

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу
Рябцуна Руслана Сергійовича

на тему «Енерготехнологічні особливості використання водневих технологій в технологічних установках»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 14 Електрична інженерія

за спеціальністю 142 Енерго машинобудування

Актуальність теми дисертації.

Відомо, що традиційна енергетика є галуззю, що в першу чергу споживає викопні види палива: вугілля, природній газ, продукти переробки вуглеводнів (мазут). За 150 років існування сучасної теплової енергетики значно підсилюється парниковий ефект, що призвело до кліматичної кризи. На сьогоднішній день проблема зменшення використання викопних вуглеводнів, зокрема природного газу визнана в більшості країн світу як проблема національної безпеки. Для її вирішення втілюють різноманітні заходи, які пов'язані з ефективним використанням альтернативних видів палив та підвищенням енергоефективності об'єктів теплової енергетики.

Для вирішення згаданої проблеми все більше використовуються водневі технології. Відомо, що водень вже достатньо широко використовують як автомобільне паливо. Використання водню у двигунах внутрішнього згорання дає можливість покращити якість згорання палива та покращити їх екологічні показники. Це в свою чергу спонукало до використання водню в енергетиці і комунально-побутовому секторі при заміщенні природного газу шляхом домішування водню в газові мережі

Тема дисертаційної роботи Рябцуна Р.С. є актуальною, у ході дослідження були визначені енергетичні та екологічні параметри процесів згорання газоподібного палива за умов часткової заміни природного газу воднем. Отримані результати можуть слугувати як теоретичною основою, так і практичним орієнтиром для подальшого впровадження водню в енергетичній галузі і промисловості.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Вперше в Україні проведено експериментальні дослідження в лабораторних умовах підтвердили можливість забезпечення процесу нормального спалювання сумішевого газу із вмістом водню до $[CH_4] / [H_2] = 50 / 50$, % об.; з використанням існуючих промислових пальників.

2. Вперше досліджені характеристики факелу при спалюванні метано-водневих сумішей в порівнянні з випадком спалювання природного газу. Визначені температури продуктів згоряння на осі та периферії її факелу. Показано збільшення температури факелу ~ 100 °C для метановодневих сумішей в порівнянні з випадком спалювання природного газу.

3. На основі аналізу результатів експериментів визначено, що при спалюванні метано-водневої суміші зменшуються викиди CO та збільшуються температури викидних газів і емісія NOx.

4. Встановлено, що емісія оксидів азоту NOx зростає в $\sim 1,5 \dots 2,0$ рази та складає $[NOx] = 89 - 50$ ppm для спалювання чистого водню. В той же час відмічається суттєве зниження утворення CO, ~ 20 разів при спалюванні суміші $[CH_4] / [H_2] = 50 / 50$, % об., рівень утворення CO складає $[CO] = 1 - 2$ ppm.

5. Вивчено характеристики та структуру факелу при спалюванні метановодневих сумішей, показано, що температура на осі факелу більша ніж на периферії на ~ 100 C для суміші $[CH_4] / [H_2] = 50 / 50$, % об. У порівнянні з природним газом.

6. Вперше проведено комп'ютерне CFD моделювання спалювання метано-водневих сумішей в паровому котлі (на прикладі парового котла ДКВР-10 / 13.

7. Показана адекватність вирифікованих розрахункових моделей до результатів власних експериментальних досліджень щодо емісійних та вогнетехнічних характеристик роботи паливовикористовуючого обладнання.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі атомної енергетики НН ІАТЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського під керівництвом к.т.н. доц. Воробйова М.В.

