



ПАРТНЕРИ КОНФЕРЕНЦІЇ



ІНФОРМАЦІЙНІ ПАРТНЕРИ



**SHIPBUILDING
& MARINE INFRASTRUCTURE**
СУДОБУДОВАННЯ І МОРСЬКА ІНФРАСТРУКТУРА



СУДОХОДСТВО
SHIPPING

Науково-дослідна частина
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова

Просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025
Тел.: (0512) 70-91-04; <http://conference.nuos.edu.ua>
e-mail: conference@nuos.edu.ua

ІННОВАЦІЇ В СУДНОБУДУВАННІ ТА ОКЕАНОТЕХНІЦІ

МАТЕРІАЛИ XV МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

2024



НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

ІННОВАЦІЇ В СУДНОБУДУВАННІ ТА ОКЕАНОТЕХНІЦІ

МАТЕРІАЛИ

XV МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

26-27 вересня 2024 року



Миколаїв ■ 2024

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

XV Міжнародна науково-технічна конференція

МАТЕРІАЛИ

26–27 вересня 2024 рік

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



ВИДАВНИЦТВО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМ. АДМІРАЛА МАКАРОВА

2024

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, ректор (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 : XV Міжнародна науково-технічна
I-66 конференція : матеріали. – Миколаїв : НУК, 2024. – 1032 с.

ISBN 978-966-321-473-3

У збірнику наведені матеріали XV 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 978-966-321-473-3

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2024

УДК 621.45.034

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДОПАЛЮВАННЯ ГАЗІВ ДЛЯ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ «ТВЕРДООКСИДНИЙ ПАЛИВНИЙ ЕЛЕМЕНТ – ГАЗОВА ТУРБІНА»**Сербін С. І.***доктор технічних наук,
професор кафедри турбін**Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
serhiy.serbin@nuos.edu.ua***Патлайчук О. В.***аспірант кафедри турбін**Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
м. Миколаїв, Україна
alexpatlaichuk@gmail.com*

Анотація. Проведене математичне моделювання процесу спалювання горючих складових відхідних газів паливних елементів в допалювачі ежекторного типу. Розрахунки параметрів паливоспалюючого пристрою дозволили визначити основні напрями підвищення їх ефективності в умовах низької теплотворної здатності відхідних газів.

Ключові слова: твердооксидний паливний елемент; газова турбіна; суднова енергетика; допалювач відхідних газів; математичне моделювання.

Математичне моделювання процесу допалювання відхідних газів для суднової гібридної системи «твердооксидний паливний елемент – газова турбіна» (SOFC-GT) виконувалось для конструкції допалювача, розробленої авторами і описаної в роботі [1].

Математична модель допалювання розроблена на основі розв'язування системи рівнянь, що описує конвективний і дифузійний перенос концентрацій для кожного з компонентів реагуючої суміші. Використовуються рівняння нерозривності, збереження кількості руху, збереження енергії, переносу хімічних компонентів суміші, а також рівняння моделі турбулентності.

При проведенні розрахунків використано схему горіння хімічних реагентів kee58, запропоновану в [2]. Вона містить 58 хімічних реакцій з 18 хімічними компонентами: 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 .

Оскільки кінетичний механізм для спалювання відхідних газів містить велику кількість реакцій, то для своєї числової реалізації він потребує моделі горіння, яка в змозі прогнозувати особливості хімічного реагування в допалювачі в умовах турбулентного перемішування. Такою моделлю є модель EDC (Eddy-Dissipation-Concept), яка враховує взаємодію кінетики і турбулентності потоків [3]. Дана модель допускає, що реакції проходять в невеликих турбулентних структурах, званих «дрібномасштабними реакторами». Швидкості реакцій визначаються з рівняння Арреніуса і інтегруються за допомогою числових методів.

Використана в даній роботі математична модель емісії оксидів азоту являє собою систему рівнянь масового переносу, яка враховує конвекцію, дифузію, а також утворення і розкладання оксидів азоту і споріднених сполук [4].

Розрахунки аеродинамічної структури потоку та вигорання відхідних газів SOFC в допалювачі проведені для горючої суміші такого складу (масові частки): $\text{H}_2 = 1,177\%$, $\text{H}_2\text{O} = 38,876\%$, $\text{CO} = 7,064\%$, $\text{CO}_2 = 52,883\%$. Склад окислювача (масові частки): $\text{O}_2 = 16,53\%$, $\text{H}_2\text{O} = 3,84\%$, $\text{CO}_2 = 0,52\%$, $\text{N}_2 = 79,11\%$.

