

## **ВІДГУК**

офіційного опонента 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 обраної теми дисертації, її зв'язок з науковими державними і галузевими програмами.**

В різних галузях народного господарства України експлуатується значна кількість вогневих технічних об'єктів – котлів, сушил, теплогенераторів, паротурбінних установок тощо, моральна та фізична зношеність яких вимагає суттєвого підвищення рівня ефективної роботи. В умовах складної економічної обстановки України завдання повного оновлення парку енергетичного обладнання виявляється досить витратним, а в окремих випадках, навіть неможливим. Тому зараз необхідним є проведення аналізу стану і можливості подальшої роботи окремих елементів, які мають найбільше навантаження, в першу чергу високотемпературне, а також розробка заходів щодо продовження їх експлуатації.

Досвід роботи теплових установок показує, що на долю високотемпературних елементів припадає найбільша кількість аварійних зупинок. Одним з суттєвих факторів, які погіршують надійність та економічність установок, є перевищення температури газу понад розрахункову, локальна нерівномірність температури продуктів горіння, яка може досягати, наприклад, в котлі ДКВР-6,5-13 до 800 °С. Крім того, відмічаються такі явища, як нестійкість та пульсації факелу до 700°С в часі в одному і тому ж місці. У зв'язку з цим, необхідно проведення досліджень щодо впливу коливань температури газу на термічний і термонапружений стан високотемпературних елементів, а згодом визначення умов і методів продовження терміну їх експлуатації.

Для визначення впливу рівня температури газу та локальної нерівномірності температури на тепловий та напружено-деформований стан трубного елементу котельного агрегату були проведені експериментальні дослідження та розрахункові дослідження з використанням програмного комплексу ANSYS Fluent.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі теплової та альтернативної енергетики ННІ АТЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках

робіт, що виконувались на кафедрі у пріоритетному напрямку «Енергетика та енергоефективність» у відповідності з планами Міністерства освіти і науки України по темах: д/б тема 2803-п (№ ДР 0115U000340) – «Розробка засобів із продовження експлуатації високотемпературних елементів енергетичного та промислового обладнання»; д/б 2924-п (№ ДР 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».

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації**

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, сушил тощо, які використовуються в енергетиці та промисловості України, характеризується значною моральною та фізичною зношеністю, 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 обладнання, 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 перспективи подальшого функціонування і зроблено висновок, що в економічних умовах нашої країни найбільш реальним шляхом підвищення надійності і ефективності теплоенергетичного обладнання є їхня модернізація, при якій значно зменшуються затрати ресурсів, ніж введення нового обладнання. Розглянуто питання роботи спроможності металів, які використовуються в енергетиці і промисловості, під дією високих температур газів, в тому числі при нерівномірному температурному полі, які суттєво змінюється в просторі і часі.

Показано, що одною з основних причин температурної нерівномірності газів є використання існуючих палинкових пристроїв, в своїй більшості, реєстрового типу. Температурні деформації в високотемпературних елементах обладнання призводять до підвищення термічної напруженості, руйнуванню і передчасному виходу його з ладу. Існуючі методи дослідження термічних напружень в високотемпературних елементах енергетичного обладнання вимагають проведення тривалих випробувань і довгострокових розрахунків. В роботі висунута пропозиція щодо доцільності використання для таких робіт досягнень сучасної комп'ютерної технології. Крім того, одним з методів зменшення температурної нерівномірності і можливості впливу на поле температур газів може бути використання розроблених в КПП ім. Ігоря Сікорського палинкових пристроїв стабілізаторного типу.

У *другому розділі* наведені дані щодо відкритих і закритих ділянок експериментальних стендів кафедри теплової та альтернативної енергетики, які дозволяли проведення випробувань у відповідності з розробленою програмою за одиночним стабілізатором і системою стабілізаторів. Приведено методику обробки експериментальних даних процесу горіння, вимірювання яких відбувалось в процесі досліджень. Представлено оцінку похибок вимірювань основних параметрів.

