багатьох сферах, від енергетики до екологічної стійкості. Його основні сфери використання та вплив на навколишнє середовище включають:

До сфери використання зеленого водню можна віднести наступне:

1. Енергетика. Зелений водень може виступати як джерело енергії для електростанцій або як засіб зберігання енергії, особливо важливий для балансування мереж, які залежать від відновлюваних джерел, таких як сонячна та вітрова енергія.

2. Транспорт. У сфері транспорту зелений водень має потенціал як екологічно чисте паливо, особливо для важкого та далекобійного транспорту, залізниць та морських суден.

3. Промисловість. Використання зеленого водню в промислових процесах, зокрема у металургії та хімічній промисловості, дозволяє знижувати викиди вуглецю та сприяти сталому виробництву.

4. Опалення та охолодження. Зелений водень може використовуватися у системах опалення та охолодження, замінюючи традиційні викопні палива у житловому та комерційному секторах.

					TC 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15



5. Виробництво аміаку та хімікатів. Аміак, вироблений за допомогою зеленого водню, може стати ключовим елементом в екологічно чистому виробництві добрив [7].

До впливу на довкілля можна віднести наступне:

1. Найважливішим екологічним аспектом зеленого водню є відсутність викидів вуглекислого газу під час його виробництва та використання, що сприяє боротьбі зі зміною клімату.

2. Використання зеленого водню допомагає скоротити залежність від нафти, природного газу, та вугілля, тим самим знижуючи вплив на довкілля та підвищуючи енергетичну безпеку.

3. Заміна традиційних палив зеленим воднем у транспортному секторі та промисловості може значно знизити рівні забруднення повітря.

4. Виробництво водню з відновлюваних джерел енергії сприяє більш стійкому використанню природних ресурсів, зменшуючи навантаження на екосистеми [8].

Таким чином, «зелений водень» є важливим об'єктом дослідження, який пропонує багатообіцяючі перспективи для створення сталої, ефективної та екологічно чистої енергетичної системи майбутнього.

## 2.2 Екологічні аспекти виробництва водню

Екологічні аспекти виробництва водню мають критичне значення для забезпечення його сталості та мінімізації впливу на довкілля. Виробництво водню може використовувати різні методи, кожен з яких має свої екологічні наслідки.

Перш за все, важливо розглядати джерело енергії, яке використовується для виробництва водню. Традиційні методи, що базуються на викопних паливах,

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

суттєво впливають на довкілля через високі викиди парникових газів. Натомість, зелений водень, вироблений через електроліз води з використанням відновлюваних джерел енергії, таких як вітрова та сонячна енергія, не має прямих викидів вуглекислого газу, що робить його значно більш екологічним варіантом.

Другим важливим аспектом є використання води в процесі електролізу. Цей процес вимагає значних об'ємів води, що може створити додатковий тиск на місцеві водні ресурси, особливо в аридних регіонах або там, де вода є обмеженим ресурсом.

Також важливо враховувати екологічний вплив використаних джерел енергії, навіть якщо вони відновлювані. Наприклад, великі вітрові ферми або сонячні панелі вимагають значного землекористування та можуть впливати на місцеві екосистеми.

Безпечне транспортування та зберігання водню також є ключовими екологічними питаннями. Водень має високу енергійну щільність і може бути небезпечним у випадку витoku, що вимагає відповідних заходів безпеки та інвестицій у інфраструктуру.

Останнім, але не менш важливим, є вплив життєвого циклу обладнання, використовуюваного для виробництва, транспортування та зберігання водню. Виробництво електролізерів, паливних елементів, транспортних контейнерів та іншого обладнання вимагає ресурсів та енергії, і ці аспекти повинні бути враховані при оцінці загального екологічного впливу.

Враховуючи ці фактори, екологічні аспекти виробництва водню повинні бути інтегровані в загальну стратегію виробництва, а також в політику та регулювання, щоб забезпечити сталий розвиток та мінімізацію впливу на навколишнє середовище [9].

На рис.2.1. можемо побачити загальну схему виробництва водню.

					ТС 22510188	Арк
						17
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



біорізноманіття. Наприклад, великі сонячні ферми або вітрові парки можуть займати значні площі землі.

Безпечне транспортування та зберігання водню є ще однією критичною сферою. Водень, який транспортується вантажівками або трубопроводами, вимагає високих стандартів безпеки, а випадкові витоки можуть мати негативний вплив на довкілля.

Життєвий цикл обладнання, використовуваного для виробництва, транспортування та зберігання водню, також має екологічні наслідки. Виробництво електролізерів, паливних елементів та іншого обладнання вимагає ресурсів та енергії, а їх утилізація повинна відбуватися екологічно безпечним способом.

Масштабування виробництва зеленого водню також є викликом, який вимагає значних інвестицій у відновлювані джерела енергії та розвиток інфраструктури. Таке масштабування має враховувати потенційний вплив на довкілля та вимагає інтегрованого підходу, що поєднує технологічні інновації, вдосконалення інфраструктури та ефективне регулювання [10].

Забезпечення екологічної стійкості виробництва водню вимагає комплексного підходу, який включає технологічні інновації, раціональне використання ресурсів, розвиток інфраструктури, ефективне регулювання та активну участь усіх зацікавлених сторін.

### 2.3 Огляд сучасних підходів до отримання зеленого водню

Сучасні підходи до отримання зеленого водню відображають інноваційні розробки у використанні відновлюваних джерел енергії та біотехнологій. Основні методи включають:

**Електроліз Води.** Цей метод є найпоширенішим і найбільш розвиненим для виробництва зеленого водню. Він використовує електричний струм для

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19



розробки порівняно з електролізом, він має потенціал стати високоефективним способом виробництва водню.

Університети та дослідницькі інститути по всьому світу розробляють фотоелектрохімічні системи, які використовують сонячне світло для виробництва водню. Наприклад, дослідження в Інституті Макса Планка в Німеччині показують обіцяючі результати у цій галузі [12].

**Біологічне виробництво водню.** Використання мікроорганізмів, таких як водорості або бактерії, для виробництва водню є іншим інноваційним підходом. Ці організми можуть виробляти водень як побічний продукт своєї метаболічної активності або через біофотоліз. Біологічне виробництво водню може виявитися важливим у контексті циркулярної економіки, особливо коли використовуються органічні відходи.

Деякі проекти, наприклад у США та Японії, досліджують можливість використання зелених водоростей для виробництва водню. Водорості під дією сонячного світла можуть виробляти водень, що може бути зібраний та використаний як джерело енергії [13].

