

Сагін С.В., Куропятник О.А.

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА НА ЕКОЛОГІЧНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

Надані результати досліджень, щодо визначення впливу біодизельного палива на екологічні та економічні показники роботи суднових дизелів. Експерименти виконувались на судні класу Bulk Carrier дедвейтом 58640 тонн під час експлуатації суднового дизеля 5S60ME-C8 MAN-B&W Diesel Group (якій виконував функції головного двигуна) та трьох суднових дизелів 6DL-16 Daihatsu Diesel (що використовувались як допоміжні двигуни). Дизелі експлуатувались на дистилятних паливах DMA (зі вмістом сірки 0,072 % за масою) та RMG380 (зі вмістом сірки 0,043 % за масою). У разі знаходження судна у спеціальних екологічних районах експлуатація дизелів виконувалася на паливі DMA, під час знаходження судна поза цих районів – на паливі RMG380. Під час проведення експериментів дизелі використовували дистилятне паливо RMG380, а також палива B10 та B30, які включають до свого складу дизельне паливо – 90 % або 70 %, а також біодизельне паливо FAME – 10 % або 30 %. Під час проведення експериментальних досліджень головний двигун 5S60ME-C8 MAN-B&W Diesel Group експлуатувався рівні проміжки часу на важкому паливі RMG380, а також на паливі B10 та B30 на навантаженнях 65 %, 75 %, 85 %, 95 % від номінальної потужності. Тривалість проведення експерименту на кожному з навантажень становила 1 ... 3 години і залежала від умов плавання судна. Допоміжні дизелі 6DL-16 Daihatsu Diesel експлуатувались рівні проміжки часу на важкому паливі RMG380, а також на паливі B10 та B30 на навантаженнях 50 %, 60 %, 70 %, 80 % від номінальної потужності. Тривалість проведення експерименту на кожному з навантажень становила 2...4 години та залежала від енергетичних потреб судна. Ефективність використання палив B10 та B30 оцінювалася за екологічним та економічним критеріями. Як екологічний критерій приймалася концентрація оксидів азоту у випускних газах дизелів. Як економічний критерій приймалась питома ефективна витрата палива. Експериментально підтверджено, що під час використання біодизельного палива B10 та B30 в порівнянні з паливом нафтового походження RMG380 досягається 24...25 % зниження концентрації оксидів азоту в випускних газах, при цьому відбувається 1,7...6,0 % підвищення питомої витрати палива.

**Ключові слова:** біодизельне паливо, випускні гази, дистилятне паливо, екологічні показники, економічні показники, концентрація оксидів азоту, морський транспорт, питома витрата палива, судновий дизель

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** Головними та допоміжними двигунами на морських судах є двигуни внутрішнього згоряння / дизелі [1, 2]. Саме цей тип теплових двигунів має найвищий коефіцієнт корисної дії та найнижчу питому витрату палива [3, 4]. Дизелі – основний тип теплових двигунів, що забезпечує рух морських суден, а також функціонування їх систем та механізмів [5, 6]. Сучасні альтернативи судовим дизелям, якими є сонячні батареї, вітрогенератори, жорсткі вітрила та скайт вітрила, акумуляторні батареї, паливні елементи можуть забезпечити енергетичні потреби морських суден лише за певних умов та обмежений період часу.

Функціонування судових дизелів неможливе без використання рідкого палива нафтового походження, що є основним джерелом енергії всіх теплових двигунів. Відповідно до міжнародного стандарту на паливо DIS DP-8217, розробленого міжнародною організацією зі стандартизації ISO, у судових дизелях використовуються два сорти дистилятного палива – чисте дизельне паливо DMA, DMB та змішане паливо DMC, а також очищене паливо RM [7, 8]. Діапазон в'язкості палива класу DMA, DMB,

DMC за 50 °C лежить у межах 2...15 сСт, їх густина за 15 °C становить 880...920 кг/м<sup>3</sup>. У зв'язку з цим дані сорти палива називають легкими. Теплотворна здатність палив DMA, DMB, DMC знаходиться в межах 42000...44000 кДж/кг. Паливо класу RM (наприклад, RMA30, RME180, RMG380, RMK700) мають в'язкість 30...700 сСт (за температурою 50 °C), густину 960...1010 кг/м<sup>3</sup> (за температурою 15 °C) та називаються важкими. Теплотворна здатність палив класу RM знаходиться в межах 39000...42000 кДж/кг. Важкі сорти палива мають нижчу вартість порівняно з легкими, що обумовлює використання цих сортів в суднових дизелях для скорочення фінансових витрат на їх придбання [9, 10]. Також слід зазначити, що у сучасних суднових дизелях (як головних, також і допоміжних) важкі сорти палив використовуються для забезпечення всіх режимів роботи, зокрема режимів пуску і реверсування [11, 12].

Основним негативним фактором, що пов'язаний з використанням палива нафтового походження, є його шкідливий вплив на довкілля. Перш за все це пов'язано з емісією оксидів вуглецю CO та CO<sub>2</sub>, оксидів сірки SO<sub>x</sub>, а також оксидів азоту NO<sub>x</sub>. В зв'язку з цим екологічні показники роботи суднових дизелів регламентуються з боку міжнародних організацій та класифікаційних товариств.

Завдання охорони довкілля під час експлуатації суден морського та внутрішнього водного транспорту виникло ще наприкінці 50-х років минулого століття та було відображено в Міжнародній конвенції 1954 р. з попередження забруднення моря нафтою (Oil Pollution – OILPOL), яка почала діяти з 1958 р. З часом виникли нові виклики, які зумовили розробку та прийняття в 1973 р. Міжнародної конвенції із запобігання забрудненню з суден та Протоколу до неї в 1978 р. (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, MARPOL 73/78). Вимоги щодо запобігання забрудненню моря з суден відображено у шести Додатках, що викладають Правила відносно забруднення моря конкретними речовинами: нафтою; шкідливими хімічними речовинами, що перевозяться наливом; речовинами, що перевозяться в упакованій формі; стічними водами; сміттям та забруднення повітряного середовища з суден.

