

8. Qiao, F., Wang, G., Yin, L., Zeng, K., Zhang, Y., Zhang, M., Xiao, B., Jiang, S., Chen, H., & Chen, G. (2019). Modelling oil trajectories and potentially contaminated areas from the Sanchi oil spill. *The Science of the Total Environment*, 685, 856–866. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.255>
9. Rojas-Alva, U., Fritt-Rasmussen, J., & Jomaas, G. (2020). Experimental study of thickening effectiveness of two herders for in-situ burning of crude oils on water. *Cold Regions Science and Technology*, 175, 103083. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2020.103083>
10. Simecek-Beatty, D. (2010). Oil spill trajectory forecasting uncertainty and emergency response. In Elsevier eBooks (pp. 275–299). <https://doi.org/10.1016/b978-1-85617-943-0.10011-5>

I.P. Honcharuk, A.I. Golovan

REDUCING THE IMPACT OF OIL SPILLS ON INLAND WATERWAYS: STRATEGIES FOR LOCALIZATION AND ELIMINATION OF POLLUTION

Accidental spills of oil and oil products on inland waterways pose a significant environmental threat due to their long-term environmental impact and the complexity of their cleanup. The article discusses the main causes and consequences of such accidents, including technical failures, human factors, and insufficient response time. The author analyzes modern methods of assessing the degree of pollution of water bodies, the impact of physical and chemical properties of oil on the ecosystem and the peculiarities of oil slicks spreading in riverine conditions. Particular attention is paid to modern technologies for localization and elimination of pollution, including the use of innovative sorbents, mechanical barriers, biological methods and mathematical models for predicting the spread of oil. An algorithm for rapid response to accidents is proposed, based on the integration of the latest IT solutions for monitoring and managing the liquidation processes. In addition, the optimization of logistics operations for the rapid transportation of the necessary equipment to the accident site was investigated. The results of the study demonstrate the effectiveness of implementing innovative approaches to assessing and eliminating the consequences of emergency spills aimed at minimizing environmental damage and improving environmental safety. The findings can serve as a basis for improving existing regulations and strategies in the field of risk management on inland waterways. The article is aimed at scientists, ecologists, engineers and specialists in the field of water transport.

Keywords: emergency oil spills, inland waterways, environmental safety, pollution localization, consequence management, mathematical modeling, innovative technologies, sorbents, logistics, IT solutions.

УДК 629.5

doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41.13

Сазін С.В., Руснак Д.Ю.

ПОЛІПШЕННЯ ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ ПАЛИВ НАФТОВОГО ПОХОДЖЕННЯ ДЛЯ СУДОВИХ СЕРЕДНЬООБЕРТОВИХ ДИЗЕЛІВ

Розглянута питання щодо поліпшення процесу підготовки палив нафтового походження для судових середньообертових дизелів. Визначено, що використання в судових середньообертових дизелях рідких палив нафтового походження з підвищеною густиною змушує до проведення його

додаткової обробки. Одним з розповсюджених методів додаткової обробки палива є додавання до його об'єму спеціальних паливних присадок. При цьому фірми-виробники, що забезпечують їх постачання на судна морського та внутрішнього водного транспорту, не визначають оптимальної концентрації присадок в об'ємі палива, вказуючи лише можливий діапазон цієї концентрації. Це призводить до зайвих витрат паливних присадок (вартість яких до трьох порядків перевищує вартість палива), а також може спричинити підвищення теплової напруженості роботи дизеля та погіршення його екологічних характеристик. Метою дослідження було визначення впливу хімічної обробки палива на основні експлуатаційні показники роботи судових дизелів, що характеризують його економічні, екологічність та теплову напруженість. Як такі показники були прийняті питома ефективна витрата палива, емісія оксидів азоту з випускними газами та середня температура випускних газів. Дослідженнями, що були виконані в паливних системах чотирьох однотипних дизелів 6L32F фірми Wartsila були отримані експериментальні результати, які підтверджують зниження питомої ефективної витрати палива під час використання паливних присадок. При для різної концентрації присадки в базовому паливі спостерігається різна величина зниження питомої ефективної витрати палива, яка складає 1,8...4,7 %. Також для різної концентрації паливної присадки в об'ємі палива, що впорскується в циліндр дизеля, було визначено покращення екологічності роботи дизеля, що відображається у 13,2...14,5 % зниженні емісії оксидів азоту з випускними газами, та зниження температурної напруженості, про що свідчить зниження на 10...14 °C середньої температури випускних газів по циліндрах дизеля.

Ключові слова: екологічність роботи дизеля, економічність роботи дизеля, емісія оксидів азоту, морський транспорт, паливо нафтового походження, питома витрата палива, присадки до палива, судовий середньообертовий дизель, теплова напруженість, хімічна обробка палива.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Морський та внутрішній водний транспорт забезпечує перевезення вантажу між країнами та континентами, що поєднані річками або роз'єднані морями та океанами [1-3]. Рух суден неможливий без енергетичного комплексу, що складається з головного та допоміжних двигунів, систем, що забезпечують їх функціонування, та робочих речовин (палива, мастила, води та повітря). Саме ці компоненти є основними, що складають судову енергетичну установку. В якості головних та допоміжних двигунів на судах морського та внутрішнього водного транспорту найбільшого поширення отримали двигуни внутрішнього згоряння (дизелі), які в порівнянні з іншими типами теплових двигунів характеризуються найменшими витратами палива та (через це) найбільшим коефіцієнтом корисної дії. Розвиток та вдосконалення судових дизелів перш за все спрямовані на оптимізацію показників робочого циклу, зменшення питомої витрати палива, а також виконання вимог Міжнародних та національних конвенцій щодо екологічності їх параметрів [4-6]. Одним зі шляхів, щодо одночасного забезпечення цих вимог є вдосконалення процесу підготовки судових важких палив, які є основним джерелом енергії будь якого теплового двигуна. Важливість розв'язання завдання щодо підвищення ефективності підготовки судових палив нафтового походження визначається вимогами Міжнародної конвенції MARPOL, додаток VI якої висуває суворі обмеження щодо вмісту в паливі сірки та вмісту в випускних газах оксидів азоту; а також вимогами резолюцій Комітету з захисту морського середовища Міжнародної морської організації (Marine Environment Protection Committee of International Marine Organization, MEPC IMO, щодо управління енергоефективністю судна, щодо збору даних з витрати палива суднами, щодо впровадження передових технологій з забезпечення збереження палива під час експлуатації суден, щодо перевірки адміністраціями даних з витрати палива суднами, щодо вдосконалення підготовки палива [7-9].