**Використання енергії біомаси.** Хоча цей метод може бути не повністю «зеленим», він може бути стійким, якщо біомаса отримана зі сталого джерела. Термохімічна переробка або газифікація біомаси можуть бути використані для виробництва водню.

Існують комерційні установки, наприклад, у Скандинавії, де біомаса перетворюється на водень через процес газифікації. Ці установки демонструють, як можна використовувати органічні відходи та біомасу для створення екологічно чистого водню [14].

**Використання відходів.** Підходи, що базуються на переробці органічних відходів, такі як піроліз або газифікація, можуть використовуватися для отримання водню. Це не тільки забезпечує екологічно стійкий спосіб виробництва водню, але й сприяє зменшенню відходів.

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

У деяких містах, наприклад, в Токіо, Японія, розробляються системи для переробки муніципальних відходів на водень. Це включає в себе використання технологій піролізу або газифікації для отримання водню з побутових відходів [15].

Усі ці підходи мають різний ступінь технологічної зрілості, економічної ефективності та екологічного впливу. Розвиток та оптимізація цих технологій є ключовими для реалізації потенціалу зеленого водню як стійкого джерела енергії майбутнього. Також, ці приклади демонструють широкий спектр можливостей в області виробництва зеленого водню, від традиційних методів, таких як електроліз, до інноваційних біологічних та хімічних процесів. Кожен з цих методів має свої переваги та виклики, але разом вони формують основу для переходу до більш сталого та екологічно чистого енергетичного майбутнього.

					<i>ТС 22510188</i>	<i>Арк</i>
<i>Випр</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		22

## РОЗДІЛ 3 ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ЗЕЛЕНОГО ВОДНЮ

### 3.1 Вибір та обґрунтування методу отримання «зеленого водню»

«Зелений водень» відіграє важливу роль у світових зусиллях щодо сталого розвитку та боротьби зі зміною клімату. Відрізняючись від інших форм водню, таких як «сірий» та «блакитний», зелений водень виробляється без викиду вуглекислого газу, що робить його найбільш екологічно чистим варіантом. Можна побачити «відтінки водню» на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 - «Відтінки водню»

Сірий водень, наразі найбільш поширений на ринку, виробляється переважно з природного газу за допомогою парового реформінгу метану, але цей процес супроводжується значними викидами CO<sub>2</sub>. Блакитний водень також виробляється з викопного палива, але включає технології захоплення та зберігання вуглецю (CCS), з метою зменшення викидів вуглекислого газу.

Натомість, зелений водень виробляється шляхом електролізу води, де електрична енергія, необхідна для розщеплення молекули води на кисень і водень,



генерується з відновлюваних джерел, таких як сонячна, вітрова або гідроенергетика. Це означає, що в процесі виробництва зеленого водню не відбувається викидів шкідливих газів, що робить його ідеальним рішенням для зниження вуглецевого сліду та переходу до чистих джерел енергії.

Важливість зеленого водню для досягнення сталого розвитку важко переоцінити. Його використання може суттєво зменшити залежність від викопних палив у багатьох секторах, включаючи транспорт, промисловість та енергетику, тим самим сприяючи боротьбі з глобальним потеплінням. Крім того, розвиток інфраструктури та технологій для виробництва та використання зеленого водню може стимулювати економічне зростання, створення робочих місць та інновації, підвищуючи енергетичну безпеку та сприяючи економічному розвитку [16].

Таким чином, зелений водень представляє собою ключовий елемент у прагненні досягнути більш сталого та екологічно чистого майбутнього, зменшуючи вплив на навколишнє середовище та водночас відкриваючи нові можливості для енергетичного сектору.

Методи отримання зеленого водню є ключовими для його екологічно чистого виробництва і включають кілька інноваційних технологій, кожна з яких має свої переваги та обмеження з точки зору ефективності та екологічної безпеки.

Першим і, можливо, найбільш розповсюдженим методом є водневий електроліз за допомогою відновлюваних джерел енергії. Цей процес включає розщеплення молекул води на кисень і водень за допомогою електричного струму, який генерується з відновлюваних джерел, таких як сонячна, вітрова або гідроенергія. Електроліз є особливо ефективним, коли використовуються сучасні електролізери з протонообмінними мембранами (PEM). Оскільки в процесі не виробляються викиди CO<sub>2</sub>, він вважається екологічно безпечним та відповідає стандартам зеленого водню [22].

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Другий метод - біологічне виробництво водню - використовує мікроорганізми для виробництва водню з біомаси або органічних відходів. Це може включати в себе процеси ферментації або фотобіологічне виробництво водню за допомогою водоростей. Хоча цей метод є менш ефективним порівняно з електролізом, він пропонує перевагу у використанні відновлюваних ресурсів і може сприяти утилізації органічних відходів, роблячи його екологічно привабливим варіантом.

Третій метод - фотоелектрохімічне розщеплення води - використовує сонячне світло для безпосереднього виробництва водню з води за допомогою фотоелектрохімічних клітин. Цей метод перетворює сонячну енергію безпосередньо на хімічну енергію водню, уникаючи потреби у зовнішніх джерелах електричної енергії. Хоча ця технологія має великий потенціал з точки зору ефективності використання сонячної енергії, наразі вона знаходиться на ранніх етапах розвитку і вимагає подальших досліджень для комерційного використання.

Кожен з цих методів виробництва зеленого водню відіграє важливу роль у переході до більш сталої та екологічно чистої енергетики, пропонуючи різні підходи до зменшення вуглецевого сліду та забезпечення енергетичної безпеки.

При виборі методу отримання зеленого водню необхідно зважати на ряд критеріїв, таких як ефективність, екологічність, вартість та доступність технологій. Кожен із методів має свої унікальні переваги та недоліки, що впливають на їх придатність для конкретних застосувань та ринкових умов.

Ефективність та екологічність:

Електроліз води, що використовує електричну енергію з відновлюваних джерел, є одним з найбільш ефективних та екологічно чистих методів. Цей метод дозволяє отримувати високочистий водень без шкідливих викидів. Водночас, вартість обладнання для електролізу та потреба у значних інвестиціях можуть бути перешкодою для його широкого впровадження [17].

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Біологічне виробництво водню представляє собою інноваційний підхід, який використовує мікроорганізми для виробництва водню з біомаси. Цей метод має потенціал забезпечити ефективне використання органічних відходів, але стикається з викликами, пов'язаними з низькою ефективністю та складнощами масштабування.

