

УДК 629.5

DOI 10.47049/2226-1893-2025-4-81-96

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОВАНОГО РОСЛИННОГО МАСТИЛА ЯК ПАЛИВА В СУДНОВИХ ДИЗЕЛЯХ

С.В. Сагін

д.т.н., професор, завідувач кафедри «Суднові енергетичні установки»

saginsergii@gmail.com

ORCID ID 0000-0001-8742-2836

О.А. Куропятник

док. філ. (PhD), докторант кафедри «Суднові енергетичні установки»

kuropyatnyk83@gmail.com

ORCID ID 0009-0008-2565-5771

Національний університет «Одеська морська академія», Одеса, Україна

Анотація Розглянута можливість використання гідрованого рослинного мастила як палива в суднових дизелях. Визначено, що збіг в'язкості, густини та температури спалаху суднових моторних палив нафтового походження та гідрованого рослинного мастила дозволяє його використання в суднових дизелях без додаткового переобладнання паливної системи. Оцінка можливості використання гідрованого рослинного мастила як палива в суднових дизелях виконувалась на трьох однотипних суднових середньообертових дизелях 5ML225 фірми CSSC Marine Power Co., Ltd. Під час проведення експериментів кожний дизель експлуатувався на окремому сорті палива – нафтового походження RME180 та DMA10, а також на гідрованому рослинному мастилі. Енергоспоживання судна було організовано в такий спосіб, за яким в експлуатації знаходилися всі три дизеля. При цьому в різні часові інтервали загальне навантаження змінювалось, але однаково розподілялось між дизелями. Це, а також однакові режими охолодження та мащення дизелів, забезпечувало збіг умов їх експлуатації та гарантувало коректність проведення досліджень. Технічний стан та налаштування паливної апаратури високого тиску для всіх трьох дизелів були однакові. Експериментально доведено, що використання гідрованого рослинного мастила як палива для суднових дизелів в порівнянні з судновими моторними паливами нафтового походження призводить до покращення якості робочого циклу, інтенсивності згоряння та тепловиділення в циліндрі, про що свідчить зниження на 11-25 °C температури випускних газів; зменшення нагароутворення під час згоряння палива та охолодження циліндрової групи, що відображається у зменшенні вмісту металевих домішок у циркуляційному мастилі на 2,5-9,0 мг/кг; підвищення екологічних показників, що підтверджується зниженням концентрації оксидів азоту у випускних газах на 0,17- 0,89 г/(кВт·год).

© Сагін С.В., Куропятник О.А., 2025

Використання гідрованого рослинного мастила як палива для судових дизелів можливо на будь яких режимах його навантаження.

Ключові слова: альтеративне паливо, гідроване рослинне мастило, екологічні показники, морський транспорт, судовий дизель, теплова напруженість.

UDC 629.5

DOI 10.47049/2226-1893-2025-4-81-96

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF USING HYDROTREATED VEGETABLE OIL AS FUEL IN MARINE DIESEL ENGINES

S. Sagin

Dr. of Eng., professor, Head of the department «Ship's Power Plants»

saginsergii@gmail.com

ORCID ID 0000-0001-8742-2836

O. Kuropyatnyk

PhD, doctoral student of the department «Ship's Power Plants»

kuropyatnyk83@gmail.com

ORCID ID 0009-0008-2565-5771

National University «Odesa Maritime Academy», Odesa, Ukraine

Abstract. *The possibility of using hydrogenated vegetable oil as fuel in marine diesel engines has been considered. It has been determined that the coincidence of viscosity, density and flash point of marine motor fuels of petroleum origin and hydrogenated vegetable oil allows its use in marine diesel engines without additional conversion of the fuel system. The assessment of the possibility of using hydrogenated vegetable oil as fuel in marine diesel engines was carried out on three identical ship medium-speed diesel engines 5ML225 of the CSSC Marine Power Co., Ltd. During the experiments, each diesel engine was operated on a separate type of fuel – petroleum RME180 and DMA10, as well as on hydrogenated vegetable oil. The ship's energy consumption was organized in such a way that all three diesel engines were in operation. At the same time, the total load changed at different time intervals, but was equally distributed between the diesel engines. This, as well as the same cooling and lubrication modes of diesel engines, ensured the coincidence of their operating conditions and guaranteed the correctness of the research. The technical condition and settings of the high-pressure fuel equipment for all three diesel engines were the same. It has been experimentally proven that the use of hydrogenated vegetable oil as fuel for marine diesel engines in comparison with marine motor fuels of petroleum origin leads to an improvement in the quality of the working cycle, combustion intensity and heat release in the cylinder, as evidenced by a decrease in the exhaust gas temperature by 11-25 °C; a decrease in vapor formation during fuel combustion and cooling of the cylinder group, which is reflected in a decrease in the content of metal impurities in the circulating oil by*

2,5-9,0 mg/kg; an increase in environmental performance, which is confirmed by a decrease in the concentration of nitrogen oxides in the exhaust gases by 0,17-0,89 g/(kW·h). The use of hydrogenated vegetable oil as fuel for marine diesel engines is possible at any load modes.

