

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА
МИКОЛАЇВСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ
ДЕПАРТАМЕНТ ОСВІТИ І НАУКИ
МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСНОЇ ДЕРЖАВНОЇ АДМІНІСТРАЦІЇ

ІННОВАЦІЇ В СУДНОБУДУВАННІ ТА ОКЕАНОТЕХНІЦІ

XVI Міжнародна науково-технічна конференція

МАТЕРІАЛИ

25–26 вересня 2025 рік

*Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9*



ВИДАВНИЦТВО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМ. АДМІРАЛА МАКАРОВА

2025

ОРГАНІЗАТОРИ КОНФЕРЕНЦІЇ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ
ДЕПАРТАМЕНТ ОСВІТИ І НАУКИ
МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСНОЇ ДЕРЖАВНОЇ АДМІНІСТРАЦІЇ

ПАРТНЕРИ КОНФЕРЕНЦІЇ

Міністерство освіти і науки України; Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України; ДП «Адміністрація морських портів» (Україна); ДП «Адміністрація річкових портів» (Україна); ДП «Дослідно-проектний центр кораблебудування» (Україна); Південний науковий центр НАН України і МОН України (Україна); Головне управління Державної служби з надзвичайних ситуацій України у Миколаївській області (Україна); Національний університет «Одеська національна академія» (Україна); Одеський національний морський університет (Україна); Черкаський державний технологічний університет (Україна); Національний авіаційний університет (Україна); Компанія «АМІКО ГРУПП» (Україна); Морське інженерне бюро (Україна); АТ «Завод «Екватор» (Україна); Асоціація ветеранів Військово-морських сил України (Україна); Харбінський інженерний університет (КНР); Університет науки і технологій Цзянсу (КНР); Таджикиський технічний університет ім. академіка М.С. Осими (Таджикістан); Кошалінський технічний університет (Польща); Гданьський технологічний університет (Польща); Празький університет хімії і технології (Чеська республіка); Батумський навчально-навігаційний університет (Грузія); ДУ «Національний антарктичний науковий центр».

ІНФОРМАЦІЙНІ ПАРТНЕРИ

ТОВ «Видавничий дім «Гельветика»; науковий журнал «Shipbuilding & marine infrastructure»; журнал «Судноплавство»

Відповідальний за випуск
Павлов Геннадій Вікторович

*Редакційна колегія не несе відповідальності за достовірність наведених даних та посилань.
Матеріали публікуються в авторській редакції*

Інновації в суднобудуванні та океанотехніці : XVI Міжнародна науково-технічна
I-66 конференція : матеріали. – Миколаїв : НУК, 2025. – 1256 с.

ISBN 978-966-321-487-0

У збірнику наведені матеріали XVI Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». Збірник становить інтерес для наукових працівників, викладачів, інженерів та студентів.

УДК 001.895:629.5

ISBN 978-966-321-487-0

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2025

МОДЕЛЮВАННЯ ГОРІННЯ ТА СТУПІНЧАСТЕ ПІДВЕДЕННЯ ПОВІТРЯ В ГАЗОТУРБІННІЙ СИСТЕМІ НА ОСНОВІ АМІАКУ

Сербін С.¹, Личко Б.¹, Чен Д.², Янг З.²

¹Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна

²Університет науки і технології провінції Цзянсу, КНР

Ця робота досліджує можливості застосування аміаку як палива для низьковуглецевих гібридних енергетичних систем наступного покоління, що містять технологію газових турбін. Головною метою є оцінка емісійних характеристик камери згоряння газової турбіни, що працює на аміаку, за допомогою детального моделювання хімічної кінетики. Для моделювання окиснювальної поведінки аміаку в умовах газової турбіни використано чотири різні механізми реакцій, які містять від 71 до 286 елементарних реакцій. Результати є цінним внеском для розробки нових конфігурацій камер згоряння газових турбін, спрямованих на мінімізацію викидів оксиду азоту, одночасно сприяючи використанню аміаку як чистого енергоносія.

Ключові слова: аміак; газотурбінний двигун; камера згоряння; альтернативне паливо; моделювання.

