10.31653/smf343.2021.41-53

Мадей В.В.
Національний університет «Одеська морська академія»,

ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПАЛИВА В СУДНОВИХ СЕРЕДНЬООБЕРТОВИХ ДИЗЕЛЯХ

v.madey@gmail.com

Анотація. Розглянута можливість ***використання палива біологічного походження в суднових середньообертових дизелях. Експерименти 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. 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. Під час використання біопалива відбувається 1 ... 5,1 % збільшення питомої витрати палива, що знижує економічність роботи дизеля.***

Abstract.The possibility of using fuel of biological origin in marine medium-speed diesels is considered. Experiments have confirmed the possibility of using biofuels (as part of a fuel mixture of DMA fuel and 5 ... 15 % biodiesel) to ensure the work cycle of the diesel and power transmission to energy consumers. The use of biofuels increases the environmental friendliness of marine diesel - with 5.1 ... 23.3 % (depending on the diesel load and the content of biofuels in the fuel mixture) reduces the emission of nitrogen oxides. When using biofuels there is a 1 ... 5.1% increase in specific fuel consumption, which reduces the efficiency of the diesel engine.

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 2020 рік, доведені світові запаси нафти оцінюються в 244,6 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. Палива для морських дизелів традиційно поділяють на важкі і легкі. До першої категорії відносяться палива, в'язкість яких за 50°С перевищує 50 сСт (у сучасних дизелях використовуються палива з в'язкістю до 500 ... 700 сСт). Легкі палива характеризуються в'язкістю 2 ... 40 сСт. До складу важкого палива (порівняно з легким) входить підвищений вміст сірки (до 0,5 %) та азоту (до 1,0 %). Під час їх згоряння 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 коливання 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 суднових дизелях є актуальним завданням, розв'язання якого в даний час не знайдено. При цьому необхідно:

• встановити оптимальні схеми комплектації суднових 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 (такі, що передають потужність на електричний генератор). Подібні двигуни встановлюються на суднах у кількості 2 ... 4, мають кожен свою паливну систему, тому дозволяють використовувати для забезпечення робочого циклу палива з різними характеристиками (у тому числі альтернативні) [20, 21].

Завданням досліджень було визначення впливу альтернативного палива на економічні та екологічні показники суднового дизеля.

Виклад основного матеріалу. Дослідження виконувалися на суднових середньообертових дизелях 6H17/28 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.

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.

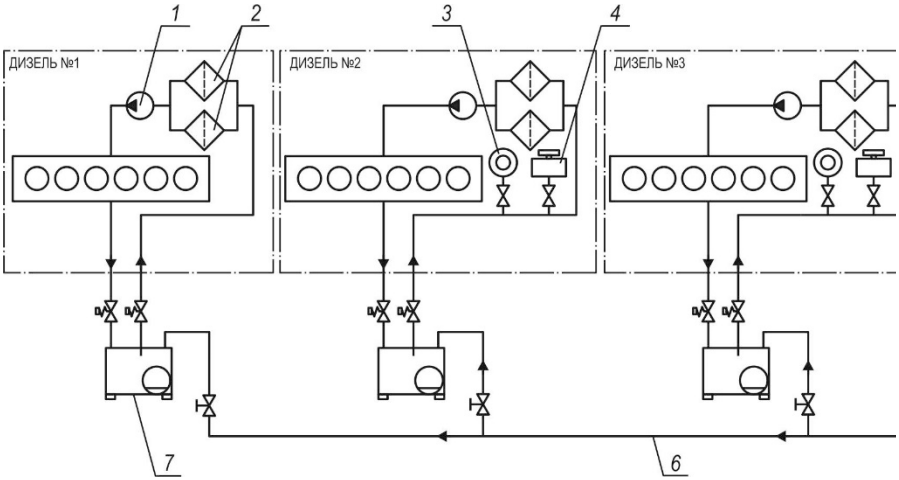


Рис. 1. Принципова схема паливної системи суднових дизелів 6H17/28 Hyundai Heavy Industries:

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

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 розглянутим у роботі, не повинні перевищувати значення

$$C_{NO_X} \le 44n^{-0,23}, \qquad (1)$$

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

Для суднового середньообертового дизеля 6H17/28 Hyundai Heavy Industries отримаємо:

$$C_{NO_X} \le 44 \cdot 900^{-0,23} = 9,2 \text{ г/(кВт} \cdot \text{год)}.$$

Вимірювання концентрації NO_X у випускних газах суднових дизелів виконувалося за допомогою газоаналізатора Testo350XL виробництва Німеччини, який дозволяє виконувати вимірювання в діапазоні температур -40 ... 1200°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 табл. 1.

