

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

**Разінкін Роман Олександрович**



УДК 629.5

**РОЗРОБКА МЕТОДИКИ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ  
СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ  
МОТОРНОГО МАСТИЛА**

Спеціальність 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

**РЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Одеса – 2026

Дисертацією є рукопис.

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

**Науковий керівник:** **ЧИМШИР Валентин Іванович**,  
доктор технічних наук, професор,  
директор Дунайського інституту  
Національного університету «Одеська морська  
академія» МОН України.

**Офіційні опоненти:** **Білоусов Євген Вікторович**,  
доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри суднових енергетичних систем та  
комплексів Одеського національного морського  
університету МОН України;  
**Фомін Олексій Вікторович**,  
доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри вагонів та вагонного господарства  
Національного транспортного університету МОН  
України.

Захист відбудеться 9 червня 2026 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 7 травня 2026 р.

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



Віталій НІКОЛЬСЬКИЙ

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми дослідження.** Експлуатація суден морського та внутрішнього водного транспорту нерозривно пов'язана з забезпеченням надійності роботи суднової енергетичної установки та, насамперед, судових дизелів – головного, що забезпечує рух судна, та допоміжних, завдяки яким механічна енергія, що генерується двигуном внутрішнього згоряння, перетворюється на електричну та далі забезпечує роботу судових машин, механізмів та іншого обладнання

Ресурсозберігаюча експлуатація судових дизелів залежить від багатьох факторів, визначальним з яких є забезпечення процесу мащення їхніх основних контактних вузлів – поршневих кілець та втулки циліндра, а також вкладишів рамових та мотильових підшипників та колінчатого валу. Погіршення процесу мащення, тривала та навіть короткочасна для деяких експлуатаційних режимів відсутність моторного мастила між вказаними контактними вузлами може бути причиною аварійної зупинки дизелів та пов'язаними з цим втратою ходу судном та неможливістю управління його рухом. Попередження негативних випадків, пов'язаних зі критичним погіршенням якості процесу мащення контактних вузлів дизеля, можливе шляхом діагностування та управління експлуатаційними характеристиками моторного мастила, подача якого до циліндропоршневої групи та підшипників ковзання судових дизелів здійснюється системами циліндрового або циркуляційного мащення. Викладене підтверджує **актуальність** нерозв'язаної науково-прикладної проблеми із забезпечення ресурсозберігаючої експлуатації дизелів суден морського транспорту.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Актуальність проведення дослідження зумовлена вимогами та рекомендаціями положень Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року та затвердженого операційного плану заходів з її реалізації у 2025-2027 роках (Постанова КМУ від 27.12.2024 р. № 1550). Дослідження виконувались у рамках держбюджетних науково-дослідних робіт Дунайського інституту НУОМА «Розробка концепції безпечної експлуатації судових систем та обладнання» № ДР 0118U007602 (2018–2021 рр.), «Аналіз і розробка методів та підходів до підвищення ефективності управління та експлуатації судовими системами та комплексами» № ДР 0123U101514 (2023–2026 рр.), у яких автор дисертації брав участь, виконуючи окремі розділи.

**Мета дослідження.** Метою дослідження є забезпечення ресурсу роботи судових дизелів протягом всього гарантованого строку їхньої експлуатації.

**Основною науковою гіпотезою дослідження** є теза, що забезпечення ресурсу роботи судових дизелів досягається шляхом діагностування та подальшого управління експлуатаційними характеристиками моторного мастила систем циліндрового та циркуляційного мащення, якими є градієнт швидкості зміни загального лужного числа та швидкість зміни концентрації металевих домішок у моторному мастилі.

**Головне завдання наукового дослідження** полягає у вдосконаленні методики ресурсозберігаючої експлуатації судових дизелів на основі системи діагностування моторного мастила.

Для розв'язання головного завдання дослідження розв'язані наступні **допоміжні завдання**:

- 1) визначення якісного критерію моторного мастила, що характеризує ресурсозберігаючу експлуатацію суднових дизелів;
- 2) визначення кількісного критерію моторного мастила, що характеризує ресурсозберігаючу експлуатацію суднових дизелів;
- 3) аналіз зміни ресурсозберігаючих показників суднових дизелів за різних умов їхньої експлуатації.

**Об'єкт дослідження** – процес експлуатації дизелів суден морського транспорту.

**Предмет дослідження** – процес мащення циліндропоршневої групи та підшипників ковзання дизелів суден морського транспорту.

