

УДК 629.5

ARTICLE HISTORY

Received 20.02.2023

Accepted 27.02.2023

Мадей Володимир Васильович¹, Волков Олександр Миколайович²,
Сагін Сергій Сергійович³
НУ «Одеська морська академія», Одеса, Україна
v.madey@gmail.com¹, shvolk81@gmail.com¹,
sergeysagin20@gmail.com³

Корегування навігаційного переходу під час забезпечення екологічних показників роботи суднових дизелів

Madey Volodymyr¹, Volkov Oleksandr², Sagin Sergii³
NU "Odessa Maritime Academy", Odessa, Ukraine
v.madey@gmail.com¹, shvolk81@gmail.com¹,
sergeysagin20@gmail.com³

Correction of the navigation passage while ensuring the environmental performance of marine diesel engines

Резюме – Розглянута можливість корегування навігаційного переходу судна класу General Cargo дедвейтом 10820 т між портами Бразилії та Карибського басейну з урахуванням забезпечення постійної роботи суднових чотиритактних дизелів 5DC-17A фірми Daihatsu Diesel на суміші моторного палива та біопалива. Експериментально доведено, що при цьому підвищується екологічність роботи суднових дизелів.

Abstract – The possibility of correction the navigation passage of a General Cargo class ship with a deadweight of 10,820 tons between the ports of Brazil and the Caribbean basin was considered, taking into account the constant operation of the ship's four-stroke diesel 5DC-17A of the Daihatsu Diesel company on a mixture of motor fuel and biofuel. It has been experimentally confirmed that this increases the environmental friendliness of the operation of marine diesel engines.

DOI: 10.31653/1819-3293-2023-1-28-52-66

Морській та внутрішній водний транспорт, під час забезпечення перевезення вантажів та пасажирів, споживає велику кількість палива. Найбільш економічним з теплових двигунів, що встановлюються на морських та річкових судах, є дизелі. В порівнянні з газовими турбінами та паровими котлами суднові дизелі характеризуються найменшою питомою витратою палива (для сучасних моделей її значення не перевищує 175 ... 180 г/(кВт·год) для двотактних дизелів та 190 ... 195 г/(кВт·год) для чотиритактних). Найбільш розповсюдженим типом судового палива є рідке паливо нафтового походження. Використання газоподібного палива, а також його сумішей з рідким паливом знаходить поширення лише на спеціалізованих судах класів LNG та LPG, на який це паливо транспортується як вантаж. При цьому, як правило, його використання можливо впродовж лише «вантажного» переходу. Після вивантаження судна та під час його повернення в баласті експлуатація дизелів здійснюється на рідкому паливі [1, 2].

Експлуатація судових дизелів супроводжується неминучим забрудненням довкілля випускними газами, до складу яких входять токсичні компоненти – оксиди сірки, азоту та вуглецю. Оксиди сірки та азоту в подальшому конденсуються в повітрі та перетворюються в кислоти, які повертаються на поверхню Світового океану, острівну або материкову частину Землі [3, 4]. Оксиди вуглецю залишаються в атмосфері та руйнують озоновий шар, а також зменшують енергетичну ефективність судна [5, 6]. Це спонукає посилювати вимоги, що висувуються до екологічних показників роботи енергетичних установок суден морського та внутрішнього водного транспорту, а саме:

- розширювати спеціальні зони контролю викидів оксидів сірки з випускними газами – Sulfur Emission Control Areas [7];

- регламентувати рівень концентрації оксидів азоту в випускних газах [8];

- обмежувати викиди оксидів вуглецю [9].

Особо гострою проблема забезпечення екологічності судових двигунів внутрішнього згорання (зокрема по викидам оксидів азоту) стала для чотиритактних дизелів через використання в них важких та середньоважких моторних палив. Скорочений (в порівнянні з двотактними дизелями) час перебігу робочого циклу цих дизелів призводить до окислення азоту в випускному колекторі (в умовах знижених температур). Це зсуває механізм утворення оксидів азоту з швидкого до теплового, що сприяє збільшенню їх загальної кількості в випускних газах. Це викликає необхідність постійного контролю

вмісту оксидів азоту в випускних газах, особливо під час знаходження суден в спеціальних екологічних зонах або в прибережних акваторіях [10].

