

10.31653/smf50.2025.52-66

Куропятник О.А.

Національний університет «Одеська морська академія»

АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ДИЗЕЛІВ СУДЕН МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПАЛИВА

Постановка проблеми в загальному вигляді. Судна морського транспорту є невід'ємною складовою інфраструктури багатьох країн, що пов'язані з іншими водними шляхами [1-3]. Основним джерелом енергії, що забезпечує рух суден, а також функціонування суднових систем, механізмів, палубного та навігаційного обладнання є дизелі. Отримання ефективної потужності суднових дизелів неможливо без використання палива нафтового походження, природні запаси якого щорічно знижуються, динаміка його вартості постійно змінюється, умови постачання між портами та країнами знаходяться в залежності від політичних ситуацій [4-6]. Одночасно з цим посилюються вимоги, що висуваються до екологічних показників роботи енергетичних установок суден морського і річкового транспорту [7-9]. Це обумовлює розвиток та впровадження в суднову енергетику альтернативних видів палива, джерело походження яких може знаходитися в країні, яка не має власного виробництва палива нафтового походження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання альтернативного палива на судах морського транспорту обмежується наступними причинами: автономністю плавання та неможливістю безперешкодного відновлення його запасів палива [10-13]; високою потужністю суднової енергетичної установки та відповідно високими витратами палива [14-16]; необхідністю в узгодженні всіх робіт із удосконалення паливної системи з кваліфікаційними товариствами, що здійснюють технічний контроль над судном [17-19].

Також необхідно визначити, що використання деякі сорти альтернативного палива (таки як спирти та ефіри, а також паливні суміші до яких вони входять) неефективне для забезпечення робочого циклу суднового дизеля [20-23]. Перш за все це пов'язане з більш низькою теплотворною здатністю подібних палива, а також їх меншою густиною та в'язкістю [24-26]. Перше призводить до збільшення циклової подачі палива, друге – сприяє порушенню роботи прецизійних пар паливної апаратури високого тиску [27-29]. Одночасно

з цим існують альтернативні палива, які за своїми функціональними характеристиками збігаються з паливом нафтового походження [30-33]. Це дозволяє використовувати паливні суміші, до складу яких разом з нафтовим паливом входять альтернативні палива [34-36]. Найбільшим збігом експлуатаційних властивостей з нафтовими палива характеризуються палива біологічного походження [37-40]. До другого покоління таких палив відноситься гідроване рослинне мастило (HVO – Hydrotreated Vegetable Oil) [41-44]. Використання цього палива вже має позитивний досвід у стаціонарній енергетиці, але відносно енергетичних установок суден морського транспорту дослідження щодо ефективності HVO мають поодинокі випадки та не мають системного підходу до визначення раціональних режимів його використання.

Постановка завдання. Завданням дослідження був аналіз експлуатаційних режимів роботи судових дизелів під час використання палива біологічного походження – гідрованого рослинного мастила. При цьому аналіз цих режимів виконувався за економічними (питомою витратою палива) та екологічними (емісією оксидів азоту та діоксиду вуглецю) показниками роботи дизелів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження виконувались на трьох однотипних судових дизелях 6S20R2-T2 фірми Mitsubishi Heavy Industries.

Як основне паливо під час експлуатації дизеля що використовувалось суднове моторне паливо RME180, як альтернативне – паливо HVO. Основні характеристики палив RME180 та HVO наведені у таблиці 1.

Таблиця 1. Основні характеристики палив RME180 та HVO

Характеристика	RME180	HVO
Густина при 20°C, кг/м ³	863	834
В'язкість при 40°C, мм ² /с	164	9,6
Температура спалаху, °C	128	82
Вміст, %		
вуглецю	83,33	84,63
водню	10,43	13,42
кисню	1,75	0
сірки	0,46	0
вологі	2,93	1,95
азоту	1,1	0
Нижча теплотворна здатність, кДж/кг	40888,2	45593,4

Збіг основних характеристик альтернативного палива біологічного походження HVO та палива нафтового походження RME180 дозволяв використовувати паливо HVO для забезпечення функціонування суднових дизелів 6S20R2-T2 фірми Mitsubishi Heavy Industries з метою визначення впливу палива HVO на експлуатаційні характеристики дизелів утворювались паливні суміші, до яких входило паливо RME180, а також 10 %, 20 %, 30 % та 40 % палива HVO. Утворення сумішей виконувалось безпосередньо в паливній системі, принципова схема якої наведена на рис. 1.