Під час дослідження як теоретичні використовувались наступні методи: аналіз, синтез, моделювання, абстрагування, дедукції та індукції; як емпіричні – спостереження, експеримент, вимірювання, порівняння, опис.

**Наукова новизна** роботи полягає в тому, що ресурсозберігаюча експлуатація дизелів суден морського транспорту забезпечується діагностикою та керованим впливом на експлуатаційні характеристики моторних мастил систем мащення: циліндрової для двотактних дизелів або циркуляційної для чотиритактних, що полягає в управлінні градієнтом швидкості зміни загального лужного числа моторного мастила та швидкістю зміни концентрації металевих домішок у моторному мастилі.

У результаті розв'язання головного та допоміжних завдань дослідження сформульовано **наукове положення**: забезпечення ресурсу роботи суднових дизелів досягається шляхом управління експлуатаційними характеристиками суднових моторних мастил, що використовуються у їхніх системах циліндрового та циркуляційного мащення (а саме, градієнтом зміни швидкості загального лужного числа моторного мастила та швидкістю зміни концентрації металевих домішок у моторному мастилі).

Наукове положення обґрунтовано **науковими результатами**.

**Вперше**:

- запропоновано якісним критерієм моторного мастила, що характеризує ресурсозберігаючу експлуатацію суднових дизелів, визначати градієнт зміни швидкості загального лужного числа моторного мастила;
- запропоновано кількісним критерієм моторного мастила, що характеризує ресурсозберігаючу експлуатацію суднових дизелів, визначати швидкість зміни концентрації металевих домішок у моторному мастилі;
- визначені критичні значення градієнту зміни швидкості загального лужного числа моторного мастила та швидкості зміни концентрації металевих домішок у моторному мастилі, запобігання яких забезпечує ресурсозберігаючу експлуатацію дизелів суден морського транспорту.

**Удосконалено**:

- технологію визначення часових рядів під час діагностування експлуатаційних характеристик моторних мастил систем циліндрового та циркуляційного мащення дизелів суден морського транспорту;

- технологію проведення спектрографічних досліджень складових моторного мастила, що характеризують знос контактних поверхонь судових дизелів та забруднення моторного мастила;

**Отримала подальший розвиток:**

- технологія визначення загального лужного числа та концентрації металевих домішок у моторних мастилах, що використовуються в системах циліндрового та циркуляційного мащення дизелів суден морського транспорту.

**Практичне значення** отриманих результатів полягає в наступному:

- моніторинг моторного мастила шляхом визначення градієнту зміни швидкості загального лужного числа моторного мастила та швидкості зміни концентрації металевих домішок у моторному мастилі призводить до встановлення необхідної подачі моторного мастила в циліндр дизеля (щодо системи циліндрового мащення) та до виконання своєчасного поповнення обсягу моторного мастила (щодо системи циркуляційного мащення); обидві дії сприяють забезпеченню ресурсозберігаючої експлуатації дизелів суден морського транспорту;

- проведення мобільної спектрографії моторного мастила та визначення складових, що характеризують знос контактних поверхонь та забруднення моторного мастила продуктами згоряння палива, забезпечує прискорене отримання інформації щодо стану деталей дизеля, а також перебігу робочого циклу в циліндрах; що сприяє своєчасному прийняттю рішень відносно забезпечення процесів згоряння, мащення та охолодження;

- контроль та управління термодинамічними процесами мащення та охолодження деталей дизеля під час зміни елементного складу палива сприяє підтриманню ресурсозберігаючої експлуатації судових дизелів, що виявляється в зменшенні зносу їхніх основних контактних вузлів: циліндрових втулок, поршневих кілець, вкладишів підшипників.

**Результати дисертаційного дослідження впроваджені:**

- технологія визначення градієнту зміни швидкості загального лужного числа моторного мастила та швидкості зміни концентрації металевих домішок в моторному мастилі – на дизелі 6S50ME-C9.7 MAN-B&W, а також на судових дизелях 6DE-18 Daihatsu Diesel, що використовувались як головний та допоміжні на судні класу Bulk Carrier дедвейтом 63580 тонн;

- технологія визначення часових рядів під час діагностування експлуатаційних характеристик моторних мастил систем та циркуляційного мащення – на судових дизелях 9K80ME MAN-Diesel&Turbo та 6L27/38 MAN-Diesel&Turbo;

- послідовність проведення мобільного спектрографічного аналізу моторного мастила системи циркуляційного мащення – на судових дизелях 6R26 Wartsila;

- в освітньому процесі Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія».

