

Розрахунки щодо вказаних зубчастих передач вказують на можливість зменшення їх ваги і габаритів від 25% до 40%. Окрім того, зниження ваги зубчастих передач внаслідок заміни лінійного контакту тіл точковим контактом призводить до суттєво зниження вартості зубчастих коліс, котрі зазвичай виготовляються зі сталей високої якості, наприклад 18ХНВА.

ЛІТЕРАТУРА

[1] Попов А.П. Контактная прочность зубчатых механизмов [Текст] / А.П. Попов – Николаев: Изд-во НУК, 2008с. – 580с.

[2] Попов А.П. Зубчатые механизмы с точечным контактом зубьев [Текст] / А.П. Попов – Николаев: Изд – во Атолл, 2010. – 774с.

Reduction of weight and dimensional parameters of ship gear transmissions

Popov Aleksey¹, Popova Larisa², Savenkov Oleg³, Kondratieva Anna⁴

¹⁻⁴Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Abstract. Reducing the dimensions of ship gears and, as the consequence, reducing their weight is carried out by reducing contact stresses by using gears with point contact of bodies instead of linear. Reducing the weight and size of ship gears by 25-40% leads to a significant reduction in the cost of gears.

Key words: gear transmission, reduction of dimensions, weight reduction, contact stresses, point contact.

УДК 621.45.034

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПЛАЗМОХІМІЧНИХ ДОБАВОК НА УТВОРЕННЯ ТОКСИЧНИХ КОМПОНЕНТІВ В ДВОПАЛИВНІЙ НИЗЬКОЕМІСІЙНІЙ КАМЕРІ ЗГОРЯННЯ ГТД ПРИ РОБОТІ НА ГАЗОПОДІБНОМУ ТА РІДКОМУ ПАЛИВАХ

Сербін С.І.¹, Діасамідзе Б.Т.²

¹доктор технічних наук, професор, директор Машинобудівного навчально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,

Україна, м. Миколаїв

serhiy.serbin@nuos.edu.ua

аспірант Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,

Україна, м. Миколаїв

badri.diasamidze@nuos.edu.ua

Анотація. Запропоновано ефективний спосіб організації робочого процесу в двопаливній газотурбінній камері згоряння. Проведено теоретичні дослідження впливу добавок плазмохімічних продуктів на утворення токсичних речовин при згорянні газоподібного та рідкого палив при їх подачі в канали аксіально-радіальних завихрювачів низькоемісійної камери згоряння.

Ключові слова: газотурбінний двигун; двопаливна низькоемісійна камера згоряння; процес горіння палив, плазмохімія.

Вступна частина. Дослідження робочих процесів камер згоряння (КЗ) ГТД показують, що одним з найбільш перспективних методів підвищення стійкості процесів є інтенсифікація спалювання вуглеводнів за допомогою низькотемпературної плазми [1–6].

Для управління стійкістю горіння паливо-повітряних сумішей в КЗ може застосовуватися нагрітий до високих температур за допомогою плазмотрона струмінь повітря, модульований на резонансній частоті КЗ. Зменшення амплітуди коливань тиску на резонансній частоті досягає до 10 дБ. Відзначається також стабілізуюча дія і немодульованого струменя плазмотрона, що пояснюється поширенням зони горіння уздовж струменя плазмового генератора. У Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова (НУК) протягом ряду років проводилися теоретичні та експериментальні дослідження з проблеми інтенсифікації горіння вуглеводневих палив. Виконаний комплекс досліджень щодо підвищення ефективності ГТД дозволив створити системи плазмохімічного займання і горіння, які значно підвищують надійність запуску енергоустановок, збільшують коефіцієнт повноти згоряння вуглеводневих палив, зменшують емісію канцерогенних речовин [7].

Основна частина. Метою роботи є дослідження впливу плазмохімічних добавок на утворення токсичних компонентів в двопаливній низькоемісійній камері згоряння при одночасній роботі на газоподібному та рідкому паливах. В якості об'єкта дослідження обрано процеси турбулентного сумішоутворення та горіння різних за фізичним складом палив в двопаливній газотурбінній камері згоряння з плазмохімічним стабілізатором.

Тривимірні розрахунки проведено з використанням розробленої математичної моделі двопаливної камери згоряння ГТД [7-8] з урахуванням рекомендацій [9-11].