Фотоелектрохімічне розщеплення води використовує сонячну енергію для безпосереднього виробництва водню, але ця технологія все ще знаходиться на ранніх стадіях розвитку і потребує додаткових досліджень для покращення ефективності та зниження вартості.

Ринкові тенденції та перспективи:

Аналізуючи ринкові тенденції, стає зрозуміло, що інтерес до зеленого водню зростає, що стимулює розвиток та оптимізацію технологій. Зниження вартості відновлюваної енергії та поліпшення ефективності електролізерів можуть зробити електроліз води все більш привабливим варіантом. Водночас, біологічне виробництво водню та фотоелектрохімічне розщеплення води залишаються важливими напрямками для досліджень, оскільки вони можуть пропонувати унікальні переваги у певних умовах використання.

Враховуючи глобальні цілі зниження вуглецевих викидів, вибір методу виробництва зеленого водню повинен бути спрямований на забезпечення максимальної ефективності, екологічної безпеки та економічної доступності, щоб сприяти переходу до більш чистої та сталої енергетики.

Розглядаючи кейс-стаді виробництва зеленого водню, важливо оцінити поточний стан, потенціал та виклики цього напрямку, а також його вплив на екологію, енергетичну безпеку та економіку [21].

Наразі виробництво зеленого водню знаходиться на ранній стадії розвитку. Наприклад, в Німеччині водень виробляється з відновлювальних джерел енергії в основному в демонстраційних і дослідницьких установках, що робить його

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

вартість значно вищою за традиційний водень. Попри це, попит на водень прогнозується значно зростати в наступні роки.

Зелений водень має потенціал позитивно вплинути на екологічну стабільність, енергетичну безпеку та економічне зростання, оскільки він може стати альтернативою традиційним видам палива, знижуючи залежність від викопних джерел енергії та сприяючи декарбонізації.

Водночас, виробництво зеленого водню стикається з рядом технологічних та економічних викликів, таких як висока вартість виробництва, потреба в значних інвестиціях та необхідність розвитку відповідної інфраструктури для ефективного виробництва та транспортування водню.

Україна має значний потенціал у розвитку зеленого водню, особливо з урахуванням використання вітрової енергії. Це може допомогти країні досягти енергетичної незалежності та зменшити екологічний вплив.

Загалом, розвиток зеленого водню в Україні та інших країнах може сприяти створенню сталого та екологічно чистого енергетичного майбутнього.

### 3.2 Технологія виробництва «зеленого водню»

Технологія виробництва «зеленого водню» базується на використанні відновлювальних джерел енергії для реалізації процесу електролізу води, який є ключовим елементом цього методу. Процес починається з генерації електроенергії з таких джерел, як сонячні панелі або вітрові турбіни, що гарантує екологічну чистоту виробництва водню.

У наступному етапі, під час електролізу, електричний струм проходить через воду, розкладаючи її на кисень і водень. Цей процес відбувається за допомогою електродів, занурених у воду. В результаті, водень виділяється на катоді, а кисень - на аноді.

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Виділений водень потім збирається та зберігається. Зберігання водню є складним завданням через його високу реакційну здатність і малу щільність. Нарешті, водень транспортується до місць споживання за допомогою трубопроводів, танкерів або спеціалізованих контейнерів [18].

Однак, ця технологія стикається з викликами, такими як висока вартість обладнання для електролізу, потреба у великих обсягах відновлювальної енергії та виклики, пов'язані зі зберіганням та транспортуванням водню. Попри ці виклики, виробництво «зеленого водню» має великий потенціал у контексті сталого та екологічного енергозабезпечення.

Технологія виробництва «зеленого водню» охоплює кілька ключових аспектів, які роблять її важливою для сталого енергетичного майбутнього. На першому етапі використовуються відновлювальні джерела енергії, такі як сонячна або вітрова енергія, для забезпечення процесу електролізу води, що дозволяє розкласти воду на кисень та водень без викидів парникових газів. Ефективність цього процесу визначається якістю електролізерів, а їх вдосконалення та інтеграція з відновлювальними джерелами енергії можуть значно підвищити продуктивність і знизити вартість.

На наступному етапі відбувається збір та зберігання водню, що є складним через його властивості. Інновації у технологіях зберігання та транспортування водню є ключовими для підвищення безпеки та ефективності цього процесу.

Зростаюча потреба у декарбонізації різних секторів економіки робить зелений водень привабливим варіантом. Особливо важливим він є для важкої промисловості та транспорту, де інші види відновлювальної енергії можуть бути менш ефективними. Масштабування виробництва та комерціалізація зеленого водню залежать від подальших технологічних проривів, зниження вартості обладнання та збільшення попиту.

Урядова підтримка та стимулювання інвестицій є ключовими для розвитку цієї технології. Політичні рішення, регуляторні рамки та фінансові стимули

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

можуть значно прискорити впровадження зеленого водню та його інтеграцію у ширший енергетичний мікс.

Таким чином, технологія виробництва зеленого водню відкриває нові перспективи для сталої енергетики, проте її успіх залежить від подальшого технічного прогресу, економічної вигоди та стратегічної підтримки.

### 3.3 Оцінка життєвого циклу «зеленого водню» та перспективи розвитку

Життєвий цикл зеленого водню представляє собою екологічно стійкий шлях від виробництва до використання та утилізації, що зорієнтований на мінімізацію вуглецевого сліду та використання відновлюваних джерел енергії.

На початку цього циклу стоїть виробництво водню, що здійснюється через процес електролізу води. Цей процес включає розщеплення молекул води на кисень та водень за допомогою електричного струму, який генерується з відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні або вітрові електростанції. Такий підхід дозволяє виробляти водень без шкідливих викидів в атмосферу, роблячи його «зеленим» [20].

Після виробництва наступним етапом є транспортування та зберігання зеленого водню. Це може бути складною задачею, оскільки водень має високу енергетичну щільність, але при цьому є легким і малооб'ємним у газоподібному стані. Транспортування здійснюється через трубопроводи або в спеціальних контейнерах у рідкому стані або під високим тиском. Зберігання також вимагає спеціальних умов, як-от високотискові резервуари або хімічне зв'язування водню.

Використання зеленого водню є диверсифікованим, охоплюючи сектори від транспорту до промисловості. У транспортній галузі водень використовується у паливних елементах, які перетворюють хімічну енергію водню назад у електрику для приводу електромоторів, єдиним побічним продуктом при цьому

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

є вода. У промисловості водень може використовуватися як редуційний агент, зокрема у виробництві сталі, а також як джерело тепла та енергії.