Усі провадження підтверджені відповідними актами.

**Особистий внесок здобувача** полягає у:

- виконанні інформаційного пошуку та аналізі літературних джерел із розв'язання завдання ресурсозберігаючої експлуатації судових дизелів;

- визначенні основних складових та розробці технологічної карти наукового дослідження
- розробки математичної моделі процесів, що характеризують взаємодію контактних поверхонь під час отримання корисної роботи в судових дизелях та перетворення цієї роботи на рух суден морського транспорту;
- проведенні експериментальних досліджень на судах морського транспорту;
- розробці рекомендації щодо вдосконалення експлуатації систем мащення дизелів морських суден;
- розробці методики діагностування технічного стану дизелів суден морського транспорту за аналізом моторного мастила, що використовується в їхніх системах циліндрового та циркуляційного мащення.

З наукових робіт, опублікованих у співавторстві, у дисертації використані тільки ті положення, які належать автору особисто: [3] – розробка та погодження технології проведення експериментів, проведення експериментальних досліджень, обробка результатів експерименту та корегування технології проведення експерименту; [4] – проведення інформаційного пошуку, розробка та погодження технології проведення експериментів, обробка результатів експерименту; [5] – проведення інформаційного пошуку, обробка результатів експерименту, розробка рекомендацій щодо подальших досліджень; [6], [7] – проведення інформаційного пошуку, розробка рекомендації щодо модернізації судової паливної системи, організація проведення експериментальних досліджень, погодження технології проведення досліджень з наглядовими організаціями, обробка та аналіз результатів експерименту; [12] – проведення інформаційного пошуку, розробка та погодження технології проведення експериментів, виконання експериментальних досліджень та аналіз їхніх результатів; [16] – проведення інформаційного та патентного пошуку; [21] – теоретичний аналіз можливості використання в судових дизелях палив різного складу, розробка рекомендацій щодо переналаштування паливної апаратури високого тиску під час зміни сортів палива; [23] – контроль та регулювання показників роботи судового дизеля, проведення трибомоніторингу моторного мастила, обробка результатів випробувань, розробка рекомендацій щодо подальших досліджень.

**Апробація результатів дисертаційної роботи.** Основні результати доповідались та обговорювались під час особистої участі на міжнародних та Всеукраїнських наукових конференціях, зокрема: VIII-й Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту», м. Ізмаїл, ДІ НУ «ОМА», 7 грудня 2017 р.; Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні тенденції розвитку морської галузі, безпека судноплавства, підготовка моряків у відповідності до національних і міжнародних вимог», 25 травня 2018 р., Маріуполь: АМІ НУ «ОМА»; IX-й Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту», м. Ізмаїл, ДІ НУ «ОМА», 6-7 грудня 2018 р.; XI-й Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту», м. Ізмаїл, ДІ НУ «ОМА», 3-4 грудня 2020 р.; V-й Міжнародній науково-практичній

конференції «Інноваційні підходи розвитку компетентнісних якостей фахівців в умовах професійного становлення», м. Ізмаїл, ДІ НУ «ОМА», 28 червня 2021 р.; XIII-ій Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту», м. Ізмаїл, ДІ НУ «ОМА», 8-9 грудня 2022 р.; VII-ій Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні підходи розвитку компетентнісних якостей фахівців в умовах професійного становлення», м. Ізмаїл, ДІ НУ «ОМА», 21 квітня 2023 р.; XIV-ій Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту», м. Ізмаїл, ДІ НУ «ОМА», 8-9 грудня 2023 р.; XV-ій Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту», м. Ізмаїл, ДІ НУОМА, 6-7 грудня 2024 р.; V-ій науково-технічній конференції молодих вчених «Інновації та технології на морському та внутрішньому водному транспорті», 26.11.2025, Одеса, НУОМА; XV-ій міжнародній науково-технічній конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 26.11.2025 р., Одеса, НУОМА; V-ій Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI – 2025)», 03–04 грудня 2025 р., Херсон, Херсонська державна морська академія; VI-ій міжнародній науково-практичній конференції: Дніпровські читання-2025, 5 грудня 2025 р., Київ, Київський інститут водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного Національного транспортного університету; XVI-ій Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту», 5-6 грудня 2025 р. Ізмаїл, ДІ НУОМА; Міжнародній науково-технічній конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 19-20 березня 2026 р., Одеса, НУОМА.

