

# РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

*Ніжник Наталії Андріївни*

на тему: «Зниження утворення оксидів азоту при спалюванні метану з додаванням водневих розчинів»,  
представлену на здобуття ступеня доктора філософії  
в галузі знань 14 – Електрична інженерія  
за спеціальністю 144 – Теплоенергетика

## **Актуальність теми дисертації.**

Реалізація стратегічного напрямку європейської ініціативи «Green Deal», безвуглецевого ринку та «зеленого водню» стимулює швидкий розвиток водневої енергетики у всьому світі, передбачає широке використання водню в першу чергу в якості інструменту проміжного накопичування на енергетичному ринку, і має на меті зменшення викидів вуглекислого газу енергетикою, промисловими об'єктами, транспортом.

Разом з цим існує ряд невирішених технічних задач, які пов'язані з процесом спалювання водню. Проблематика використання водню в енергетичних цілях у діючих спалювальних установках комунальної теплоенергетики пов'язана з відмінними характеристиками його як палива, наприклад від природного газу, зокрема з необхідністю створення належних режимів його спалювання і необхідністю зміни конструктивних елементів, таких як пальники та топкові камери тощо.

Дисертаційне дослідження присвячене теоретичному й експериментальному дослідженню теплоенергетичних та екологічних характеристик процесу спалювання метано-водневих сумішей, а також розробленню способу спалювання таких сумішей з дотриманням нормативних вимог щодо утворення оксидів азоту, в тому числі на існуючому обладнанні.

**Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- вперше показано, що при температурах понад 800 °C ще присутній вагомий вплив кінетичного механізму утворення монооксиду азоту ( $\text{NO}_{\text{prot}}$ ). Експериментально показано, що у різних перерізах фронту цей вплив різний за характером.

- вперше проведено дослідження утворення у полум'ї окремо  $\text{NO}$  і  $\text{NO}_2$  показало, що відбувається процес переходу  $\text{NO}$  в  $\text{NO}_2$  у фронті полум'я шляхом доокиснення.

- вперше показано, що інтенсивність доокислення  $\text{NO}$  в  $\text{NO}_2$  має свій екстремум, який залежить від концентрації водню у додатковому об'ємі рідини, що вводиться.

- вперше показано що збільшення концентрації розчину  $H_2O_2$  від нуля до 30% призводило до збільшення рівня температур в тому числі за рахунок догорання  $CO$ , а також до збільшення сумарного утворення оксидів азоту на 35-45%.

- вперше запропоновано коефіцієнт, який характеризує зміну теплотворної здатності одиниці об'єму метано-водневого палива в порівнянні з метаном, що залежить від об'ємної частки вмісту водню у паливній суміші.

- вперше процес горіння розглядався в цій роботі як трикомпонентна реакція, що окрім палива та окисника, включає водяну пару, яка наявна у вигляді вологи в атмосферному повітрі.

Достовірність результатів експериментальних досліджень підтверджуються узгодженістю їх з результатами аналітичних досліджень. Точність отриманих даних підтверджується розрахунком похибок експериментальних досліджень.

Результати проведених експериментальних та розрахункових досліджень використано при розробленні нових схем теплопостачання міст Києва та Одеси на перспективу до 2030 року, («СТ-1» в м. Києві та на РК «Південна-1» у м. Одесі). Застосування заходів, запропонованих в роботі, а саме способу використання водню, отриманого від електролізу з використанням «зеленої» електроенергії, для формування синтетичної метано-водневої паливної суміші з подальшим її спалюванням, дозволить зробити ці потужні теплоджерела вуглецево нейтральними.

За результатами роботи оформлено та подано заявку на патент на винахід, що стосується способу утилізації надлишкової електричної енергії із застосуванням водневих технологій шляхом використання її для отримання водню, з подальшим утворенням синтетичного метану та спалюванням його в існуючих котлах.

Наукові дослідження були виконані здобувачкою у лабораторії ТФПК відділу ТПСТ ІТТФ НАН України в рамках наукових досліджень наступних тем та договорів: НДР 1.7.1.873 «Розроблення методів і обладнання для підвищення енергоекологічних характеристик котлоагрегатів комунальної енергетики потужністю 3,15 - 30 МВт відповідно до вимог Директив ЄС» (№ДР 0115U002605); КПКВК 6451230 «Підвищення ефективності спалювання штучних палив з твердих побутових відходів і біомаси в когенераційних установках шляхом використання водню, кисню, синтетичного та біометану для забезпечення енергетичної безпеки України»; Господарчий Договір № 495 від 01.12.2019 р. на надання послуг з розроблення «Схеми теплопостачання м. Києва на період до 2030 року; Господарчий Договір №496 від 01.07.2020 р. на надання послуг з «Розроблення та затвердження у встановленому законодавством порядку схеми теплопостачання м. Одеси».

Поставлене завдання в дисертаційній роботі по дослідженню процесів горіння метано-водневих сумішей та утворення монооксиду та діоксиду азоту, що відбуваються в технологічних процесах, наближених до умов «Водневого ХАБу виконано повністю.

**Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувачки Ніжник Н.А. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 144–Теплоенергетика та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми ІТТФ НАН України зі спеціальності 144 Теплоенергетика.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям збереження природних ресурсів та навколишнього середовища.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Ніжник Наталії Андріївни є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

**Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота написана українською мовою. Матеріали дисертації розміщено послідовно з використанням загальноприйнятої термінології.

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку. Загальний обсяг дисертації 181 сторінок.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми досліджень, сформульовано мету та завдання дослідження, наведено дані про зв'язок роботи з науковими програмами, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Надано дані про особистий внесок здобувачки та перелік публікацій.