Таблиця 1.Результати експерименту

Вид палива	Навантаження на дизель, %		
	25	50	75
	Концентрація NO_X у випускних газах, г/(кВт·год)		
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
	Питома ефективна витрата палива, г/(кВт·год)		
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 на всіх досліджуваних режимах і 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].

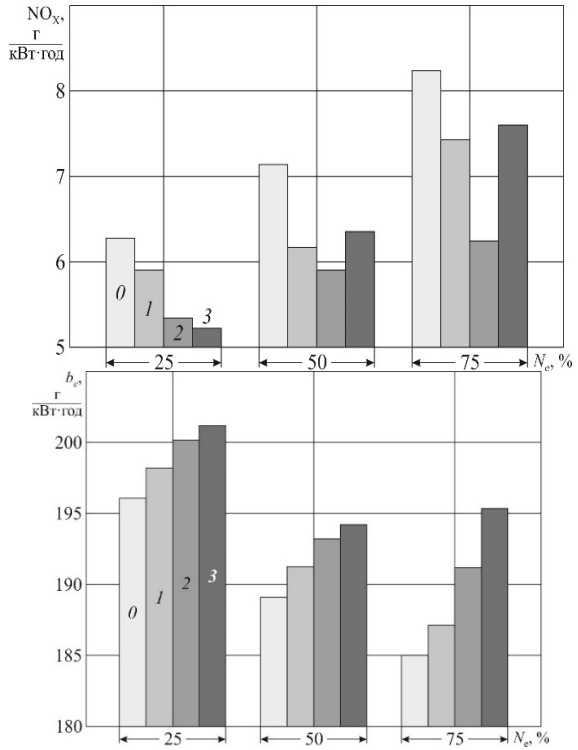
За результатами таблиці 1 побудовані діаграми, що відображають зміни емісії NO_X (рис. 2, *а*) і питомої ефективної витрати палива (рис. 2, *б*) для різних навантажень суднового дизеля 6H17/28 Hyundai Heavy Industries.

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].



а) *б*)

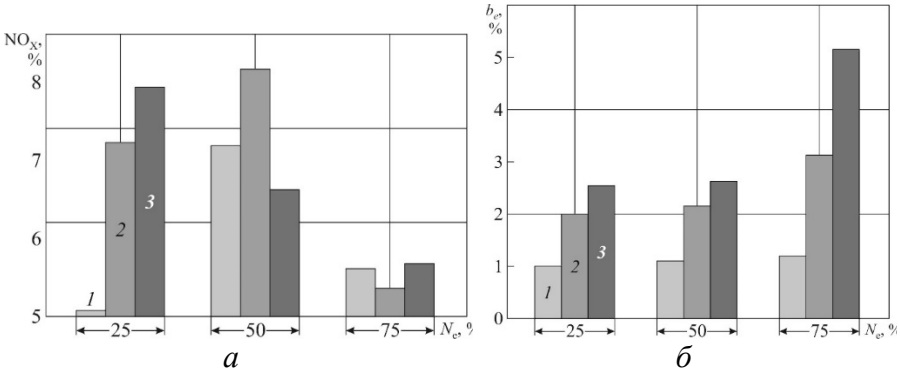
Рис. 2. Концентрації NO_X у випускних газах, г/(кВт·год), питома ефективна витрата палива, г/(кВт·год), для різних навантажень суднового дизеля 6H17/28 Hyundai Heavy Industries і різних видів палива:

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

Отримані значення узагальнені у вигляді таблиці 2, а також відображені на діаграмах, наведених на рис. 3.

