



НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ КОНФЕРЕНЦІЇ

Національний університет кораблебудування

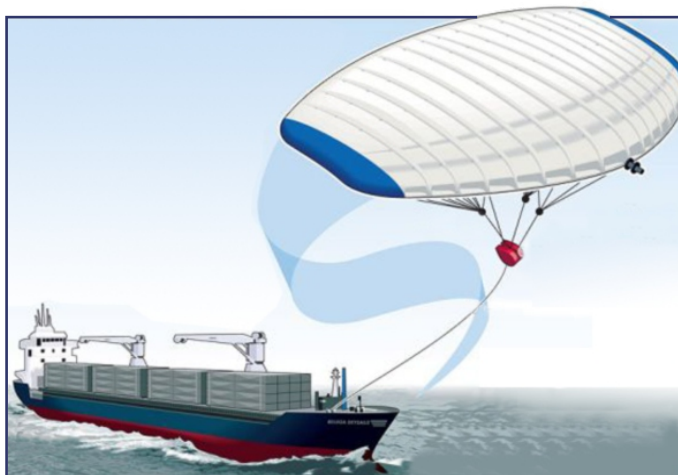
**СУДНОВА ЕНЕРГЕТИКА:
СТАН ТА ПРОБЛЕМИ**

МАТЕРІАЛИ

**ХІ МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ**

**присвяченої пам'яті професора
Горбова Віктора Михайловича**

07–08 листопада 2023 р.



Миколаїв ■ 2023

Lychko B.M. candidate of technical sciences, associate professor, acting the head of the department operation of ship power plants and thermal power engineering Admiral Makarov National Shipbuilding University Mykolaiv, Ukraine
bogdan.lychko@gmail.com

Abstract. Five methods of reducing fuel consumption and emissions of toxic oxides with waste gases of a low-speed engine are analyzed, and attention is focused on the implementation of these methods on ships in the near future.

Key words: low-speed engine, reduction of fuel consumption, toxic emissions, implementation on ships, IMO.

УДК 621.45.034

МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВОДНЕВОГО ПАЛИВА ПРИ РОБОТІ КАМЕРИ ЗГОРЯННЯ ГІБРИДНОЇ ГАЗОПАРОВОЇ УСТАНОВКИ

С. І. Сербін, д.т.н., професор¹, Б. Т. Діасамідзе, Ph.d., асистент²

О.А. Шмарков, аспірант³

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Україна, м. Миколаїв

¹ serhiy.serbin@nuos.edu.ua, ² badri.diasamidze@nuos.edu.ua,

³ shmarkov.oleksandr@gmail.com

Анотація. Розглянуто питання екологічного впливу гібридної газопарової установки з впорскуванням пари у камеру згоряння, яка працює на водні, представлено контури температур у жаровій трубі та концентрацій шкідливих речовин у її вхідному перерізі.

Ключові слова: газотурбінний двигун; зелена енергетика; водень; гібридний цикл; камера згоряння; навколишнє середовище.

Вступна частина. Вирішуючи актуальні екологічні питання, інженери-турбінобудівники шукають нові поєднання методів: підвищення енергетичних показників та одночасного зниження емісії шкідливих речовин. Поставлених цілей можливо досягти різними шляхами, але вплив одних підходів може позитивно впливати на певні показники установок та погіршувати стан інших або навпаки. Тому ціллю розробки нових систем та установок стає поєднання декількох способів підвищення ефективності та екологічності, які б своїми перевагами компенсували негативний вплив один на одного, що у загальному рішенні дає бажаний результат.

Ціль роботи – визначення можливостей поєднання у одній установці впорскування водяної пари у камеру згоряння з використанням водню у якості палива, а також аналіз екологічного ефекту такого підходу.

Основна частина. Виходячи зі стану сучасної економіки та промисловості, видобуток нафти і газу залишається одним з основних видів сировини для сучасної енергопромисловості та суттєво впливає на них [1]. На противагу традиційним вуглеводневим видам палива у світі поширюються тенденції використання альтернативних палив, таких як водень, рослинні олії, синтетичний гас, етанол, метанол, біодизель та інші [2].

Ефективність використання енергії палива розглядається, як один з ключових аспектів у питанні підвищення екологічних показників енергетичних установок через її зв'язок з так званим індексом EEDI (Energy Efficiency Design Index) [1]. Шляхом зниження значення питомої витрати палива можливо досягти зменшення маси виробленого судном парникового газу, тим самим зменшуючи негативний екологічний вплив. Також сучасні тенденції для зниження емісії CO₂ пропонують використовувати паливні суміші вуглеводнів

з не вуглеводними паливами або використовувати альтернативні види палива, які у своєму складі взагалі не містять вуглець [3].