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 24 наукові праці, з яких 5 – 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; одна – як розділ у колективній монографії; 2 – в іноземних періодичних виданнях, які відносяться до квартилю Q2 та входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science; 16 – 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 додатку (у якому надано акти впровадження результатів дослідження). Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 263 сторінки, зокрема: основний текст 165 сторінок з анотацією на 19 сторінках, перелік використаних джерел із 235 найменуваннями на 26 сторінках, додаток на 5 сторінках, 45 рисунків, 29 таблиць.

## 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 в публікаціях, апробація результатів дослідження та їх впровадження.

У **першому розділі** «Аналіз літературних джерел із розв'язання завдання ресурсозберігаючої експлуатації суднових дизелів» на основі традиційного філософського методу сходження від «загального» через «часткове» до «особистого» здійснено огляд результатів наукових досліджень, які спрямовані на забезпечення ресурсозберігаючої експлуатації дизелів суден морського транспорту та виконано аналіз основних причин, що впливають на зміну ресурсу їхньої технічної експлуатації.

Головною мотивацією цих досліджень є актуальність наступних **запитів практики**: забезпечення регламентованого фірмою-виробником ресурсу експлуатації дизеля суден морського транспорту; забезпечення мащення контактних поверхонь основних вузлів дизелів, що виконують функції головних та допоміжних двигунів на суднах морського транспорту; вдосконалення методики проведення діагностики експлуатаційних характеристик суднових моторних мастил, що використовуються в системах циліндрового та циркуляційного мащення дизелів морських суден.

Аналіз літературних джерел з розв'язання головного завдання дослідження висвітив, що основними трибологічними системами, які забезпечують ресурсозберігаючу експлуатацію суднових дизелів, є циліндропоршнева група (ЦПГ) – циліндрова втулка, поршневі кільця, поршень та підшипники руху, колінчатий вал та вкладиші підшипників. Особливості експлуатації суден морського транспорту та, відповідно, дизелів, що виконують на суднах функції головних та допоміжних двигунів, не дозволяють проведення візуальних інспекцій стану внутрішніх контактних поверхонь дизелів (втулки циліндра, поршневих кілець, колінчатого валу, вкладишів підшипників). Через це основним способом діагностування їхнього технічного стану та підтримання їхнього ресурсу є діагностування експлуатаційних характеристик моторного мастила.

На підставі проведеного аналізу обґрунтована актуальність науково-прикладного завдання – розробки методики ресурсозберігаючої експлуатації суднових дизелів на основі системи діагностування моторного мастила.

У **другому розділі** «Методологія дисертаційного дослідження» з урахуванням спрямованості наукових досліджень, що проводяться в НУОМА, на підставі аналізу тенденцій розвитку суден морського транспорту, враховуючи запити практики щодо забезпечення ресурсозберігаючої експлуатації дизелів морських суден, завдяки аналізу сучасних нерозв'язаних науково-прикладних завдань з забезпечення ефективної експлуатації морських суден, а також застосування системного аналізу дозволило сформулювати мету; висунути гіпотезу; визначити головне завдання дослідження, здійснити його декомпозицію на допоміжні завдання, що вказані в загальній характеристиці автореферату.

Розв'язання головного завдання дисертаційного дослідження передбачено шляхом синтезу наукових результатів 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** «Теоретичний аналіз та практичне визначення режимів мащення, що перебігають між контактними поверхнями дизелів суден морського транспорту» присвячено розв'язанню першого та другого допоміжних завдань.

Ресурс роботи дизелів суден морського транспорту нерозривно пов'язаний з виникненням контактних взаємодій та втрат енергії під час перетворення зворотно-поступального руху поршня в циліндрі дизеля на обертальний рух колінчатого вала. Рівень цих втрат визначається коефіцієнтами тертя у вказаних раніше трибологічних системах, контурним тиском між контактними елементами, а також шорсткістю цих поверхонь. Аналітичні вирази, що визначають ці показники, мають емпіричний характер та залежать від багатьох зовнішніх та внутрішніх факторів.