Судна морського та внутрішнього водного транспорту є одними з основних споживачів дизельного палива, що є продуктом переробки нафти. Якість підготовки палива суттєво впливає на експлуатаційні показники судових енергетичних установок: економічність; надійність; екологічну безпеку, що визначається за токсичністю та димністю випускних газів. В даний час

якість дизельного палива регламентує міжнародним стандартом ISO 8217:2024 “Products from petroleum, synthetic and renewable sources – Fuels (class F) – Specifications of marine fuels”. Цей стандарт встановлює значення фізико-хімічних показників, що визначають якість палива, таких як цетанове число, фракційний склад, кінематична в'язкість, температури застигання, помутніння, спалаху, масова частка сірки, вміст водорозчинних кислот і лугів, концентрація фактичних смол, кислотність, йодне число, зольність та ін. Для забезпечення необхідних значень окремих фізико-хімічних показників на завершальній стадії виробництва дизельних палив суміш дистилятної газойлевої фракції і продуктів, отриманих в результаті каталітичного крекінгу і гідрокрекінгу, вводяться присадки, що поліпшують одну або кілька властивостей дизельного палива [10-12].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки на транспортних судах морського та внутрішнього водного транспорту для середньообертових дизелів (СОД) все ширше застосовуються важкі сорти палива високої в'язкості, що мають більш низьку вартість. Згідно з вимогами таких провідних фірм, що будують дизелі, як Wartsila-Sulzer, MAN Diesel & Turbo суднові СОД повинні надійно експлуатуватися на всіх режимах (в тому числі на пускових і перехідних) під час використання палив з в'язкістю до 380 мм²/с. Перспективи розвитку транспортного суднобудування із застосуванням СОД в світовій практиці тісно пов'язані з використанням подібних видів палива. При цьому слід зазначити, що важкі сорти палива використовуються для роботи як головних СОД, що передають свою потужність на рушій, так і допоміжних, які є приводом електричних генераторів. Крім того, чітко простежується тенденція використання важких сортів палива не тільки для сучасних моделей СОД, а також переведення СОД попередніх моделей (спроектованих з умовою їхньої роботи на легких сортах палива) на експлуатацію на паливі з підвищеною в'язкістю [13-15].

Використання в судових дизелях палив підвищеної в'язкості перш за все пов'язано зі намаганням зменшити експлуатаційні витрати на придбання рідкого палива. Одночасно з цим підвищенню економічності роботи судових дизелів сприяє не лише вартість палива, але також визначення оптимальних режимів його використання, а також впровадження сучасних технологій, що підвищують якість його збереження, транспортування та згорання [16-18].

Посилення вимог до експлуатаційних показників судових енергетичних установок за умовою забезпечення положень стандарту ISO 8217, обумовлює необхідність підвищувати якість палива шляхом проведення їх хімічної обробки (яка досягається через використання присадок) не тільки в процесі виробництва палив, але і в процесі експлуатації дизелів. Саме тому продовжуються активні дослідження з розробки сучасних присадок до важких сортів палива, що використовується в ДВЗ, а також з визначення оптимальних режимів їхнього використання [19-21].

Присадки до судових палив в даний час набули досить широкого поширення на судах, однак результат їх застосування не завжди отримує однозначну оцінку [22, 23]. Це пов'язано з різними причинами, які, перш за все, залежать від характеристик судового дизеля та елементів його паливної системи, а також від забезпечення правильної технології використання присадок [24, 25].

Формулювання цілей статті. Викладене зумовлює мету досліджень – визначення впливу хімічної обробки палива на основні експлуатаційні показники роботи судових дизелів, що характеризують його економічність, екологічність та теплову напруженість.

Виклад основного матеріалу. Дослідження виконувались на спеціалізованому морському судні, призначеному для перевезення 12500 TEU. Допоміжна енергетична установка судна включала до свого складу чотири однотипних судових СОД 6L32F фірми Wartsila з наступними основними характеристиками: діаметр циліндру – 0,32 м; хід поршню – 0,4 м; середній ефективний тиск – 2,5 МПа; питома ефективна витрата палива на номінальному режимі – 0,191 кг/(кВт·год); частота обертання колінчатого валу – 750 об/хв; ефективна потужність – 3480 кВт.

Паливна система кожного з дизелів передбачала дозування до загального потоку палива, що прямує до паливних насосів високого тиску, дозерної установки, за допомогою якої в паливо додавалась присадка [26-28].

Як паливні присадки використовувались продукти фірми Drew Marine: Amergy 1000, Amergize та Amergy XLS Plus, що мають наступні основні характеристики.

Паливна присадка Amergy 1000 – суміш органічних компонентів, призначена для забезпечення повнішого згорання і максимального використання енергії, що отримується від палива. Її можна використовувати в дизелях для різних видів палива, від дистилату до залишкових сортів. Забезпечуючи повніше згорання, Amergy 1000 знижує кількість вихлопних часток і відкладень нагару. Завдяки такій дії, поверхні камери згорання підтримуються в чистішому стані, скорочуються витрати на ремонт, а також зменшуються витрати палива. Amergy 1000 не містить металів і повністю поглинається в процесі згорання. Норма дозування Amergy 1000 – 1 літр на 1...8 тонн палива ($1 / 1000 \dots 1 / 8000$). Оптимальне дозування, проте, може розрізнятися залежно від конструкції двигуна, якості палива і експлуатаційних умов. Amergy 1000 подається безперервно в паливну систему. Це краще всього досягається за допомогою дозуючого насоса або через витратомір. Така організація подачі препарату забезпечує належну дисперсію і рівномірний рівень розчинення в паливі.