Витрата окислювача після катодної секції паливного елемента дорівнювала $2,8254 \text{ кг/с}$, його температура 1193 К ; витрата відхідних газів після анодної секції паливного елемента приймалася рівною $0,4077 \text{ кг/с}$, їх температура 1193 К . Тривимірні розрахунки проведено з використанням кінцево-різницевої розрахункової сітки, що складалася з $1,55 \text{ млн.}$ тетраедричних елементів.

В результаті проведення тривимірних розрахунків з використанням програмного комплексу Ansys Fluent [5] із застосуванням кінетичного механізму [2] отримано нові дані про робочий процес допалювача відхідних газів твердооксидного паливного елемента.

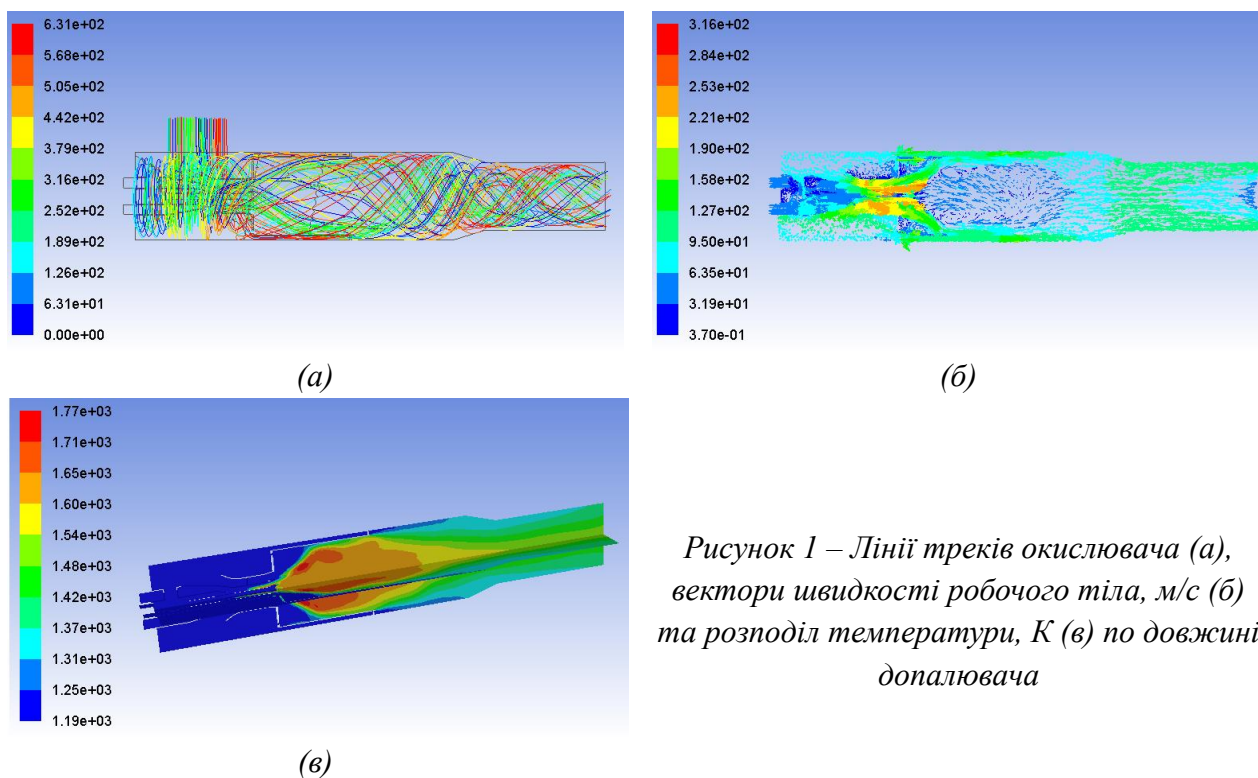


Рисунок 1 – Лінії треків окислювача (а), вектори швидкості робочого тіла, м/с (б) та розподіл температури, К (в) по довжині допалювача

На рис. 1 наведено лінії треків окислювача, вектори швидкості робочого тіла, а також розподіл температури по перерізах допалювача. В даній конструкції за рахунок взаємодії потоків окислювача, які проходять відповідно через завихрювач, ежектор та радіальні отвори в первинній зоні паливоспалюючого пристрою, має місце утворення інтенсивної зони рециркуляції (рис. 1, а, б) в головній частині допалювача. Ця центральна зона рециркуляції достатньо сильно розвинута і служить для ефективної стабілізації положення фронту полум'я (рис. 1, в).