З огляду на те, що зелений водень при використанні утворює воду, традиційна утилізація не є необхідною. Основним завданням на цьому етапі є забезпечення безпеки устаткування та систем, що використовують водень, та їхнє належне обслуговування.

Зелений водень, вироблений із відновлюваних джерел енергії, може мати значний позитивний екологічний вплив у порівнянні з традиційними джерелами енергії, однак його життєвий цикл також має певні екологічні виклики [23].

На етапі виробництва, зелений водень має мінімальні викиди парникових газів, оскільки електроліз води використовує електроенергію з відновлюваних джерел. Проте, існують додаткові виклики, такі як водоспоживання для електролізу, яке може становити проблему в районах з обмеженими водними ресурсами. Також, встановлення великих сонячних ферм або вітрових парків може впливати на місцеве біорізноманіття та вимагає великих площ землі.

Транспортування та зберігання водню також несуть у собі певні виклики. Транспортування водню, залежно від методу, може включати викиди парникових газів, особливо якщо для цього використовуються не відновлювані джерела енергії. Зберігання водню вимагає спеціалізованих резервуарів, виробництво яких може мати екологічний вплив.

На етапі використання, зелений водень є надзвичайно чистим. При його спалюванні або використанні у паливних елементах утворюється лише вода, тож викидів парникових газів або інших забруднювачів повітря немає. Це робить його привабливим для використання в транспорті та інших галузях, де потрібно знизити викиди.

У контексті закінчення циклу, важливо розглядати утилізацію обладнання, що використовується для виробництва, транспортування, зберігання та використання водню. Це включає утилізацію сонячних панелей, вітрових турбін,

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

електролізерів та резервуарів для зберігання водню. Правильне керування кінцем життєвого циклу цих компонентів є важливим для мінімізації загального екологічного впливу.

Загалом, хоча зелений водень має потенціал бути одним з найчистіших джерел енергії, його повний екологічний вплив залежить від усього ланцюжка його життєвого циклу. Ефективне управління ресурсами, інновації у технологіях та відповідальне планування можуть допомогти максимізувати екологічні переваги зеленого водню [24].

Економічна життєздатність зеленого водню та пов'язані з ним технологічні розвідки мають вирішальне значення для визначення його ролі у майбутніх енергетичних системах.

На етапі виробництва, вартість зеленого водню є відносно високою через дороговартісні електролізери та потребу у відновлюваній енергії. Однак, із зростанням масштабів виробництва та технологічних інновацій, вартість електролізу має тенденцію до зниження. Це зокрема включає використання новітніх матеріалів для електродів та поліпшення ефективності процесів, що знижує енергійність виробництва.

Транспортування та зберігання водню також є ключовими факторами вартості. Транспортування водню, особливо на великі відстані, вимагає спеціалізованого обладнання та інфраструктури, що підвищує загальні витрати. Зберігання, яке включає утримання водню під високим тиском або в рідкому стані, також вимагає значних інвестицій.

У сфері кінцевого використання водню, вартість залежить від конкретних застосувань. Наприклад, у транспортному секторі, де водень використовується у паливних елементах, необхідно розвивати нову інфраструктуру, таку як водневі заправні станції.

На стороні технологічного розвитку, великі сподівання покладаються на інновації у виробництві та використанні відновлюваних джерел енергії.

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31



Зниження вартості сонячних панелей та вітрових турбін може сприяти дешевшому та ефективнішому виробництву зеленого водню. Розвиток більш ефективних електролізерів із використанням новітніх матеріалів для електродів та мембран може суттєво знизити енергійність процесу.

Усе це свідчить про те, що хоча на сьогодні зелений водень є відносно дорогим порівняно з традиційними джерелами енергії та сірим воднем, його економічна життєздатність може значно покращитися в майбутньому завдяки технологічним інноваціям та зростанню масштабів виробництва.

Перспективи розвитку зеленого водню виглядають обнадійливими, особливо у світлі глобальних зусиль щодо зниження вуглецевих викидів та переходу до відновлюваних джерел енергії. Майбутнє зеленого водню охоплює кілька ключових аспектів, включаючи ринковий потенціал, нові застосування, і політичні ініціативи, що можуть сприяти його широкому використанню.

Ринковий потенціал зеленого водню є значним. Зі зростаючим попитом на екологічно чисті та сталі енергетичні рішення, зелений водень може знайти широке застосування у різних галузях. Однією з найбільш перспективних є транспортна галузь, де водень може використовуватися у паливних елементах для автомобілів, вантажівок, а також у громадському та залізничному транспорті. Важливим сектором також є промисловість, де водень може використовуватися як альтернатива вугільним паливам у виробництві сталі та хімічних продуктів.

Політичні ініціативи та законодавчі стимули також відіграють ключову роль у розвитку ринку зеленого водню. Уряди багатьох країн вже розробляють та впроваджують політики та нормативні акти, спрямовані на підтримку виробництва та використання водню як частини своїх стратегій декарбонізації. Це включає фінансові інcentиви, дослідницькі гранти та співфінансування інфраструктурних проєктів. Міжнародне співробітництво, таке як у рамках Паризької кліматичної угоди, також може стимулювати глобальний розвиток водневої індустрії [25].

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Важливим аспектом є також інвестиції в дослідження та розвиток. Подальші технологічні інновації, зокрема у сфері ефективності електролізерів, зберігання та транспортування водню, можуть значно знизити вартість і підвищити ефективність використання зеленого водню. Особливу увагу приділяють вдосконаленню технологій для виробництва водню з відновлюваних джерел енергії, а також розробці безпечних та ефективних систем зберігання та транспортування водню.

Загалом, майбутнє зеленого водню виглядає оптимістичним, враховуючи його потенціал у боротьбі зі зміною клімату та забезпеченні сталого енергетичного майбутнього. З розвитком технологій, поліпшенням політичного регулювання та зростанням глобального інтересу, зелений водень може стати ключовим компонентом глобальної енергетичної системи.

Розвиток зеленого водню як ключового елемента у сталій енергетиці стикається з рядом викликів, які вимагають комплексних рішень на різних рівнях - від інвестицій та регулювання до розбудови інфраструктури.

Одним з основних викликів є велика потреба в інвестиціях, як у виробництво водню, так і в інфраструктуру, таку як транспортування та зберігання. Державне фінансування та субсидії можуть відіграти важливу роль у стимулюванні первинних інвестицій, але для стійкого розвитку галузі необхідно залучити значні приватні інвестиції. Це може бути досягнуто за допомогою фінансових стимулів, таких як податкові пільги, зелені облігації та гарантії на інвестиції.