Відповідно до молекулярно-кінетичної теорії тертя, у випадку пружного ненасиченого контакту розрахункове значення коефіцієнта тертя  $f$  визначається за виразом

$$f = \frac{\int_0^\varepsilon T_i dA_r}{\int_0^\varepsilon N_i dA_r} = \frac{2,4\tau_0(1-\mu^2)R^{1/2}}{\nu(\nu-1)k_1 E h^{1/2}} + \beta + \frac{0,4\alpha_{\text{еф}} h^{1/2}}{k_1 \nu(\nu^2-1)R^{1/2}};$$

де  $T_i$  – сила тертя, що виникає під час ковзання окремої мікронерівності;  $N_i$  – нормальна сила, що діє на окрему мікронерівність;  $A_r$  – фактична площа контакту;  $\tau_0$  – дотична напруга;  $\mu$ ,  $\nu$  – динамічна та кінематична в'язкість моторного мастила в зоні контакту поверхонь;  $R$  – зовнішній радіус;  $k_1$  – коефіцієнт шорсткості поверхонь;  $h$  – висота мікронерівностей;  $\alpha_{\text{еф}}$  – коефіцієнт гістерезисних втрат.

Коефіцієнт зовнішнього тертя

$$f = \frac{2,4\tau_0}{p_c^{\frac{1}{2\nu+1}}} \left[ \frac{1-\mu^2}{\nu(\nu+1)k_1 \Delta^{1/2} 5^{1/2\nu} E} \right]^{\frac{2\nu}{2\nu+1}} + \beta + \frac{0,4\alpha_{\text{еф}}}{\nu^2-1} \left[ \frac{5p_c \Delta^\nu (1-\mu^2)}{(k_1 \nu)^{2\nu+2} (\nu-1) E} \right];$$

де  $p_c$  – контурний тиск,  $\Delta$  – шорсткість поверхонь.

Контурний тиск  $p_c$ , що призводить до мінімальних значень коефіцієнта зовнішнього тертя

$$p_c = \frac{0,2\nu(\nu-1)k_1}{\Delta^\nu} \left[ \frac{6\tau_0(\nu+1)(1-\mu^2)^{\frac{2\nu-1}{2\nu+1}}}{\alpha_{\text{еф}} E^{\frac{2\nu-1}{2\nu+1}}} \right]^{\frac{2\nu+1}{2}} \approx \frac{2,2 \cdot 10^2}{\Delta^2} \left[ \frac{\tau_0(1-\mu^2)^{3/5}}{\alpha_{\text{еф}} E^{3/5}} \right]^{5/2}.$$

Шорсткість,  $\Delta$ , що відповідає мініимальному коефіцієнту зовнішнього тертя

$$\Delta = \left( \frac{0,2\nu(\nu-1)k_1}{P_c} \right)^{1/\nu} \left[ \frac{6\tau_0(\nu+1)(1-\mu^2)^{\frac{2\nu-1}{2\nu+1}}}{\alpha_{\text{еф}} E^{\frac{2\nu-1}{2\nu+1}}} \right]^{\frac{2\nu+1}{2}} \approx 2 \frac{15\tau_0^{5/4}(1-\mu^2)^{3/4}}{P_c^{1/2} E^{3/4} \alpha_{\text{еф}}^{5/4}}.$$

Наведені формули враховують основні параметри, які характеризують роботу рухомого сполучення: навантаження (через  $h$ ), фізико-хімічний стан поверхонь тертя ( $\tau_0$ ,  $\beta$ ), їх обробку ( $R$ ,  $k_1$ ), фізико-механічні властивості матеріалів ( $\alpha_{\text{еф}}$ ,  $\nu$ ,  $\mu$ ). При цьому головною складовою, що забезпечує зниження втрат енергії та відповідно сприяє забезпеченню ресурсу суднових дизелів, є процес мащення. Вміле управління цим процесом, а також керований вплив на експлуатаційні показники моторного мастила, які при цьому використовуються, відкриває додаткові можливості для забезпечення ресурсозберігаючої експлуатації суднових дизелів.

У системах циліндрового (лубрикаторного) мащення двотактних дизелів морських суден основна увага під час контролю показників моторного мастила та подальшого діагностування за цими показниками технічного стану елементів дизеля (поршневих кілець та циліндрових втулок) приділяється загальному лужному числу (Total Base Number – TBN) та вмісту металевих домішок.

