

УДК 629.5

DOI: 10.31653/1819-3293-2026-1-31-112-125

ARTICLE HISTORY

Received 04.04.2026

Accepted 30.04.2026

Управління екологічними показниками суднових дизелів під час використання палива біологічного походження

Сагін Сергій Вікторович¹, Парменова Дана Георгіївна²,
Власюк Петро Петрович³

Національний університет «Одеська морська академія», Одеса,
Україна

saginsergii@gmail.com¹, parmenovadana12@gmail.com²,
vlasyk@gmail.com³

Regulation of environmental performance of marine diesel engines when using fuel of biological origin

Sagin Sergii, Dana Parmenova, Vlasyk Petro
NU "Odessa Maritime Academy", Odessa, Ukraine
saginsergii@gmail.com¹, parmenovadana12@gmail.com²,
vlasyk@gmail.com³

Резюме. Розглянуто технологію контролю екологічних показників суднових дизельних двигунів під час використання палива біологічного походження. Для суднового дизеля 9S50ME MAN-B&W встановлено, що під час використання паливних сумішей, до складу яких входить паливо нафтового походження RMG380 та паливо біологічного походження FAME B100, можливо експериментальне визначення кутів випередження подачі палива за якими забезпечується мінімальне збільшення емісії оксидів азоту з одночасним близьким до максимального зниженням емісії діоксидів вуглецю.

Summary. The technology of controlling the environmental performance of marine diesel engines when using fuel of biological origin is considered. For the 9S50ME MAN-B&W marine diesel engine, it was found that when using fuel mixtures that include RMG380 petroleum fuel and FAME B100 biological fuel, it is possible to experimentally determine the fuel advance

angles that ensure a minimal increase in nitrogen oxide emissions with a simultaneous close to maximum reduction in carbon dioxide emissions.

Дизелі відносяться до найбільш розповсюджених теплових двигунів, що використовуються на судах морського та внутрішнього водного транспорту [1-3]. Перш за все це пов'язане з найменшою у порівнянні з іншими типами теплових двигунів (парових котлів та газових турбін) питомою витратою палива та найбільшим у порівнянні з цими же тепловими двигунами коефіцієнтом корисної дії. До безумовних переваг судових дизелів також відноситься можливість збільшення їхньої потужності шляхом збільшення кількості циліндрів за умовою таких ж самих їхніх геометричних розмірів – методу, що неможливий для парових котлів та газових турбін [4 - 6].

Отримання корисної роботи у судових дизелях неможливо без використання рідкого палива – джерела енергії, що використовується у 95 ... 98 % зі всієї кількості дизелів, що на теперішній час знаходяться у експлуатації [7 - 9]. У останні роки на судах морського транспорту встановлюються дизелі класу Dual Fuel, що працюють як на рідкому паливі нафтового походження, також і на нафтовому або природному газі. При цьому у більшості випадків ці дизелі встановлюються на судах, як перевозять нафтовий чи природний газ як вантаж, частина якого використовується як паливо для дизелів. Одночасно з цим ці судна виконують баластні навігаційні переходи, протягом яких експлуатація дизелів виконується на рідкому паливі нафтового походження. Ще менша кількість морських суден обладнана дизелями, під час експлуатації яких використовуються метилові спирти або ефіри. За різними оцінками, рідке паливо нафтового походження буде займати домінуючий стан порівняно з іншими видами палива на протязі найближчих 15 ... 20 років.

Згоряння палива нафтового походження у судових дизелях супроводжується утворенням випускних газів та їхнім потраплянням у атмосферу. Випускні гази судових дизелів є багатокomпонентною сумішшю до складу якої у тому числі входять токсичні речовини (насамперед оксиди азоту NO_x) та речовини, що призводять до збільшення парникового ефекту (насамперед діоксид вуглецю CO_2). За цими показниками виконується оцінка екологічності роботи судових дизелів. Через це експлуатація судових дизелів виконується з забезпеченням мінімально можливого рівню емісії вказаних речовин. Вміст оксидів азоту у випускних газах судових дизелів регламентується вимогами Додатку VI МАРПОЛ та залежить від року побудови судна та частоти обертання валу дизеля. Рівень емісії діоксиду вуглецю не регламентується міжнародними вимогами, але є

основною складовою, за якою оцінюється декарбонізація та зелене судноплавство [10 - 12].