Особливої уваги, у рамках створення декарбонізованих енергетичних систем, заслуговує варіант використання у якості палива водню, інтерес до якого останнім часом зростає. За своїми характеристиками водень має як переваги, так і недоліки [5].

Враховуючи високу температуру горіння водню та високу швидкість розповсюдження його полум'я, одним із підходів для отримання стійкого процесу горіння та зниження емісії оксидів азоту є застосування технології впорскування пари у камеру згоряння (так звані установки типу «Водолій» або STIG) [6,7].

Отже поєднання у одній установці таких підходів є перспективним як з точки зору ефективності, так і з точки зору відповідності встановленим вимогам щодо викидів шкідливих речовин. Дослідження таких схем представлено у [8,9].

Орієнтуючись на можливе застосування таких гібридних газопарових установок на судах типу FPSO [10] та базуючись на результатах розрахунків у роботі [9], обрано режим роботи установки на рівні потужності 100 МВт. Для проведення розрахунків було розроблено математичну модель робочого процесу у камері згоряння, створено 3-D модель камери та за допомогою сучасних розрахункових CFD комплексів (Ansys Fluent) проведено ряд числових експериментів. Під час цих розрахунків досліджувалось вплив масової частки екологічного пари G_{env_s} , яка подається у первинну зону згоряння у діапазоні від 6 до 15 % з кроком у 3 % від загальної витрати повітря через камеру згоряння G_c .

За результатами розрахунків побудовано графік залежності викидів оксидів азоту від витрати екологічної пари відносно витрати повітря через компресор (рис. 1).



Рис. 1 – Залежність викидів оксидів азоту від витрати екологічної пари відносно витрати повітря через компресор

Аналізуючи побудований графік, відмітимо, що емісія оксидів азоту при роботі на номінальному режимі досягає рівня менш ніж 25 ppm при частці пари близько 13%. На рис. 2 та 3 представлено розподіл температур у повздовжньому перерізі жарової труби та контури концентрацій оксидів азоту у вихідному її перерізі на режимі роботи камери згоряння при частці пари 12%.

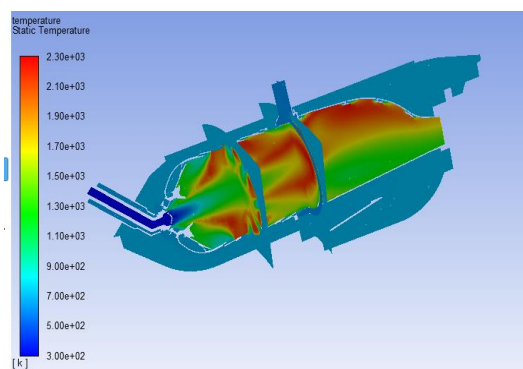


Рис. 2 - Розподіл температур у повздовжньому перерізі жарової труби при відношенні витрати екологічної пари до витрати повітря через камеру 12 %

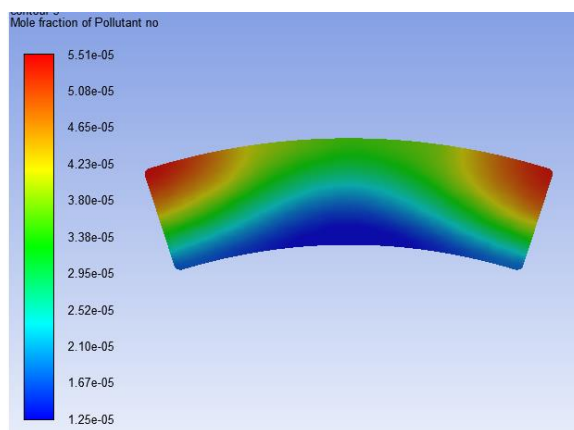


Рис. 3 - Контури концентрацій оксидів азоту у вихідному перерізі жарової труби при відношенні витрати екологічної пари до витрати повітря через камеру 12 %

Висновки. Аналізуючи отримані дані, можна відзначити, що поєднання у одній схемі впорскування пари у камеру згоряння та роботи газотурбінної установки контактного типу на чистому водні задовольняє сучасним тенденціям розвитку енергомашинобудування та встановленим Європейським нормам щодо викидів шкідливих речовин газотурбінними двигунами. Отже подальші дослідження таких схем є доцільним та перспективним у рамках покращення емісійних характеристик суднових енергетичних установок.

