

DOI:10.31653/smf51.2025. 10-21

Отримана в редакції 6.10.2025

Прийнята до друку 15.10.2025

Колегаєв М.О., Мадей В.В., Побережний Р.В.

Національний університет «Одеська морська академія»

ВИКОРИСТАННЯ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

Постановка проблеми в загальному вигляді. Основним джерелом енергії теплових двигунів (газових турбін, котлів, дизелів) є паливо нафтового походження [1]. За даними транснаціональної компанії British Petroleum за 2024 рік, доведені світові запаси нафти оцінюються в 212,3 мільярдів тонн. З огляду на щорічні обсяги споживання палива, подібних запасів світової енергетики вистачить на 40...45 найближчих років [2]. Це, а також сучасні екологічні вимоги до теплових двигунів, є поштовхом для розвитку альтернативної енергетики і розроблення альтернативних палив [3].

У даний час одночасно з проблемою поступового виснаження нафтових ресурсів актуальною є проблема забезпечення екологічності роботи суднових енергетичних установок і насамперед дизелів як найпоширеніших на морському і річковому транспорті теплових двигунів. Під час згоряння палива утворюються токсичні компоненти – оксиди сірки SO_x і азоту NO_x , які негативно впливають на екологію і людину. Саме тому до специфічних завдань експлуатації суднових енергетичних установок відносяться запобігання утворенню і нейтралізація екологічно небезпечних речовин, які є невід'ємною частиною процесу використання нафтових дизельних палив. У зв'язку з цим останнім часом велика увага приділяється зниженню в продуктах згоряння шкідливих речовин, особливо оксидів азоту NO_x [4, 5]. З метою зниження концентрації цих речовин, використовують різні методи і технології: уприскування води в повітряний і випускний колектор і безпосередньо в циліндр дизеля; рециркуляція випускних газів, використання альтернативного палива – дешевого, з високими теплотворними характеристиками та екологічно чистого [6, 7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Інтенсивні дослідження можливості використання альтернативних палив ведуться протягом останніх десятиліть [8, 9]. При цьому найкращим вважається часткове заміщення традиційних видів моторного палива синтетичними рідкими вуглеводнями, які отримують з природного газу, а

також біодизельного палива, яке отримують з рослинних мастил [10, 11]. Це пояснюється простотою та екологічністю технології отримання рослинних мастил, їх порівняно невисокою вартістю і прийнятним займанням в умовах здійснення робочого циклу суднового дизеля.

Як правило, експлуатація дизелів виключно на альтернативних паливах не проводиться. Їх в'язкість перевищує в'язкість дизельного палива, що (в разі організації робочого циклу тільки на альтернативному паливі) призводить до трансформації процесів подачі палива, впорскування і розпилювання палива. Крім того, знижена теплотворна здатність альтернативних палив не дозволяє отримати необхідну для переміщення поршня і обертання вала енергію. Тому в судновій енергетиці використовуються суміші традиційного та альтернативного палива. Найбільш простий спосіб додавання альтернативного палива до традиційного – безпосередньо в судновій паливній системі, перед подачею паливної суміші в циліндр дизеля. Концентрація альтернативного палива в паливній суміші становить 5 ... 30 % [12].

Дослідження щодо можливості використання альтернативних палив у теплових двигунах у даний час найбільш поширені для стаціонарної енергетики, а також для автомобільного транспорту [13]. Стосовно дизелів суден морського та річкового транспорту подібні дослідження ще не набули широкого розповсюдження. Це пояснюється автономністю морських суден і неможливістю безперешкодного відновлення запасів палива (у тому числі альтернативного) [14]; високою потужністю суднової енергетичної установки [15]; необхідністю в узгодженні всіх робіт із удосконалення паливної системи з кваліфікаційними товариствами, що здійснюють технічний контроль над судном та енергетичною установкою [16].