Паливна присадка Amergize – суміш розчинних в мастилі органометалів, найбільш ефективна для дизелів, що працюють на важкому паливі. Випробування присадки Amergize в двигунах показали, що поєднання інгредієнтів в Amergize забезпечує синергетичний ефект, що дозволяє знижувати відкладення і покращувати згорання. Amergize підходить як для середньо-, також і для малообертових дизелів, в яких виникають проблеми, пов'язані із згоранням і відкладеннями на внутрішніх поверхнях дизеля через наявність в паливі ванадію, сірки і натрію. Перетворювач відкладень в Amergize діє під час процесу згорання, вступаючи в реакцію з цими речовинами (ванадій, сірка, натрій) і змінюючи склад золи, що зменшує механічні втрати на подолання сил тертя. Стандартне дозування Amergize в межах 1 літр на 1...8 тонн палива. Дози можуть змінюватися залежно від рівня забруднення палива, конструкції двигуна і експлуатаційного стану енергетичної установки.

Паливна присадка Amergy XLS Plus призначена для низько сірчистих палив. Amergy XLS Plus – це суміш дисперсантів, активаторів згорання, миючих засобів і мастильних присадок, призначена для зведення до мінімуму наслідків паливної нестабільності і зносу металевих поверхонь, що знаходяться в безпосередньому контакті один з одним. Палива з низьким вмістом сірки володіють низькими мастильними властивостями, необхідними для мінімізації безпосереднього контакту металевих деталей паливної системи і двигуна. Таким чином, тривале використання дизельного палива з низьким вмістом сірки може призвести до надмірного зносу плунжерних пар паливних насосів високого тиску, а також розпилювачів форсунок. Присадка до палива Amergy XLS містить високоефективні мастильні компоненти, які зводять до мінімуму прямий контакт металевих частин і збільшують термін служби елементів паливної системи, дозволяючи використовувати низько сірчисті види палива. Рекомендоване фірмою Drew Marine дозування Amergy XLS Plus в межах 1 літр на 1...8 тонн палива.

Метою першого етапу дослідження було визначення з вказаних присадок такої, яка сприяє найкращої економічності роботи дизеля – а саме забезпечує мінімальну питому витрату палива, при цьому повинні підтримуватися на найкращі (або такі, що суттєво не поступаються іншим присадкам) екологічні показники та теплова напруженість [29-31]. Як такі були обрані емісія оксидів азоту NO_x з випускними газами та температура випускних газів $t_{\text{вг}}$.

Технологія випробувань полягала в наступному. Один з чотирьох дизелів (перший) експлуатувався на паливі без додавання паливної присадки. Три з чотирьох дизелів використовували під час роботи паливну присадку: другий – Amergy XLS, третій – Amergy 1000, четвертий – Amergize. Схожі рекомендовані значення дозування присадок дозволяли їх використання в кожному з дизелів з однаковою концентрацією, за яку була прийнята 1 літр присадки на 4 тонни палива. З метою забезпечення коректності проведення досліджень на кожному з чотирьох дизелів та можливості подальшого порівняння результатів експерименту, створювалися умови, що забезпечували однакове навантаження на дизелі, а також однаковий час експлуатації дизелів.

Питома ефективна витрата палива b_e , кг/(кВт·год) розраховувалась за виразом:

$$b_e = B_{\text{год}} / N_e ;$$

де $B_{\text{год}}$ – годинна витрата палива, кг/год, яка визначалась за показаннями витратоміру, що встановлено на магістралі подачі палива;

N_e – експлуатаційна потужність дизеля, кВт [32-34].

Значення емісії NO_x визначалось за допомогою газоаналізатора, що (відповідно до Технічного кодексу із контролю за викидами окисів азоту з дизельних двигунів суден) був встановлено в газовипускній магістралі на відстані 10 м від випускного колектору дизеля. Температура випускних газів контролювалась за допомогою суднової системи діагностування роботи дизеля Doctor. Зміна значень питомої витрати палива, емісії окисидів азоту та температури випускних газів для різних умов проведення експерименту наведена на рис. 1-3.

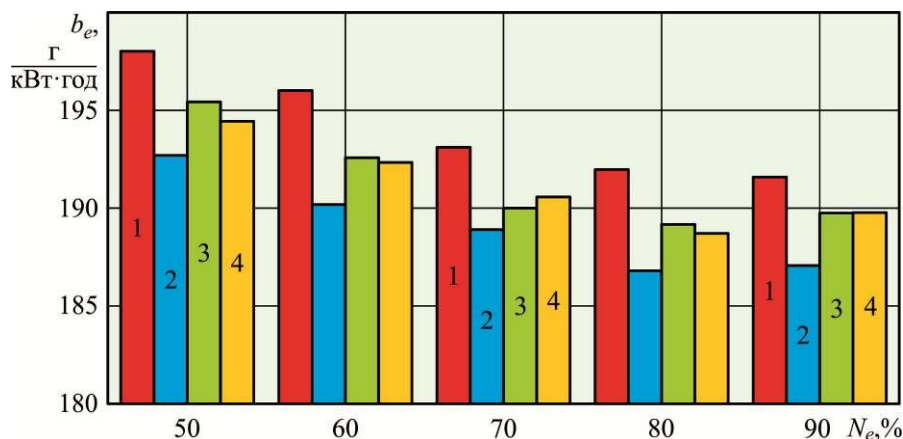


Рисунок 1 – Питома витрата палива на різних навантаженнях суднового дизеля 6L32F фірми Wartsila: 1 – робота дизеля без використання паливної присадки; 2, 3, 4 – робота з використанням паливних присадок Amergy XLS, Amergy 1000, Amergize відповідно