У *третьому розділі* представлено розроблену на основі програмного комплексу ANSYS Fluent модель формування локальної нерівномірності поля температур продуктів згоряння в топковому просторі і досліджено вплив газодинамічних факторів на термічний стан поверхні циліндричного патрубку, як моделі трубопроводу енергетичного і промислового котла.

З використанням інформації щодо умов експлуатації енергетичного і промислового обладнання вибрано початкові і граничні умови для моделювання впливу неоднорідного температурного поля продуктів згоряння на термічний стан високотемпературних елементів. Програмний комплекс дозволяє оцінити термін служби трубопроводу котла в залежності від умов експлуатації. На основі отриманих рекомендацій виконано оцінку залишкового ресурсу трубопроводу котла при різних градієнтах температури.

В *четвертому розділі* показано, що використання палинкових пристроїв стабілізаторного типу дозволяє в певній мірі впливати на параметри потоку в топковому просторі, зокрема, на поле температур, повноту згоряння і швидкість потоку у вогневому просторі. Уточнені дані щодо впливу на характеристики процесу горіння газу в системі стабілізаторів коефіцієнту затінення решітки стабілізаторів і схеми подачі палива.

Показано, що зміною конструктивних параметрів - кроку стабілізаторів та їх ширини, зміною (або прикриттям) подачі газу на окремі стабілізатори,

відносним зміщенням стабілізаторів вздовж і поперек потоку можна впливати на профіль температури газів в повздовжньому і поперечному перерізах.

Використанням інтенсифікаторів процесу горіння можна одночасно впливати на характер температурного поля в топковому просторі.

*В п'ятому розділі* показана можливість використання стабілізаторних пальникових пристроїв для спалювання так званих низькокалорійних альтернативних газових палив природного або штучного походження. Альтернативні палива в переважній більшості містять у своєму складі метан, розбавлений такими інертними газами як повітря, двоокис вуглецю, азот, різні види біодобавок тощо, присутність яких призводить до зменшення температури горіння, звуження концентраційних межі запалювання і сталості факелу в повітряному потоці. При певній концентрації домішок горіння стає неможливим.

Для розширення використання альтернативних газів в енергетиці і промисловості було запропоновано, розроблено і досліджено мікрофакельні стабілізаторні пальники для спалювання забаластованих газових палив.

Показано, 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 і відбувається сталий процес горіння обох палив незалежно від концентрації домішки з забаластованому паливі.

Потужність пальника підтримується за рахунок збільшення витрати палива, яке подається на стабілізуючий факел. Сталість і довжина загального факелу визначається характеристиками запалюючого факелу

Розроблено і досліджено три варіанти модулів стабілізаторних пальників з різними схемами подачі альтернативного і стабілізуючого палив, які забезпечують можливість сталого горіння забаластованого палива при концентрації домішок від 0 % до 100 % (відсутність палива - подача баласту).

Вперше розроблено і досліджено двонішевий пальниковий пристрій, в якому, практично без зміни конструкції є можливість регулювати характеристики сталості і довжини факелу в залежності від умов роботи енергетичного об'єкту.

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

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі, базується:

на аналізі літературних джерел по даній проблемі; на використанні сучасних методів дослідження, програмних продуктів та математичного апарату;

на зіставлені отриманих теоретичних даних з результатами інших авторів та даними експериментів;

на загальноприйнятих допущеннях і обмеженнях, що є досить правомірними та забезпечують повторювальність результатів з достатньою точністю;

на правильному формулюванні отриманих висновків.

### **Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, наукова новизна результатів досліджень**

Достовірність отриманих наукових результатів роботи забезпечується коректним застосуванням математичного апарату для вирішення поставлених наукових задач і підтверджена узгодженням результатів чисельного моделювання з результатами експериментів.

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 низько реакційних газових палив в стабілізаторних пальниках;
- вперше розроблено і досліджено моделі стабілізаторних пальників для спалювання альтернативних низько реакційних 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, а також 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.

Дисертаційна робота вирішує актуальну наукову проблему, яка є важливою для теплоенергетики, містить раніше незахищені наукові положення та нові науково обґрунтовані результати, які отримані автором.

