

DOI: 10.31653/smf52.2026.61-76

дата першого надходження: 11.01.26  
дата прийняття статті до друку після  
рецензування: 21.02.26  
дата публікації: 05.05.26Сагін А.С.<sup>1</sup>, Заблоцький Ю.В.<sup>2</sup><sup>1</sup>ORCID: 0009-0000-4965-6121, <sup>2</sup>ORCID: 0000-0002-6207-8802

Національний університет «Одеська морська академія»

**ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ  
ВИСОКОГО ТИСКУ ПІД ЧАС ПЕРЕВЕДЕННЯ СУДНОВИХ  
ДИЗЕЛІВ НА ПАЛИВО З НИЗЬКИМ ВМІСТОМ СІРКИ**

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Морський транспорт є основною складовою транспортної логістики, що забезпечує вантажопотоки між країнами, розташованими на різних континентах [1-3]. Перевезення готової продукції, сировини, зерна, нафти та газу між Південною і Північною Америкою, Азією, Африкою та Європою неможливе без використання морських суден різного дедвейту та призначення [4-6]. Рух сучасних морських суден забезпечується двигунами внутрішнього згорання, які є найпоширенішими тепловими двигунами та основним елементом суднових енергетичних установок [7-9].

Експлуатація суднових двигунів внутрішнього згорання суден морського і внутрішнього водного транспорту здійснюється не лише з підтриманням необхідної потужності та забезпеченням вимог фірм-виробників, а й із дотриманням екологічних показників їх роботи [10-12]. Основними екологічними показниками роботи суднових дизелів є концентрації оксидів сірки  $SO_x$  та оксидів азоту  $NO_x$  у випускних газах [13-15]. Їх значення визначаються відповідно до вимог Додатка VI Міжнародної конвенції MARPOL. При цьому граничні значення емісії  $NO_x$  (що відповідають рівням Tier I, II або III) залежать від року побудови дизеля та його номінальної частоти обертання. Граничні значення емісії  $SO_x$  визначаються виключно вмістом сірки в паливі [16-18].

З 01.02.2020 на судах морського та внутрішнього водного транспорту заборонено використання морських сортів палива із вмістом сірки понад 0,5 % за масою [19-22]. Також визначено спеціальні екологічні райони контролю викидів оксидів сірки (Sulfur Emission Control Areas — SECAs). У цих районах дозволяється вико-

ристовувати паливо з вмістом сірки не більше 0,1 % за масою. Під час роботи суден у цих районах або при їх перетині суднові дизелі переводяться на експлуатацію саме на таких сортах палива. Такий перехід виконується поступово з урахуванням об'єму палива у витратній цистерні, вмісту сірки в паливі та експлуатаційної потужності дизеля. Тривалість експлуатації дизеля на паливі з низьким вмістом сірки залежить від швидкісних характеристик судна, гідрометеорологічних умов переходу, часу перебування в зоні SECAs і коливається від кількох годин (при перебуванні судна в екологічних районах Північної Європи) до кількох діб (при русі вздовж узбережжя Північної Америки).

Однією з головних труднощів, що виникає під час переведення дизелів на роботу з використанням палива з низьким вмістом сірки, є таке. Зменшення вмісту сірки в паливі призводить до зниження його густини, в'язкості, температури самозаймання та підвищення теплотворної здатності палива (внаслідок пропорційного збільшення вмісту водню та вуглецю в паливі) [23, 24]. За однакових умов процесу впорскування палива, палива, що мають нижчу температуру самозаймання та вищу теплотворну здатність, характеризуються вищою температурою наприкінці згоряння  $T_z$ . Це пов'язано зі зменшенням кута затримки самозаймання, збільшенням кута початку горіння та вищою ефективністю процесу згоряння в районі верхньої мертвої точки [25, 26]. За умови більш раннього самозаймання палива збільшується кількість палива, що згорає до верхньої мертвої точки. Це призводить до підвищення швидкості згоряння палива та ступеня наростання тиску під час згоряння:

$$\lambda = p_z / p_c,$$

де  $p_z, p_c$  – максимальний тиск згоряння та тиск наприкінці стискання, МПа.