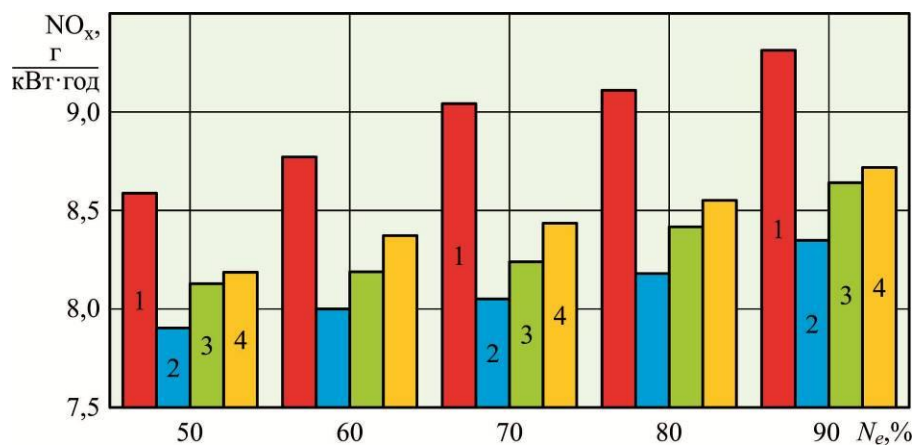


Рисунок 2 – Емісія окисидів азоту на різних навантаженнях суднового дизеля 6L32F фірми Wartsila: 1 – робота дизеля без використання паливної присадки; 2, 3, 4 – робота з використанням паливних присадок Amergy XLS, Amergy 1000, Amergize відповідно

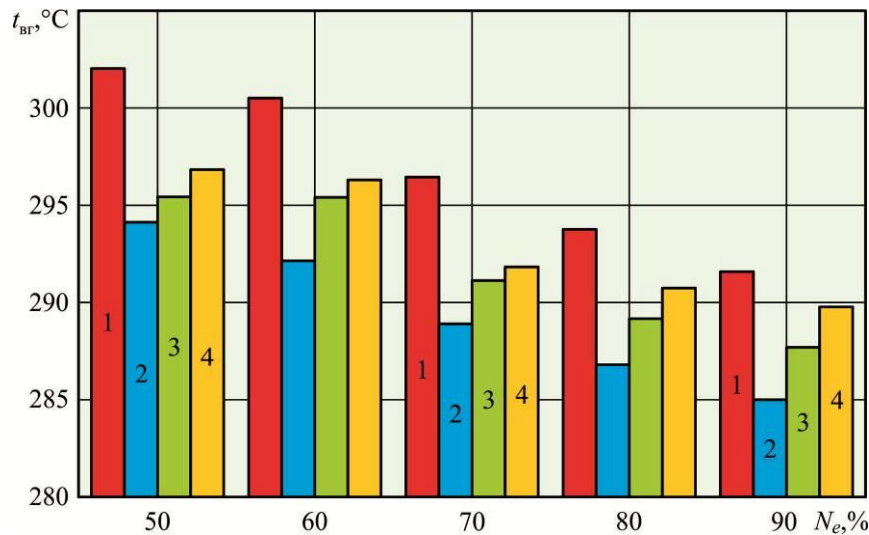


Рисунок 3 – Температура випускних газів на різних навантаженнях суднового дизеля 6L32F фірми Wartsila: 1 – робота дизеля без використання паливної присадки; 2, 3, 4 – робота з використанням паливних присадок Amergy XLS, Amergy 1000, Amergize відповідно

Результати першого етапу досліджень дозволили визначити паливну присадку, що забезпечує мінімальні значення питомої витрати палива з одночасним підтриманням мінімальної емісії оксидів азоту та найменших значень температури випускних газів. Як така присадка була прийнята паливна присадка Amergy XLS.

Метою другого етапу досліджень було визначення оптимальної концентрації паливної присадки Amergy XLS – експериментальне визначення такої її концентрації, яка призводить до мінімальної витрати палива дизелем Wartsila 6L32F. Під час цього етапу досліджень використовувалась лише паливна присадка Amergy XLS, при цьому її концентрація в загальному обсязі палива складала 1 / 2000, 1 / 3000, 1 / 4000, 1 / 5000, 1 / 6000. Результати досліджень наведені на рис. 4-6.

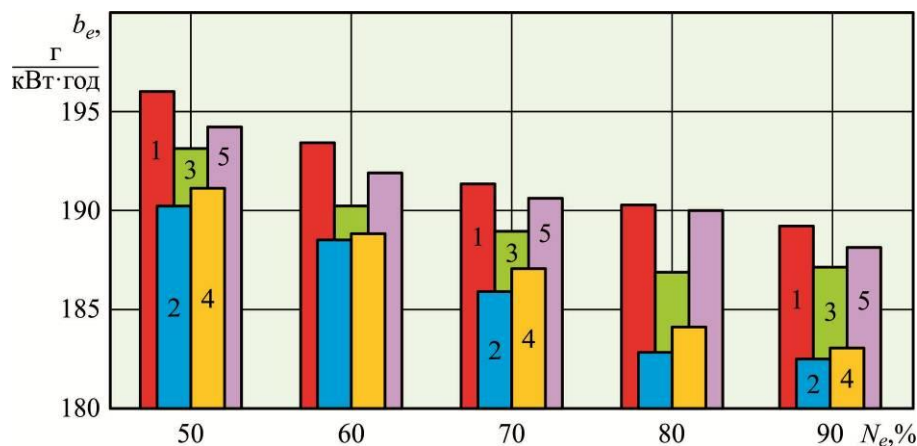


Рисунок 4 – Питома витрата палива на різних навантаженнях суднового дизеля Wartsila 6L32F для різної концентрації паливної присадки Amergy XLS: 1 – 1 / 2000, 2 – 1 / 3000, 3 – 1 / 4000, 4 – 1 / 5000, 5 – 1 / 6000

