

ТРУБЧАСТА ТЕХНОЛОГІЯ ГАЗОСПАЛЮВАННЯ — ПРОРИВ У ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННІ І ЕКОЛОГІЧНОСТІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

¹Г.Б.Варламов, ²Я.С.Марчук, ³М.В.Беккер, ¹Г.М.Любчик, ¹Ю.М.Камаєв,
¹П.О.Позняков, ¹Д.О.Кузьменко

¹ Науково-технічний центр «Екотехнології та технології енергозбереження»
Національного технічного Університету України «КПІ», 03056 м. Київ, пр. Перемоги, 37,
e-mail: ecotez@ukr.net

² НАК «НАФТОГАЗ України», 01001, м. Київ, вул. Б. Хмельницького 6,
e-mail: ngu@naftogaz.com

³ ДК «Укртрансгаз», 01021, м. Київ, Кловський узвіз, 9/1,
e-mail: ukrtransgas.utg@naftogaz.net

Розглянуто результати досліджень на моделі та реальному устаткуванні особливостей трубчастої технології газоспалювання з визначенням аеродинамічних та техніко-економічних переваг при її використанні у камерах згоряння газотурбінних установок.

Ключові слова: газоспалювання, транспортування, трубчаста технологія, модернізація, екологічна безпека

Рассмотрены результаты исследований на модели и реальном оборудовании особенностей трубчатой технологии газосжигания с определением аэродинамических и технико-экономических преимуществ при ее использовании в камерах сгорания газотурбинных установок.

Ключевые слова: газосжигание, транспортировка, трубчатая технология, модернизация, экологическая безопасность

It was examined the investigations results of gas burning characteristics of a pipe technology on the model and the equipment with the designation of aerodynamic, technological and economic advantages with its use in combustion chamber of the gas turbine.

Keywords: gas burning, transport, tube technology, modernization, environmental safety

Результати теоретичних та експериментальних досліджень [1-5] засвідчили унікальність аеродинамічних та теплових процесів при використанні насадки Борда та уможливили створення якісно нових процесів спалювання газоподібного палива з використанням трубчастих модулів, які дають змогу:

- застосовувати одночасно у комплексі класичних та додаткових методів і способів підвищення енергоекологічності спалювання газоподібного палива, а саме: прямоочності руху газоповітряної суміші, комбінованого регульованого методу сумішоутворення (попереднього і дифузійного), постадійності та мікрофакельності спалювання, високої турбулізації і внутрішньої рециркуляції потоку;

- створити умови для утворення у зоні спалювання рівномірного температурного поля;

- позитивно впливати на техніко-експлуатаційні показники роботи обладнання;

- позитивно впливати на шумові і вібраційні показники роботи обладнання та санітарно-гігієнічні умови праці персоналу;

- створювати пальникові системи необмеженої теплової потужності з незмінно високим рівнем екологічної безпеки.

Дані особливості трубчастих модулів на основі насадки Борда дали можливість науко-

вцям НТЦ «ЕКОТЕЗ» НТУУ «КПІ» створити трубчасту технологію спалювання газоподібного палива [6-9], яка не має світових аналогів і дає змогу отримувати значні технологічні, експлуатаційні та економічні переваги у порівнянні з іншими технологіями паливоспалювання.

Враховуючи об'єктивну необхідність модернізації значної кількості застарілих газоперекачувальних агрегатів (ГПА), в Україні з'являється можливість для масштабних робіт з їх реабілітації і модернізації.

Для визначення основних переваг трубчастої технології здійснено на реальних енергетичних об'єктах ДП «УКРТРАНСГАЗ» модернізацію фронтних пристроїв камер згоряння ГТУ у складі газоперекачувальних агрегатів ГТК-10 та ГТ-750-6.

Основні аеродинамічні та теплові особливості спалювання газоподібного палива у штатних камерах згоряння ГТУ у складі ГПА типу ГТК-10 та ГТ 750-6 представлені авторами розробок у своїх публікаціях [10-13]. Дані [10-13] наведені з використанням експериментальних досліджень та вимірювань на діючих агрегатах і застосовуються науковцями і фахівцями компресорних станцій під час аналізу експлуатаційних процесів.