Одним із критеріїв використання нафтових палив у суднових енергетичних установках є вміст сірки [13, 14]. Відповідно до вимог Annex VI MARPOL вміст сірки в паливі в разі експлуатації дизелів у спеціальних екологічних районах Sulphur emission control areas (SECAs) не повинен перевищувати 0,1 % за масою; у разі експлуатації поза районами SECAs – вміст сірки у паливі не повинен перевищувати 0,5 % за масою. Використання палива із вмістом сірки понад 0,5 % за масою можливе лише у разі додаткового очищення випускних газів у спеціальних системах очищення (як правило – у скруберах) [15, 16].

До одного з компонентів випускних газів суднових дизелів, значення якого регламентується Annex VI MARPOL, відносяться оксиди азоту NO<sub>x</sub>. Відповідно до вимог Annex VI MARPOL встановлено три рівні викидів оксидів азоту – Tier I, Tier II, Tier III, які встановлюють максимальний рівень емісії оксидів азоту залежно від року побудови судна та частоти обертання дизеля [17, 18]. Джерелами утворення NO<sub>x</sub> є азот, що знаходиться в повітрі, та азот, що знаходиться в паливі. Під час згоряння паливоповітряної суміші, з азоту, що знаходиться в повітрі, утворюються термічні NO<sub>x</sub> та швидкі NO<sub>x</sub>; з азоту, що входить до складу палива, – паливні NO<sub>x</sub>. За температур вище ніж 1500 °C відбувається ланцюгова реакція утворення оксидів азоту. Тому всі методи та технології, які забезпечують зменшення емісії NO<sub>x</sub>, спрямовані на зниження максимальної температури в циліндрі дизеля [19, 20].

Вказане підкреслює актуальність проведення досліджень, спрямованих на забезпечення екологічних показників роботи суднових дизелів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основним джерелом забруднення повітряного середовища є випускні гази теплових двигунів суднових енергетичних установок, насамперед дизелів – найбільш розповсюдженого та встановленого на всіх без винятку сучасних суднах двигуна. Зменшенню негативного впливу суднових дизелів (зокрема стосовно шкідливих викидів з випускними газами) присвячена велика кількість наукових робіт та технічних рішень. В більшості випадків вони спрямовані на зниження в випускних газах концентрації оксидів сірки SO<sub>x</sub> та азоту NO<sub>x</sub>. Як основні розв'язання цього завдання запропоновані десульфурізація палива [21, 22], скрубєрне очищення випускних газів [23, 24], зволоження та охолодження повітря шляхом додавання прісної води в продувальний ресивер та циліндр дизеля [25, 26], використання водопаливних емульсій [27, 28], рециркуляція випускних газів (Exhaust Gas Recirculation, EGR), встановлення системи вибіркового каталітичного відновлення (SCR – Selective Catalytic Reduction) [29, 30].

Одним із варіантів зниження емісії  $SO_x$  та  $NO_x$  з випускними газами суднових дизелів є використання альтернативних палив, основними видами якого є скраплений природний газ, скраплений нафтовий газ, водень, аміак, рослинні олії, біопаливо – біодизель [31, 32]. При цьому, через меншу кількість або відсутність сірки в складі біодизеля, забезпечуються вимоги щодо вмісту сірки в паливі, через меншу температуру згоряння біодизеля – виконуються вимоги щодо викидів оксидів азоту.

Основними компонентами, які використовують під час виробництва біодизеля, є рослинні та тваринні жири, хімічний склад яких незначно відрізняється один від одного [33, 34]. В результаті етерифікації у присутності метанолу або етанолу, а також каталізатора ці речовини реагують з утворенням моноалкілових ефірів, саме цей продукт називають біодизель. Далі біодизельна фаза додатково очищається за допомогою дистиляції та мембранного поділу [35, 36]. Таким чином, біодизельне паливо (або FAME – Fatty Acid Methyl Ester, метилові ефіри жирних кислот) на відміну від дизельного палива на нафтовій основі, виробляється з відновлюваних органічних джерел. Основні експлуатаційні характеристики FAME (густина, в'язкість, температура спалаху, теплотворна здатність) збігаються з аналогічними показниками дизельного палива – це дозволяє використовувати його у більшості сучасних дизельних двигунів [37, 38]. Як правило, у чистому вигляді біодизельне паливо FAME не використовується. Найбільш доцільний варіант його використання – паливні суміші із паливом нафтового походження. У таких сумішах нафтове паливо є основним компонентом та його кількість становить 70 ... 95 % за масою. Біодизельне паливо використовується як добавка, його кількість становить 5 ... 30 % за масою. Такі палива класифікуються як B5, B10...B25, B30. Незважаючи на застосування різних видів біодизельного палива, загальні рекомендації щодо визначення його оптимальної концентрації у дизельному паливі не розроблено. Також не існує рекомендацій щодо досягнення економічної та екологічної ефективності використання суміші дизельного та біодизельного палива на різних режимах роботи дизеля [39-41].

**Формулювання цілей статті.** Біодизельне паливо використовується як у головних, також і у допоміжних двигунах різної потужності. Однак більшість наукових досліджень, спрямованих на вивчення можливості використання біодизельного палива, переважно присвячені автомобільному та залізничному транспорту. Крім того, не розроблено критеріїв, за якими можна провести оцінку ефективності використання біодизельного палива в дизелях морських суден. У зв'язку з цим метою дослідження було визначення впливу біодизельного палива на екологічні та економічні показники роботи суднових дизелів.

**Виклад основного матеріалу.** Дослідження щодо вивчення впливу біодизельного на екологічні та економічні показники роботи суднових дизелів виконувались на судні класу Bulk Carrier дедвейтом 58640 тонн. Як головний двигун на судні використовувався судновий дизель 5S60ME-C8 MAN-B&W Diesel Group, як допоміжні – три суднові дизелі 6DL-16 Daihatsu Diesel. Основні характеристики суднових дизелів наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Основні характеристики суднових дизелів

| Характеристика                              | 5S60ME-C8  | 6DL-16        |
|---------------------------------------------|------------|---------------|
| Діаметр циліндра, м                         | 0,6        | 0,165         |
| Хід поршня, м                               | 2,4        | 0,21          |
| Тип                                         | двотактний | чотиритактний |
| Кількість                                   | 1          | 3             |
| Потужність, кВт                             | 8200       | 530           |
| Частота обертання, $хв^{-1}$                | 92         | 1200          |
| Питома витрата палива, $кг/(кВт \cdot год)$ | 0,176      | 0,191         |

Дизелі 5S60ME-C8 MAN-B&W Diesel Group та 6DL-16 Daihatsu Diesel мали загальну паливну систему, схема якої показана на рис. 1.