Дане явище є найбільш негативним для двотактних дизелів, які характеризуються підвищеною масою деталей кривошипно-шатунного механізму. У зв'язку з цим різко зростають ударні навантаження на крейцкопфні та мотильові підшипники [27, 28]. Визначення  $T_z$  шляхом вимірювання є неможливим через динамічність зміни температури в циліндрі дизеля, тому для оцінювання її значень використовують розрахункові моделі [29, 30]. Результати моделювання для співрозмірних за діаметром циліндра  $D$ , але різних за ходу поршня  $S$  дизелів фірми MAN Energy Solutions наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Результати моделювання

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

Незначне на перший погляд підвищення температури в кінці згоряння  $T_z$  при переході з одного сорту палива на інший призводить до накопичувального ефекту через інерційність теплових процесів. При цьому зростають термічні навантаження на газовипускную систему дизеля. До «прихованих» негативних наслідків підвищення температури  $T_z$  також належить збільшення емісії оксидів азоту  $NO_x$ , які утворюються відповідно до високотемпературного механізму Зельдовича.

Таким чином, забезпечення вимог Додатка VI MARPOL та переведення суднових дизелів на роботу на паливі з низьким вмістом сірки (що в обов'язковому порядку здійснюється під час перебування морських суден у районах SECAs) підвищує ризики виникнення таких аварійних ситуацій:

- підвищення динамічних навантажень у кривошипно-шатунному механізмі;
- зростання температурної напруженості;
- збільшення емісії оксидів азоту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розв'язання зазначених проблем пропонувалося різними способами. З метою зниження динамічних навантажень застосовується подача стисненого повітря в підпоршневий простір дизеля, а також зменшення циклової подачі палива і відповідне зниження частоти обертання дизеля [31-35]. Од-

нак ці способи знижують потужність дизеля та швидкість судна [36-39].

Для зниження температурної напруженості застосовується додаткове впорскування води в циліндр і газовипускную систему дизеля. За допомогою цих способів вдається знизити температуру випускних газів на 20...50 °С, однак при цьому підвищується ймовірність виникнення сірчистої корозії циліндрових втулок, поршнів і випускних клапанів [40-43].

Для зниження емісії оксидів азоту застосовуються різні способи, зокрема рециркуляція випускних газів, встановлення скрубєрів, фільтрів і каталітичних нейтралізаторів [44-46]. Ці способи забезпечують зниження концентрації оксидів азоту у випускних газах на 30...90 %, однак потребують суттєвих фінансових вкладень і технічного обслуговування додаткового обладнання [47-51]. Крім того, їх застосування обмежується у разі погіршення навігаційної обстановки морського переходу [52-54].

**Постановка завдання.** З врахуванням вищевикладеного, метою дослідження було розроблення методу керування факторами ризику виникнення аварійних ситуацій (зокрема різкого підвищення динамічних навантажень та збільшення емісії оксидів азоту) при використанні в судових дизелях палива з низьким вмістом сірки. При цьому мають підтримуватися в рекомендованих межах усі енергетичні та екологічні показники роботи дизеля.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Об'єктом дослідження є процес експлуатації судових дизелів із використанням палива, вміст сірки в якому не перевищує 0,1 %.

Дослідження виконувалися на спеціалізованому морському судні, призначеному для перевезення контейнерів. Як головний двигун на судні був встановлений судовий дизель MAN Energy Solutions 8K80ME-8.2-ГП з такими 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.

Експлуатація дизеля поза межами SECA здійснювалася на паливі RMG380 із вмістом сірки 0,48 %, а також на паливі RME180; у районах SECA — на паливі DMA із вмістом сірки 0,055 %. Основні характеристики палив наведено в табл. 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
Район можливого використання	лише поза SECAs		будь-які райони, зокрема SECAs

Контроль параметрів роботи дизеля здійснювався за допомогою системи діагностики Doctor, яка дозволяє визначати величини з точністю  $\pm 0,5$  %.

Емісія оксидів азоту з випускними газами визначалася за допомогою газоаналізатора фірми Testo, при цьому похибка під час виконання вимірювань не перевищувала 0,5 %.

Як показники, що оцінювалися під час роботи дизеля MAN Energy Solutions 8K80ME-8.2-TH на різних сортах палива, приймалися тиск згоряння  $p_z$ , температура випускних газів  $t_g$ , концентрація оксидів азоту у випускних газах  $\text{NO}_x$ , а також ступінь підвищення тиску під час згоряння  $\lambda$ . Результати досліджень наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Результати дослідження

Марка палива	Максимальний тиск згоряння $p_z$ , МПа	Температура випускних газів $t_g$ , °С	Концентрація оксидів азоту у випускних газах $\text{NO}_x$ , г/(кВт·h)	Ступінь підвищення тиску під час згоряння $\lambda$
RMG380	14,22	374	12,9	1,324
RME180	14,28	381	13,3	1,329
DMA	14,45	394	13,75	1,335

Результати проведених досліджень підтверджують раніше висловлений тезис про те, що переведення суднових дизелів на роботу на паливі з низьким вмістом сірки (з палива RMG380 на паливо RME180 та на паливо DMA) сприяє збільшенню динамічних і тепло-

вих навантажень, а також погіршує екологічні показники роботи дизеля. Усе це підвищує ризик виникнення аварійних ситуацій при переведенні судових дизелів на експлуатацію на паливі зі знизеним вмістом сірки.