Водночас з цим, потреби в рідкому паливі постійно зростають. Його використання як і раніше поширюється на всі види транспорту – автомобільного, авіаційного, залізничного, водного (як для морських суден, також і для суден внутрішнього водного транспорту). Природні запаси нафти (як основного джерела рідкого палива) щорічно знижуються, відкриття нових родовищ перестає бути реальністю, обсяги видобутку регламентуються країнами-виробниками та залежать від політичних ризиків [13, 14].

Зазначено є однією з причин використання в дизелях морських суден альтернативних видів палива, ненафтового походження. Інтенсивні дослідження можливості його застосування проводять у даний час у різних країнах [15 - 17]. Основними видами альтернативного палива є: зріджені горючі гази, водень, спирти та їх суміші з нафтовим паливом, рослинні олії, штучне газове та рідке паливо (біогаз та біопаливо). Одним з найбільш розповсюджений видів альтернативного палива є біодизельне [18 - 20]. Головною перевагою цього палива над іншими є збіг його основних характеристик (насамперед густини на в'язкості) з нафтовим паливом [21 - 23]. Це дає змогу використовувати для подачі впорскування біодизельного палива в циліндр дизеля ту ж саму паливну апаратуру, яка використовується для впорскування нафтового палива [24 - 26]. Також відпадає необхідність додаткового встановлення окремої паливної системи. Перекачування та подача біодизельного палива до паливної апаратури високого тиску може здійснюватися за допомогою того ж самого обладнання, що використовується для перекачування та подачі нафтового палива [27 - 29]. Виникає лише необхідність у встановленні додаткових витратних цистерн біодизельного палива та змішувальної або дозуючої установки за допомогою якої біодизельне паливо додається до об'єму нафтового палива.

Через відмінний від нафтового палива структурний, елементний та фракційний склад, згоряння біодизельного палива відбувається з іншою ефективністю. Це призводить до зміни екологічних показників роботи суднових дизелів та спонукає до пошуків найбільш раціональних режимів їх експлуатації під час використання палива біологічного походження [31, 32].

Дослідження, що були спрямовані на регулювання екологічних показників суднових дизелів під час використання палива біологічного походження, виконувались на судні класу Ro-Ro. Основні характеристики судна наведені у табл. 1. Як головний двигун на судне встановлено судновий дизель 9S50ME MAN-B&W, основні характеристики якого наведені у табл. 2.

Таблиця 1

Основні характеристики судна

Параметр	Значення
Довжина максимальна, м	183,3
Довжина між перпендикулярами, м	172,8
Ширина за мідельшпангоутом, м	32,1
Осадка у повному вантажу, м	9,15
Висота, м	45,8
Водотоннажність, тонн	27994
Дедвейт, тонн	13523
Вантажомісткість, автомобілів	4910
Рік побудови	2014

Таблиця 2

Основні характеристики дизеля 9S50ME MAN-B&W

Тип	Двотактний
Діаметр циліндра, м	0,5
Хід поршня, м	2,0
Частота обертання, хв^{-1}	127
Кількість циліндрів	9
Ефективна потужність, кВт	14220

Під час знаходження судна у зонах спеціального екологічного контролю SECAs експлуатація дизеля виконувалась з використанням палива DMA10. Під час знаходження судна поза SECAs експлуатація дизеля виконувалась з використанням палива RMG380. Також для дизеля було передбачено використання біопалива FAME B100. Основні характеристики палив надані у таблиці 3.

Через меншу у порівнянні з паливом нафтового походження нижчу теплотворну здатність, паливо біологічного походження у більшості випадків не використовується як окреме джерело енергії. Найбільшого поширення вона набуло у складі сумішей з нафтовим паливом. Збіг

значень густина палива біологічного походження та нафтового палива дозволяє виготовлювати їхні суміші безпосередньо у паливній системі дизелів, шляхом використання дозерних установок [33 - 35].