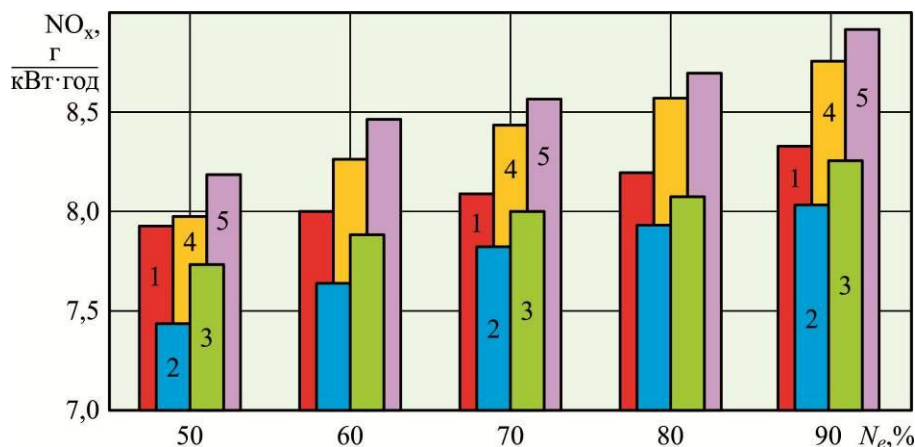


Рисунок 5 – Емісія оксидів азоту на різних навантаженнях суднового дизеля Wartsila 6L32F для різної концентрації паливної присадки Amergy XLS: 1 – 1 / 2000, 2 – 1 / 3000, 3 – 1 / 4000, 4 – 1 / 5000, 5 – 1 / 6000

Визначимо, що відповідно до вимог Додатку VI MARPOL максимальний вміст оксидів азоту в випускних газах суднового дизеля Wartsila 6L32F (якій відноситься до рівню Tier II) визначається за виразом

$$NO_x^{\max} = 44 \cdot n^{-0,23},$$

де n – частота обертання валу дизеля, об/хв. [35, 36].

З урахуванням характеристик дизеля Wartsila 6L32F, отримаємо

$$NO_x^{\max} = 44 \cdot 750^{-0,23} = 9,6 \text{ кг/(кВт} \cdot \text{год)}.$$

Результати досліджень, що надані на рис. 2 та рис. 5 свідчать, що у всіх випадках отримані значення задовольняли вимогам Додатку VI MARPOL та експлуатація судна виконувалась з забезпеченням екологічної безпеки.

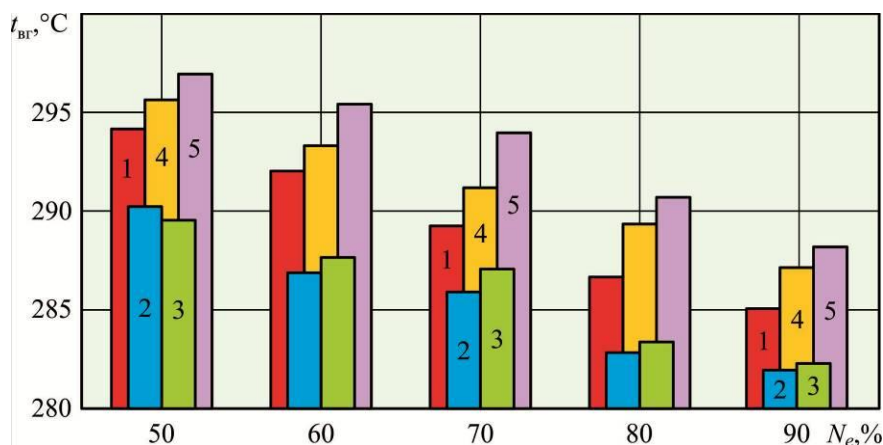


Рисунок 6 – Температура випускних газів на різних навантаженнях суднового дизеля Wartsila 6L32F для різної концентрації паливної присадки Amergy XLS: 1 – 1 / 2000, 2 – 1 / 3000, 3 – 1 / 4000, 4 – 1 / 5000, 5 – 1 / 6000

Під час проведення досліджень відповідно до вимог заводу-виробника та рекомендацій інструкцій з експлуатації також контролювались всі інші показники роботи суднового дизеля Wartsila 6L32F.

Висновки. Використання в судових середньообертових дизелях рідких палив нафтового походження з підвищеною густиною змушує до проведення його додаткової обробки. Одним з розповсюджених методів додаткової обробки палива є додавання до його об'єму спеціальних паливних присадок. При цьому фірми-виробники, що забезпечують їх постачання на судна морського та внутрішнього водного транспорту, не визначають оптимальної концентрації присадок в об'ємі палива, вказуючи лише можливий діапазон цієї концентрації. Це призводить до зайвих витрат паливних присадок (вартість яких до трьох порядків перевищує вартість палива), а також може спричинити підвищення теплової напруженості роботи дизеля та погіршення його екологічних характеристик.

Дослідженнями, що були виконані в паливних системах чотирьох однотипних дизелів 6L32F фірми Wartsila були отримані експериментальні результати, які підтверджують зниження питомої ефективної витрати палива під час використання паливних присадок. Це зумовлюється інтенсифікацією процесу сумішутворення і згоряння палива, що призводить до більш повного використання теплотворної здатності палива та зниження кількості палива, що догоряє на ході розширення та в випускному колекторі. При цьому відзначимо, що для різної концентрації присадки в базовому паливі спостерігається різна величина зниження питомої ефективної витрати палива. Таким чином, використання присадок до палива призводить до підвищення паливної економічності судового дизеля. Під час використання паливних присадок на різних режимах роботи судового дизеля Wartsila 6L32F було досягнуте 1,8...4,7 % зниження питомої ефективної витрати палива.

Використання паливних присадок з оптимальною концентрацією в об'ємі палива, що впорскується в циліндр дизеля, призводить до поліпшення екологічності роботи судових дизелів. Експериментально встановлено, що при цьому досягається 13,2...14,5 % зниження емісії оксидів азоту з випускними газами.

Інтенсифікація процесу згоряння палива та скорочення часу згоряння палива під час використання присадок до палива сприяє більш повному використанню енергії газів на лінії розширення та, відповідно, зменшенню кількості теплової енергії, що відводиться з циліндра дизеля з випускними газами. Підтвердженням цього є зниження на 10...14 °C середньої температури випускних газів по циліндрах дизеля.

