

DOI: 10.31653/smf52.2026.77-87

дата першого надходження: 11.01.26
дата прийняття статті до друку після
рецензування: 21.02.26
дата публікації: 05.05.26

Сагін С.В.¹, Мадей В.В.², Даніленко Д.В.³

¹ORCID 0000-0001-8742-2836, ²ORCID 0000-0002-8692-9077,
³ORCID 0009-0004-3085-0900

Національний університет «Одеська морська академія»

ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВА З ОЛІЇ КАРАНДЖІ У СУДНОВИХ ДИЗЕЛЯХ

Постановка проблеми в загальному вигляді. Постійне підвищення рівня емісії шкідливих компонентів, що входять до складу випускних газів дизелів суден морського транспорту, а також підвищення кількості випускних газів, що потрапляють в атмосферу внаслідок морських перевезень, є актуальною проблемою [1-3]. Суднові дизелі надають значний внесок у викиди випускних газів, включаючи оксид СО і діоксид вуглецю СО₂, вуглеводні, що не згоріли НС, оксиди азоту NO_x [4-6]. Одним із варіантів зниження емісії зазначених шкідливих компонентів є використання біодизельного палива [7-9]. Біодизельне паливо, яке одержують із рослинних та відпрацьованих олій, стало заміною традиційного дизельного палива завдяки своїм сприятливим характеристикам згорання [10-12].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Первісно біодизельне паливо на основі харчових олій привернуло увагу, але його широко-масштабне використання викликало побоювання, пов'язані з продовольчою безпекою та вартістю. Олія каранджі (*Pongamia pinnata*), нехарчова олія, одержувана з насіння каранджі, широко доступна в ряді південно-східних країн (наприклад, в Індії та Китаї) і добре підходить для виробництва біодизелю завдяки високому вмісту олії та сприятливому складу жирних кислот [13-15]. Дослідники вивчали практичну застосування біодизеля з відпрацьованого рослинного масла і масла каранджі в двигунах з запаленням від стиснення [17-19]. Дослідження показали, що суміші біодизелю призводять до зниження викидів СО, НС та диму завдяки властивому біодизелю вмісту кисню, що сприяє більш повному згорянню цього типу палива [20-22]. Численні дослідження незалежно вивчали біодизельне паливо з відпрацьованого олії та олії каранджі, проте роботи з їх порівняльної

оцінки в однакових умовах роботи двигуна обмежені [23-25]. Дизельні двигуни залишаються домінуючими на судах морського та внутрішнього водного транспорту, завдяки своїй високій ефективності та економічності [26-28]. Проте, суднові дизелі роблять значний внесок у забруднення атмосфери і викиди парникових газів, що знижує стійкість морських перевезень [29-31]. Біодизельне паливо, отримане з відновлюваної сировини, стало багатообіцяючою заміною нафтового дизельного палива [32-34]. Перехід до відновлюваних та стійких видів палива стимулював масштабні дослідження в галузі виробництва біодизеля та його застосування в судових двигунах внутрішнього згорання [35-37]. Біодизель може вироблятися з різних видів сировини: харчових олій, нехарчових олій та відпрацьованих олій, при цьому відпрацьована рослинна олія та олія каранджі стають привабливими недорогими нехарчовими альтернативами, які пом'якшують конкуренцію між харчовими продуктами та паливом, а також проблеми утилізації відходів [38-40].

Постановка завдання. Дослідження спрямоване на експериментальне вивчення сумішей палива нафтового походження та олії каранджі в судовому чотиритактному дизельному двигуні з метою визначення оптимального складу сумішей палива нафтового та біологічного походження, а також оптимальних режимів експлуатації судових дизелів при використанні подібних сумішей.

Виклад основного матеріалу дослідження. Олія каранджі, нехарчова насіннева олія, також вивчалася для переробки в біодизель та застосування в двигунах [41-43]. Олію каранджі отримують з насіння *Pongamia pinnata* (також відомої як *Pongamia glabra*). Олія каранджі складається в основному з тригліцеридів, які є складними ефірами, утвореними з гліцерину, а також довголанцюгових жирних кислот [44, 45].