Список літератури

- [1] О. К. Чередніченко, С. І. Сербін. (2020). Термохімічні технології для енергетичних модулів плавучих об'єктів нафтогазовидобутку та суден-газовозів. Монографія. Миколаїв: Торубара. 132 с.
- [2] Michel Molière. (2023). The Fuel Flexibility of Gas Turbines: A Review and Retrospective Outlook. *Energies*, 16, 3962. <https://doi.org/10.3390/en16093962>
- [3] Chiong, M. C., Chong, C. T., Ng, J. H., Mashruk, S., Chong, W. W. F., Samiran, N. A., ... & Valera-Medina, A. (2021). Advancements of combustion technologies in the ammonia-fuelled engines. *Energy Conversion and Management*, 244, 114460.
- [4] N. Tekin, M. Ashikaga, A. Horikawa, H. Funke. (2018). Enhancement of fuel flexibility of industrial gas turbines by development of innovative hydrogen combustion systems. *Gas for energy*, no. 2/2018. pp. 1-6.
- [5] Сербін, С.І., Шмарков, О.А. (2022) Обґрунтування використання водню як палива ГТД контактного типу. *Сучасний стан та проблеми двигунобудування: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції*. Миколаїв: Торубара В.В.

- [6] K.S. Burunsuz, V. V. Kuklinovsky, S. I. Serbin. (2019). Investigations of the emission characteristics of a gas turbine combustor with water steam injection. *Холодильна техніка та технологія*, 55 (2), pp 77-83.
- [7] Varia, N., Patel, D., Reddy Bale, V., Srinivas, T. (2018) Effects of Steam Injection on the Performance of Natural Gas Combined Cycle Power Generation System. *CSME International Congress 2018*. Toronto, On, Canada.
- [8] Serbin, S., Washchilenko, N., Dzida, M., Kowalski, J. (2021) Parametric analysis of the efficiency of the combined gas-steam turbine unit of a hybrid cycle for the fpso vessel. *Polish maritime research*, № 112(4), pp. 122-132.
- [9] S. I. Serbin. O.A. Shmarkov. (2023). Parameters of the hybrid gas-steam power plant operating on hydrogen fuel. *Збірник наукових праць НУК*, №1 (490), pp. 103-110.

Serbin S., Diasamidze B., Shmarkov O.

Possibilities of utilizing hydrogen fuel in the combustion chamber of a hybrid gas-steam power unit

The issue of the environmental impact of a hybrid gas-steam power unit with steam injection into the combustion chamber and operating on hydrogen has been discussed. The temperature profiles in the flame tube of the combustion chamber and the concentrations of pollutant substances in its inlet section have been presented.

УДК 621.45.034

**МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ
У МОРСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ**

Б. Т. Діасамідзе, Ph.d., асистент¹, О.А. Шмарков, аспірант²
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Україна, м. Миколаїв

¹badri.diasamidze@nuos.edu.ua, ²shmarkov.oleksandr@gmail.com

Анотація. Розглянуто принципи застосування газотурбінних двигунів (ГТД) морського призначення та їх основні емісійні характеристики, запропоновано шляхи для зниження викидів токсичних компонентів.

Ключові слова: газотурбінний двигун; процес горіння палив; емісійні характеристики.

Вступна частина. У зв'язку з значною кількісною перевагою двигунів внутрішнього згоряння на судах нормативні акти, що стосуються викидів шкідливих викидів, передбачають показники переважно для поршневих двигунів. Один із таких актів - Міжнародна конвенція з запобігання забрудненню судами від 1973 року, підписана в Лондоні 2 листопада 1973 року із змінами згідно Протоколу, укладеному в Лондоні 17 лютого 1978 року, та Протоколу, укладеному в Лондоні 26 вересня 1997 року, і відома під назвою "Конвенція МАРПОЛ" [1]. Всі двигуни, що використовуються на військових судах, звільнені від відповідності стандартам викидів шкідливих викидів. Варто відзначити, що відсоток кількості газотурбінних двигунів, встановлених на військових судах, в декілька разів вищий у порівнянні з громадським флотом. Проте уряди ряду країн прагнуть впроваджувати положення, що стосуються захисту морського середовища (наприклад, MARPOL), і на військових судах, наскільки це можливо.

Ціль роботи – аналіз екологічних характеристик сучасних морських газотурбінних двигунів.

Основна частина. Енергетичні потреби морського транспорту, викликані їх операційними потребами, пов'язаними з функцією руху судна та призначенням, давно задовольняються переважно за допомогою поршневих двигунів внутрішнього згоряння. У