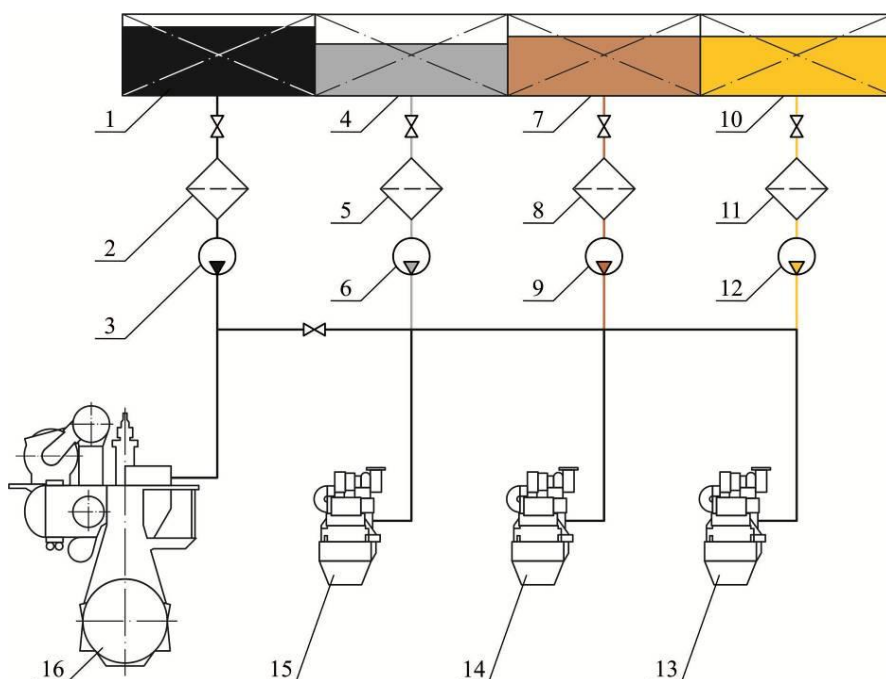


Рисунок 1 – Принципова паливна схема суднових дизелів 5S60ME-C8 MAN-B&W Diesel Group та 6DL-16 Daihatsu Diesel:

1 – важке паливо ( $0,1 < S < 0,5 \%$ ); 2, 5, 8, 11 – паливний фільтр; 3, 6, 9, 12 – паливний насос; 4 – легке паливо ( $S < 0,1 \%$ ); 7 – біодизельне паливо B10; 10 – біодизельне паливо B30; 13, 14, 15 – допоміжний двигун 6DL-16; 16 – головний двигун 5S60ME-C8

Подача палива до головного двигуна 16 та допоміжних двигунів 13, 14, 15 здійснювалася з паливних танків 1, 4, 7, 10 з використанням паливних фільтрів 2, 5, 8, 11 та паливних насосів 3, 6, 9, 12. Основні параметри роботи паливної системи (тиск, витрата, температура, в'язкість палива) контролювалися та підтримувалися автоматично. Також автоматично підтримувалася частота обертання та навантаження головного двигуна та допоміжних двигунів. Крім того, автоматично підтримувався розподіл навантаження між кількома допоміжними двигунами (двома або трьома) у разі їхньої паралельної роботи. Дизелі були обладнані системою діагностики ProPower, яка забезпечувала контроль основних показників робочого процесу – тиску згоряння  $p_z$ , ефективної потужності  $N_e$ , питомої ефективної витрати палива  $b_e$ , температури випускних газів  $t_f$ . Система ProPower також здійснювала контроль та аналіз випускних газів дизелів, у тому числі визначення концентрації оксидів азоту  $NO_x$ . Система ProPower відноситься до сучасних систем діагностики робочого процесу суднових дизелів та використовується на великій кількості морських суден. Експлуатація дизелів здійснювалася з використанням палив нафтового походження DMA та RMG380, а також біодизельних палив B10 та B30. Палива B10 та B30 включають до свого складу дизельне паливо – 90 % або 70 %, а також паливо FAME – 10 % або 30 %. Основні характеристики палив наведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Основні характеристики палив

| Характеристика                                            | Вид палива |        |       |       |
|-----------------------------------------------------------|------------|--------|-------|-------|
|                                                           | DMA        | RMG380 | B10   | B30   |
| Густина за $20^\circ \text{C}$ , $\text{кг/м}^3$          | 894        | 942    | 891   | 889   |
| В'язкість за $40^\circ \text{C}$ , $\text{мм}^2/\text{с}$ | 6,4        | 376    | 6,26  | 6,12  |
| Вміст сірки, %                                            | 0,072      | 0,43   | 0,065 | 0,058 |
| Теплотворна здатність, $\text{кДж/кг}$                    | 43680      | 40020  | 43686 | 43032 |

У разі знаходження судна у спеціальних екологічних районах SECAs експлуатація дизелів виконувалася на паливі DMA, під час знаходження судна поза SECAs – на паливі RMG380. Крім того, під час проведення експериментів дизелі використовували паливо B10 та B30. Під час проведення експерименту густина та в'язкість палива постійно контролювалися за допомогою суднової лабораторії фірми Unitor. Це забезпечувало однорідність палива та гарантувало коректність проведення експериментів.

Головний двигун 5S60ME-C8 MAN-B&W Diesel Group передавав свою потужність на гвинт фіксованого кроку за допомогою прямої передачі. Залежно від навігаційних умов та комерційного завдання на рейс, експлуатаційні режими роботи дизеля 5S60ME-C8 MAN-B&W Diesel Group становили 65...95 % від номінального навантаження. Під час пускових та маневрових режимів роботи дизель експлуатувався на навантаженнях 10...50 % від номінального. Допоміжні двигуни 6DL-16 Daihatsu Diesel були приводом електричних генераторів та входили до складу суднової електростанції. Їхньої потужності вистачало для забезпечення всіх операцій на судні на всіх експлуатаційних режимах (аварійному, швартовому, вантажному, нормальному). При цьому в експлуатації знаходився або один із трьох двигунів, або два двигуни – в цьому випадку вони працювали в паралельному режимі. Залежно від потреб в електричній енергії, експлуатаційні режими роботи дизелів 6DL-16 Daihatsu Diesel становили 50...80 % від номінального навантаження.