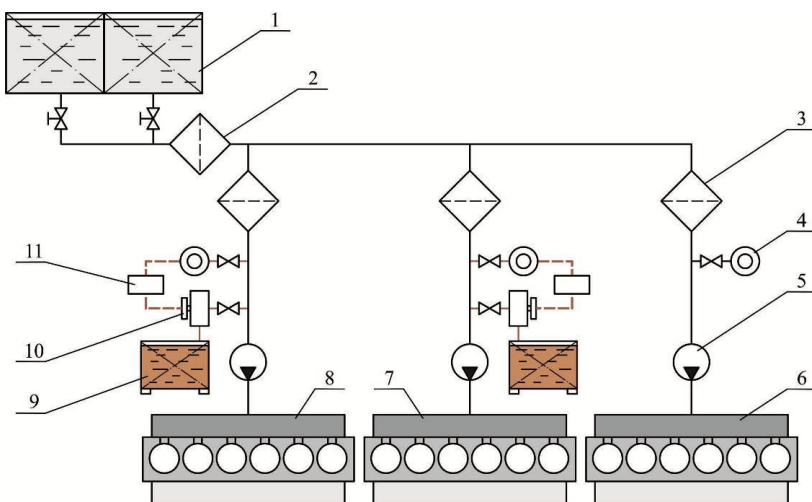


Рис. 1. Принципова схема паливної системи суднових дизелів 6S20R2-T2 фірми Mitsubishi Heavy Industries:

- 1 – витратна цистерна палива нафтового походження RME180;
- 2 – фільтр попереднього очищення палива; 3 – фільтр тонкого очищення; 4 – витратомір; 5 – паливний насос, що підкачує паливо; 6, 7, 8 – суднові дизелі; 9 – витратна цистерна біологічного походження HVO;
- 10 – дозерна установка; 11 – програмований контролер

До складу паливної системи входило наступне обладнання: витратна цистерна дизельного палива 1, загальний паливний фільтр грубого очищення 2, окремий для кожного дизеля паливний фільтр тонкого очищення 3, окремий для кожного дизеля електронний витратомір 4, окремий для кожного дизеля насос подачі палива 5, безпосередньо дизелі 6, 7, 8.

Функціонування паливної системи відбувалося в такий спосіб. З витратної цистерни палива нафтового походження 1 паливо RME180 через фільтр попереднього очищення 2 та паливний фільтр тонкого очищення 3 (який входив до контуру кожного з дизелів 6, 7, 8) надходило до паливних насосів 5, що підкачують паливо, які далі спрямовували паливо до форсунок дизелів. Кількість палива, що спрямовувалось до дизелів 6, 7, 8, визначалася за допомогою витратомірів 4 (які встановлювались у контурі кожного дизеля). Контур подачі палива до дизеля 6 не залишався без змін, та цей дизель експлуатувався з використанням палива RME180. Контури дизелів 7 та 8 переобладнувались з метою використання палива біологічного походження HVO. При цьому в них додатково встановлювались витратна цистерна палива біологічного походження 9 та дозерна установка 10, яка забезпечувала подачу палива та HVO до загального потоку палива RME180. Кількість палива біологічного походження HVO, що додавалась до палива RME180, регулювалась за допомогою програмований контролер 11. Це забезпечувало утворення паливних сумішей з заданим співвідношенням палив RME180 та HVO.

