

DOI:10.31653/smf51.2025.66-77

Отримана в редакції 9.10.2025

Прийнята до друку 15.10.2025

Сагін С.В., Парменова Д.Г.

Національний університет «Одеська морська академія»

ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

Постановка проблеми в загальному вигляді. Суднові дизелі є багатокомпонентними структурними об'єктами, при цьому:

- їх функціонування починається з прийому на борт судна робочих рідин (палива, мастила, води) [1, 2];
- їх основним експлуатаційним завданням є перетворення потенційної енергії робочих рідин на корисну роботу, що забезпечує або рух судна, або вироблення теплової та електричної енергії [3, 4];
- завершальним етапом їх виробничого циклу є видалення відпрацьованих газів і охолоджувальних рідин у довкілля [5, 6].

При цьому необхідно забезпечувати не тільки вимоги щодо отримання їх ефективної потужності і підтримки екологічних параметрів, але й мінімальний рівень втрат енергії під час перетворення вхідної енергії на корисну роботу [7, 8]. Системами, які сприяють цьому, є системи мащення, які за своїм призначенням та функціонуванням поділяють на циркуляційні та циліндрові [9, 10].

Суднові дизелі, що встановлюються та використовуються на судах морського та внутрішнього водного транспорту, виконують функції головних (в разі використання їх потужності для забезпечення руху судна) та допоміжних (в випадку, коли їх потужність споживається електродвигунами суднового обладнання [11, 12].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Конструкційні та технологічні заходи, що забезпечують зниження втрат енергії під час забезпечення процесів мащення суднових двигунів внутрішнього згоряння, розглядалися в різних роботах. При цьому увага приділялася модифікації поверхонь циліндро-поршневої групи [13, 14], забезпеченню мінімальної витрати палива [15, 16] і властивостей робочих поверхонь основних елементів дизеля [17, 18].

Аналіз досвіду проектування та експлуатації суднових пропульсивних комплексів, що забезпечують мінімальний рівень необерто-

вих втрат, показує, що їх вдосконалення доцільно вести за наступними напрямками:

- підвищення стійкості роботи деталей кривошипно-шатунного механізму (КШМ) і підшипників руху [19, 20];
- зниження втрат енергії за рахунок підвищення пружнодемпфуючих властивостей мастильного матеріалу, що забезпечує процеси мащення та охолодження КШМ і підшипників ковзання, а також працездатний стан колінчатого валу [21, 22];
- мінімізації гідравлічних втрат і контактних навантажень у паливній апаратурі високого тиску [23, 24];
- розвитку методів діагностики технічного стану вузлів і деталей дизеля, а також функціональних характеристик робочих рідин, що забезпечують отримання корисної роботи [25, 26].

Найбільшим доступним в умовах експлуатації вже існуючого енергетичного обладнання є оптимізація роботи циркуляційних систем мащення.

Постановка завдання. Завданням дослідження була розробка методу діагностування технічного стану суднових дизелів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Технічний стан та експлуатаційні показники роботи суднових енергетичних установок визначаються ефективністю роботи систем мащення, які забезпечують мінімальний рівень втрат енергії під час її передачі до споживачів. Підвищення ефективності роботи систем мащення досягається різними шляхами [27, 28]. З цілого ряду методів, що є найбільш прийнятними для енергетичних установок засобів водного транспорту умов (з технологічної та фінансової точки зору), є використання оптимального доливання мастила в систему та застосування поверхнево активних речовин (ПАР) [29, 30].

Вплив інтенсивності доливання моторного мастила в загальний об'єм циркуляційної системи мащення на механічні втрати енергії можливо оцінити за зміною механічного коефіцієнту корисної дії (ККД) дизеля для різних умов експлуатації (різних умов поповнення системи мащення свіжим мастилом). Для цього виконувалось вимірювання механічного ККД на різних режимах роботи дизелів 6ЕУ22АW (що відповідають 35-ти, 50-ти, 65-ти і 80-ти %-ому навантаженню) за різної інтенсивності поповнення системи мащення:

- 1-ий дизель – через кожні 100 годин роботи;
- 2-ий – через кожні 25 годин роботи №
- 3-ий – через кожні 10 годин роботи.