Експерименти з визначення зміни експлуатаційних характеристик моторного мастила, що використовується у системах циліндрового мащення, проводились на трьох однотипних суднових малообертових двотактних дизелях 6S50ME-C9.7-HPSCR MAN-B&W Yichang Marine Diesel Engine Co. Ltd., що використовувались як головні на судах класу Bulk Carrier дедвейтом 63580 тонн, 63750 тонн, 64700 тонн. Для забезпечення мащення деталей ЦПГ у дизелях використовувались моторні мастила з тотожними основними характеристиками. Також на збіглих навантаженнях виконувалась експлуатація дизелів. Це дозволяло порівнювати між собою експериментальні результати, що були отримані на різних судах. Технологія проведення експерименту була однаковою для всіх дизелів та передбачала відбір проб моторного мастила з підпоршневого простору та його подальший аналіз у суднової лабораторії з метою визначення значень TBN та вмісту металевих домішок заліза  $C_{\text{Fe}}$ .

Величина TBN та значення концентрації металевих домішок  $C_{\text{Fe}}$  у моторному мастилі характеризують поточний стан процесу мащення та не надають оцінки його комплексному перебігу. Для виконання такої оцінки найбільш доцільним є визначення швидкості зміни цих показників, яка визначається за виразами:

- швидкість зміни загального лужного числа моторного мастила

$$V_{\text{TBN}}^{2\tau} = \frac{\text{TBN}_n - \text{TBN}_0}{t_n - t_{n-1}}, \left[ \frac{\text{мгКОН/г мастила}}{\text{год}} \right]; \quad (1)$$

- швидкість зміни концентрації металевих домішок у моторному мастилі

$$V_{C_{Fe}} = \frac{C_{Fe_n} - C_{Fe_{n-1}}}{t_n - t_{n-1}}, \left[ \frac{\text{ppm}}{\text{год}} \right]; \quad (2)$$

де  $TBN_n, TBN_0$  – початкове (паспортне) та поточне значення загального лужного числа мастила, мгКОН/г мастила;  $C_{Fe_n}, C_{Fe_{n-1}}$  – поточне та попереднє значення вмісту металевих домішок у мастилі, ppm;  $t_n, t_{n-1}$  – поточний та попередній часовий інтервал, що відповідає відбору проб мастила та проведенню аналізів, год.

Для систем циліндрового мащення поточне та попереднє зменшення загального лужного числа під час експлуатації характеризується коливальним характером. Через це коливальним характером характеризується також швидкість зміни загального лужного числа. Поточне значення цієї величини в порівнянні з попереднім може змінюватися або в бік зменшення, або в бік збільшення за певний проміжок часу. Це дає підставу для оцінки перебігу процесу мащення ввести додаткове поняття «градієнт швидкості зміни загального лужного числа», який може бути визначено як

$$\vec{V}_{TBN}^{2r} = \frac{V_{TBN_n} - V_{TBN_{n-1}}}{t_n - t_{n-1}}, \left[ \frac{\text{мгКОН/г мастила}}{\text{год}} \right]; \quad (3)$$

де  $V_{TBN_n}, V_{TBN_{n-1}}$  – поточне та попереднє значення швидкості зміни загального лужного числа мастила, мгКОН/г мастила.

Результати, що наведені за виразами (1)-(3) подані у вигляді діаграм (рис. 1).

