

10.31653/smf47.2023.178-190

Сагін А.С.

Національний університет «Одеська морська академія»

## **КОРЕГУВАННЯ ПРОЦЕСУ ПОДАЧІ ПАЛИВА ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ В СУДНОВИХ ДИЗЕЛЯХ ПАЛИВ З РІЗНИМ ВМІСТОМ СІРКИ**

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Морський транспорт є ключовою складовою транспортної логістики, забезпечуючи вантажні потоки між країнами на різних континентах. Перевезення готової продукції, сировини, зерна, нафти та газу між Південною та Північною Америкою, Азією, Африкою та Європою неможливе без використання різних за вантажопідйомністю та призначенням морських суден. Сучасні морські судна обладнані двигунами внутрішнього згоряння, які є найпоширенішими тепловими двигунами та головним елементом енергетичних установок суден [1, 2].

Експлуатація двигунів внутрішнього згоряння суден морського та внутрішнього водного транспорту вимагає не лише забезпечення необхідної потужності та виконання вимог виробників, але й дотримання екологічних стандартів їх роботи. Основними екологічними показниками роботи суднових дизелів є концентрація оксидів сірки  $SO_x$  та оксидів азоту  $NO_x$  у випускних газах. Їх значення визначаються відповідно до вимог Додатку VI Міжнародної конвенції MARPOL. Граничні значення викидів  $NO_x$  (які відповідають рівням Tier I, II або III) залежать від року побудови дизеля та його номінальної частоти обертання. Граничні значення викидів  $SO_x$  визначаються лише вмістом сірки в паливі [3-5].

З 01.02.2020 р. на суднах морського та внутрішнього водного транспорту заборонено використання морських видів палива з вмістом сірки понад 0,5 % за масою. Також визначено спеціальні екологічні зони з обмеженням викидів оксидів сірки (Sulfur Emission Control Areas – SECAs). У цих зонах дозволяється використання палива з вмістом сірки не більше 0,1 % за масою. Під час роботи суден у цих зонах або під час їх перетинання, суднові дизелі переводяться на експлуатацію саме на такі види палива. Цей перехід здійснюється поступово з урахуванням об'єму палива у витратній цистерні баку, вмісту сірки в паливі та експлуатаційної потужності дизеля [6-8].

Одна з головних труднощів, що виникає під час переведення дизелів на роботу з використанням палива з низьким вмістом сірки, полягає в наступному. Зменшення вмісту сірки в паливі призводить до зниження його густини, в'язкості, температури самозаймання та збільшення теплотворної здатності палива (через пропорційне збільшення вмісту водню та вуглецю в паливі) [9, 10]. За однакових умов процесу впорскування, палива, які мають меншу температуру самозаймання та більшу теплотворну здатність, характеризуються вищою температурою в кінці згорання  $T_z$ . Це обумовлюється зменшенням кута затримки самозаймання, збільшенням кута початку горіння та більшою ефективністю процесу згорання у районі верхньої мертвої точки [11, 12]. За умови раннього самозаймання палива, підвищується кількість палива, яке згоряє до верхньої мертвої точки. Це призводить до збільшення швидкості згорання палива та ступеня підвищення тиску під час згорання:

$$\lambda = p_z / p_c ,$$

де  $p_z, p_c$  – максимальний тиск згорання та тиск наприкінці стиснення, МПа.

Це явище найбільш негативно впливає на двотактні дизелі, які характеризуються збільшеною масою деталей механізму кривошипно-шатунного. У зв'язку з цим різко збільшуються ударні навантаження на крейцкопфні та мотильові підшипники. Визначення  $T_z$  шляхом вимірювань неможливе через динаміку зміни температури в циліндрі дизеля, тому для оцінки її значень використовують розрахункові моделі [13, 14]. Результати моделювання для дизелів фірми MAN-Diesel&Turbo з однаковим діаметром циліндра  $D$ , але різним ходом поршня  $S$ , наведені в таблиці 1.

Підвищення температури в кінці згорання під час зміни палива призводить до кумулятивних ефектів, збільшуючи термічні навантаження на газові системи дизеля та збільшуючи емісію оксидів азоту. Виконання вимог Annex VI міжнародної конвенції MARPOL та перехід на низькосірчисте паливо в суднових дизелях підвищує ризики аварій, таких як збільшення динамічних навантажень, температурної напруги та емісії оксидів азоту [15-17].

