

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Одеська морська академія»

Мадей Володимир Васильович



УДК 629.5

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛІВ
МОРСЬКИХ СУДЕН ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВА
БІОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ**

Спеціальність 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2024

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Одеська морська академія» Міністерства освіти і науки (МОН) України.

Науковий керівник: **Волков Олександр Миколайович**,
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри судноводіння
Національного університету «Одеська морська
академія» МОН України.

Офіційні опоненти: **Білоусов Євген Вікторович**,
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри експлуатації суднових
енергетичних установок Херсонської державної
морської академії;
Варбанець Роман Анатолійович,
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри суднових енергетичних установок
і технічної експлуатації Одеського національного
морського університету.

Захист відбудеться 11 червня 2024 р. о 10-й годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01 в Національному університеті «Одеська морська академія» за адресою: 65052, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корп. 1, зала засідань Вченої ради.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету «Одеська морська академія» за адресою: м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корп. 2 та за електронною адресою:

<http://www.onma.edu.ua/zakhist-dissertatsiy>

Автореферат розісланий 8 травня 2024 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
д-р техн. наук, професор



Віталій НІКОЛЬСЬКИЙ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Морський та внутрішній водний транспорт під час перевезення вантажів та пасажирів, споживає велику кількість палива. Сучасні наукові проекти, спрямовані на використання сонячної енергії та енергії вітру, у морському транспорті можуть застосовуватись лише частково. Основним джерелом енергії для суднових енергетичних установок на найближчу перспективу залишиться рідке паливо. При цьому світові потреби в рідкому паливі постійно зростають, його природні запаси щорічно знижуються, обсяги видобутку регламентуються країнами-виробниками. Використання під час експлуатації морських засобів транспорту палив нафтового походження (дизельних або дистильованих) сприяє забрудненню довкілля шкідливими домішками, що входять до складу випускних газів, та зумовлює пошук шляхів підвищення екологічності роботи морських суден. Це, а також тенденція до виснажування природних запасів рідких вуглеводів, які є основною сировиною під час виготовлення палив нафтового походження, сприяє поширенню використання на морських судах палив біологічного походження.

Україна, як Європейська держава, імплементувала всі основні міжнародні резолюції та конвенції країн ЄС, у тому числі такі, що спрямовані на захист довкілля та насамперед Міжнародну конвенцію про запобігання забрудненню з суден – МАРПОЛ73/78, а також вимоги Міжнародної морської організації (International Marine Organization – IMO) щодо розробки плану управління енергоефективністю судна.

Усе це є однією з причин використання в судновій енергетиці альтернативних видів палива ненафтового походження. Інтенсивні дослідження можливості їх застосування проводять у даний час у різних країнах. При цьому відносно суден морських та річкових засобів транспорту не існує системних досліджень у цьому напрямку, таких, що комплексно охоплюють завдання використання в дизелях морських суден палива біологічного походження – від його бункерування до створення стійких сумішей з паливом нафтового походження та визначення оптимальних режимів його використання. Викладене підтверджує **актуальність** розв'язання науково-прикладного завдання щодо забезпечення екологічних та економічних показників роботи морських та річкових засобів транспорту під час використання в суднових дизелях палива біологічного походження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота пов'язана зі світовими тенденціями, що визначені в Транспортній стратегії України на період до 2030 року (розп. КМУ 30.03.18 р. № 430-р), а саме:

- використання високотехнологічних та ергономічних транспортних засобів, принципів мультимодальності, інтелектуальних транспортних систем, інформаційних технологій, електронного документообігу;
- покращення безпечності транспортних засобів;
- використання паливно-економічних та екологічних транспортних засобів, застосування альтернативних видів палива, «зелених» видів транспорту, пріоритетність потреб охорони навколишнього природного середовища та

збереження цінних природоохоронних територій під час розвитку транспортної інфраструктури.

Дослідження, результати яких наведені в роботі, виконувались згідно з держбюджетною науково-дослідною роботою Національного університету «Одеська морська академія» «Прогнозування експлуатаційного технічного стану суднової пропульсивної установки на основі контролю її вібраційно-коливальних характеристик» № ДР 0119U001654 (2021–2024 рр.), в якій автор дисертації брав участь як виконавець окремих розділів.

Дослідження, результати яких наведені в роботі, погоджуються з вимогами резолюції МЕРС.346(78) «Керівництво про розробку плану енергоефективності судна», що прийнята ІМО 10.06.22 р., стосовно рекомендацій щодо передової практики паливо-зберігаючої експлуатації суден та методології збору даних про витрату суднового палива, пройденої відстані та часу на переходах у годинах; вимогами резолюції МЕРС.324(75) «Поправки до Додатку VI до Конвенції МАРПОЛ (Процедури відбору проб та перевірки вмісту сірки в судновому паливі та конструктивний коефіцієнт енергоефективності)», що прийнята ІМО 20.11.20 р., стосовно контролю вмісту сірки в судновому паливі та розрахунку конструктивного коефіцієнта енергоефективності, а також з вимогами резолюції МЕРС.305(73) «Поправки до Додатку VI до Конвенції МАРПОЛ (Заборона на перевезення судна, що не відповідає вимогам суднового палива, призначеного для згоряння, з метою забезпечення руху або експлуатації судна)», що прийнята Міжнародною морською організацією 26.10.18 р., стосовно вмісту сірки в паливі, коли судно експлуатується в районі та за межами району контролю викидів.

Мета дослідження – підвищення екологічності роботи морських та річкових засобів транспорту.

Основною науковою гіпотезою дослідження є теза, що підвищення екологічності роботи морських та річкових засобів транспорту досягається використанням у суднових дизелях паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження з оптимальною концентрацією.

Для досягнення мети і підтвердження наукової гіпотези під час проведення досліджень розв'язувалися такі завдання.

Як **головне завдання** дослідження було визначено забезпечення екологічних та економічних показників роботи морських та річкових засобів транспорту під час використання в суднових дизелях палива біологічного походження.

Розв'язання головного завдання дисертаційного дослідження можливе за рахунок розв'язання наступних **допоміжних завдань**:

1) визначення ділянки витратної паливної системи дизелів морських засобів транспорту, найбільш доцільної щодо утворення паливної суміші, до складу якої входить паливо біологічного походження;

2) визначення діапазону доцільної концентрації біопалива в її суміші з паливом нафтового походження;

3) визначення критеріїв оцінки ефективності використання суміші, до складу якої входить паливо біологічного походження;

4) визначення оптимального складу паливної суміші, до складу якої входить паливо біологічного походження, для забезпечення експлуатаційних показників роботи дизелів морських суден.

Об'єкт дослідження – процес експлуатації дизелів морських та річкових засобів транспорту.

Предмет дослідження – процес забезпечення експлуатаційних показників роботи дизелів морських та річкових засобів транспорту під час використання паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження.

Під час дослідження використовувались емпіричні, комплексні та теоретичні **методи дослідження**:

- аналізу і синтезу, індукції та дедукції (під час інформаційного пошуку шляхів розв'язання завдань дослідження);
- діалектики, сходження від абстрактного до конкретного (під час розробки методології та визначення основних складових наукового дослідження);
- математичного моделювання, математичної статистики (під час розробки моделі предмета дослідження та обробки результатів випробувань);
- абстрагування, конкретизації (під час визначення впливу зовнішніх і внутрішніх збурень на об'єкт дослідження);
- спостереження, порівняння, вимірювання, експерименту (під час проведення випробувань на суднах морського транспорту).

Наукова новизна роботи полягає в тому, що підвищення екологічності роботи морських та річкових засобів транспорту досягається шляхом утворення стійких паливних сумішей з оптимальною концентрацією в цих сумішах палива біологічного походження та подальшою подачею цих сумішей у циліндри дизеля з оптимальними фазами впорскування.

У результаті дослідження вперше:

- запропоновано виготовлення паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження, виконувати безпосередньо перед паливним насосом, що підкачує паливо до паливної апаратури високого тиску дизеля;
- визначено, що найбільш доцільною концентрацією біопалива в його суміші з паливом нафтового походження є діапазон 5...20 % від загального об'єму паливної суміші,
- встановлено, що ефективність використання суміші, до складу якої входить паливо біологічного походження, найбільш доцільно оцінювати за значенням відносного зниження емісії оксидів азоту з випускними газами дизелів морських суден та за значенням відносного підвищення питомої витрати палива;
- запропоновано оптимальний склад паливної суміші, до складу якої входить паливо біологічного походження, визначати такою його концентрацією, за якою гарантується максимальне збільшення екологічних та мінімальне зниження економічних параметрів роботи судового дизеля з одночасним забезпеченням значення ефективної потужності дизеля.

Удосконалено:

- технологію створення стійких паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження;

- спосіб визначення оптимальної концентрації палива біологічного походження в його суміші з важким або дистильованим дизельним паливом;
- технологію управління екологічною безпекою суден морського транспорту під час використання в суднових дизелях палива біологічного походження.

Отримала подальший розвиток:

- технологія визначення витрат енергії, що необхідна для забезпечення екологічної стійкості суден морського транспорту;
- технологія корегування навігаційних переходів суден морського транспорту під час використання в суднових дизелях палива біологічного походження.

Практичне значення отриманих результатів полягає в такому:

- запропонована технологія, що сприяє утворенню стійких паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження, дозволяє виконувати використання цих сумішей під час експлуатації будь-яких типів суднових дизелів, забезпечує при цьому поліпшення їх екологічних показників роботи та сприяє екологічній стійкості та енергетичній ефективності засобів морського транспорту;
- розроблений алгоритм визначення оптимальних фаз подачі палива, за якими забезпечується підвищення екологічності роботи морських та річкових засобів транспорту, гарантує підтримання енергетичних показників роботи суднових дизелів.