Також необхідно відзначити, що використання альтернативних палив для суднових дизелів підвищеної потужності (з діаметром циліндра понад 0,4...0,42 м і номінальною потужністю понад 5000 кВт) обмежене у зв'язку з тим, що при цьому відбувається:

- неконтрольоване погіршення екологічних показників (через колювання відношення паливо-повітря) [17];
- зменшення крутного моменту (через падіння максимального тиску циклу) [18];
- зниження ефективної потужності на номінальному навантаженні (через зміни періоду подачі палива) [19].

Наведений аналіз підтверджує, що вивчення можливості використання альтернативних сортів палива (зокрема біодизельного) у судових дизелях є актуальним завданням, розв'язання якого в даний час не знайдено. При цьому необхідно:

- встановити оптимальні схеми комплектації судових паливних систем, що використовують альтернативні сорти палива;
- визначити критерії, за якими необхідно здійснити оцінку ефективності використання альтернативних палив;
- встановити оптимальний склад паливної суміші, що містить альтернативне паливо.

Постановка завдання. Суднові двигуни внутрішнього згоряння середньої і малої потужності (з діаметром циліндра до 0,32...0,36 м і номінальною потужністю, що не перевищує 3000 кВт) використовуються як допоміжні двигуни та встановлюються на судах у кількості 2...4, мають кожен свою паливну систему, що дозволяє використовувати для забезпечення робочого циклу палива з різними характеристиками [20, 21]. Завданням досліджень було визначення впливу біодизельного палива на експлуатаційні показники судового дизеля.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження виконувалися на судових середньообертових дизелях 6Н17/28 Hyundai Heavy Industries з наступними основними характеристиками: діаметр циліндра – 0,17 м; хід поршня – 0,28 м; частота обертання – 900 хв^{-1} ; номінальна потужність – 690 кВт; кількість циліндрів – 6. Три подібні дизелі входили до складу енергетичної установки морського судна дедвейтом 14745 тонн. Принципова схема паливної системи дизелів показана на рис. 1.

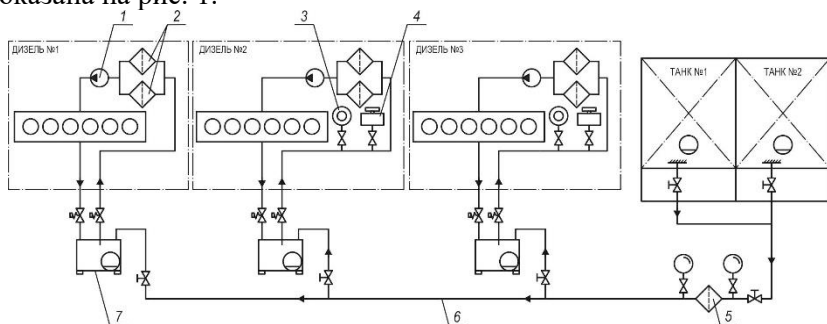


Рис. 1. Принципова схема паливної системи судових дизелів 6Н17/28 Hyundai Heavy Industries:

- 1 – паливний насос; 2, 5 – паливний фільтр; 3 – витратомір; 4 – дозатор;
6 – паливна магістраль; 7 – витратна паливна цистерна

Подача палива до форсунок дизеля здійснюється за допомогою паливного насоса 1, який забирає паливо з витратної цистерни 7 через фільтр 2. Поповнення цистерни 7 проводиться з паливних танків по магістралі 6. Попереднє очищення палива виконується у фільтрі 5.

Перед початком проведення експерименту всі дизелі мали порівняний моторесурс паливної апаратури, деталей циліндрової групи, підшипників руху, а також однаковий технічний стан. Шляхом перемикання груп споживачів експлуатація дизелів виконувалася на однаковому навантаженні, підтримка якого вимагалась під час проведення експерименту.

