

РІЧКОВИЙ ТА МОРСЬКИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 621.181.2

DOI <https://doi.org/10.33082/td.2020.2-7.08>

ЕКОЛОГІЯ ТА ЕКОНОМІЯ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА В НАУКОВОМУ ОГЛЯДІ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЙОГО СПАЛЮВАННЯ

А.Г. Данилян¹, І.З. Маслов², Н.Б. Тірон-Воробйова³

¹старший викладач кафедри суднових енергетичних установок і систем,
Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»,
Ізмаїл, Одеська область, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-9468-2756

²к.т.н., доцент, завідувач кафедри суднових енергетичних установок і систем,
Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»,
Ізмаїл, Одеська область, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-1759-6077

³к.т.н., доцент кафедри загальнонаукових дисциплін,
Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»,
Ізмаїл, Одеська область, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-8269-2682

Анотація

Вступ. Різноманіття використовуваного палива й різних сумішей, включаючи гомогенізоване паливо на суднах річкового й морського флоту, постійно зростає за номенклатурою та якістю свого вмісту, що забезпечує зниження шкідливих викидів та економію енергетичного ресурсу. Аналітичне вивчення основних напрямів у використанні дизельного палива з різними домішками й компонентами на суднах відкриває додаткові можливості у вишукуванні резервів для постійно зростаючих вимог до екологічного вдосконалення сучасного водного транспорту. **Мета.** Стаття має на меті в певній послідовності показати нові сучасні наукові підходи в технології обробки дизельного палива і його різні варіації використання. Поділитися власним науково-дослідним досвідом, отриманим у результаті випробувань на річкових і морських суднах паливних нанокаталізаторів і гомогенізованого палива. Застосування спиртів із мінімальними добавками дизельного палива розкрито в деталях табличним методом за своїми фізичними й хімічними показниками й характеристиками, де зроблено певні дослідження в пріоритетності його застосування на суднах. Показані позитивні сторони роботи суднових дизелів Fuel Dual на природному газі LPG і рідкому паливі з високим рівнем зниження шкідливих викидів в атмосферу, де практично до нуля зведені CO і зниження CO₂ становить 20 %. **Результати.** Проаналізовано науково-дослідну роботу Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія» у використанні водно-паливної емульсії та каталізаторів палива укра-

їнського виробництва, здатних реструктурувати легке дизельне паливо. У першому й у другому випадку отримано обнадійливі результати зниження шкідливих викидів в атмосферу в газах суден Українського Дунайського пароплавства й морських суден рибного промислу однією з індійських флотилій, де було отримано економію палива в 17,5 % за час путини в Індійському океані. На випробуванні паливних каталізаторів проводилася попередня діагностика технічного стану двигунів і його паливної апаратури. Додатково були проведені випробування на предмет граничного ресурсу використання каталізатора, який склав 500 тонн легкого дизельного палива. **Висновки.** У науковій статті показано переваги й недоліки використання різних видів сучасного палива і його суміші з різноманітними включеннями й компонентами. Визначено нові сучасні наукові напрями для подальшої науково-дослідної роботи.

Ключові слова: гомогенізація, водно-паливна емульсія, паливний каталізатор, етанол, метан, цетан.

ECOLOGY AND SAVINGS OF DIESEL FUEL IN THE SCIENTIFIC REVIEW OF NEW TECHNOLOGIES OF ITS COMBUSTION

A.H. Danylyan¹, I.Z. Maslov², N.B. Tiron-Vorobiova³

¹Senior Lecturer at the Department of Ship's Power Plants and Systems,
Danube Institute

of the National University "Odessa Maritime Academy",
ORCID ID: 0000-0002-9468-2756

²Ph.D. in Technical Sciences,

Associate Professor, Head of the Department of Ship's Power Plants and Systems,
Danube Institute

of the National University "Odessa Maritime Academy",
ORCID ID: 0000-0003-1759-6077

³Ph.D. in Technical Sciences,

Associate Professor at the Department of General Scientific Disciplines,
Danube Institute

of the National University "Odessa Maritime Academy",
ORCID ID: 0000-0002-8269-2682