Метилловий ефір олії каранджі (Karanja oil methyl ester – КОМЕ) має характеристики, порівняні зі звичайним дизельним паливом нафтового походження. Щільність КОМЕ становить приблизно 860...890 кг/м³, яке кінематична в'язкість при 40 °С коливається у діапазоні 4,5...5,5 мм²/с, що відповідає параметрам дизельного палива класів DMA, DMB, DMC. Теплотворна здатність КОМЕ трохи нижче, ніж у дизельного палива, та знаходиться у діапазоні 37000...39000 кДж/кг, через наявність кисневмісних сполук. Температура спалаху біодизеля з олії каранджі перевищує 160 °С, що робить його безпечнішим для зберігання та обігу.

Основні характеристики олії каранджі, що застосовується для виробництва біодизельного палива, наведені у таблиці 1.

Таблиця 1: Характеристики біодизеля з олії каранджі

Параметр	Біодизельне паливо з олії каранджі (КОМЕ)
Тип сировини	Нехарчова олія
Джерело походження	Насіння <i>Pongamia pinnata</i>
Основні жирні кислоти	Олейнова, лінолева, пальмітинова, стеаринова
Основні компоненти біодизеля (метил-ові ефіри жирних кислот)	Метил олеат ($C_{19}H_{36}O_2$), метил лінолеат ($C_{19}H_{34}O_2$)
Густина, $кг/м^3$ за $15\text{ }^\circ\text{C}$	860...890
Кінематична в'язкість, $мм^2/с$, за $40\text{ }^\circ\text{C}$	4,5...5,5
Теплотворна здатність, $кДж/кг$	37000...39000
Температура спалаху, $^\circ\text{C}$	160...180

Дослідження виконували на трьох однотипних суднових чотири-тактних дизелях 6Н21/32 Hyundai HiMSEN. Один із дизелів працював на дизельному паливі нафтового походження DMB20. Два інших – на суміші палива DMB20 та палива КОМЕ, при цьому вміст палива КОМЕ у суміші становив 5 %, 10 %, 15 %, 20 %. Для вимірювання витрати палива, витрати повітря, температури випускних газів та частоти обертання двигуна використовувалася стандартна вимірювальна апаратура [46, 47]. При кожному навантаженні двигун спочатку експлуатувався 30 хвилин, після чого здійснювався контроль за його енергетичними, економічними та екологічними показниками. Основні екологічні показники дизеля (оксид СО і діоксид вуглецю CO_2 , вуглеводні HC , що не згоріли, оксиди азоту NO_x) вимірювалися за допомогою каліброваного газоаналізатора Seitron [48, 49]. Як результат виконаних досліджень були проаналізовані характеристики викидів сумішей дизельного палива DMB20 та біодизельного палива КОМЕ на основі олії каранджі, при різних навантаженнях двигуна для співвідношень палива КОМЕ у суміші 5 %, 10 %, 15 % та 20 %, та проведено порівняння з роботою на чистому дизельному паливі. Викиди СО для сумішей DMB20 та КОМЕ знизилися при низьких та середніх навантаженнях у порівнянні з чистим дизельним паливом, що вказує на покращене згорання завдяки кисневмісній природі біодизеля. Дані, які наведені на рис. 1, свідчать, що суміші з 15 % та 20 % КОМЕ показали найнижчі викиди СО на середніх навантаженнях (40...60 %).

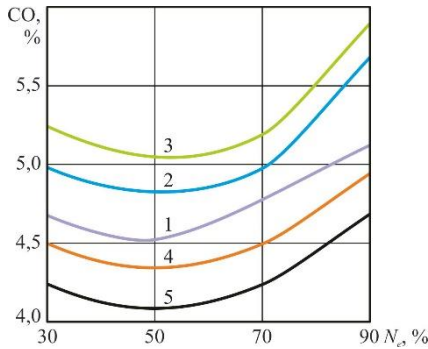


Рис. 1. Порівняння емісії CO для дизельного палива DMB20 та його сумішей з біопаливом КОМЕ:

1 – 100 % DMB20; 2 – 95 % DMB20 + 5 % КОМЕ; 3 – 90 % DMB20 + 10 % КОМЕ; 4 – 85 % DMB20 + 15 % КОМЕ; 5 – 80 % DMB20 + 20 % КОМЕ

Суміші, що містять 5% та 10% біодизельного палива КОМЕ, характеризуються підвищеною (порівняно з паливом DMB20) емісією CO. Найбільшим зростанням емісії CO характеризуються режими підвищеного навантаження (80...90%). Водночас, суміші, що містять 15 % та 20 % палива КОМЕ, забезпечують зниження емісії CO. Викиди вуглеводнів (НС), що не згоріли, збільшувалися з навантаженням для всіх видів сумішей палива. При цьому емісія СР для сумішей, що містять 5...10 % біодизельного палива КОМЕ, перевищує аналогічний показник для дизельного палива DMB20; для сумішей, що містять 15...20 % КОМЕ, має менше значення в порівнянні з паливом DMB20. Порівняння викидів незгорілих вуглеводнів (НС) показано на рис. 2.

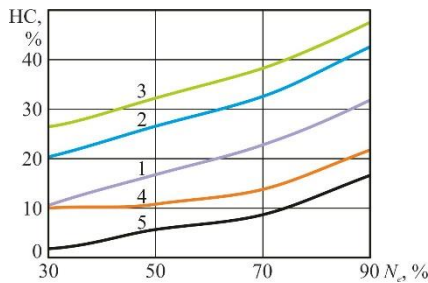


Рис. 2. Порівняння емісії НС для дизельного палива DMB20 та його сумішей з біопаливом КОМЕ:

1 – 100 % DMB20; 2 – 95 % DMB20 + 5 % КОМЕ; 3 – 90 % DMB20 + 10 % КОМЕ; 4 – 85 % DMB20 + 15 % КОМЕ; 5 – 80 % DMB20 + 20 % КОМЕ

Викиди CO_2 збільшувалися зі збільшенням навантаження для всіх видів палива, що відображає більшу витрату палива та покращене згоряння при більш високих навантаженнях. Суміші біодизеля (за винятком 5 % концентрації КОМЕ) забезпечують зниження рівня емісії CO_2 на всіх навантаженнях дизеля порівняно з експлуатацією на дизельному паливі DMB20 (рис. 3).

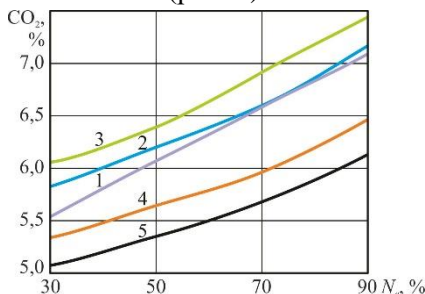


Рис. 3. Порівняння емісії CO_2 для дизельного палива DMB20 та його сумішей з біопаливом КОМЕ:

1 – 100 % DMB20; 2 – 95 % DMB20 + 5 % КОМЕ; 3 – 90 % DMB20 + 10 % КОМЕ; 4 – 85 % DMB20 + 15 % КОМЕ; 5 – 80 % DMB20 + 20 % КОМЕ

Викиди оксидів азоту NO_x значно зростають із збільшенням навантаження всім сумішей. Однак суміші з біодизельним паливом КОМЕ забезпечують нижчу емісію NO_x порівняно з дизельним паливом DMB20. При цьому найбільшою екологічною ефективністю характеризуються суміші з підвищеним вмістом КОМЕ (15 % та 20 %).