На кожному з досліджуваних режимів ($0,35N_{\text{enom}}$, $0,5N_{\text{enom}}$, $0,65N_{\text{enom}}$, $0,8N_{\text{enom}}$, де N_{enom} – номінальне навантаження) дизелі експлуатувалися рівний проміжок часу, який залежно від навантаження суднової електростанції становив 1,5...2,5 години. Зміна навантаження на двигуни за цей час не перевищувало $\pm 2,5\%$, а отриманий масив значень механічного ККД дозволяв із високою точністю визначити його середнє значення [31].

У результаті були отримані значення, узагальнені у вигляді таблиці 1, за результатами якої побудована діаграма, що наведена на рис. 1.

Таблиця 1. Механічний ККД та відносне збільшення механічного ККД, %, судових дизелів 6EY22AW фірми Yanmar за різних умов експлуатації

Умови експлуатації	Навантаження на дизель			
	$0,35N_{\text{enom}}$	$0,5N_{\text{enom}}$	$0,65N_{\text{enom}}$	$0,8N_{\text{enom}}$
Дизель № 1 (поповнення через 100 годин)	$\frac{0,722}{-}$	$\frac{0,776}{-}$	$\frac{0,793}{-}$	$\frac{0,842}{-}$
Дизель № 2 (поповнення через 25 годин)	$\frac{0,786}{8,86}$	$\frac{0,812}{4,64}$	$\frac{0,828}{4,41}$	$\frac{0,868}{3,09}$
Дизель № 3 (поповнення через 10 годин)	$\frac{0,803}{11,22}$	$\frac{0,831}{7,09}$	$\frac{0,842}{6,18}$	$\frac{0,874}{3,80}$

Відносне збільшення механічного ККД, значення якого наведені в таблиці 1, визначалось за виразами $\Delta\eta = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta} \cdot 100\%$ – для дизеля № 2 та $\Delta\eta = \frac{\eta_3 - \eta_1}{\eta} \cdot 100\%$ – для дизеля № 3, де η_1 , η_2 , η_3 – механічний ККД відповідних дизелів.

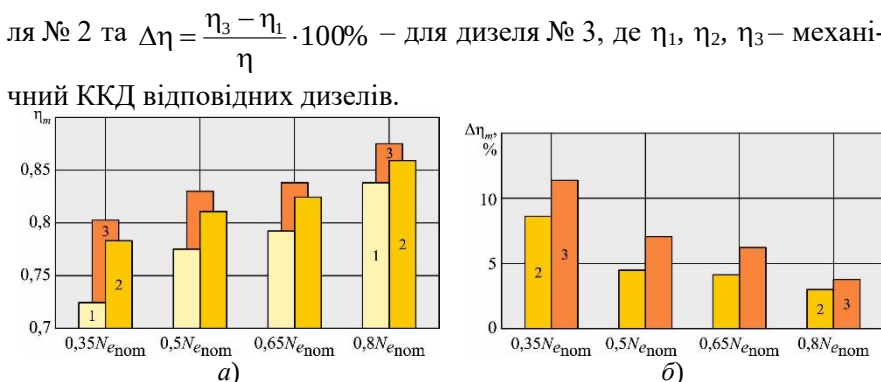


Рис. 1. Механічний ККД (а) та відносне збільшення механічного ККД (б) судових дизеля 6EY22AW фірми Yanmar за різної інтенсивності доливання моторного мастила: 1 – через 100 годин; 2 – через 25 годин; 3 – через 10 годин

Наведені в таблиці 1 і на рис. 1 результати підтверджують зниження втрат енергії під час скорочення часу між доливанням мастила в обсяг циркуляційної системи.

Для визначення впливу ПАР на втрати енергії суднових середньообертових дизелів експерименти отримали наступне продовження [32, 33]. Як і в попередній серії експериментів, дизелі експлуатувалися на рівновеликому навантаженні $(250...750) \pm (15...45)$ кВт, однакову кількість часу 12...15 годин/добу.

Технологічна послідовність проведення експериментів полягала в наступному.