Summary

Introduction. The variety of fuels used and various mixtures, including homogenized fuel on river and sea vessels, is constantly growing in terms of the nomenclature and quality of its content, which ensures the reduction of harmful emissions and saves energy resources. An analytical study of the main directions in the use of diesel fuel with various impurities and components on ships opens up additional opportunities in finding reserves for the constantly growing requirements for the environmental improvement of modern water transport. **Purpose.** This article aims to show, in a certain sequence, new modern scientific approaches in the technology of processing diesel fuel and its various variations of use. Share your own research experience gained as a result of tests on river and sea vessels of fuel nano catalysts and homogenized fuels. The use of alcohols with minimal additions of diesel fuel is disclosed in detail by the tabular method according to its physical and chemical indicators and characteristics, where certain studies have been made in the priority of its use on ships. The positive aspects of the operation of

*Fuel Dual marine diesel engines on natural gas LPG and liquid fuel with a high level of reduction of harmful emissions into the atmosphere are shown, where CO is practically zero and the reduction of CO₂ is 20 %. **Results.** The research work of the Danube Institute NU "OMA" in the use of WFE and Ukrainian-made fuel catalysts capable of restructuring light diesel fuel is analyzed. In the first and second cases, encouraging results were obtained in reducing harmful emissions into the atmosphere in the exhaust gases of the vessels of the Ukrainian Danube Shipping Company and sea fishing vessels of one of the Indian flotilla, where a fuel saving of 17.5 % was obtained during the fishing season in the Indian Ocean. During the testing of fuel catalysts, preliminary diagnostics of the technical condition of engines and its fuel equipment was carried out. Additionally, tests were carried out for the ultimate resource of the catalyst, which amounted to 500 tons of light diesel fuel. **Conclusions.** The scientific article shows the advantages and disadvantages of modern fuel use of various types of fuels and its mixture with various inclusions and components. New modern scientific directions for further research work have been identified.*

Key words: homogenization, WFE, fuel catalyst, ethanol, methane, cetane.

Вступ. Світовий розвиток економіки став великим стимулом зростання виробництва в різних сферах діяльності людини, що привело до значного використання енергетичних ресурсів, і зокрема до споживання вуглеводневого палива, практично у всіх сферах транспорту.

Морський і річковий флот є складовою ланкою Світового транспорту, де використання різних сортів дизельного палива перевищує 267 млн т за підсумками 2019 р. [1]. Останнім часом у зв'язку з підвищеними вимогами на флоті до екологічності викидів в атмосферу суднових двигунів і котлоагрегатів судновласники почали активну роботу з переоснащення дизельних двигунів і встановлення на новоспоруджуваних суднах енергетичних установок, які працюють на зрідженому природному газі – CH₄. Це дозволяє працювати флоту відповідно до постійно зростаючих вимог, що висуваються до викидів в атмосферу суднових установок із великим запасом цих шкідливих показників.

Підходи до питання екології та економії палива в різних країнах відрізняються від загальноприйнятих норм і вимог. Досить згадати результати голосування на Паризькій конференції 2016 р. із питання зниження викидів CO₂ в атмосферу, де за прийняття резолюції відмовилися голосувати дві країни: Китай і США. Викиди діоксиду вуглецю CO₂ у цих країнах складають від загального обсягу світових викидів 36 %. Використання високосірчистих сортів палива до 4 % залишається нормою в окремих країнах Індокитаю, але все менше й менше залишається країн, що бажають завдавати непоправної шкоди навколишньому середовищу.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Для визначення поставлених нами цілей нам необхідна методика й інструментарій, загальноприйняті в практиці подібних досліджень. Існує спеціальна методика розрахунку шкідливих викидів у відпрацьованих газах (далі – ВГ) суднових двигунів внутрішнього згоряння (далі – СДВЗ), яка дозволяє перевірити ще раз дані, отримані газоаналізатором. Під час проведення експерименту ряд показників було перевірено ще раз, що дозволило переконатися в правильності показань приладу [2].

Під час розгляду ряду напрямів екології викидів у газах суднових двигунів внутрішнього згоряння, наприклад, у таких країнах, як США й ряду країн Латинської Америки, йде випередження використання спиртів у добавках до дизпалива в порівнянні з використанням природного газу й водно-паливної емульсії (далі – ВПЕ).

