

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий інститут природокористування  
Кафедра екології та технологій захисту навколишнього середовища

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
кваліфікаційної роботи ступеня магістра

студента Ор'єва Богдана Денисовича

академічної групи 101М-24-1

спеціальності – 101 «Екологія»

за освітньо-професійною програмою – Екологія

на тему Дослідження екологічної ефективності використання зеленого водню у промисловому секторі України

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
кваліфікаційної роботи	Кулікова Д.В.		
<b>розділів:</b>			
Теоретичний	Кулікова Д.В.		
Дослідницький	Кулікова Д.В.		
Технологічний	Кулікова Д.В.		
Охорона праці	Столбченко О. В.		
Економічний	Павличенко А.В.		

Рецензент			
-----------	--	--	--

Нормоконтролер	Ґрунтова В.Ю.		
----------------	---------------	--	--

Дніпро  
2025

Міністерство освіти і науки України Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

ЗАТВЕРДЖЕНО: завідувачка кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища \_\_\_\_\_

Борисовська О.О.

(підпис) (прізвище, ініціали)

«\_\_» \_\_\_\_\_

20\_\_ року

### ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

студенту Ор'єву Б.Д. академічної групи 101М-24-1

спеціальності – 101 «Екологія»

за освітньо-професійною програмою – Екологія

на тему Дослідження екологічної ефективності використання зеленого водню у промисловому секторі України,

затверджену наказом ректора НТУ «ДП» від 30.11.2025 р. №987-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Теоретичний	Проаналізувати екологічні проблеми промислового сектору, пов'язані з використанням традиційних енергоносіїв; дослідити сучасний стан та світові тенденції розвитку водневої енергетики; оцінити екологічні переваги зеленого водню порівняно з традиційними енергоносіями; проаналізувати основні технології виробництва зеленого водню та їх особливості; оцінити стан і перспективи розвитку водневої енергетики в Україні	08.09.2025- 28.09.2025
Дослідницький	Дослідити наявні та перспективні ресурси для виробництва зеленого водню в Україні, а також ідентифікувати й оцінити екологічні ризики, пов'язані з його отриманням	29.09.2025- 19.10.2025
Технологічний	Обґрунтувати вибір та проаналізувати технологічні рішення щодо інтеграції водневих технологій у виробничу систему хімічного підприємства	20.10.2025- 09.11.2025
Охорона праці	Визначити небезпечні та шкідливі фактори при роботі з воднем; проаналізувати заходи з охорони праці та безпеки при виробництві зеленого водню	10.11.2025- 23.11.2025
Економічний	Виконати економічні розрахунки ефективності заміни природного газу зеленим воднем у виробництві аміаку	24.11.2025- 07.12.2025

Завдання видано \_\_\_\_\_

(підпис керівника)

(прізвище, ініціали)

Дата видачі 8.09.2025

Дата подання до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_

(підпис студента)

(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 94 с., 1 рис., 21 табл., 52 літературних джерел, 5 додатків.

У кваліфікаційній роботі обґрунтовано актуальність використання зеленого водню як інструменту декарбонізації промислового сектору України. Визначено об'єкт, предмет, мету та завдання дослідження, спрямованого на оцінку екологічної ефективності впровадження водневих технологій у промисловості.

У теоретичному розділі проаналізовано екологічні проблеми, пов'язані з використанням традиційних енергоносіїв, розглянуто сучасний стан і світові тенденції розвитку водневої енергетики. Наведено класифікацію водню за методом виробництва та виконано порівняльний аналіз зеленого водню і традиційних видів палива за показниками вуглецевого сліду, водоспоживання та землекористування. Розглянуто основні технології виробництва зеленого водню та їх техніко-економічні характеристики.

У дослідницькому розділі здійснено оцінку потенціалу відновлюваних джерел енергії України для виробництва зеленого водню та обґрунтовано доцільність формування регіональних водневих хабів. Визначено основні екологічні ризики та обмеження впровадження водневих технологій.

У технологічному розділі обґрунтовано вибір рішень щодо інтеграції зеленого водню у виробничі процеси промислових підприємств. У розділі «Охорона праці» проаналізовано небезпечні та шкідливі фактори при роботі з воднем і запропоновано заходи щодо забезпечення безпечних умов праці. В економічному розділі виконано розрахунок економічної ефективності заміни природного газу зеленим воднем у виробництві аміаку.