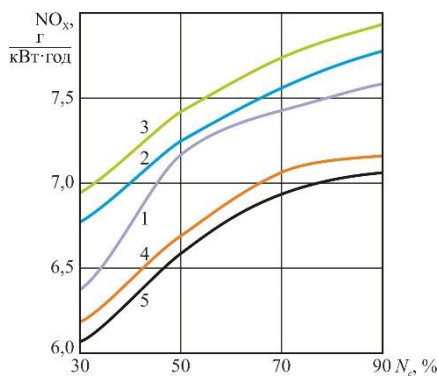


Рис. 4. Порівняння емісії NO_x для дизельного палива DMB20 та його сумішей з біопаливом КОМЕ:

1 – 100 % DMB20; 2 – 95 % DMB20 + 5 % КОМЕ; 3 – 90 % DMB20 + 10 % КОМЕ; 4 – 85 % DMB20 + 15 % КОМЕ; 5 – 80 % DMB20 + 20 % КОМЕ

Висновки і перспективи подальших досліджень. Було проведено експериментальне дослідження для оцінки екологічних характеристик сумішей дизельного палива DMB20 та біодизеля КОМЕ з олії каранджі. При цьому концентрація біодизельного палива КОМЕ у його суміші з паливом DMB20 становила 5 %, 10 %, 15 % та 20 %. Паливні суміші із зазначеним складом використовувалися при експлуатації суднового дизеля 6Н21/32 Hyundai HiMSEN. Дослідження виконувались у діапазоні 30...90 % навантаження дизеля. Результати підтверджують можливість використання подібних сумішей у суднових дизелях без додаткової модернізації їхньої паливної апаратури. Аналіз емісії оксидів СО і діоксидів СО₂ вуглецю, незгорілих вуглеводнів НС, а також оксидів азоту NO_x виявив наявність оптимальної концентрації біодизельного палива КОМЕ в його суміші з паливом нафтового походження DMB20, а також оптимальних експлуатаційних режимів роботи дизеля за якими забезпечується мінімальних рівень вказаних шкідливих компонентів у складі випускних газів. Експериментально встановлено, що суміші дизельного палива DMB20 та біодизеля КОМЕ з олії каранджі є екологічно сприятливими альтернативами традиційному паливу нафтового походження для двигунів внутрішнього згоряння.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

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. 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.
3. 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>.
4. 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>.

5. 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.

6. 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. – P. 175. <https://doi.org/10.3390/atmos14010175>.

7. 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. Зб. наук. праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 193-205. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.20.

8. Sagin S., Kuropyatnyk O., Matieiko O., Razinkin R., Stoliaryk T., Volkov O. Ensuring Operational Performance and Environmental Sustainability of Marine Diesel Engines through the Use of Biodiesel Fuel // Journal of Marine Science and Engineering. – 2024. – Vol. 12(8). – P. 1440. <https://doi.org/10.3390/jmse12081440>.

9. Куропятник О.А. Управління емісією оксидів сірки під час використання палива біологічного походження, яке становлять гідровані рослинні мастила // Розвиток транспорту. – 2025. – Вип. 4(27). – С. 67-81. <https://doi.org/10.33082/td.2025.4-27.05>.

10. 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.

11. Сагін А.С., Сагін С.В. Експериментальне визначення оптимальних фаз подачі палива в циліндр суднових дизелів // Водний транспорт. Зб. наук. праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 206-215. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.22.

12. 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.

13. Заблоцький Ю.В. Зниження втрат енергії під час забезпечення процесів мащення суднових двигунів внутрішнього згоряння // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2023. – Вип. 47. – С. 23-31. doi: 10.31653/smf47.2023.23-31.

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

15. 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>.

16. 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. – № 13. – P. 589. <https://doi.org/10.3390/jmse1303058924>.

17. 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.

18. 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>.

19. Колегаєв М.О., Мадей В.В., Побережний Р.В. Використання біодизельного палива під час експлуатації суднових дизелів // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2025. – Вип. 51. – С. 10-21. DOI: 10.31653/smf 51.2025.10-21.

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

22. Мадей В.В. Використання в суднових 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.

23. Сагін С.В., Заблоцький Ю.В., Сагін А.С. Підвищення економічності роботи судових середньооборотних дизелів // Водний транспорт. Зб. наук. праць. – 2025. – Вип. 1(42). – С. 166-179. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.20.

24. 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>.

25. 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.

26. 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>.

27. Levchenko O., Dvulit Z., Kozlenko O. Features of human resource management at railway transport enterprises // Efektyvna Ekonomika. – 2020. – № 6. – P. 1-7. doi: 10.32702/2307-2105-2020.6.72.