UDC 621.45.034

RESEARCH OF WORKING PROCESSES OF ANODE-GAS AFTERBURNERS FOR SOFC-GT HYBRID SYSTEMS

Serbin S.I.

*Professor of the Department of Turbines
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
serhiy.serbin@nuos.edu.ua*

Patlaichuk O.V.

*Postgraduate student of the Department of Turbines
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
alexpatlaichuk@gmail.com*

Abstract. A study of the working processes of different types of anode-gas afterburners for the ship's hybrid energy system "solid oxide fuel cells – gas turbine" has been carried out.

Key words: solid oxide fuel cell; gas turbine; marine power engineering; hybrid system; afterburner.

The design and research of hybrid energy systems combining solid oxide fuel cells (SOFC) and gas turbines (GT) are relevant for the comprehensive provision of electricity to ships and marine infrastructure. Such energy systems allow not only to improve the energy efficiency and reliability of equipment, but also to significantly improve the environmental situation in the areas of their operation.

Afterburning of exhaust gases of fuel elements, which have a high temperature but very low calorific value and are ballasted with water vapor, in such hybrid systems must be carried out in special afterburners (combustion chambers), which can use various technologies for burning combustible components [1; 2].

To determine the most effective exhaust gas afterburning technology, a three-dimensional CFD method of working processes analysis was chosen.

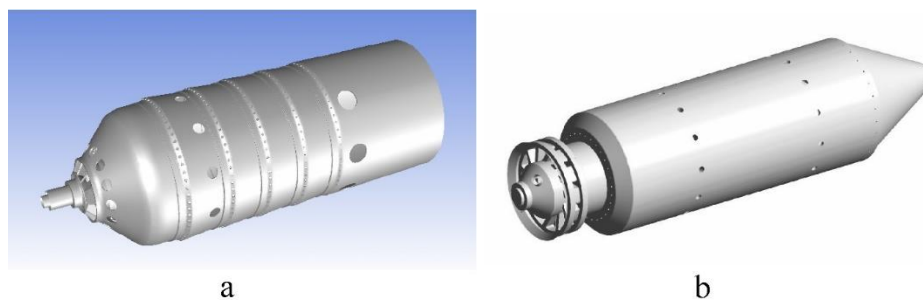
A mathematical model of the exhaust gas afterburner has been developed based on solving a system of equations that describes the convective and diffusive concentration transfer for each of the components of the reacting mixture in a turbulent system. A detailed description of the mathematical model is given in [3; 4].

When performing calculations, a scheme of combustion of chemical reagents was used, which contains 58 chemical reactions with 18 chemical components: CH_4 , H_2 , CO , O_2 , H_2O , CO_2 , H , O , OH , HO_2 , CH_3 , HCO , CH_2 , CH , CH_2O , H_2O_2 , N , N_2 [5].

Two structural schemes of the exhaust gas afterburner were selected as objects of research (Fig. 1):

a) traditional diffusion-type scheme, based on the use of the principles of turbulent combustion of hydrocarbons in gas turbine combustion chambers;

b) a scheme with preliminary formation of the fuel-oxidizer mixture in the channels of the front device of the afterburner, which was proposed and considered by the authors in [6; 7].



*Fig. 1. Structural schemes of the exhaust gas afterburner:
a – traditional (diffusion) type; b – proposed by the authors*

In the first case, the fuel cell's exhaust anode gases are directed to the afterburner chamber nozzle and flow through a series of holes into the combustion zone, where the primary oxidant (cathode gases) is also supplied through a vane swirler and radial holes in the flame tube.

In the second case, the anode gases are directed through special pipelines to the area of the front device of the afterburner, where part of the primary oxidant (cathode gases) is directed for the preliminary formation of a fuel-oxidant mixture. Then this fuel-oxidant mixture is mixed with the second part of the primary oxidant at the outlet of the axial swirler and directed into the flame tube for final afterburning.