Перший дизель був «контрольним», і після заміни мастила в його системі мащення інших технічних заходів з ним не проводилося, і відповідно до вимог заводу-виробника його експлуатація здійснювалася протягом 100 годин роботи без проміжного поповнення мастила в системі. За цей період експлуатації кількість мастила в циркуляційній системі дизеля не знижувалась нижче гранично допустимого значення. При цьому в циркуляційній системі з точністю $\pm(2,5...3)$ % підтримувалися постійний тиск і температура мастила.

Система мащення другого дизеля поповнювалася свіжим мастилом через кожні 10 годин роботи до верхнього рекомендованого в картері дизеля, що відповідало максимально можливого обсягу мастила в системі. Даний період поповнення було визначено в якості оптимального під час проведення попередніх експериментів.

Система мащення третього дизеля спочатку заповнювалася мастилом з ПАР, що містить у своєму складі солі міді. Оптимальна концентрація ПАР становила 0,1 % від обсягу мастила в системі мащення і була встановлена за допомогою попередніх оптичних і триботехнічних досліджень [34, 35]. Крім того, через кожні 10 годин роботи здійснювалося поповнення циркуляційної системи мащення даного дизеля мастилом з такою ж концентрацією ПАР [36, 37].

Аналогічно попередній серії експериментів, для кожного дизеля в діапазоні навантажень $(0,35...0,8)N_{\text{ном}}$ виконувалося визначення механічного ККД та подальший розрахунок збільшення механічного ККД за умов зміни експлуатації систем мащення.

Результати цих експериментів наведені в табл. 2 та надані на рис. 2.

Таблиця 2. Механічний ККД та відносне збільшення механічного ККД, %, суднових дизелів 6EY22AW фірми Yanmar за різних умов експлуатації

Умови експлуатації	Навантаження на дизель			
	$0,35N_{enom}$	$0,5N_{enom}$	$0,65N_{enom}$	$0,8N_{enom}$
Поповнення через 100 годин	$\frac{0,726}{-}$	$\frac{0,771}{-}$	$\frac{0,789}{-}$	$\frac{0,832}{-}$
Поповнення через 10 годин	$\frac{0,808}{11,29}$	$\frac{0,841}{9,08}$	$\frac{0,847}{7,35}$	$\frac{0,872}{4,81}$
Поповнення через 10 годин та додавання ПАР	$\frac{0,834}{14,88}$	$\frac{0,871}{12,97}$	$\frac{0,881}{11,66}$	$\frac{0,912}{9,62}$

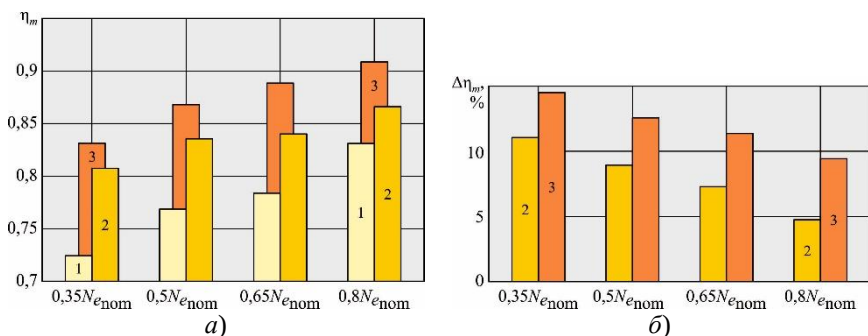


Рис. 2. Механічний ККД (а) та відносне збільшення механічного ККД (б) суднових дизеля 6EY22AW фірми Yanmar за різної інтенсивності доливання мастила: 1 – робота системи мащення в штатному режимі; 2 – поповнення системи мащення через 10 годин роботи; 3 – поповнення системи мащення через 10 годин роботи і додавання ПАР

З метою діагностування технічного стану дизеля виконувався аналіз моторного мастила, яке використовувалось в системі циркуляційного мащення дизелів. При цьому в судновій лабораторії фірми Unitor визначались значення вмісту в мастилі металевих домішок, Fe, ppm, та залишкового лужного числа, BN, мгКОН/г. За вмістом металевих домішок Fe, ppm, у мастилі, що відпрацювало, можливо оцінити рівень втрат енергії під час поступального руху в парах тертя поршневе кільце – циліндрова втулка та вкладиш підшипника – колінчатий вал. Чим вище значення Fe у відпрацьованому мастилі, тим більше знос цих пар тертя, а отже більше як контактні взаємодії, так і втрати енергії.