Регуляторні бар'єри також є важливим викликом. Наразі існує багато регуляторних неясностей, особливо у сферах стандартизації та безпеки. Це вимагає чіткого регулювання на національному та міжнародному рівнях, щоб створити сприятливі умови для інвестицій та інновацій. Стандартизація процедур та вимог може допомогти знизити невизначеність для учасників ринку.

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Щодо інфраструктурних обмежень, то необхідно великомасштабне будівництво та модернізація інфраструктури для зберігання, транспортування та розподілу водню. Це може включати створення нових трубопроводів та паливних станцій. У деяких випадках існуючу газову інфраструктуру можна адаптувати для потреб водню, що може бути більш економічно вигідним рішенням [26].

Технологічні виклики також є значними. Для роблення зеленого водню більш конкурентоспроможним, необхідні інновації в електролізерах та інших виробничих процесах, щоб знизити вартість та підвищити ефективність. Це вимагає інвестицій в дослідження та розвиток, а також партнерств між державними, академічними та приватними організаціями.

У вирішенні цих викликів важливу роль відіграє координація зусиль на всіх рівнях - від урядів до приватного сектору, а також міжнародне співробітництво для обміну знаннями, технологіями та найкращими практиками. Успішне подолання цих викликів може відкрити шлях для широкомасштабного використання зеленого водню як сталого джерела енергії.

					<i>ТС 22510188</i>	<i>Арк</i>
<i>Випр</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>34</i>

## РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Правила техніки безпеки під час експлуатації балонів з воднем (посудин під тиском)

Рекомендації стосовно безпечної експлуатації установок, систем трубопроводів у закладах ОЗ (охорони здоров'я) і інших суб'єктах господарювання розроблені відповідно до НПАОП 0.00-1.81-18 «Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском». (Затверджено Наказом Міністерства соціальної політики України 05.03.2018 р. № 333, зареєстровано у Міністерстві юстиції України 10.04.2018 р. № 433/31885) [31].

Власник кисневих балонів повинен забезпечити безпечну експлуатацію і умови утримання в справному стані, із технічним оглядом, експертизою та дотриманням усіх технічних регламентів.

Доставка наповнених кисневих балонів автомобільним транспортом має бути здійснена згідно з вимогами «Правил перевезення небезпечних вантажів автомобільним транспортом».

Під час транспортування кисневих балонів у транспортних засобах їх слід розміщувати на спеціальних дерев'яних підставках і закріплювати відповідними хомутами, накручуючи гайки на їх шийки.

На кожному підприємстві, установі, організації, яка використовує кисневі балони або кисневі трубопроводи, повинні бути розроблені відповідні інструкції з охорони праці, плакати та стенди з урахуванням умов безпеки їх експлуатації. Керівник підприємства призначає відповідальних осіб:

- за справний стан та безпечну експлуатацію кисневих балонів;

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

- справний стан та безпечна експлуатація кисневих газопроводів і посудин під тиском;
- для транспортування, доставки для наповнення та збору заповнених кисневих балонів (у разі проведення такої роботи).

До експлуатації кисневих балонів та систем дозволяється допуск особам старше 18 років, що пройшли медичні огляди, навчання та знання в галузі охорони праці та мають потрібне посвідчення.

Систематична перевірка знань теорії та практичних навичок обслуговуючого персоналу має здійснюватися один раз на рік.. До самостійної роботи не можуть бути допущені особи, що не пройшли перевірку знань по охороні праці та не мають відповідного посвідчення [32].

Запобіжні заходи при використанні кисневих балонів мають бути націлені на виключення:

- запалювання кисневих балонів;
- руйнування кисневих балонів;
- розгерметизація з'єднувальних частин системи подачі кисню;
- потрапляння масляних, малярних та будь-яких інших жирів забруднень на поверхню можливого контакту з киснем;
- не використовуйте знежирені прокладки та деталі при заміні клапана;
- не допускати джерела займання (відкритого вогню, електричних іскор тощо);
- не допускати падіння та удару балонів та систем, наповнених киснем;
- не допускати наповнення кисневих балонів із закінченням терміну планового технічного огляду;
- постійний контроль, щоб клапани на балонах надійно вкручувалися в горловину при збереженні необхідної щільності. Руки, одяг та взуття персоналу, який обслуговує та обслуговує кисневе

					<i>ТС 22510188</i>	<i>Арк</i>
<i>Випр</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		36

обладнання, повинні бути чистими, не замасленими, а одяг не містити синтетичних волокон [32].

#### 4.2 Порядок дій у разі виникнення аварійних ситуацій з вибухами

При критичних концентраціях парів нафти в з'єднанні з повітрям формуються легкозаймисті суміші. Рідке паливо горить і вибухає за відносно низьких концентраціях парів у повітрі. Суміші з вмістом газу від 1,1 до 6 % легкозаймисті на бензині, дизельному паливі та газі. Займистість паливно-мастильних матеріалів відзначаються температурою спалаху. В залежності від температури спалаху нафтопродукти можна поділити на легкозаймисті (температура спалаху нижче 40 °С) і важкозаймисті (температура спалаху вище 40 °С). Бензин та гас — легкозаймисті рідини, дизельне паливо — горюча рідина. Працівники, без виключення, перед прийняттям на роботу, пов'язану із нафтопродуктами, зобов'язані пройти медичний огляд. Їм потрібно вивчити і отримати технічні, персональні та протипожежні інструкції. Багато роботи доводиться виконувати лише за наявності спеціального одягу.

Потрібно мати такі засоби захисту: рукавички, окуляри, маски, протигази тощо. Взуття або одяг зі сталевими підковами, прокладками, пряжками та сталевими інструментами не можна використовувати в місцях, де можуть виділяти сильні пари нафти, або використовувати сталеві інструменти, щоб уникнути іскор, які можуть спричинювати пожежу. Інструмент має бути виготовлений з кольорового металу або обміднений. Вантаж вагою понад 200 кг переміщується тільки за допомогою піднятих транспортних засобів. Заповнені або порожні барабани піднімають та транспортують підйомниками спеціального призначення. За відсутності засобів механізованого завантаження ствола здійснюється вручну тільки за допомогою відкачування. Забороняється

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

переносити бочки (скляну тару) назад та поперед себе, незважаючи на їх вагу. Забороняється відкривати або закривати пробки ударом молотком чи іншими інструментами.