Дослідження виконувались на експлуатаційних режимах, що відповідали 50 %, 60 % 70 % та 80 % від номінального навантаження на суднові дизелі 6S20R2-T2 фірми Mitsubishi Heavy Industries – 0,5Неном, 0,6Неном, 0,7Неном, 0,8Неном. Під час досліджень один з дизелів (позиція 6 на рис. 1) експлуатувався виключно на паливі RME180, два інших (позиції 7 та 8 на рис. 1) – з використанням паливних сумішей палива нафтового походження RME180 та палива біологічного походження HVO. Вміст палива HVO у паливній суміші регулювався за допомогою дозерної установки та програмованого контролера (позиції 10 та 11 на рис. 1) та складав 10 %, 20 %, 30% та 40 % на різних етапах дослідження.

Основними показниками, що були обрані для аналізу експлуатаційних режимів роботи дизелів 6S20R2-T2 фірми Mitsubishi Heavy Industries під час використання палива біологічного походження HVO, приймалися питома витрата палива, а також концентрації оксидів азоту та діоксиду вуглецю у випускних газах. Зміна цих показників для різних режимів експлуатації дизелів та різного складу паливних сумішей (до яких входили палива RME180 та HVO) наведені у таблицях 2-4.

Таблиця 2. Питома ефективна витрата палива, b_e , г/(кВт·год), для палива RME180 та для паливних сумішей різного складу

Режим роботи	RME180	Співвідношення RME180 / HVO у суміші, % / %			
		90 / 10	80 / 20	70 / 30	60 / 40
0,5N _{енорм}	212	204	203	198	195
0,6N _{енорм}	206	198	196	195	193
0,7N _{енорм}	202	197	195	193	188
0,8N _{енорм}	196	192	191	189	187

Таблиця 3. Концентрація оксидів азоту у випускних газах, NO_x, г/(кВт·год), для палива RME180 та для паливних сумішей різного складу

Режим роботи	RME180	Співвідношення RME180 / HVO у суміші, % / %			
		90 / 10	80 / 20	70 / 30	60 / 40
0,5N _{енорм}	6,85	5,68	5,48	5,07	7,18
0,6N _{енорм}	6,91	5,83	5,78	5,15	7,41
0,7N _{енорм}	7,76	6,32	6,18	5,21	8,26
0,8N _{енорм}	8,34	7,32	6,41	5,22	8,87

Таблиця 4. Об'ємний вміст оксиду вуглецю в випускних газах, CO₂, %, для палива RME180 та для паливних сумішей різного складу

Режим роботи	RME180	Співвідношення RME180 / HVO у суміші, % / %			
		90 / 10	80 / 20	70 / 30	60 / 40
0,5N _{енорм}	7,12	5,51	4,81	4,63	4,47
0,6N _{енорм}	7,31	5,73	5,42	5,08	4,83
0,7N _{енорм}	7,75	6,28	5,84	5,72	5,06
0,8N _{енорм}	8,36	7,12	6,68	6,18	5,08

Значення, що наведені у таблицях 2-4, є усередненими від масиву експериментальних значень, що були отримані під час постійного моніторингу вказаних величин на протязі 7...10 хвилин. При цьому під час проведення моніторингу дизелі експлуатувались на сталому навантаженні та за умовою однакових режимів мащення та охолодження. Під час дослідження також виконувався моніторинг всіх основних показників роботи дизеля.

За результатами експериментів побудовані діаграми, що відображають зміни питомої ефективної витрати палива (рис. 2, а), емісії оксидів азоту NO_x (рис. 2, б) та об'ємної концентрації діоксиду вуглецю CO₂ в випускних газах (рис. 2, в) для різних умов експлуатації суднового дизеля 6S20R2-T2 фірми Mitsubishi Heavy Industries.