Під час проведення експериментальних досліджень головний двигун 5S60ME-C8 MAN-B&W Diesel Group експлуатувався рівні проміжки часу на важкому паливі RMG380, а також на паливі B10 та B30 на навантаженнях 65 %, 75 %, 85 %, 95 % від номінальної потужності. Тривалість проведення експерименту на кожному з навантажень становила 1...3 години і залежала від умов плавання судна. Допоміжні дизелі 6DL-16 Daihatsu Diesel експлуатувалися рівні проміжки часу на важкому паливі RMG380, а також на паливі B10 та B30 на навантаженнях 50 %, 60 %, 70 %, 80 % від номінальної потужності. Тривалість проведення експерименту на кожному з навантажень становила 2...4 години та залежала від енергетичних потреб судна.

Ефективність використання біопалив B10 та B30 оцінювалася за екологічним та економічним критеріями. Як екологічний критерій приймалася концентрація оксидів азоту у випускних газах дизелів –  $\text{NO}_x$ , г/(кВт·год). Саме цей показник в більшості наукових досліджень визначається як основний під час оцінки екологічності роботи морських суден. Як економічний критерій приймалась питома ефективна витрата палива –  $b_e$ , г/(кВт·год), яка впливає на загальну витрату палива (добову або відносно пройденого шляху). Отримані результати наведені у таблицях 3-6.

Таблиця 3 – Концентрація оксидів азоту  $\text{NO}_x$ , г/(кВт·год), в випускних газах суднового дизеля 5S60ME-C8 за різних умов проведення експерименту

| Навантаження, % | Вид палива |      |        |
|-----------------|------------|------|--------|
|                 | B10        | B30  | RMG380 |
| 50              | 5,74       | 5,23 | 6,73   |
| 60              | 5,92       | 5,42 | 7,11   |
| 70              | 6,02       | 5,64 | 7,48   |
| 80              | 6,16       | 5,87 | 7,84   |

Таблиця 4 – Питома ефективна витрата палива  $b_e$ , г/(кВт·год), суднового дизеля 5S60ME-C8 за різних умов проведення експерименту

| Навантаження, % | Вид палива |     |        |
|-----------------|------------|-----|--------|
|                 | B10        | B30 | RMG380 |
| 65              | 191        | 194 | 183    |
| 75              | 186        | 190 | 180    |
| 85              | 182        | 185 | 177    |
| 95              | 179        | 181 | 176    |

Таблиця 5 – Концентрація оксидів азоту  $\text{NO}_x$ , г/(кВт·год), в випускних газах суднового дизеля 6DL-16 за різних умов проведення експерименту

| Навантаження, % | Вид палива |       |        |
|-----------------|------------|-------|--------|
|                 | B10        | B30   | RMG380 |
| 65              | 9,21       | 8,81  | 10,58  |
| 75              | 9,92       | 9,32  | 11,64  |
| 85              | 10,32      | 9,88  | 12,65  |
| 95              | 10,75      | 10,25 | 13,42  |

Таблиця 6 – Питома ефективна витрата палива  $b_e$ , г/(кВт·год), суднового дизеля 6DL-16 за різних умов проведення експерименту

| Навантаження, % | Вид палива |     |        |
|-----------------|------------|-----|--------|
|                 | B10        | B30 | RMG380 |
| 50              | 204        | 209 | 199    |
| 60              | 199        | 202 | 195    |
| 70              | 196        | 198 | 193    |
| 80              | 194        | 197 | 191    |

Для кращої візуалізації, залежності концентрації оксидів азоту у випускних газах  $\text{NO}_x$ , а також питомої ефективної витрати палива  $b_e$  для різних навантажень судових дизелів під час використання важкого палива RMG380, а також біопалив B10 та B30 показані на рис. 2, 3.

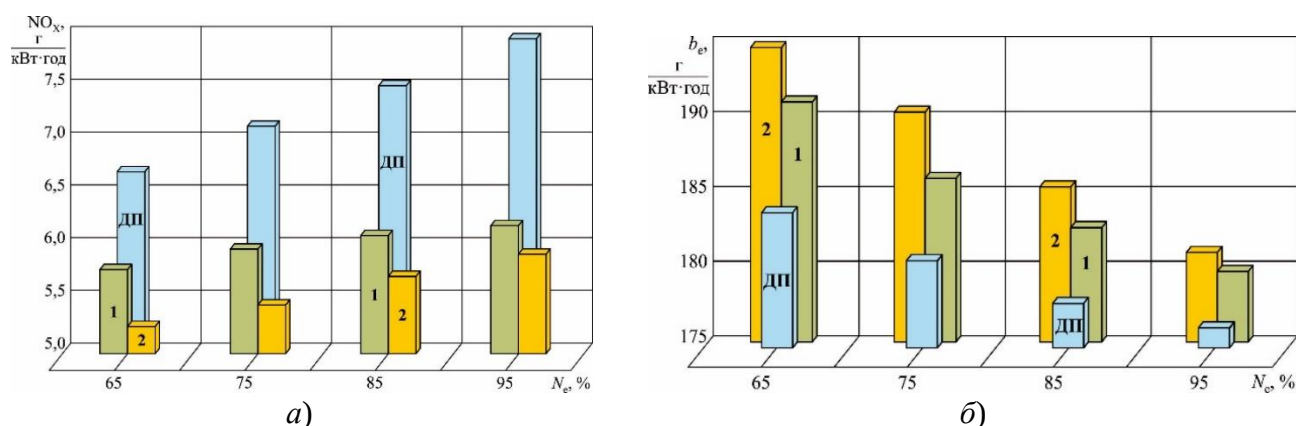


Рисунок 2 – Залежність концентрації оксидів азоту в випускних газах (а), та питомої ефективної витрати палива (б) суднового дизеля 5S60ME-C8 MAN-B&amp;W Diesel Group за різних умов проведення експерименту: ДП – дизельне паливо; 1 – біопаливо B10; 2 – біопаливо B30