Викладене є однією із причин використання в судновій енергетиці альтернативних видів палива не нафтового походження, які сприяють зниженню шкідливих складових випускних газів та підвищують екологічність роботи суднових дизелів. Одним з видів альтернативного палива є паливо біологічного походження, яке отримують з рослинних жирів та олій шляхом етерифікації метанолом чи етанолом [11]. Відповідно до Євростандарту EN 14214 «Паливо для двигунів внутрішнього згорання. Метиллові ефіри жирних кислот», подібні палива позначаються як FAME – Fatty Acid Methyl Ester, та рекомендуються для використання в дизелях, що встановлені на автомобільному та залізничному транспорті, а також дизелях електричних станцій. Обмеження поширення біодизельного палива в суднових енергетичних установках пов'язано з відносно невеликим строком його зберігання (що змушує скорочувати обсяги його бункерування та стає підставою неможливості його використання під час тривалих океанських переходів) та відсутністю цього палива в деяких морських портах (які розташовані поза районами його виробництва або зберігання). Ще одним з недоліків біодизельного палива є його зменшена (порівняння з паливом нафтового походження) теплотворна здатність, яка не перевищує 37000 ... 37500 кДж/кг. Це не дозволяє використовувати біодизельне паливо як окреме джерело отримання енергії та викликає необхідність виготовлення паливних сумішей, частину яких (70 ... 90 %) складає нафтове (суднове моторне) паливо, решту – біодизельне. З урахуванням відповідності питомої маси біодизельного та суднового моторного палива, використання подібних сумішей забезпечує поступове впровадження біодизельного палива в суднових енергетичних установках під час експлуатації суднових дизелів. Безумовною перевагою використання сумішей біодизельного та суднового моторного палива є поліпшення екологічних показників роботи суднових дизелів, яке виявляється в суттєвому зниженні концентрації оксидів сірки, азоту та вуглецю в випускних газах [12, 13].

Одним з завдань, що потрібно розв'язувати під час використання біодизельного палива, є визначення його обсягу під час бункерування судна. При цьому потрібно враховувати термін зберігання біопалива, його витрату та можливість поповнення запасів. Конструкція суднових паливних систем не передбачає транспортування та збереження біопалива в танках запасу палива, в відстійних або витратних танках.

Ці ємкості спроектовані та розраховані для суднового моторного палива (дизельного, або важкого). Тому постачання біопалива під час бункерування виконується в бочкотарі об'ємом до 200 літрів. Їх збереження здійснюється на відкритих палубах судна (що неможливо для деяких типів суден) та безпосередньо в машинному відділенні судна (що суттєво зменшує кількість біопалива). Це вимагає постійного поповнення запасів біопалива, при цьому період отримання біопалива (в разі його постійного використання в суднових дизелях) менший за період отримання моторного палива. Важливим фактором під час отримання біопалив є необхідність повернення порожньої бочкотарі після його використання (тобто зменшення запасів біопалива не зменшує об'єм суднових приміщень, які це паливо займає). Під час визначення необхідного обсягу біопалива необхідно також враховувати його оптимальну концентрацію в паливній суміші з нафтовим паливом. Через обмежений обсяг біопалива, отримання та збереження якого можливо на борту судна, паливні суміші, до яких воно входить, використовують в суднових допоміжних дизелях, які (порівнянні з головними, через меншу потужність мають меншу годинну / добову або рейсову витрату палива).

Світовими лідерами з виробництва біопалива є Бразилія (у Південній Америці), США (у Північній Америці), Німеччина в країнах ЄС, Індонезія в Азіатському та Тихоокеанському басейні. Але при цьому не в кожному морському порту є можливість отримання біопалива – з метою його подальшого використання в суднових дизелях. Це призводить до лише періодичного використання біопалива під час забезпечення роботи дизелів та зменшення їх екологічної стійкості.