Під час проведення експерименту на всіх дизелях забезпечувалася підтримка постійних параметрів у системах мащення і охолодження. Робота дизелів на кожному з досліджуваних режимів проводилася не менше 1,5...2 годин, протягом яких виконувалось вимірювання основних параметрів і усереднення отриманих значень. Це забезпечувало коректність проведення досліджень і можливість зіставлення вимірів, виконаних на різних дизелях.

Контур подачі палива до першого дизеля не змінювався та дизель експлуатувався на паливі DMA (з в'язкістю 6 сСт і вмістом сірки 0,08 %). В'язкість палива дозволяє додавати в нього біодизельне паливо (з в'язкістю 8 сСт і вмістом сірки 0,005 %). Вміст біодизельного палива в паливній суміші змінювався в інтервалі 5...15 %. Паливна суміш подавалася до дизелів 2 і 3. Для забезпечення дозування біодизельного палива в паливній суміші, в контур дизелів 2 і 3 додатково встановлювалися витратомір і дозатор (позиції 3 і 4 на рис. 1) [22, 23].

Основними величинами, які вимірювалися під час проведення експерименту, були питома ефективна витрата палива і концентрація оксидів азоту у випускних газах. Навантаження на дизелі під час проведення експериментів змінювалося в інтервалі 25...75 % від номінального значення.

Оксиди азоту NO_x є одними з найбільш токсичних компонентів випускних газів [4, 5]. За нормальних атмосферних умов азот являє собою інертний газ. При високому тиску й особливо температурах азот активно вступає в реакцію з киснем. У випускних газах двигунів понад 90 % усієї кількості NO_x становить оксид азоту NO , який у системі випуску і в атмосфері легко окислюється в діоксид NO_2 , а далі перетворюється в азотну кислоту HNO_3 . Згодом азотна кислота конденсується в повітрі, повертається на поверхню Світового океану

або острівну і материкову частину Землі у вигляді кислотних дощів і негативно впливає на навколишнє середовище і людину [2, 7].

Екологічні характеристики дизельних двигунів визначаються головним чином вмістом у продуктах згоряння оксидів азоту NO_x , які за індексом токсичності значно перевершують інші шкідливі компоненти випускних газів. У зв'язку з цим ціла низка міжнародних організацій (зокрема International Maritime Organization – IMO) вводить суворі вимоги, виконання яких дозволяє забезпечити екологічні параметри роботи суднових дизелів [14, 23].

Концентрація оксидів азоту у випускних газах суднових дизелів регламентується вимогами Annex VI MARPOL. Згідно з цими вимогами концентрація NO_x у випускних газах для дизелів, аналогічних розглянутому у роботі, не повинні перевищувати значення

$$C_{\text{NO}_x} \leq 44n^{-0,23}. \quad (1)$$

де n – частота обертання вала дизеля, об/хв.

Для суднового середньообертового дизеля 6Н17/28 Hyundai Heavy Industries отримаємо:

$$C_{\text{NO}_x} \leq 44 \cdot 900^{-0,23} = 9,2 \text{ г/}(\text{кВт} \cdot \text{год}).$$

Вимірювання концентрації NO_x у випускних газах суднових дизелів виконувалося за допомогою газоаналізатора Testo350XL виробництва Німеччини, який дозволяє виконувати вимірювання в діапазоні температур $-40 \dots 1200^\circ\text{C}$. Газоаналізатори Testo350XL відповідають вимогам Системи безперервного моніторингу викидів (Continuous Emission Monitoring System – CEMS) Агентства з охорони навколишнього середовища (Environmental Protection Agency – EPA) [24, 25].

Питома ефективна витрата палива b_e визначалася за допомогою суднових вимірювальних засобів [26].

Потужність дизелів визначалася за допомогою електронного обладнання, розташованого в центральному посту управління машинного відділення [27]. Результати дослідження наведені в таблицях 1, 2.