Таблиця 2. Результати експерименту

Вид топлива	Навантаження на дизель, %		
	25	50	75
	Відносна зміна концентрації NO_X в випускних газах, %		
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
	Відносна зміна питомої ефективної витрати палива, %		
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



а *б*

Рис. 3. Відносна зміна концентрації оксидів азоту у випускних газах (*а*) і питомої ефективної витрати палива (*б*) для різних навантажень суднового дизеля 6Н17/28 Hyundai Heavy Industries і різних видів палива:

1 – DMA+5 % біодизельного палива; 2 – DMA+10 % біодизельного палива;

3 – DMA+15% біодизельного палива

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 біопаливо (метиловий ефір рослинного мастила). 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 6H17/28 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.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Sagin S.V., Solodovnikov V.G. Cavitation Treatment of High-Viscosity Marine Fuels for Medium-Speed Diesel Engines // Modern Applied Science. – 2015. – Vol. 9. – №. 5. – P. 269 - 278. DOI:10.5539/mas.v9n5p269.

2. Zablotsky Yu.V., Sagin S.V. Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of a Marine Diesel When using Fuel Additives // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 46. – P. 353 - 362. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i46/107516.

3. Sagin S.V. Improving the performance parameters of systems fluids // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences, Vienna-2018. – № 7-8 (July-August). – P. 55 - 59. doi.org/10.29013/AJT-18-7.8-55-59.

4. Kuropyatnyk O.A., Sagin S.V. Exhaust Gas Recirculation as a Major Technique Designed to Reduce NOx Emissions from Marine Diesel Engines // Naše more: International Journal of Maritime Science & Technology. – 2019. – Vol. 66. – Iss. 1. – P. 1 - 9. https://doi.org/10.17818/NM/2019/1.1.

5. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. The Use of Exhaust Gas Recirculation for Ensuring the Environmental Performance of Marine Diesel Engines // Naše more : International Journal of Maritime Science & Technology. – 2018. – Vol. 65. – № 2. – P. 78 - 86. doi.org/10.17818/NM/2018/2.3.

6. Kuropyatnyk O.A. The use of bypass exhaust gases to ensure the environmental performance of marine diesel engines // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 38. – С. 217 - 228.

7. Sagin S.V., Kuropyatnik A.A. Application of the system of recirculation of exhaust gases for the reduction of the concentration of nitric oxides in the exhaust gases of the ship diesels // American Scientific Journal. – 2017. – № 15. – Iss. 2. – P. 67 - 71.

8. Марков В.А., Девянин С.Н., Зыков С.А., Са Бовэнь. Вязкостные характеристики многокомпонентных смесевых биотоплив на основе растительных масел // Транспорт на альтернативном топливе. – 2016. – № 6. – С. 33 - 49.

9. Sagin S.V., Semenov O.V. Motor Oil Viscosity Stratification in Friction Units of Marine Diesel Motors // American Journal of Applied Sciences – 2016. – Vol.13. – Iss. 2. – P. 200 - 208. DOI: 10.3844/ajassp.2016.200.208.

10. Заблоцкий Ю.В., Солодовников В.Г. Снижение энергетических потерь в топливной аппаратуре судовых дизелей // Проблеми техніки: наук.-виробн. журнал. – 2013. – № 3. – Одесса: ОНМУ. – С. 46 - 56.

11. Zablotsky Yu.V., Sagin S.V. Maintaining Boundary and Hydrodynamic Lubrication Modes in Operating High-pressure Fuel Injection Pumps of Marine Diesel Engines // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9. – Iss. 20. – P. 208 - 216. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i20/94490.

12. Марков В.А., Нагорнов С.А., Романцова С.В., Неверова В.В., Са Бовэнь. Метиловый эфир рапсового масла как дизельное топливо // Транспорт на альтернативном топливе. – 2017. – № 6(60). – С. 17 - 30.

13. Мацкевич Д.В., Заблоцкий Ю.В. Определение смазочной способности дизельных топлив // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2011. – № 28. – Одесса: ОНМА. – С.145 - 153.

14. Sagin S.V., Semenov O.V. Marine Slow-Speed Diesel Engine Diagnosis with View to Cylinder Oil Specification // American Journal of Applied Sciences. – 2016. – Vol.13. – Iss. 5. – P. 618 - 627. DOI: 10.3844/ajassp.2016.618.627.