Метою дослідження є корегування переходу судна класу General Cargo дедвейтом 10820 т між портами Бразилії та Карибського басейну з урахуванням забезпечення постійної роботи суднових допоміжних дизелів 5DC-17A фірми Daihatsu Diesel на суміші моторного палива та біопалива (це, в свою чергу, сприятиме підвищенню екологічності роботи дизелів через зниження емісії оксидів азоту). До основних характеристик дизелів відносяться:

частота обертання колінчатого валу – $n=1000 \text{ хв}^{-1}$;

ефективна потужність на номінальному режимі роботи – $N_{\text{еном}}=490 \text{ кВт}$;

питома ефективна витрата палива в діапазоні експлуатаційних навантажень $(0,6 \dots 0,95)N_{\text{еном}} - 0,194 \dots 0,186 \text{ кг/(кВт}\cdot\text{год)}$;

кількість дизелів в складі суднової допоміжної енергетичної установки – 3.

Принципова схема витратної паливної системи суднових дизелів 5DC-17A фірми Daihatsu Diesel з урахуванням можливості виготовлення та використання паливної суміші до складу якої входить біопаливо та суднове моторне паливо, надана на рис. 1.

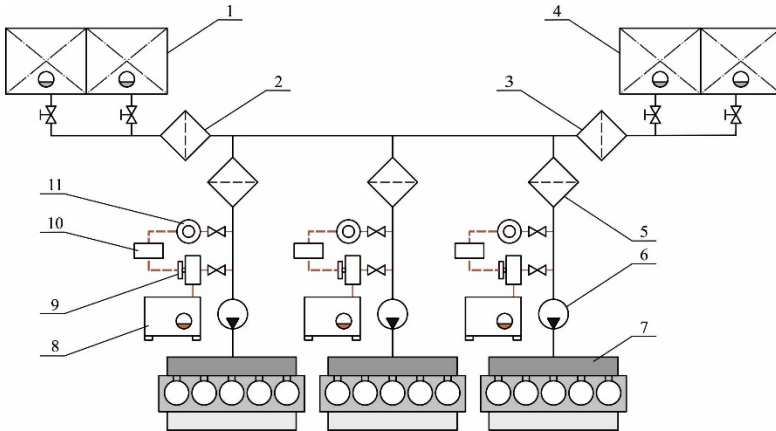


Рис. 1. Принципова схема паливної системи суднових дизелів 5DC-17A фірми Daihatsu Diesel:

- 1 – витратна цистерна дизельного (легкого) паливна DMA10;
 2, 3 – паливний фільтр грубого очищення; 4 – витратна цистерна середньоважкого паливна RMB30; 5 – паливний фільтр тонкого очищення; 6 – паливний насос; 7 – дизель; 8 – цистерна біопалива; 9 – дозатор; 10 – мікроконтролер; 11 – витратомір

Робота паливної системи відбувалась в такий спосіб. Експлуатація дизелів виконувалась на дизельному (легкому) паливі DMA10 (з вмістом сірки 0,08 %) або на середньоважкому паливі RMB30 (з вмістом сірки 0,36 %), характеристики яких забезпечували якісне утворення їх сумішей з біопаливом [14, 15]. 3 витратних цистерн 1 або 3 (в залежності від умов експлуатації дизеля) паливо DMA10 або RMB30 через фільтр грубого очищення 2 або 4 надходило до паливних насосів 6 і далі прямувало до дизелів 7. Додаткове очищення палива забезпечувалась за допомогою фільтра тонкого очищення 5. В магістралі дизелів додатково встановлювалися витратна цистерна біопалива 8, дозатор 9 та витратомір 11 [16, 17]. Як біопаливо використовувалось паливо B99.9 FAME. Необхідна кількість біопалива в паливній суміші забезпечувалась за допомогою мікроконтролера 10 [18].

Перехід здійснювався за маршрутом Сан-Паулу (Бразилія) – Ріо-де-Жанейро (Бразилія) – Салвадор (Бразилія) – Форталеза (Бразилія) – Порт Спейн (Тринідад та Тобаго) – Пуерто Кабело (Венесуела) – Кінгстон (Ямайка) – Гавана (Куба). Зворотній перехід Гавана – Сан-Паулу виконувався в баласті.