Як метод, за допомогою якого можливо керувати даними процесами, було обрано перерегулювання фаз подачі палива, а саме — зміну кута випередження подачі палива в циліндри дизеля. Оптимальні значення цих кутів (за яких процес згоряння відбувається з максимальним тепловиділенням у момент знаходження поршня у верхній мертвій точці) визначаються під час проведення стендових випробувань дизеля. При цьому випробування проводяться для номінального режиму роботи дизеля та на паливі, марка якого передбачається як основна при експлуатації дизеля. Таким чином, не враховується ймовірність роботи дизеля на паливах зі знизеним вмістом сірки, а також на режимах, відмінних від номінального. У зв'язку з цим не існує рекомендацій щодо оптимальних кутів подачі палива для різних режимів роботи дизеля, а також у разі використання різних сортів палива. Визначення цих кутів можливе лише безпосередньо під час роботи дизеля, при цьому мають дотримуватися всі вимоги та рекомендації щодо його експлуатації.

У зв'язку з викладеним, подальша технологія експериментальних досліджень полягала в такому.

Після підготовки паливної системи дизеля MAN Energy Solutions 8K80ME-8.2-ТІІ до експлуатації в SECA (а саме повного витрачання палива RMG380 з вмістом сірки 0,48 % та заповнення витратних цистерн паливом DMA з вмістом сірки 0,055 %) було виконано переналаштування системи подачі палива в циліндри дизеля.

Для циліндрів №№ 1 і 8 значення кутів випередження подачі палива (за якими виконувалась експлуатація дизеля при використанні палива RMG380) залишилось незмінним і становило  $-4^{\circ}$  пкв (повороту колінчастого вала).

Для циліндрів №№ 2, 3, 4, 5, 6, 7 встановлювалися нові кути випередження подачі палива  $\theta$ :  $-3^{\circ}$ ,  $-2^{\circ}$ ,  $-1^{\circ}$ ,  $-1^{\circ}$ ,  $-2^{\circ}$ ,  $-3^{\circ}$  пкв (CRA — crankshaft rotation angle) відповідно. Встановлення однакових кутів випередження подачі палива у двох циліндрах (першому і восьмому, другому і сьомому, третьому і шостому, четвертому і п'ятому) збільшувало масив отриманих результатів, підвищувало точність вимірювань і давало можливість виконати коригувальні дії у разі їх розбіжності.

У ході дослідження для кожного з циліндрів контролювалися максимальний тиск згоряння  $p_z$ , тиск у кінці стискання  $p_c$ , середній індикаторний тиск  $p_i$  та температура випускних газів  $t_g$ . Для кожного з наведених параметрів розраховувалися середні значення.

Крім того, визначалося значення ступеня підвищення тиску під час згоряння  $\lambda$  та здійснювався контроль емісії оксидів азоту у випускних газах  $\text{NO}_x$ . Фіксація показників роботи дизеля здійснювалася для навантаження  $0,85N_{\text{енom}}$  (де  $N_{\text{енom}}=35600$  кВт – номінальна потужність). Результати наведено в табл. 3.

Для кращої візуалізації отриманих значень на основі даних (табл. 3) були побудовані номограми (рис. 2), які відображають зміни показників роботи дизеля за різних умов налаштування паливної апаратури.