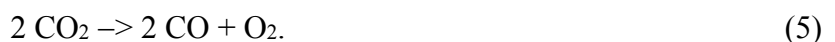
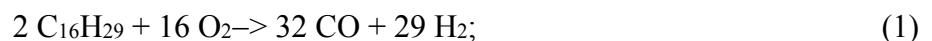
Кінетика хімічних процесів визначає швидкості реакцій окиснення і їх залежність від температури, тиску, концентрації і ряду інших факторів [12]. Акти хімічного перетворення відбуваються при зіткненнях молекул, при цьому їх кінетична енергія переходить в потенційну і витрачається на руйнування зв'язків в молекулах. Однак руйнування зв'язків відбуватиметься тільки тоді, коли величина потенційної енергії перевищить деяку межу – енергію активації E [13]. Таким чином, активація передбачає переведення середньої в енергетичному відношенні молекули в активну. Великою енергією активації E є результуюча енергія одноступінчастої бімолекулярної реакції між паливом і окиснювачем, що протікає за схемою: i кг окиснювача + 1 кг палива \rightarrow $(1 + i)$ кг продуктів реакції (i – стехіометричне співвідношення) [14].

Добавка плазмохімічних продуктів в зону основного горіння приводить до зниження енергії активації суміші внаслідок високої хімічної активності атомів, радикалів і продуктів термічного розкладання вуглеводнів. В результаті цього відбувається зміна розподілу параметрів потоку всередині розрахункової області [14].

Згідно з експериментальними даними, отриманими в роботі [14], побудована залежність, яка відображає вплив продуктів плазмохімічного стабілізатора на зменшення енергії активації ΔE результуючої реакції між паливом і окиснювачем

Для моделювання процесів окиснення вуглеводнів в камері згоряння запропоновано використовувати шестиступінчасту модель горіння легкого дистильного палива ($C_{16}H_{29}$) з додаванням газоподібного метану CH_4 . Коефіцієнти швидкостей реакцій представлено в табл. 1.

Кінетичний механізм горіння виглядає наступним чином:



Таблиця 1 – Константи швидкості для механізму окиснення дистильного палива та метану з урахуванням плазмохімічних добавок

Реакція	A	E, Дж/моль	β	Порядок реакції			
$2C_{16}H_{29} + 16 O_2 \rightarrow 32CO + 29 H_2$	1,1206e+19	1,2238e+08	2,541	$C_{16}H_{29}$	2,066	O ₂	1,953
$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$	9,1048e+14	2,7007e+08	0,467	H ₂	0,57	O ₂	1,178
$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$	6,2327e+14	7,914706e+07	-0,309	CO	1,736	O ₂	1,804
$2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$;	6,5724e+19	3,6931e+08	-0,068	H ₂ O	2,868		
$2CO_2 \rightarrow 2 CO + O_2$	6,7299e+11	3,5065e+08	-0,255	CO ₂	1,871		
$2CH_4 + O_2 \leftrightarrow 2CO + 4H_2O$	9,9126e+14	2,9825e+08	2,618	CH ₄	1,109	O ₂	1,572

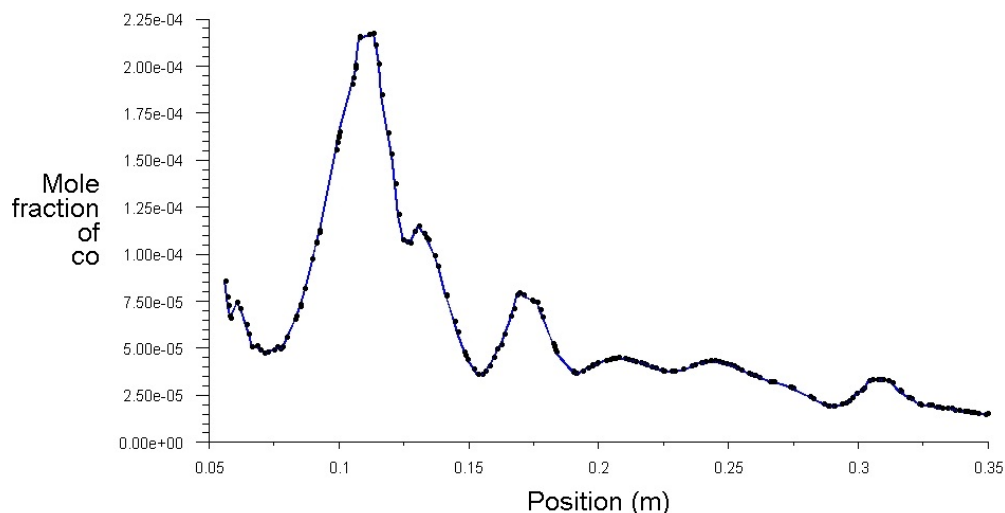
Плазмовий факел прискорює реакції окиснення пального (рідкого та газоподібного) за рахунок швидкого виникнення активних центрів – заряджених молекул, атомів, радикалів, іонів, внаслідок чого знижується енергія активації основної паливо-повітряної суміші.

