

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу
Мороза Олега Сергійовича

на тему «Зниження термічних напружень і підвищення терміну служби елементів енергетичного обладнання шляхом використання стабілізаторних пальників»

представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія, за спеціальністю 144 Теплоенергетика

Актуальність теми дисертації.

Одним з основних елементів вогнетехнічних установок, від характеристик якого в значній мірі залежить їх ефективність, термін роботи, формування розподілу теплових потоків в топковому просторі тощо, є пальниковий пристрій. Досвід експлуатації пальникових пристроїв, які використовуються в енергетиці та промисловості, показує, що в багатьох випадках вони мають низькі техніко-економічні показники, зокрема, не дають можливості досягти рівномірного поля температур продуктів згоряння в топці, особливо при роботі на змінних параметрах робочого процесу. При роботі існуючих пальникових пристроїв, у своїй більшості, реєстрового типу, практично завжди спостерігається відхилення поля температур газів від розрахункового профілю в різних елементах енергетичного обладнання – трубопроводах, колекторах, в матеріалі футеровки тощо.

Температурне поле може бути неоднаковим по периметру поперечного перерізу труби, якщо існує нерівномірне підведення теплоти до зовнішньої поверхні або нерівномірне відведення теплоти від внутрішньої поверхні. При нерівномірному полі температур в поперечному перерізі каналу відбувається розтікання теплоти по стінці від ділянок з найбільшою температурою до ділянок, де температура металу нижча.

При цьому виникають значні температурні деформації в окремих елементах обладнання, які приводять до підвищення напруженості і необхідності зменшення швидкості перехідних режимів. В деяких випадках нерівномірність поля температур газів спонукає до зменшення температури факелу за рахунок збільшення коефіцієнту надлишку повітря і зниження, таким чином, ефективності енергоустановки.

Для визначення впливу рівня температури та локальної нерівномірності температури газів на тепловий та напружено-деформований стан елементів обладнання необхідно виконати відповідні дослідження з використанням сучасних експериментальних та комп'ютерних методів, а також розробити та впровадити пальникові пристрої, в яких забезпечена можливість впливати на характер температурного поля продуктів згоряння в топковому просторі.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- вперше за допомогою комплексу ANSYS Fluent розроблена програма визначення термічного і термонапруженого стану високотемпературних елементів енергетичного обладнання;
- розроблена програма розрахункової оцінки терміну експлуатації високотемпературних елементів в стаціонарних і змінних режимах;
- доповнені експериментальні дані і уточнені залежності щодо вирівнювання характеристик газового потоку в топковому просторі при використанні стабілізаторних пальників;
- показана можливість регулювання поля температур газів в топковому просторі зміною конструктивних параметрів стабілізаторних пальників;
- вперше запропонована технологія спалювання забаластованих низькорекційних газових палив в стабілізаторних пальниках;

- вперше розроблено і досліджено моделі стабілізаторних пальників для спалювання альтернативних низькорекційних газових палив;
- отримані експериментальні дані та одержані узагальнюючі залежності стосовно характеристик робочого процесу горіння газів різного складу, який може суттєво змінюватись під час роботи.

Вірогідність отриманих наукових положень підтверджена сучасними уявленнями про гідродинаміку потоку і процеси горіння і тим, що отримані результати не суперечать положенням відомих даних. Наукові положення, висновки й рекомендації, запропоновані у дисертаційній роботі, підтверджені експериментальними дослідженнями і узагальненням отриманих даних. При виконанні роботи застосовувались методи математичної обробки результатів чисельного та натурного експериментів.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі теплової та альтернативної енергетики ННІ АТЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках робіт, що виконувались на кафедрі ТАЕ у пріоритетному напрямку «Енергетика та енергоефективність» у відповідності з планами Міністерства освіти і науки України по темах: д/б тема 2803-п (№ д.р. 0115U000340) – «Розробка засобів із продовження експлуатації високотемпературних елементів енергетичного та промислового обладнання»; д/б 2924-п (№ д.р. 0116U003741) «Підвищення ефективності та екологічності роботи енергетичного устаткування при різних видах палива та умовах управління навантаженням»; г/д № 246 з ТОВ «НМУ «Електропівденмонтаж»; г/д № 2762 -ВЭ-КуТЭС з ТОВ «ДТЕК СХІДЕНЕРГО» під керівництвом зав. кафедри теплової та альтернативної енергетики ННІ АТЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського, д.т.н., проф. Черноусенко Ольги Юріївни.