В дисертаційній роботі поставлені та вирішені наступні наукові завдання:

- визначення вогнетехнічних та екологічних властивостей газових палив, складених із сумішей метану та водню, а саме швидкостей горіння, зміни адіабатичної температури горіння сумішей при збільшенні долі водню у паливі, оцінці утворення оксидів азоту, та викидів CO₂;

- підготовка вимірювальної установки для проведення експериментальних досліджень;
- визначення енергоекологічних характеристик спалювання метано-водневих сумішей в промисловому газовому пальнику з визначенням емісії NO_x, CO та температурних характеристик факелу з порівнянням з випадком спалювання чистого природного газу (метану);
- визначення середніх характеристик теплообміну в топковій камері згаданого котельного агрегату за допомогою пакету програм CFD-моделювання ANSYS-Fluent.
- за допомогою пакету програм CFD-моделювання ANSYS-Fluent визначенно вплив процентного вмісту водню в паливній суміші з метаном на утворення оксидів азоту (NO_x), при використанні в штатних осьових пальниках водогрійного котла типу ДКВР-10-13.
- наукове дослідження виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Рябцуна Руслана Сергійовича повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 142 Енергетичне машинобудування та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Енергетичне машинобудування.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям _фізика процесів горіння і підвищення енергоекологічної ефективності енерготехнологічних об'єктів і систем.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Рябцуна Руслана Сергійовича 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.

Матеріали дисертаційної роботи викладено послідовно та логічно, із дотриманням загальноприйнятої наукової термінології. У тексті трапляються незначні граматичні неточності, які не впливають на загальне сприйняття змісту.

Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 113 сторінок.

У вступі було обґрунтовано актуальність дослідження, чітко визначено його мету та сформульовано основні завдання. Визначено об'єкт і предмет наукового аналізу. Розкрито наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, а також висвітлено особистий внесок здобувача. Представлено ключові висновки роботи. Подано інформацію про апробацію результатів дослідження та можливі напрями їх практичного використання. Крім того, наведено узагальнену інформацію про обсяг і структуру дисертаційної роботи.

У першому розділі було здійснено огляд наукових джерел, присвячених використанню палив із вмістом водню в промислових і побутових умовах. Проаналізовано особливості виробництва водню, а також окреслено потенціал розвитку водневої енергетики. Розглянуто наукові праці, в яких висвітлено масштаби споживання природного газу та перспективи виробництва зеленого водню. Особливу увагу приділено екологічним аспектам заміщення природного газу водневими паливними сумішами. Завершується розділ чітким формулюванням мети та основних завдань дослідження.

У другому розділі виконано теоретичні та аналітичні дослідження вогнетехнічних і екологічних показників газових палив, сформованих на основі метано-водневих сумішей. Розглянуто зміну швидкості горіння та адіабатичної температури згоряння при зростанні частки водню в паливі, а також проведено оцінку утворення оксидів азоту та викидів CO_2 .

Впровадження водню як компонента для заміни природного газу, незважаючи на позитивний ефект з точки зору зменшення викидів вуглекислого газу, спричиняє зміни у вогнетехнічних і екологічних характеристиках паливно-окислювальних сумішей. Зокрема, це проявляється у збільшенні витрат пального через нижчу теплоту згоряння водню, а також у зростанні концентрації NO_x , що зумовлено вищими температурами згоряння.

У третьому розділі проведено експериментальні дослідження горіння метано-водневих сумішей у промисловому газовому пальнику SUEMAX з максимальною потужністю до 30 кВт. Випробувано режими з воднем у складі палива на рівні 30 % та 50 % об'ємної частки, а також режим повного заміщення природного газу воднем ($[\text{H}_2] = 100\%$ об.). Метою експерименту було оцінити енергоекологічні характеристики процесу згоряння, зокрема визначити рівні емісії NO_x і CO , температурні властивості полум'я, та порівняти ці параметри з результатами спалювання чистого метану.

Результати експериментів продемонстрували, що додавання водню до паливної суміші сприяє зниженню викидів оксиду вуглецю, водночас підвищуючи температуру димових газів та спричиняючи зростання емісії оксидів азоту. Зокрема, при використанні чистого водню рівень NO_x зріс у 1,5–2 рази, досягаючи 50–89 ppm. При цьому емісія CO при співвідношенні $[\text{CH}_4]/[\text{H}_2] = 50/50$ об.% зменшилась приблизно у 20 разів — до 1–2 ppm.