Під час переходу загальне навантаження на суднові допоміжні дизелі 5DC-17A фірми Daihatsu Diesel змінювалось в діапазоні 350 ... 750 кВт, але для розрахунків приймалось середньозважене навантаження, яке розраховувалось в такій спосіб:

$$\overline{N}_e^x = 0,65 N_{\text{енном}} n_{\text{дд}}^x, \quad (1)$$

де 0,65 – прийнятий середньозважений коефіцієнт навантаження під час роботи суднових дизелів 5DC-17A фірми Daihatsu Diesel на переході (якій в тому числі враховує втрати під час перетворення теплотворної здатності палива в корисну енергію [19-21]); $n_{\text{дд}}^x$ – кількість допоміжних дизелів, що забезпечували енергетичні потреби судна під час переходу (для ходового режиму роботи приймалось $n_{\text{дд}}^x = 2$).

$$\text{Тоді } \overline{N}_e^x = 0,65 \cdot 490 \cdot 2 = 637 \text{ кВт.}$$

Витрата біопалива під час переходу

$$B_{\text{БП}}^x = \overline{N}_e^x b_e^x C_{\text{БП}} T_i^x, \quad (2)$$

де b_e^x – питома ефективна витрата палива на ходовому режимі, що відповідає обраному навантаженню, кг/(кВт·год); $C_{\text{БП}}$ – концентрація біопалива в паливній суміші з нафтовим паливом; T_i^x – час переходу судна між портами, год.

Під час стоянки з вантажними операціями загальне навантаження на суднові допоміжні дизелі 5DC-17A фірми Daihatsu Diesel змінювалось в діапазоні 850 ... 1200 кВт, але для розрахунків приймалось середньозважене навантаження,

$$\overline{N}_e^c = 0,75 N_{\text{енном}} n_{\text{дд}}^c, \quad (3)$$

де 0,75 – прийнятий середньозважений коефіцієнт навантаження під час роботи суднових дизелів 5DC-17A фірми Daihatsu Diesel на стоянці з вантажними операціями [22, 23]; $n_{\text{дд}}^c$ – кількість допоміжних дизелів, що забезпечували енергетичні потреби судна під час стоянки з вантажними операціями (приймалось $n_{\text{дд}}^c = 3$).

$$\text{Тоді } \overline{N}_e^c = 0,75 \cdot 490 \cdot 3 = 1103 \text{ кВт.}$$

Витрата біопалива під час стоянки з вантажними операціями

$$B_{\text{БП}}^{\text{с}} = \overline{N_e^{\text{с}}} b_e^{\text{с}} C_{\text{БП}} T_i^{\text{с}}, \quad (4)$$

де $b_e^{\text{с}}$ – питома ефективна витрата палива під час стоянки з вантажними операціями, що відповідає обраному навантаженню, кг/(кВт·год); $T_i^{\text{с}}$ – час стоянки з вантажними операціями, год.

Для ходового режиму роботи з урахуванням середньозваженого коефіцієнту навантаження значення питомої ефективної витрати палива приймалось $b_e^{\text{с}} = 0,192$ кг/(кВт·год). Для режиму стоянки з вантажними операціями цей показник приймався $b_e^{\text{с}} = 0,188$ кг/(кВт·год). Визначення цих показників виконувалось експериментально, шляхом вимірювання витрати палива та часу роботи дизелів на обраних режимах [24, 25]. Похибка в вимірюваннях не перевищувала 1,5 %. Вказані значення збігаються з показниками, що визначені в інструкції з експлуатації дизелів.

Сумарна витрата біопалива, яка необхідна для забезпечення роботи суднових допоміжних дизелів 5DC-17A фірми Daihatsu Diesel за час переходу між портами та під час стоянки в одному з портів з вантажними операціями

$$\Sigma B_{\text{БП}} = B_{\text{БП}}^{\text{х}} + B_{\text{БП}}^{\text{с}}. \quad (5)$$

Розрахунок значень витрати біопалива за різних морських переходів та різних умов експлуатації, відповідно до рівнянь (2), (4), (5), а також значення відстані між портами та часу переходу між ними та часу стоянки в портах надані у табл. 1.