Keywords: *alternative fuel, hydrogenated vegetable oil, environmental performance, marine diesel, maritime transport, thermal stress.*

Постановка проблеми. Енергетичні установки суден морського та внутрішнього водного транспорту є крупними споживачами рідкого палива, яке використовується в теплових двигунах, що забезпечують рух судна та функціонування його внутрішніх систем [1-3]. Сучасні тенденції та технології, такі як сонячні панелі та акумуляторні батареї, ефективні лише для коротких, або прибережних навігаційних переходів. Тривалість цих переходів повинна гарантувати запас та можливість поновлення потужності або ємкості подібних джерел енергії. Також не можуть розглядатися як головні двигуни жорсткі вітрила або скайт-вітрила – їх ефективність в пряму залежить від гідрометеорологічних умов. Саме через всі судна морського та внутрішнього водного транспорту як джерело механічної енергії використовують двигуни внутрішнього згоряння/дизелі – які є самим розповсюдженим типом теплових двигунів [4-6].

Одночасно зі своєю тепловою ефективністю (яка полягає у достатньо високій теплотворній здатності) рідке паливо нафтового походження характеризується певними недоліками. Перш за все – це негативний вплив, який утворюють випускні гази (що є кінцевим продуктом використання палива в дизелях) на довкілля [7 ; 8]. Разом з цим існує проблема поступового виснажування та неминучого зменшення запасів природних ресурсів, які є безмежними та поновлюються за більш ніж тривалий час [9; 10].

Вказане спонукає до пошуку та впровадження в суднову енергетику альтернативних видів палива, які за своїми властивостями забезпечували би енергетичні потреби суден, з іншого – сприяли зменшенню негативного впливу з боку теплових двигунів на довкілля.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Для суднових дизелів, що знаходяться в експлуатації, найбільш оптимальним варіантом альтернативного палива є рідкі палива, які за своїми характеристиками сумісні з рідким паливом нафтового походження. Перш за все це зумовлюється комплектуванням паливних систем відповідним обладнанням. В разі використання газового палива (нафтового або природного газу) виникає необхідність встановлення додаткових форсунок, що забезпечують подачу цього газу до циліндрів дизеля. В разі використання водню або аміаку паливні системи повинні додатково комплектуватися термічними балонами для їх збереження, а деяких випадках – додатковими установками для їх виробництва [11; 12].

Також необхідно зазначити, що використання газового палива характерно для енергетичних установок суден, які транспортують газ (нафтовий або природний) як паливо [13-15]. В цих випадках частина вантажу випаровується та у подальшому використовується як паливо в дизелях або котлах. Одночасно з цим в разі баластних переходів цих суден як джерело енергії використовується рідке паливо нафтового походження (у зв'язку з відсутністю вантажу та отже палива, яке є продуктом його випаровування). Використання водню як палива пов'язано з підвищеною пожежною та вибуховою небезпекою. При цьому ці небезпеки залишаються актуальними не лише під час збереження та транспортування водню в елементах паливної системи, але також під час його безпосереднього згоряння в циліндрі дизеля. Помилкові дії під час впорскуванні водню в циліндр дизеля можуть привести до переходу його згоряння у детонацію – при цьому збільшуються навантаження на кривошипний механізм, деталі руху та анкерні зв'язки дизеля [16; 17].

Найбільш розповсюдженими видами палива біологічного походження є паливо, яке складають метилові ефіри жирних кислот (FAME – Fatty Acid Methyl Ester) та гідровані рослинні мастила (HVO – Hydrotreated Vegetable Oil). Обидва палива отримують з рослинних та тваринних жирів шляхом етерифікації (щодо палива FAME) або гідроочищення (щодо палива HVO).

Палива FAME на теперішній час отримали визнання та розповсюдження на судах морського та внутрішнього водного транспорту. Вони використовуються у складі сумішей з паливом нафтового походження, при цьому вміст палива FAME в цих сумішах може досягати 30 %. В деяких країнах, наприклад у Бразилії, паливо біологічного походження є обов'язковою складовою майже всіх паливних сумішей, що використовуються в транспортних двигунах (автомобільних, залізничних, морських, річкових) [18; 19].