Концентрація присадки має оптимальне значення, визначається експериментально і залежить від характеристик дизеля і палива, що використовується для забезпечення його роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Тимошук О.М., Дакі О.А., Бойко О.А., Карадобрій Т.А. Аналітичний огляд адаптивних систем керування судном та шляхи їх побудови // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2020. – Вип. 3(31). – С. 120-125. <https://doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.13>.
2. Левченко О.В. Синтез варіантів дій судноводія у небезпечних ситуаціях з урахуванням часових та ресурсних обмежень у судових СППР // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2021. – Вип. 3(34). – С. 89-98. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.10.
3. Тимочко О.І., Левченко О.В., Руденко В.М., Сітков О.М. Використання гібридних роботизованих комплексів для інспекції морських нафтогазових об'єктів // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 2(40). – С. 6-22. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.01.
4. Тимошук О.М., Боріна М.В. Дослідження методів підвищення екологічності судових енергетичних установок у водному середовищі // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 240-252. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21.
5. Сагін С.В., Сагін С.С. Використання штучного інтелекту в ситуаціях надмірного зближення суден // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 215-225. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22.

6. Сагін С.В., Сагін С.С. Визначення методу управління рухом суден морського транспорту під час забезпечення їх безпечного розходження // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 2(38). – С. 187-198. doi.org/10.33298/2226-8553/2023.2.38.20.
7. Поповский А.Ю., Сагин С.В. Оценка эксплуатационных свойств смазочно-охлаждающих жидкостей судовых технических средств // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сборник. – 2016. – Вып. 22. – С. 66-74.
8. Sagin S.V. Determination of the optimal recovery time of the rheological characteristics of marine diesel engine lubricating oils // Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments” (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4). – P. 195-202. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52991.
9. Тимошук О.М., Мельник О.В. Аналіз можливості використання маневру розходження зміною курсу // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 1(37). – С. 96-102. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.10.
10. Гончарук І.П., Никифоров Ю.О., Кошарська Л.В., Головань А.І. Особливості впливу відновлюваної енергетики на ефективність і екологічність морського транспорту. // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 2(38). – С. 73-80. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.08.
11. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33–42. doi: https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039.
12. Сагин С.В. Определение диапазона стратификации вязкости смазочного материала в трибологических системах судовых дизелей // Вісник Одеськ. нац. мор. ун-ту. – 2019. – Вип. 1(58). – С. 89-101.
13. Дакі О.А., Якусевич Ю.Г., Колесник В.В., Тришин В.В. Методика обґрунтування моделі для аналізу роботи двоступінчастої суднової холодильної установки в нестационарних режимах. // Водний транспорт – 2023. – Вип. 1(37). – С. 188-193. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.21.
14. Дакі О.А., Пліта Л.Л., Трофименко І.В., Федунів В.М. Особливості та вимоги щодо навігаційного забезпечення безпеки судноводіння на внутрішніх судноплавних шляхах // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 184-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.15.
15. Поповский А.Ю., Сагин С.В. Комплексная оценка эксплуатационных характеристик смазочных углеводородных жидкостей // Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сборник. – 2014. – Вып. 20. – С. 74-83.
16. Богом'я В.І. Метод розпізнавання підводних об'єктів за допомогою багатопроменевого сонара для забезпечення безпеки безпілотного підводного апарату. // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 2(38). – С. 96-102. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.10.
17. Дакі О.А., Якусевич Ю.Г., Ліганенко В.В., Тришин В.В. Модель системи кондиціонування та охолодження повітря на сучасних нафтоналивних суднах і газовозах. // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2022. – Вип. 1(35). – С. 121-127. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.15.
18. Sagin S., Madey V., Sagin, A., Stoliaryk T., Fomin O., Kućera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels Journal Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10(10). – P. 1373. https://doi.org/10.3390/jmse10101373.
19. Сагин С.В. Повышение надежности работы прецизионных пар топливной аппаратуры судовых дизелей за счет использования органических покрытий // Вісник Одеськ. нац. мор. ун-ту. – 2018. – Вип. 4(57). – С. 109-120.
20. Сагін С.В. Зниження енергетичних втрат в прецизійних парах паливної апаратури судових дизелів // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 38. – С. 132-142.
21. Мацкевич Д.В., Сагин С.В., Ханмамедов С.А. Изменение реологических характеристик смазочных материалов в циркуляционной масляной системе в процессе эксплуатации среднеоборотного двигателя // Судовые энергетические установки : науч.-техн. сб. – 2010. – Вип. 25. – С.109-118.