Отже, поставлене наукове завдання в дисертаційній роботі щодо розрахунку термонапруженого стану та оцінки залишкового ресурсу теплосприймаючих поверхонь енергетичного обладнання на основі розрахунково-експериментальних досліджень впливу рівня та градієнту температур газів; дослідження стабілізаторних пальників, що дають можливість впливати на поле температур газів, а також розробка пальників з

використанням низькорекреаційних газових палив змінного складу 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 Мороза О.С. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 144 Теплоенергетика та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Теплоенергетика.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям кафедри ТАЕ «Ресурс енергообладнання та розробка засобів подовження терміну його експлуатації; фізика процесів горіння і підвищення енергоекологічної ефективності енергетичних об'єктів і систем».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Мороза Олега 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 мовою.

В представлених матеріалах послідовно і доступно з використанням загальноприйнятої термінології викладено результати проведеної роботи.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 172 сторінки.

У вступі показана актуальність теми, яка пов'язана з тим, що значна кількість енергетичних та промислових об'єктів – котлів, печей, підігрівачів тощо, які використовуються в енергетиці та промисловості України, характеризується значним моральним та фізичним зношенням, вимагає ремонту і

покращення ефективності роботи.

В економічних умовах нашої країни модернізація установок є найбільш реальним шляхом підвищення їх ефективності при мінімальних затратах. За розрахунками, сума вкладень, що дають можливість продовження експлуатації, в 3–5 разів менше, чим введення в дію нових потужностей. Певним умовам експлуатації обладнання повинна відповідати найбільш ефективна схема організації паливного процесу в топці.

У першому розділі розглянуто стан енергетики України і показано, що однією з проблем подальшого використання енергетичних установок є нерівномірність теплових потоків і поля температур газів в топковому просторі. Це викликає термічні перекоси в елементах обладнання, виникнення додаткових термічних напружень і руйнацію відповідних елементів. В роботі вказується на необхідність виконання робіт щодо визначення стану найбільш термонапружених елементів, оцінки їх залишкового ресурсу, а також розробка рекомендацій щодо своєчасного зняття їх з експлуатації, або розробка порівняно економних заходів для продовження терміну експлуатації таких агрегатів.

Одним із засобів зменшення нерівномірності температурного поля газів в топковому просторі, а також можливості впливати на профіль температур з метою зниження температурної напруженості обладнання, може бути використання палиникових пристроїв стабілізаторного типу, розроблених в КПІ ім. Ігоря Сікорського.

У другому розділі розглянуто експериментальні стенди, на яких проводились дослідження з використанням енергетичного обладнання кафедри теплової та альтернативної енергетики і відповідної вимірювальної апаратури - термомпари, зонди відбору проби для газового аналізу. Приведено методику обробки експериментальних даних і оцінки похибок вимірювань основних параметрів робочого процесу.

В третьому розділі приведена розроблена на базі програмного комплексу ANSYS Fluent модель формування локальної нерівномірності поля температур

продуктів згоряння в топковому просторі. З урахуванням отриманих на дослідному стенді експериментальних даних досліджено вплив взаємодії газодинамічних факторів на термічний стан поверхні циліндричного патрубку, як моделі трубопроводу енергетичного і промислового котла. Врахований вплив неоднорідного температурного поля високотемпературних газів на термонапружений стан патрубка дозволив обрати початкові та граничні умови. Розроблена методика дозволяє визначити тепловий і напружено-деформований стан патрубка та виконати оцінку терміну служби трубопроводу в залежності від умов експлуатації обладнання.

В четвертому розділі проведені результати випробувань варіантів пальників стабілізаторного типу і приведені уточнені дані щодо закономірностей вирівнювання параметрів робочого процесу – поля швидкості, концентрацій продуктів реакції, температури газів в пальниках стабілізаторного типу, що дасть можливість підвищити коефіцієнт корисної дії енергетичної установки за рахунок збільшення середньої температури газів.

Досліджено вплив режимних і конструктивних факторів на формування заданого ступеня нерівномірності поля температур газів в стабілізаторному пальнику в повздовжньому і поперечному напрямках. Визначено, наприклад, що при коефіцієнтах затінення в діапазоні $K_f = 0,6 - 0,8$ і при відносній довжині факела $l_f / V_{ст} > 12$, довжина камери визначається повнотою згоряння палива, а при $l_f / V_{ст} < 12$ визначальним є характер вирівнювання поля температур газів. Показано, що в мікрофакельних стабілізаторних пальниках є можливість впливати на профіль температури газів в повздовжньому і поперечному перерізах конструктивними засобами – зміною кроку стабілізаторів, їх ширини та взаємного розміщення, схеми газороздачі в стабілізаторах, встановленням інтенсифікаторів процесу горіння.