Від початку будь-яких робіт переконайтеся в справному стані електрообладнання та освітлювальної мережі на місці виконання роботи. Також не працювати у приміщеннях, де відбувається збереження нафтопродуктів, з відсутністю або несправністю припливно-витяжної вентиляції. Свинцевий бензин використовується лише як моторне паливо. Обережно слід бути з етилованим бензином під час збору та роздачі, щоб уникнути розливу, витоку та перепоповнення резервуарів. Рекомендується працювати з етилованим бензином у костюмах та інших засобах індивідуального захисту, включаючи прогумовані фартухи, гумові рукавички, знімне взуття, рукави та протигази марки А (коричнева коробка). Якщо етилований бензин потрапив на шкіру або одяг, видаліть його марлевим тампоном, потім ретельно промийте шкіру гарячою водою з милом і провітріть одяг на вулицю.

На цистернах, де зберігається бензин (цистерни, бочки, каністри, АЗС) з фарбою, має бути написано: «Бензин свинцевий. Отруєння. «Забороняється всмоктувати всередину бензин і дизельне паливо, щоб створити сифон для їх переливання, оскільки вони можуть потрапити в шлунок і викликати отруєння, а їх пари – обпалюють легені.

Одним з важливих питань забезпечення стабільної роботи під час аварійних ситуацій є стійкість до світлового випромінювання. Складна пожежна ситуація може виникнути на підприємстві через дію енергії світлових імпульсів, так, як зберігається велика кількість горючих речовин і обладнання. Світлове випромінювання ядерного вибуху – це електромагнітне випромінювання в ультрафіолетовому, видимому та інфрачервоному спектрі. Джерелом світлового

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

випромінювання є ділянка світіння (вогненна куля), яка містить в собі гарячі продукти вибуху та повітря [33].

Ця ділянка за надзвичайно короткий час випромінює велику кількість променистої енергії, яка сприяє швидкому нагріванню опромінених предметів, обуглювання чи займання горючих матеріалів, опіки живих тканин. Частка світлового випромінювання становить 30–40 % від загальної енергії атомного або термоядерного вибуху. У відкритому просторі світлове випромінювання має великий діапазон порівняно з ударною хвилею.

Під час наземних вибухів, світловий імпульс на поверхні Землі на тих же відстанях буде на 40 % меншим, ніж під час повітряних вибухах однакової потужності. Це пояснюється тим, що в горизонтальному напрямку випромінює не вся поверхня вогняної кулі, а тільки 50% кулі, хоч і більшого радіуса.

Якщо поверхня землі гарно відбиває світло, сумарний світловий імпульс (прямий і відбитий) під час повітряного вибуху може бути в 1,5–2 рази більш прямим. В атмосфері енергія випромінювання завжди ослаблена за рахунок розсіювання та поглинання світла частинками пилу, диму, краплями вологи (туман, дощ, сніг). Ступінь прозорості атмосфери зазвичай оцінюють за коефіцієнтом  $K$ , який визначає рівень послаблення світлового потоку. Вважається, що у промислових містах великої площі ступінь прозорості атмосфери можна визначати видимістю 10–20 км; у приміських районах – 30–40 км, а в сільській місцевості, де ступінь забруднення повітря не такий високий, видимість може досягати 60–80 км. Світлове випромінювання, яке потрапляє на об'єкт, частково поглинається та частково відбивається, а коли об'єкт пропускає випромінювання, то світлове випромінювання частково проходить через нього. Наприклад, скло пропускає більше 90 % енергії світлового випромінювання.

Нижня межа світлових імпульсів, що викликають опіки, – це сплески малої потужності, верхня – сплески великої потужності, тому що при більш сильному

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39



вибуху світлова енергія імпульсу виділяється відносно довший час, тобто повільніше, ніж вибух менша потужність. Під час тривалого впливу світлового випромінювання частина поглиненої світлової енергії встигає проникнути в глибокі тканини людського тіла. При цьому при короткому світловому імпульсі світлова енергія поглинається тільки верхніми шарами шкіри. Вражаюча дія світлового випромінювання визначається поглиненою частиною енергії світлового імпульсу, який, перетворюючись на тепло, нагріває опромінений об'єкт. Світлове випромінювання, яке вражає чутливих людей, викликає опіки на відкритих ділянках тіла і вражає очі [33].

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

## ВИСНОВКИ

1. Перший розділ зосереджується на екологічних аспектах виробництва та використання водню, з особливим фокусом на зелений водень. Починається з розгляду життєвого циклу обладнання, яке використовується для виробництва, транспортування, та зберігання водню, вказуючи на його значні екологічні наслідки. Особливу увагу приділено виробництву електролізерів, паливних елементів та іншого відповідного обладнання, яке вимагає великої кількості ресурсів та енергії, а також необхідності їх екологічно безпечної утилізації.

Окрім того, розділ підкреслює важливість масштабування виробництва зеленого водню як великого виклику, що вимагає значних інвестицій у відновлювані джерела енергії та розвиток інфраструктури. Наголошується, що таке масштабування повинно враховувати потенційний вплив на довкілля та вимагає інтегрованого підходу, який поєднує технологічні інновації, вдосконалення інфраструктури та ефективне регулювання.

Далі йде аналіз сучасних підходів до отримання зеленого водню, які включають електроліз води, фотоелектрохімічне розділення води, біологічне виробництво водню, використання енергії біомаси та переробку органічних відходів. Кожен з цих методів оцінюється за ступенем технологічної зрілості, економічної ефективності та екологічного впливу. Підкреслюється, що подальший розвиток та оптимізація цих технологій є ключовими для реалізації потенціалу зеленого водню як стійкого джерела енергії майбутнього.

У підсумку, розділ вказує на широкий спектр можливостей у галузі виробництва зеленого водню, від традиційних методів, таких як електроліз, до інноваційних біологічних та хімічних процесів, і вважає їх основою для переходу до більш сталого та екологічно чистого енергетичного майбутнього.

2. Другий розділ документу розглядає ключові аспекти та виклики, пов'язані з виробництвом зеленого водню, включаючи його потенціал,

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

технологічні аспекти, екологічні наслідки, економічну життєздатність та майбутні перспективи.

На поточному етапі виробництво зеленого водню є дорогавартісним і зосередженим переважно на дослідницьких та демонстраційних проектах, але очікується його розширення та розвиток, що має значний потенціал позитивно вплинути на екологічну стійкість, енергетичну безпеку та економічне зростання. Зокрема в Україні, використання вітрової енергії може стати важливим фактором у розвитку зеленого водню.