Таблиця 3

Основні характеристики палив

Параметр	DMA10	RMG380	FAME B100
Вміст в паливі:			
вуглецю С	87,3	85,2	77,2
водню Н	11,8	10,1	12,2
сірки S	0,08	0,5	0,003
кисню О	0,31	1,47	10,38
вологи W	0,07	0,1	0,062
золи А	0,44	2,63	0,155
Параметр	DMA10	RMG380	FAME B100
В'язкість за 15° С, мм ² /с	6,3	363	83
Густина за 15° С, кг/м ³	868	916	894
Нижча теплотворна здатність, Q _н , кДж/кг	42220	39630	37250

Дослідження з визначення впливу палива біологічного походження на екологічні показники суднового дизеля 9S50ME MAN-B&W виконувалось для паливних сумішей, які складали 95 % палива RMG380 та 5 % палива FAME B100, а також 90 % RMG380 та 10 % FAME B100, 85 % RMG380 та 15 % FAME B100. Навантаження на дизель 9S50ME MAN-B&W змінювалось у діапазоні 60 ... 90 % від номінальної потужності. Основними екологічними показниками, що вимірювались під час досліджень, були емісія оксидів азоту NO_x та емісія діоксиду вуглецю CO₂. Результати досліджень наведені у табл. 4, 5.

Таблиця 4

Емісія оксидів азоту NO_x, г/(кВт·год), під час різних умов експлуатації суднового дизеля 9S50ME MAN-B&W

Наван- таження	RMG380	95 % RMG380 + 5 % B100	90 % RMG380 + 10 % B100	85 % RMG380 + 15 % B100
60	9,56	10,64	10,86	11,07
70	10,65	11,86	12,24	12,49
80	11,14	12,58	12,89	13,07
90	11,48	13,09	13,37	13,56

Таблиця 5

Емісія діоксиду вуглецю CO₂, %, під час різних умов експлуатації
суднового дизеля 9S50ME MAN-B&W

Наван- таження	RMG380	95 % RMG380 + 5 % B100	90 % RMG380 + 10 % B100	85 % RMG380 + 15 % B100
60	5,93	5,39	5,27	5,17
70	6,16	5,46	5,38	5,29
80	6,36	5,53	5,47	5,36
90	6,56	5,65	5,55	5,42

Для кращої візуалізації результати, що наведені у табл. 4,5, подані у вигляді діаграм (рис. 1).

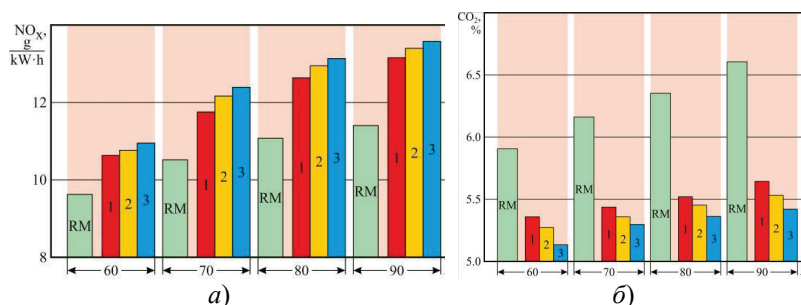


Рис. 1. Емісія оксидів азоту NO_x (а) та діоксиду вуглецю CO₂ (б) під час різних умов експлуатації суднового дизеля 9S50ME MAN-B&W: RM – паливо RMG380; 1, 2, 3 – суміші 95 % RMG380 + 5 % B100, 90 % RMG380 + 10 % B100, 85 % RMG380 + 15 % B100 відповідно

Результати, що наведені у табл. 4, 5 та на рис. 1, свідчать, про різноспрямованість дії палива біологічного походження на екологічні показники роботи суднових дизелів, а саме призводять до збільшення емісії оксидів азоту та зменшення діоксиду вуглецю. Це пояснюється більшим вмістом кисню у складі палива біологічного походження. Під час згоряння подібного палива збільшується температура в циліндрі дизеля, саме це стає причиною складу випускних газів.

Управління екологічними показниками суднових дизелів під час використання палива біологічного походження можливо за рахунок зміни фаз паливopодачі – збільшення, або зменшення кута випередження подачі палива. З метою підтвердження цієї гіпотези виконувалось вимірювання емісії NO_x та CO₂ з випускними газами суднового дизеля 9S50ME MAN-B&W за різних кутів випередження

подачі палива в циліндр дизеля Θ . Діапазон зміни цих кутів був обрано з рекомендованого фірмою-виробником та складав $-6 \dots -2$ град. ПКВ (де ПКВ – поворот колінчатого валу дизеля).