Таблиця 1

Фізико-хімічні властивості найпростіших спиртів

Показники	Спирти							
	метанол	етанол	n-пропанол	ізопропанол	n-бутанол	вторбутанол	третбутанол	ізобутанол
Формула	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH	C ₃ H ₇ OH	C ₃ H ₇ OH	C ₄ H ₉ OH	C ₄ H ₉ OH	C ₄ H ₉ OH	C ₄ H ₉ OH
Молекулярна маса	32,04	46,07	60,10	60,10	74,12	74,12	74,12	74,12
Густина при 20 °С, кг/м ³	791,7	789,0	803,5	785,1	809,8	806,0	788,7	802,1
В'язкість кінематична при 20 °С, мм ² /с	0,75	1,00	2,81	3,09	3,60	5,22	4,20	4,50
Поверхневий натяг при 20 °С, мН/м	22,1	22,0	23,8	21,7	24,2	23,0	–	22,1
Цетанове число	5	8	–	–	18	–	15	–
ОЧ по моторному методу	98	99	–	90	87	–	95	94
ОЧ по дослідному методу	112	111	–	110	–	112	–	113
Температура плавлення, °С	–97,8	–114,6	–126,2	–89,5	–89,8	–114,7	25,5	–108,0
Температура кипіння, °С	64,7	78,4	97,2	82,4	117,5	99,5	82,9	108,4
Критична температура, °С	249,4	243,7	263,7	233,6	288,6	264,0	235,0	271,0
Критичний тиск, Мпа	8,02	6,38	5,10	5,38	4,68	4,53	4,96	4,58
Температура спалаху, °С	10,0	12,2	23,0	13,0	34,0	24,0	10,0	28,0
Температура самозаймання, °С	464	426	371	–	345	–	480	390
Концентровані межі самозаймання, %	6,7–36,5	3,2–19,0	2,1–13,5	2,2–13,0	1,8–12,0	1,9–7,9	–	1,8–7,3
Теплота згоряння нижча, кДж/кг	19 760	26 800	30 700	32 800	33 100	–	–	32 980
Кількість повітря, яка необхідна для згоряння 1 кг речовини, кг	6,49	9,01	10,36	10,36	11,20	11,20	11,20	11,20
Теплота випаровування, кДж/кг	1 115	870	749	670	591,2	562,4	535,4	578,4
Тиск насичених парів при 0,1 МПа та 20 °С, кПа	24,6	12,2	2,0	5,2	0,8	2,4	5,6	1,2
Теплоємність С _p при 0,1 МПа та 20 °С, Дж/(кг·град)	2,51	2,47	2,45	2,68	2,43	2,73	–	2,38
Склад, % по масі								
С	37,5	52,2	60,0	60,0	64,8	64,8	64,8	64,8
Н	12,6	13,1	13,4	13,4	13,6	13,6	13,6	13,6
О	49,9	34,7	26,6	26,6	21,6	21,6	21,6	21,6
Розчинність у воді при 20 °С, г/100 г води	не обмежена	не обмежена	добра	добра	10,0	12,5	не обмежена	11,1
ГДК робочої зони, мг/м ³	5	1 000	10	980	10	150	300	150

Примітка: ОЧ – октанове число, ГДК – гранично-допустима концентрація

Таблиця 2

Вартість етанолу на світовому ринку

Країна	Вартість (євро/м ³)
Бразилія	160
Бразилія (безводний спирт)	220
США (безводний спирт)	250
Європа (безводний спирт із цукрового буряку)	350–450
Імпорт спирту в Європу	190

Розглядаючи енергетичні й хімічні показники спиртів, очевидними стають показники етанолу, що характеризує його як екологічно чистий і менш небезпечний у використанні енергетичної сировини. Не випадково в цих країнах його використання стає дедалі більше в обсягах, приносячи значні прибутки його виробникам.

Перехід на етанол у суміші 85 % етанолу, 15 % бензину (приблизно такий же відсоток становить етанол у дизельному паливі) дозволяє широко використовувати це паливо як в автомобільному, так і в річковому й морському транспорті [3].

Мета статті. Визначення найкращих шляхів використання вуглеводневого палива й економія його витрат шляхом зниження шкідливих викидів в атмосферу у ВГ енергетичних установок суден.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Хороші європейські напрацювання зарекомендували себе на транспорті у використанні ріпакової олії, досягнутий показник утилізації харчових масел до 70 % їх використання у двигунах внутрішнього згоряння. Перспективним вважається використання харчових масел у дизельних двигунах через свою низьку вартість і можливості його отримання частково шляхом утилізації та хорошою врожайністю ріпакової, соєвої, соняшникової олії.

Різноманіття біопалива, включаючи спирти й рослинні харчові й технічні сорти масел, створюють широкий простір для науково-дослідної роботи у створенні сумішевих та емульгованих компонентів для спалювання їх у дизельних двигунах.