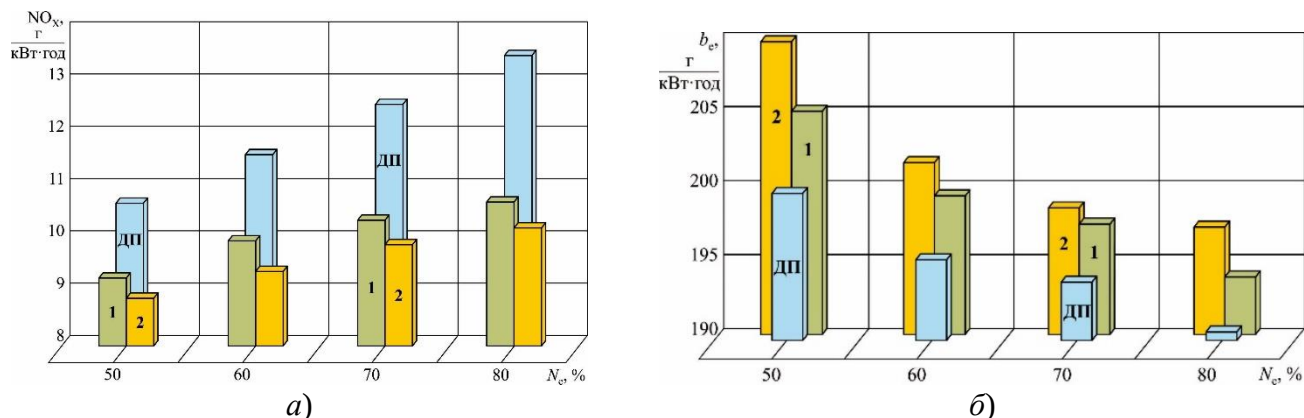


Рисунок 3 – Залежність концентрації оксидів азоту в випускних газах (а), та питомої ефективної витрати палива (б) суднового дизеля 6DL-16 Daihatsu Diesel за різних умов проведення експерименту: ДП – дизельне паливо; 1 – біопаливо B10; 2 – біопаливо B30

Використання біопалива сприяє зниженню концентрації оксидів азоту у випускних газах як для дизеля 5S60ME-C8 MAN-B&W Diesel Group, також і для дизелів 6DL-16 Daihatsu Diesel. Однак, при цьому збільшується питома ефективна витрата палива. Відносна зміна цих параметрів оцінювалася за виразами:

відносне зниження концентрації оксидів азоту у випускних газах

$$\Delta NO_x = \frac{NO_x^{ДП} - NO_x^{Біо}}{NO_x^{ДП}} \cdot 100\%; \quad (1)$$

відносне збільшення питомої ефективної витрати палива

$$\Delta b_e = \frac{b_e^{Біо} - b_e^{ДП}}{b_e^{ДП}} \cdot 100\%; \quad (2)$$

де  $NO_x^{ДП}$ ,  $NO_x^{Біо}$  – концентрація оксидів азоту у випускних газах під час використання дизельного та біодизельного палива (B10 або B30);

$b_e^{ДП}$ ,  $b_e^{Біо}$  – питома ефективна витрата палива під час використання дизельного палива та біопалива (B10 або B30).

Отримані в такий спосіб значення наведено у таблицях 7-10.

Таблиця 7 – Відносне зниження концентрації оксидів азоту у випускних газах суднового дизеля 5S60ME-C8 за різних умов проведення експерименту

| Навантаження, % | Вид палива |       |
|-----------------|------------|-------|
|                 | B10        | B30   |
| 65              | 12,95      | 16,73 |
| 75              | 14,78      | 19,93 |
| 85              | 18,42      | 21,90 |
| 95              | 19,90      | 23,62 |

Таблиця 8 – Відносне збільшення питомої ефективної витрати палива суднового дизеля 5S60ME-C8 за різних навантажень

| Навантаження, % | Вид палива |      |
|-----------------|------------|------|
|                 | B10        | B30  |
| 65              | 4,37       | 6,01 |
| 75              | 3,33       | 5,56 |
| 85              | 2,82       | 4,52 |
| 95              | 1,70       | 2,84 |

Таблиця 9 – Відносне зниження концентрації оксидів азоту у випускних газах суднового дизеля 6DL-16 за різних навантажень

| Навантаження, % | Вид палива |       |
|-----------------|------------|-------|
|                 | B10        | B30   |
| 50              | 14,71      | 22,29 |
| 60              | 16,74      | 23,77 |
| 70              | 19,52      | 24,60 |
| 80              | 21,43      | 25,13 |

Таблиця 10 – Відносне збільшення питомої ефективної витрати палива суднового дизеля 6DL-16 за різних навантажень

| Навантаження, % | Вид палива |      |
|-----------------|------------|------|
|                 | B10        | B30  |
| 50              | 2,51       | 5,03 |
| 60              | 2,05       | 3,59 |
| 70              | 1,55       | 2,59 |
| 80              | 1,57       | 3,14 |

Для кращої візуалізації розрахункові значення відносного зниження концентрації оксидів азоту у випускних газах та відносного збільшення питомої витрати палива, які наведені в табл. 7-10, представлені у вигляді діаграм (рис. 4, 5).

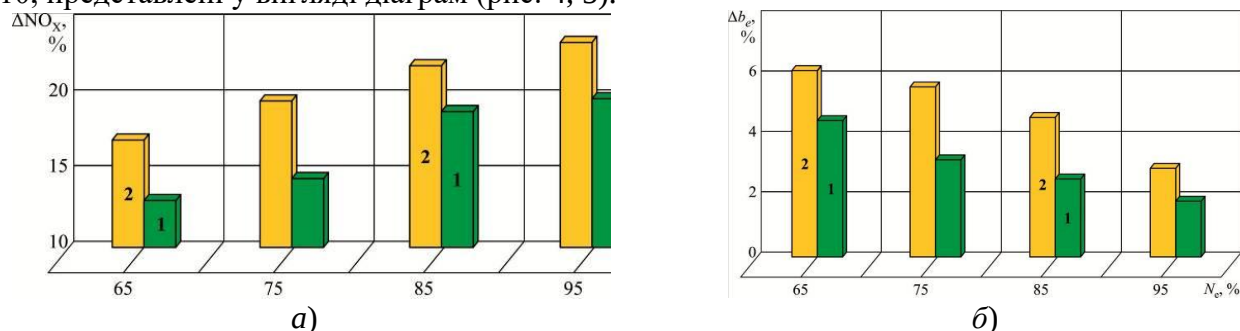


Рисунок 4 – Відносне зниження концентрації оксидів азоту у випускних газах (а), відносне збільшення питомої ефективної витрати палива (б) дизеля