Палива HVO на сьогодні відносяться до інноваційних сортів палива та лише набувають розповсюдження у транспортній енергетиці. Використання палива HVO на судах морського та внутрішнього транспорту, а також наукові дослідження, що пов'язані з його впровадженням, мають лише поодинокі випадки та несистемні підходи. Це спонукає виконувати наукові дослідження з оцінки можливості використання гідрованого рослинного мастила як палива в судових дизелях. Проведення подібних досліджень можливо як у наукових лабораторіях, також й безпосередньо на судах морського та внутрішнього водного транспорту.

Формулювання завдання дослідження. У зв'язку з викладеним, завданням дослідження було визначення ефективності та оцінка можливості використання HVO як палива в судових дизелях.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження виконувались на судні, до складу енергетичної установки якого входило три однотипних судових середньообертових дизеля 5ML225 фірми CSSC Marine Power Co., Ltd. Основні характеристики дизелів наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Основні характеристики дизелів 5ML225 фірми CSSC Marine Power

Показник	Значення
Діаметр циліндра, м	0,225
Хід поршня, м	0,290
Кількість циліндрів	5
Частота обертання валу, об/хв	900
Ефективна потужність, кВт	700
Питома витрата палива, г/(кВт·год)	186

Експлуатація дизелів виконувалась на двох сортах палива – DMA10 та RME180. Паливо DMA10 використовувалось під час пускових режимів роботи дизелів, а також під час знаходження судна в районах спеціального екологічного контролю. Паливо RME180 – під час сталих режимів роботи дизелів та в разі знаходження судна поза районів спеціального екологічного контролю. Як альтернативне паливо було досліджене паливо HVO, яке є гідрованим рослинним мастилом. Основні характеристики палив DMA10, RME180 та HVO наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Характеристики моторних палив

Характеристика	Марка палива		
	DMA10	RME180	HVO
Густина при 20°C, кг/м ³	892	924	780
В'язкість при 40°C, мм ² /с	6,3	182	2,9
Температура спалаху, °C	72	142	64
Вміст вуглецю, %	84,3	83,4	84,7
Вміст водню, %	11,7	10,4	13,5
Вміст кисню, %	1,4	1,8	—
Вміст сірки, %	0,1	0,5	—
Вміст вологі, %	2,0	2,8	1,8
Вміст азоту, %	0,5	1,1	—
Нижча теплотворна здатність, кДж/кг	42866	40859	45714

Машення всіх основних контактних вузлів дизелів (циліндрової групи, колінчатого валу та підшипників руху) забезпечувалось циркуляційною системою мащення.

Як циркуляційне мастило використовувалось суднове моторне мастило Mobilgard420, з вмістом лужних добавок 40 мгКОН/г та значенням Total Base Number (TBN) 40.

Циркуляційне мастило Mobilgard 420 відноситься до температуростійких та антифрикційних сортів та рекомендовано фірмою CSSC Marine Power Co., Ltd. для експлуатації дизелів 5ML225. Принципова схема систем подачі палива та мастила до суднових дизелів 5ML225 наведена на рис. 1.

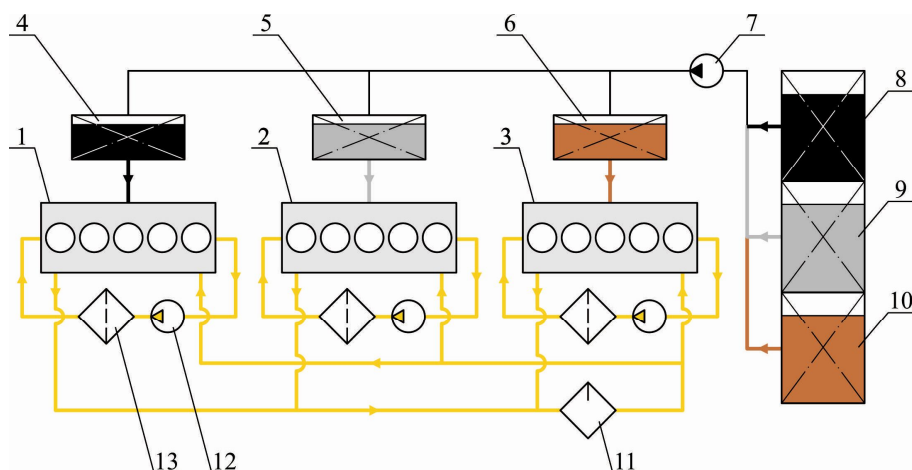


Рис. 1. Принципова схема систем подачі палива та мастила до суднових дизелів 5ML225 фірми CSSC Marine Power:

1; 2; 3 – дизель № 1, дизель № 2, дизель № 3; 4; 5; 6 – витратні цистерни палива RME180, DMA10 та HVO відповідно; 7 – насос, що підкачує паливо;
8 9, 10 – відстійні цистерни палива RME180, DMA10 та HVO відповідно;
11 – сепаратор циркуляційного мастила; 12 – циркуляційний мастильний насос;
13 – мастильний фільтр