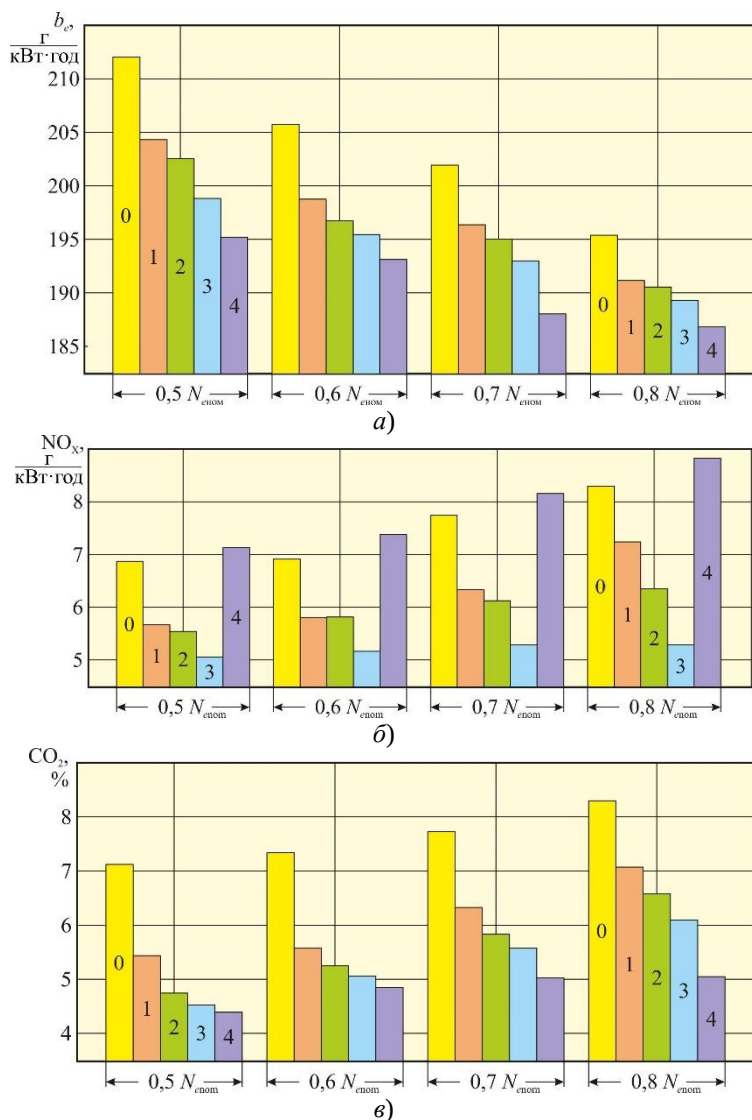


Рис. 2. Залежності показників роботи дизеля 6S20R2-T2 фірми Mitsubishi Heavy Industries від навантаження під час використання палива RME180 та паливних сумішей різного складу 0 – 100 % RME180;
 1 – 90 % RME180 + 10 % HVO; 2 – 80 % RME180 + 20 % HVO;
 3 – 70 % RME180 + 30 % HVO; 4 – 60 % RME180 + 40 % HVO;
 а – питома витрата палива; б – емісія оксидів азоту; в – об'ємний вміст діоксиду вуглецю в випускних газах

Відносні зміни концентрації оксидів азоту ΔNO_x та об'ємного вмісту оксиду вуглецю ΔCO_2 в випускних газах, а також питомої ефективної витрати палива Δb_e розраховувались за виразами

$$\Delta b_e = \frac{b_e^{\text{RME}} - b_e^{\text{HVO}}}{b_e^{\text{RME}}} \cdot 100\%, \quad \Delta\text{NO}_x = \frac{\text{NO}_x^{\text{RME}} - \text{NO}_x^{\text{HVO}}}{\text{NO}_x^{\text{RME}}} \cdot 100\%,$$

$$\Delta\text{CO}_2 = \frac{\text{CO}_2^{\text{RME}} - \text{CO}_2^{\text{HVO}}}{\text{CO}_2^{\text{RME}}} \cdot 100\%,$$

де $b_e^{\text{RME}}, b_e^{\text{HVO}}$ – питома ефективна витрата палива під час використання палива нафтового походження RME180 та паливних сумішей, до складу яких входили паливо нафтового походження RME180 та паливо біологічного походження HVO у різному відсотковому співвідношенні, г/(кВт·год);

