

10.31653/smf50.2025.102-115

Сагін С.В., Парменова Д.Г., Верпека А.О.

Національний університет «Одеська морська академія»

ПІДВИЩЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ ДИЗЕЛІВ СУДЕН МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Постановка проблеми в загальному вигляді. В останні роки на транспортних судах морського та внутрішнього водного транспорту для забезпечення роботи середньообертових дизелів (СОД) використовуються важкі сорти палива високої в'язкості, що мають більш низьку вартість [1-3].

В даний час якість суднового моторного палива регламентує стандарт на палива DIS DP-8217, що був розроблений та затверджений міжнародною організацією зі стандартизації ISO у 1987 році там переглядається кожні 5 років. Він призначений як керівництво для поставальників палива, суднового обладнання та судовласників. Цей стандарт встановлює значення фізико-хімічних показників, що визначають якість палива, таких як фракційний склад, кінематична в'язкість, температура застигання, помутніння, спалахи, масова частка сірки, вміст водорозчинних кислот і лугів, концентрація смол, кислотність, зольність та інші [4-6]. Для забезпечення необхідних значень окремих фізико-хімічних показників на завершальній стадії виробництва палива у суміш дистилятної газойлевої фракції та продуктів, отриманих в результаті каталітичного крекінгу та гідрокрекінгу, вводяться присадки, що покращують одне або декілька властивостей палива [7-9].

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 $700 \text{ мм}^2/\text{с}$. Перспективи розвитку транспортного суднобудування із застосуванням СОД в світовій практиці тісно пов'язані з використанням подібних видів палива [10-12]. 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 [13-15]. Крім того, в судову практику чітко простежується тенденція використання важких сортів палива не тільки для сучасних моделей СОД, а також переведення СОД попередніх моде-

лей (спроектованих з умовою їхньої роботи на легких сортах палива) на експлуатацію на паливі з підвищеною в'язкістю [16, 17].

Використання в суднових дизелях палив підвищеної в'язкості перш за все пов'язано зі намаганням зменшити експлуатаційні витрати на придбання рідкого палива [18, 19]. Одночасно з цим підвищення економічності роботи суднових 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. До однієї з технологій, яка спрямована на підвищення економічності роботи дизелів морських суден, відноситься використання паливних присадок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Посилення вимог до експлуатаційних показників суднових енергетичних установок при одночасному збереженні вимог стандарту DIS DP-8217 обумовлює необхідність підвищувати якість палива шляхом використання присадок не тільки в процесі виробництва палив, а й у процесі експлуатації дизелів. Саме тому продовжуються активні дослідження з розробки сучасних присадок до палива. Присадки для палива поділяються на такі групи: депресорно-диспергуючі; депресорні; диспергатори парафінів; протизносні (змащувальні); активатори займання; активатори горіння; багатофункціональні [20, 21].

Механізм дії присадок «активаторів займання» полягає у легкому гомолітичному розпаді їх молекул по зв'язках O-O або O-N, у прискоренні передполум'яних реакцій, здатних до розгалуження окисних ланцюгів та утворення нових реакційних центрів. Присадки діють лише на початкових стадіях процесу горіння. В результаті збільшується здатність вуглеводнів до більш повного окислення (згорання), та реакція протікає в умовах, близьких до ідеальних [22, 23].

На відміну від «активаторів займання», «активатори (каталізатори) горіння» сприяють виникненню сил вільного переходу, послабленню міжмолекулярних зв'язків та спрощенню просторової структури вуглеводнів. Структура палива стає більш однорідною, з рівномірним просторовим розташуванням вуглеводнів у всьому займаному обсязі [24, 25].

Аналіз науково-технічної та патентної літератури свідчить, що розробленню присадок до палива приділяється велика увага як науково-дослідними, так і виробничими організаціями. Як присадки «активатори займання» рекомендовані наступні хімічні речовини та їх композиції: алкіл-(C₃-C₂₀)-нітрат, полімер етилену або його со-

полімер з альфа-олефіном C_3-C_4 ; ненасичені жирні кислоти (група олеїнової, лінолевої, ліноленової кислот) або їх аміди; алкіл- (C_1-C_{25}) -сукцинімід, сополімер вищих ефірів C_6-C_{27} акрилової або метакрилової кислоти з етиленонасиченим мономером; окис пропілену; окси-пропілований жирний спирт C_6-C_{16} ; сульфонат лужного та земельного металу, наприклад кальцію, барію, магнію тощо; нітрат аліфатичного спирту C_3-C_{18} ; парафінові вуглеводні нормальної будови із групи C_9-C_{20} [26, 27].