Пропоновані різні методи розв'язання цих проблем, такі як використання стиснутого повітря для зниження динамічних навантажень, додатковий впорскування води для зменшення температурної напруги, використання різних технічних засобів для зменшення емісії ок-

сидів азоту. Проте ці методи знижують потужність дизеля та швидкість судна та вимагають значних фінансових та технічних витрат [18-20].

Таблиця 1. Результати моделювання

Дизель та його характеристики	Характеристики палива		Температура наприкінці згоряння, К
	вміст сірки, %	теплотворна здатність, кДж/кг	
K80ME $D=0,8$ м, $S=2,3$ м	0,48...0,50	41580	1869
	0,4...0,45	41864	1878
	0,05...0,09	42180	1896
L80ME $D=0,8$ м, $S=2,592$ м	0,48...0,50	41596	1825
	0,4...0,45	41899	1839
	0,05...0,09	42241	1858
S80ME $D=0,8$ м, $S=3,056$ м	0,48...0,50	41695	1815
	0,4...0,45	41888	1836
	0,05...0,09	42240	1851
G80ME $D=0,8$ м, $S=3,72$ м	0,48...0,50	41595	1758
	0,4...0,45	41918	1762
	0,05...0,09	42260	1788

В зв'язку з викладеним, метою дослідження було розробка методу керування ризиками аварійних ситуацій під час використання низькосірчастого палива в судових дизелях, забезпечуючи відповідні енергетичні та екологічні показники роботи.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Об'єктом дослідження є процес експлуатації судових дизелів з використанням палива, вміст сірки в якому не перевищує 0,1 %. Дослідження проводилося на спеціалізованому морському судні для перевезення контейнерів. Як головний двигун на судні був встановлений судовий дизель 8K80ME-8.2-ТII MAN-Diesel & Turbo з наступними основними характеристиками:

- діаметр циліндра – 0,8 м;
- хід поршня – 2,3 м;
- частота обертання вала – 104 об/хв;
- кількість циліндрів – 8;
- номінальна потужність – 35600 кВт.

Контроль параметрів роботи дизеля здійснювався за допомогою системи діагностики Doctor, що дозволяє визначати значення з точністю  $\pm 0,5$  %. Викиди оксидів азоту з випускними газами визначалися за допомогою газоаналізатора від фірми Testo, при цьому похибка

вимірювань не перевищувала 0,5 %. Експлуатація дизеля поза зонами SECA виконувалася на паливі RMG380 з вмістом сери 0,48 %, а також на паливі RME180; в SECA – на паливі DMA з вмістом сери 0,055%. Основні характеристики палив, що використовувались під час експлуатації дизеля, наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Основні характеристики суднових палив

Характеристика	RMG380	RME180	DMA
Вміст вуглецю, %	82,7	83,3	83,8
Вміст водню, %	10,6	10,7	11,1
Вміст сірки, %	0,48	0,42	0,055
Густина за 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	989	961	855
В'язкість за 50 °С, мм <sup>2</sup> /с	380	380	12
Температура спалаху, °С	83	76	66
Температура самозаймання, °С	201	195	106
Теплотворна здатність, кДж/кг	41160	42010	42340

Досліджувалась робота дизеля 8K80ME-8.2-ТП MAN-Diesel & Turbo на різних видів палива, оцінюючи тиск згорання  $p_z$ , температуру випускних газів  $t_g$ , концентрацію оксидів азоту  $NO_x$  та ступінь підвищення тиску під час згорання  $\lambda$ . Результати дослідження надані на рис. 1.