Calculations of exhaust gas burnout in afterburners of various types were carried out for a combustible mixture of the following composition (mass fractions): $\text{H}_2 = 1.177\%$, $\text{H}_2\text{O} = 38.876\%$, $\text{CO} = 7.064\%$, $\text{CO}_2 = 52.883\%$. Oxidant composition (mass fractions): $\text{O}_2 = 16.53\%$, $\text{H}_2\text{O} = 3.84\%$, $\text{CO}_2 = 0.52\%$, $\text{N}_2 = 79.11\%$. The oxidizer flow rate after the cathode section of the fuel cell was 2.8254 kg/s , its temperature was 1193 K ; the exhaust gas flow rate after the anode section of the SOFC was taken to be 0.4077 kg/s , their temperature was 1193 K .

As a result of three-dimensional calculations using the Ansys Fluent software package, data on the working process of two different exhaust gas afterburners of solid oxide fuel cells were obtained.

Fig. 2 shows the distribution of temperatures and mass fractions of combustible components (CO and H_2) along the length of the fuel combustion devices. It can be seen that in the diffusion-type afterburner, when exhaust gases flow out of the nozzle at a high speed, which is determined by the diameters and number of holes in it, the combustible elements are concentrated on the axis of the chamber and the degree of their burnout remains low. Thus, the traditional gas turbine combustion chamber of the diffusion type cannot be used as an afterburner of exhaust gases for solid oxide fuel elements without appropriate modification of its front device, swirler and nozzle.

In the afterburner with the preliminary formation of the fuel-oxidizer mixture, the combustible components burn out intensively almost after the swirler. The concentrations of carbon monoxide and molecular hydrogen at the outlet are practically zero, which indicates the high efficiency of the anode gas burning processes.