Дослідження з визначення екологічних показників дизеля 9S50ME MAN-B&W виконувались у зазначеному діапазоні з кроком зміни кута випередження подачі палива $0,5$ ПКВ. На кожному з досліджених режимів дизель експлуатувався 4 години, при цьому підтримувались стали показники у системах мащення та охолодження.

Скорочені результати цих досліджень (що відповідали випадку використання паливної суміші $85\% \text{ RMG380} + 15\% \text{ B100}$ – як такої, за якою спостерігається максимальне відхилення емісії NO_x та CO_2 , та 60% -му та 90% -му навантаженню) наведені у табл. 6, 7.

Таблиця 6

Емісія оксидів азоту NO_x , г/(кВт·год), за різних кутів випередження подачі палива суднового дизеля 9S50ME MAN-B&W

Навантаження	Кут випередження подачі палива, θ , град ПКВ								
	-6	-5,5	-5	-4,5	-4	-3,5	-3	-2,5	-2
60	11,68	11,32	11,06	10,86	10,65	10,43	10,24	10,06	9,86
90	14,22	13,83	13,55	13,33	13,14	12,93	12,62	12,38	12,08

Таблиця 7

Емісія діоксиду вуглецю CO_2 , %, за різних кутів випередження подачі палива суднового дизеля 9S50ME MAN-B&W

Навантаження	Кут випередження подачі палива, θ , град ПКВ								
	-6	-5,5	-5	-4,5	-4	-3,5	-3	-2,5	-2
60	5,02	5,09	5,16	5,21	5,26	5,3	5,33	5,35	5,36
90	5,26	5,33	5,41	5,47	5,52	5,57	5,61	5,64	5,67

Відносна зміна значень емісії оксидів азоту ΔNO_x та діоксиду вуглецю ΔCO_2 розраховувалась за виразами:

$$\Delta\text{NO}_x = \frac{\text{NO}_x^{\text{B100}} - \text{NO}_x^{\text{RME}}}{\text{NO}_x^{\text{RME}}} \cdot 100\%; \quad (1)$$

$$\Delta\text{CO}_2 = \frac{\text{CO}_2^{\text{RME}} - \text{CO}_2^{\text{B100}}}{\text{CO}_2^{\text{RME}}} \cdot 100\%; \quad (2)$$

де NO_x^{RME} , $\text{NO}_x^{\text{B100}}$ – емісія оксидів азоту під час використання палива нафтового походження RME380, а також його суміші з паливом біологічного походження FAME B100, г/(кВт·год);

CO_2^{RME} , $\text{CO}_2^{\text{B100}}$ – емісія діоксидів вуглецю під час використання палива нафтового походження RME380, а також його суміші з паливом біологічного походження FAME B100, %.

Результати, що отримані за виразами (1), (2) наведені у табл. 8, 9.

Таблиця 8

Відносна зміна емісії оксидів азоту ΔNO_x , %, за різних кутів випередження подачі палива Θ дизеля 9S50ME MAN-B&W

Навантаження	Кут випередження подачі палива, Θ , град ПКВ								
	-6	-5,5	-5	-4,5	-4	-3,5	-3	-2,5	-2
60	15,20	14,02	12,84	11,99	11,15	10,47	9,97	9,62	9,46
90	19,82	18,75	17,53	16,62	15,85	15,09	14,48	14,02	13,57

Таблиця 9

Відносна зміна емісії діоксиду вуглецю CO_2 , %, за різних кутів випередження подачі палива Θ дизеля 9S50ME MAN-B&W

Навантаження	Кут випередження подачі палива, Θ , град ПКВ								
	-6	-5,5	-5	-4,5	-4	-3,5	-3	-2,5	-2
60	15,20	14,02	12,84	11,99	11,15	10,47	9,97	9,62	9,46
90	19,82	18,75	17,53	16,62	15,85	15,09	14,48	14,02	13,57

За результатами табл. 6 - 9 побудовані відповідні діаграми на рис. 2.

Зазначимо, що для всіх режимів експлуатації дизеля значення емісії оксидів азоту NO_x не перебільшувало максимально можливого, яке регламентується Додатком VI МАРПОЛ та для дизеля 9S50ME MAN-B&W, що встановлений на розглянутому судні дорівнює 14,4 г/(кВт·год).

Результати наведених досліджень дозволяють зробити наступні висновки.