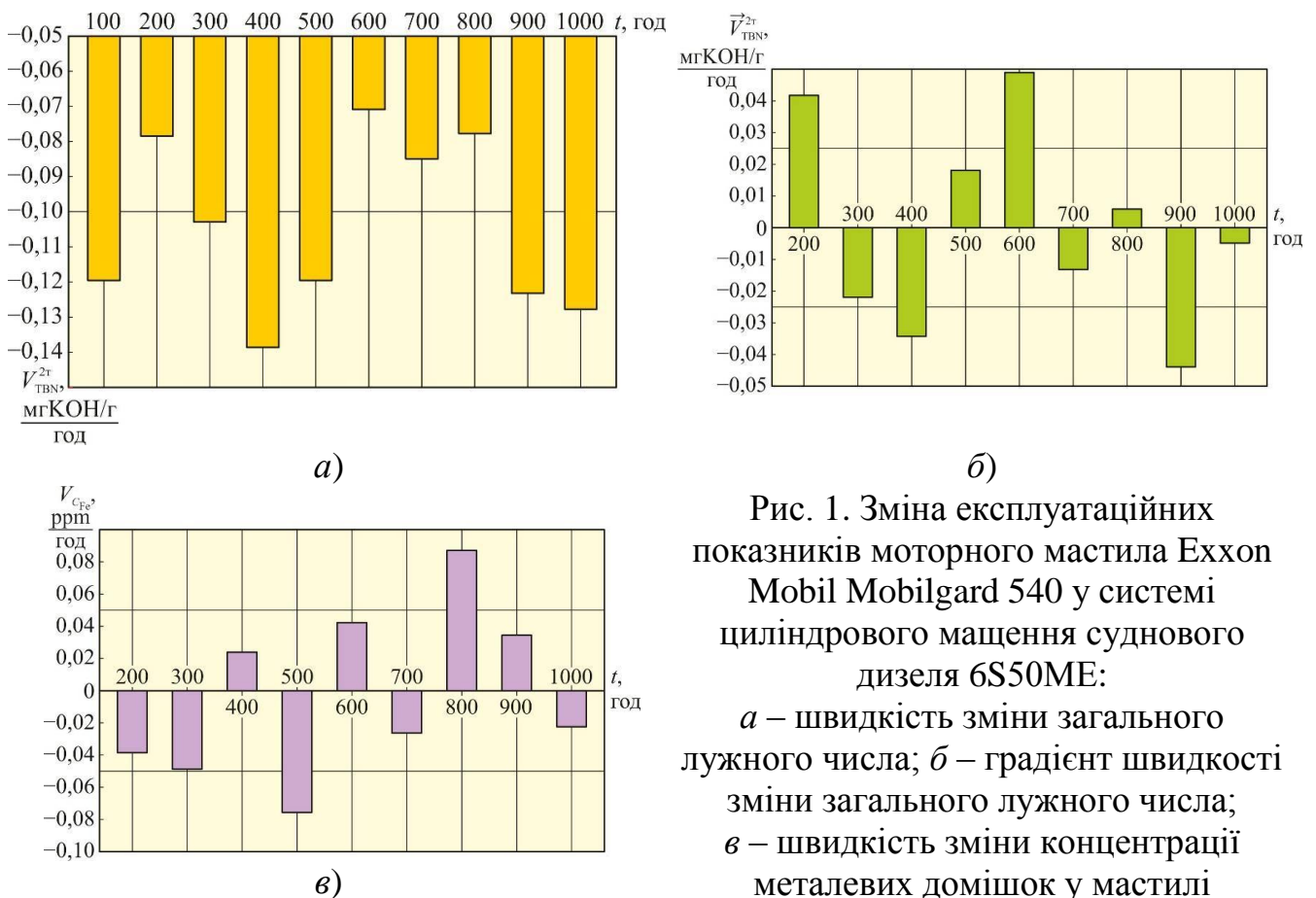


Рис. 1. Зміна експлуатаційних показників моторного мастила Exxon Mobil Mobilgard 540 у системі циліндрового мащення суднового дизеля 6S50ME:

*а* – швидкість зміни загального лужного числа; *б* – градієнт швидкості зміни загального лужного числа; *в* – швидкість зміни концентрації металевих домішок у мастилі

Дослідження за наведеною технологією та відповідною послідовністю були продовжені на інших морських судах та інших двотактних дизелях. Це дало змогу збільшити масив експериментальних даних та переконатися в можливості імплементації поширення висновків на дизелі іншого класу з іншими конструкційними та енергетичними характеристиками. Цикл досліджень було виконано на судах класу Container Ship з головним двигуном 9K80ME MAN-Diesel&Turbo та General Cargo з головним двигуном 5L35MC MAN-B&W.

Односпрямованість отриманих результатів для різних судових дизелів та різних моторних мастил підтвердили коректність виконаних досліджень та правильність висунутих пропозицій щодо оцінки технічного стану та ресурсу дизелів суден морського транспорту за експлуатаційними показниками моторного мастила. Наведені результати забезпечили розв'язання першого допоміжного завдання та формування його наукового результату – якісним критерієм моторного мастила, що характеризує ресурсозберігаючу експлуатацію судових дизелів, є градієнт швидкості зміни загального лужного числа моторного мастила.