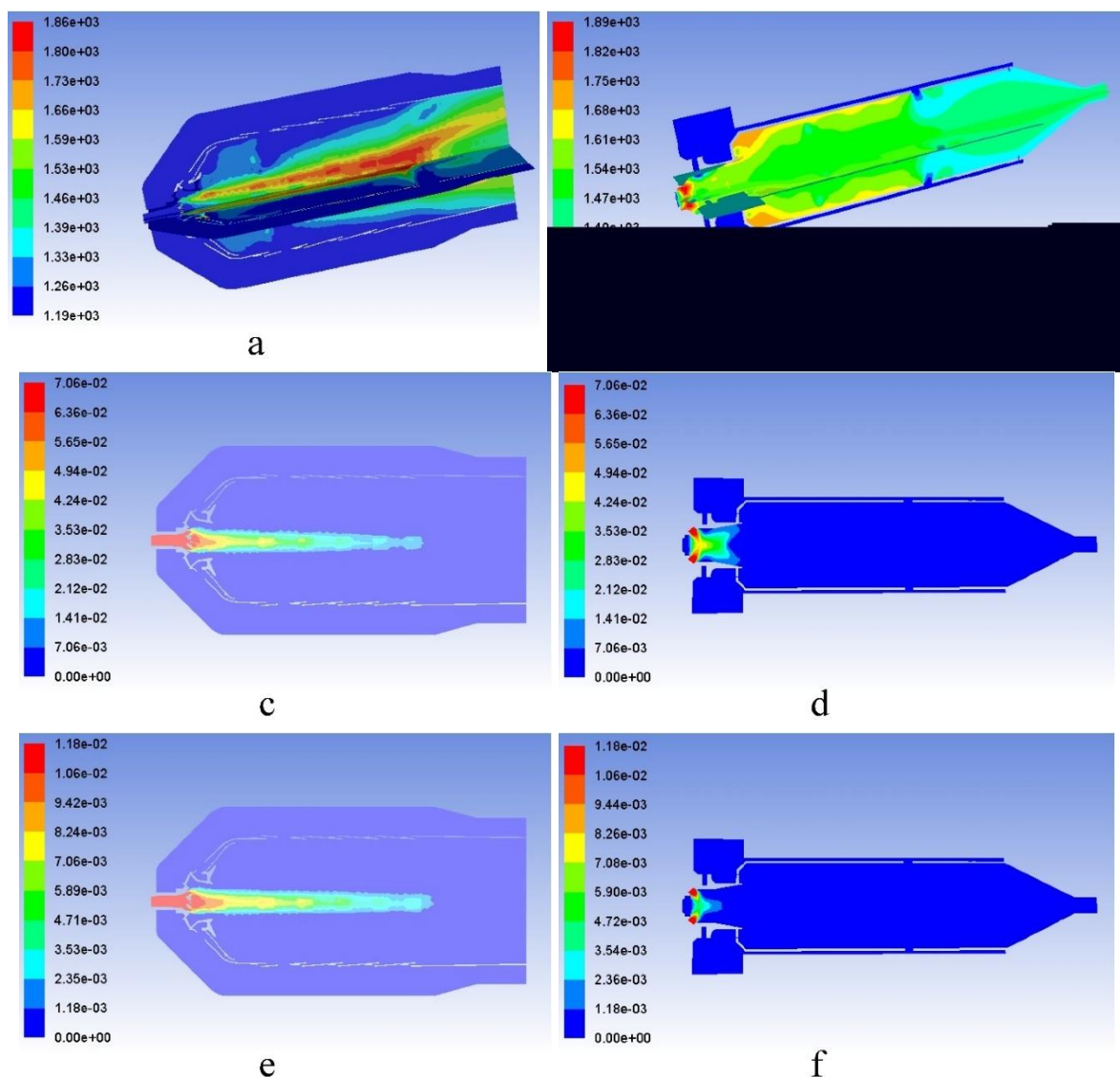


Figure 2 – Distribution of temperatures, K (a, b), mass fractions of CO (c, d) and H_2 (e, f) along the length of afterburners, respectively, for the diffusion and proposed types

Fig. 3 shows the oxidizer track lines, the working fluid velocity vectors and the distribution of water vapor mass particles along the length of the proposed afterburner. Due to the intensive swirling of the oxidizer in the main part of the afterburner flame tube, a zone of reverse flows is formed, where

mainly hot products of complete combustion circulate, which provide reliable and stable ignition of fresh portions of combustible components of exhaust gases.

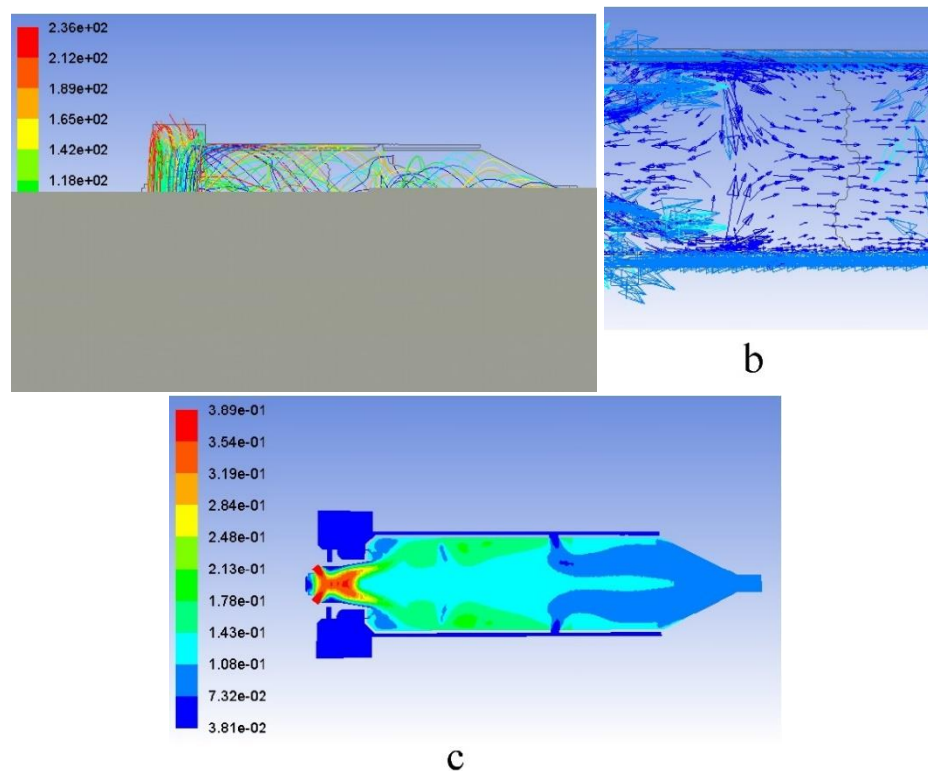


Figure 3 – Oxidizer track lines (a), working fluid velocity vectors (b) and distribution of H_2O mass fractions (c) along the length of the afterburner