Значення залишкового лужного числа BN, мгКОН/г, характеризує (зокрема) гідравлічну щільність трибологічної системи поршневе кільце – мастильний шар – циліндрова втулка. Чим вище цей показник, тим менша частина газів, що утворюються в циліндрі під час згоряння палива, проходить по дзеркалу втулки циліндрової через можливі нещільності між поршковими кільцями та циліндровою втулкою. Таким чином, у циліндрі разом з паливом згоряє менша частина мастила, що знаходиться лише над верхнім / верхніми поршковими кільцями.

Результати виконаних досліджень наведено в таблиці 3 та на рис. 3. Визначення значень вмісту в мастилі металевих домішок та залишкового лужного числа виконувалось для різних навантажень судових дизелів, що відповідали $0,35N_{\text{enom}}$, $0,5N_{\text{enom}}$, $0,65N_{\text{enom}}$, $0,8N_{\text{enom}}$. При цьому в зв'язку зі збігом цих значень в таблиці 3 та на рис. 3 наведені результати випробувань, що відповідають експлуатаційному режиму $0,8N_{\text{enom}}$.

Таблиця 3 – Результати експерименту

Показник	Час експлуатації, години														
	200			400			600			800			1000		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
I	52	43	28	53	36	29	48	39	26	52	42	29	49	44	28
II	46	41	34	47	42	33	44	38	32	43	36	31	44	41	33

Примітка: I – вміст металевих домішок у відпрацьованому мастилі, Fe, ppm; II – залишкове лужне число, BN, мгКОН/г мастила; 1 – робота системи мащення в штатному режимі; 2 – поповнення системи мащення через 10 годин роботи; 3 – поповнення системи мащення через 10 годин роботи і додавання ПАР

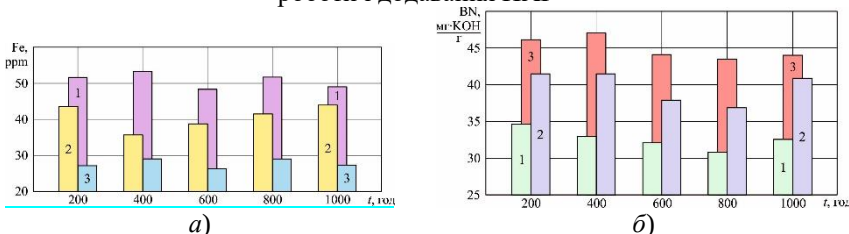


Рис. 3. Вмісту металевих домішок (а) та залишкове лужне число (б) у відпрацьованому мастилі судових дизелів 6EY22AW фірми Yanmar за різних умов експлуатації:

- 1 – робота системи мащення в штатному режимі;
- 2 – поповнення системи мащення через 10 годин роботи;
- 3 – поповнення системи мащення через 10 годин роботи і додавання ПАР

Зіставлення результатів, що наведені в таблицях 1-3, свідчать, що випадкам найбільшого значення механічного ККД відповідають випадку найменшого вмісту в мастилі металевих домішок та найбільших значень остаточного лужного числа мастила.

Висновки і перспективи подальших досліджень. На підставі виконаних досліджень визначимо наступне.

1. Із цілого ряду методів зниження механічних втрат у суднових середньообертових дизелях найбільш прийнятними для суднових умов (з технологічної та фінансової точки зору) є використання оптимального доливання мастила в систему циркуляційного мащення та використання поверхнево активних речовин. Перший (доливання мастила) рекомендовано заводом-виготовлювачем, але, як правило, розроблено для номінального режиму роботи дизеля за умови його експлуатації за стандартних умов. Другий (використання поверхнево активних речовин) не має широкого розповсюдження через необхідність додаткових досліджень та розробки спеціальних рекомендацій, що враховують особливості експлуатації дизелів на різних експлуатаційних режимах, а також у випадках зміни одного сорту палива на інший.