Наукові завдання сформульовані на основі аналізу сучасних проблем відповідно до тематики дослідження, відповідають меті дисертації, виконані повністю, здобувач володіє методологією наукової діяльності повною мірою.

Наведені в роботі наукові положення свідчать про наявність наукової значимості дисертації, що підтверджується теоретичними і експериментальними результатами, спрямованими на розроблення програми визначення термічного і термонапруженого стану високотемпературних елементів енергетичного обладнання та можливість регулювання поля температур газів в топковому просторі зміною конструктивних параметрів стабілізаторних пальників.

### **Рекомендації з використання та практична значимість отриманих результатів дослідження**

Практична значимість отриманих результатів дослідження полягає в тому, що розроблені в дисертаційній роботі моделі і методи можуть бути використані для широкої низки практичних застосувань в галузі теплоенергетики.

Запропонована програма розрахунку термонапруженого стану дозволяє визначити термін експлуатації елементів енергетичного обладнання в умовах дії високотемпературного газового потоку на змінних режимах. Метод регулювання температурного поля газового потоку шляхом зміни конструкції стабілізаторного пальника дає можливість зменшити термічне напруження високотемпературних елементів і збільшити термін їх експлуатації. Впровадження розроблених і досліджених моделей стабілізаторних пальникових пристроїв дозволить ефективно використовувати альтернативні види газових палив.

В дисертаційній роботі розв'язане завдання щодо розрахунку термонапруженого стану та оцінки залишкового ресурсу тепло сприймаючих поверхонь енергетичного обладнання на основі розрахунково-експериментальних досліджень впливу рівня та градієнта температур газів;

дослідження стабілізаторних пальників, що дають можливість впливати на поле температур газів, а також розробка пальників з використанням низько реакційних газових палив змінного складу виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

За результатами роботи є дві довідки про використання результатів науково-дослідної роботи на ПАТ «Харківська ТЕЦ-5» та ДТЕК Курахівська ТЕС.

### **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 співпадіння, 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.

### **Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях, відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.**

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 і 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 10 наукових фахових конференціях.

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.

### **Дискусійні положення та зауваження щодо змісту дисертації.**

1. Заявлена у пунктах наукової новизні програма розрахункової оцінки терміну експлуатації високотемпературних елементів в стаціонарних і змінних режимах не знайшла розрахункового підтвердження для трубопроводу котла не змінних режимах роботи. Наведений у дисертації тільки номінальний режим експлуатації. Чи робилися розрахунки на змінних режимах експлуатації?
2. В роботі не вказані межі та місця застосування розглянутих у розрахунках комп'ютерної моделі матеріалів (15X1МФ і 10X9МФБ), окрім 12X1МФ данні для якої вказані у рис. 3.17.
3. Які положення закладались при виборі відносного кроку отворів подачі газів в стабілізаторах?
4. Наскільки можливе використання розроблених пальникових пристроїв при спалювання інших видів низько реакційних пальникових газів, наприклад, біогазу?
5. Можливо, було б доцільно представити деякі результати досліджень в залежності від рівня теплотворної здатності альтернативних палив.
6. Які можна рекомендувати співвідношення між розміром стабілізатора і інтенсифікаторів горіння та їх розміщенням?

Загалом 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**

В цілому можна констатувати, 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 та відповідає спеціальності 144 «Теплоенергетика».

Зважаючи на актуальність теми дисертації, обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, які сформульовані в дисертації, новизни, практичної цінності, повноти викладення в наукових публікаціях, відсутності порушень академічної доброчесності, вважаю, що дисертація 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, а її автор, МОРОЗ Олег Сергійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 144 «Теплоенергетика».

**Офіційний опонент:**

Професор кафедри теоретичної,  
загальної та нетрадиційної енергетики  
Національного університету  
«Одеська політехніка» МОН України,  
д.т.н., проф.



Алла ДЕНИСОВА

Підпис д.т.н., проф. Денисової А.Є.  
засвідчую

Вчений секретар  
Національного університету  
«Одеська політехніка»



Лада ПРОКОПОВИЧ

М.П.



« 29 » січня 20 24 року