На відміну від опису присадок у науково-технічній та патентній літературі, інформація про товарні присадки (вітчизняних або імпортних), не містить даних щодо їх хімічного складу та фізико-хімічного механізму впливу на процес згоряння палива та інші експлуатаційні показники дизелів. Тому визначення оптимальної концентрації присадки у палива та режимів, та експлуатаційних режимів, на яких більш доцільно їх використання, виконується дослідницьким шляхом [28, 29].

Присадки до суднових палив в даний час набули досить широкого поширення на суднах, однак результат їх застосування не завжди отримує однозначну оцінку [30, 31]. Це пов'язано з різними причинами, які, перш за все, залежать від характеристик суднового дизеля та елементів його паливної системи, а також від забезпечення правильної технології використання присадок [32-34].

Постановка завдання. На даний момент конструктивне і технологічне виконання суднових двигунів внутрішнього згоряння досягло своєї досконалості, що забезпечує мінімальні питомі витрати палива даних типів теплових двигунів в порівнянні з іншими (паровими котлами та газовими турбінами). У зв'язку з цим метою дослідження було визначення впливу паливних присадок на економічність роботи дизелів морських суден.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження проводили на спеціалізованому морському судні, призначеному для транспортування 8600 TEU. Исследования проводились на специализированном морском судне, предназначенном для транспортировки 8820 TEU. Експерименти виконували під час навігаційного переходу Амстердам (Голландія) – Осло (Норвегія) – Сальвадор (Бразилія) – Сантос (Бразилія) – Мар-дель-Плата (Аргентина). До складу допоміжної енергетичної установки судна входили чотири однотипні суднові середньооборотні дизелі Wartsila 6L32. Основні характеристики дизелів наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Основні характеристики суднових дизелів Wartsila 6L32

Показник	Значення
Тип	Чотиритактний, тронковий
Діаметр циліндра, м	0,32
Хід поршня, м	0,40
Частота обертання, хв ⁻¹	750
Кількість циліндрів	6
Потужність, кВт	3480

Експлуатація дизелів проводилася на двох видах палива – DMA10 (під час навігаційних переходів судна, що здійснювались у районах спеціального екологічного контролю – Sulfur Emission Control Areas, SECAs)) та RMG500 (під час навігаційних переходів поза районами SECAs). Основні характеристики палив DMA10 та RMG500 наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Характеристики моторних палив

Характеристика	DMA10	RMG500
Густина при 20°C, кг/м ³	882	968
В'язкість при 40°C, мм ² /с	9,4	482
Вміст сірки, %	0,063	0,47
Нижча теплотворна здатність, кДж/кг	43310	39120

Принципова схема паливної системи дизелів наведена на рис. 1.

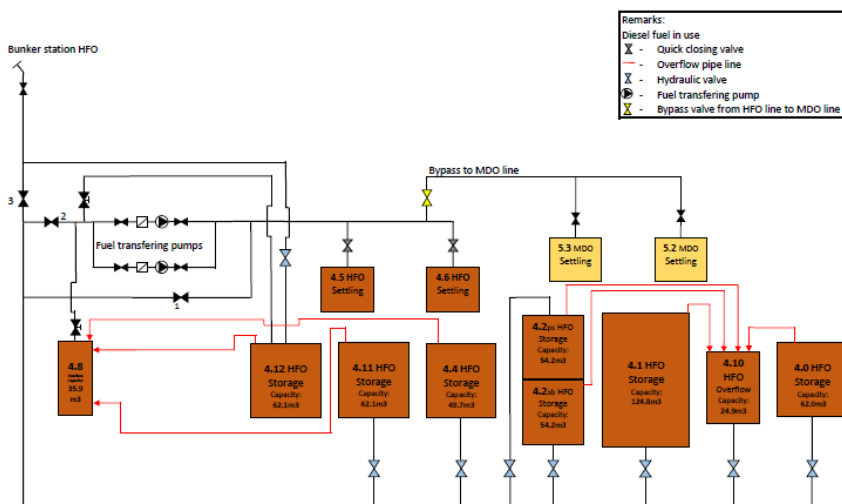


Рис. 1. Принципова схема паливної системи дизелів Wartsila 6L32F

Паливна система кожного з дизелів передбачала дозування до загального потоку палива, що прямує до паливних насосів високого тиску, паливної присадки. Це забезпечувалось за допомогою дозерної установки, що встановлювалась на лінії подачі палива.