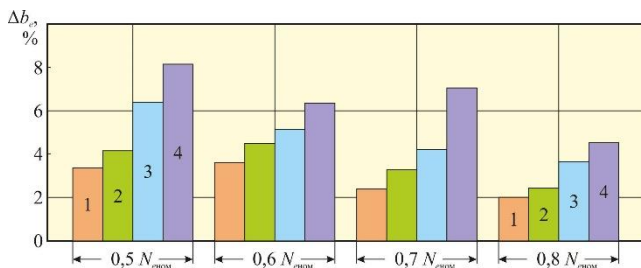
$\text{NO}_x^{\text{RME}}, \text{NO}_x^{\text{HVO}}$ – концентрація оксиду азоту в випускних газах під час використання палива нафтового походження RME180 та паливних сумішей, до складу яких входили паливо нафтового походження RME180 та паливо біологічного походження HVO у різному відсотковому співвідношенні, г/(кВт·год);

$\text{CO}_2^{\text{RME}}, \text{CO}_2^{\text{HVO}}$ – об'ємний вміст діоксиду вуглецю в випускних газах під час використання палива нафтового походження RME180 та паливних сумішей, до складу яких входили паливо нафтового походження RME180 та паливо біологічного походження HVO у різному відсотковому співвідношенні, %.

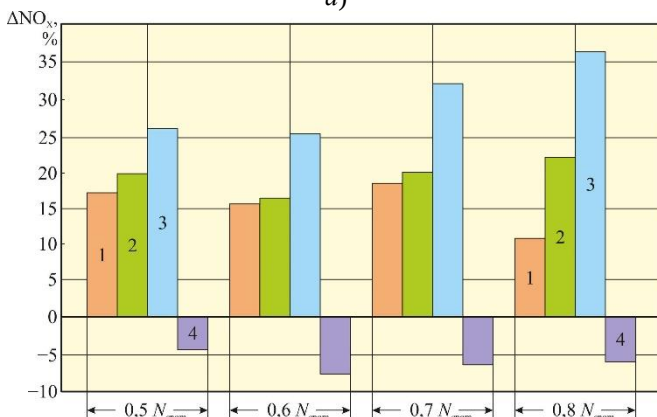
Отримані значення узагальнені у таблицях 5-7, а також відображені на діаграмах, наведених на рис. 3.

Таблиця 5. Відносне зменшення питомої ефективної витрати палива, Δb_e , %, для паливних сумішей різного складу

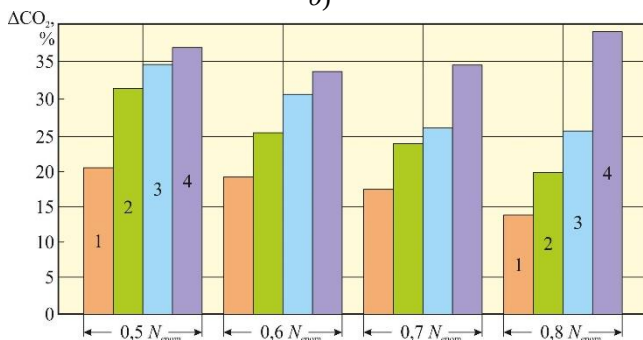
Режим роботи	Співвідношення RME180 / HVO у суміші, % / %			
	90 / 10	80 / 20	70 / 30	60 / 40
$0,5N_{\text{еном}}$	3,77	4,25	6,60	8,02
$0,6N_{\text{еном}}$	3,88	4,85	5,34	6,31
$0,7N_{\text{еном}}$	2,48	3,47	4,46	6,93
$0,8N_{\text{еном}}$	2,04	2,55	3,57	4,59



а)



б)



в)

Рис. 3. Відносна зміна показників роботи дизеля 6S20R2-T2 фірми Mitsubishi Heavy Industries від навантаження під час використання паливних сумішей різного складу:

1 – 90 % RME180 + 10 % HVO; 2 – 80 % RME180 + 20 % HVO;

3 – 70 % RME180 + 30 % HVO; 4 – 60 % RME180 + 40 % HVO;

а – збільшення питомої витрати палива; б – зменшення емісії оксидів азоту;

в – зменшення об'ємного вмісту оксиду вуглецю в випускних газах

Таблиця 6. Відносна зміна концентрації оксидів азоту у випускних газах, ΔNO_x , %, для паливних сумішей різного складу

Режим роботи	Співвідношення RME180 / HVO у суміші, % / %			
	90 / 10	80 / 20	70 / 30	60 / 40
$0,5N_{\text{ном}}$	17,08	20,00	25,99	-4,82
$0,6N_{\text{ном}}$	15,63	16,35	25,47	-7,24
$0,7N_{\text{ном}}$	18,56	20,36	32,86	-6,44
$0,8N_{\text{ном}}$	12,23	23,14	37,41	-6,35

Таблиця 7. Відносне зменшення об'ємного вмісту оксиду вуглецю в випускних газах, ΔCO_2 , %, для паливних сумішей різного складу

Режим роботи	Співвідношення RME180 / HVO у суміші, % / %			
	90 / 10	80 / 20	70 / 30	60 / 40
$0,5N_{\text{ном}}$	22,61	32,44	34,97	37,22
$0,6N_{\text{ном}}$	21,61	25,85	30,51	33,93
$0,7N_{\text{ном}}$	18,97	24,65	26,19	34,71
$0,8N_{\text{ном}}$	14,83	20,10	26,08	39,23

Висновки і перспективи подальших досліджень. Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки.

1. Поступово скорочення природних запасів нафти, коливання цін на нафтопродукти (у тому числі на паливо нафтового походження, що використовується під час експлуатації дизелів суден морського транспорту) та тенденції постійного зростаючих вимог щодо захисту довкілля від емісії шкідливих речовин, що входять до складу випускних газів судових дизелів сприяють розвитку та впровадження в судову енергетику альтернативних видів палива. Одним з розповсюджених видів якого є паливо біологічного походження, основою якого є гідроване рослинне мастило, або Hydrotreated Vegetable Oil (HVO).

2. Збіг основних функціональних характеристик палива біологічного походження HVO (перш за все в'язкості, густини, температури спалаху та нижчої теплотворної здатності) та судового моторного палива нафтового дозволяє утворювати суміші цих палив з різним вмістом палива HVO.

3. Дослідження, що виконувались на судових 6S20R2-T2 фірми Mitsubishi Heavy Industries в діапазоні їх експлуатаційних навантажень 50 ... 80 % та під час використання паливних сумішей різного складу (зі вмістом 60...90 % палива нафтового походження RME180

та 40...10 % палива біологічного походження HVO) встановили наступне:

а) збільшення у складі паливної суміші вмісту палива біологічного походження HVO на всіх експлуатаційних режимах роботи дизелів призводить до зменшення питомої витрати палива; при цьому відносне зменшення питомої ефективної витрати палива знаходиться у діапазоні:

3,77...8,02 % під час навантаження 50 %;

3,88...6,31 % під час навантаження 60 %;

2,48...6,93 % під час навантаження 70 %;

2,04...4,59 % під час навантаження 80 %;

б) зміна концентрації оксидів азоту у випускних газах має різноспрямований характер та для всього діапазону навантажень зменшується на 12,23...37,41 % під час використання паливних сумішей до складу яких входить 10...30 % палива біологічного походження HVO та збільшується на 4,82...6,35 % під час використання паливної суміші до складу якої входить 40 % палива біологічного походження HVO;

в) збільшення у складі паливної суміші вмісту палива біологічного походження HVO на всіх експлуатаційних режимах роботи дизелів призводить до зменшення об'ємного вмісту оксиду вуглецю в випускних газах; при цьому відносне зменшення об'ємного вмісту оксиду вуглецю в випускних газах знаходиться у діапазоні:

22,61...37,22 % під час навантаження 50 %;

21,61...33,93 % під час навантаження 60 %;

18,97...34,71 % під час навантаження 70 %;

14,83...39,23 % під час навантаження 80 %.