Науково-технічний прогрес відкрив нові можливості гомогенізації рідкого вуглеводневого палива, створюючи найдосконаліші суміші ВПЕ, що досягають своєї однорідності до 24 місяців. Ця перевага є основоположною в судновій енергетиці, яка повністю дозволить позбавитися від паливопідготовки на судні ВПЕ. Цей метод був запропонований групою вчених та інженерів Дунайського інституту Національного університету «ОМА» [4]. Подібна суміш води й палива буде готуватися в промислових масштабах на берегових і плавучих бункерувальних базах.

Автори статті є випробувачами паливних каталізаторів Fuel Well науково-виробничої компанії (далі – НВК) «Еко-Авто-Титан» (Україна) для використання їх на річкових і морських суднах, також вони можуть використовуватися на автомобільному й залізничному транспорті. Каталізатор являє собою складну суміш хімічних реагентів, здатних реструктурувати дизельне паливо, змінюючи його характеристики горіння в кращу сторону (рис. 1) [5].

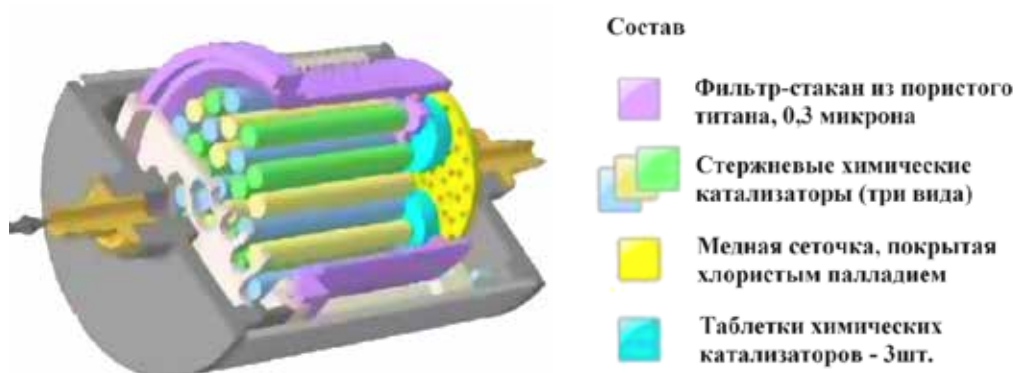


Рис. 1. Паливний каталізатор Fuel Well ФПТ 14 ДМ

Використовувані на Світовому морському й річковому флоті каталізатори з очищення випускних газів дизельних установок поділяються на два типи: скрубери й каталізатори у вигляді синтетичних фільтрів, які встановлюються на газовипускній системі двигуна. Перші встановлюються на двигунах підвищеної потужності від 20 тис. кВт і вище, другі – це компактні модулі, що, як правило, не потребують додаткового очищення, а просто замінні, які приходять у непридатність. Ці пристрої були продиктовані необхідністю виконання Резолюції ММО МЕРС 203 (62) [6].

Результати досліджень. Методика розрахунку окремих показників шкідливих викидів у ВГ СДВЗ:

Під концентрацією сажі розуміють її масову частку в сухих відпрацьованих газах, яка визначається за показаннями димоміра або перерахунком з оптичної щільності відпрацьованих газів. Оптична щільність відпрацьованих газів визначається в %.

Для перекладу вмісту сажі в одиницю маси використовується робоча формула:

$$C_c = 1,262 \cdot 10^{-4} \cdot \kappa^2 - 1,98 \cdot 10^{-3} \cdot \kappa + 3,67 \cdot 10^{-2} \text{ г/м}^3, \quad (1)$$

де C_c – вміст дисперсного вуглецю у ВГ; κ – коефіцієнт ослаблення світлового потоку за паспортом димоміра.

Під концентрацією окису вуглецю розуміють об'ємну або масову частку CO в сухих відпрацьованих газах. Перерахунок концентрації здійснюється за формулою:

$$C_{CO} \text{ г/м}^3 = 12,5 C_{CO} \% \text{ обсягу.} \quad (2)$$

Під оксидами азоту розуміють суміш різних оксидів азоту, окрім закису N_2O , що утворилася в циліндрі в процесі згоряння палива. Під концентраціями оксидів азоту – об'ємну або масову частку в сухих відпрацьованих газах двоокису азоту NO_2 в припущенні, що всі оксиди виду NO_x перетворені в еквівалентну кількість NO_2 . Перерахунок концентрацій проводиться за формулою:

$$C_{NO_2} \text{ г/м}^3 = 20,5 C_{NO_2} \% \text{ обсягу.} \quad (3)$$

Питомий викид окисів азоту NO_x та окису вуглецю CO визначається за формулами:

$$L_{\text{NO}_x} = \frac{5,72 \cdot 10^4 \text{NO}_x (G_{\text{air}} - 0,000974G_f)}{N_e}, \quad (4)$$

$$L_{\text{CO}} = \frac{3,48 \cdot 10^4 \text{CO}(G_{\text{air}} - 0,000974G_f)}{N_e}, \quad (5)$$