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 органо-металлів, 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 малооберткових 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 згоряння, 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. 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, створювались умови, що забезпечували однакове навантаження на дизелі, а також однаковий час експлуатації дизелів. Експерименту виконувались експлуатаційних режимах, що відповідали 50 %, 60 %, 70%, 80 % та 90 % на навантаженню на дизелі.

Питома ефективна витрата палива b_e , кг/(кВт·год), розраховувалась судновою системою діагностики та контролю ЕЕ (Energies & Engines) за виразом:

$$b_e = B_{\text{год}} / N_e ;$$

де $B_{\text{год}}$ – годинна витрата палива, кг/год;

N_e – експлуатаційна потужність дизеля, кВт;

з урахуванням попередньо визначених значень витрати палива (такого, що спрямовується до дизеля та такого, що повертається відсичною магістраллю) та навантаження на дизель.

Результати з визначення питомої витрати палива для різних умов експлуатації дизелів наведені у таблиці 3.

Таблиця 3. Питома витрати палива b_e , г/(кВт·год), для різних умов експлуатації судових дизелів Wartsila 6L32F

Навантаження на дизель, %	Дизель № 1, робота без паливної присадки	Дизель № 2, паливна присадка Amergy XLS	Дизель № 3, паливна присадка Amergy 1000	Дизель № 4, паливна присадка Amergize
50	197,4	192,5	195,3	194,4
60	196,2	190,1	192,3	192,1
70	193,7	188,2	190,0	190,6
80	192,1	186,8	188,7	187,8
90	191,8	186,7	189,6	189,7

Визначення значень, що наведені у таблиці 3, виконувались на протязі 1,5...2,0 годин експлуатації дизелів на відповідному навантаженні з інтервалом фіксації значень 10 хв. У таблиці 3 наведені усереднені результати цих вимірювань. Для кращої візуалізації, результати, що наведені у таблиці 3, оформлені у вигляді діаграм та надані на рис. 2.

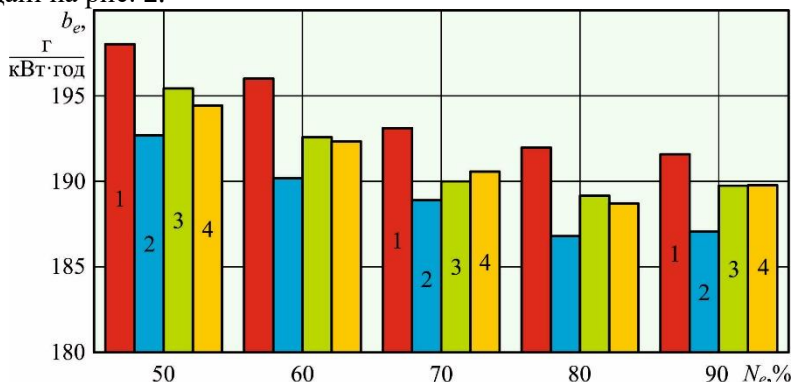


Рис. 2. Питома витрата палива на різних навантаженнях судового дизеля Wartsila 6L32F: 1 – робота дизеля без використання паливної присадки; 2, 3, 4 – робота з використанням паливних присадок Amergy XLS, Amergy 1000, Amergize відповідно

Результати першого етапу досліджень дозволили визначити паливну присадку, що забезпечує мінімальні значення питомої витрати палива. 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. Процедура вимірювання витрати палива та фіксації результатів відповідала процедурі визначення витрати палива під час експлуатації дизеля на різних присадках.

Результати досліджень наведені у таблиці 4 та проілюстровані на рис. 3.