Експлуатація дизелів здійснювалась на паливах RME180, DMA10 та HVO. При цьому під час досліджень кожний з дизелів використовував окреме, відмінне від інших паливо. Дизель № 1 (позиція 1 на рис. 1) використовував паливо RME180; дизель № 2 (позиція 2 на рис. 1) – паливо DMA10; дизель № 3 (позиція 3 на рис. 1) – паливо HVO. Різні сорти палива зберігались в різних відстійних цистернах: паливо RME180 – у цистерні 8; DMA10 – у цистерні 9; паливо HVO – у цистерні 10 та послідовно закачувались насосом 7 у витратні цистерни 4 (паливо RME180); 5 (паливо DMA10) та 6 (паливо HVO).

Машення дизелів забезпечувалось навішеним мастильним насосом 12, очищення мастила виконувалось у фільтрі 13 – елементах, якими був обладнаний кожний з дизелів. Сепарація мастила, що знаходилося в циркуляційній системі, виконувалась окремо для кожного з дизелів загальним мастильним сепаратором 11.

Як показники, за якими визначалась ефективність використання гідрованого рослинного мастила (тобто палива HVO) та порівняння його з іншими сортами палива (з RME180 та DMA10), приймалися температура випускних газів, вміст механічних домішок у моторному мастилі та концентрація оксидів азоту у випускних газах.

Вибір саме цих показників зумовлювався наступним.

Температура випускних газів характеризує якість перебігу робочого циклу у циліндрах дизеля. Її надмірне збільшення (за умовою якісного налаштування паливної апаратури високого тиску) свідчить про погіршення процесу згоряння палива та зсуву згоряння на лінію розширення. Також температура випускних газів характеризує теплову напруженість циліндрової групи дизеля, її значення регламентуються та обмежуються інструкцією з експлуатації дизеля [20; 21].

Для суднових середньообертових дизелів (до яких відносяться дизелі 5ML225 фірми CSSC Marine Power), що мають поєднану систему мащення циліндрової групи та колінчатого валу, вміст механічних домішок у моторному мастилі характеризує сумісність палива та мастила, а також інтенсивність нагароутворення в циліндрі дизеля. Поєднана система мащення сприяє потраплянню частинок нагару, що утворюється в циліндрі дизеля, до картеру дизеля та подальшому розповсюдженню та руху цих частинок всією системою. Збільшення механічних домішок у моторному мастилі призводить до підвищення втрат енергії на подолання тертя, а також погіршує режими мащення контактних вузлів.

Концентрація оксидів азоту у випускних газів є показником, що регламентується вимогами Додатку VI MARPOL та обов'язково контролюється для всіх типів дизелів суден морського та внутрішнього водного транспорту. Його надмірне збільшення знижує екологічність роботи морських суден та змушує обирати режимі експлуатації дизелів, на яких концентрація оксидів азоту у випускних газах задовольняє цим вимогам. Як правило, ці режими відповідають зменшеному навантаженню, що знижує енергетичні показники дизеля [22; 23].

Енергоспоживання судна було організовано в такий спосіб, за яким в експлуатації знаходилися всі три допоміжних дизеля. При цьому в різні часові інтервали загальне навантаження змінювалось, але однаково розподілялось між дизелями [24; 25]. Це, а також однакові режими охолодження та мащення дизелів, забезпечувало збіг умов їх експлуатації та гарантувало коректність проведення досліджень [26; 27]. Технічний стан та налаштування паливної апаратури високого тиску для всіх трьох дизелів були однакові.

Результати досліджень наведені у таблицях 3-5.

Таблиця 3

Температура випускних газів, °C, суднових дизелів 5ML225 фірми CSSC Marine Power під час використання різних видів палива

Часовий інтервал, <i>t</i> , години	RME180	DMA10	HVO
50	288	282	271
100	309	302	288
150	295	293	278
200	312	309	292
250	286	281	272
300	308	301	283

Таблиця 4

Вміст механічних домішок, мг/кг, у моторному мастилі Mobilgard420
суднових дизелів 5ML225 фірми CSSC Marine Power
під час використання різних видів палива

Компо- нент, мг/кг	100 годин			200 годин			300 годин		
	RME180	DMA10	HVO	RME180	DMA10	HVO	RME180	DMA10	HVO
Al	0,5	0,5	0,5	2,0	2,0	1,5	1,5	2,0	1,0
Cr	1,5	1,0	0,5	1,5	1,0	0,5	1,0	1,0	1,0
Cu	1,5	1,0	0,5	2,5	2,0	1,5	3,0	2,5	1,5
Fe	3,0	2,0	1,0	6,5	5,0	2,5	9,5	7,0	3,5
Sn	1,0	1,0	0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5
Pb	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	2,0	1,0	1,5
Сума, Σ_M	8,5	6,5	4,0	15,0	11,5	7,5	18,0	14,0	9,0

Таблиця 5

Концентрація оксидів азоту, г/(кВт·год) у випускних газах суднових дизелів
5ML225 фірми CSSC Marine Power під час використання різних видів палива

Часовий інтервал, t, години	RME180	DMA10	HVO
50	8,15	8,12	7,95
100	9,04	8,74	8,15
150	8,51	8,32	8,02
200	8,92	8,72	8,27
250	8,46	8,20	7,88
300	8,62	8,42	8,04

За даними таблиць 3-5 побудовані діаграми, що наведені на рис. 2-4.

