

[8] Левин А.В. Рабочие лопатки и диски паровых турбин [Текст] / А.В. Левин. – Москва: Госэнергоиздат, 1953. – 624 с.

[9] Бабаков И.М. Теория колебаний [Текст] / И.М. Бабаков. – Москва: Наука, 1965. – 559 с.

[10] Макаева, Р. Х. Диагностика деталей и узлов турбомашин по их вибрационным характеристикам с применением голографической интерферометрии [Текст]: монография. / Р. Х. Макаева, А. Х. Каримов, А. М. Царева. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2011. – 242 с.

**Method of installing and fixing gas turbine blades in the experimental determination of vibration characteristics by digital speckle interferometry.**

Kluchnyk V.S.<sup>1</sup>, Tkach M.R.<sup>2</sup>, Zlotiy Y.H.<sup>3</sup>, Proskurin A.Y.<sup>4</sup>, Halynkin Y.M.<sup>5</sup>

<sup>1-5</sup> Admiral Makarov National University of Shipbuilding

**Abstract.** Schemes of fixing of the GTE blade at experimental determination of their vibration characteristics are presented. The advantages and disadvantages of fastening schemes are described. Special equipment has been developed to determine the vibration characteristics of the blade during its operation.

**Key words:** GTE blade; digital speckle interferometry; free oscillations; free boundary conditions.

УДК 628.165:621.44

**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗНИЖЕННЯ ШКІДЛИВИХ ВІКИДІВ  
ПРИ ВИКОРИСТАННІ ГАЗОПОВІТРЯНИХ ОХОЛОДЖУВАЧІВ ВІДПРАЦЬОВАНИХ  
ГАЗІВ СУДНОВИХ ДИЗЕЛЬНИХ УСТАНОВОК**

**С.А. Кузнецова<sup>1</sup>**

*кандидат технічних наук, доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна  
svitlana.kuznetsova@nuos.edu.ua*

**Анотація.** Для зниження експлуатаційних витрат суднових енергетичних установок запропоновано використання ежекційних газоповітряних охолоджувачів для зниження рівня шкідливих викидів. Методом математичного моделювання отримано, що можливе зниження концентрації  $\text{NO}_x$  від 4 до 7,5% в залежності від потужності двигунів.

**Ключові слова:** енергетична установка, рівень викидів, відпрацьовані гази, газоповітряний охолоджувач

Посилення вимог Міжнародної морської організації (*International Maritime Organization – IMO*), щодо значного зниження рівня шкідливих викидів, викликає необхідність запровадження додаткових заходів, а можливо і модернізації енергетичних установок існуючого транспорту для забезпечення можливості роботи в сучасних умовах [1, 2].

Провідні світові постачальники суднового обладнання пропонують широкий спектр допоміжного обладнання для зниження рівня  $\text{SO}_x$  та  $\text{NO}_x$  у відпрацьованих газах суднових енергетичних установках.

Так для очищення газів від  $\text{SO}_x$  компанія *Alfa Laval* пропонує систему *Pure SO<sub>x</sub>*, яка гарантує відповідність рівня викидів вимогам 2020 року [3]. Також аналогічним обладнанням займається і *Wärtsilä*, що виготовляє скрубери, які можуть використовуватися з одним чи декількома підводами газів для зниження масогабаритних показників [4].

Фірма *Wärtsilä* пропонує систему з використанням *NOR* фільтрів, які можуть використовуватися як самостійно, так і з вбудованими глушниками для зниження масогабаритних показників [5, 6].

Іншим способом зниження рівня  $NO_x$  у відпрацьованих газах двигунів енергетичних установок вважається рециркуляція газів [7, 8].

В якості основних недоліків зазначених методів є необхідність значної кількості додаткового обладнання в приміщенні машинного відділення; висока первісна вартість та значні витрати на експлуатацію цього обладнання, а також нестабільність роботи на нестационарних режимах роботи. Тому доречно розробка додаткових «пасивних» систем, які б дозволили забезпечити зменшення концентрації викидів у газах, що спрямовуються у атмосферу.

В роботі [9] було обґрунтовано використання для цих цілей газоповітряних охолоджувачів відпрацьованих газів. Метою представленої роботи є оцінка ефективності зниження рівня шкідливих речовин у потоці відпрацьованих газів судових дизельних установках при застосуванні таких охолоджувачів.

Дослідження проведені методом математичного моделювання. Модель сформовано як система рівнянь нерозривності, збереження кількості руху, енергії та хімічних речовин у суміші. Для розв'язання отриманої системи використано *RANS* підхід при його реалізації в програмному комплексі з вільною ліцензією *Code Saturne* [10] і хмарному сервісі *Code Scale* [11].

Моделювання виконувалося для умов вихідних даних допоміжних дизельних двигунів потужність 350...800 кВт.

Отримані результати показали зниження концентрації шкідливих речовин ( $NO_x$ ) від 4 до 7,5 %, в залежності від параметрів двигунів.