Таблиця 1. Концентрація NO_x , г/(кВт·год), у випускних газах, суднових дизелів 6Н17/28 за різних умов проведення експерименту

Паливо або склад паливній суміші	Навантаження на дизель, %		
	25	50	75
DMA	6,28	7,17	8,27
DMA+5 % біодизельного палива	5,96	6,16	7,47
DMA+10 % біодизельного палива	5,36	5,86	6,34
DMA+15 % біодизельного палива	5,21	6,32	7,63

Таблиця 2. Питома ефективна витрата палива, г/(кВт·год), суднових дизелів 6Н17/28 за різних умов проведення експерименту

Паливо або склад паливній суміші	Навантаження на дизель, %		
	25	50	75
DMA	196	189	185
DMA+5 % біодизельного палива	198	191	187
DMA+10 % біодизельного палива	200	193	191
DMA+15 % біодизельного палива	201	194	195

Зазначимо, що за будь-яких умов проведення експерименту концентрація оксидів азоту у випускних газах не перевищувала значення, визначеного за виразом (1), таким чином експлуатація дизелів проводилася із забезпеченням вимог Annex VI MARPOL [28, 29]. За результатами таблиць 1, 2 побудовані діаграми, що відображають зміни емісії NO_x (рис. 2, а) і питомої ефективної витрати палива (рис. 2, б) для умов проведення експерименту.

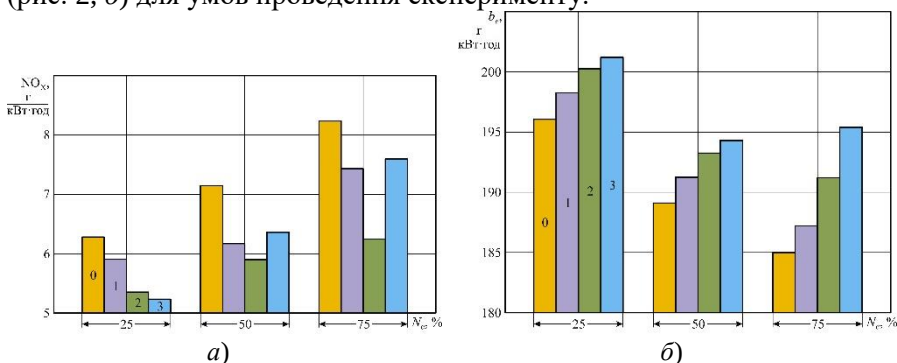


Рис. 2. Експлуатаційні показники суднових дизелів 6Н17/28 Hyundai Heavy Industries за різних умов проведення експерименту:

а – концентрації NO_x , г/(кВт·год), у випускних газах; б – питома ефективна витрата палива, г/(кВт·год);

0 – паливо DMA; 1 – DMA+5 % біодизельного палива; 2 – DMA+10 % біодизельного палива; 3 – DMA+15% біодизельного палива

Відносні зміни концентрації оксидів азоту у випускних газах ΔNO_x і питомої ефективної витрати палива Δb_e розраховувались за виразами

$$\Delta NO_x = \frac{NO_x^{DMA} - NO_x^{Bio}}{NO_x^{DMA}} \cdot 100\%, \quad \Delta b_e = \frac{b_e^{Bio} - b_e^{DMA}}{b_e^{Bio}} \cdot 100\%,$$

де NO_x^{DMA} , b_e^{DMA} – концентрація і питома ефективна витрата палива під час експлуатації дизеля на паливі DMA, г/(кВт·год) [30, 31];

NO_x^{Bio} , b_e^{Bio} – концентрація і питома ефективна витрата палива під час експлуатації дизеля на суміші палива DMA і біодизельного палива, г/(кВт·год) [32, 33].

Отримані в такий спосіб значення узагальнені у таблицях 3, 4, а також відображені на діаграмах, наведених на рис. 3.