де NO_x і CO – концентрація окисів азоту й окису вуглецю, %; G_{air} – витрата повітря, кг/с; G_f – витрата палива, г/с; N_e – ефективна потужність дизеля на режимі випробувань, кВт.

G_{air} – витрата повітря – визначається за формулою, кг/с:

$$G_{\text{air}} = \alpha_\Sigma \cdot L_m \cdot G_f \cdot 28,95 / 3600, \quad (6)$$

де α_Σ – сумарний коефіцієнт надлишку повітря; G_f – витрата палива, кг/год; L_m – теоретична кількість повітря, необхідна для згоряння 1 кг палива використовуваного складу, моль/кг (для палива складу $\text{C} = 66\%$; $\text{H} = 13\%$; $\text{O} = 1\%$: $L_m = 0,495$ моль/кг).

Під час проведення аналізу складу відпрацьованих газів значення α_Σ визначається за формулою:

$$\alpha_\Sigma = 1 / 1 - 3,76 \text{O}_2/\text{N}_2. \quad (7)$$

Вміст азоту в продуктах згоряння підраховується за формулою:

$$\text{N}_2 = 100 - (\text{CO}_2 + \text{O}_2), \quad (8)$$

де N_2 , CO_2 , O_2 – вміст у продуктах згоряння азоту, вуглекислого газу й кисню у відсотках за обсягом.

Під час розрахунку за прийнятими питомими викидами шкідливих речовин значення α_Σ визначається за формулою:

$$\alpha_\Sigma = \alpha \cdot \alpha_1 / \eta_n, \quad (9)$$

де α – коефіцієнт надлишку повітря під час згоряння палива ($\alpha = 1,8 - 2,0$); α_1 – коефіцієнт надлишку продувного повітря, $\alpha_1 = 1,05 - 1,15$: для 4-хтактних дизелів; $\alpha_1 = 1,8 - 1,4$: для 2-хтактних дизелів; η_n – коефіцієнт наповнення циліндра ($0,8 - 0,9$: для 4-хтактних дизелів, $0,7 - 0,9$: для 2-хтактних дизелів); (менші значення: для дизелів без наддуву).

Умовна витрата відпрацьованих газів визначається за формулами:

– для 4-хтактних дизелів:

$$V_H = \frac{V_n n}{120}; \quad (10)$$

– для 2-хтактних дизелів:

$$V_H = \frac{V_n n}{60}, \quad (11)$$

де V_n – сумарний робочий об'єм циліндрів дизеля, дм^3 ; n – частота обертання колінчастого вала дизеля, м^{-1} .

Очікувані результати досліджень припускають визначити ефективність різних напрямів у використанні розглянутих методів і науково обґрунтованих технологій, впроваджуваних на суднах; розробити методики розрахунку показників якості, екологічності використання біопалива, ВПЕ, каталізаторів структурування палива й каталізаторів очищення випускних газів суднових дизелів; отримати рекомендації для практичного використання на морському й річковому флоті всього спектру результатів дослідження з різними видами палива та їх сумішшю.

Розглянуте біопаливо, як основний енергетичний ресурс у використанні його на морських і річкових суднах дає значні переваги в питаннях зниження шкідливих викидів в атмосферу й економії палива. На тлі постійного коливання цін на світовому нафтовому ринку використання біопалива забезпечує стабільну економію коштів у його використанні. Значуща перевага біопалива полягає в тому, що воно добре поєднується з нафтовими продуктами, а також здатне до створення ВПЕ. Проведені дослідження Світовими науковими центрами в багатьох країнах показали його екологічність, фіксуючи хороші результати в зниженні оксиду азоту NO_x на 20–30 %, викидів сажі до 40 %, окису вуглецю CO до 45 %; економія палива за результатами випробувань, проведених на річкових і морських суднах, склала в межах 5–10 %. На ряду зі своїми перевагами в процесі досліджень були виявлені й недоліки біопалива. Низьке цетанове число призводить до поганого запуску дизеля та його жорсткої роботи, що позначається на циліндро-поршневій групі (далі – ЦПГ) двигуна, знижуючи її моторесурс [7].