5S60ME-C8 MAN-B&W Diesel Group за різних умов проведення експерименту:

1 – біопаливо B10; 2 – біопаливо B30

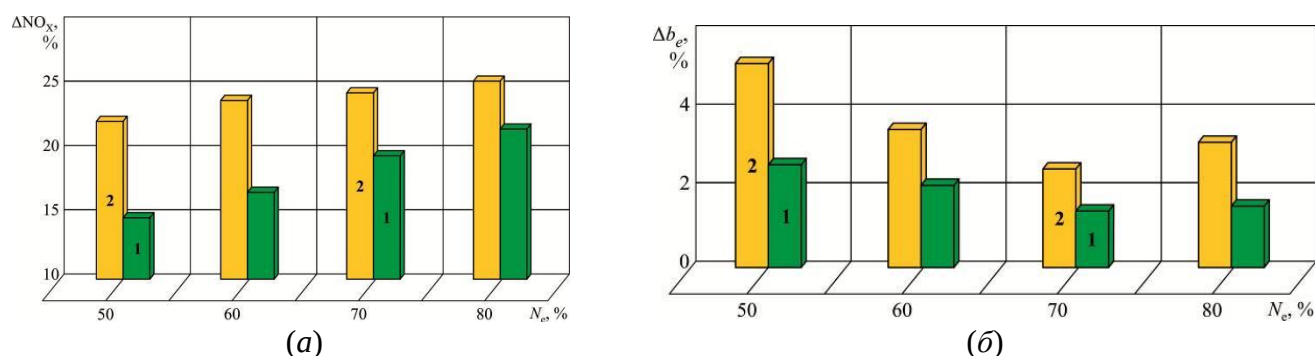


Рисунок 5 – Відносне зниження концентрації оксидів азоту у випускних газах (а) та відносне збільшення питомої ефективної витрати палива дизеля 6DL-16 Daihatsu Diesel за різних умов проведення експерименту: 1 – біопаливо B10; 2 – біопаливо B30

Наведені результати свідчать, що біопаливо B10 так і біопаливо B30 сприяють поліпшенню екологічності роботи дизеля (а саме забезпечують зниження емісії оксидів азоту  $NO_x$ ). Водночас при цьому погіршується економічність роботи дизель (збільшується питома ефективна витрата палива).

Під час проведення досліджень контролювались та підтримувались у необхідному діапазоні всі основні параметри роботи головного та допоміжних дизелів, а також параметри у системах, що забезпечують їхнє функціонування. До них були віднесені: тиск у циліндрі наприкінці стиснення, тиск в циліндрі наприкінці згоряння, температура випускних газів на виході з циліндрів, середній індикаторний тиск в циліндрі, а також відхилення цих показників від середнього значення по всіх циліндрах; частота обертання валу дизеля; фази газорозподілу (кути відкриття та закриття продувних вікон, а також продувних та випускних клапанів); тиск і температура охолоджувальної

води та циркуляційного мастила на вході та виході з дизелів; температура та в'язкість палива, а також технічний стан паливної апаратури високого тиску.

**Висновки.** Отримані результати дозволяють зробити наступні висновки.

Одним із способів забезпечення екологічної ефективності та розширення діапазону екологічної стійкості дизелів морських суден є використання біопалива. До одного з найпоширеніших типів біопалива належить біодизельне паливо FAME – Fatty Acid Methyl Ester. У судових дизелях використовуються паливні суміші, основну частину яких (70...90 %) становлять дистилятні сорти палива, як добавка (10...30 %) використовуються палива класу FAME. Як подібні суміші під час проведення досліджень використовувалися біопалива B10 і B30.

Експерименти, які були виконані на судових дизелях 5S60ME-C8.2 MAN-Diesel&Turbo та 6DL-16 Daihatsu Diesel визначили таке:

1) біопалива B10 (яке містить 90 % дистилятного палива та 10 % біодизельного палива FAME) та B30 (яке містить 70 % дистилятного палива та 30 % біодизельного палива FAME) у порівнянні з важким паливом RMG380 забезпечують зниження концентрації оксидів азоту в діапазоні:

для дизеля 5S60ME-C8.2 MAN-Diesel&Turbo на 12,95...19,90 % (біопаливо B10) та на 16,73...23,62 % (біопаливо B30);

для дизеля 6DL-16 Daihatsu Diesel на 14,71...21,43 % (біопаливо B10) та на 22,29...25,13 % (біопаливо B30);

2) одночасно з цим під час використання біопалива збільшується питома ефективна витрата палива:

для дизеля 5S60ME-C8.2 MAN-Diesel&Turbo на 1,70...4,37 % (біопаливо B10) та на 2,84...6,01 % (біопаливо B30);

для дизеля 6DL-16 Daihatsu Diesel на 1,55...2,51 % (біопаливо B10) та на 2,59...5,03 % (біопаливо B30);

3) підвищення питомої ефективної витрати на окремих режимах роботи дизелів є негативним фактором і може бути причиною обмеження використання біопалива;

4) підвищення екологічності роботи судових дизелів у разі використання біопалива є найбільш позитивним критерієм та сприяє інтенсивності використання біопалива в енергетичних установках морських суден. Це підвищує екологічну безпеку роботи дизелів у разі виникнення аварійних ситуацій, а також випадкових та короточасних викидів в атмосферу випускних газів із підвищеним вмістом оксидів азоту – явищах, які можливі на пускових режимах роботи дизеля, а також на режимах стрибкоподібної зміни навантаження.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Levinskyi 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
2. 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.
3. 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.
4. Даки 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.