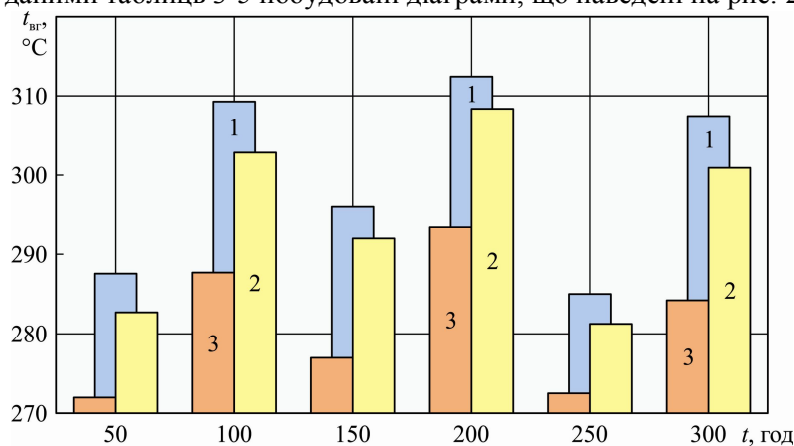


Рис. 2. Температура випускних газів суднових дизелів 5ML225 фірми CSSC Marine Power під час використання різних видів палива:
1 – RME180; 2 – DMA10; 3 – HVO

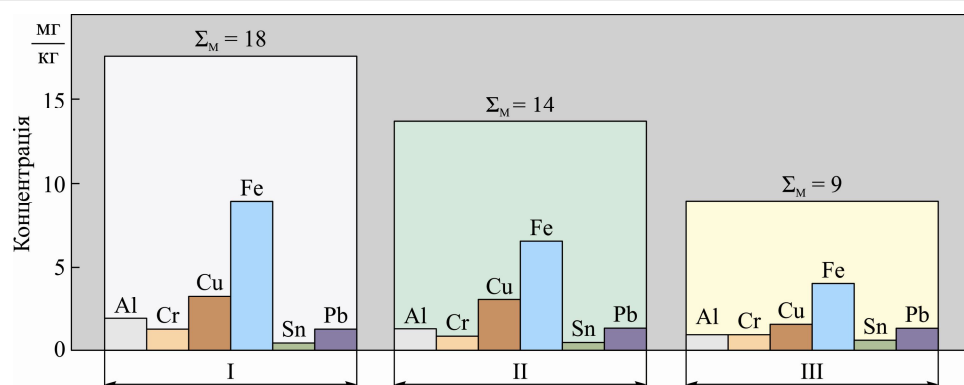


Рис. 3. Вміст механічних домішок у моторному мастилі Mobilgard420 після 300 годин експлуатації суднових дизелів 5ML225 фірми CSSC Marine Power під час використання різних видів палива:
1 – RME180; 2 – DMA10; 3 – HVO