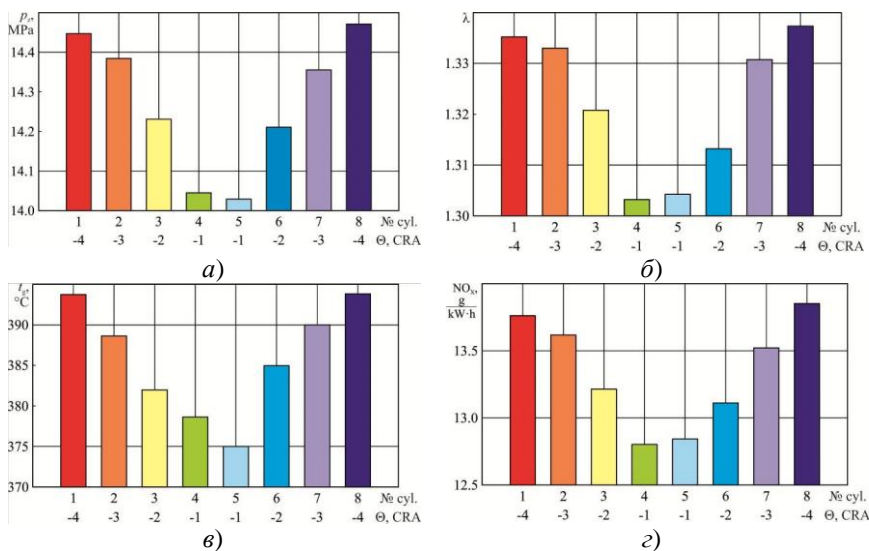


Рис. 2. Зміна показників роботи суднового дизеля 8K80MC-8.2-ТІІ за різних кутів випередження подачі палива  $\theta$ :  
 а – максимальний тиск згоряння; б – ступінь підвищення тиску під час згоряння; в – температура випускних газів; г – концентрація оксидів азоту в випускних газах

Таблиця 3. Результати експерименту

Параметр	Номер циліндра								Середнє значення
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Тиск згоряння, $P_z$ , 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, $t_{g_1}$ , °С	394	388	382	378	375	385	390	394	386
Відхилення від середнього значення, $\Delta t_{g_1}$ , °С	8	2	4	8	11	1	4	8	–
Ступінь підвищення тиску під час згоряння $\lambda$	1,335	1,334	1,321	1,303	1,304	1,313	1,329	1,337	–
Емісія оксидів азоту з випускними газами, $NO_x$ , g/(kW·h)	13,75	13,62	13,21	12,82	12,85	13,12	13,51	13,88	–

Відзначимо також, що під час проведення експериментів відхилення контрольованих параметрів (тиску згоряння  $p_z$ , тиску стискання  $p_c$ , середнього індикаторного тиску  $p_i$ , температури випускних газів  $t_g$ ) не перевищувало значень, регламентованих правилами експлуатації. Значення концентрації  $\text{NO}_x$  у випускних газах на всіх режимах роботи не перевищувало максимально допустимого рівня, який для дизелів, що належать до рівня Tier II відповідно до вимог Додатка VI MARPOL, становить 14,4 г/(кВт·год).

Наведені результати свідчать про можливість керування ризиком виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних із використанням палива з низьким вмістом сірки, шляхом зміни кутів випередження подачі палива.

Проведення всіх експериментів було погоджено з технічним відділом судноплавної компанії, яка здійснює менеджмент судна та його енергетичної установки. Під час виконання експериментів контролювалися та підтримувалися в рекомендованих діапазонах усі параметри роботи суднового дизеля MAN Energy Solutions 8K80MC-8.2-TII.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання як у двотактних, так і у чотиритактних дизелях, що мають електронну систему керування впорскуванням палива. Використання розробленого методу є особливо актуальним під час перебування суден у спеціальних екологічних районах, кількість і межі яких постійно збільшуються та розширюються.

До обмежень запропонованого методу належить наявність «критичних» кутів подачі палива, за яких знижується стійке самозаймання та згоряння палива. Визначення цих кутів можливе лише експериментально, причому для кожного дизеля окремо. При цьому необхідно враховувати конструкційні особливості дизеля, а також експлуатаційні характеристики палива.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Показано, що у разі роботи суден морського та внутрішнього водного транспорту в екологічних районах SECAs виникає необхідність переведення суднових дизелів на паливо зі зниженим вмістом сірки. При цьому збільшується інтенсивність згоряння палива, підвищуються теплові та динамічні навантаження, а також погіршуються екологічні показники роботи дизеля. Усе це підвищує ризики виникнення аварійних ситуацій.

Як метод керування факторами ризику виникнення аварійних ситуацій при використанні в судових дизелях палива з низьким вмістом сірки може бути застосоване перерегулювання паливної апаратури високого тиску (зокрема забезпечення зміни кутів випередження подачі палива).

Експерименти, проведені на судовому дизелі MAN Energy Solutions 8K80MC-8.2-ГП, підтвердили, що у разі переведення дизеля з палива RMG380 (із вмістом сірки 0,48 %) на паливо DMA (із вмістом сірки 0,055 %) за рахунок зміни кутів випередження подачі палива можливо:

- забезпечити зниження тиску згоряння з 14,45 МПа до 14,03 МПа;
- досягти зменшення температури випускних газів з 394 °С до 375 °С;
- знизити ступінь підвищення тиску під час згоряння з 1,335 до 1,303;
- зменшити емісію оксидів азоту з випускними газами з 13,75 г/(кВт·год) до 12,82 г/(кВт·год).

Це забезпечує підвищення:

- екологічної стійкості — на 3,61...10,97 %;
- теплової стійкості — до 2,54 %;
- динамічної стійкості — до 4,82 %.