Початкові параметри для розрахунку двопаливної камери згоряння ГТД наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Вхідні параметри для розрахунку камери на номінальному режимі

Назва параметру	Значення
1. Витрата рідкого палива через зовнішній завихрювач, кг/с	0,047025 (47,5 %)
2. Витрата рідкого палива через внутрішній завихрювач, кг/с	0,002475 (2,5 %)
3. Витрата метану через зовнішній завихрювач, кг/с	0,007425 (7,5%)
4. Витрата метану через внутрішній завихрювач, кг/с	0,042075 (42,5%)
5. Витрата повітря через жарову трубу, кг/с	4,35555
6. Тиск в камері, Па	2052300
7. Температура повітря на вході в камеру, К	770
8. Температура метану на вході в камеру, К	288

На рис. 1 та 2 представлено графіки зміни об'ємних концентрацій монооксиду вуглецю CO по довжині (осі) двопаливної камери згоряння.

**Рисунок 1 – Об'ємні концентрації CO по довжині двопаливної низькоемісійної камери згоряння ГТД без використання плазмохімічної активації**

Порівнюючи рис. 1 та 2 можемо відмітити, що при додаванні продуктів плазмохімічних реакцій β у кількості 0,005 (за об'ємом) отримано зменшення осереднених об'ємних концентрацій CO на виході двопаливної низькоемісійної камери згоряння ГТД з 28 ppm до 3 ppm, що свідчить про промотуючу дію плазмохімічних продуктів.

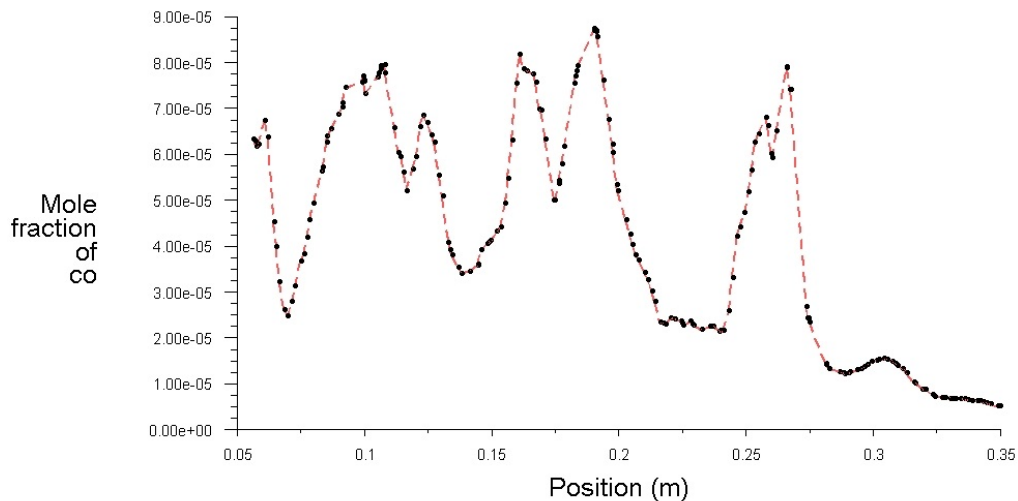


Рисунок 2 – Об'ємні концентрації CO по довжині двопаливної низькоемісійної камери згоряння ГТД з використанням плазмохімічної активації