15. Звєрьков Д.О., Сагін С.В. Зниження механічних втрат у суднових дизелях // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 40. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 20 - 25. DOI : 10.31653/smf341.2020.20-25.

16. 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. – Вып. 25. – Одесса : ОНМА. – С.109 - 118.

17. Поповский А.Ю., Сагин С.В. Комплексная оценка эксплуатационных характеристик смазочных углеводородных жидкостей // Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сборник. – 2014. – Вып. 20. – С. 74 - 83.

18. Поповский Ю.М., Сагин С.В., Ханмамедов С.А., Гребенюк М.Н., Терегеря В.В. Влияние анизотропных жидкостей на работу узлов трения // Вестник машиностроения. – 1996. – № 6. – С. 7 - 11.

19. Сагин С.В. Определение диапазона стратификации вязкости смазочного материала в трибологических системах судовых дизелей // Вісник Одеськ. нац. мор. ун-ту. Зб. наук. праць. – 2019. – Вип. 1(58). – С. 89 -100.

20. Марченко О.О., Сагін С.В. Вдосконалення процесу очищення суднових важких палив // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вип. 41. – Одеса: НУ «ОМА». – 2020. – С. 10 - 14. DOI : 10.31653/smf341.2020.10-14.

21. Сагин С.В. Реология моторных масел при режимах пуска и реверса судовых малооборотных дизелей // Universum: Технические науки. – 2018. – Вып. 3(48). – С. 67 - 71.

22. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В. Определение триботехнических характеристик поверхностей по степени упорядоченности пристенных слоев углеводородных жидкостей // Проблеми техніки : наук.-виробн. журнал, 2011. – № 3. – Одесса : ОНМУ. – С. 78 - 88.

23. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В., Перунов Р.В. Технология использования и результаты испытаний присадок к топливам для судовых дизелей // Проблеми техніки: наук.-виробн. журнал. – 2012 . – № 3. – Одесса: ОНМУ. – С. 84 - 103.

24. Куропятник А.А., Сагин С.В. Управление выпускными газами судовых дизелей для обеспечения экологических показателей // Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сборник. – 2018. – Вып. 24. – С. 72 - 80.

25. Сагин С.В. Оптимизация расхода высокощелочного цилиндрового масла судовых малооборотных дизелей // Universum: Технические науки : электрон. научн. журн. – 2016. – № 7 (28) . URL: http://7universum.com/ru/tech/archive/item/3385.

26. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В. Влияние анизотропных жидкостей на работу узлов трения судовых дизелей // Проблеми техніки : наук.-виробн. журнал, 2012 . – № 4. – Одесса : ОНМУ. – С. 68 - 81.

27. Сагін С.В. Зниження енергетичних втрат в прецизійних парах паливної апаратури суднових дизелів // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 38. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 132 - 142.

28. 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. – Одесса : НУ «ОМА». – С. 79 - 89.

29. Побережний Р.В., Сагін С.В. Забезпечення екологічних показників дизелів суден річкового та морського транспорту // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вип. 41. – Одеса: НУ «ОМА». – 2020. – С. 5 - 9. DOI : 10.31653/smf340.2020.5-9.

30. Sagin S., Madey V., Stoliaryk T. Analysis of mechanical energy losses in marine diesels // Technology Audit and Production Reserves. – 2021. № 5 (2 (61)). P. 26 - 32. doi: http://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.239698.

31. Sagin A. S., Zablotskyi Yu. V. Reliability maintenance of fuel equipment on marine and inland navigation vessels // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7 - 8 (July – August). – P. 14 - 17. https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-14-17.

32. Будашко В.В., Онищенко О.А., Юшков Е.А. Физическое моделирование многофункционального пропульсивного комплекса // Зб. наук. праць Військової академії (м. Одеса): технічні науки. – 2014. – № 2. – С. 88 - 92.

33. Malakhov O., M Kolegaev., Malakhova D., Maslov I., Brazhnik I., Gudilko R. Improvement of working parameters of ships with the use of water-fuel emulsions // Technology audit and production reserves. – 2018. – № 6/3 (44). – P. 14 - 20.