Результати дисертаційного дослідження впроваджені:

- блок дозування, що забезпечує утворення стійких паливних сумішей, до складу яких входять палива біологічного та нафтового походження, – у паливній системі дизеля 6N165LW Yanmar судна класу General Cargo дедвейтом 14800 тонн, що сприяло більш ніж на 20 % зниженню емісії оксидів азоту та 15...20 % зниженню емісії оксидів вуглецю;
- вдосконалена паливна система, яка дозволяє утворювати та використовувати паливні суміші, до складу яких входить паливо біологічного походження, – на дизелі 5H17/28 Hyundai Heavy Industries спеціалізованого морського судна дедвейтом 9600 тонн, що для оптимального вмісту палива біологічного походження в складі паливної суміші забезпечило відносне зменшення концентрації оксидів азоту у випускних газах на 24,4...26,6 % та відносне зменшення об'ємного вмісту оксиду вуглецю у випускних газах на 18,9...23,6 %;
- технологія утворення паливних сумішей – у паливній системі суднового дизеля 6H17/28 Hyundai Heavy Industries спеціалізованого морського судна дедвейтом 14745 тонн, що забезпечило зниження на 18,3...23,3 % відносної зміни концентрації оксидів азоту у випускних газах, а також покращення експлуатаційних показників дизеля;
- технологія корегування навігаційних переходів суден морського транспорту під час використання палива біологічного походження, а також модуль підготовки паливних сумішей з оптимальним вмістом компонентів, що її складають, – у паливній системі суднового дизеля 5DC-17A Tier II Daihatsu Diesel

спеціалізованого морського судна дедвейтом 10820 тонн, що сприяло зниженню емісії оксидів азоту на 23,8...24,3 % та зниженню об'ємного вмісту оксиду вуглецю у випускних газах на 17,8...25,4 %;

- технологія забезпечення експлуатаційних показників роботи суднових дизелів шляхом корегування налаштування паливної апаратури високого тиску під час використання паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження, а також технологія управління екологічною безпекою суден морського транспорту шляхом використання палива біологічного походження – на суднових дизелях 5S60ME-C8.2 MAN-Diesel&Turbo та 6EY18ALW Yanmar судна класу Bulker Carrier дедвейтом 63246 тонн, що забезпечило поліпшення екологічних та підтримання енергетичних показників дизелів;

- в освітній процес Національного університету «Одеська морська академія» під час підготовки здобувачів наукових ступенів доктор філософії, магістр та бакалавр.

Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень і рекомендацій. Наукові положення та результати, що отримані в дисертаційному дослідженні достовірні, оскільки базуються на проведеному інформаційному пошуку, розробленій математичній моделі, збігу аналітичних та експериментальних значень досліджених параметрів, а також актах впровадження на енергетичних комплексах морських засобів транспорту.

Особистий внесок автора в отриманні наукових результатів полягає у:

- виконанні патентного та інформаційного пошуку, проведенні пошуку технічної інформації та наукових розробок, що односпрямовані з темою дисертації та напрямком наукового дослідження;

- розробці математичної моделі гідродинамічних процесів, що перебігають у паливних системах дизелів морських суден, а також процесів конвективної дифузії під час утворення паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження;

- модернізації суднових паливних систем під час проведення експериментальних досліджень, розробки технології проведення випробувань та її погодження з наглядовими товариствами;

- проведенні досліджень на суднових дизелях, обробці та аналізі отриманих результатів, розробці рекомендацій щодо їх впровадження на морських засобах транспорту.

З наукових робіт, опублікованих у співавторстві, у дисертації використані тільки ті положення, які належать автору особисто: [1] – проведення експериментальних досліджень, контроль та регулювання показників роботи суднового дизеля, обробка результатів експерименту, розробка рекомендацій щодо подальших досліджень; [4], [6] – модернізація суднової паливної системи з урахуванням можливості використання паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження, розробка та погодження технології проведення експерименту, проведення досліджень та аналіз отриманих результатів; [7] – проведення та обробка результатів випробувань; [8], [10] – проведення інформаційного пошуку, модернізація суднової паливної системи з урахуванням

можливості використання паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження, проведення експериментальних досліджень, обробка результатів та розробка рекомендацій щодо подальших досліджень; [9], [11] – розробка та погодження технології проведення експериментів, виконання досліджень та аналіз їх результатів, розробка рекомендацій щодо подальшого використання мастила в системі мащення; [12], [13] – забезпечення технологічних процедур щодо модернізації суднової паливної системи, виконання експериментальних досліджень та аналіз їх результатів; [17], [18] – проведення експериментальних досліджень під час експлуатації суднових дизелів з використанням паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження; [20], [21], [24] – проведення експериментальних досліджень та визначення оптимальних режимів роботи суднових дизелів під час використання паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження.

Апробація результатів дисертаційної роботи здійснювалась через їх доповідання, обговорення, погодження та ухвалення на таких міжнародних та Всеукраїнських наукових конференціях, що проводили в провідних закладах вищої освіти України: Науково-технічній конференції «Морський та річковий флот : експлуатація і ремонт», 25.03.2021-26.03.2021 р., Одеса, Національний університет «Одеська морська академія»; X-й Міжнародній науково-технічній конференції «Суднова енергетика: стан та проблеми», 4-5 листопада 2021 р., Національний університет кораблебудування, Миколаїв; 12-й Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування», 06-08 вересня 2021 р., Херсон, Херсонська державна морська академія; I-й міжнародній науково-технічній конференції «Прогресивні технології засобів транспорту», 23-24 вересня 2021 р., Харків-Миргород, Український державний університет залізничного транспорту; Науково-технічній конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 24.03.2022 – 25.03.2022 р., Одеса, Національний університет «Одеська морська академія»; Науково-технічній конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 22.03.2023 - 23.03.2023 р., Одеса, Національний університет «Одеська морська академія»; 14-й Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування», 16-18 березня 2023 р., Херсон: Херсонська державна морська академія; Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2023)», 24-25 травня 2023 року, Херсон, Херсонська державна морська академія; IV-й міжнародній науково-практичній конференції: Дніпровські читання-2023, 7 грудня 2023 р., Київ, Київський інститут водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного Державного університету інфраструктури та технологій; V-й міжнародній морській науково-практичній конференції кафедри суднових енергетичних установок і технічної експлуатації Одеського національного морського університету «Marine Power Plants & Operation MPP&O-2024», 05 березня 2024 р., Одеса, Одеський національний морський університет; Науково-технічній конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і

ремонт», 20.03.2024 – 21.03.2024 р., Одеса, Національний університет «Одеська морська академія»;

Публікації. За темою дисертації опубліковано 25 наукових праць, з яких 11 – у наукових фахових виданнях України, що входять до переліку наукових фахових видань України (категорії Б), у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та ступеня доктора філософії; 2 – в іноземних виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science; 1 – в іноземному виданні країни ЄС (Австрія); 11 – у збірках доповідей Міжнародних наукових та науково-практичних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з переліку умовних скорочень, вступу, п'яти розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатка (в якому надано акти впровадження результатів дослідження). Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 268 сторінок, зокрема: основний текст 158 сторінок з анотацією на 20 сторінках, перелік використаних джерел із 209 найменувань на 30 сторінках, додаток на 7 сторінках, 40 рисунків, 44 таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У **вступі** обґрунтована актуальність обраної теми, сформульовані мета та завдання наукового дослідження, визначені наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, показано особистий внесок автора в їх отриманні, охарактеризовані повнота викладення матеріалів дослідження у публікаціях, апробація результатів дослідження та їх впровадження.

У **першому розділі** «Аналіз літературних джерел з проблеми забезпечення експлуатаційних показників засобів морського та внутрішнього водного транспорту» на основі традиційного філософського методу сходження від «загального» через «часткове» до «особистого» здійснено огляд результатів наукових досліджень, які спрямовані на забезпечення вимог міжнародних конвенцій та норм Європейського Союзу щодо екологічних показників та енергоефективності роботи суден морського та внутрішнього водного транспорту.

Головною мотивацією цих досліджень є сьогоденна наявність наступних **запитів практики**:

- необхідність поступового зниження споживання палива нафтового походження енергетичними установками морських та річкових засобів транспорту з пропорційною його заміною альтернативними видами палива;
- необхідність підвищення екологічності та енергетичної ефективності роботи морських та річкових засобів транспорту.

Конструкційні та технологічні заходи, що забезпечують зниження шкідливого впливу дизелів морських та річкових засобів транспорту на довкілля (насамперед через зменшення емісії оксидів азоту – основного токсичного компонента випускних газів), розглядалися в різних наукових роботах та технічних проєктах. При цьому зменшення емісії оксидів азоту NO_x забезпечується шляхом:

- зволоження наддувного повітря (але при цьому виникає необхідність додаткової підготовки прісної води та запобігання появам протічок води крізь з'єднання в наддувному ресивері);

- використання водопаливних емульсій (що вимагає необхідність комплектації паливної системи додатковим обладнанням);

- рециркуляції випускних газів (для забезпечення якої виникає необхідність переобладнання системи випуску газів);

- оптимізації процесу впорскування палива (що зумовлює необхідність переобладнання або переналаштування паливної системи високого тиску);

- використання альтернативних палив, у тому числі палив біологічного походження.

Одним із перспективних та поширених видів палива біологічного походження є біодизельне паливо (або FAME – Fatty Acid Methyl Ester, метилові ефіри жирних кислот). Як окреме джерело енергії біодизельне паливо не використовується. Перш за все це пов'язане з його більш високою (порівняно з дизельним паливом) густиною та в'язкістю. Це негативно впливає на параметри процесу паливоподачі, впорскування та розпилювання палива, що погіршує якість перебігу цих процесів. Зниження в'язкості біодизельного палива шляхом його додаткового нагріву призводить до підвищеного утворення парафіну та подальшого коксування паливної апаратури високого тиску. У зв'язку з цим біодизельне паливо поєднується в різних пропорціях з моторним (дизельним / легким або важким) паливом.