Широко використовується природний газ метан для роботи суднових дизелів, так званих двигунів категорії Dual Fuel, здатних працювати як на природному газі, так і на рідкому паливі. Особливістю цих двигунів є те, що вони мають високий рівень екологічності викидів газів, що відходять в атмосферу. За показником діоксиду вуглецю CO_2 зниження становить до 20 %. Викиди оксиду азоту NO_x (Nitrogen oxide) знижуються на 80 %, викиди оксиду сірки SO_x (Sulphur oxide) повністю виключені. Вартість таких двигунів у 1,5–1,7 раза вище рідкопаливних, зберігання та бункерування скрапленого метану $-162\text{ }^\circ\text{C}$ вимагає значних витрат для його вмісту в криотанках, де випаровування зрідженого газу протягом доби становить до 1,5 % від його обсягу, що зобов'язує встановлювати додаткове обладнання зі зворотної регенерації газу в його рідку фазу. Робота двигуна на маневровому режимі на мінімально стійких оборотах допускається тільки на рідкому паливі згідно з вимогами наглядових органів. Судна малого тоннажу останнім часом стали використовувати компримирований (стиснений) метан під тиском до 1500 барів у спеціальних місткостях, розташованих вище ватерлінії судна [8].

Використання ВПЕ на суднах морського й річкового флоту відбувається досить повільно через певні технічні труднощі, пов'язані з приготуванням і зберіганням такої суміші, тут, на жаль, присутній і морський консерватизм на тлі зниження Світових цін на вуглеводневе паливо. Як було сказано вище в статті, останнім часом вдалося досягти високої однорідності ВПЕ в тривалому періоді її зберігання завдяки останнім досягненням науково-технічного прогресу у використанні наноприправок у вуглеводневому паливі й створенні кавітаційних гомогенізаторів із додатковим блоком електромагнітного розряду [9]. У Дунайському

інституті Національного університету «Одеська морська академія» (далі – НУ «ОМА») були проведені натурні випробування на суднах Українського Дунайського пароплавства з використанням виробленого на річковому буксирі-штовхачі «Прага» ВПЕ, на якому один із двигунів 8 NVD 48 AU2 з «будівельною» потужністю $N_e = 736$ кВт відпрацював 50 годин і показав певні позитивні результати, які були зафіксовані сучасним газоаналізатором TESTO-350 та електронним димоміром ДЕП-2. Визначення непрямих і прямих показників роботи двигуна проводилися електронним індикатором фірми LOUTER. На випробуваному двигуні були отримані такі результати: зниження NO_x склало до 29 %, CO_x – до 35 %, зниження температури відпрацьованих газів склало 25 °С. Після випробувань був проведений порівняльний аналіз ЦПГ головних двигунів, де було виявлено зменшення нагароутворення та зниження його твердості до пухкого стану в порівнянні з деталями двигуна – працював на чистому паливі. Робоча суміш ВПЕ була виготовлена на гомогенізаторі мембранного типу з 15 % вмістом води в легкому паливі [10].

Особливим розділом наукової статті є питання вивчення роботи суднових каталізаторів. Один із них працює з реструктуруванням палива й знаходиться в постійному полі уваги інженерів і вчених Дунайського інституту НУ «ОМА». За спільним укладеним договором між інститутом і науково-виробничою компанією НВК «Еко-Авто-Титан» (Україна) проводяться дослідження на річкових і морських суднах каталізаторів лінійки FUEL WELL різних модифікацій. За три роки було проведено чотири дослідження, три з яких проводилися на суднах Українського Дунайського пароплавства (далі – УДП), а одне – на риболовецькому морському судні в період путини в Індійському океані. Контроль проведених досліджень підтверджено сертифікованими організаціями України – інститутом Екології та енергозбереження на суднах пароплавства – й індійською компанією – Enggsol engineering India PVT LTD, enggsol.in/index.php – на риболовецькому судні протягом 11-денної путини. Показники зниження шкідливих викидів і контроль роботи двигунів проводився сучасними сертифікованими електронними приладами, які показали такі дані: NO_x : зниження 28 %, CO_x : зниження 50 %, зниження димності в газах понад 50 %. На суднах УДП економія палива не перевищувала 3 % через залишковий моторесурс головних двигунів, які перебувають у незадовільному технічному стані.