На рис. 2 приведені розподіл швидкості потоку та масових часток горючих компонентів: оксиду вуглецю CO і водню H_2 , а також молекулярного кисню O_2 по довжині допалювача. Через наявність протяжної рециркуляційної зони (рис. 2, а), де знаходяться продукти згоряння з відносно високою температурою, горючі компоненти (CO та H_2) інтенсивно вигоряють (рис. 2, б, в) в головній частині допалювача при взаємодії з киснем (рис. 2, г).

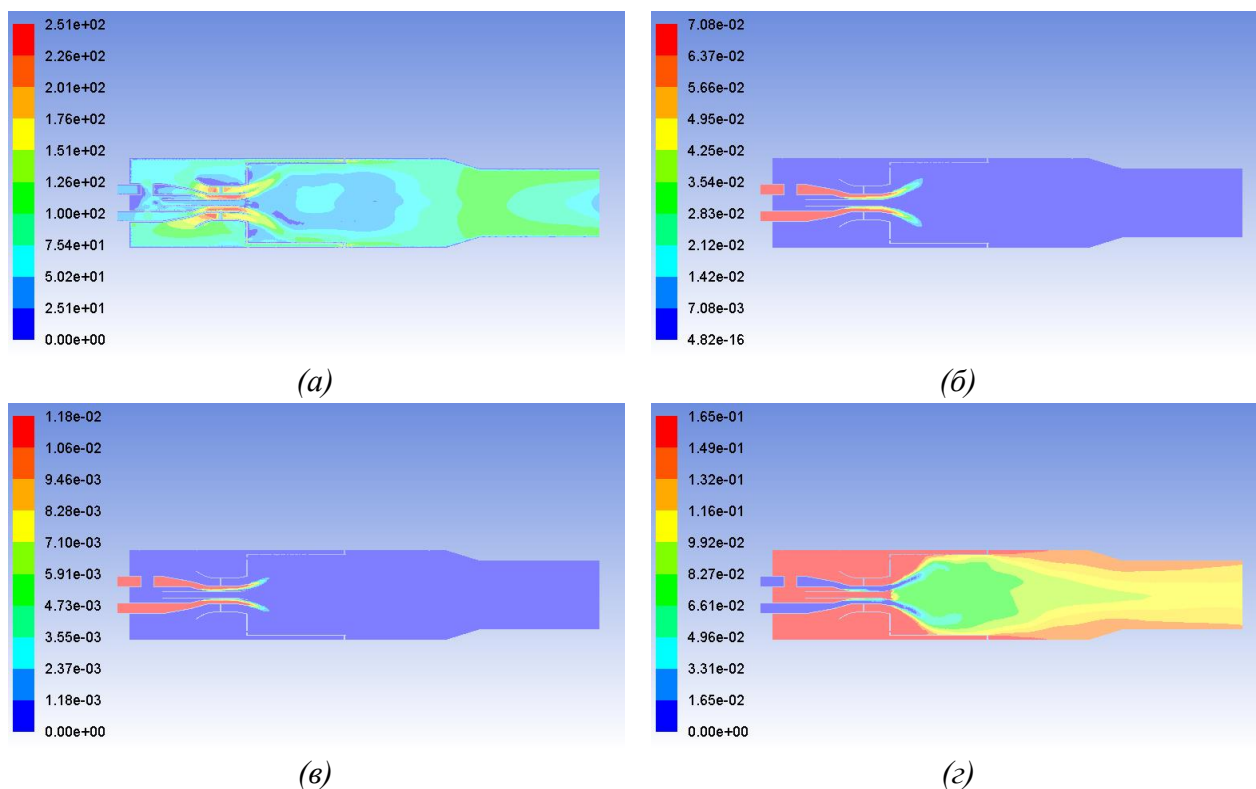


Рисунок 2 – Розподіл швидкості, м/с (а), масових часток: CO (б), H_2 (в), O_2 (г) по довжині допалювача

Зміну масових часток продуктів повного згоряння (H_2O , CO_2), активних радикалів (O, OH, H) та оксиду азоту NO по перерізах допалювача представлено на рис. 3.