4. Наведені дані свідчать про наявність оптимальної концентрації палива біологічного походження HVO у складі її суміші з нафтовим паливом. Це концентрація забезпечує максимальне підвищення економічності роботи суднових дизелів (яка визначається питомою витратою палива) з одночасним максимальним рівнем екологічності (який визначається емісією оксидів азоту та діоксиду вуглецю).

5. Оптимальна концентрація палива біологічного походження HVO у складі її суміші з нафтовим паливом визначається експериментально та може змінюватися залежно від навантаження на суднові дизелі.

Перелік використаних джерел

1. Двуліт З.П., Тимошук О.М., Левченко О.В. Вдосконалення бізнес-процесів сучасних судноплавних компаній в сфері міжнародних морських вантажних перевезень // Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення і проблеми розвитку. 2021. № 3 (1). С. 1-12.
2. Левінський М.В., Левінський В.М. Вибір параметрів системи стабілізації курсу судна при дії водно-хвильових збурень // Автоматизація судових технічних засобів: наук.-техн. зб. 2020. Вип. 26. С.27-40. DOI: 10.31653/1819-3293-2020-1-26-27-40.
3. Сагін С.В., Сагін С.С. Використання штучного інтелекту в ситуаціях надмірного зближення суден // Водний транспорт. Збірник наукових праць. 2024. Вип. 1(39). С. 215-225. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22.
4. 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
5. Заблоцкий Ю.В., Солодовников В.Г. Снижение энергетических потерь в топливной аппаратуре судовых дизелей // Проблемы техники: наук.-виробн. журнал. 2013. № 3. С. 46-56.
6. 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). doi:10.1177/16878132251320236.
7. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. Using exhaust gas bypass for achieving the environmental performance of marine diesel engines // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 2021. № 7-8. P. 36-43. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-36-43>.
8. Левченко О.В., Маранов О.В. Інтеграція комбінованих систем підтримки ухвалення рішень для забезпечення навігаційної безпеки та оптимізації руху суден у портових акваторіях // Водний транспорт: Збірник наукових праць. 2025. Вип. 1(42). С. 99-108. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.14.
9. 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>.

10. Руснак Д.Ю., Сагін С.В. Забезпечення екологічних вимог при ультразвуковій десульфурізації вуглеводних палив // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. 2020. Вип. 40. С. 49-54. DOI: 10.31653/smf340.2020.49-54.

11. 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.

12. Побережний Р.В., Сагін С.В. Забезпечення екологічних показників дизелів суден річкового та морського транспорту // Суднові енергетичні установки: наук. -техн. зб. 2020. Вип. 41. С. 5-9. DOI: 10.31653/smf340.2020.5-9.

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

14. 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.

15. Заблоцький Ю.В., Сагін А.С. Визначення динамічних навантажень під час зміни режимів мащення прецизійних пар паливної апаратури суднових дизелів // Суднові енергетичні установки: наук. -техн. зб. 2022. Вип. 44. С. 121-131. doi: 10.31653/smf44.2022.121-131.

16. Сагін А.С., Заблоцький Ю.В. Регенерація змащувальних властивостей моторних палив і мастил під час експлуатації суднових дизелів // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. 2022. Вип. 45. С. 17-30. doi: 10.31653/smf45.2022.17-30.

17. 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. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290198>.

18. Kuropyatnyk O.A. Reduction of NO_x emission in the exhaust gases of low-speed marine diesel engines // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 2018. № 7-8. P. 37-42. doi.org/10.29013/AJT-18-7.8-37-42.

19. Заблоцький Ю.В. Підвищення паливної економічності суднових дизельних установок // Вісник Одеського національного морсь-

кого університету: зб. наук. праць. 2020. № 2(62). С. 106-119. DOI: 10.47049/2226-1893-2020-1-106-119.