Перед випробуваннями суден УДП була протестована вибірково паливна апаратура одного з головних двигунів. Як виявилось, тиск уприскування форсунок становив від 220 до 250 барів замість покладеного тиску 350 барів. Плунжерні пари паливних насосів високого тиску мали граничні протікання палива, що не дозволяло забезпечити робочий тиск згідно з технічною інструкцією заводу будівельника. Індикацією двигунів зафіксовано великі перепади потужності, непрямих показників та основних показників по циліндрах. На відміну від двигунів суден УДП, двигун риболовецького судна знаходився в хорошому технічному стані, що дозволило зафіксувати економію палива за весь період рейсу 17,5 %. Таку економію підтвердила своїм сертифікатом індійська сторона [11]. Каталізатори НВК «Еко-Авто-Титан» (Україна) були додатково протестовані нашим інститутом на предмет їхнього граничного ресурсу роботи, який склав понад 500 тонн обробки легкого дизельного палива. Остання договірна ціна каталізатора для двигуна потужністю $N_e = 1000$ кВт становила 14 тис. умовних одиниць.

Використовувані каталізатори, що встановлюються на вихлопному тракті двигуна, такі як скрубери з ефектом барботування випускних газів двигуна, дозволяють знизити NO_x до 80 %, але є досить габаритними пристроями, не вміщаються в машинному відділенні судна й розташовуються, займаючи великий простір на верхній палубі судна. Вартість скрубера для двигунів великотоннажних суден становить від 1 до 2 млн євро із щорічним обслуговуванням від 400 до 700 тис. євро. До недоліків каталізаторів, встановлених на випускному тракті двигуна, відносять те, що вони створюють додатковий опір руху випускних газів, підвищуючи тим самим витрати палива, й вимагають додаткового видалення нагароутворювальних відкладень [12].

Висновки. Розгляд різних методів паливopідготовки й спалювання палива, ВПЕ й сумішей палив, використання газоподібного й біопалива для СДВЗ у науковому аспекті дозволяють зробити висновки, що багато питань, що розкриваються в статті, вимагають додаткових досліджень і наукових обґрунтувань. Перспективи використання поза сумнівом є для кожного напрямку описаного в статті, але пріоритетом залишаються наукомісткі напрями з використанням останніх досягнень нанотехнологій, хвильової механіки, електроімпульсних розрядів різних частот і багато іншого.

ЛІТЕРАТУРА

1. Fuel Digest. Блог глобального споживання палива. 2019. URL: <https://www.deive2.ru>.
2. Методичні вказівки щодо розрахунку викидів забруднюючих речовин в атмосферу. Міністерство річкового флоту РСФСР, 1987. С. 2–18.
3. Биотоплива для двигателей внутреннего сгорания / В.А. Марков и др. Москва : НДЦ «Инженер» (союз НДО), 2016. 292 с.
4. Данилян А.Г. , Чимшир В.І., Найдъонов А.І. Перспективи переходу суден річкового флоту на водопаливну емульсію. *Вісник Одеського національного університету*. № 2 (44). Одеса, 2015. С. 121–127.
5. Данилян А.Г. Звіт про науково-дослідну роботу щодо впровадження фільтра-перетворювача палива виробництва НПФ ТОВ «Еко-Авто-Титан» для зниження шкідливих викидів в газах судових дизелів. Дунайський інститут національного університету «ОМА», 2018. 22 с.
6. ММО Резолюція МЕРС. 203 (62). Прийнята 15 липня 2011 року (Включення правил енергоефективності для суден в Додаток V до конвенції МАРПОЛ). 24 с.
7. Вальехо Мальдонадо П.Р., Марков В.А., Бірюков В.В. Дослідження займистості емульсій рапсового масла і етанолу. *Вісник МДТУ ім. Н. Е. Баумана. Машинобудування*. 2016. № 5. С. 109.
8. Луцкевич А.М., Крестьянцев А.Б. Використання ЗПГ на водному транспорті: утопія чи розумний вибір? Москва : Вид-во ФГУП «Криловський державний науковий центр», 2014. 34 с.
9. Економія палива. Виробництво вододизеля. Водно-паливної емульсії ВПЕ. 2020. URL: <https://www.globecore.com>.
10. Найдъонов А.І. Покращення екологічних показників річкового судна засобом гомогенізації дизельного палива : автореф. дис. ... канд.

техн. наук. Ізмаїл : Видавництво Дунайського інституту НУ «ОМА», 2020. С. 17.