5. 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>.
6. Тимошук О.М., Дакі О.А., Бойко О.А., Карадобрий 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>.
7. 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.
8. 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.
9. Сагін С.В., Куропятник О.А. Визначення оптимальних режимів процесів управління випускними газами судових дизелів // *Водний транспорт: Збірник наукових праць*. – 2024. – Вип. 2(40). – С. 173-185. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.16.
10. Сагін С.В., Куропятник А.А. Оптимизация режимов работы системы перепуска выпускных газов судовых среднеоборотных дизелей // *Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сб.* – 2019. – Вып. 25. – Одесса: НУ«ОМА». – С. 79-89.
11. Побережний Р.В., Сагін С.В. Забезпечення екологічних показників дизелів суден річкового та морського транспорту // *Суднові енергетичні установки: наук. -техн. зб.* – 2020. – Вип. 41. – Одеса: НУ«ОМА». – С. 5-9. DOI: 10.31653/smf340.2020.5-9.
12. Руснак Д.Ю., Сагін С.В. Забезпечення екологічних вимог при ультразвуковій десульфурізації вуглеводних палив // *Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб.* – 2020. – Вип. 40. – Одеса : НУ«ОМА». – С. 49-54. DOI: 10.31653/smf340.2020.49-54.
13. Petrychenko O. Levinskyi 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>.
14. Сагін С.В., Поповский Ю.М., Гребенюк М.Н. Влияние ориентационной упорядоченности в граничных смазочных слоях на триботехнические характеристики узлов трения // *Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб.* – 1998. – Вып. 1. – Одесса: ОГМА. – С.102-104.
15. Поповский А.Ю., Сагін С.В. Оценка эксплуатационных свойств смазочно-охлаждающих жидкостей судовых технических средств // *Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сборник*. – 2016. – Вып. 22. – С. 66-74.
16. 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>.
17. Марченко О.О., Сагін С.В. Вдосконалення процесу очищення судових важких палив // *Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник*. – 2020. – Вип. 41. – Одеса: НУ«ОМА». – С. 10-14. DOI: 10.31653/smf341.2020.10-14.
18. Сагін С.В., Заблоцкий Ю.В. Влияние анизотропных жидкостей на работу узлов трения судовых дизелей // *Проблемы техники : науч.-виробн. журнал*. – 2012. – № 4. – Одесса : ОНМУ. – С. 68-81.
19. Сагін С.В., Заблоцкий Ю.В., Перунов Р.В. Технология использования и результаты испытаний присадок к топливам для судовых дизелей // *Проблемы техники: науч.-виробн. журнал*. – 2012. – № 3. – Одесса: ОНМУ. – С. 84-103.
20. 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.
21. 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.

22. 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.
23. 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>.
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 суднових дизелях // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 40. – С. 20-25. DOI : 10.31653/smf341.2020.20-25.
26. Мадей В.В., Сагин С.В., Волков О.М. Управління процесом впорскування під час використання в суднових дизелях паливних сумішей до складу яких входить паливо біологічного походження // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 193-205. [doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.21](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.21).
27. Сагин А.С., Сагин С.В. Експериментальне визначення оптимальних фаз подачі палива в циліндр суднових дизелів // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 206-215. [doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.22](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.22).
28. Sagin S. V., Stoliaryk T. O. Comparative assessment of marine diesel engine oils // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7-8 (July – August). – P. 29-35. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-29-35>.
29. 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.
30. Сагин С.В., Столярик Т.О. Динаміка суднових дизелів під час використання моторних мастил з різними структурними характеристиками // Автоматизація суднових технічних засобів : наук. - техн. зб. – 2021. – Вип. 27. – Одеса: НУ«ОМА». – С. 108-119. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-108-119.
31. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. Using exhaust gas bypass for achieving the environmental performance of marine diesel engines // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7-8 (July – August). – P. 36-43. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-36-43>.
32. Sagin A.S., Zablotskyi Yu.V. Reliability maintenance of fuel equipment on marine and inland navigation vessels // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7–8 (July – August). – P. 14-17. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-14-17>.
33. Kuropyatnyk O.A. Reducing the emission of nitrogen oxides from marine diesel engines // Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration January 25, 2020. Part 2. Beijing, PRC. – P. 154-160. DOI. 10.34660/INF. 2020.24.53689
34. Kuropyatnyk O.A. Selection of optimal operating modes of exhaust gas recirculation system for marine low-speed diesel engines // Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments” (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4). – P. 203-211. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52992
35. Zablotsky Yu.V. The use of chemical fuel processing to improve the economic and environmental performance of marine internal combustion engines // Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”. Part 1. August 31, 2019. Beijing, PRC. – P. 131-138. DOI. 10.34660/INF.2019.15.36257.
36. Kuropyatnyk O.A. Ensuring environmental performance indicators of marine diesel engines // Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”. Part 1. August 31, 2019. Beijing, PRC. – P. 146-153. DOI. 10.34660/INF.2019.15.36259.

37. Kuropyatnyk O.A. Reduction of NO<sub>x</sub> emission in the exhaust gases of low-speed marine diesel engines // *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*, Vienna-2018. – № 7-8 (July-August). – P. 37-42. doi.org/10.29013/AJT-18-7.8-37-42
38. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В. Определение триботехнических характеристик поверхностей по степени упорядоченности пристенных слоев углеводородных жидкостей // *Проблеми техніки : наук.-виробн. журнал*. – 2011. – № 3. – Одеса: ОНМУ. – С. 78-88.
39. 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.
40. Sagin S.V. Decrease in mechanical losses in high-pressure fuel equipment of marine diesel engines // *Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”*. Part 1. August 31, 2019. Beijing, PRC. – P. 139-145. DOI. 10.34660/INF.2019.15.36258.
41. Левченко О.В. Синтез варіантів дій судноводія у небезпечних ситуаціях з урахуванням часових та ресурсних обмежень у суднових СППР // *Водний транспорт: Збірник наукових праць*. – 2021. – Вип. 3(34). – С. 89-98. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.10.

## REFERENCES

1. Levinskyi 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
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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). – С. 187-198. doi.org/10.33298/2226-8553/2023.2.38.20.
9. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. Determination of optimal modes of exhaust gas control processes for marine diesel engines // *Water transport*. – 2024. – №. 1(39). – P. 173-185. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.16.
10. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. Optimization of operating modes of the exhaust gas bypass system of marine medium-speed diesel engines // *Automation of ship facilities*. – 2019. – № 25. – P. 79-89.
11. Poberezhniy R.V., Sagin S.V. Ensuring the environmental performance of diesel engines in river and sea transport vessels // *Ship power plants*. – 2020. – Vol. 41. – P. 5-9. DOI: 10.31653/smf340.2020.5-9.