20. Заблоцький Ю. В. Зниження теплової напруженості судових дизелів за рахунок використання присадок до палива // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. 2018. Вип. 38. С. 76-87.

21. Заблоцкий Ю.В. Исследование влияния органических покрытий на работу элементов топливной аппаратуры высокого давления судовых дизелей // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. 2015. № 35. С. 83-92.

22. Зверьков Д.О., Сагін С.В. Зниження механічних втрат у судових дизелях // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. 2020. Вип. 41. С. 20-25. DOI: 10.31653/smf341.2020.20-25.

23. 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.

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

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

26. Марченко О.О., Сагін С.В. Вдосконалення процесу очищення судових важких палив // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. 2020. Вип. 41. С. 10-14. DOI: 10.31653/smf341.2020.10-14.

27. 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. P. 14-17. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-14-17>.

28. Сагин С. В. Определение диапазона стратификации вязкости смазочного материала в трибологических системах судовых дизелей // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. Наук. праць. 2019. Вип. 1(58). С. 89-100.

29. Мацкевич Д.В., Сагин С.В., Ханмамедов С.А. Изменение реологических характеристик смазочных материалов в циркуляционной масляной системе в процессе эксплуатации среднеоборотного двига-

теля // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. 2010. Вып. 25. С.109-118.

30. 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. Збірник наукових праць. 2024. Вип. 1(39). С. 193-205. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.21.

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

32. Сагін С.В., Куропятник О.А. Визначення оптимальних режимів процесів управління випускними газами судових дизелів // Водний транспорт: Збірник наукових праць. 2024. Вип. 2(40). С. 173-185. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.16.

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

34. Рибальченко М.Є., Білоусов Є.В. Використання числових профілів робочого процесу для аналізу ефективності роботи судового малообертового двигуна в умовах сучасної тенденції щодо зниження експлуатаційної швидкості суден. // Водний транспорт: Збірник наукових праць. 2022. Вип. 2(36). С. 1-13. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.06.

35. Kuropyatnyk O.A. Selection of optimal operating modes of exhaust gas recirculation system for marine low-speed diesel engines // Materials of the International Conference “Process Management and Scientific Developments” (Birmingham, United Kingdom, January 16, 2020. Part 4). P. 203-211. DOI. 10.34660/INF.2020.4.52992

36. Сагін С.В., Сагін С.С. Визначення методу управління рухом суден морського транспорту під час забезпечення їх безпечного розходження // Водний транспорт: Збірник наукових праць. 2023. Вип. 2(38). С. 187-198. doi.org/10.33298/2226-8553/2023.2.38.20.

37. Levinskyi M.V., Shapo V.F. Adaptive control for technological type control objects // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2021. Vol. 1231. P. 565–575. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52575-0_47.

38. Gorb S., Levinskyi M., Budurov M. Sensitivity Optimisation of a Main Marine Diesel Engine Electronic Speed Governor // *Scientific Horizons*. 2021. Vol. 24(11). P. 9-19. [https://doi.org/10.48077/scihor.24\(11\).2021.9-19](https://doi.org/10.48077/scihor.24(11).2021.9-19).

39. Gorb S., Popovskii A., Budurov M. Adjustment of speed governor for marine diesel generator engine // *International Journal of GEOMATE*. 2023. Vol. 25. № 109. P. 125-132. DOI: <https://doi.org/10.21660/2023.109.m2312>.

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

41. 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>.

42. Левченко О.В., Маранов О.В. Поточний стан дослідження питання прогнозування маневреності суден та їхньої гідродинаміки в обмежених водах // *Водний транспорт: Збірник наукових праць*. 2025. Вип. 1(42). С. 55-60. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.08.

43. Sagin S., Kuropyatnyk O., Rusnak D. Improvement of the process of cleaning exhaust gases of marine diesels from sulfur oxides // *Technology Audit and Production Reserves*. 2025. №4(1(84)). P. 72–79. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.337616>.

44. 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. P. 4756. <https://doi.org/10.3390/en18174756>.