Бункерування біопаливом під час переходів (для розглянутого району плавання) можливо лише в наступних портах: Сан-Паулу, Форталеза, Пуерто Кабельо, Гавана. З урахуванням конструкційних особливостей палубного простору, технічних приміщень та машинного відділення судна вони були здатні до розміщення 25-ти 200 літрових бочок з біопаливом. Таким чином, обсяг біопалива під час проведення бункерування не перевищував 5000 літрів. З метою забезпечення роботи суднових допоміжних дизелів 5DC-17A фірми Daihatsu Diesel на паливній суміші (яка складається з судового моторного палива та біопалива) на всьому протязі переходу (в тому числі для переходу Гавана – Сан-Паулу, якій виконувався в баласті) та підтримання екологічних показників їх роботи, схема навігаційного переходу була корегована відповідно до табл. 2.

Таблиця 1

Розрахунок витрати біопалива для різних умов навігаційного переходу

Морський перехід	Відстань між портами, морські милі	Час переходу, год	Середньозважена потужність дизелів під час переходу, кВт	Витрата біопалива під час переходу, кг/год	Час стоянки, год	Середньозважена потужність дизелів під час стоянки, кВт	Витрата біопалива під час стоянки, кг/год	Сумарна витрата біопалива, кг/год
Сан-Паулу – Ріо-де-Жанейро	210	21	637	385	12	1103	373	758
Ріо-де-Жанейро – Салвадор	749	75	637	1376	16	1103	497	1873
Салвадор – Форталеза	798	80	637	1468	9	1103	280	1747
Форталеза – Порт Спейн	1663	166	637	3045	14	1103	435	3481
Порт Спейн – Пуерто Кабельо	392	39	637	715	11	1103	342	1057
Пуерто Кабельо – Кінгстон	690	69	637	1266	8	1103	249	1515
Кінгстон – Гавана	743	74	637	1358	18	1103	560	1917

Дані, що наведені в табл. 2, свідчать про можливість забезпечення необхідних запасів біопалива на всіх ділянках навігаційного переходу. Подальше виготовлення та використання паливних сумішей, до складу яких входить біопаливо, буде сприятиме підвищенню екологічності роботи судових допоміжних дизелів.

Таблиця 2

Корегована схема навігаційного переходу
Сан-Паулу – Гавана – Сан-Паулу

Морський перехід	Витрата біопалива під час переходу, кг/год	Витрата біопалива під час стоянки, кг/год	Характеристика переходу	Сумарна витрата біопалива між проведенням бункерування, кг/год
Сан-Паулу – Ріо-де-Жанейро	385	373	бункерування, перехід, вантажні операції	4379
Ріо-де-Жанейро – Салвадор	1376	497	перехід, вантажні операції	
Салвадор – Форталеза	1468	280	перехід, вантажні операції	
Форталеза – Порт Спейн	3045	–	бункерування, перехід	4102
Порт Спейн – Пуерто Кабельо	715	342	перехід, вантажні операції	
Пуерто Кабельо – Кінгстон	1266	249	бункерування, перехід, вантажні операції	3433
Кінгстон – Гавана	1358	560	перехід, вантажні операції	
Гавана – Кінгстон	1358	–	бункерування, перехід	2624
Кінгстон – Пуерто Кабельо	1266	–	перехід	
Пуерто Кабельо – Порт Спейн	715	435	бункерування, перехід, вантажні операції	4195
Порт Спейн – Форталеза	3045	–	перехід	
Форталеза – Салвадор	1468	–	бункерування, перехід	3229
Салвадор – Ріо-де-Жанейро	1376	–	перехід	
Ріо-де-Жанейро – Сан-Паулу	385	–	перехід	

Під час проведення досліджень на протязі всього навігаційного переходу контролювались основні енергетичні [26], теплові [27] та екологічні [28] показники роботи суднових дизелів 5DC-17A фірми Daihatsu Diesel. Їх значення не перевищувало критичних величин та відповідало вимогам, що висуваються з боку міжнародних класифікаційних товариств та фірм-виробників дизелів та їх допоміжного обладнання. Всі показники контролювались та фіксувались за допомогою програмного забезпечення для управління активами на судах [29]. Поточні та кінцеві показники роботи судна та його енергетичної установки оформлювались як звіти та надавались до відділу технічного менеджменту компанії [30, 31].

Наведені результати дозволяють зробити наступні висновки.