У різних наукових дослідженнях містяться суперечливі дані щодо кількості викидів оксидів азоту NO_x під час використання біодизельного палива. Ця невідповідність пов'язана з варіативністю експерименту, типом нафтового палива, а також умовами проведення експерименту (концентрацією біопалива в паливній суміші з паливом нафтового походження, режимами роботи дизеля, особливостями та характеристиками його систем охолодження та випуску газів). У більшості досліджень встановлено, що знижений порівняно з нафтовими вміст азоту в цих паливах сприяє зменшенню утворення «паливних» NO_x , більш низькі температури займання – скорочують кількість «термічних» NO_x . При цьому поодинокий досвід використання палива біологічного походження не виявляє оптимальних режимів його використання та не надає рекомендацій щодо забезпечення під час його використання експлуатаційних показників роботи дизелів морських суден.

На підставі проведеного аналізу обґрунтована актуальність науково-прикладного завдання – забезпечення екологічних та економічних показників роботи морських та річкових засобів транспорту під час використання в суднових дизелях палива біологічного походження.

У **другому розділі** «Загальна методика дисертаційного дослідження» обґрунтовано вибір напрямку наукового дослідження, що заснований на проведеній експертній оцінці можливих варіантів розв'язання завдання забезпечення екологічних та економічних показників роботи морських та річкових засобів транспорту під час використання палива біологічного походження, за наступними критеріями: актуальність, наукова новизна,

практична доцільність, можливість використання на морських та річкових засобах транспорту; відповідність спеціальності 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту». За результатами експертних оцінок найбільш оптимальним і доцільним визначено варіант використання палива біологічного походження, у зв'язку з цим саме на його розвиток спрямовані наукове дослідження і тема дисертації, яка відповідає окремим положенням Транспортної стратегії України на період до 2030 року та паспорту спеціальності 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту.

Застосування системного аналізу дозволило сформулювати мету; висунути гіпотезу; визначити головне завдання дослідження, здійснити його декомпозицію на допоміжні завдання, що вказані у загальній характеристиці автореферату.

Розв'язання головного завдання дисертаційного дослідження виконано шляхом синтезу наукових результатів, що отримані під час розв'язання допоміжних завдань. Спираючись на принципи системного підходу під час виконання наукових досліджень, було розроблено технологічну карту, яка відображає замкнений цикл дослідження та визначає його основні етапи.

Третій розділ «Аналіз аналітичних моделей, що відображають процес утворення багатокомпонентних сумішей, які містять паливо біологічного походження» присвячено розв'язанню першого та другого допоміжного завдання.

Гідродинамічні процеси, що відбуваються в паливних системах дизелів морських суден під час створення паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження, підлягають законам конвективної дифузії в рідинах. Основною характеристикою палива нафтового (дизельного або дистильного) та біологічного походження, яка сприяє максимальній швидкості конвективної дифузії цих складових під час утворення паливної суміші, є густина. Збіг, або незначне відхилення (в межах 2...10 %) густини палива нафтового та біологічного походження забезпечує рівномірний процес конвективної дифузії за трьома напрямками руху потоку суміші, а також її максимальну однорідність та дисперсність.

Під час створення паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження, рух суміші визначатиметься об'ємними та поверхневими силами, що діють на неї, та описуватиметься рівняннями руху

$$\frac{dv}{dt} + (v \text{grad})v = -\text{grad} \frac{p}{\rho} + v \Delta v + \frac{f}{\rho} \quad (1)$$

(яке є однією з форм подання рівняння Нав'є – Стоксу)
та безперервності

$$\text{div } v = \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0, \quad (2)$$

у яких v , p , ρ , ν , μ – швидкість руху, тиск, густина, динамічна та кінематична в'язкість рідини відповідно;

f – об'ємна сила, яка діє на елемент рідини.

Рівняння (1), (2) визначають стан рідини, що не стискається та рухається.

Густина суміші палива біологічного походження та нафтового палива змінюється за часом та за швидкістю її руху

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \operatorname{div} (D \operatorname{grad} \rho) - \operatorname{div} \rho \mathbf{v}. \quad (3)$$

Нехтуючи залежністю коефіцієнту дифузії D від густини, а також через те, що рідина не стискається, тобто $\operatorname{div} \mathbf{v} = 0$, рівняння (3) можна подати у вигляді

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + (\mathbf{v} \operatorname{grad}) \rho = D \Delta \rho. \quad (4)$$

У координатному поданні його можна записати так:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + v_x \frac{\partial \rho}{\partial x} + v_y \frac{\partial \rho}{\partial y} + v_z \frac{\partial \rho}{\partial z} = D \left(\frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \rho}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \rho}{\partial z^2} \right). \quad (5)$$

Аналогічні вирази можливо отримати для густини суміші, до якої входить паливо біологічного походження.

Основними характеристиками паливної суміші, за якими виконувалась оцінка її якості, також можливість та доцільність її подальшого виростання в дизелях морських засобів транспорту, обирались густина, в'язкість та нижча теплотворна здатність. Під час проведення досліджень визначення цих значень для нафтового палива, а також різних сумішей біопалива та нафтового палива виконувалось у різний спосіб: за допомогою аналітичного визначення, за допомогою моделювання, а також за результатами вимірювання цих характеристик у науковій лабораторії, що здійснює контроль якості нафтопродуктів, які постачаються під час бункерування на судна. Зміни контрольованих параметрів та відхилення їх значень від паспортного або аналітично визначеного значення наведені на рис. 1 та свідчать про задовільний збіг результатів, що отримані в різний спосіб.

Аналіз технологічних рішень, що забезпечують використання паливних сумішей під час експлуатації дизелів морських суден, та схеми, що забезпечують виготовлення цих сумішей, визначили, що відповідність один одному фракційного та структурного складу палива нафтового та біологічного походження, а також збіг у значеннях їх густини та в'язкості дозволяє використовувати для утворення їх стійкої суміші дозерні пристрої, що забезпечують подачу біодизельного палива (як додаткового компонента паливної суміші) у потік дизельного або дистильного палива (як основного компонента паливної суміші). Приготування сумішей найбільш доцільно здійснювати безперервним способом – безпосередньо перед її подачею до паливної апаратури високого тиску та їх впорскуванням у циліндр дизеля.

Четвертий розділ «Аналіз впливу палива біологічного походження на експлуатаційні показники дизелів суден морських засобів транспорту» присвячено розв'язанню третього та четвертого допоміжних завдань. Для їх розв'язання виконувались дослідження в паливних системах дизелів різного дедвейту та призначення.

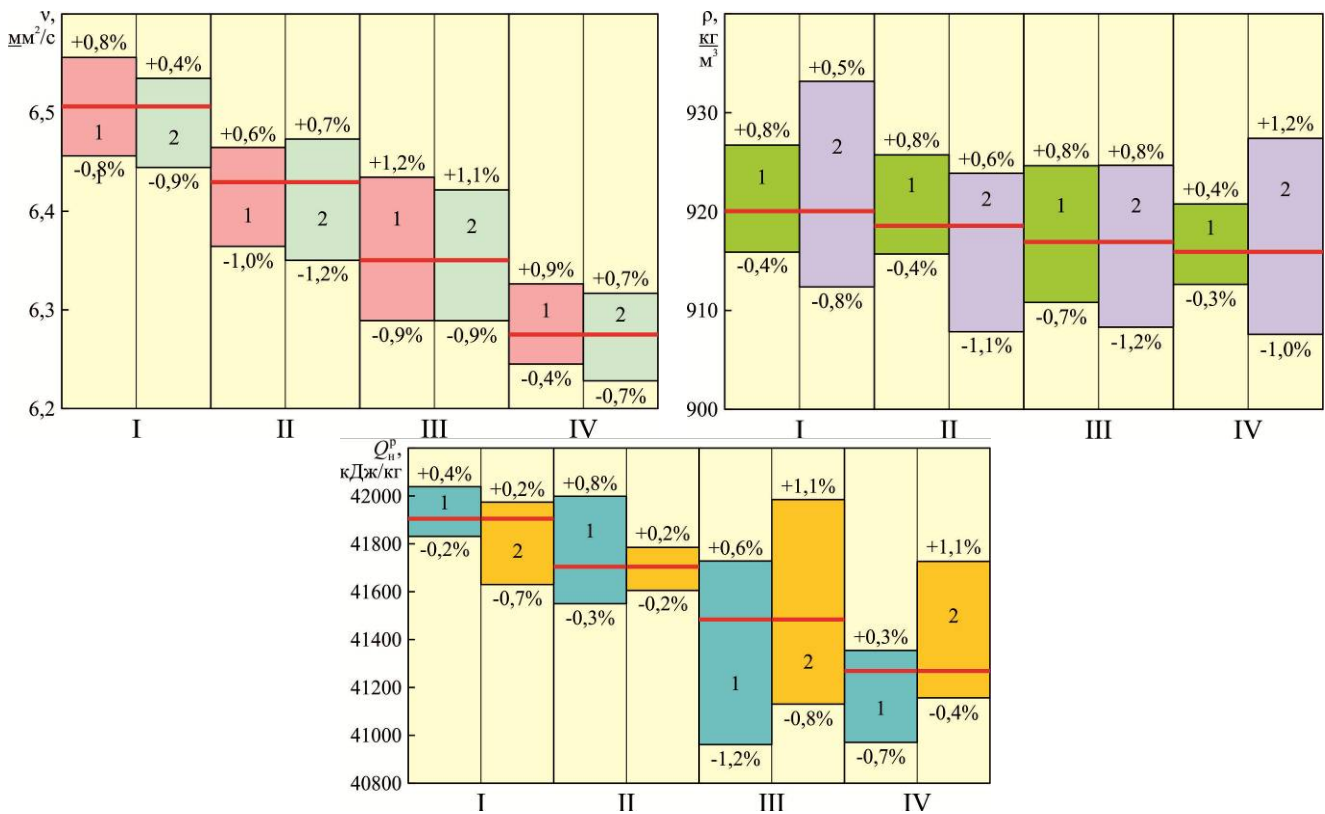


Рис. 1. Зміни в'язкості, v , густини, ρ , та нижчої теплотворної здатності, Q_p , :

1 – випробування в науковій лабораторії; 2 – математичне моделювання;

I – паливо RMA10; II – паливна суміш RMA+5 % FAME99;

III – паливна суміш RMA+10 % FAME99; IV – паливна суміш RMA+15 % FAME99

При цьому було встановлено, що ефективність використання паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження, доцільно визначати за екологічним та економічним критерієм. Як основний екологічний критерій слід обирати емісію оксидів азоту у випускних газах (як показник, що регламентується та контролюється ІМО), як додатковий екологічний критерій (у зв'язку з тим, що його значення є важливим з точки зору попередження забруднення довкілля, але ще не регламентується вимогами класифікаційних товариств та міжнародних конвенцій) може розглядатися емісія оксидів вуглецю з випускними газами. Основним економічним критерієм є питома витрата паливної суміші, до складу якої входить паливо біологічного походження.