Подальша робота спрямована на оптимізацію конструкції соплових насадок та визначення кута нахилу жалюзійної решітки.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Prevention of Air Pollution from Ships [Електронний документ] Режим доступу <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Air-Pollution.aspx>

[2] What happens tomorrow? IMO Tier III ( $NO_x$ ) regulations from 2021 [Електронний документ] Режим доступу <https://yachtsforsale.nl/yachts-news/what-happens-tomorrow-imo-tier-iii-nox-regulations-2021>

[3] Нова система *PureSOx Express* [Електронний документ] Режим доступу <https://www.alfalaval.ua/media/news/2020/new-alfa-laval-puresox-express-offers-easy-access-to-sox-scrubber-advantages/>

[4] Руководство на изделие скруббер (газоочиститель) Wartsila/Wartsila Finland Oy, 2013, 98с [Електронний документ]/Режим доступу [https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/local-files/russia/products/project-guides/wärtsilä-scrubber-product-guide-rev-c\\_rus.pdf?sfvrsn=73676f44\\_2](https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/local-files/russia/products/project-guides/wärtsilä-scrubber-product-guide-rev-c_rus.pdf?sfvrsn=73676f44_2)

[5] WORKSHOP ON MODERNISATION OF DANUBE VESSEL FLEET WÄRTSILÄ PORTFOLIO [Електронний ресурс]. – Режим доступу [http://www.interreg-danube.eu/uploads/media/approved\\_project\\_public/0001/40/54cb794a692d45e7ee8cbdc076c02fb8704d13f6.pdf](http://www.interreg-danube.eu/uploads/media/approved_project_public/0001/40/54cb794a692d45e7ee8cbdc076c02fb8704d13f6.pdf)

[6] Wärtsilä  $NO_x$  Reducer (NOR) [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/egc/brochure-o-env-wartsila-nox-reducer.pdf>

[7] Серажутдинов О.В., Чистяков В.А. Технологии снижения оксидов азота в отработавших газах судовых дизелей/Морские интеллектуальные технологии, 2015, №4-1(30), с.23-28

[8] Le, V. V., & Truong, T. H. (2020). *A simulation study to assess the economic, energy and emissions characteristics of a marine engine equipped with exhaust gas recirculation*. *1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE MANUFACTURING, MATERIALS AND TECHNOLOGIES*. doi:10.1063/5.0000135

[9] Kuznetsov V., Dymo B., Kuznetsova S., Bondarenko M., Voloshyn A./ Improvement of the cargo fleet vessels power plants ecological indexes by development of the exhaust gas systems./ Polish maritime research 1 (109) 2021 Vol. 28; pp. 97-104

[10] Code Saturne [Електронний ресурс]/ Режим доступу <https://www.code-saturne.org/cms/>

[11] Code Scale [Електронний ресурс]/ Режим доступу <https://www.simscale.com/product/cfd/>

## Evaluation of the effectiveness of reducing harmful emissions when using gas-air coolers for exhaust gases of marine diesel installations

Kuznetsova S.A.<sup>1</sup>

<sup>1,2</sup>Admiral Makarov National University of Shipbuilding

**Abstract.** To reduce the operating costs of ship power plants, it is proposed to use ejection gas-air coolers to reduce the level of harmful emissions. By means of mathematical modeling it was obtained that it is possible to reduce the concentration of  $NO_x$  from 4 to 7.5%, depending on the engine power.

**Key words:** power plant, emission level, exhaust gases, gas-air cooler

УДК 621.43.057

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДРІБНОДИСПЕРСНИХ ВКЛЮЧЕНЬ $TiO_2$ У ВОДОПАЛИВНУ ЕМУЛЬСІЮ НА ЕКОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВЗ

Наливайко В.С.<sup>1</sup>, Авдюнін Р.Ю.<sup>2</sup>, Мисько В.О.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>професор кафедри ДВЗУ та ТЕ Національного університету кораблебудування  
імені адмірала Макарова, Миколаїв, Україна

<sup>2</sup>викладач кафедри суднового машинобудування та енергетики Херсонської філії Національного  
університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Херсон, Україна  
*Roman021187@gmail.com*

<sup>3</sup>старший викладач кафедри суднового машинобудування та енергетики  
Херсонської філії Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,  
Херсон, Україна

**Анотація.** Одним із способів забезпечення паливної економічності і комплексного зниження токсичності дизельного двигуна є використання водопаливної емульсії з додаванням дрібнодисперсних включень  $TiO_2$ . Це дозволяє зменшити максимальну температуру циклу, що вплине на екологічні показники роботи ДВЗ.

**Ключові слова:** водопаливна емульсія, диоксид титану,  $NO_x$

Погіршення екології оточуючого довкілля, що приводить до погіршення здоров'я населення, та до необхідності посилення норм на токсичні викиди, перш за все від транспортних засобів, в яких певне місце займають суднові енергоустановки.

В даний час вводяться більш жорсткі обмеження на викиди оксидів азоту ( $NO_x$ ) з відпрацьованими газами, причому рішення цієї проблеми виявляється особливо важким. На даний момент зниження викидів  $NO_x$  до відповідності вимогам міжнародного стандарту для судових дизельних двигунів ІМО Tier II, вдається досягти при збільшенні питомої ефективної витрати палива, але такий шлях знаходиться в протиріччі з не менш актуальною проблемою боротьби за зменшення викидів парникових газів ( $CO_2$ ) двигунів внутрішнього згоряння, гострота якої постійно зростає у зв'язку з наближається загрозою вичерпання органічних палив [1, 2].

Відомі способи та методи боротьби з  $NO_x$  можна розподілити на дві групи:

- пасивні;
- активні.