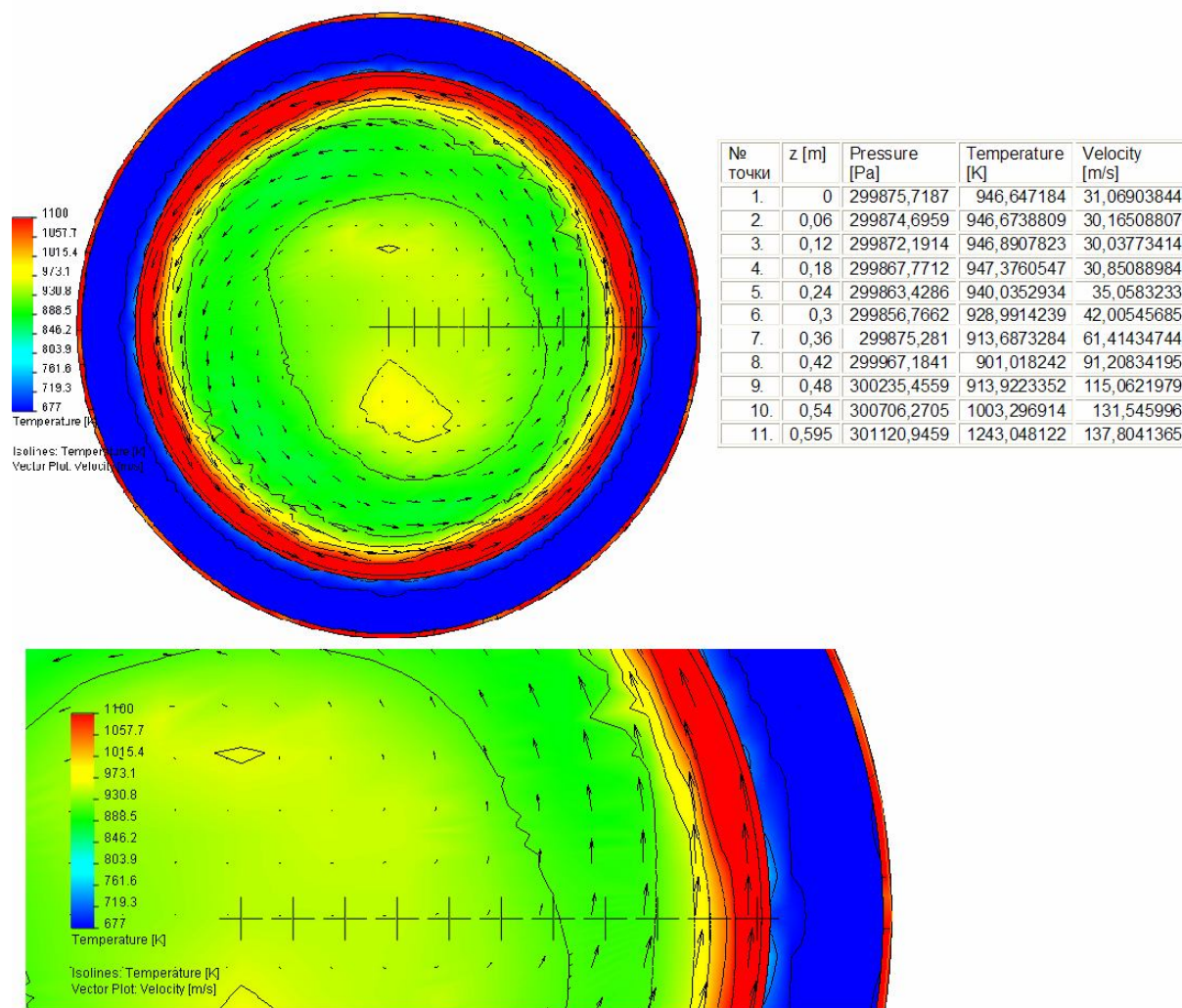


Рисунок 1 – Розміщення точок вимірів температури і швидкості потоку в штатній камері згоряння. Порядкові номери від центру до стінки

Колективом авторів за допомогою сучасних програмних комплексів 3D-конструювання створено теплофізичну модель камери згоряння ГТУ у складі ГПА, яка успішно пройшла тестування на експериментальних даних реальних установок [10-13] з підтвердженням адекватності основних аеродинамічних та теплових процесів.