Таблиця 4. Питома витрати палива b_e , г/(кВт·год), для різної концентрації присадки Amergy XLS в загальному обсязі палива

Навантаження на дизель, %	Концентрація присадки в загальному обсязі палива				
	1 / 2000	1 / 3000	1 / 4000	1 / 5000	1 / 6000
50	196,2	190,1	192,7	191,1	194,2
60	193,7	188,2	190,2	188,7	192,2
70	191,9	185,8	188,9	187,1	190,3
80	190,2	183,0	187,2	184,1	190,0
90	189,2	182,4	186,9	183,1	187,8

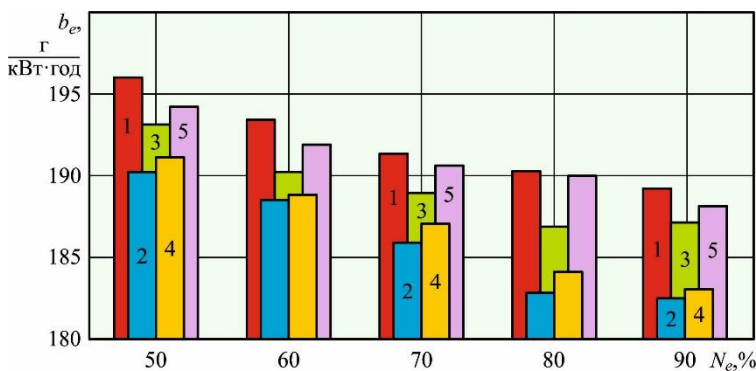


Рис. 3. Питома витрата палива на різних навантаженнях суднового дизеля Wartsila 6L32F для різної концентрації паливної присадки Amergy XLS: 1 – 1 / 2000, 2 – 1 / 3000, 3 – 1 / 4000, 4 – 1 / 5000, 5 – 1 / 6000

Витрата палива (годинна або питома) характеризує паливну економічність дизеля. Збільшення витрати палива знижує паливну економічність дизеля та призводить до підвищення фінансових витрат на експлуатацію судна. При цьому з урахуванням сучасного розвитку Світової економіки, яка у тому числі характеризується постійними коливаннями цін на енергоресурсі, зниження витрата палива у більшому ступені актуальне не лише з точки зору економічних заощаджень, але з також й з позиції забезпечення живучості та збільшення автономності роботи судна. Незапланована зміна маршруту навігаційного переходу, погіршення гідрометеорологічних умов та пов'язане з цим підвищення опору на рух судна, виникнення аварійних розливів палива під час знаходження судна у морі та інші причини можуть критично впливати на запаси палива, що зберігаються на судні та поповнення яких можливо не в кожному з портів заходу. Саме з цієї позиції повинні розглядатися питання підвищення паливної економічності.

Підвищення паливної економічності дизелів під час використання паливної присадки Amergy XLS оцінювалось за виразом

$$\Delta b_e = \frac{b_e^{\text{DF}} - b_e^{\text{XLS}}}{b_e^{\text{DF}}} \cdot 100\%;$$

де b_e^{DF} – питома витрата палива під експлуатації дизеля без використання присадки, г/год;

b_e^{XLS} – питома витрата палива під експлуатації дизеля з використанням присадки Amergy XLS, г/год;

при цьому значення b_e^{DF} обираються з таблиці 3, значення b_e^{XLS} – з таблиці 4 для відповідних навантажень на дизель.

Отримані в такий спосіб величини наведені у таблиці 5.

Таблиця 5. Відносне збільшення паливної економічності Δb_e , %, суднових дизелів Wartsila 6L32F під час використання паливної присадки Amergy XLS з різною концентрацією у загальному об'ємі палива

Навантаження на дизель, %	Концентрація присадки в загальному обсязі палива				
	1 / 2000	1 / 3000	1 / 4000	1 / 5000	1 / 6000
50	0,61	3,70	2,38	3,19	1,62
60	1,27	4,08	3,06	3,82	2,04
70	0,93	4,08	2,48	3,41	1,76
80	0,99	4,74	2,55	4,16	1,09
90	1,36	4,91	2,55	4,54	2,09

За даними таблиці 5 побудовані діаграми, що наведені на рис. 4.