28. Shpak N., Dvulit Z., Maznyk L., Sroka W., Zaverbnyj A., Levchenko O. Optimisation of the export structure in transport companies: a case study // Central European business review. – 2023. – Vol. 12. – Iss. 1. – P. 115-132. <https://doi.org/10.18267/j.cebr.312>.

29. 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: Зб. наук. праць. – 2025. – Вип. 1(42). – С. 99-108. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.14.

30. Левченко О.В., Ганношина І.М., Остапчук Т.В. Система інформаційного забезпечення процесів прийняття рішень на мостику судна // Водний транспорт: Зб. наук. праць. – 2025. – Вип. 1(42). – С. 24-27. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.04.

31. 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>.

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. 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. – P. 18–26.

34. Заблоцький Ю.В. Підвищення економічності роботи суднових дизелів // *Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб.* – 2020. – Вип. 40. – С. 12–16. DOI : 10.31653/smf340.2020.12-16.

35. 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.

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. Сагін С.В., Колегаєв М.О., Парменова Д.Г. Зниження ризиків інвазійного забруднення морських акваторії під час експлуатації суден морського та внутрішнього водного транспорту // *Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб.* – 2023. – Вип. 47. – С. 131–147. doi: 10.31653/smf47.2023.131-147.

38. Zablotskyi Yu.V., Sagin A.S. Applying of fuel additives in marine diesel engines // *Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб.* – 2021. – Вип. 43. – С. 5 – 17. doi: 10.31653/smf343.2021. 5-17.

39. Будашко В.В., Заблоцький Ю.В. Аналіз термодинамічних циклів охолодження природного газу під час його транспортування морськими суднами-газовозами // *Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб.* – 2024. – Вип. 48. – С. 18–30. doi: 10.31653/smf48.2024.18-30.

40. Заблоцький Ю.В., Будашко В.В., Сагін А.С. Забезпечення технологічних операцій зі зрідженим природним газом під час його видобутку в морських прибережних акваторіях // *Автоматизація суднових технічних засобів: наук.-техн. зб.* – 2024. – Вип. 29. – С. 54–65. DOI: 10.31653/1819-3293-2024-1-29-54-65.

41. Куропятник О.А. Вдосконалення експлуатаційних режимів системи рециркуляції випускних газів суднових дизелів // *Вісник*

Одеськ. нац. мор. ун-ту. Зб. наук. праць. – 2025. – Вип. 4(78). – С. 66-80. DOI: <https://doi.org/10.47049/2226-1893-2025-4-66-80>.

42. Куропятник О.А. Підтримання екологічності морських суден під час використання систем каталітичного відновлення випускних газів судових дизелів // Розвиток транспорту. – 2025. – № 3. – С. 73-86. DOI: <https://doi.org/10.33082/td.2025.3-26.05>.

43. Сагін А.С., Заблоцький Ю.В. Аналіз ефективності морських перевантажувальних терміналів під час транспортування зрідженого природного газу суднами-газовозами // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2024. – Вип. 48. – С. 114-125. doi: 10.31653/smf48.2024.114-125.

44. 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. <https://doi.org/10.33082/td.2025.2-25.06>.

45. Куропятник О.А. Забезпечення декарбонізації суден морського транспорту // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2025. – Вип. 51. – С. 45-88. DOI: 10.31653/smf51.2025.45-58.

46. Сагін А.С., Заблоцький Ю.В. Регенерація змащувальних властивостей моторних палив і мастил під час експлуатації судових дизелів // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2022. – Вип. 45. – С. 17-30. doi: 10.31653/smf45.2022.17-30.

47. Сагін А.С. Корегування налаштування паливної апаратури високого тиску під час переведення судових дизелів на паливо з низьким вмістом сірки // Автоматизація судових технічних засобів: наук.-техн. зб. – 2023. – Вип. 28. – С. 67 – 78. DOI: 10.31653/1819-3293-2023-1-28-67-78.

48. Сагін А.С. Корегування процесу подачі палива під час використання в судових дизелях палив з різним вмістом сірки // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2023. – Вип. 47. – С. 178-190. doi: 10.31653/smf47.2023.178-190.

49. 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.