З метою визначення оптимального вмісту біопалива в його суміші з нафтовим паливом, за яким забезпечуються найкращі експлуатаційні показники роботи дизелів, виконувався комплекс досліджень на морських судах різного призначення та дедвейту. Модернізована з метою проведення експериментів схема паливної системи суднових дизелів 6N165LW Yanmar судна класу General Cargo дедвейтом 14800 тонн наведена на рис. 2.

Метою дослідження було визначення оптимальної концентрації біодизельного палива B99.9 FAME в суміші з дизельним паливом RMA10. При цьому має бути забезпечене одночасне максимальне збільшення екологічних та мінімальне зниження економічних параметрів роботи суднового дизеля.

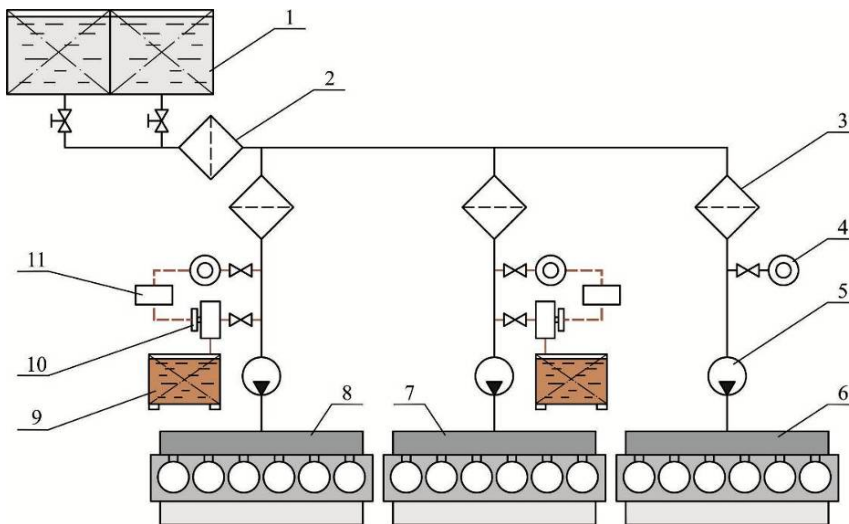


Рис. 2. Принципова схема паливної системи суднових дизелів 6N165LW Yanmar: 1 – цистерна палива RMA10; 2, 3 – паливні фільтри грубого та тонкого очищення; 4 – витратомір; 5 – паливний насос; 6, 7, 8 – дизель; 9 – цистерна біодизельного палива B99.9 FAME; 10 – дозатор; 11 – мікроконтролер

Результати досліджень, які демонструють залежності основних критеріїв від складу суміші та навантаження дизеля, наведені на рис. 3.

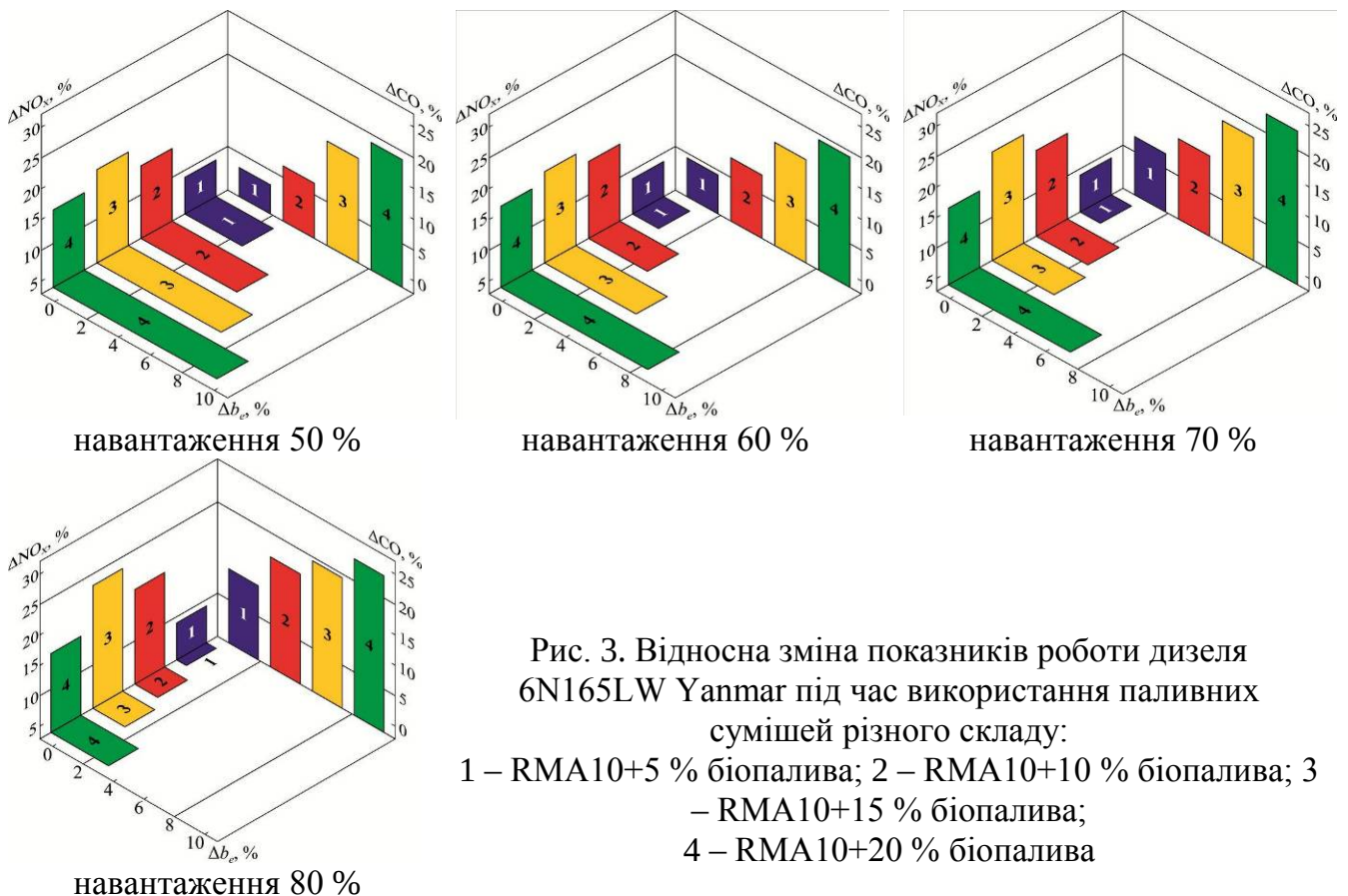


Рис. 3. Відносна зміна показників роботи дизеля 6N165LW Yanmar під час використання паливних сумішей різного складу:
1 – RMA10+5 % біопалива; 2 – RMA10+10 % біопалива; 3 – RMA10+15 % біопалива; 4 – RMA10+20 % біопалива

З метою збільшення масиву експериментальних даних дослідження були поширені на дизелі 5N17/28 Hyundai Heavy Industries судна дедвейтом 9600 тонн та 6N17/28 Hyundai Heavy Industries судна дедвейтом 14745 тонн, а також 5DC-17A Tier II Daihatsu Diesel судна дедвейтом 10820 тонн. При цьому були отримані односпрямовані результати.

П'ятий розділ «Забезпечення експлуатаційних показників роботи суднових дизелів під час використання палива біологічного походження» присвячено розв'язанню головного завдання наукового дослідження, яке було досягнуте шляхом синтезу наукових результатів допоміжних завдань.

Використання паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження, змінює перебіг робочого циклу в циліндрі дизеля та процес згоряння, це пов'язане з меншою порівняно з дизельним або дистильатним паливом температурою самозаймання палива біологічного походження. Це призводить до зміни експлуатаційних показників дизелів, при цьому виникає завдання визначення фаз паливоподачі (насамперед кута випередження подачі палива), за яких зміна цих показників підвищує ефективність роботи дизеля та покращує його екологічні показники. Розв'язання цього завдання можливе шляхом корегування налаштування паливної апаратури високого тиску під час використання паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження. Підтвердження цієї тези було доведено під час досліджень, що були виконані в паливній системі суднових дизелів 5S60ME-C8.2 MAN-Diesel&Turbo та 6EY18ALW Yanmar судна класу Bulker Carrier дедвейтом 63246 тонн (рис. 4).