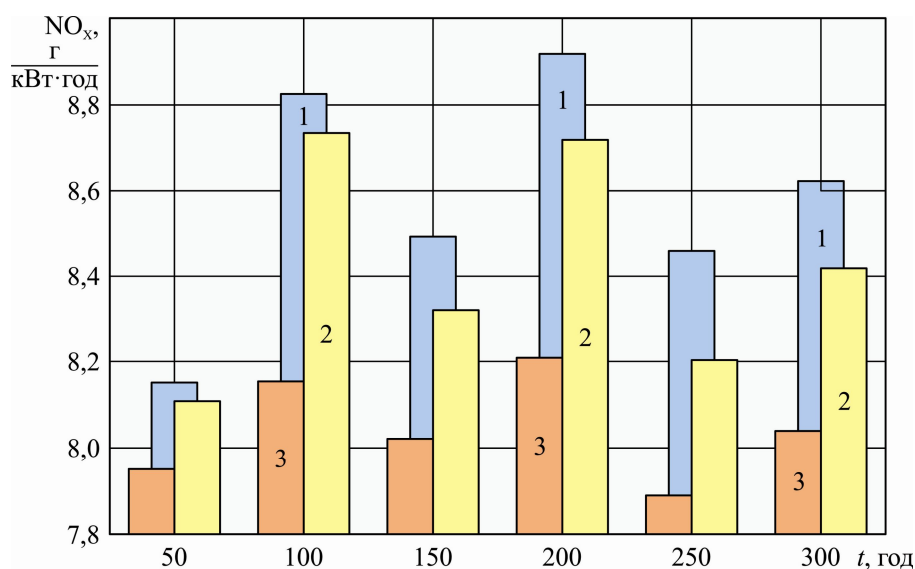


Рис. 4. Концентрація оксидів азоту у випускних газах суднових дизелів 5ML225 фірми CSSC Marine Power під час використання різних видів палива:
1 – RME180; 2 – DMA10; 3 – HVO

Всі дослідження виконувались з забезпеченням вимог інструкцій з експлуатації дизелів та систем, що їх обслуговують. При цьому підтримувались в необхідному діапазоні всі показники, що регламентуються фірмою-виробником дизелів [28; 29]. Можливість використання гідрованого рослинного мастила як палива під час експлуатації суднових дизелів 5ML225 фірми CSSC Marine Power попередньо була обговорена з технічним департаментом судноплавної компанії.

Також з технічним департаментом була ухвалена технологія проведення експериментів. Під час досліджень виконувались всі вимоги конвенцій MARPOL та SOLAS [30; 31].

Висновки. Виконані дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. Прагнення до поступової заміни палива нафтового походження альтернативними джерелами енергії сприяє розвитку палива біологічного походження. Одним з таких палив є гідроване рослинне мастило (HVO – Hydrotreated Vegetable Oil), яке відносяться до палива біологічного походження другого покоління. Збіг в'язкості, густини та температури спалаху гідрованого рослинного мастила та судових моторних палив нафтового походження дозволяє використовувати HVO в судових дизелях без додаткового переобладнання паливної системи.

2. До основних переваг використання рослинного мастила як палива для судових дизелів (які встановлені експериментальним шляхом) в порівнянні з судовими моторними паливами нафтового походження RME180 та DMA10 відносяться наступні:

- покращення якості робочого циклу, інтенсивності згоряння та тепловиділення в циліндрі, про що свідчить зниження температури випускних газів на 14-25 °C в порівнянні з паливом RME180 та на 11-18 °C в порівнянні з паливом DMA10;

- зменшення нагароутворення під час згоряння палива та охолодження циліндрової групи, що відображається у зменшенні вмісту металевих домішок у циркуляційному мастилі на 4,5-9,0 мг/кг в порівнянні з паливом RME180 та на 2,5-5,0 мг/кг в порівнянні з паливом DMA10;

- підвищенню екологічних показників, що підтверджується зниженням концентрації оксидів азоту у випускних газах на 0,20-0,89 г/(кВт·год) в порівнянні з паливом RME180 та на 0,17-0,59 г/(кВт·год) в порівнянні з паливом DMA10.

3. Використання гідрованого рослинного мастила як палива для судових дизелів можливо на будь-яких режимах його навантаження.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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>.
2. 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.
3. 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.

4. 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>.
5. 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.
6. Заблоцький Ю.В. Підвищення паливної економічності суднових дизельних установок // *Вісник Одеського національного морського університету*: зб. наук. праць. – 2020. – № 2(62). – С. 106-119. DOI: 10.47049/2226-1893-2020-1-106-119.
7. 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.
8. 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>.
9. 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/smf.340.2020.49-54.
10. Заблоцький Ю.В. Підвищення економічності роботи суднових дизелів // *Суднові енергетичні установки*: наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 40. – С. 12-16. DOI: 10.31653/smf.340.2020.12-16.
11. Левченко О.В. Синтез варіантів дій судноводія у небезпечних ситуаціях з урахуванням часових та ресурсних обмежень у суднових СППР // *Водний транспорт*: Збірник наукових праць. – 2021. – Вип. 3(34). – С. 89-98. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.10.
12. Заблоцький Ю. В. Зниження теплової напруженості суднових дизелів за рахунок використання присадок до палива // *Суднові енергетичні установки*: наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 38. – С. 76-87.
13. 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
14. Заблоцький 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.