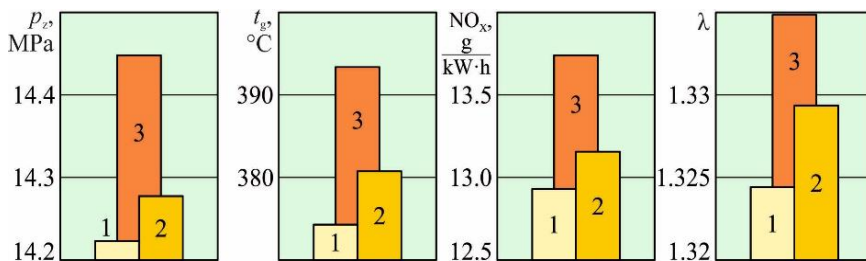


Рис. 1. Зміна показників роботи суднового дизеля 8K80ME-8.2-ТП MAN-Diesel & Turbo під час експлуатації на різних видах палива: 1 – RMG380; 2 – RME180; 3 – DMA

Проведені дослідження підтверджують тезис, що перехід суднових дизелів на паливо з меншим вмістом сірки призводить до збільшення навантажень і погіршення екологічних показників. Для управління цим вибрано регулювання фаз подачі палива зі зміною кута випередження впорскування палива [21, 22]. Оптимальні значення визначаються на стенді під час випробувань для номінального режиму роботи та основного палива. Технологія досліджень включала

переналаштування системи подачі палива для дизеля в SECA, зміну кутів випередження для окремих циліндрів. Контроль проводився для різних параметрів роботи.

Для циліндрів №№ 1 та 8 значення кутів випередження подачі палива (на яких відбувалася експлуатація дизеля при використанні палива RMG380) залишилося незмінним і становило  $-4^\circ$  кута обертання колінчастого валу (crankshaft rotation angle – CRA).

Для циліндрів №№ 2, 3, 4, 5, 6, 7 встановлювались нові кути випередження подачі палива:  $-3, -2, -1, -1, -2, -3^\circ$  CRA відповідно. Встановлення однакових кутів випередження подачі палива в двох циліндрах (в першому і восьмому, другому і сьомому, третьому і шостому, четвертому і п'ятому) збільшувало масив отриманих результатів, підвищувало точність вимірювань і давало можливість виконати коригуючі дії в разі їх розходження.

Під час дослідження для кожного з циліндрів контролювались максимальний тиск горіння  $p_z$ , тиск в кінці стиску  $p_c$ , середній індикаторний тиск  $p_i$  та температура випускних газів  $t_g$ . Для кожного з наведених параметрів розраховувалося середнє значення. Результати експериментів наведені в таблиці 3.

Для кращої візуалізації значень (давлення згоряння, тиску стискування, індикаторного тиску та температури випускних газів) побудовано номограми змін роботи дизеля за різних умов налаштування паливної апаратури (рис. 2).

Важливо відзначити, що під час проведення експериментів значення контрольованих параметрів не перевищували встановлені, а концентрація  $\text{NO}_x$  у випускних газах залишалась нижчою від максимально допустимого рівня для дизелів Tier II за Annex VI MARPOL, що становить  $14,4 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{год})$  [7, 17, 23].

Наведені результати вказують на можливість управління ризиком аварій, пов'язаних з використанням палив із зниженим вмістом сірки, змінюючи кути випередження подачі палива [24-26].

Запас екологічної, температурної та динамічної стійкості судових дизелів під їхнього переведення на паливо з пониженим вмістом сірки визначається наступними параметрами:

запас екологічної стійкості

$$\Delta\text{NO}_x = \frac{\text{NO}_x^{\text{Tier}} - \text{NO}_x^i}{\text{NO}_x^{\text{Tier}}} \cdot 100\%;$$

Таблиця 3. Результати експерименту

Параметр	Номер циліндра								Середнє значення
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Тиск згорання, $p_z$ , МПа	14,45	14,38	14,23	14,05	14,03	14,21	14,36	14,47	14,27
Відхилення від середнього значення, $\Delta p_z$ , %	1,23	0,75	0,29	1,58	1,73	0,44	0,61	1,36	—
Тиск стиснення, $p_{cs}$ , МПа	10,82	10,78	10,77	10,78	10,76	10,82	10,8	10,82	10,79
Відхилення від середнього значення, $\Delta p_{cs}$ , %	0,29	0,07	0,17	0,08	0,26	0,29	0,11	0,29	—
Середній індикаторний тиск, $p_i$ , МПа	1,995	1,987	2,012	2,02	1,996	1,985	2,014	2,018	2,00
Відхилення від середнього значення, $\Delta p_i$ , %	0,42	0,82	0,43	0,82	0,37	0,93	0,53	0,72	—
Температура випускних газів, $t_{eg}$ , °С	394	388	382	378	375	385	390	394	386
Відхилення від середнього значення, $\Delta t_{eg}$ , °С	8	2	4	8	11	1	4	8	—
Ступінь підвищення тиску під час згорання, $\lambda$	1,335	1,334	1,321	1,303	1,304	1,313	1,329	1,337	—
Емісія оксидів азоту з випускними газами, $NO_x$ , г/(кВт·год)	13,75	13,62	13,21	12,82	12,85	13,12	13,51	13,88	—