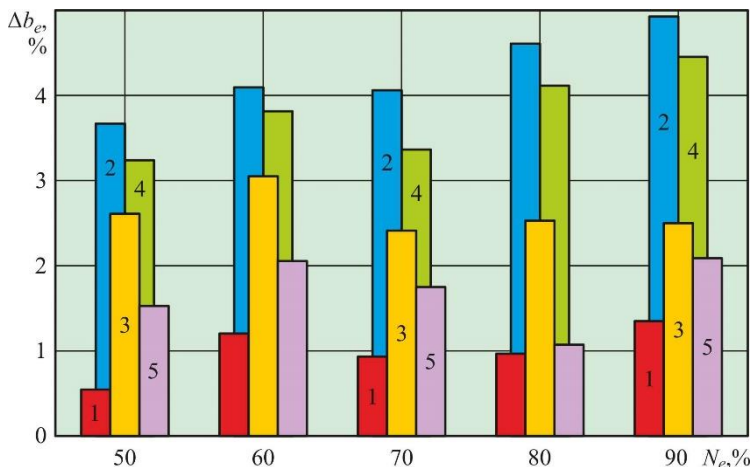


Рис. 4. Відносне збільшення паливної економічності Δb_e , %, суднових дизелів Wartsila 6L32F під час використання паливної присадки Amergy XLS з різною концентрацією у загальному об'ємі палива:

1 – 1 / 2000, 2 – 1 / 3000, 3 – 1 / 4000, 4 – 1 / 5000, 5 – 1 / 6000

Висновки і перспективи подальших досліджень. наведені результати дозволяють зробити наступні висновки.

1. Експериментально отримані результати, що підтверджують зниження питомої ефективної витрати палива під час використання паливних присадок, свідчать про інтенсифікацію процесу сумішотворення і згоряння палива. Це призводить до більш повного використання його теплотворної здатності та зниження кількості палива, що догорає на ході розширення і в випускному колекторі. При цьому відзначимо, що для різної концентрації присадки в базовому паливі спостерігається різна величина зниження питомої ефективної витрати палива.

2. Використання присадок до палива призводить до підвищення паливної економічності суднового дизеля. Під час використання паливних присадок на різних режимах роботи суднового дизеля Wartsila 6L32F було досягнуте зниження питомої ефективної витрати палива на 0,61...4,91 %.

3. Концентрація присадки має оптимальне значення, визначається експериментально і залежить від характеристик дизеля і використовуваного палива.

Перелік використаних джерел

1. Petrychenko O., Levinskyi M. Trends and preconditions for widespread adoption of liquefied natural gas in maritime transport // *Transport Systems and Technologies*. 2024. Vol. 43. P. 21-36. DOI:10.32703/2617-9059-2024-43-2

2. Melnyk O., Onyshchenko S., Onishchenko O., Koskina Y., Lohinov O., Veretennik O., Stukalenko O. Fundamental Concepts of Deck Cargo Handling and Transportation Safety // *Eur. Transp.* 2024. Vol. 98. – P. 1. <https://doi.org/10.48295/ET.2024.98.1>.

3. 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>.

4. Заблоцький Ю.В. Зниження втрат енергії під час забезпечення процесів мащення суднових двигунів внутрішнього згоряння // *Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник*. 2023. Вип. 47. С. 23-31. doi: 10.31653/smf47.2023.23-31.

5. 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. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.21.

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

7. Заблоцький Ю.В. Зниження теплової напруженості суднових дизелів за рахунок використання присадок до палива // *Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб.* 2018. Вип. 38. С. 76-87.

8. Sagin S., Sagin A., Zablotskyi Y., Fomin O., Pišček 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>.

9. Заблоцкий Ю.В., Куропятник А.А. Повышение топливной экономичности и экологических параметров работы судовых дизелей при использовании присадок к топливу // *Austria-science*. 2017. № 2. С. 83-88.

10. 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>.

11. 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.

12. Левченко О.В., Маранов О.В. Поточний стан дослідження питання прогнозування маневреності суден та їхньої гідродинаміки в обмежених водах // *Водний транспорт: Збірник наукових праць*. 2025. Вип. 1(42). С. 55-60. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.08.