Також встановлено вплив конструктивних особливостей пальника: довжина факела у SUEMAX в досліджуваних режимах виявилася на 20 % меншою порівняно з пальником типу СНС, що свідчить про ефективність конструкції стабілізатора полум'я.

У чвертому розділі було досліджено вплив частки водню в метано-водневій суміші на рівень утворення оксидів азоту (NO_x) під час згоряння в стандартних осьових пальниках водогрійного котла типу ДКВР-10-13. Окрім цього, у роботі передбачалося визначення усереднених параметрів теплообміну в топковій камері згаданого котельного агрегату з використанням засобів CFD-моделювання на базі програмного комплексу ANSYS Fluent. Після попередньої верифікації моделі на основі експериментальних даних, взятих з опублікованих джерел, стало можливим дослідити розширений спектр режимних параметрів, що впливають на ефективність функціонування котельної установки.

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 4 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 4 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України;

Також результати дисертації були апробовані на 4 наукових фахових конференціях.

Усі наукові публікації здобувача відзначаються високим рівнем наукової якості, пройшли рецензування та перевірку на плагіат відповідно до вимог видавництва. Особистий внесок автора у співавторських роботах є суттєвим і підтверджується безпосередньою участю у виконанні досліджень, викладених у відповідних публікаціях.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. У першому розділі розглянуто потенційний обсяг виробництва «зеленого» водню в Україні, однак доцільно було б доповнити аналіз більш актуальними статистичними даними, зважаючи на швидкий розвиток цієї сфери та зростання інтересу до водневої енергетики у світі та в Україні. Крім того, варто було б ширше висвітлити сам процес виробництва водню, зокрема технологічні підходи, джерела енергії для електролізу, екологічні аспекти, а також перспективи розвитку інфраструктури для зберігання та транспортування водню. Це дозволило б надати читачеві більш повне уявлення про стан і потенціал водневої енергетики в Україні.

2. У розділі, присвяченому огляду літератури, звертається увага на те, що виробництво водню супроводжується значними додатковими витратами. Водночас у роботі не розкрито можливі шляхи подолання цієї проблеми — як технічного, так і економічного характеру. Доцільно було б доповнити аналіз прикладами сучасних технологічних рішень, механізмів фінансової підтримки або міжнародного досвіду, які дозволяють зменшити вартість виробництва водню та зробити його більш конкурентоспроможним. Такий підхід сприяв би глибшому розумінню викликів і перспектив розвитку водневої енергетики.

3. У другому розділі роботи всі розрахунки спалювання метано-водневих сумішей представлені для стехіометричного режиму горіння, в той же час в газових котлах звичайно прийнято використовувати коефіцієнт надлишку повітря на рівні $\alpha = 1,05$, тому доцільно вказати як така зміна умов горіння вплине на параметри які розглядаються при спалюванні метано-водневих сумішей.

4. В роботі розглядаються суміші спалювання природного газу та водню при однакових коефіцієнтах надлишка повітря, але не враховується різна реакційність палив.

5. При CFD моделюванні в четвертому розділі автор не наводить граничних умов теплообміну в топці котла та умов спалювання газу.

6. В роботі розглядається утворення оксидів азоту та монооксиду вуглецю при різних умовах спалювання (коефіцієнта надлишку повітря), але для адекватного порівняння результатів такі значення слід приводити в мг/МДж або перераховувати на стандартний вміст кисню в продуктах згорання-3% .

7. В роботі присутні орфографічні помилки та неточності.

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 здобувача ступеня доктора філософії Рябцуна Руслана Сергійовича на тему «Енерготехнологічні особливості використання водневих технологій в технологічних установках» 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 галузі знань - 14 електрична інженерія. 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.

Здобувач Рябцун Руслан Сергійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 142 Енерго машинобудування.

Рецензент:

доцент кафедри атомної енергетики
КПІ ім. Ігоря Сікорського,
кандидат техн. наук, доцент

Євген НОВАКІВСЬКИЙ

« 30 » травня 2025 року



Підпис к.т.н. доцента
Новаківського
Є.В.
засвідчую

В.о. директора
ННІАТЕ,
Євген Письменний