За підсумками модельних досліджень для штатної камери згоряння з паливковою системою фронтального пристрою реєстрового типу виявлені додаткові особливості даних процесів під час експлуатації, основними серед яких є наступні:

- значна нерівномірність розподілу газових потоків по поперечному розрізу жарової труби та у осьовому напрямку від фронтального пристрою до виходу з камери згоряння, яка сягає близько 60%;

- суттєві відмінності швидкостей газових потоків по поперечному розрізу жарової труби та у осьовому напрямку від фронтального пристрою до виходу з камери згоряння, а саме: у поперечному розрізі нерівномірність значень швидкостей сягає 50%, а у осьовому напрямку – 80%;

- значні перекося температури газових потоків по поперечному розрізу жарової труби та у осьовому напрямку від фронтального пристрою до виходу з камери згоряння, що призводять до появи зон і об'ємів з низькими значеннями швидкостей з одночасно високими значеннями температур.

Базуючись на створеній аналогічно попередній 3D-вимірній теплофізичній моделі камери згоряння ГТУ, для фронтального пристрою з паливковою системою трубчастого типу були проведені дослідження відмінностей та особливостей аеродинамічних та теплових процесів експлуатації у номінальних та перехідних процесах у порівнянні із штатною паливковою системою реєстрового типу.

Порівняння результатів досліджень на 3D-вимірній теплофізичній моделі із дослідженнями у ідентичних умовах із штатною камерою (рис. 1) згоряння підкреслюють переваги трубчастої технології (рис. 2) газоспалювання у порівнянні із штатними реєстровими паливковими системами, а саме:

- високий рівень рівномірності температури у поперечному розрізі жарової труби та вздовж її довжини від фронту до виходу на ло-