22. Sagin S., Sagin A. Development of method for managing risk factors for emergency situations when using low-sulfur content fuel in marine diesel engines // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2023. – № 5 (1(73)). – P. 37–43. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290198>.
23. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В., Перунов Р.В. Технология использования и результаты испытаний присадок к топливам для судовых дизелей // *Проблемы техники: наук.-виробн. журнал*. – 2012. – № 3. – Одесса: ОНМУ. – С. 84-103.
24. Сагин С.В., Мацкевич Д.В. Оптические характеристики граничных смазочных слоев масел, применяемых в циркуляционных системах судовых дизелей // *Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб.* – 2011. – № 26. – С.116-125.
25. Зверьков Д.О., Сагин С.В. Зниження механічних втрат у судових дизелях // *Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб.* – 2020. – Вип. 40. – С. 20-25. DOI : 10.31653/smf341.2020.20-25.
26. Головань А.І. Концептуальна модель планування та оптимізації графіків технічного обслуговування вантажних суден. // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2023. – Вип. 1(37). – С. 107-115. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.12.
27. Petrychenko O. Levynskyi M., Prytula D., Vynohradova A. Fuel options for the future: a comparative overview of properties and prospects // *Transport Systems and Technologies*. – 2023. – № 41. – P. 96-106. <https://doi.org/10.32703/2617-9059-2023-41-8>.
28. Levynskyi M. Automatic diagnostic of marine diesel generator lubricating oil condition // *Автоматизація судових технічних засобів: наук.-техн. зб.* – 2023. – Вип. 28. – Одеса: НУ «ОМА». – С. 106-120. DOI: 10.31653/1819-3293-2023-1-28-106-120
29. Sagin S.V., Sagin S.S., Fomin O., Gaichenia O., Zablotskyi Y., Píšťek V., Kučera P. Use of biofuels in marine diesel engines for sustainable and safe maritime transport // *Renewable Energy*. – 2024. – Vol. 224. – P. 120221. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120221>.
30. Petrychenko O. Levynskyi M. Trends and preconditions for widespread adoption of liquefied natural gas in maritime transport // *Transport Systems and Technologies*. – 2024. – № 43. – P. 21-36. <https://doi.org/10.32703/2617-9059-2024-43-2>.
31. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Píšťek V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe // *Journal Marine Science and Engineering*. – 2022. – 10(9), 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331>.
32. Рибальченко М.Є., Білоусов Є.В. Використання числових профілів робочого процесу для аналізу ефективності роботи судового малообертового двигуна в умовах сучасної тенденції щодо зниження експлуатаційної швидкості суден. // *Водний транспорт: Збірник наукових праць*. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 1-13. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.06.
33. Sagin S., Kuropyatnyk O., Tkachenko I. Ensuring the environmental friendliness of marine diesel engines of specialized ships // *Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник*. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 5-16. doi: 10.31653/smf45.2022.5-16.
34. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotskyi Yu.V. Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // *Nase More : International Journal of Maritime Science & Technology*. – 2022. – Vol.69. – Iss.1. – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7.
35. Куропятник А. А., Сагин С.В. Управление выпускными газами судовых дизелей для обеспечения экологических показателей // *Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сборник*, 2018. – Вып. 24. – С. 72-80.
36. Sagin S.V., Karianskyi S., Sagin S.S., Volkov O., Zablotskyi Y., Fomin O., Píšťek V., Kučera P. Ensuring the safety of maritime transportation of drilling fluids by platform supply-class vessel // *Applied Ocean Research*, 2023. – Vol. 140. 103745. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103745>.

REFERENCES

1. Tymoshchuk O., Daki O., Boyko O., Karadobriy T. Analytical Inspection of adaptive vessel control systems and ways of their construction // *Water Transport*. – 2020. – № 3(31). – P. 120-125. doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.13.
2. Levchenko O. Synthesis of vessels' options in dangerous situations taking into account time and resource restrictions in vessel DSS. // *Water transport*. – 2021. – № 3(34). – P. 89-98. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.10.
3. Tymochko O.I., Levchenko O.V., Rudenko V.M., Sitkov O.M. Use of hybrid robotic complex for inspection of marine oil and gas facilities // *Water transport*. – 2024. – Vol. 2(40). – P. 6-22. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.01.
4. Tymoshchuk O., Borina M. Research of methods of enhancing the environmental facility of ship power plants in the aquatic environment // *Water transport*. – 2022. – № 2(36). – P. 240-252. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21.
5. Sagin S.S., Sagin S.V. Use of artificial intelligence in the situations of excessive vessels approaching // *Water Transport*. – 2024. – №. 1(39). – P. 215-225. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22.
6. Sagin S.V., Sagin S.S., Determination of the method of controlling the movement of marine transport vessels while ensuring their safe divergences // *Water transport*. – 2023. – № 2(38). – C. 187-198. doi.org/10.33298/2226-8553/2023.2.38.20.
7. Popovskii A.Y., Sagin S.V. Evaluation of operational properties of lubricating and cooling liquids of marine technical equipment // *Automation of ship technical facilities*. – 2016. – Vol. 22. – P. 66-74.
8. Sagin S.V. Determination of the optimal recovery time of the rheological characteristics of marine diesel engine lubricating oils // *Materials of the International Conference "Process Management and Scientific Developments"* (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4). – P. 195-202. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52991.
9. Tymoshchuk O., Melnyk O. Analysis of the possibility of using the divergence maneuver by changing the course // *Water Transport: Collection of scientific works*. – 2023 – № 1(37). – P.96-102. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.10.
10. Honcharuk I.P., Nykyforov Yu.O., Kosharska L.B., Golovan A.I. Features of the influence of renewable energy on the efficiency and environmental safety of marine transport// *Water transport*. – 2023. – № 2(38). – P. 73-80. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.08.
11. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33–42. doi: https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039.
12. Sagin S.V. Determination of the range of lubricant viscosity stratification in tribological systems of marine diesel engines // *Herald of the Odessa National Maritime University*. – 2019. – Vol. 1(58). – P. 89-100.
13. Daki O.A., Yakusevych Yu.H., Kolesnyk V.V., Tryshyn V.V. Methodology of model substantiation for analysis of operation of a two-stage ship refrigeration unit in non-stationary modes. // *Water transport*. – 2023. – № 1(37). – P. 188-193. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.21.
14. Daki O.A., Plita L.L., Trofymenko I.V., Fedunov V.M. Feature and requirements for navigational safety of navigation on inland waterways // *Water transport*. – 2022. – № 2(36). – P. 184-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.15.
15. Popovskii A.Y., Sagin S.V. Complex assessment of operational characteristics of lubricating hydrocarbon liquids // *Automation of ship facilities*. – 2014. – №20. – P. 74-83.
16. Bohomia V.I. A method for recognizing underwater objects using multibeam sonar to ensure the safety of an unmanned underwater vehicle. // *Water transport*. – 2023. – № 2(38). – P. 96-102. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.10.
17. Daki O.A., Yakusevych Yu.H., Lihanenko V.V., Tryshyn V.V. Model of air conditioning and cooling system on modern oil-filling ships and gas carriers. // *Water transport*. – 2022. – № 1(35). – P. 121-127. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.1.35.15.