11. Сертифікат випробувань паливного каталізатора Fuel Well «Еко-Авто-Титан», Україна, на риболовецькому судні в Індійському океані компанією Enggsol Engineering India PVT LTD. URL: <http://enggsol.in/index.php>.
12. Семанов Г.Н. Шкідливі викиди в атмосферу від суден на шляху до стандартизації ІМО. Санкт-Петербург : Вид-во Наука і транспорт. Морський і річковий транспорт. 2013. С. 45–47.

REFERENCES

1. Fuel Digest Blog of global fuel consumption [Fuel Digest Bloh hlobalnoho spozhyvannia palyva]. [Electronic resource] M., 2019. URL: <https://www.deive2.ru> [in Russian].
2. Guidelines for calculating emissions of pollutants into the atmosphere (1987) [Metodychni vказivky shchodo rozrakhunku vykydiv zabrudniuiuchykh rehovyn v atmosferu]. Ministry of River Fleet of the RSFSR, 2–18 [in Russian].
3. Markov, V.A etc. (2016). Biofuels for internal combustion engines [Biopalyvo dlia dvyhunyv vnutrishnoho zghoriannia] M. : NDC “Engineer” (union of NGOs), 292 [in Russian].
4. Danylyan, A.G , Chymshyr, V.I, Naydyonov A.I. (2015). Prospects for the transition of river fleet vessels to water-fuel emulsion [Perspektyvy perekhodu suden richkovoho flotu na vodopalyvnu emulsiuu]. Bulletin of Odessa National University. No 2 (44), pp. 121–127 [in Russian].
5. Danylyan, A.G. (2018). Report on research work on the implementation of a fuel filter-converter manufactured by NPF LLC “Eco-Auto-Titan” to reduce harmful emissions in the gases of marine diesels [Zvit pro naukovodoslidnu robotu shchodo vprovadzhennia filtra-peretvoriuvacha palyva vyrobnytstva NPF TOV “Eko-Avto-Tytan” dlia znyzhennia shkidlyvykh vykydiv v hazakh sudnovykh dizeliv]. Danube Institute of the National University “OMA”, 22 [in Ukrainian].
6. IMO MERS Resolution. 203(62) [IMO Rezoliutsiia MERS 203 (62)]. – Adopted on 15 July 2011 (Inclusion of energy efficiency rules for ships in Annex V to the MARPOL Convention), 24 [in Ukrainian].
7. Vallejo Maldonado, P.R, Markov, V.A, Biryukov, V.V. (2016). Investigation of flammability of rapeseed oil and ethanol emulsions [Doslidzhennia zaimystosti emulsii rapsovoho masla i etanolu]. Bulletin of Moscow State Technical University. N. E. Bauman. Engineering, No 5, 109 [in Russian].
8. Lutskevich, A.M, Krestyantsev, A.B (2014). LNG use in water transport: a utopia or a wise choice? [Vykorystannia ZPH na vodnomu transporti: utopiia chy rozumnyi vybir?]. Published by FSUE “Krylov State Research Center”. Moscow, 34 [in Russian].
9. Fuel economy. Production of water diesel. Water-fuel emulsion VPE. (2020). [Ekonomiia palyva. Vyrobnytstvo vododyzelia. Vodno-palyvnoi

- emulsii VPE]. [Electronic resource]. URL: <https://www.globecore.com> [in Russian].
10. Naydyonov, A.I. (2020). Improving the environmental performance of a river vessel by means of homogenization of diesel fuel [Pokrashchennia ekolohichnykh pokaznykh richkovoho sudna zasobom homohenizatsii dyzelnoho palyva]. Abstract of the dissertation for the degree of candidate of technical sciences. Publishing house of the Danube Institute NU “OMA”, 17 [in Ukrainian].
 11. Test certificate for fuel catalyst Fuel Well “Eco-Auto-Titan”, Ukraine on a fishing vessel in the Indian Ocean [Sertyfikat vyprobuvan palyvnoho katalizatora Fuel Well “Eko-Avto-Tytan”]. Enggsol Engineering India PVT LTD, e-mail: enggsol.in/index.php
 12. Semanov, G.N. (2013). Harmful emissions from ships on the way to IMO standardization [Shkidlyvi vykydy v atmosferu vid suden na shliakhu do standartyzatsii IMO]. St. Petersburg : Publisher Science and Transport. Sea and river transport, pp. 45–47 [in Russian].