2. Діагностування зниження механічних втрат в суднових дизелях можливо за оцінкою його механічного ККД. Цей параметр під час роботи дизеля 6EY22AW фірми Yanmar з рекомендованою фірмою-виробником інтенсивністю доливання моторного мастила в циркуляційну систему мащення та без додаткового додавання ПАР до об'єму моторного мастила в діапазоні навантаження $(0,35...0,8)N_{\text{ном}}$ знаходиться в межах $0,722...0,842$. Вибір оптимального режиму поповнення циркуляційної системи, а також додавання в загальний обсяг циркуляційної системи ПАР з оптимальною концентрацією (визначення якої здійснюється попередніми лабораторними дослідженнями), сприяє збільшенню механічного ККД дизеля до рівня $0,834...0,912$ та відповідному зниженню механічних втрат та збільшенню ефективної потужності. При оптимальному поповненні циркуляційної системи (яке відповідно до експериментальних досліджень складає 10 годин) та додаванням до обсягу циркуляційної системи мащення ПАР (з оптимальною концентрацією 0,1 % за загальним обсягом системи) можливо досягнення 9,62...14,62 %-е збільшення механічного ККД дизеля та відповідне зменшення його механічних втрат.

3. Діагностування втрати енергії, що виникають при зворотно-поступальному русі у вузлах тертя суднових двигунів внутрішнього згоряння (зокрема при переміщенні поршня в циліндрі), та обертального руху колінчатого валу в мотильових та рамових підшипниках може бути виконано за характеристиками відпрацьованого мастила, взятого з його картеру. При цьому як критерій доцільно використовувати вміст металевих домішок у відпрацьованому мастилі та його залишкове лужне число. Збільшення вмісту механічних домішок свідчить про підвищення рівня контактних взаємодій у парі тертя поршневі кільця – втулка циліндра та колінчатий вал – вкладиш підшипника та зростання втрат енергії. Значення залишкового лужного числа мастила, що використовується для змащування циліндропоршневої групи дизеля, може характеризувати гідравлічну щільність трибологічної системи поршневе кільце – мастильний шар – циліндрова втулка. При цьому великим значенням залишкового лужного числа мастила відповідає більша гідравлічна щільність і менші значення мінімально неминучих втрат енергії.

4. Експериментально встановлено взаємозв'язок між механічним ККД дизеля та характеристиками мастила, що використовується в його системі циркуляційного мащення. Експлуатаційним умовам, під час яких спостерігається найбільші значення механічного ККД відповідають випадки найменшого вмісту в мастилі металевих домішок та найбільших значень остаточного лужного числа мастила.

5. Визначення механічного ККД суднових дизелів потребує значно меншого часу на виконання в порівнянні з методами діагностування технічного стану під час яких виконується аналіз моторного мастила. Тому саме метод визначення механічного ККД рекомендується для діагностування технічного стану суднових дизелів

Перелік використаних джерел

1. Sagin S., Chymshyr V., Karianskyi S., Kuropyatnyk O., Madey V., Rusnak D. Using Ultrasonic Fuel Treatment Technology to Reduce Sulfur Oxide Emissions from Marine Diesel Exhaust Gases // *Energies*. – 2025. – Vol. 18(17). – P. 4756. <https://doi.org/10.3390/en18174756>.

2. Куропятник О.А. Забезпечення екологічних показників суднових дизелів шляхом використання систем рециркуляції випускних газів високого тиску // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2024. – Вип. 3(41). – С. 121-132. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41.14.

3. Kolegaev M., Brazhnik I. Improvement of the process of preparing cargo tanks of crude oil tankers for cargo operations // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2024. – Vol. 6(1(80)). – P. 36–40. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.318534>.

4. Amoresano A., Langella G., Iodice P., Roscioli S. Numerical Analysis of SO₂ Absorption inside a Single Water Drop // *Atmosphere*. – 2023. – Vol. 14. – P. 1746. <https://doi.org/10.3390/atmos14121746>.