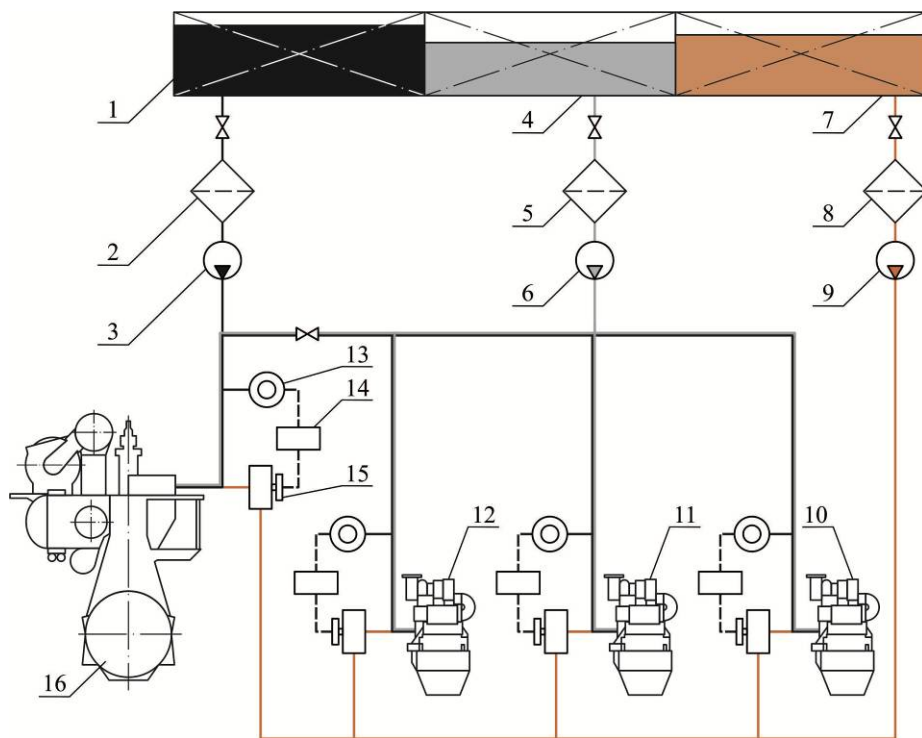


Рис. 4. Принципова схема паливної системи судна класу Bulker Carrier дедвейтом 63246 тонн під час проведення експериментів:

- 1 – RME180 паливний танк; 2, 5, 8 – паливний фільтр; 3, 6, 9 – паливний насос;
- 4 – DMA паливний танк; 7 – FAME B30 паливний танк; 10, 11, 12 – дизель 6EY18ALW Yanmar;
- 13 – витратомір; 14 – мікроконтролер; 15 – дозатор;
- 16 – дизель 5S60ME-C8.2 MAN-Diesel&Turbo

При цьому були визначені оптимальні фази паливоподачі, які забезпечують найбільше покращення екологічних показників роботи дизеля з одночасним забезпеченням їх енергетичних та економічних параметрів роботи (рис. 5, 6).

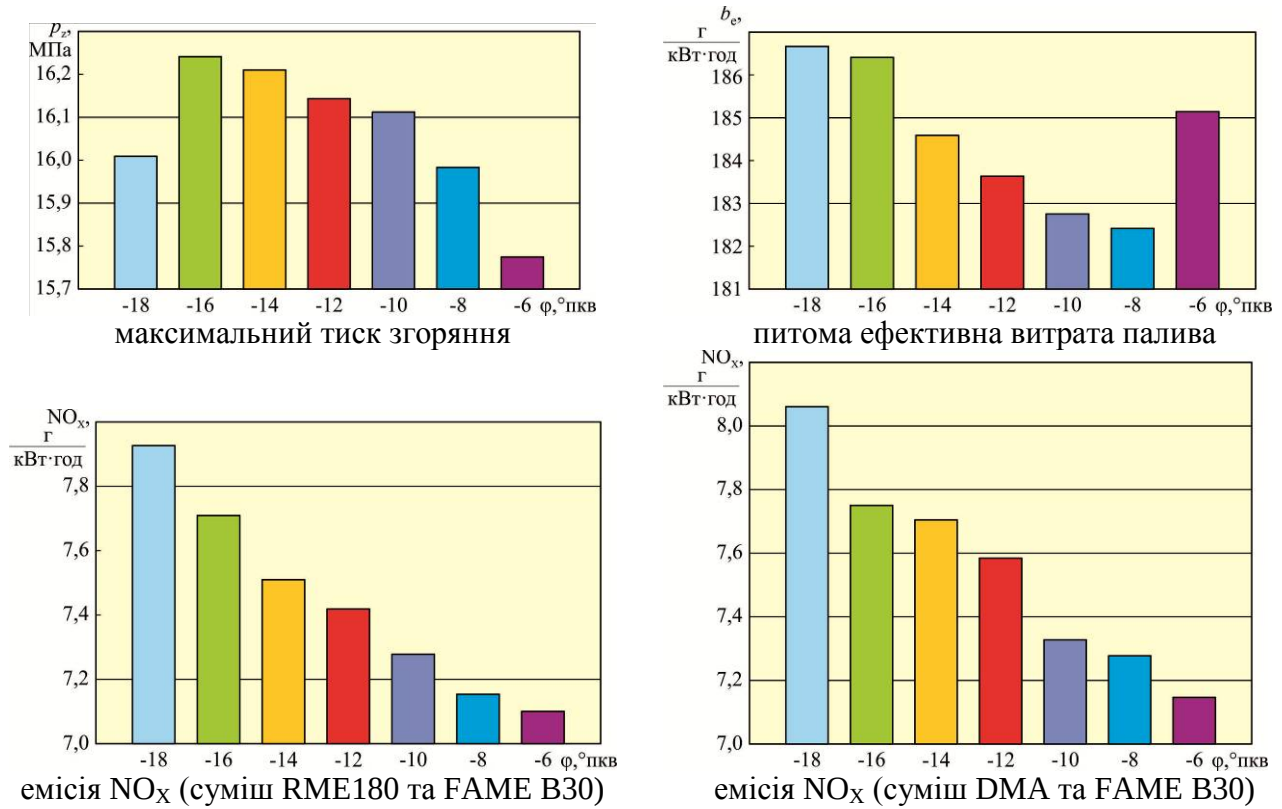


Рис. 5. Зміна експлуатаційних показників роботи дизеля 6EY18ALW Yanmar за різних кутів випередження подачі паливної суміші, до складу якої входить паливо біологічного походження з оптимальною концентрацією (під час навантаження $0,85N_{\text{ном}}$)

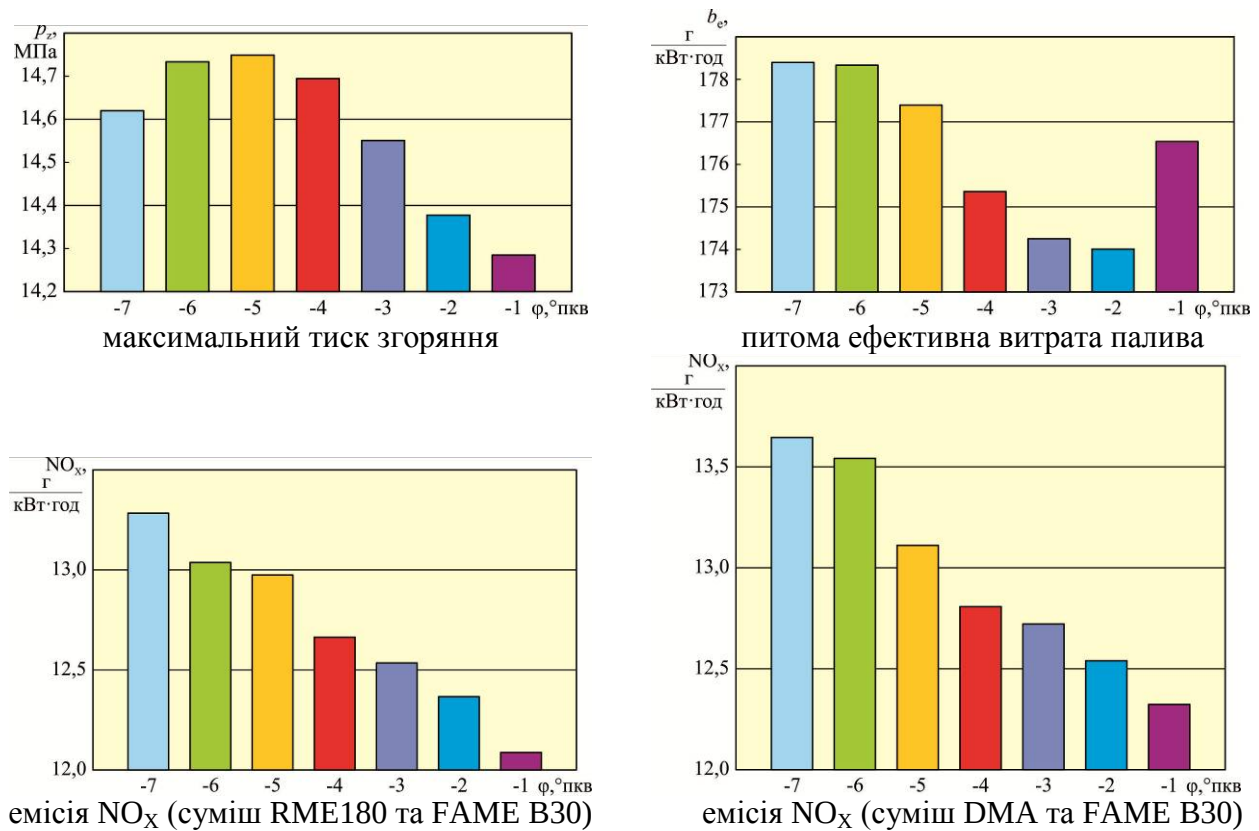


Рис. 6. Зміна експлуатаційних показників роботи дизеля 5S60ME-C8.2 MAN-Diesel&Turbo за різних кутів випередження подачі паливної суміші, до складу якої входить паливо біологічного походження з оптимальною концентрацією (під час навантаження $0,9N_{\text{ном}}$)

Подібні випробування були виконані під час експлуатації дизелів 6Н17/28 Hyundai Heavy Industries судна дедвейтом 14745 тонн, при цьому були отримані аналогічні результати, що підтверджує коректність запропонованих рішень.