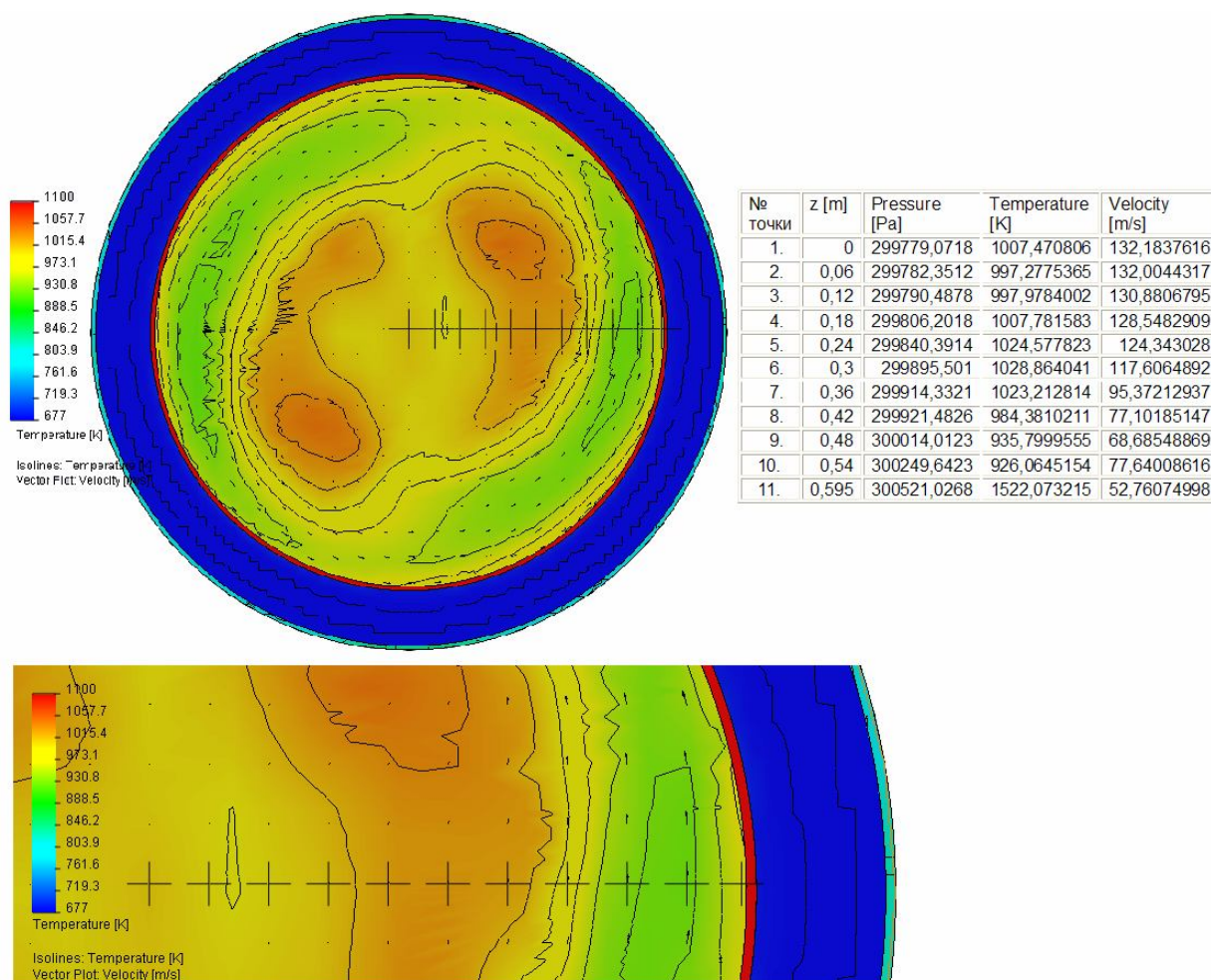


Рисунок 2 – Розміщення точок вимірів температури і швидкості потоку в камері згорання з паливковою системою трубчастого типу. Порядкові номери від центру до стінки

патки турбіни високого тиску, який сягає перепадів лише в 5-8%;

- температурні градієнти від центру жарової труби до її стінки не перевищують 5%;

- поле швидкостей по усьому об’ємі жарової труби характеризується рівномірністю високого рівня, а саме відхилення значень швидкості у центрі і на периферії жарової труби не перевищує 7%;

- відсутні зони та об’єми із підвищеними значеннями як температури, так і швидкості.

Результати моделювання були порівняні на реальному устаткуванні – камері згорання ГТУ з паливковою системою трубчастого типу, модернізація якої була виконана з дотриманням таких умов:

- мінімальній зміні її конструкції шляхом заміни штатних пальників на пальники трубчастого типу;

- незмінній системі запуску камери згорання та штатній системі регулювання;

- необхідності експлуатації камери згорання на природному газі з теплою згорання 8500 ± 850 ккал/м³ із штатними значеннями витрати повітря, тиску повітря після компресора, температури повітря перед камерою згорання, тиску та температури паливного газу.

Проведення комплексу випробувань, що включають пускові випробування, завантаження агрегату у мережу газотранспортування та зміна режимів завантаження, дали змогу визначити основні особливості і переваги паливкової системи трубчастого типу, які є унікальними з таких причин.

1. Пуск холодного або гарячого агрегату, перехід з одного режиму на інший здійснюється в агрегаті без будь-яких відхилень від штатного режиму;

2. За показниками надійності експлуатації ГПА з камерою згорання ГТУ на базі паливкової системи трубчастого типу має переваги у порівнянні зі штатним варіантом камери згорання ГТУ, які характеризуються:

- зниженням рівня температур у агрегатах ГПА для номінального режиму навантаження і особливо перед КЗ, ТВТ і ТНТ з одночасним підвищенням рівня рівномірності поля температур газів у КЗ і перед ТВТ, що сприяє зниженню термомеханічних напруг на жарову трубу КЗ, лопаткові апарати ТВТ і ТНТ та підвищенню запасу за потужністю ГТУ і збільшенню терміну моторесурсу;

- зниженням рівня температур газів за ТНТ, що сприяє зменшенню термічних напруг у еле-

ментах конструкції регенератора установки та зниженню ймовірності появи термічних нещільностей та втрати тиску компресорного повітря з перетіканням його у викидний колектор;

– збільшенням ступеня підвищення тиску в термодинамічному циклі ГТУ $\varepsilon_{\text{ГТУ}}$ на 32% з одночасним зниженням до 33% величини коефіцієнта втрат тиску в камері згорання ГТУ $\xi_{\text{кз}}$;

– підвищенням ступеня стискання повітря у ВК на 7% та підвищенням ступеня розширення в турбіні ε_r на 6%;

– підвищенням на 2% ступеня регенерації σ у циклі ГТУ, що позитивно впливає на термодинамічні та техніко-економічні показники експлуатації ГПА;

– значенням рівня приведеної температури перед ТВТ у порівнянні із даними по ТУ знизилася на 31 градус, при цьому зростання $N_{\text{еф}}^{\text{ТП}}$ сягає майже 30%;

Зниженням рівня приведеної температури за ТНТ $T_{\text{ТНТ}}^{\text{ТП}}$ у викидних колекторах, майже на 75 градусів;

– зниженням загального температурного рівня робочих процесів у ТВТ та ТНТ з одночасним збільшенням потужності і ККД ГТУ;

– суттєвим зниженням рівня вібрацій в агрегаті і покращенням оцінки з рівня «Прийнятно» (до модернізації КЗ) до рівня «Добре» (після модернізації).