Видно, що кількість продуктів повного згоряння визначається не тільки процесами допалювання горючих компонентів анодних газів, але й початковим їх вмістом в горючій суміші. З активних проміжних з'єднань найбільшу концентрацію має гідроксил OH. Відмітимо, що нестабільні з'єднання (радикали) через високу температуру відхідних газів SOFC починають утворюватись ще в внутрішніх секціях ежектора, що обумовлює початок процесів допалювання всередині ежектора. Це може призвести до перегріву елементів конструкції допалювача та потребує додаткових досліджень з метою усунення цього явища.

Оксид азоту NO утворюється головним чином в зонах найбільших температур. Але оскільки максимальні температури горіння всередині допалювача не перевищують 1770 K, то концентрації оксиду азоту по його перерізах і на виході мінімальні.

Результати розрахунків свідчать про те, що запропонована конструкція допалювача забезпечує стабільне і повне вигорання горючих компонентів відхідних анодних газів твердооксидних паливних елементів в умовах їх низької теплотворної здатності і великої кількості водяної пари.

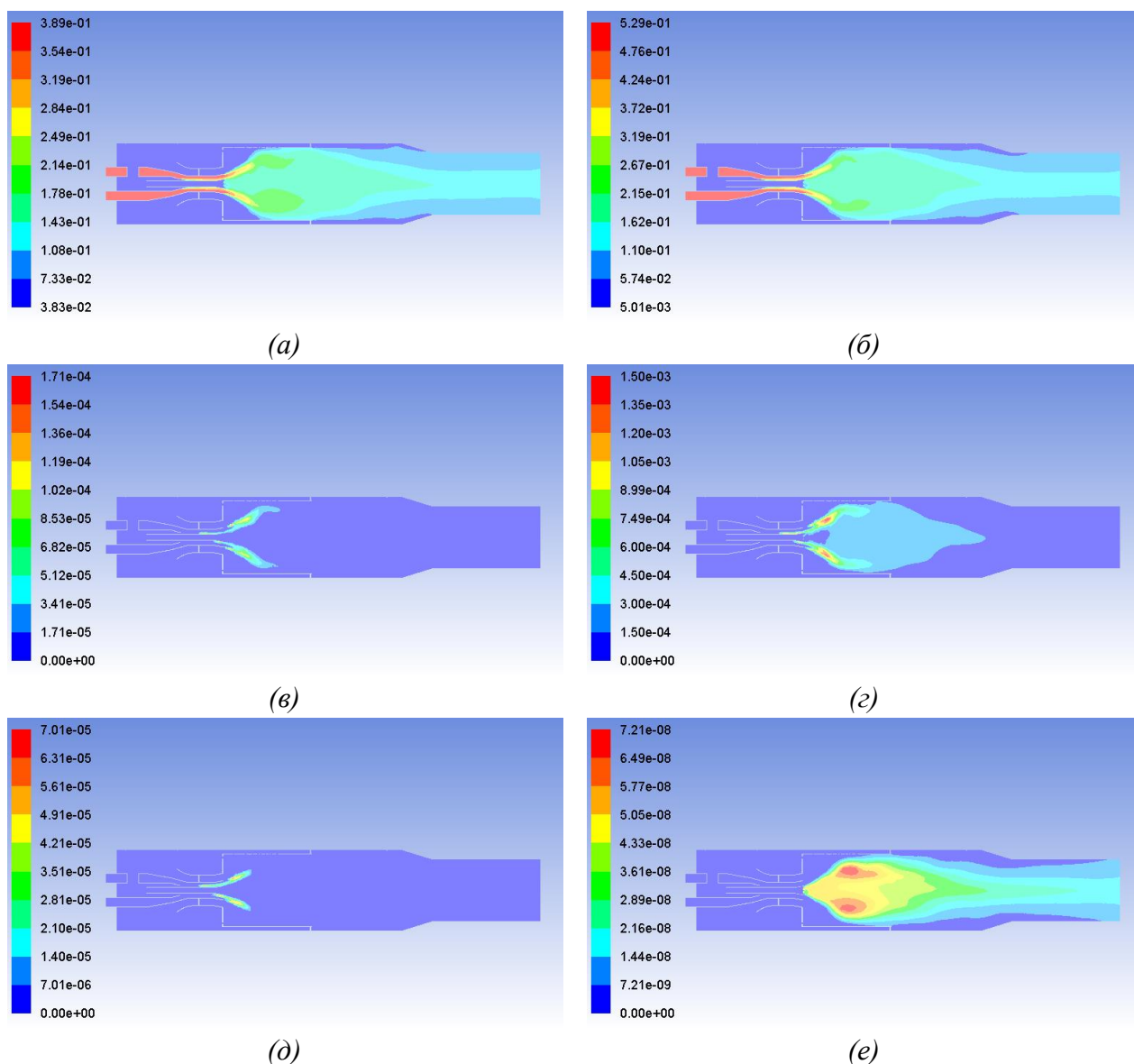


Рисунок 3 – Розподіл масових часток: H_2O (а), CO_2 (б), O (в), OH (г), H (д), NO (е)
по довжині допалювача

Література

- [1]. Сербін С.І., Патлайчук О.В. Дослідження ефективності допалювача відхідних газів твердооксидного паливного елемента. *Збірник наукових праць НУК*. 2024. № 1. С. 62–68.
- [2]. Bilger R.W., Stamer S.H., Kee R.J. On Reduced Mechanisms for Methane-Air Combustion in Nonpremixed Flames. *Combustion and Flame*. 1990. Vol. 80. P. 135–149.
- [3]. Magnussen B.F., Hjertager B.H. On mathematical models of turbulent combustion with special emphasis on soot formation and combustion. *16-th Symp. (Int.) on Combustion: the Combustion Institute*. 1977. Vol. 16. No. 1. P. 719–729.
- [4]. Serbin S.I., Kozlovskyi A.V., Burunsuz K.S. Investigations of non-stationary processes in low emissive gas turbine combustor with plasma assistance. *IEEE Trans. Plasma Sci.* 2016. Vol. 44. No. 12, P. 2960–2964.
- [5]. ANSYS Fluent Theory Guide. ANSYS, Inc., 2013. 780 p.

MATHEMATICAL MODELING OF GAS AFTERBURNING FOR THE HYBRID SYSTEM “SOLID OXIDE FUEL CELL – GAS TURBINE”

Serbin S., Patlaichuk O.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv, Ukraine