Виконана оцінка екологічної ефективності використання паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження, з одним із найбільш поширених методів забезпечення екологічності роботи морських суден (а саме застосуванням скрубберного очищення випускних газів під час використання палива з вмістом сірки більш ніж 0,5 %) висвітила, що під час цього:

- забезпечується виконання вимог щодо вмісту шкідливих домішок у випускних газах, а саме до відношення діоксиду сірки до діоксиду вуглецю SO_2/CO_2 , як під час експлуатації морських суден у районах спеціального екологічного контролю викидів SECA, також під час знаходження поза цими районами (рис. 7);

- забезпечується підвищення екологічної стійкості судна (рис. 8, а);

- зменшуються витрати енергії на підтримання екологічності роботи морського судна (рис. 8, б).

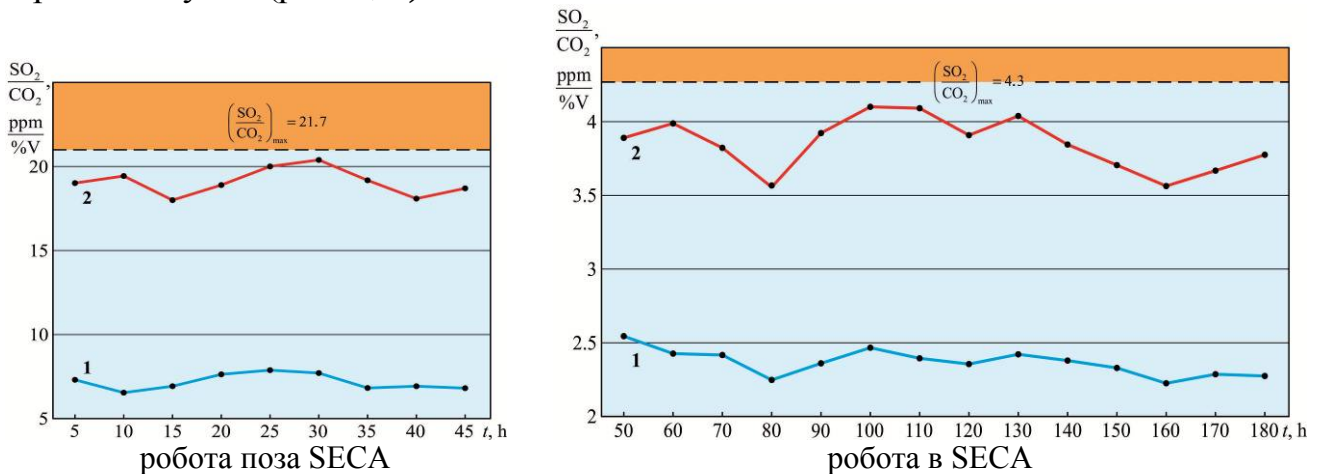


Рис. 7. Зміна відношення SO_2/CO_2 за різних способів управління екологічною безпекою навігаційного переходу судна класу Bulker Carrier дедвейтом 63246 тонн:

1 – використання системи скрубберного очищення;

2 – використання паливної суміші з біодизельним паливом

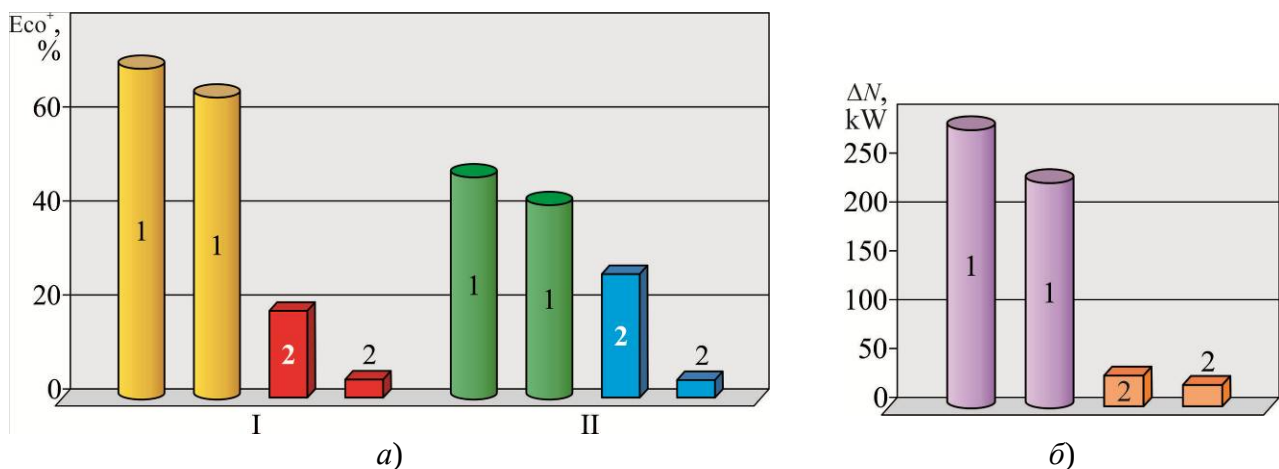


Рис. 8. Зміна екологічної стійкості (а) та втрати потужності (б) за різних способів управління екологічною безпекою судна класу Bulker Carrier дедвейтом 63246 тонн:

1 – використання системи скрубберного очищення; 2 – використання паливної суміші з біодизельним паливом; I – робота у SECA; II – робота поза SECA

Усі дослідження виконувались на енергетичних установках, що мають діючі сертифікати класифікаційних товариств (зокрема міжнародного реєстру Lloyd's Register of Shipping, Англія; Американського Бюро Судноплавства, ABS, США). Експлуатація суден, двигунів внутрішнього згоряння та систем, що забезпечують їх функціонування, виконувалась відповідно до вимог Міжнародної Конвенції SOLAS та Міжнародної Конвенції MARPOL.

ВИСНОВКИ

Дисертаційне дослідження спрямоване на розв'язання науково-прикладного завдання – забезпечення екологічних та економічних показників роботи морських та річкових засобів транспорту під час використання в суднових дизелях палива біологічного походження.

Використання під час експлуатації морських засобів транспорту палив нафтового походження (дизельних або дистильатних) сприяє забрудненню довкілля шкідливими домішками, що входять до складу випускних газів, та зумовлює пошук шляхів підвищення екологічності роботи морських суден. Це, а також тенденція до виснажування природних запасів рідких вуглеводів, які є основною сировиною під час виготовлення нафтових палив нафтового походження, сприяє поширенню використання на морських судах палив біологічного походження.

Головним науковим результатом дисертаційної роботи є доведена та практично підтверджена теза, що забезпечення екологічних та економічних показників роботи морських та річкових засобів транспорту гарантується утворенням стійких паливних сумішей з оптимальним вмістом у цих сумішах палива біологічного походження та забезпеченням оптимальних фаз подачі цих сумішей у циліндри дизелів морських засобів транспорту

Основні наукові та практичні результати дисертаційного дослідження.

1. Утворення паливної суміші, до складу якої входить паливо біологічного походження, найбільш доцільно забезпечувати безпосередньо перед паливним насосом, що підкачує паливо до паливної апаратури високого тиску дизеля. Забезпечення негативної висоти підйому біопалива під час його засмоктування паливним насосом, за допомогою якого утворюється паливна суміш (тобто утворення умов для додаткового гідростатичного тиску з боку палива біологічного походження), а також скорочення довжини паливних трубопроводів, за якими здійснюється потрапляння палива біологічного походження в загальну магістраль нагнітання палива, – забезпечує мінімальний гідродинамічний опір та мінімальне додаткове навантаження на паливну апаратуру, за допомогою яких утворюється паливна суміш.

2. Діапазон доцільної концентрації біопалива в паливній суміші визначається відхиленням від значення палива нафтового походження в той чи інший бік таких експлуатаційних характеристик паливної суміші, як: густина, в'язкість та теплотворна здатність. Критичне відхилення в той чи інший бік цих показників може призвести до підвищення гідродинамічного опору в паливних магістралях або підвищення витоків суміші в елементах паливної апаратури високого тиску; а

також до неприпустимого зменшення кількості енергії, що утворюється під час згоряння палива, та відповідного зменшення крутного моменту на валу дизеля.

3. Для паливних сумішей, які складають дизельні / дистилятні палива RMA10, RME180, DMA та палива біологічного походження FAME B30 або FAME99, найбільш доцільною концентрацією біопалива є діапазон 5...20 % від загального об'єму паливної суміші. Перебільшення цього значення знижує теплотворну здатність паливної суміші та поширює відхилення густини та в'язкості суміші від палива нафтового походження. За умови утворення паливних сумішей, вміст палива біологічного походження в яких не перевищує 20 %, відхилення в значеннях їх в'язкості та теплотворної здатності від подібних показників дизельного / дистилятного палива не перевищує 17,8 % та 2,1 % відповідно. Це забезпечує утворення стійких паливних сумішей, суцільність їхнього руху в паливній системі та максимальну термічну ефективність робочого циклу під час їх згоряння в циліндрі дизеля.

4. Ефективність використання паливної суміші, до складу якої входить паливо біологічного походження, найбільш доцільно оцінювати за значенням відносного зниження емісії оксидів азоту з випускними газами дизелів морських суден (яке є екологічним критерієм) та за значенням відносного підвищення питомої витрати палива (яке є економічним критерієм).

5. Оптимальний склад паливної суміші, до складу якої входить паливо біологічного походження, визначається такою його концентрацією, за якою гарантується максимальне збільшення екологічного та мінімальне зниження економічного критеріїв роботи суднового дизеля з одночасним забезпеченням значення ефективної потужності дизеля.