12. Rusnak D.Y., Sagin S.V. Ensuring environmental requirements during ultrasonic desulfurization of hydrocarbon fuels // Ship power plants. – 2020. – Vol. 40. – P. 49-54. DOI: 10.31653/smf340.2020.49-54.
13. Petrychenko O. Levinskyi 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>.
14. Sagin S.V., Popovskii Y.M., Grebenuk M.N. The influence of orientation ordering in boundary lubricant layers on the tribological characteristics of friction units // Ship power plants. – 1998. – Vol. 1. – P. 102-104.
15. 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.
16. 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>.
17. Marchenko O.O., Sagin S.V. Improving the process of cleaning marine heavy fuels // Ship power plants. – 2020. – Vol. 41. – P. 10-14. DOI: 10.31653/smf340.2020.10-14.
18. Sagin S.V., Zablotsky Yu.V. The influence of anisotropic fluids on the operation of friction units of marine diesel engines // Problems of technical. – 2012. – Vol. 4. – P. 68-81.
19. 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.
20. 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.
21. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotsky 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.
22. 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.
23. 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>.
24. 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.
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. Madey V.V., Sagin S.V., Volkov O.M. Ensuring operational performance of diesel engines of marine vessels when using fuel of biological origin // Water transport. – 2024. – №. 1(39). – P. 193-205. [doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.21](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.21).
27. Sagin A.S., Sagin S.V. Experimental determination of optimal phases of fuel supply to the cylinder of marine diesel engines // Water transport. – 2024. – №. 1(39). – P. 206-215. [doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.22](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.22).
28. Sagin S. V., Stoliaryk T. O. Comparative assessment of marine diesel engine oils // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7-8 (July – August). – P. 29-35. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-29-35>.
29. Popovskii A.Y., Sagin S.V. Complex assessment of operational characteristics of lubricating hydrocarbon liquids // Automation of ship facilities. – 2014. – №20. – P. 74-83.
30. Sagin S.V., Stoliaryk T.O. Dynamics of marine diesel engines when using motor oils with different structural characteristics // Automation of ship facilities. – 2021. – № 27. – P. 108-119. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-108-119.

31. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. Using exhaust gas bypass for achieving the environmental performance of marine diesel engines // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7-8 (July – August). – P. 36-43. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-36-43>.
32. Sagin A.S., Zablotskyi Yu.V. Reliability maintenance of fuel equipment on marine and inland navigation vessels // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7-8 (July – August). – P. 14-17. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-14-17>.
33. Kuropyatnyk O.A. Reducing the emission of nitrogen oxides from marine diesel engines // Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration January 25, 2020. Part 2. Beijing, PRC. – P. 154-160. DOI. 10.34660/INF.2020.24.53689
34. Kuropyatnyk O.A. Selection of optimal operating modes of exhaust gas recirculation system for marine low-speed diesel engines // Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments” (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4). – P. 203-211. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52992
35. Zablotsky Yu.V. The use of chemical fuel processing to improve the economic and environmental performance of marine internal combustion engines // Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”. Part 1. August 31, 2019. Beijing, PRC. – P. 131-138. DOI. 10.34660/INF.2019.15.36257.
36. Kuropyatnyk O.A. Ensuring environmental performance indicators of marine diesel engines // Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”. Part 1. August 31, 2019. Beijing, PRC. – P. 146-153. DOI. 10.34660/INF.2019.15.36259.
37. Kuropyatnyk O.A. Reduction of NO<sub>x</sub> emission in the exhaust gases of low-speed marine diesel engines // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, Vienna-2018. – № 7-8 (July-August). – P. 37-42. [doi.org/10.29013/AJT-18-7.8-37-42](https://doi.org/10.29013/AJT-18-7.8-37-42)
38. Sagin S.V., Zablotskyi Y.V. Determination of tribological characteristics of surfaces by the degree of ordering of wall layers of hydrocarbon liquids // Problems of technical. – 2011. – Vol. 3. – P. 78-88.
39. 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.
40. Sagin S.V. Decrease in mechanical losses in high-pressure fuel equipment of marine diesel engines // Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”. Part 1. August 31, 2019. Beijing, PRC. – P. 139-145. DOI. 10.34660/INF.2019.15.36258.
41. 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](https://doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.10).

**Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A.**

#### **ANALYSIS OF THE IMPACT OF BIODIESEL FUEL ON THE ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC PERFORMANCE OF MARINE DIESEL ENGINES**

The results of research on determining the impact of biodiesel fuel on the environmental and economic performance of marine diesel engines are provided. The experiments were carried out on a Bulk Carrier class ship with a deadweight of 58,640 tons during the operation of a MAN-B&W Diesel Group 5S60ME-C8 marine diesel engine (which served as the main engine) and three 6DL-16 Daihatsu Diesel marine diesel engines (which were used as auxiliary engines). Diesels were operated on distillate fuels DMA (with a sulfur content of 0.072 % by mass) and RMG380 (with a sulfur content of 0.043 % by mass). When the vessel was located in special ecological areas, diesel engines were operated on DMA fuel, while the vessel was outside these areas – on RMG380 fuel. During the experiments, diesel engines used RMG380 distillate fuel, as well as B10 and B30 fuels, which include diesel fuel – 90 % or 70 %, as well as FAME biodiesel fuel – 10 % or 30 %. During experimental studies, the main engine 5S60ME-C8 MAN-B&W Diesel Group was operated at equal intervals on heavy fuel RMG380, as well as on B10 and B30 fuel at loads of 65 %, 100 % and 75 %.

75 %, 85 %, 95 % of the rated power. The duration of the experiment on each of the loads was 1 to 3 hours and depended on the vessel's sailing conditions. Auxiliary diesels 6DL-16 Daihatsu Diesel were operated at equal intervals on heavy fuel RMG380, as well as on B10 and B30 fuel at loads of 50 %, 60 %, 70 %, 80 % of the rated power. The duration of the experiment on each of the loads was 2 to 4 hours and depended on the energy needs of the ship. The efficiency of using B10 and B30 fuels was evaluated according to ecological and economic criteria. The concentration of nitrogen oxides in the exhaust gases of diesel engines was taken as an environmental criterion. The specific effective fuel consumption was taken as an economic criterion. It has been experimentally confirmed that when using biodiesel B10 and B30, compared to petroleum-derived fuel RMG380, a 24...25 % decrease in the concentration of nitrogen oxides in exhaust gases is achieved, while there is a 1.7...6.0 % increase in specific fuel consumption.

**Keywords:** *biodiesel fuel, concentration of nitrogen oxides, distillate fuel, economic indicators, environmental indicators, exhaust gases, marine diesel, sea transport specific fuel consumption.*