1. Поступове зменшення запасів палива нафтового походження та змінна динаміка його вартості призводить до використання у енергетичних установках суден морського та внутрішнього водного транспорту палив не біологічного походження, одним з таких палив є біодизельне паливо FAME B100. Збігли характеристики густини палива нафтового та палива біологічного походження дозволяє

утворювати їхні суміші. Через більш низку теплотворну здатність палива біологічного походження у порівнянні з нафтовим паливом раціональний вміст біодизельного палива в таких сумішах не перевищує 15 % за масою.

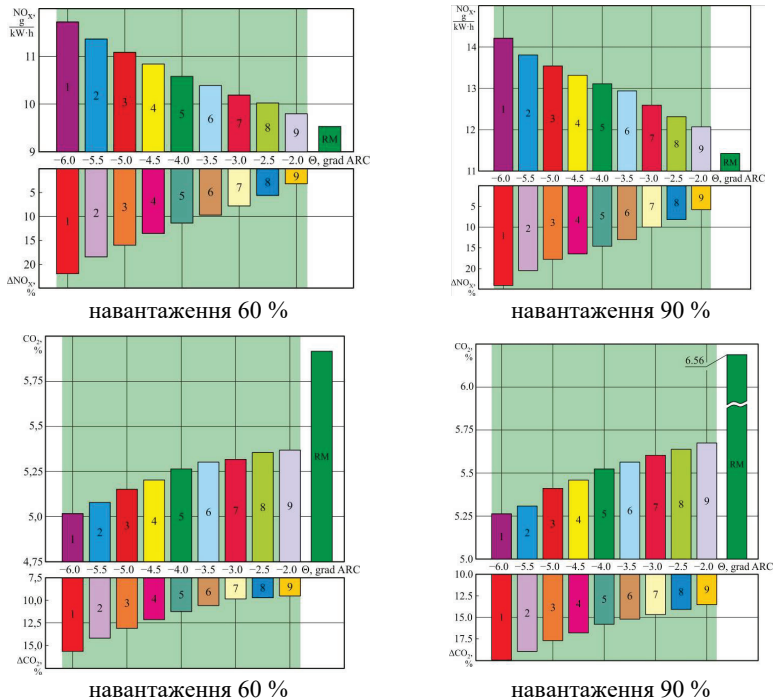


Рис. 2. Зміна екологічних показників роботи суднового дизеля 9S50ME MAN-B&W під час різних умов його експлуатації:

RM – паливо RMG380; 1 ... 9 – суміші 85 % RMG380 + 15 % B100;

Θ , grad ARC – angle rotation of crankshaft / поворот колінчатого валу

2. Через відмінний від нафтового палива елементний склад біодизельного палива (насамперед меншу кількість вуглецю та більшу кількість кисню) під час згоряння суміші цих палив відбувається зміна екологічних показників роботи дизеля. Для суднового дизеля 9S50ME MAN-B&W в діапазоні його експлуатаційних навантажень 60 ... 90 % та 5 ... 15 % вмісту біодизельного палива FAME B100 у складі його суміші з паливом RMG380 експериментально встановлено збільшення

на 11,72 ... 18,1 % емісії оксидів азоту NO_x з одночасним зменшення на 9,1...17,5 % емісії діоксидів вуглецю CO_2 .

3. Експериментально доведена можливість управління екологічними показниками суднових дизелів під час використання палива біологічного походження шляхом регулювання фаз подачі палива в циліндр дизеля. З рекомендованого фірмою-виробником діапазону кута випередження подачі палива можливе визначення таких, за якими забезпечується мінімальне збільшення емісії оксидів азоту NO_x з одночасним близьким до максимального зниженням емісії діоксидів вуглецю CO_2 . У всіх розглянутих випадках емісія оксидів азоту не перебільшувала значення, що обмежується вимогами Додатку VI МАРПОЛ.

4. Зниження емісії діоксиду вуглецю під час використання палива біологічного походження (яке під час проведення досліджень досягало 15,2 ... 19,8 % сприяє зменшенню парникового ефекту та забезпеченню зеленого судноплавства.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

1. Sagin S, Haichenia O., Karianskyi S., Kuropyatnyk O., Razinkin R., Sagin A., Volkov O. Improving Green Shipping by Using Alternative Fuels in Ship Diesel Engines // Journal of Marine Science and Engineering. – 2025. – Vol. 13(3). – P. 589.