Висновки: 1. Запропоновано підхід до моделювання плазмової активації горіння рідких та газоподібних палив в двопаливних низькоемісійних камерах згоряння ГТД, заснований на урахуванні впливу добавок плазмохімічних продуктів на енергію активації реакції окислення паливо-повітряної суміші. 2. Отримані результати тривимірних розрахунків процесів в двопаливній камері згоряння ГТД, що працює одночасно на рідному та газоподібному паливах, свідчать про інтенсифікуючий вплив продуктів плазмохімічних реакцій на процеси окиснення вуглеводневих палив та зменшення концентрацій монооксиду вуглецю в вихідному перерізі камери.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Сербин С.И. Разработка и исследование характеристик плазменно–топливных форсунок [Текст] / С.И. Сербин, Е.Ю. Кирчук // Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. Вестник НТУ «ХПИ»: Зб. наук. трудов. – Х.: НТУ «ХПИ», 2010. – № 3. – С.43–49.
- [2] Clements R.V. An Experimental Study of the ejection Mechanism for Typical Plasma Jet Igniter [Text] / R.V. Clements, P.R. Smy, J.D. Dale // Combustion and Flame. – 1981. – Vol. 42. – P. 287–295.
- [3] Weinberg F.J. Plasma Jets in Combustion [Text] / F.J. Weinberg // Int. Conference on Combustion in Engineering. – Oxford, 1983. – P. 65–72.
- [4] Harrison A.J. Flame Stabilization by Plasma Jets [Text] / A.J. Harrison, F.J. Weinberg // Proc. Roy. Soc. – London, 1971. – A321. – P. 95–103.
- [5] Hillard I.C. Effect of Nitrogen–Containing Plasmas on Stability., NO Formation and Sooting of Flames [Text] / I.C. Hillard, E.I. Weinberg // Nature. 1976, vol. 259. – № 5544.– P. 556–557.
- [6] Zhang I.X. An experimental Investigation of the Effect of a Plasma Jet on a Freely Expanding Methane–Air Flame [Text] / I.X. Zhang, R.M. Clements, P.R. Smy // Combustion and Flame. – 1983. – Vol. 50.– P. 99–106.
- [7] Романовський Г. Ф. Екологічно чисті камери згоряння газотурбінних установок: навч. посібник / Г. Ф. Романовський, С. І. Сербін. — Миколаїв: УДМТУ, 2002. — 84 с.
- [8] Діасамідзе Б. Т. Теоретичні дослідження двопаливної низькоемісійної камери згоряння газотурбінного двигуна / Б. Т. Діасамідзе, С. В. Вілкул, С. І. Сербін // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. : Power and Heat Engineering Processes and Equipment : зб. наук. пр. – Харків : НТУ "ХПІ", 2019. – № 1. – С. 27-33.
- [9] Launder B.E., Lectures in Mathematical Models of Turbulence. Academic Press, London / B.E. Launder, D. B. Spalding // — (1972).. <https://infoscience.epfl.ch/record/60257>

[10] Cherednichenko O. Investigation of the combustion processes in the gas turbine module of an FPSO operating on associated gas conversion products [Text] / Oleksandr Cherednichenko, Serhiy Serbin, Marek Dzida // POLISH MARITIME RESEARCH. – 2019. – 4 (104). – Vol. 26. – P. 149-156.

[11] Cherednichenko, O. Application of thermo-chemical technologies for converging of associated gas in diesel-gas turbine installations for oil and gas floating units / O. Cherednichenko, S. Serbin, M. Dzida // POLISH MARITIME RESEARCH. – 2019. – No 3 (103), Vol. 26. – P. 181–187. DOI: 10.2478/pomr-2019-0059.

[12] Романовський Г.Ф. Камери згоряння газотурбінних двигунів: Навчальний посібник [Текст] / Г.Ф. Романовський, С.І. Сербин – Миколаїв : УДМТУ, 2000. – 259 с.

[13] Померанцев В.В. Основы практической теории горения [Текст] / В.В. Померанцев – Москва: Энергия, 1973. – 264 с.

[14] Романовский Г.Ф. Исследование параметров потока в камере сгорания с плазмотроном [Текст] / Г.Ф. Романовский, С.И. Сербин // Судовые энергетические установки: Сборник науч. тр. – Николаев: НКИ, 1985. – С. 8–16.

Theoretical investigations of impact of plasma-chemical additives on toxic components formation in a dual-fuel low-emission gas turbine combustor while operating on gaseous and liquid fuels

Serbin S.¹, Diasamidze B¹

^{1,2}Admiral Makarov National University of Shipbuilding

An effective method of organizing the working process in a dual-fuel gas turbine combustor is proposed. Theoretical investigations of impact of plasma-chemical additives on toxic components formation in a dual-fuel low-emission gas turbine combustor while operating on gaseous and liquid fuels have been carried out for fuel injection into the channels of axial-radial swirlers of low-emission combustor.

Keywords: gas turbine engine; dual-fuel low-emission combustor; combustion process, low-temperature plasma.

УДК 621.438

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМБІНОВАНИХ ГАЗОПАРОТУРБІННИХ УСТАНОВОК ЗА РАХУНОК ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ

Соломонюк Д.М.¹

¹кандидат технічних наук, асистент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
denys.solomoniuk@nuos.edu.ua

Анотація. Розглянуто проблеми утилізації низькотемпературного тепла системи охолодження комбінованих газопаротурбінних установок. Для рішення цієї задачі запропоновано використати теплонасосні установки (ТНУ). Встановлено, що підвищення теплової ефективності установок досягається за рахунок вибору двохступінчастої схеми ТНУ та раціональної схеми їх підключення до обладнання системи охолодження.

Ключові слова: парогазова установка, газотурбінна установка, теплонасосна установка, система охолодження, тепла ефективність

Вступна частина. Коефіцієнт корисної дії комбінованих газопаротурбінних установок (КГПТУ) на сьогодні досягає 55 %, а у перспективі може перевищити 60 % [1, 2]. Істотним їх