Забезпечення екологічної ефективності суднових чотиритактних дизелів щодо зменшення емісії оксидів азоту з випускними газами можливо шляхом використання паливних сумішей, які складаються з судового моторного палива та палива біологічного походження (біопалива). Поповнення запасів біопалива на теперішній час можливо ще не в кожному з портів, в яких виконується бункерування судна, також через конструкційні особливості судна (палубного простору, технічних приміщень та машинного відділення) під час бункерування на судні можливо розмістити лише обмежений обсяг біопалива. Це є причиною лише періодичного використання біопалива під час забезпечення роботи дизелів та призводить до зменшення їх екологічної стійкості.

В разі, коли навігаційний перехід судна включає порти, які дозволяють отримання біопалива в обсязі, що забезпечує роботу дизелів під час подальшого переходу до інших портів, становиться доцільним його корегування, яке з одного боку забезпечує виконання рейсового завдання, з іншого – надає можливість поповнити запаси біопалива. Останнє сприяє забезпеченню роботи суднових дизелів на паливній суміші, до складу якої входить біопаливо та підвищує їх екологічні показники.

Зроблені розрахунки щодо корегування навігаційного переходу між портами Бразилії та Карибського басейну (у деяких з яких була можливість отримання біопалива) підтверджують можливість поповнення запасів біопалива в обсязі, що забезпечує безперервну роботу суднових дизелів на паливній суміші судового моторного палива та біопалива. Корегування навігаційного переходу найбільш доцільно виконувати шляхом зміни послідовності заходів у порти.

Запропонований варіант корегування навігаційного переходу доцільно використовувати під час експлуатації суден морського та внутрішнього водного транспорту в особливих екологічних районах.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

1. Заблоцкий Ю.В., Куропятник А.А. Повышение топливной экономичности и экологических параметров работы судовых дизелей при использовании присадок к топливу // *Austria-science*. – 2017. – № 2. – С. 83 – 88.
2. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В., Перунов Р.В. Технология использования и результаты испытаний присадок к топливам для судовых дизелей // *Проблеми техніки: наук.-виробн. журнал*. – 2012. – № 3. – Одеса: ОНМУ. – С. 84 – 103.
3. Побережний Р.В., Сагин С.В. Забезпечення екологічних показників дизелів суден річкового та морського транспорту // *Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб.* – Вип. 41. – Одеса: НУ «ОМА». – 2020. – С. 5 – 9.
4. Сагин С.В., Куропятник А.А. Оптимизация режимов работы системы перепуска выпускных газов судовых среднеоборотных дизелей // *Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб.* – 2019. – Вип. 25. – Одеса: НУ «ОМА». – С. 79 – 89.
5. Горб С.И. Мониторинг энергоэффективности судов // *Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб.* – 2015. – Вип. 21. – Одеса: НУ «ОМА». – С. 48 – 53.
6. Сагин С.В. Реология моторных масел при режимах пуска и реверса судовых малооборотных дизелей // *Universum. Технические науки*. – 2018. – Вип. 3(48). – С. 67 – 71.
7. Sagin S.V., Kuropyatnik A.A. Application of the system of recirculation of exhaust gases for the reduction of the concentration of nitric oxides in the exhaust gases of the ship diesels // *American Scientific Journal*. – 2017. – № 15. – Iss. 2. – P. 67 – 71.
8. Куропятник А.А., Сагин С.В. Управление выпускными газами судовых дизелей для обеспечения экологических показателей // *Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сборник*. – 2018. – Вип. 24. – Одеса: НУ «ОМА». – С. 72 – 80.
9. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Píšťek V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 10(9). – P. 1331.

10. Sagin S. V., Kuropyatnyk O. A., Zablotskiy Yu. V. Gaichenia O. V. Supplying of Marine Diesel Engine Ecological Parameters // *Nase More: International Journal of Maritime Science & Technology*. – 2022. – Vol. 69. – Iss. 1. – P. 53 – 61.

11. Мадей В.В. Використання альтернативного палива в суднових середньооборотних дизелях // *Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб.* – 2021. – Вип. 43. – Одеса: НУ «ОМА». – С. 45 – 53.