Виконання перерегулювання паливної апаратури високого тиску необхідно здійснювати під час перебування суден морського та внутрішнього водного транспорту в SECAs. При цьому слід забезпечити попередню підготовку паливної системи до використання палива зі зниженим вмістом сірки. Одночасно з цим, будь-яке перерегулювання або переналаштування паливної апаратури повинно виконуватися з забезпеченням всіх вимог та рекомендацій інструкцій з їхньої технічної експлуатації. Також необхідно підтримувати в необхідному діапазоні значення температури та в'язкості палива на всіх ділянках паливної системи.

Подальші дослідження будуть спрямовані на визначення діапазону можливих режимів експлуатації судових дизелів і паливної апаратури, за яких гарантується їх безаварійна робота у разі використання запропонованого методу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.

2. Мадей В.В., Сагін С.В., Волков О.М. Управління процесом впорскування під час використання в судових 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.

3. 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.

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

5. 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.

6. Petrychenko O., Levynskyi M. Trends and preconditions for widespread adoption of liquefied natural gas in maritime transport // Transport Systems and Technologies. – 2024. – Vol. 43. – P. 21-36. DOI:10.32703/2617-9059-2024-43-2.

7. 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.

8. Petrychenko O., Levynskyi 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.

9. 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>.

10. 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>.

11. 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>.

12. Сагін С.В., Столярик Т.О. Динаміка суднових дизелів під час використання 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. 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>.

15. 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](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.25).

16. Sagin S., Naichenia 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. 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.

19. 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.

20. 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>.

21. Сагін С.В., Заблоцький Ю.В. Діагностування технічного стану судових 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. 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>.

23. Sagin S., Sagin A., Zablotskyi Y., Fomin O., Pišt'ek V., Kučera P. Method for Maintaining Technical Condition of Marine Diesel Engine Bearings // Lubricants. – 2025. – Vol. 13(4). – P. 146. <https://doi.org/10.3390/lubricants13040146>.

24. 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>.

25. 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.

26. 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.

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

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

29. Сагін С.В., Куропятник О.А. Визначення експлуатаційних  
характеристики гібридних систем скрубєрного очищення випускних  
газів суднових дизелів від домішок сірки // *Водний транспорт. Збір-  
ник наукових праць*. – 2025. – Вип. 3(44). – С. 14-26.  
[doi.org/10.33298/2226-8553.2025.3.44.02](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2025.3.44.02).

30. Сагін С.В., Куропятник О.А. Оцінка можливості використан-  
ня гідрованого рослинного мастила як палива в суднових дизелях //  
*Вісник Одеськ. нац. мор. ун-ту. Зб. наук. праць*. – 2025. – Вип. 4(78).  
– С. 81-96. DOI: <https://doi.org/10.47049/2226-1893-2025-4-81-96>.

31. Разінкін Р.О. Діагностування технічного стану суднових ди-  
зелів за аналізом моторної оливи // *Розвиток транспорту*. – 2025. –  
Вип. 4(27). – С. 82-93. <https://doi.org/10.33082/td.2025.4-27.06>.

32. Разінкін Р.О. Забезпечення ресурсозберігаючої експлуатації  
суднових дизелів шляхом діагностування моторного мастила // *Вод-  
ний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2025. – Вип. 3(44). –  
С. 241-255. [doi.org/10.33298/2226-8553.2025.3.43.24](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2025.3.43.24).

33. Melnyk O., Onyshchenko S., Onishchenko O., Koskina Y., Loh-  
inov 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>.

34. Колегаєв М.О., Мадей В.В., Побережний Р.В. Використання  
біодизельного палива під час експлуатації суднових дизелів // *Суд-  
нові енергетичні установки : наук.-техн. зб.* – 2025. – Вип. 51. – С. 10-  
21. DOI: [10.31653/smf.51.2025.10-21](https://doi.org/10.31653/smf.51.2025.10-21).

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](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229033).

36. 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>.

37. 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:*

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

38. Левченко О.В., Ганношина І.М., Остапчук Т.В. Система інформаційного забезпечення процесів прийняття рішень на мостіку судна // Водний транспорт: 36. наук. праць. – 2025. – Вип. 1(42). – С. 24-27. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.04.

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

40. 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.

41. Куропятник О.А. Вдосконалення експлуатаційних режимів системи рециркуляції випускних газів судових дизелів // Вісник Одеськ. нац. мор. ун-ту. 36. 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. 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.

44. 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.

45. 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>.

46. 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>.

47. 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.

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

49. 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>.

50. 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.

51. 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.

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

53. 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.

54. 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.