6. Комплекс односпрямованих досліджень, що виконувався:

- на дизелі 6N165LW Yanmar судна класу General Cargo дедвейтом 14800 тонн (під час якого випробувалася суміш, яку складали дизельне RMA10 та біодизельне паливо B99.9 FAME);

- на дизелі 5H17/28 Hyundai Heavy Industries спеціалізованого морського судна дедвейтом 9600 тонн (під час якого випробувалася суміш, яку складали дизельне RMB30 та біодизельне паливо B99.9 FAME);

- на дизелі 6H17/28 Hyundai Heavy Industries спеціалізованого морського судна дедвейтом 14745 тонн (під час якого випробувалася суміш, яку складали дистилятне DMA та біодизельне паливо B99.6 FAME);

- на дизелі 5DC-17A Tier II Daihatsu Diesel спеціалізованого морського судна дедвейтом 10820 тонн (під час якого випробувалася суміш, яку складали дистилятне DMB та біодизельне паливо B99.6 FAME), –

визначив, що використання вказаних паливних сумішей залежно від експлуатаційних режимів роботи дизеля забезпечує зменшення емісії оксидів азоту з випускними газами до 26,6 % та зменшення концентрації емісії вуглецю у випускних газах до 23,6 %. На жаль, при цьому здійснюється підвищення питомої витрати палива, значення якої за деяких експлуатаційних режимів може майже на 9 % перебільшувати величину аналогічного показника під час використання палива нафтового походження. При цьому існує широкий діапазон експлуатаційних режимів, за яких підвищення питомої витрати палива під час

використання паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження, не перевищує 2,5...3,2 %.

7. Оптимальний вміст палива біологічного походження в паливній суміші (за яким забезпечується максимальне збільшення екологічного та мінімальне зниження економічного критеріїв) знаходиться в діапазоні 10...15 % та визначається експериментально відповідно до заздалегідь розробленої та погодженої з контролюючими структурами технології.

8. Використання в дизелях морських суден паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження, змінює (порівняно з експлуатацією дизеля на паливі нафтового походження) процеси окислення та згоряння, що призводить до зміни термодинаміки процесу згоряння. Це стає підставою зміни основних експлуатаційних показників дизеля та зумовлює необхідність управління процесами згоряння під час використання палива біологічного походження.

9. Підвищення ефективності використання паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження, полягає не лише у визначенні оптимального вмісту біопалива в суміші, але також у визначенні оптимальних кутів процесу подачі паливної суміші (кутів випередження впорскування палива), зміна яких необхідна у зв'язку зі зміною складу паливної суміші, що потрапляє для спалювання в циліндр дизеля. Обидва значення (вміст біопалива в паливній суміші та кут випередження впорскування) визначаються експериментальним шляхом та залежать від характеристик дизеля.

10. З метою підвищення ефективності використання паливних сумішей необхідно зміщувати процес впорскування в бік верхньої мертвої точки, тобто знижувати кут випередження подачі палива, при цьому діапазон цієї зміни повинен відповідати рекомендаціям заводів-виробників щодо можливих кутів впорскування палива.

11. Використання в дизелях морських суден паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження, є одним з альтернативних способів, що підвищують рівень екологічної стійкості морських суден під час їх експлуатації в спеціальних екологічних районах Світового океану. Відносна невелика енергоємність методу створення та використання подібних паливних сумішей сприяє поширенню його використання на багатьох засобах морського транспорту.

12. Утворення паливних сумішей, до складу яких входить паливо нафтового та біологічного походження, з оптимальним вмістом у цих сумішах палива біологічного походження та забезпечення процесу паливоподачі цих сумішей з оптимальними фазами впорскування призводить до поліпшення екологічності роботи морських засобів транспорту.

13. Наведені результати дозволяють сформулювати наступне наукове положення. Підвищення екологічності роботи морських та річкових засобів транспорту досягається шляхом утворення стійких паливних сумішей з оптимальною концентрацією в цих сумішах палива біологічного походження та подальшою подачею цих сумішей у циліндри дизеля з оптимальними фазами впорскування.

14. Наукові результати, що отримані в дисертаційному дослідженні, теоретично обґрунтовані та експериментально підтверджені під час проведення випробувань на морських засобах транспорту різного дедвейту та призначення, при цьому встановлені та використовуються:

- блок дозування, що забезпечує утворення стійких паливних сумішей, до складу яких входить палива біологічного та нафтового походження, – у паливній системі дизеля 6N165LW Yanmar судна класу General Cargo дедвейтом 14800 тонн, що сприяло більш ніж на 20 % зниженню емісії оксидів азоту та 15...20 % зниженню емісії оксидів вуглецю;

- вдосконалена паливна система, яка дозволяє утворювати та використовувати паливні суміші, до складу яких входить паливо біологічного походження, – на дизелі 5H17/28 Hyundai Heavy Industries спеціалізованого морського судна дедвейтом 9600 тонн, що для оптимального вмісту палива біологічного походження в складі паливної суміші забезпечило відносне зменшення концентрації оксидів азоту у випускних газах на 24,4...26,6 % та відносне зменшення об'ємного вмісту оксиду вуглецю у випускних газах на 18,9...23,6 %;

- технологія утворення паливних сумішей – у паливній системі суднового дизеля 6H17/28 Hyundai Heavy Industries спеціалізованого морського судна дедвейтом 14745 тонн, що забезпечило зниження на 18,3...23,3 % відносної зміни концентрації оксидів азоту у випускних газах, а також покращення експлуатаційних показників дизеля;

- технологія корегування навігаційних переходів суден морського транспорту під час використання палива біологічного походження, а також модуль підготовки паливних сумішей з оптимальним вмістом компонентів, що їх складають, – у паливній системі суднового дизеля 5DC-17A Tier II Daihatsu Diesel спеціалізованого морського судна дедвейтом 10820 тонн, що сприяло зниженню емісії оксидів азоту на 23,8...24,3 % та зниженню об'ємного вмісту оксиду вуглецю у випускних газах на 17,8...25,4 %;

- технологія забезпечення експлуатаційних показників роботи суднових дизелів шляхом корегування налаштування паливної апаратури високого тиску під час використання паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження, а також технологія управління екологічною безпекою суден морського транспорту шляхом використання палива біологічного походження – на суднових дизелях 5S60ME-C8.2 MAN-Diesel&Turbo та 6EY18ALW Yanmar судна класу Bulker Carrier дедвейтом 63246 тонн, що забезпечило поліпшення екологічних та підтримання енергетичних показників дизелів.

15. Запропонована технологія утворення стійких паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження, а також алгоритм визначення оптимальних фаз подачі палива, за якими забезпечується підвищення екологічності роботи морських та річкових засобів транспорту, є прикладом впровадження сучасних технологій під час експлуатації засобів морського транспорту.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в наукових фахових виданнях України, що входять до переліку наукових фахових видань України, у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та ступеня доктора філософії:

1. 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. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.239698>.
2. Madey V. Assessment of the efficiency of biofuel use in the operation of marine diesel engines // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2022. – № 2 (1(64)). – P. 34-41. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.255959>.
3. Мадей В.В. Використання альтернативного палива в суднових середньообертових дизелях // *Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник*. – 2021. – Вип. 43. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 45-53. doi: [10.31653/smf343.2021.41-53](https://doi.org/10.31653/smf343.2021.41-53).
4. 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. DOI: [10.31653/1819-3293-2021-1-27-93-107](https://doi.org/10.31653/1819-3293-2021-1-27-93-107).
5. Мадей В.В. Використання в суднових дизелях паливних сумішей до складу яких входить паливо біологічного походження // *Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник*. – 2022. – Вип. 44. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 93-110. DOI: [10.31653/smf44.2022.93-110](https://doi.org/10.31653/smf44.2022.93-110).
6. Мадей В.В., Волков О.М. Оптимізація процесу паливоподачі дизелів суден морського транспорту під час використання паливних сумішей до складу яких входить біодизельне паливо // *Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник*. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 43-56. doi: [10.31653/smf45.2022.43-56](https://doi.org/10.31653/smf45.2022.43-56).
7. Мадей В.В., Волков О.М., Сагін С.С. Корегування навігаційного переходу під час забезпечення екологічних показників роботи суднових дизелів // *Автоматизація суднових технічних засобів : наук. -техн. зб.* – 2022. – Вип. 28. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 93-107. DOI: [10.31653/1819-3293-2021-1-27-93-107](https://doi.org/10.31653/1819-3293-2021-1-27-93-107).
8. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33-42. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>.
9. Мадей В.В., Волков О.М., Сторчак О.О. Забезпечення експлуатаційних показників дизелів морських суден під час використання палива біологічного походження // *Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник*. – 2023. – Вип. 47. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 55-68. doi: [10.31653/smf47.2023.55-68](https://doi.org/10.31653/smf47.2023.55-68).
10. Сагін С.В., Мадей В.В., Сагін С.С., Чимшир В.І., Разінкін Р.О. Аналіз екологічної стійкості та енергетичної ефективності використання скрубберного очищення випускних газів дизелів суден морського транспорту // *Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник*. – 2023. – Вип. 47. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 157-171. doi: [10.31653/smf47.2023.157-171](https://doi.org/10.31653/smf47.2023.157-171).

11. Мадей В.В., Сагін С.В., Волков О.М. Управління процесом впорскування під час використання в суднових дизелях паливних сумішей до складу яких входить паливо біологічного походження // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 193-205. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.20.

Статті в іноземних виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science:

12. Sagin S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Fomin O., Kuřcera P. Ensuring Reliable and Safe Operation of Trunk Diesel Engines of Marine Transport Vessels // Journal of Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10. – 1373. <https://doi.org/10.3390/jmse10101373>.