2. Сагін С.В., Сагін А.С. Контроль та діагностування надійності та економічності дизелів морських та річкових засобів транспорту // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2023. – Вип. 46. – С. 118 - 131.

3. Сагін С.В., Мадей В.В., Сагін А.С. Робота судового дизеля на біодизельному паливі // Автоматизація суднових технічних засобів : наук.-техн. зб. – 2021. – Вип. 27. – С. 93 - 107.

4. Сагін С.В., Куропятник О.А. Визначення оптимальних режимів експлуатації суднових двигунів внутрішнього згоряння під час використання біодизельного палива // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2024. – Вип. 48. – С. 100 - 113.

5. Сагін С.В., Заблоцький Ю.В. Діагностування технічного стану суднових енергетичних установок засобів водного транспорту // Водний транспорт. – 2023. – № 2(38). – С. 164 - 175.

6. Мадей В.В., Заблоцький Ю.В., Сагін А.С. Оцінка ефективності використання палива біологічного походження в судових дизелях // Розвиток транспорту. – 2025. – № 2. – С. 71 - 85.

7. Сагін С.В., Заблоцький Ю.В., Сагін А.С. Підвищення економічності роботи суднових середньообертових дизелів // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2025. – Вип. 1(42). – С. 166 - 179.

8. Заблоцький Ю.В. Підвищення економічності роботи суднових дизелів // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. . – 2020. – Вип. 40. – С. 12 - 16.

9. Budashko V., Hvozdeva I., Myrhorod V., Shevchenko V., Sandler A., Glazeva O. Diagnosis of the technical condition of high-tech complexes by probabilistic methods // IEEE TCSET 2022: 16 Міжнародна конференція передових тенденцій в галузі радіоелектроніки, телекомунікацій та обчислювальної техніки 22-26 лютого 2022: – С. 7 - 13.

10. Сагін С.В., Куропятник О.А., Руснак Д.Ю., Парменова Д.Г. Зниження емісії оксидів сірки з випускними газами суднових дизелів шляхом ультразвукової обробки палива // Автоматизація суднових технічних засобів: наук.-техн. зб. – 2025. – Вип. 30. – С. 121 - 138.

11. Сагін С.С., Сагін С.В. Використання штучного інтелекту в ситуаціях надмірного зближення суден // Водний транспорт: збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 215 - 225.

12. Сагін С.В., Бондар С.А., Столярик Т.О. Оцінка безвідмовності суднових дизелів за технічним станом моторного мастила циркуляційних систем мащення // Водний транспорт. – 2023. – № 1(37). – С. 59 - 70.

13. Zablotsky Yu.V., Sagin S.V. Maintaining Boundary and Hydrodynamic Lubrication Modes in Operating High-pressure Fuel Injection Pumps of Marine Diesel Engines // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 20. – P. 208 - 216.

14. Сандлер, А. К. Модифікатор важких паливних сумішей // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – 2019. – Т. 11. – №. 1. – Одеса: ОНАХТ. – С. 27 - 31. DOI: [https://doi.org/ 10.15673/atbp.v11i1.1329](https://doi.org/10.15673/atbp.v11i1.1329).

15. Sagin S., Kuropyatnyk O., Tkachenko I. Ensuring the environmental friendliness of marine diesel engines of specialized ships // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2022. – Вип. 45. – С. 5 - 16.

16. Марченко О.О., Сагін С.В. Вдосконалення процесу очищення суднових важких палив // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 41. – С. 10 - 14.

17. Сагин С.В., Куропятник А.А. Оптимизация режимов работы системы перепуска выпускных газов судовых среднеоборотных дизелей // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2019. – Вип. 25. – С. 79 - 89.

18. Поповский А.Ю., Сагин С.В. Оценка эксплуатационных свойств смазочно-охлаждающих жидкостей судовых технических средств // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2016. – Вып. 22. – С. 66 - 74.

19. Сагін 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. – С. 108 - 119.

20. Мадей В.В., Сагін 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.

21. Сагін А.С. Корегування налаштування паливної апаратури високого тиску під час переведення суднових дизелів на паливо з низьким вмістом сірки // Автоматизація суднових технічних засобів: наук.-техн. зб. – 2023. – Вип. 28. – С. 67 - 78.