15. Заблоцький Ю.В., Сагін А.С. Визначення динамічних навантажень під час зміни режимів мащення прецизійних пар паливної апаратури судових 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 судових дизелів // *Суднові енергетичні установки*: науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – С. 17-30. doi: 10.31653/smf45.2022.17-30.
17. 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.
18. Сагін А.С. Корегування налаштування паливної апаратури високого тиску під час переведення судових дизелів на паливо з низьким вмістом сірки // *Автоматизація судових технічних засобів*: наук.-техн. зб. – 2023. – Вип. 28. – С. 67-78. DOI: 10.31653/1819-3293-2023-1-28-67-78.
19. 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.
20. Левченко О.В., Ганношина І.М., Остапчук Т.В. Система інформаційного забезпечення процесів прийняття рішень на мості судна // *Водний транспорт*: Збірник наукових праць. – 2025. – Вип. 1(42). – С. 24-27. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.04.
21. 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.
22. Заблоцкий Ю.В., Солодовников В.Г. Снижение энергетических потерь в топливной аппаратуре судовых дизелей // *Проблеми техніки: наук.-виробн. журнал*. – 2013. – № 3. – С. 46-56.
23. Сагін С.В., Столярик Т.О. Динаміка судових дизелів під час використання 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.
24. 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.
25. 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>.

26. 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.
27. 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. – С.109-118.
28. 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.
29. 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).
30. 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>.
31. Левінський М.В., Левінський В.М. Вибір параметрів системи стабілізації курсу судна при дії водно-хвильових збурень // *Автоматизація суднових технічних засобів*: наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 26. – С. 27-40. DOI: [10.31653/1819-3293-2020-1-26-27-40](https://doi.org/10.31653/1819-3293-2020-1-26-27-40).

REFERENCES

1. Petrychenko O., Levinskyi M., Goolak S., Lukoševičius V. (2025). Prospects of Solar Energy in the Context of Greening Maritime Transport. Sustainability. 17, 2141. <https://doi.org/10.3390/su17052141>.
2. Kuropyatnyk O.A. Reduction of NO_x emission in the exhaust gases of low-speed marine diesel engines. (2018). Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. P. 7-8. 37-42.
3. Poberezhniy R.V., Sagin S.V. Zabezpechenya ekologichnykh pokaznikov dizeliv suden richkovogo ta morskogo transport. (2020). Ship power plants. 41. P. 5-9. DOI:10.31653/smf340.2020.5-9.
4. Sagin S., Sagin A. (2023). 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. 5 (1(73)). P. 37-43. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290198>.

5. Goolak S., Riabov I., Petrychenko O., Kyrychenko M., Pohosov O. (2025). The simulation model of an induction motor with consideration of instantaneous magnetic losses in steel. *Advances in Mechanical Engineering*. 17(2). doi:10.1177/16878132251320236.
6. Zablotskyi Yu.V. (2020). Pidvishenya palivnoi ekonomichnosti sudnovih dizelnih ustanovok. *Visnik Odeskogo nacionalnogo morskogo universitetu*. 2. P. 106-119. DOI: 10.47049/2226-1893-2020-1-106-119.
7. Levchenko O.V., Maranov O.V. (2025). Integration of combined decision support systems to ensure navigational safety and optimize vessel traffic in port areas. *Water transport*. 1(42). P. 99-108. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.14.
8. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. (2021). Using exhaust gas bypass for achieving the environmental performance of marine diesel engines. *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*. 7-8. P. 36-43. [https://doi.org/ 10.29013/AJT-21-7.8-36-43](https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-36-43).
9. Rusnak D.Y., Sagin S.V. (2020). Zabezpechenya ekologichnich vumog pri ultrazvukovii desulphurizacii vuglevodnich paliv. *Ship power plants*. 40. P. 49-54. DOI: 10.31653/smf340.2020.49-54.
10. Zablotskyi Yu.V. (2020). Pidvishenya ekonomichnosti roboti sudnovih dizeliv. *Ship power plants*. 40. P. 12-16. DOI: 10.31653/smf340.2020.12-16.
11. Levchenko O. (2021). Synthesis of vessels' options in dangerous situations taking into account time and resource restrictions in vessel DSS. *Water transport*. 3(34). 89-98. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.10.
12. Zablotskyi Yu.V. (2018). Zнизheniya teplovoi napruzhenosti sugnovih dizeliv za rahunok vikoristannya prisadok do paliva. *Ship power plants*. 38. P. 76-87.
13. Petrychenko O., Levinskyi M. (2024). Trends and preconditions for widespread adoption of liquefied natural gas in maritime transport. *Transport Systems and Technologies*. 43. P. 21-36. DOI:10.32703/2617-9059-2024-43-2.
14. Zablotskyi Yu.V. (2015). Issledovanie vliyaniya ogranicheskikh pokritii na rabotu elementov toplivnoi apparatury vysokogo davleniya sudovih dizelei. *Ship power plants*. 35. P. 83-92.
15. Zablotskyi Yu.V., Sagin A.S. (2022). Vznacheniya dunamichnih navantazhen pid chas zmini rezhimiv mashchennya preciziinich par palivnoi aparatury sudnovih diziliv. *Ship power plants*. 44. P. 121-131. doi: 10.31653/smf44.2022.121-131.
16. Sagin A.S., Zablotskyi Yu.V. (2022). Regeneraciya zmashuvalnih vlastivostei motornih paliv i mastil pid chas ekspluatacii sudnovih diziliv. *Ship power plants*. 45. P. 17-30. doi: 10.31653/smf45.2022.17-30.
17. Zverkov D.O., Sagin S.V. (2020). Zнизheniya mechanichnich vtrat u sudnovich dizelyach. *Ship power plants*. 41. P. 20-25. DOI: 10.31653/smf341.2020.20-25.