Conclusions:

1. To calculate the working process in afterburners of various types for the SOFC–GT hybrid system, a mathematical model was used, based on solving equations describing the convective and diffusive transport of component concentrations in a turbulent reacting system.
2. Three-dimensional calculations of the aerodynamics of flows and burnout of exhaust gases from SOFCs in diffusion-type afterburners and afterburners with preliminary formation of a fuel-oxidizer mixture were performed.
3. It was determined that the afterburner scheme proposed by the authors with the preliminary formation of a fuel-oxidizer mixture ensures complete afterburning of the combustible components of the exhaust gases of solid oxide fuel cells.

References

- [1] Pianko-Oprych P., Jaworski Z. Numerical investigation of a novel burner to combust anode exhaust gases of SOFC stacks. *Polish Journal of Chemical Technology*. 2017, vol. 19, no. 9, pp. 20-26.
- [2] Yanyi Y., Weijuan Y., Jingyi C., Xiaoyu Z., Junhu Z. Numerical investigation on the exhaust gas combustion of an SOFC in a catalytic multichannel burner. *Frontiers in Energy Research*. 2024, vol. 12, 1322956.
- [3] Serbin S., Cherednichenko O., Lychko B., Patlaichuk V., Ratushniak I. Characteristics of the afterburner for the SOFC-GT marine hybrid power system. *Transport Means: Proceedings of the International Conference*, Palanga, Lithuania, 2023, vol. 1, pp. 374-379.

[4] Matveev I. B., Serbin S. I., Vilkul V. V., Goncharova N. A. Synthesis gas afterburner based on an injector type plasma-assisted combustion system. *IEEE Trans. Plasma Sci.* 2015, vol. 43, no. 12, pp. 3974-3978.

[5] Bilger R. W., Starnes S. H., Kee R. J. On reduced mechanisms for methane-air combustion in nonpremixed flames. *Combustion and Flame*. 1990, vol. 80, pp. 135-149.

[6] Сербін С. І., Патлайчук О. В. Дослідження ефективності допалювача відхідних газів твердооксидного паливного елемента. *Збірник наукових праць НУК*. 2024. № 1. С. 62-68.

[7] Сербін С. І., Ващиленко М. В., Патлайчук О. В. Розробка конструкції допалювача відхідних газів для суднової системи SOFC-GT. *Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали XV Міжн. наук.-техн. конференції*. Миколаїв: НУК, 2024. С. 165-167.

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ДОПАЛЮВАЧІВ АНОДНИХ ГАЗІВ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ SOFC-GT

Сербін С. І., Патлайчук О. В.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв, Україна.

Анотація. Виконано дослідження робочих процесів різних типів допалювачів анодних газів суднової гібридної енергетичної системи «твердооксидні паливні елементи – газова турбіна».

Ключові слова: твердооксидний паливний елемент; газова турбіна; суднова енергетика; гібридна система; допалювач випускних газів

УДК 65.9

ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ ІНЖЕНЕРІВ-МЕХАНІКІВ ДЛЯ СЕУ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬ АМІАК

¹Кісетов Ю.В., ²Личко Б.М.

¹ кандидат технічних наук,

доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Національного університету кораблебудування

імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

kisetov499ukr.net

² кандидат технічних наук,

завідувач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики

Національного університету кораблебудування

імені адмірала Макарова

м. Миколаїв, Україна

bogdan.lychko@gmail.com

Анотація. Розглянуто питання необхідності переробки навчальних програм підготовки і підвищення кваліфікації суднових механіків, пов'язані з перспективами впровадження технологій використання аміаку на судні. Проаналізовано розуміння, навички, перелік знань, якими повинен володіти судновий механік.

Ключові слова: (використання аміаку на судні, підготовка суднових механіків, необхідні спеціальні знання екіпажу).