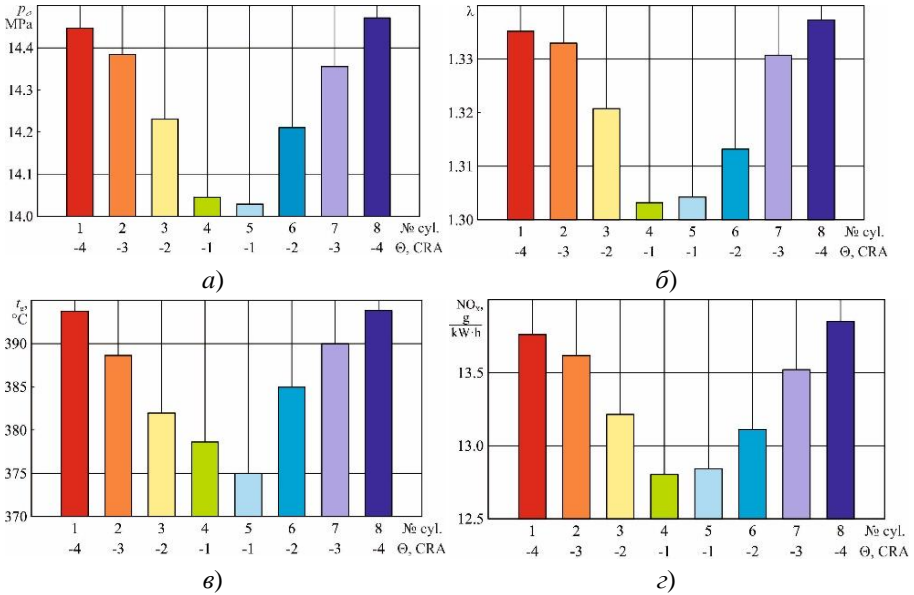


Рис. 2. Зміна показників роботи суднового двигуна 8К80МС-8.2-ТІІ за різних кутів випередження подачі палива θ:

*a* – тиск при горінні; *б* – температура випускних газів; *в* – ступінь підвищення тиску під час згоряння; *з* – концентрація оксидів азоту в випускних газах

запас теплової стійкості

$$\Delta t_g = \frac{t_g^{\max} - t_g^i}{t_g^{\max}} \cdot 100\%;$$

запас динамічної стійкості

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda^{\max} - \lambda^i}{\lambda^{\max}} \cdot 100\%;$$

де  $NO_X^{Tier}$  – максимальне значення викидів оксидів азоту відповідно до Додатку VI MARPOL;

$t_g^{\max}$ ,  $\lambda^{\max}$  – максимальні значення температури випускних газів та ступеня підвищення тиску під час згоряння, одержані на протязі експерименту;

$NO_X^i$ ,  $t_g^i$ ,  $\lambda^i$  – відповідно, значення концентрації оксидів в випускних газах, температури випускних газів і ступеня підвищення тиску

під час згоряння в різних циліндрах дизеля, отримані під час експерименту [27, 28].

Отримані таким чином значення представлені в таблиці 4.