18. Sagin A.S. (2023). Koreguvannya nalashtuvannya palivnoi aparaturi visokogo tisku pid chas perevedennya sudnovih diziliv na palivo z nizkim vmistom sirki. Automation of ship technical facilities. 28. P. 67-78. DOI: 10.31653/1819-3293-2023-1-28-67-78.
19. Sagin S., Kuropyatnyk O., Tkachenko I. (2022). Ensuring the environmental friendliness of marine diesel engines of specialized ships. Ship power plants. 45. P. 5-16. doi: 10.31653/smf45.2022.5-16.
20. Levchenko O.V., Hannoshyna I.M., Ostupchuk T.V.(2025). Information support system for decision-making processes on the bridge of a ship. Water transport. 1(42). P. 24-27. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.04.
21. Zablotskyi Yu.V. (2023). Znizhennya vtrat energii pid chas zabezpechennya procesiv mashennya sudnovih dviguniv vnutrishnogo zgoryannya. Ship power plants. 47. P. 23-31. doi: 10.31653/smf47.2023.23-31.
22. Zablotskyi Yu.V., Solodovnikov V.G. (2013). Snizhenie energeticheskikh poter v toplivnoi apparature sudovih dizelei. Снижение энергетических потерь в топливной аппаратуре судовых дизелей. Problemi tehniki. 3. P. 46-56.
23. Sagin S.V., Stolyaryk T.O. (2021). Dinamika sudnovih dizeliv pid chas vikoristanya motornich mastil z rizmimi structurnimi harakteristikami. Automation of ship technical facilities. 27. P. 108-119. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-108-119.
24. Marchenko O.O., Sagin S.V. (2020). Vdoskonalenyia procesu ochishenya sudnovih vazhkih paliv. Ship power plants. 41. P. 10-14. DOI: 10.31653/smf341.2020.10-14.
25. Sagin A.S., Zablotskyi Yu.V. Reliability maintenance of fuel equipment on marine and inland navigation vessels. (2021). Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. 7-8. P. 14-17. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-14-17>.
26. Sagin S.V. (2019). Opredelenie diapazona stratafikatsii vyazkosti smazoch-nogo msteriala v tribologicheskikh sistemah sudnovih diziliv. Visnik Odes-kogo nacionalnogo morskogo universitety. 1. P. 89-100.
27. Matskevich D.V., Sagin S.V., Hanmamedov S.A. (2010). Izmenenie reolo-gicheskikh harakteristik smazochnih materialiv v tsirkulyatsionnoi maslyanoi sistemi v protsessi ekspluatatsii sredneovorotnogo dvigatelya. Ship power plants. 25. P. 109-118.
28. Levinskyi M.V.; Shapo V.F. (2021). Adaptive control for technological type control objects. Advances in Intelligent Systems and Computing. 1231. P. 565-575. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52575-0_47.
29. Gorb S., Levinskyi M., Budurov M. (2021). Sensitivity Optimisation of a Main Marine Diesel Engine Electronic Speed Governor. Scientific Horizons. 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).
30. Gorb S., Popovskii A., Budurov M. (2023). Adjustment of speed governor for marine diesel generator engine. International Journal of GEOMATE. 25(109). P. 125-132. DOI: <https://doi.org/10.21660/2023.109.m2312>.

31. Levinskyi M.V., Levinskyi V.M. (2020). Choosing the structure and parameters of vessel's course automatic control system under the influence of water-wave disturbances. Automation of ship technical facilities. 26. P. 27-40. DOI: 10.31653/1819-3293-2020-1-26-27-40.

Стаття надійшла до редакції 15.09.2025

Посилання на статтю: Сагін С.В., Куропятник О.А. Оцінка можливості використання гідрованого рослинного мастила як палива в суднових дизелях // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць, 2025. № 4 (78). С. 81-96. DOI 10.47049/2226-1893-2025-4-81-96.

Article received 15.09.25

Reference a Journal Artic: Sagin S., Kuropyatnyk O. Assessment of the possibility of using hydrotreated vegetable oil as fuel in marine diesel engines // *Herald of the Odesa National Maritime University*: Coll. scient. works, 2025. № 4 (78). P. 81-96. DOI 10.47049/2226-1893-2025-4-81-96.