У першому розділі проведено огляд літературних даних за тематикою досліджень. Зокрема визначена потреба балансування «зеленої» електроенергії в паливно-енергетичному комплексі України зумовлює потребу розроблення нових методів балансування, зокрема на вже існуючому обладнанні, одним з напрямків якого може бути використання водневої технології. Наявність та поширення доступних таких методів дозволить адаптувати енергетичну систему України до європейських енергетичних та екологічних стандартів, та вирішити локальні задачі підвищення енергоефективності та зниження карбонового сліду. Зважаючи на це, актуальними слід вважати дослідження, спрямовані на вдосконалення і розвиток способів використання водню та

водневих сумішей у спалювальних установках, і в першу чергу в діючих опалювальних котлах. Здобувачкою, запропонований спосіб використання водню шляхом перетворення його на синтетичний метан в межах створення «Водневого ХАБу», проаналізовані недоліки такого способу, що пов'язані з наявністю інших компонентів (окрім синтетичного метану), з яких концентрація водню (у водному розчині) може становити близько 10-11%. Тому вивчення закономірностей утворення оксидів азоту при спалюванні метану з добавками водню близько 10...11% потребує цілеспрямованих досліджень

У другому розділі представлені описані процеси та параметри, які впливають на утворення оксидів азоту при сумісному спалюванні метану з додаванням водневих розчинів, проаналізований вплив вологи на утворення токсичних речовин при горінні палив. Процес горіння – розглянутий здобувачкою як трикомпонентна реакція, що окрім палива та окисника, включає водяну пару, яка наявна у вигляді вологи в атмосферному повітрі.

У третьому розділі представлені опис експериментального стенду для можливості проведення дослідження утворення монооксиду та діоксиду азоту у фронті ламінарного газового полум'я метану з можливістю додавання крапельної вологи. Описані методика визначення впливу крапельної вологи на процес горіння та утворення оксидів азоту.

У четвертому розділі представлені результати дослідження впливу введення крапельної вологи на процес горіння і утворення оксидів азоту, зокрема впливу введення водневих розчинів у вигляді крапель води і перекису водню різної концентрації до фронту ламінарного полум'я метану. Експериментально доведено обмеженість впливу термодинамічної складової на зниження утворення оксидів азоту, що є підтвердженням температурної сходинки Франк-Каменецького. Визначено, що інтенсивність доокислення NO в NO<sub>2</sub> по фронту полум'я має свій екстремум і залежить від концентрації та хімічного складу реагентів та баласту, що вводиться.

У п'ятому розділі роботи на основі проведеного дослідження розроблено рекомендації щодо впровадження водневих технологій в системах централізованого теплопостачання. Зокрема наведені приклади впровадження щодо використання водневих технологій при розробленні схем теплопостачання м. Києва та м. Одеси.

У висновках, що узагальнюють матеріали дисертації та складаються з 7 пунктів приведені наукові та практичні результати дисертаційного дослідження.

Перелік використаної літератури складається з 113 найменувань, причому кількість цитувань літератури, що вийшла за останні 10 років складає не менше 82% від загального списку, що є гарним показником.

**Додатки** включають два акти використання результатів дисертаційної роботи на потужних існуючих теплоджерелах в рамках рекомендацій щодо розроблення СЦТ міст, зокрема ТД «СТ-1» м. Києва та РК «Південна-1» м. Одеса; характеристики вимірювальних приладів; заявку патенту на винахід; експериментальні заміри концентрації оксидів азоту.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.**

Наукові результати дисертації висвітлені у 29 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 3 статті представлені у виданнях, які включено до міжнародних наукометричних баз даних *SCOPUS* та *WoS*; 2 статті у наукових спеціалізованих виданнях України, перелік яких затверджено МОН України; 1 стаття в колективній монографії закордонного видання, 1 стаття у наукових виданнях України, 1 заявка патенту України на винахід.

Також результати дисертації були апробовані на 6 наукових фахових конференціях.

Усі публікації розкривають наукові здобутки отримані під час роботи над дисертацією та мають вагомий особистий внесок. Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувачки.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. У першому розділі наведена звітна інформація станом на 2021 рік і більш ранні періоди, зокрема на ст. 46 за період 2019-2020рр (щодо інвестицій розроблення і впровадження водневих проектів), ст. 59 за 2021 р. (щодо кількості спеціалізованих водневих трубопроводів). Більш актуально було б надати ці дані за 2022-2023 рр.

2. З розділу 3 не зрозуміло чи експериментальна установка є розробкою здобувачки чи була розроблена раніше в колективі в якому робилась дисертація, в другому варіанті все що не підлягає власним розробкам необхідно розділ 1 та розділ 2.

3. На сторінці вказано, що дослідження проводились при коефіцієнту надлишку повітря  $\alpha$  від 1,03 до 1,8, при ширині фронту полум'я 2,5 мм. Проте, не пояснено, для чого здійснювалась зміна  $\alpha$  і які результати при цьому отримані?

4. У розділі 4.1 при дослідженні впливу крапельної вологи на процес горіння і утворення оксидів азоту експериментально показано, що термодинамічна складова має обмежений вплив на зниження утворення оксидів азоту і підтверджує температурну сходинку Франк-Каменецького ( $\ln e \approx 2,7$ ), проте в розділі 1 і 2 немає детального теоретичного опису цього.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок про дисертаційну роботу.**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувачки ступеня доктора філософії Ніжник Наталії Андріївни на тему: «Зниження утворення оксидів азоту при спалюванні метану з додаванням водневих розчинів» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для теплоенергетичної галузі. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 - 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувачка Ніжник Наталія Андріївна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 – Електрична інженерія за спеціальністю 144 – Теплоенергетика.

### **Рецензент:**

Пров. наук. співр. ІТТФ НАН України,  
к.т.н., с.н.с.



Сергій АЛЬОШКО