Таблиця 3. Відносна зміна концентрації NO_x , %, в випускних газах суднових дизелів 6Н17/28 Hyundai Heavy Industries для різних умов проведення експерименту

Склад паливної суміші	Навантаження на дизель, %		
	25	50	75
DMA+5 % біодизельного палива	5,10	14,09	9,67
DMA+10 % біодизельного палива	14,65	18,27	23,34
DMA+15 % біодизельного палива	17,04	11,85	7,74

Таблиця 4. Відносна зміна питомої ефективної витрати палива, %, суднових дизелів 6Н17/28 Hyundai Heavy Industries для різних умов проведення експерименту

Склад паливної суміші	Навантаження на дизель, %		
	25	50	75
DMA+5 % біодизельного палива	1,01	1,05	1,07
DMA+10 % біодизельного палива	2,00	2,07	3,14
DMA+15 % біодизельного палива	2,49	2,58	5,13

Висновки і перспективи подальших досліджень. Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки.

1. Енергетичні установки суден морського та річкового транспорту є великими споживачами палива нафтового походження, запаси якого поступово виснажуються. Одним із джерел енергії, дослідження про можливості використання якого в судновій енергетиці ведуться в даний час, є альтернативне паливо, зокрема біодизельне паливо.

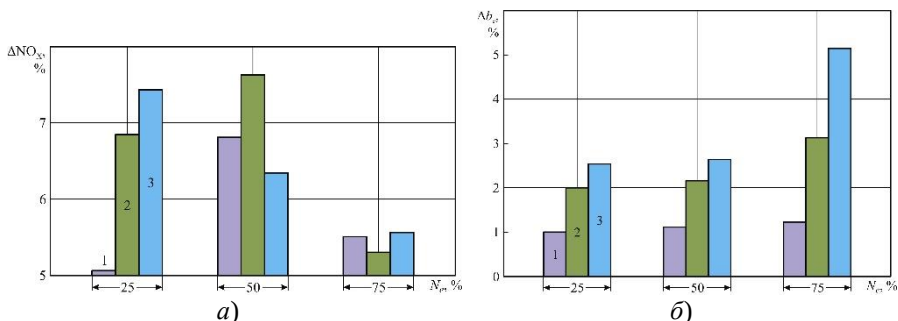


Рис. 3. Відносна зміна концентрації оксидів азоту у випускних газах (а) і питомої ефективної витрати палива (б) суднового дизеля 6N17/28 Hyundai Heavy Industries за різних умов проведення експерименту:
1 – DMA+5 % біодизельного палива; 2 – DMA+10 % біодизельного палива;
3 – DMA+15% біодизельного палива

Безпосереднє використання тільки біопалива для забезпечення робочого циклу суднового дизеля неможливе (передусім через його низьку теплотворну здатність), проте паливні суміші, що складаються з дизельного палива (як основного компонента) і біопалива з концентрацією до 20...25 % (як домішки) отримали впровадження як в стаціонарній енергетиці, так і в судновій.

2. Експерименти, що виконані на суднових середньообертових дизелях 6N17/28 Hyundai Heavy Industries, підтвердили можливість використання біопалива (у складі паливної суміші палива DMA і 5...15 % біодизельного палива) для забезпечення робочого циклу і передачі потужності на споживачі енергії.

3. Використання біопалива підвищує екологічність роботи суднового дизеля – при цьому на 5,1...23,3% (залежно від навантаження дизеля і вмісту біопалива в паливній суміші) знижується емісія оксидів азоту.

4. Під час використання біопалива відбувається 1...5,1 % збільшення питомої витрати палива, що знижує економічність роботи дизеля.

5. Оптимальний склад паливної суміші, що містить біопаливо, доцільно визначати для кожного навантаження дизеля з урахуванням його екологічних та економічних показників роботи.

Перелік використаних джерел

1. Petrychenko O., Levynskyi 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: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., 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>.

9. Заблоцький 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. 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>.

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 : науково-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 суднових 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>.