13. Sagin S., Karianskyi S., Madey V., Sagin A., Stoliaryk T., Tkachenko I. Impact of Biofuel on the Environmental and Economic Performance of Marine Diesel Engines // Journal of Marine Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11(1). – P. 120. <https://doi.org/10.3390/jmse11010120>.

Статті в іноземних виданнях країни ЄС:

14. Madey V.V. Usage of biodiesel in marine diesel engines // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal. – 2021. – № 7-8 (July – August). – P. 18-21. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-18-21>.

Статті у збірках матеріалів наукових конференцій

15. Мадей В.В. Використання альтернативних палив в суднових дизелях середньої потужності // Матеріали науково-технічної конференції «Морський та річковий флот : експлуатація і ремонт», 25.03.2021-26.03.2021. – Одеса : Національний університет «Одеська морська академія», 2021. – С. 100-102.

16. Мадей В.В. Забезпечення екологічності роботи суднових дизелів під час використання біопалива // Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції «Суднова енергетика: стан та проблеми», 4-5 листопада 2021 р. Націон. ун-т кораблебудування, Миколаїв, 2021. – С. 227-230.

17. Сагін С.В., Мадей В.В. Использование биодизельного топлива в судовых вспомогательных дизелях // Матеріали 12-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування», 06-08 вересня 2021 р. – Херсон : Херсонська державна морська академія. – 2021. – С. 160-162.

18. Мадей В.В., Сагін С.В. Використання біопалива в двигунах внутрішнього згоряння // Прогресивні технології засобів транспорту. Матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції, 23-24 вересня 2021. – Харків-Міргород : УкрДУЗТ. – С. 91-92.

19. Мадей В.В. Визначення раціональних режимів роботи суднових дизелів під час використання палив ненафтового походження // Матеріали науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 24.03.2022 – 25.03.2022. – Одеса : НУ «ОМА», 2022. – С. 61-65.

20. Мадей В.В., Волков О.М., Сагін С.С. Забезпечення екологічності морських суден під час їх експлуатації в спеціальних екологічних районах Північної Європи // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 22.03.2023 - 23.03.2023. – Одеса : НУ «ОМА», 2023. – С. 61-65.

21. Мадей В.В., Волков О.М. Екологічні та економічні аспекти використання в суднових дизелях палив біологічного походження // Матеріали 14-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування», 16-18 березня 2023 р. – Херсон : Херсонська державна морська академія. – С. 201-204.

22. Мадей В.В. Забезпечення екологічних показників суднових дизелів шляхом використання палива біологічного походження // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті, 24-25 травня 2023 року. – Херсон : ХДМА. –2023. – С. 238-240.

23. Мадей В.В. Визначення оптимальних фаз подачі палива під час використання в суднових дизелях палива біологічного походження // Збірник матеріалів IV міжнародної науково-практичної конференції: Дніпровські читання-2023, 7 грудня 2023 р. – Київ : Київський інститут водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного Державного університету інфраструктури та технологій, 2023. – С. 74-78.

24. Sagin S., Madey V., Volkov O. Use of biofuels in marine diesel engines // Матеріали V міжнародної морської науково-практичної конференції кафедри СЕУ і ТЕ ОНМУ «Marine Power Plants & Operation MPP&O-2024», 05 березня 2024 р. – Одеса : ОНМУ, 2024. <https://2024.depas.od.ua>.

25. Мадей В.В. Оптимізація процесу впорскування паливних сумішей // Матеріали науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 20-21 травня 2024. – Одеса : НУ «ОМА», 2024. – С. 54-56.

АНОТАЦІЯ

Мадей В.В. Забезпечення експлуатаційних показників дизелів морських суден під час використання палива біологічного походження. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту». – Національний університет «Одеська морська академія» Міністерства освіти і науки України, Одеса, 2024.

Дисертаційне дослідження спрямоване на розв’язання науково-прикладного завдання – забезпечення екологічних та економічних показників роботи морських та річкових засобів транспорту під час використання в суднових дизелях палива біологічного походження.

Головним науковим результатом дисертаційної роботи є доведена та практично підтверджена теза, що забезпечення екологічних та економічних показників роботи морських та річкових засобів транспорту гарантується утворенням стійких паливних сумішей з оптимальним вмістом у цих сумішах палива біологічного походження та забезпеченням оптимальних фаз подачі цих сумішей у циліндри дизелів морських засобів транспорту.

Визначено, що утворення паливної суміші, до складу якої входить паливо біологічного походження, найбільш доцільно забезпечувати безпосередньо перед

паливним насосом, що підкачує паливо до паливної апаратури високого тиску дизеля.

Запропоновано ефективність використання паливної суміші, до складу якої входить паливо біологічного походження, оцінювати за значенням відносного зниження емісії оксидів азоту з випускними газами дизелів морських суден (яке є екологічним критерієм) та за значенням відносного підвищення питомої витрати палива (яке є економічним критерієм).

Комплекс досліджень, що виконувався на різних дизелях морських суден різного дедвейту та призначення визначив, що використання паливних сумішей, які складають дизельні / дистильтні палива RMA10, RME180, DMA та палива біологічного походження FAME B30 або FAME99, залежно від експлуатаційних режимів роботи дизеля забезпечує зменшення емісії оксидів азоту з випускними газами до 26,6 %, але при цьому здійснюється підвищення питомої витрати палива, значення якої за деяких експлуатаційних режимів може майже на 9 % перебільшувати величину аналогічного показника під час використання палива нафтового походження. Одночасно з цим існує широкий діапазон експлуатаційних режимів, за яких підвищення питомої витрати палива під час використання паливних сумішей, до складу яких входить паливо біологічного походження, не перевищує 2,5...3,2 %. Оптимальний вміст палива біологічного походження в паливній суміші (за яким забезпечується максимальне збільшення екологічного та мінімальне зниження економічного критеріїв) знаходиться в діапазоні 10...15 % та визначається експериментально відповідно до заздалегідь розробленої та погодженої з контролюючими структурами технології.

Доведено, що забезпечення експлуатаційних показників дизелів морських суден під час використання палива біологічного походження полягає не лише у визначенні оптимального вмісту біопалива в суміші, але також у визначенні оптимальних фаз подачі паливної суміші. Обидва значення знаходяться експериментальним шляхом та залежать від характеристик дизеля.

Ключові слова: альтернативне паливо, впорскування палива, діагностування, екологічна безпека, екологічні показники, експлуатаційні показники, емісія оксидів азоту, емісія оксидів вуглецю, енергетична ефективність, енергетичні показники, засоби транспорту, морський транспорт, навігаційний перехід, оптимізація, паливна апаратура, паливна система, паливна суміш, паливо біологічного походження, паливо нафтового походження, питома витрата палива, судновий дизель.

THE SUMMARY

Madey V.V. Ensuring the operational performance of marine diesel engines when using fuel of biological origin. – Qualification scientific work on the rights of manuscript.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.22.20 "Maintenance and Repair of Transport Means". – National University "Odessa Maritime Academy" of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Odesa, 2024.

The dissertation research is aimed at solving a scientific and applied problem – ensuring the environmental and economic performance of marine and river transport means when using biological fuel in marine diesel engines.

The main scientific result of the dissertation is the proven and practically confirmed thesis that ensuring the environmental and economic performance of marine and river transport means is guaranteed by the formation of stable fuel mixtures with an optimal content of biological fuels in these mixtures and ensuring the optimal phases of supply of these mixtures to the cylinders of marine diesel engines.

It has been determined that the formation of a fuel mixture that includes fuel of biological origin is the most expedient to be provided immediately before the fuel pump that pumps fuel to the high-pressure fuel equipment of the diesel engine.

It is proposed to evaluate the efficiency of using a fuel mixture, that includes fuel of biological origin, by the value of the relative decrease in nitrogen oxide emissions from marine diesel exhaust gases (which is an environmental criterion) and by the value of the relative increase in specific fuel consumption (which is an economic criterion).

A set of studies carried out on various diesel engines on marine vessels which have with different deadweight and purposes determined that the use of fuel mixtures consisting of diesel/distillate fuels RMA10, RME180, DMA and fuels of biological origin FAME B30 or FAME99, depending on the operating modes of the diesel engine, provides the reduction in the emission of nitrogen oxides with exhaust gases up to 26.6 %, but at the same time increases the specific fuel consumption, the value of which in some operating modes can be almost 9 % higher than the value of the same indicator when using fuel of petroleum origin. At the same time, there is a wide range of operating conditions under which the increase in specific fuel consumption when using fuel mixtures that include fuel of biological origin does not exceed 2.5...3.2 %. The optimal content of biological fuel in the fuel mixture (which reveals the maximum increase in environmental and minimum decrease in economic criteria) is in the range of 10...15 % and is determined experimentally in accordance with a previously developed and agreed upon technology with the controlling structures.

It is proved that ensuring the performance of marine diesel engines when using fuel of biological origin is not only to determine the optimal content of biofuel in the mixture, but also to determine the optimal phases of fuel mixture supply. Both values are determined experimentally and depend on the characteristics of the diesel engine.

Keywords: alternative fuel, diagnostics, emission of carbon oxides, emission of nitrogen oxides, energy efficiency, energy indicators, environmental indicators, environmental safety, fuel equipment, fuel injection, fuel mixture, fuel of biological origin, fuel of petroleum origin, fuel system, marine diesel, means of transport, navigation transition, operational indicators, optimization, sea transport, specific fuel consumption.

Підписано до друку 01.05.2024
Формат 60х84/16. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 1,40
Тираж 100 пр. Замовлення № И24-05-06

НУ «ОМА», центр «Видавінформ»
65052, м. Одеса, Дідріхсона, 8, корп. 7
Свідоцтво ДК № 1292 від 20.03.2003
e-mail: publish@onma.edu.ua
Телефони: +38 (048) 793-24-50
+38 (048) 793-24-51