22. Сагін А.С., Сагін С.В. Експериментальне визначення оптимальних фаз подачі палива в циліндр суднових дизелів // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 206 - 215.

23. Сагін С.В., Куропятник О.А. Аналіз впливу біодизельного палива на екологічні та економічні показники роботи суднових дизелів // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2025. – Вип. 1(42). – С. 180 - 194.

24. Zablotsky Yu.V., Sagin S.V. Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of a Marine Diesel When using Fuel Additives // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 46. – P. 353-362.

25. Budashko, V., Sandler, A., Khniunin, S., Bogach, V. Design of the predictive management and control system for combined propulsion complex // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Industry control systems. – 2024. – Vol. 5. – №. 2(131). – P. 90 – 102. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.313627.

26. Горб С.И. Повышение точности численного моделирования рабочих процессов дизелей // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2020. – Вип. 26. – Одесса: НУ «ОМА». – С. 3 - 26.

27. Горб С.И. Оптимизация главного двигателя на режиме экономического хода судна // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2019. – Вип. 25. – Одесса: НУ «ОМА». – С. 17 - 34.

28. Заблоцький Ю.В. Аналіз особливостей процесу мащення циліндрової групи суднових дизелів // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 46. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 67 - 78. doi: 10.31653/10.31653/smf46.2023.67-78.

29. 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.

30. Горб С.И., Горб А.С. Программное обеспечение для управления активами на судах // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сборник. – 2018. – Вып. 24. – Одесса : ОНМА. – С. 34 - 48.

31. Горб С.И., Каменева А.В., Запороженко Н.В. Модернизация структуры упрощённой системы технического менеджмента судов // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2016. – Вып. 22. – Одесса: ОНМА. – С. 33 - 38.

32. Сандлер, А. К. Метод підвищення ефективності діагностування технічного стану суднових газотурбінних установок на основі волоконно-оптичних технологій: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Київський університет інфраструктури та технологій. – К., 2021. – 20 с.

33. Заблоцький Ю.В. Исследование влияния органических покрытий на работу элементов топливной аппаратуры высокого давления судовых дизелей // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2015. – № 35. – Одесса: НУ ОМА. – С. 83 - 92.

34. Sagin S., Sagin A., Zablotskiy Y., Fomin O., Pišt'ek V., Kučera P. Method for Maintaining Technical Condition of Marine Diesel Engine Bearings // Lubricants. – 2025. – Vol. 13(4). – P. 146. <https://doi.org/10.3390/lubricants13040146>.

35. Zablotsky Y.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.

Abstract. The technology of controlling the environmental performance of marine diesel engines when using fuel of biological origin is considered, which consists in changing the fuel advance angles into the diesel cylinder. The gradual decrease in oil fuel reserves and the variable dynamics of its cost lead to the use of non-biological fuels in the power plants of sea and inland waterway transport vessels, one of such fuels is biodiesel FAME B100. The coincident density characteristics of oil fuel and fuel of biological

origin allow the formation of their mixtures. Due to the lower calorific value of fuel of biological origin compared to oil fuel, the rational content of biodiesel in such mixtures does not exceed 15 % by weight. For the 9S50ME MAN-B&W marine diesel engine in the range of its operational loads of 60 – 90% and 5 – 15 % of the content of biodiesel FAME B100 in its mixture with RMG380 petroleum fuel, an increase of 11.72 – 18.1 % of the emission of nitrogen oxides NO_x with a simultaneous decrease of 9.1 – 17.5 % of the emission of carbon dioxide CO_2 has been experimentally established. The possibility of controlling the environmental indicators of marine diesel engines when using fuel of biological origin by adjusting the phases of fuel supply to the diesel cylinder has been experimentally proven. From the range of fuel supply advance angles recommended by the manufacturer, it is possible to determine those that ensure a minimum increase in the emission of nitrogen oxides NO_x with a simultaneous close to the maximum reduction in the emission of carbon dioxide CO_2 . In all cases considered, the emission of nitrogen oxides did not exceed the value limited by the requirements of Annex VI of MARPOL. The reduction of carbon dioxide emissions when using fuel of biological origin (which during the research reached 15.2 – 19.8 %) contributes to the reduction of the greenhouse effect and ensuring green shipping.