В п'ятому розділі показана можливість розширити сферу використання стабілізаторних пальникових пристроїв для спалювання низькокалорійних газових палив і, таким чином, підвищити надійність і ефективність енергетичного обладнання, що працює на таких видах палив.

Встановлено, що перспективним методом вирішення проблеми спалювання низькокалорійних альтернативних палив, склад яких виходить за концентраційні межі горіння, є застосування комбінованої подачі палив, при якому низькокалорійне паливо підпалюється високотемпературними стабілізуючими факелами.

Розроблено три варіанти модульних пальників з різними схемами подачі палива і окисника та проведені випробування при спалюванні газового палива з різним вмістом баластної домішки (повітря та двоокису вуглецю).

У першому варіанті при подачі альтернативного палива струменями зануренням в повітряний потік, а стабілізуючого – в зону рециркуляції за стабілізатором, забезпечується стала і ефективна робота в широкому діапазоні режимів по коефіцієнту надлишку повітря. Таку схему доцільно використовувати при коефіцієнтах надлишку повітря в пальнику більше одиниці.

У другому варіанті сталість горіння при коефіцієнтах надлишку повітря, що наближаються до одиниці, забезпечується шляхом подачі і альтернативного, і стабілізуючого палива струменями зануренням в повітряний потік. У цьому випадку при роботі за комбінованою схемою струмені низькорекційного альтернативного палива проходять між високотемпературними факелами високореакційного стабілізуючого палива. Загальна довжина і сталість факелу визначаються, в основному, характеристиками стабілізуючого факелу.

У третьому варіанті шляхом використання двонішевого стабілізаторного модуля можна забезпечити універсальність конструкції паливного модуля і більш гнучке регулювання робочого процесу в залежності від схеми газороздачі в пальниковому пристрої. При зміні розташування отворів подачі газу – перед нішевим поглибленням або в самому поглибленні, можна впливати на сталість і довжину факелу.

Як показали результати випробувань, межі сталої роботи комбінованого пальника визначаються характеристиками факелу другої ніші і мало залежать від складу альтернативних газів першої ніші.

Реалізація заміщення первинних енергоресурсів забаластованими (низькокалорійними) горючими газами дає можливість значної економії коштів за рахунок економії імпортованих енергоресурсів, оскільки альтернативні газу за своїми ресурсами значно перевищують розвідані запаси природного газу.

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 20 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 8 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 2 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Scopus, обидві у виданнях, віднесених до першого — третього квартилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports; отримано 7 патентів України на корисну модель;

Також результати дисертації були апробовані на 11 наукових фахових конференціях, опубліковано 10 тез доповідей.

Представлені публікації здобувача виконані на високому науковому рівні, відображають проведену роботу.

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Мороза О.С. визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

В наукових публікаціях дотримані принципи академічної доброчесності. В наведеному списку публікацій, опублікованих із співавторами та зарахованих за темою дисертації, показано особистий внесок здобувача. Наукові результати описані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1 В роботі чітко не вказаний розподіл альтернативних (низько-реакційних) газових палив, які використовуються в енергетиці і промисловості, в залежності від рівня теплотвірної здатності.

2 З яких міркувань у двонішевому стабілізаторі вибиралась відстань між нішами.

3 При подачі газу на попереднє перемішування з повітрям часто має місце проскакування полум'я у зону сумішеутворення. Чи були такі явища при випробуваннях розглянутих систем стабілізаторів.

4 Які можна рекомендувати співвідношення між розміром стабілізатора і інтенсифікаторів горіння та їх розміщенням.

5 На рисунках 3.8, 3.9 не повністю приведені характеристики потоків.

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 Мороза Олега Сергійовича на тему «Зниження термічних напружень і підвищення терміну служби елементів енергетичного обладнання шляхом використання стабілізаторних пальників» 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 Мороз Олег Сергійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 144 Теплоенергетика.

Рецензент:

Доцент кафедри теплової
та альтернативної енергетики
ІННІ АТЕ КПІ ім. Ігоря
Сікорського, к.т.н., доц.



«  2023 року
підпис пр. ше

W

F