Таблиця 4. Визначення запасу стійкості дизеля

Показник	Кут повороту колінчатого валу / Crankshaft rotation angle							
	-4	-3	-2	-1	-1	-2	-3	-4
Екологічна стійкість, %	4,51	5,42	8,26	10,97	10,76	8,89	6,18	3,61
Температурна стійкість, %	0,14	0,257	1,20	2,54	2,50	1,79	0,58	0
Динамічна стійкість, %	0	1,52	3,05	4,06	4,82	2,28	1,028	0

Для кращої візуалізації отримані результати подано у вигляді номограм на рис. 3

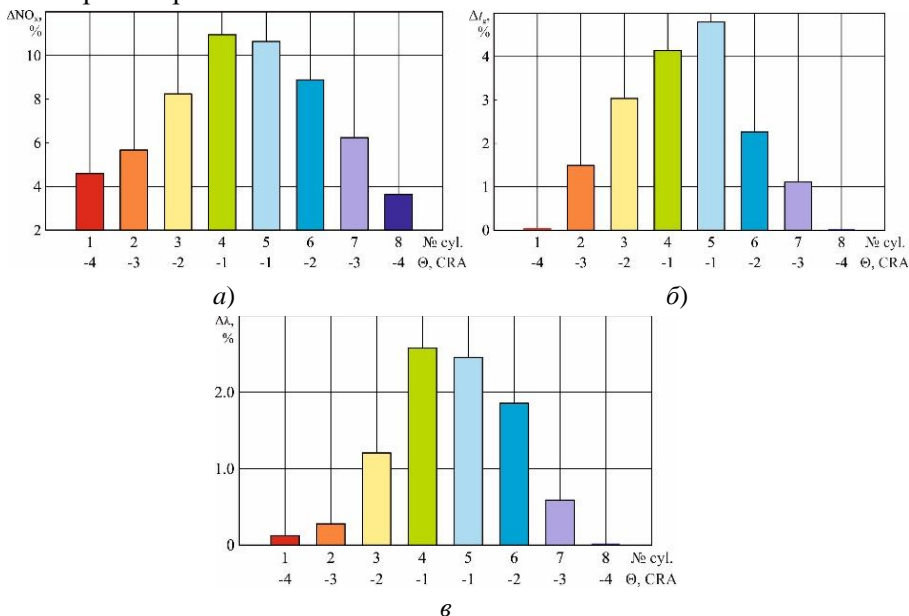


Рис. 3. Екологічна (а), тепла (б), динамічна (в) стійкість роботи суднового дизеля 8K80MC-8.2-ТІІ за різних кутів випередження подачі палива θ

Проведення всіх експериментів було погоджено з технічним відділом судноплавної компанії, яка здійснює менеджмент судна та його енергетичної установки [29, 30].



Під час проведення експериментів контролювались та підтримувалися в рекомендованих діапазонах усі параметри роботи суднового дизеля 8K80MC-8.2-ТII MAN-Diesel & Turbo.

### **Висновки та перспективи подальших досліджень**

1. Перехід суден на паливо з низьким вмістом сірки, що не обхідно під час його експлуатації екологічних зонах SECAs, підвищує інтенсивність згорання, навантаження на дизель та негативно впливає на екологічні показники, збільшуючи ризик аварій.

2. Використання перерегулювання паливної апаратури дизеля, зокрема зміни кутів подачі палива, може бути методом управління ризиками під час використання палива з низьким вмістом сірки.

3. Експерименти, що були виконані на дизелі 8K80MC-8.2-ТII MAN-Diesel & Turbo під час його переведення з палива RMG380 на паливо DMA підтвердили, що при цьому відбувається зниження тиску згорання, температури випускних газів, а також підвищується екологічна стійкість дизеля, що виявляється в зменшенні викидів оксидів азоту.

4. Практичне значення результатів проведених досліджень полягає у можливості їх використання як у двох, так і чотиритактних дизелях, які мають електронну систему управління упорскуванням палива.

Використання розробленого методу особливо актуально при знаходженні суден у особливих екологічних районах, кількість і межі яких постійно збільшуються та розширюються.

### **Перелік використаних джерел**

1. Голиков В.А., Онищенко О.А. Развитие современной теории и практики технической эксплуатации морского и речного флота: концепции, методы, технологии // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2017. – Вип. 37. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 13-27.

2. Sagin S., Madey V., Sagin A. Stoliaryk T., Fomin O., Kučera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels // Journal Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10. – Iss. 10. – P. 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.

3. 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 and

Technology. – 2019. – Vol. 66. – Iss. 1. – P. 1-9.  
<https://doi.org/10.17818/NM/2019/1.1>.

4. 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.