Технологія виробництва зеленого водню ґрунтується на використанні відновлювальних джерел енергії для електролізу води, який є ключовим елементом цього методу. Процес включає генерацію електроенергії з таких джерел як сонячні панелі або вітрові турбіни, що гарантує екологічну чистоту виробництва водню. Однак, ця технологія стикається з різними викликами, такими як висока вартість обладнання для електролізу, потреба у великих обсягах відновлювальної енергії та складнощі, пов'язані зі зберіганням та транспортуванням водню.

Життєвий цикл зеленого водню представляє собою екологічно стійкий шлях, що зорієнтований на мінімізацію вуглецевого сліду та використання відновлюваних джерел енергії. Від виробництва до використання та утилізації, зелений водень має мінімальні викиди парникових газів. Однак, існують додаткові виклики, такі як водоспоживання для електролізу і вплив на місцеве біорізноманіття. На етапі використання, зелений водень є надзвичайно чистим, але утилізація обладнання, що використовується для його виробництва та використання, також важлива для мінімізації екологічного впливу.

Економічна життєздатність зеленого водню залежить від технологічного розвитку та зниження вартості виробництва. Розвиток більш ефективних електролізерів, зниження вартості сонячних панелей та вітрових турбін, і інвестиції в дослідження можуть сприяти дешевшому та ефективнішому

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

виробництву зеленого водню. Ринковий потенціал зеленого водню великий, особливо у секторах, де необхідно знижувати викиди, як-то транспорт та промисловість. Політичні ініціативи, законодавчі стимули та міжнародне співробітництво можуть додатково сприяти розвитку цього ринку.

Таким чином, хоча розвиток зеленого водню стикається з викликами, він відкриває обнадійливі перспективи для сталого енергетичного майбутнього, враховуючи його потенціал у боротьбі зі зміною клімату та забезпеченні сталої енергетики. Розвиток технологій, збільшення масштабів виробництва та стратегічна підтримка можуть зробити зелений водень ключовим компонентом глобальної енергетичної системи майбутнього.

3. Третій розділ досліджує життєвий цикл зеленого водню, його потенціал, виклики, які супроводжують його виробництво, транспортування, зберігання та використання, а також перспективи розвитку та вплив на майбутні енергетичні системи.

Життєвий цикл зеленого водню включає електроліз води з використанням електроенергії з відновлюваних джерел, таких як сонячні та вітрові електростанції. Цей процес мінімізує викиди парникових газів, роблячи водень екологічно чистим. Однак існують виклики, такі як водоспоживання для електролізу, вплив на біорізноманіття та використання земельних ресурсів під вітрові парки та сонячні ферми.

Транспортування та зберігання водню також є складними задачами. Водень вимагає спеціалізованих умов для зберігання, таких як високотискові резервуари, і може викликати додаткові викиди парникових газів під час транспортування, якщо використовуються не відновлювані джерела енергії.

Використання зеленого водню є екологічно чистим, особливо в транспортній галузі та промисловості, де він може служити альтернативою вугільним паливам. Економічна життєздатність зеленого водню залежить від

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

технологічного прогресу, зниження вартості виробництва та розвитку інфраструктури.

Перспективи розвитку зеленого водню є обнадійливими, враховуючи зростаючий глобальний попит на екологічно чисті джерела енергії. Політичні ініціативи та законодавчі стимули відіграють ключову роль у його розвитку, причому уряди багатьох країн вже розробляють політики для підтримки виробництва та використання водню.

Водночас розвиток зеленого водню потребує значних інвестицій у виробництво та інфраструктуру, регуляторних рішень для зменшення невизначеностей у галузі та технологічних інновацій для підвищення ефективності виробництва та зниження вартості. Міжнародне співробітництво та обмін знаннями та технологіями також відіграють важливу роль у розвитку цієї галузі.

Загалом, майбутнє зеленого водню виглядає оптимістично, якщо врахувати його потенціал у боротьбі зі зміною клімату та забезпеченні сталого енергетичного майбутнього. Його успіх залежить від координації зусиль на всіх рівнях: від урядів до приватного сектору, а також від міжнародного співробітництва.

4. Четвертий розділ надає детальний огляд системи охорони праці та механізмів забезпечення безпеки на робочому місці в Україні. Законодавче регулювання в цій сфері встановлює вимоги до роботодавців щодо створення безпечних умов праці, включаючи належне обладнання, адекватну вентиляцію та освітленість, а також забезпечення контролю за станом техніки безпеки.

Основними складовими системи охорони праці є впровадження превентивних заходів для зниження ризику нещасних випадків, включаючи регулярні оцінки ризиків та встановлення захисного обладнання. Роль навчання працівників є вирішальною, оскільки вони повинні бути обізнані з нормами

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

безпеки та вмiти правильно реагувати у випадку надзвичайних ситуацiй, включаючи пожежi, хiмiчнi витокi, техногеннi аварiї та iншi потенцiйнi загрози.

Важливою є також роль держави у забезпеченнi дотримання цих норм, що включає iнспекцiї та контроль за дотриманням законодавчих вимог. Ефективне впровадження принципiв охорони працi та безпеки в Україні вимагає спiльних зусиль роботодавцiв, працiвникiв та державних органiв, що не тiльки сприяє створенню безпечного та здорового робочого середовища, але й є ключовим фактором у запобiганнi травматизму та забезпеченнi загального благополуччя працiвникiв.

Идентифiкацiя ризикiв та оцiнка небезпеки на робочому мiсцi є критично важливими процесами, якi мають на метi запобiгання нещасним випадкам, травмам та iншим небажаним подiям. Важливiсть чiткого плану евакуацiї та процедур реагування на надзвичайнi ситуацiї є високою, особливо для пiдприємств та органiзацiй, де працюють люди.