3. Щодо техніко-економічних показників палиникова система трубчастого типу у порівнянні зі штатною КЗ мають такі переваги:

– зниження питомої витрати паливного газу на 15%;

– підвищення ефективного ККД на 4,35% (до модернізації – 25,85%, після – 30,2%, а значення ККД для ГПА по ТУ складає 27%);

– зниження на 34,5% комплексного теплоенергетичного показника В, який характеризує витрату теплоти палива для генерування одиниці потужності на привод нагнітача.

4. Щодо техніко-екологічних показників відбувається суттєве зниження емісії оксиду вуглецю СО у продуктах згорання з 275 мг/м³ до 75 мг/м³ (майже у 4 рази). При цьому рівень емісії оксидів азоту NO_x утричі нижче допустимих значень, наведених у „Каталозі техніко-екологічних показників газоперекачувальних агрегатів підприємств АТ«УКРГАЗПРОМ».

Наведені дані свідчать про суттєві переваги трубчастої технології у порівнянні із існуючими, а її застосування у камерах згорання ГТУ є проривом у енергозбереженні і екологічній безпеці транспортування природного газу.

Література

1 Мікулін Г.О. Використання трубчастих модулів як елементів інтенсифікації горіння та підвищення енергоекологічної ефективності газових пальників / [Г.О.Мікулін, Г.М.Любчик, Г.Б.Варламов та ін.] // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2003. – №4. – С. 58 – 65.

2 Любчик Г.Н. Использование конструктивных особенностей и аэродинамических эффек-

тов насадка Борда при создании малотоксичных топливосжигающих модулей / [Г.Н.Любчик, Г.Б.Варламов, Г.А.Микулин, С.А. та ін.] // Технологические системы. – 2002. – №1. – С. 130 – 133.

3 Любчик Г.М. Нова технологія створення камер згорання ГТУ на базі трубчастих модулів [Г.М.Любчик, Г.Б.Варламов, Р.М.Говдяк та ін.]: матеріали VII-ої Міжнародної науково-практичної конференції [„Нафта і газ України – 2002”] // Нафта і газ України. – К.: Нора-прінт, 2003. – Том 2. – С. 195–197.

4 Любчик Г.М. Емісійні характеристики пальників на базі трубчастих модулів / [Г.М.Любчик, Г.С.Марченко, Г.Б.Варламов та ін.] // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2004. – №1. – С. 73–79.

5 Микулин Г.А. Эмиссионные свойства тубчатых топливосжигающих элементов интенсификации горения и стабилизации пламени / Г.А.Микулин, Г.Н.Любчик, Г.Б.Варламов // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2005. – №2. – С. 56–63.

6 Пат. 34812 Укр., МПКF23D14/02, F23D14/22. Газовий пальник / Г.М. Любчик, Г.С. Марченко. – опубл. 2001, Бюл.№2.

7 Пат. на винахід № 50168А, м.п.кл. F23D14/02, F23D14/22, / Варламов Г.Б., Любчик Г.М., Марченко Г.С., Макаренко В.О. Газовий пальник. – бюл. №10. – 2002. – С. 5.

8 Декларацийний патент на винахід № 56602А, м.п.кл. F23D14/02, F23D14/22. Газовий пальник / Варламов Г.Б., Любчик Г.М., Марченко Г.С., Макаренко В.О., Мікулін Г.О. – бюл. №5. – 2003. – С. 5.

9 Декларацийний патент на винахід № 57498А, м.п.кл. F23D14/02, F23D14/22, Газовий пальник / Варламов Г.Б., Любчик Г.М., Марченко Г.С., Макаренко В.О., Манжула І.О. – бюл. № 6. – 2003. – С. 6.

10 Сударев А.В. Камеры сгорания газотурбинных установок: Теплообмін / А.В.Сударев, В.И. Антоновский. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 272 с.

11 Сударев А.В. Камеры сгорания газотурбинных установок. Интенсификация горения / А.В.Сударев, В.А.Маев. – Л.: Недра, 1990. – 274 с.

12 Руководящий технический материал. Расчет и проектирование камер сгорания для газотурбинных и парогазовых установок. РТМ 24.022.11-74.

13 Шнеэ Я.И. Газовые турбины. Часть вторая. Аэродинамические процессы, регенераторы, камеры сгорания и конструкции / Я.И. Шнеэ, Я.С. Хайновский – К.: Вища школа, 1977. – 280 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії
09.11.09

Рекомендована до друку
за результатами Міжнародної конференції
член-кореспондентом НАН України
Б. І. Басюком