18. Sagin S., Madey V., Sagin, A., Stoliaryk T., Fomin O., Kučera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels *Journal Marine Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 10(10). – P. 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.
19. Sagin S.V. Increasing the reliability of precision pairs of marine diesel fuel equipment through the use of organic coatings // *Herald of the Odessa National Maritime University*. – 2018. – Vol. 4(57). – P. 109-120.
20. Sagin S.V. Reduction of energy losses in precision steam fuel equipment of marine diesel engines // *Ship power plants*. – 2018. – Vol. 38. – P. 132-142.
21. Matskevych D.V., Sagin S.V., Hanmamedov S.A. Changes in the rheological characteristics of lubricants in the circulating oil system during operation of a medium-speed engine // *Ship power plants*. – 2010. – Vol. 25. – P. 109-118.
22. Sagin S., Sagin A. Development of method for managing risk factors for emergency situations when using low-sulfur content fuel in marine diesel engines // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2023. – № 5 (1(73)). – P. 37–43. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290198>.
23. Sagin S.V., Zablotsky Yu. V., Perunov R.V. Technology of use and test results of fuel additives for marine diesel engines // *Problems of technical*. – 2012. – Vol. 3. – P. 84-103.
25. Zverkov D.O., Sagin S.V. Reduction of mechanical losses in marine diesel engines // *Ship power plants*. – 2020. – Vol. 40. – P. 20-25. DOI : 10.31653/smf341.2020.20-25.
26. Golovan A.I. Conceptual model of planning and optimization of cargo vessel maintenance schedules. // *Water transport*. – 2023. – № 1(37). – P. 107-115. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.12.
26. Sagin S.V., Matskevych D.V. Optical characteristics of boundary lubricating layers of oils used in circulation systems of marine diesel engines // *Ship power plants*. – 2011. – Vol. 26. – P. 116-125.
27. Petrychenko O. Levynskiy M., Prytula D., Vynohradova A. Fuel options for the future: a comparative overview of properties and prospects // *Transport Systems and Technologies*. – 2023. – № 41. – P. 96-106. <https://doi.org/10.32703/2617-9059-2023-41-8>.
28. Levynskiy M. Automatic diagnostic of marine diesel generator lubricating oil condition // *Automation of ship technical facilities*. – 2023. – № 28. – P. 106-120. DOI: 10.31653/1819-3293-2023-1-28-106-120
29. Sagin S.V., Sagin S.S., Fomin O., Gaichenia O., Zablotskyi Y., Píšťek V., Kučera P. Use of biofuels in marine diesel engines for sustainable and safe maritime transport // *Renewable Energy*. – 2024. – Vol. 224. – P. 120221. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120221>.
30. Petrychenko O. Levynskiy M. Trends and preconditions for widespread adoption of liquefied natural gas in maritime transport // *Transport Systems and Technologies*. – 2024. – № 43. – P. 21-36. <https://doi.org/10.32703/2617-9059-2024-43-2>.
31. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Píšťek V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe // *Journal Marine Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 10(9). – P. 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331>.
32. Rybalchenko M.E., Bilousov E.V. Use of numerical profiles of the working process for the analysis of the efficiency of work of a ship's low-speed engine under the conditions of the current tendencies to reduce the operating speed of vessels. // *Water transport*. – 2022. – № 2(36). – P. 1-13. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.06.
33. Sagin S., Kuropyatnyk O., Tkachenko I. Ensuring the environmental friendliness of marine diesel engines of specialized ships // *Ship power plants*. – 2022. – Vol. 45. – P. 5-16. doi: 10.31653/smf45.2022.5-16.
34. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotskyi Yu.V. Gaichenia O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // *Nase More : International Journal of Maritime Science & Technology*. – 2022. – Vol. 69. – Iss.1. – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7.
35. Kuropyatnyk O.O., Sagin S.V. Controlling the exhaust gases of marine diesel engines to ensure environmental performance // *Automation of ship technical facilities*. – 2018. – № 24. – P. 72-80.
36. Sagin S.V., Karianskyi S., Sagin S.S., Volkov O., Zablotskyi Y., Fomin O., Píšťek V., Kučera P. Ensuring the safety of maritime transportation of drilling fluids by platform supply-class vessel // *Applied Ocean Research*, 2023. – Vol. 140. 103745. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2023.103745>.

Sagin S.V., Rusnak D.Y.**IMPROVEMENT OF THE PROCESS OF PREPARATION OF PETROLEUM FUELS FOR MEDIUM-SPEED MARINE DIESEL ENGINES**

The issue of improving the process of preparing fuels of petroleum origin for medium-speed marine diesel engines is considered. It was determined that the use of liquid fuels of petroleum origin with increased density in medium-speed marine diesel engines requires its additional processing. One of the common methods of additional processing of fuel is the addition of special fuel additives to its volume. At the same time, manufacturers that ensure their supply to ships of sea and inland waterway transport do not determine the optimal concentration of additives in the volume of fuel, indicating only the possible range of this concentration. This leads to unnecessary consumption of fuel additives (the cost of which is up to three orders of magnitude higher than the cost of fuel), and can also cause an increase in the thermal intensity of the diesel engine and a deterioration in its environmental characteristics. The purpose of the study was to determine the impact of chemical fuel treatment on the main operational indicators of marine diesel engines, which characterize its economic, environmental and thermal intensity. The specific effective fuel consumption, nitrogen oxide emissions with exhaust gases and average exhaust gas temperature were taken as indicators. Studies carried out in the fuel systems of four identical 6L32F diesel engines manufactured by Wartsila yielded experimental results confirming the reduction in specific effective fuel consumption when using fuel additives. For different concentrations of the additive in the base fuel, a different amount of reduction in specific effective fuel consumption is observed, which is 1.8...4.7 %. Also, for different concentrations of the fuel additive in the volume of fuel injected into the diesel cylinder, an improvement in the environmental friendliness of the diesel engine was determined, which is reflected in a 13.2...14.5 % reduction in nitrogen oxide emissions with exhaust gases and a decrease in temperature stress, as evidenced by a 10...14 °C decrease in the average exhaust gas temperature in the diesel cylinders.

Keywords: chemical treatment of fuel, environmental friendliness of diesel operation, diesel efficiency, fuel additives, nitrogen oxide emissions, marine medium-speed diesel, maritime transport, petroleum fuel, specific fuel consumption, thermal stress.