У висновках наведені основні результати кваліфікаційної роботи. Ключові слова: ЗЕЛЕНИЙ ВОДЕНЬ, ЕЛЕКТРОЛІЗ, ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, ДЕКАРБОНІЗАЦІЯ, ВОДНЕВІ ТЕХНОЛОГІЇ.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ.....	11
1.1. Екологічні проблеми промислового сектору, спричинені використанням традиційних енергоносіїв.....	11
1.1.1 Аналіз основних джерел забруднення.....	11
1.1.2 Основні екологічні наслідки використання викопного палива .....	12
1.2 Сучасний стан та світові тенденції розвитку водневої енергетики .....	14
1.2.1 Сутність та класифікація водню за методом виробництва (чорний, жовтий, сірий, блакитний, зелений).....	14
1.2.2 Роль водню у Стратегіях Європейського зеленого курсу та енергетичної безпеки (на прикладі ЄС).....	19
1.3 Екологічні переваги зеленого водню порівняно з традиційними енергоносіями.....	20
1.4 Технології виробництва зеленого водню.....	24
1.4.1 Огляд методів електролізу.....	24
1.4.2 Основні характеристики та ефективність сучасних електролізерів .....	27
1.5 Стан і перспективи розвитку водневої енергетики в Україні .....	30
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ РЕСУРСНОЇ БАЗИ ТА ФОРМУВАННЯ КОНЦЕПЦІЇ РЕГІОНАЛЬНИХ ВОДНЕВИХ ХАБІВ.....	33
2.1 Оцінка потенціалу відновлюваних джерел енергії для виробництва зеленого водню.....	33
2.1.1 Аналіз потенціалу сонячної енергетики.....	33
2.1.2 Аналіз потенціалу вітрової енергетики.....	37
2.1.3 Обґрунтування застосування гібридної системи виробництва енергії.....	38
2.2 Дослідження водної складової виробництва зеленого водню .....	40
2.2.1 Джерела водопостачання для виробництва зеленого водню .....	40
2.2.2 Вимоги до якості води при виробництві зеленого водню.....	42

2.2.3 Аналіз придатності областей України в якості водневих хабів враховуючи водну складову .....	5 43
2.3 Проксі-аналіз придатності областей України в якості водневих хабів .....	45
2.4 Аналіз екологічних ризиків при виборі та експлуатації електролізерних технологій.....	47
2.4.1 Порівняння хімічних реагентів, що використовуються в різних типах електролізерів (PEM, AEL, SOEC).....	48
2.4.2 Екологічна утилізація відпрацьованих компонентів та каталізаторів .....	50
2.5 Аналіз екологічних ризиків транспортування та зберігання водню в Україні.....	53
2.5.1 Потенційний витік водню та його вплив на атмосферу (непрямий парниковий ефект).....	53
2.5.2 Вимоги до екологічної безпеки підземних сховищ водню (ПСТ) .....	54
РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ВОДНЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ХІМІЧНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ.....	55
3.1. Аналіз передумов та характеристика об'єкта дослідження для впровадження водневих технологій у хімічній промисловості.....	55
3.1.1 Обґрунтування вибору хімічної промисловості як пріоритетної галузі для водневої трансформації.....	55
3.1.2 Стисла характеристика цільового підприємства для пілотного проекту декарбонізації.....	56
3.1.3 Опис традиційної технології виробництва аміачної селітри.....	57
3.1.4 Аналіз поточного споживання природного газу та рівня викидів CO <sub>2</sub> на об'єкті.....	58
3.2 Обґрунтування способу використання зеленого водню на підприємстві ....	59
3.3 Використання побічних продуктів електролізу у виробничому циклі .....	63
3.3.1 Екологічне значення утилізації кисню.....	64
3.3.2 Основні напрями використання кисню.....	64
3.3.3 Екологічна та економічна ефективність використання побічного кисню.....	65

3.4 Рекуперация та повторне використання тепла, що виділяється при електролізі.....	67
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	70
4.1 Небезпечні та шкідливі фактори при роботі з воднем.....	70
4.2 Технічні заходи безпеки.....	72
4.3 Організаційні заходи та підготовка персоналу.....	74
4.4 Засоби індивідуального захисту.....	75
РОЗДІЛ 5 ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАМІНИ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ЗЕЛЕНИМ ВОДНЕМ У ВИРОБНИЦТВІ АМІАКУ.....	78
5.1 Розрахунок капітальних витрат на будівництво електролізної станції (CAPEX).....	78
5.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат (OPEX).....	79
5.3 Розрахунок показників економічної ефективності.....	80
5.3.1 Розрахунок чистого прибутку від впровадження (NP).....	80
5.3.2 Розрахунок чистого приведенного доходу (NPV).....	80
5.3.3. Розрахунок індексу рентабельності (PI).....	80
5.3.4 Розрахунок строку окупності інвестицій (РВР).....	81
5.4 Розрахунок економічної шкоди від забруднення атмосферного повітря, якої вдалося уникнути (викиди CO <sub>2</sub> ).....	81
5.4.1 Розрахунок уникненого обсягу CO <sub>2</sub> (Quникн).....	81
5.4.2 Монетизація уникненої шкоди (Екологічна Вигода).....	81
5.4.3 Інтеграція Екологічної Вигоди у Фінансовий Аналіз.....	81
ВИСНОВКИ.....	83
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	86
ДОДАТКИ.....	91