					<i>ТС 22510188</i>	<i>Арк</i>
<i>Випр</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Пiдпис</i>	<i>Дата</i>		45

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Водень та ВДЕ: світові практики застосування. URL: <https://avenston.com/articles/hydrogen/>
2. Ташеєв Ю. В., Войтко С. В., Трофименко О. О., Репкін О. О., Кудря Т. С. Глобальні тенденції розвитку водневих технологій у промисловості. Бізнес Інформ. 2020. №8. С. 103-114.
3. Удовиченко К.О., Гулевський В.Б. Заощадження коштів шляхом нагрівання води від сонця. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі : мат. II Міжнар. наук.-практ. інтернет-конференції (Мелітополь, 02-27 листопада 2020 р.) / ТДАТУ : ред. кол. В. М. Кюрчев, В. Т. Надикто, О. Г. Складар та ін. Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С. 679-681.
4. Українські розробники вже готові пропонувати водневі проекти інвесторам. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/ukrainski-rozrobnyku-vzhe-hotovi-proponuvaty-vodnevi-proekty-investoram>
5. Кудря С. О., Репкін О. О., Рубаненко О. О., Яценко Л. В., Шинкаренко Л. Я. Етапи розвитку зеленої водневої енергетики України. Відновлювана енергетика. 2022. С. 5-16. URL: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.1\(68\).5-16](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.1(68).5-16)
6. Кудря С., Яценко Л. В., Шинкаренко Л. Я., Ткаленко М. Д. Опріснення морської води для отримання зеленого водню. Відновлювана енергетика. 2021. С. 6-17. URL: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.4\(67\).6-17](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.4(67).6-17)
7. Сітуха О., Павлова О., Павлов К. Перспективи використання водню як енергетичного ресурсу. Галицький економічний вісник Тернопільського національного технічного університету. 2021. С. 23-29.
8. Слова президента енергетичної асоціації «Українська Воднева Рада». URL: <https://www.epravda.com.ua/projects/greendeal/2020/06/24/662145/>

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		46

9. Кириленко О. В., Праховник А. В. Енергетика сталого розвитку: виклики та шляхи побудови. Праці Інституту електродинаміки НАН України. Спеціальний випуск. 2010. С. 1–16.
10. Луценко, Дмитро Сергійович, and Олексій Борисович Іванов. Використання водню в енергетиці. 2023.
11. Лежнюк П. Д., Ковальчук О. А., Комар В. О. Підвищення якості функціонування локальних електричних систем за рахунок відновлювальних джерел енергії. XII міжнарод. наук.-практ. конф.: 2011 рік: матеріали конференції. Крим, 2011. С. 52–55.
12. Звіт МЕА «Майбутнє водню». URL: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
13. Павлов К. В. Паливно-енергетичні ресурси та проблеми енергозбереження в регіоні. Журнал Національного університету водного господарства та природокористування. Сер.: Природокористування та ресурсозбереження. 2005. Вип. 11. № 4. С. 106–114.
14. Купчак В. Р., Павлова О. М., Павлов К. В., Лагодієнко В. В. Формування та регулювання регіональних енергетичних систем: теорія, методологія та практика. Луцьк: Волиньполіграф, 2019. 347 с.
15. Інформація про водень: веб-сайт. URL: <https://hmarochos.kiev.ua/2021/03/25/zelenyj-voden-yakymbude-zastosuvannya-novogo-chystogo-palyva/>
16. Саїк П. Б., & Янкін Д. В. Аналіз технологій отримання водню та перспективи розвитку в Україні. 2023.
17. Rosen M. A., Koohi-Fayegh S. The prospects for hydrogen as an energy carrier: an overview of hydrogen energy and hydrogen energy systems. Energy, Ecology and Environment. 2016. С. 10-29. URL: <https://doi.org/10.1007/s40974-016-0005-z>

					<i>TC 22510188</i>	<i>Арк</i>
<i>Випр</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>47</i>



18. Makaryan, I. A., Sedov, I. V., Salgansky, E. A., Arutyunov, A. V., & Arutyunov, V. S. A Comprehensive Review on the Prospects of Using Hydrogen–Methane Blends: Challenges and Opportunities. *Energies*. 2022. С. 2265. URL: <https://doi.org/10.3390/en15062265>
19. Hydrogen-powered cars. *AccessScience*. URL: <https://doi.org/10.1036/1097-8542.yb100255>
20. Crivello J. C., Denys R. V., Dornheim M., Felderhoff M., Grant D. M., Huot J., & Yartys V. Mg-based compounds for hydrogen and energy storage. *Applied Physics A*. 2016. С. 1-17. URL: <https://doi.org/10.1007/s00339-016-9601-1>
21. Hamilton, C. W., Baker, R. T., Staubitz, A., & Manners, I. B–N compounds for chemical hydrogen storage. *Chemical Society Reviews*. 2009. С. 279-293. URL: <https://doi.org/10.1039/B800312M>
22. Chai S., Zhang G., Li G., Zhang Y. Industrial hydrogen production technology and development status in China: a review. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2021. P. 1931-1946. URL: <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02089-w>
23. Шрайбер О. А., Дубровський В. В., Тесленко О. І. Сучасний стан і перспективи розвитку водневої енергетики у світі. *Вчені записки ТНУ імені ВІ Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2021. С. 5.
24. Горват М. Основні проблеми водневої енергетики. *Матеріали VI Міжнародної студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання*. 2023. С. 93-93.
25. Бондаренко В. І., Ковалевська І. А., Малашкевич Д. С., Сушкова В. В. Сучасний стан і перспективи розвитку водневої енергетики. 2022.
26. Мірошниченко В., Тьорло В. Проблеми використання водню в зеленій енергетиці України. 2021.
27. Уланов М. М. Економічна доцільність великомасштабного виробництва екологічно-чистого водню в Україні. *Відновлювана енергетика та*

					<i>TC 22510188</i>	<i>Арк</i>
<i>Випр</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>48</i>

енергоефективність у XXI столітті: матеріали XXIII міжнародної науково-практичної конференції. 2022.

- 28.Ташесв Ю. В., Войтко С. В., Трофименко О. О., Рєпкін О. О., Кудря Т. С. Глобальні тенденції розвитку водневих технологій у промисловості. Бизнес Информ. 2020. С. 103-114.
- 29.Кравцов М. М., Шведчикова А. О. Курс «Охорона праці» і «Безпека життєдіяльності»–шлях освіти і забезпечення безпеки населення України. Метрологічні аспекти прийняття рішень в умовах роботи на техногенно небезпечних об'єктах. С. 92.
- 30.Камінецька А. Р. Охорона праці та безпека життєдіяльності. 2021.
- 31.Интернет джерело за посиланням <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0433-18#Text>
32. Управління Держпраці ( <https://kr.dsp.gov.ua/> )
33. НПАОП 0.00-1.41-88. Загальні правила вибухобезпеки для вибухопожежонебезпечних хімічних, нафтохімічних і нафтопереробних виробництв.

					ТС 22510188	Арк
Випр	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49