12. Сагін С.В., Мадей В.В., Сагін А.С. Робота суднового дизеля на біодизельному паливі // *Автоматизація суднових технічних засобів: наук.-техн. зб.* – 2021. – Вип. 27. – Одеса: НУ «ОМА». – С. 93 – 107.

13. Мадей В.В. Використання в суднових дизелях паливних сумішей до складу яких входить паливо біологічного походження // *Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб.* – 2022. – Вип. 44. – Одеса: НУ «ОМА». – С. 93 – 110.

14. Madey V.V. Usage of biodiesel in marine diesel engines // *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*. – 2021. – № 7-8. – P. 18 – 21.

15. Sagin S., Madey V., Stoliaryk T. Analysis of mechanical energy losses in marine diesels // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2021. – № 5 (2 (61)). – P. 26 – 32.

16. Поповский А.Ю., Сагин С.В. Комплексная оценка эксплуатационных характеристик смазочных углеводородных жидкостей // *Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб.* – 2014. – Одесса: ОНМА. – Вып. 20. – С. 74 – 83.

17. Поповский А.Ю., Сагин С.В. Оценка эксплуатационных свойств смазочно-охлаждающих жидкостей судовых технических средств // *Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб.* – 2016. – Вып. 22. – Одесса: ОНМА. – С. 66 – 74.

18. Горб С.И. Оптимизация главного двигателя на режиме экономического хода судна // *Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб.* – 2019. – Вып. 25. – Одесса: НУ «ОМА». – С. 17 – 34.

19. Сагин С. В., Заблоцкий Ю. В. Влияние анизотропных жидкостей на работу узлов трения судовых дизелей // *Проблемы техники: наук.-виробн. журнал*. – 2012. – № 4. – Одесса: ОНМУ. – С. 68 – 81.

20. Сагін С.В. Зниження енергетичних втрат в прецизійних парах паливної апаратури суднових дизелів // *Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб.* – 2018. – Вип. 38. – Одеса: НУ «ОМА». – С. 132 – 142.

21. Сагин С.В., Заблоцкий Ю.В. Определение триботехнических характеристик поверхностей по степени упорядоченности пристенных

слоев углеводородных жидкостей // Проблемы техники: наук.-виробн. журнал. – 2011. – № 3. – Одесса: ОНМУ. – С. 78 – 88.

22. Sagin S.V. Decrease in mechanical losses in high-pressure fuel equipment of marine diesel engines // Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”, Beijing. – 2019. – Part 1. – P. 139 – 145.

23. Зверьков Д.О., Сагин С.В. Сниження механічних втрат у судових дизелях // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 40. – Одеса: НУ «ОМА». – С. 20 – 25.

24. Горб С.И. Повышение точности численного моделирования рабочих процессов дизелей // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2020. – Вып. 26. – Одесса: НУ «ОМА». – С. 3 – 26.

25. 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. – Вып. 25. – Одесса: ОНМА. – С.109 - 118.

26. Поповский Ю. М., Сагин С. В., Ханмамедов С. А., Гребенюк М. Н., Терегеря В. В. Влияние анизотропных жидкостей на работу узлов трения // Вестник машиностроения. – 1996. – № 6. – С. 7 – 11.

27. Gorb S.I., Budurov M.I. Increasing the accuracy of a marine diesel engine operation limit by thermal factor // International Review of Mechanical Engineering. – 2021. – Vol. 15(3). – P. 115 – 121.

28. 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.

29. Горб С.И., Горб А.С. Программное обеспечение для управления активами на судах // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сборник. – 2018. – Вып. 24. – Одесса: ОНМА. – С. 34 – 48.

30. Горб С.И., Каменева А.В. Модель базы данных для модуля идентификации пользователей в системе технического менеджмента судов // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2015. – Вип. 21. – Одесса: НУ «ОМА». – С. 54 – 59.

31. Горб С.И., Каменева А.В., Запороженко Н.В. Модернизация структуры упрощённой системы технического менеджмента судов // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2016. – Вип. 22. – Одесса: ОНМА. – С. 33 – 38.