Abstract. Mathematical modeling of the process of combustion of combustible components of waste gases of fuel cells in an ejector type afterburner has been carried out. Calculations of the parameters of the combustion device made it possible to determine the main directions of increasing their efficiency in conditions of low calorific value of waste gases.

Keywords: solid oxide fuel cell; gas turbine; marine power engineering; off-gas burner; mathematical modeling.

UDC 621.181.27

EFFICIENCY OF METHODS OF WATER INPUT INTO THE FLAME ON COMBUSTION QUALITY AND NITROGEN OXIDE EMISSIONS

O. Kolbasenko

Ph.D student¹

B. Dymo

Cand. of Sciences (Tech), Prof.²

¹ *National Technical University “Kharkiv Polytechnical Institute”, Ukraine*

² *Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine*

¹ *orden2020@gmail.com, ² dymobv@gmail.com*

Abstract. The paper presents the results of comparative studies of the combustion quality and the values of the nitrogen oxides concentrations during the combustion of fuel oil M40, with the injection of water vapor into its combustion zone and burning water-fuel emulsions with water content $W^r = 15\%$ and 30% , carried out on an experimental installation. The analysis of the obtained data showed that when burning the water fuel emulsion with $W^r = 30\%$, the best combustion quality indicators were obtained.

Keywords: water in the combustion zone, water fuel emulsion, microexplosions.

Introduction. In order to solve the problems that have arisen, related to the increase in the cost of fuel, environmental protection, measures aimed at reducing the emission of harmful substances and increasing the efficiency of ship power plants at the same time are of great importance. due to the improvement of combustion processes. Thermochemical methods are currently considered one of the most effective and economical methods of reducing nitrogen oxide concentrations in thermal power engineering. Water supply to the reaction zone is mainly carried out in two ways: by injecting steam or water into the air or into the core of the torch, and by using water fuel emulsions (WFE).

The aim of the work – is to compare indicators of combustion quality and concentrations of nitrogen oxides with different methods of introducing water into the combustion zone.