13. Левченко О.В., Маранов О.В. Інтеграція комбінованих систем підтримки ухвалення рішень для забезпечення навігаційної безпеки та оптимізації руху суден у портових акваторіях // *Водний транспорт: Збірник наукових праць*. 2025. Вип. 1(42). С. 99-108. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.14.

14. Левченко О.В., Ганношина І.М., Остапчук Т.В. Система інформаційного забезпечення процесів прийняття рішень на мостіку судна // *Водний транспорт: Збірник наукових праць*. 2025. Вип. 1(42). С. 24-27. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.04.

15. Budashko V., Shevchenko V. Solving a task of coordinated control over a ship automated electric power system under a changing load // *East.-Eur. J. Enterp. Technol.* 2021. Vol. 2(110). P. 54-70. doi: 10.15587/1729-4061.2021.229033.

16. 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>.

17. 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. Одеса: НУ«ОМА». С. 5-16. doi: 10.31653/smf45.2022.5-16.

18. 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.

19. Двуліт З.П., Тимошук О.М., Левченко О.В. Вдосконалення бізнес-процесів сучасних судноплавних компаній в сфері міжнародних морських вантажних перевезень // Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення і проблеми розвитку. 2021. № 3 (1). С. 1-12. <http://doi.org/10.23939/smeu2021.01.001>.

20. Сагін А.С., Заблоцький Ю.В. Регенерація змащувальних властивостей моторних палив і мастил під час експлуатації суднових дизелів // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. 2022. Вип. 45. С. 17-30. doi: 10.31653/smf45.2022.17-30.

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. Одеса: НУ "ОМА". С. 67 – 78. DOI: 10.31653/1819-3293-2023-1-28-67-78.

22. Сагин 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. – С. 79-89.

23. 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. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.22.

24. Сагін С.В., Столярик Т.О. Динаміка суднових дизелів під час використанні моторних мастил з різними структурними характеристиками // Автоматизація суднових технічних засобів: наук. -техн. зб. 2021. Вип. 27. С. 108-119. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-108-119.

25. 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>.

26. Заблоцький Ю.В., Сагін А.С. Визначення динамічних навантажень під час зміни режимів мащення прецизійних пар паливної апаратури суднових дизелів // Суднові енергетичні установки : нау-

ково-технічний збірник. 2022. Вип. 44. С. 121-131. doi: 10.31653/smf44.2022.121-131.

27. 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

28. Заблоцкий Ю. В. Использование регулярного микрорельефа для оптимизации работы топливной аппаратуры высокого давления судовых дизелей // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. 2015. № 36. С. 65-73.

29. Budashko V., Obniavko T., Onishchenko O., Dovidenko Y., Ungarov D. Main Problems of Creating Energy-efficient Positioning Systems for Multipurpose Sea Vessels // 2020 IEEE 6th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control. 2020. P. 106–109, doi: 10.1109/MSNMC50359.2020.9255514.

30. Budashko V., Shevchenko V. Solving a task of coordinated control over a ship automated electric power system under a changing load // East.-Eur. J. Enterp. Technol. 2021. Vol. 2(110). P. 54-70. doi: 10.15587/1729-4061.2021.229033.

31. Melnyk O., Onyshchenko S., Onishchenko O. Development measures to enhance the ecological safety of ships and reduce operational pollution to the environment // Sci. J. Silesian Univ. Technol. 2023. Vol. 118. P. 195–206. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2023.118.13>.

32. Melnyk O., Onyshchenko S., Onishchenko O., Lohinov O., Ocheretna V. Integral Approach to Vulnerability Assessment of Ship's Critical Equipment and Systems // Transactions on Maritime Science. 2023. Vol. 12(1). doi:10.7225/toms.v12.n01.002.

33. Madey V. Assessment of the efficiency of biofuel use in the operation of marine diesel engines // Technology Audit and Production Reserves. 2022. Vol. 2(1(64)). P. 34-41. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.255959>.

34. Gorb S., Levinskyi M., Budurov M. Sensitivity Optimisation of a Main Marine Diesel Engine Electronic Speed Governor. Scientific Horizons. 2021. Vol. 24(11). P. 9-19. [https://doi.org/10.48077/scihor.24\(11\).2021.9-19](https://doi.org/10.48077/scihor.24(11).2021.9-19).