5. 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.

6. Мельник О.М., Онищенко О.А., Парменова Д.Г. Методика організації самооцінки ефективності системи управління безпекою судноплавної компанії // Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – 2023. – Вип. 1(37). – С. 154-160. [doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.17](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.17).

7. Побережний Р.В., Сагин С.В. Забезпечення екологічних показників дизелів суден річкового та морського транспорту // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 41. – Одеса: НУ «ОМА». – С. 5-9. DOI : 10.31653/smf340.2020.5-9.

8. Руснак Д.Ю., Сагин С.В. Забезпечення екологічних вимог при ультразвуковій десульфурізації вуглеводних палив // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 40. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 49-54. DOI : 10.31653/smf340.2020.49-54.

9. Сагин С.В. Повышение надежности работы прецизионных пар топливной аппаратуры судовых дизелей за счет использования органических покрытий // Вісник Одеськ. нац. мор. ун-ту, 2018. – Вип. 4(57). – С. 109-120.

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

11. Ратайчук О.В., Сагин С.В. Підвищення ефективності процесу наддува судових дизелів // Суднові енергетичні установки: наук. - техн. зб. – 2020. – Вип. 41. – Одеса: НУ «ОМА». – С. 15-19. DOI : 10.31653/smf341.2020.15-19.

12. Сагин С.В. Зниження енергетичних втрат в прецизійних парах паливної апаратури судових дизелів // Суднові енергетичні

установки : наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 38. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 132-142.

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

14. Сагин С.В., Мацкевич Д.В. Оптические характеристики граничных смазочных слоев масел, применяемых в циркуляционных системах судовых дизелей // Судовые энергетические установки : науч.-техн. сб. – 2011. – № 26. – Одесса : ОНМА. – С.116-125.

15. 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.

16. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Pištěk V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drills during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe // Journal Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10(9). – P. 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331>.

17. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A., Zablotskyi Yu.V. Gaičenja O.V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // Nase More : International Journal of Maritime Science and Technology. – 2022.– Vol. 69(1). – P. 53-61. DOI 10.17818/NM/2022/1.7.

18. Сагин А.С., Заблоцкий Ю.В. Регенерація змащувальних властивостей моторних палив і мастил під час експлуатації судових дизелів // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 17-30. doi: 10.31653/smf45.2022.17-30.

19. Sagin S.V. Determination of the optimal recovery time of the rheological characteristics of marine diesel engine lubricating oils // Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments” (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4). – P. 195-202. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52991.

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

21. Заблоцкий Ю.В., Сагин А.С. Визначення динамічних навантажень під час зміни режимів мащення прецизійних пар паливної апаратури судових дизелів // Суднові енергетичні установки : нау-

ково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 44. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 121-131. doi: 10.31653/smf44.2022.121-131.

22. 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. – Одесса : ОНМА. – С.109-118.

23. 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>.

24. Сагін С.В. Зниження механічних втрат у суднових середньо-оборотних дизелях за рахунок оптимізації роботи циркуляційних систем мащення // Вісник Одеського національного морського університету : Зб. наук. праць, 2020. – Вип. 1(61). – С. 87-96. doi.org 10.47049/2226-1893-2020-1-87-96.

25. Madey V.V. Usage of biodiesel in marine diesel engines // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7-8. – P. 18-21. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-18-21>.

26. Sagin S.V., Stoliaryk T.O. Comparative assessment of marine diesel engine oils // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7-8. – P. 29-35. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-29-35>.

27. Сагін С.В., Побережний Р.В. Аналіз основних способів зниження емісії оксидів азоту дизелів суден морського та внутрішнього водного транспорту // Суднові енергетичні установки : наук. -техн. зб. – 2022. – Вип. 44. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 132-141. doi: 10.31653/smf44.2022.132-141.

28. Мадей В.В. Використання в суднових дизелях паливних сумішей до складу яких входить паливо біологічного походження // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 44. – Одеса: НУ «ОМА». – С. 93-110. doi: 10.31653/smf44.2022. 93-110.

29. Sagin S.V. Determination of the optimal recovery time of the rheological characteristics of marine diesel engine lubricating oils // Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments” (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4). – P. 195-202. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52991.

30. 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>.