5. Столярик Т.О. Забезпечення режимів машення чотиритактних суднових дизелів // *Автоматизація суднових технічних засобів: наук.-техн. зб.* – 2023. – Вип. 28. – С. 90 – 105. DOI: 10.31653/1819-3293-2023-1-28-90-105.

6. 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.

7. 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>.

8. 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>.

9. 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. Series Transp.* – 2023. – Vol. 118. – P. 195–206. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2023.118.13>.

10. 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.

11. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33–42. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>.

12. Сагин С.В., 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.

13. Stoliaryk T. Analysis of the operation of marine diesel engines when using engine oils with different structural characteristics // Technology Audit and Production Reserves. – 2022. – Vol. 5(1(67)). – P. 22–32. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.265868>.

14. Petrychenko O., Levinskyi M., Goolak S., Lukoševičius V. Prospects of Solar Energy in the Context of Greening Maritime Transport // Sustainability. – 2025. – Vol. 17. – P. 2141. <https://doi.org/10.3390/su17052141>.

15. Sagin S., Sagin A., Zablotyskiy 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>.

16. Мадей В.В., Волков О.М. Оптимізація процесу паливоподачі дизелів суден морського транспорту під час використання паливних сумішей до складу яких входить біодизельне паливо // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2022. – Вип. 45. – С. 43-56. doi: 10.31653/smf45.2022.43-56.

17. 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>.

18. 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.

19. 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. doi: 10.31653/smf45.2022.5-16.

20. 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>.

21. Сагін А.С., Сагін С.В. Експериментальне визначення оптимальних фаз подачі палива в циліндр судових дизелів // Водний

транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 206-215. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.22.

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

23. 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. – Р. 36-43. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-36-43>.

24. Сагін С.В., Заблоцький Ю.В. Діагностування технічного стану судових енергетичних установок засобів водного транспорту // Водний транспорт. – 2023. – № 2(38). – С. 164-175. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.18.

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

26. Gorb S.I., Budurov M.I. Increasing the accuracy of a marine diesel engine operation limit by thermal factor // International Journal of Theoretical and Applied Mechanics. – 2021. – Vol. 6. – Р. 18-26.

27. Руснак Д.Ю. Аналіз методів забезпечення вимог щодо емісії в атмосферу сірчистих сполук з випускними газами судових дизелів // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2025. – Вип. 1(42). – С. 227-240. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.25.

28. 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>.

29. Wang Z., Ma Q., Zhang Z., Li Z., Qin C.; Chen J., Peng C. A Study on Monitoring and Supervision of Ship Nitrogen-Oxide Emissions and Fuel-Sulfur-Content Compliance // Atmosphere. – 2023. – Vol. 14. – Р. 175. <https://doi.org/10.3390/atmos14010175>.

30. Мадей В.В. Використання в судових дизелях паливних сумішей до складу яких входить паливо біологічного походження // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2022. – Вип. 44. – С. 93-110. doi: 10.31653/smf44.2022. 93-110.

31. 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.

32. 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>.

33. Levinskyi M. Automatic diagnostic of marine diesel generator lubricating oil condition // Автоматизація суднових технічних засобів: наук.-техн. зб. – 2023. – Вип. 28. – С. 106-120. DOI: 10.31653/1819-3293-2023-1-28-106-120.

34. Wang F., Zhao J., Li T., Guan P., Liu S., Wei H., Zhou L. Research on NOx Emissions Testing and Optimization Strategies for Diesel Engines Under Low-Load Cycles // Atmosphere. – 2025. – Vol. 16. – P. 190. <https://doi.org/10.3390/atmos16020190>.

35. 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.

36. Goolak S., Riabov I., Petrychenko O., Kyrychenko M., Pohosov O. The simulation model of an induction motor with consideration of instantaneous magnetic losses in steel // Advances in Mechanical Engineering. – 2025. – Vol. 17(2). <https://doi.org/10.1177/16878132251320236>.

37. Мацкевич Д.В., Сагин С.В., Ханмамедов С.А. Изменение реологических характеристик смазочных материалов в циркуляционной масляной системе в процессе эксплуатации среднеоборотного двигателя // Судовые энергетические установки : науч.-техн. сб. – 2010. – Вип. 25. – С.109-118.