Анотація – Розглянута можливість корегування навігаційного переходу судна класу General Cargo дедвейтом 10820 т між портами Бразилії та Карибського басейну з урахуванням забезпечення постійної роботи суднових чотиритактних дизелів 5DC-17A фірми Daihatsu Diesel на суміші моторного палива та біопалива. Як моторне використовувалось паливо DMA10 (з вмістом сірки 0,08 %) та паливо RMB30 (з вмістом сірки 0,36 %), характеристики яких забезпечували якісне утворення їх сумішей з біопаливом B99.9 FAME. Виготовлення паливної суміші здійснювалось безпосередньо на судні під час експлуатації суднових дизелів. Експериментально доведено, що забезпечення екологічної ефективності суднових чотиритактних дизелів щодо зменшення емісії оксидів азоту з випускними газами можливо шляхом використання паливних сумішей, які складаються з суднового моторного палива та палива біологічного походження (біопалива). Визначено, що поповнення запасів біопалива на теперішній час можливо ще не в кожному з портів в яких виконується бункерування судна, також через конструкційні особливості судна (палубного простору, технічних приміщень та машинного відділення) під час бункерування на судні можливо розмістити лише обмежений обсяг біопалива. Це є причиною лише періодичного використання біопалива під час забезпечення роботи дизелів та призводить до зменшення їх екологічної стійкості. Встановлено, що в разі, коли навігаційний перехід судна включає порти, які дозволяють отримання біопалива в обсязі, що забезпечує роботу дизелів під час подальшого переходу до інших портів, становиться доцільним його корегування, яке з одного боку забезпечує виконання рейсового завдання, з іншого – надає можливість поповнити запаси біопалива. Останнє сприяє забезпеченню роботи суднових дизелів на паливній суміші, до складу якої входить біопаливо та підвищує їх екологічні показники. Зроблені розрахунки щодо корегування навігаційного переходу між портами Бразилії та Карибського басейну (у деяких з яких була можливість отримання біопалива) підтверджують можливість поповнення запасів біопалива в обсязі, що забезпечує безперервну роботу суднових дизелів на паливній суміші суднового моторного палива та біопалива. Запропонований варіант корегування навігаційного переходу доцільно використовувати під час експлуатації суден морського та внутрішнього водного транспорту в особливих екологічних районах.

Annotation – The possibility of adjusting the navigation passage of a General Cargo class ship with a deadweight of 10,820 tons between the ports of Brazil and the Caribbean basin was considered, taking into account the constant operation of the ship's four-stroke diesel engines 5DC-17A of the

Daihatsu Diesel company on a mixture of motor fuel and biofuel. DMA10 fuel (with a sulfur content of 0.08 %) and RMB30 fuel (with a sulfur content of 0.36 %) were used as motor fuel, the characteristics of which ensured the high-quality formation of their mixtures with B99.9 FAME biofuel. The production of the fuel mixture was carried out directly on the ship during the operation of the ship's diesel engines. It has been experimentally proven that ensuring the environmental efficiency of marine four-stroke diesel engines in terms of reducing the emission of nitrogen oxides with exhaust gases is possible by using fuel mixtures consisting of marine motor fuel and fuel of biological origin (biofuel). It was determined that the replenishment of biofuel reserves is currently not possible in each of the ports where the ship is bunkered, also due to the structural features of the ship (deck space, technical spaces and engine room), during bunkering on the ship it is possible to place only a limited volume of biofuel. This is the reason for the periodic use of biofuel only when ensuring the operation of diesel engines and leads to a decrease in their environmental sustainability. It has been established that in the case when the navigation passage of the ship includes ports that allow obtaining biofuel in the amount that ensures the operation of diesel engines during the further passage to other ports, it becomes expedient to adjust it, which, on the one hand, ensures the use of performance of the flight task, on the other hand, it provides an opportunity to replenish biofuel reserves. The latter contributes to ensuring the operation of marine diesels on a fuel mixture that includes biofuel and improves their environmental performance. Calculations made regarding the adjustment of the navigation transition between the ports of Brazil and the Caribbean basin (some of which had the possibility of receiving biofuel) confirm the possibility of replenishing the reserves of biofuel in the amount that ensures the continuous operation of ship diesels on a fuel mixture of marine motor fuel and biofuel. It is advisable to use the proposed variant of correction of the navigation passage during the operation of sea and inland water transport vessels in special ecological areas.