Дослідження з діагностування експлуатаційних характеристик моторного мастила та визначення їхнього взаємозв'язку з технічним станом та ресурсом судових дизелів були поширені на циркуляційні системи мащення – саме ці системи забезпечують функціонування чотиритактних дизелів. Дослідження виконувались на судових дизелях 6DE-18 Daihatsu Diesel, 6L27/38 MAN-Diesel&Turbo та 5H17/28 Hyundai Heavy Industries морських суден класів Bulk Carrier, Container Ship та General Cargo відповідно.

У випадку аналізу зміни експлуатаційних характеристик мастила систем циркуляційного мащення значення Швидкість зміни загального лужного числа визначаються через порівняння послідовних один за одним ( $TBN_n$  та  $TBN_{n-1}$ ) результатів з визначення значень відповідних параметрів

$$V_{TBN}^{4г} = \frac{TBN_n - TBN_{n-1}}{t_n - t_{n-1}}, \left[ \frac{\text{мгКОН/г мастила}}{\text{год}} \right]; \quad (4)$$

саме це дозволяє діагностувати перебіг процесу мащення за певний проміжок часу.

Як кількісний критерій моторного мастила, що характеризує ресурсозберігаючу експлуатацію судових дизелів, доцільно визначати швидкість зміни концентрації металевих домішок у моторному мастилі, що розраховується за виразом (2). Особливо небезпечними є такі режими, за якими спостерігається постійне збільшення швидкості зміни концентрації металевих домішок у мастилі, тобто у випадках, коли це значення постійно зростає. Ці режими можуть діагностуватися як такі, за якими порушуються умови мащення циліндрової групи та поршневих кілець та такі, за якими тертя між циліндровою втулкою та поршневими кільцями переходить до граничного або сухого режимів.

Зміна експлуатаційних показників моторних мастил, що використовувались у системі циркуляційного мащення судових дизелів 6DE-18 Daihatsu Diesel, судна класу Bulk Carrier наведена на рис. 2. Односпрямовані результати були отримані для дизелів 6L27/38 MAN-Diesel&Turbo та 5H17/28 Hyundai Heavy Industries суден класів Bulk Carrier, Container Ship та General Cargo.

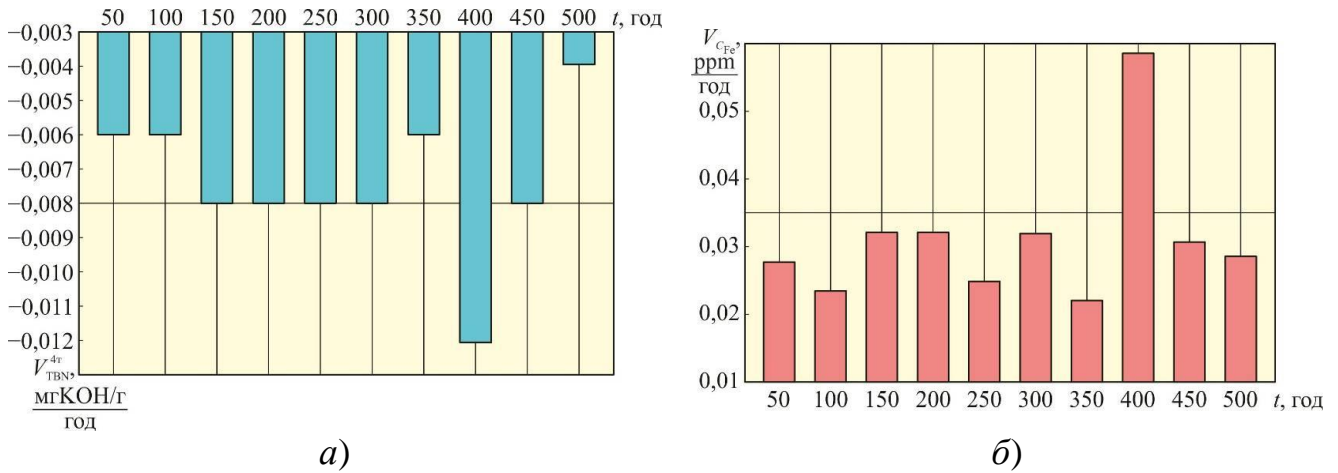


Рис. 2. Зміна експлуатаційних показників моторного мастила Exxon Mobil Mobilgard 412 у системі циркуляційного мащення дизеля 6DE-18 Daihatsu Diesel: *а* – швидкість зміни загального лужного числа; *б* – швидкість зміни концентрації металевих домішок

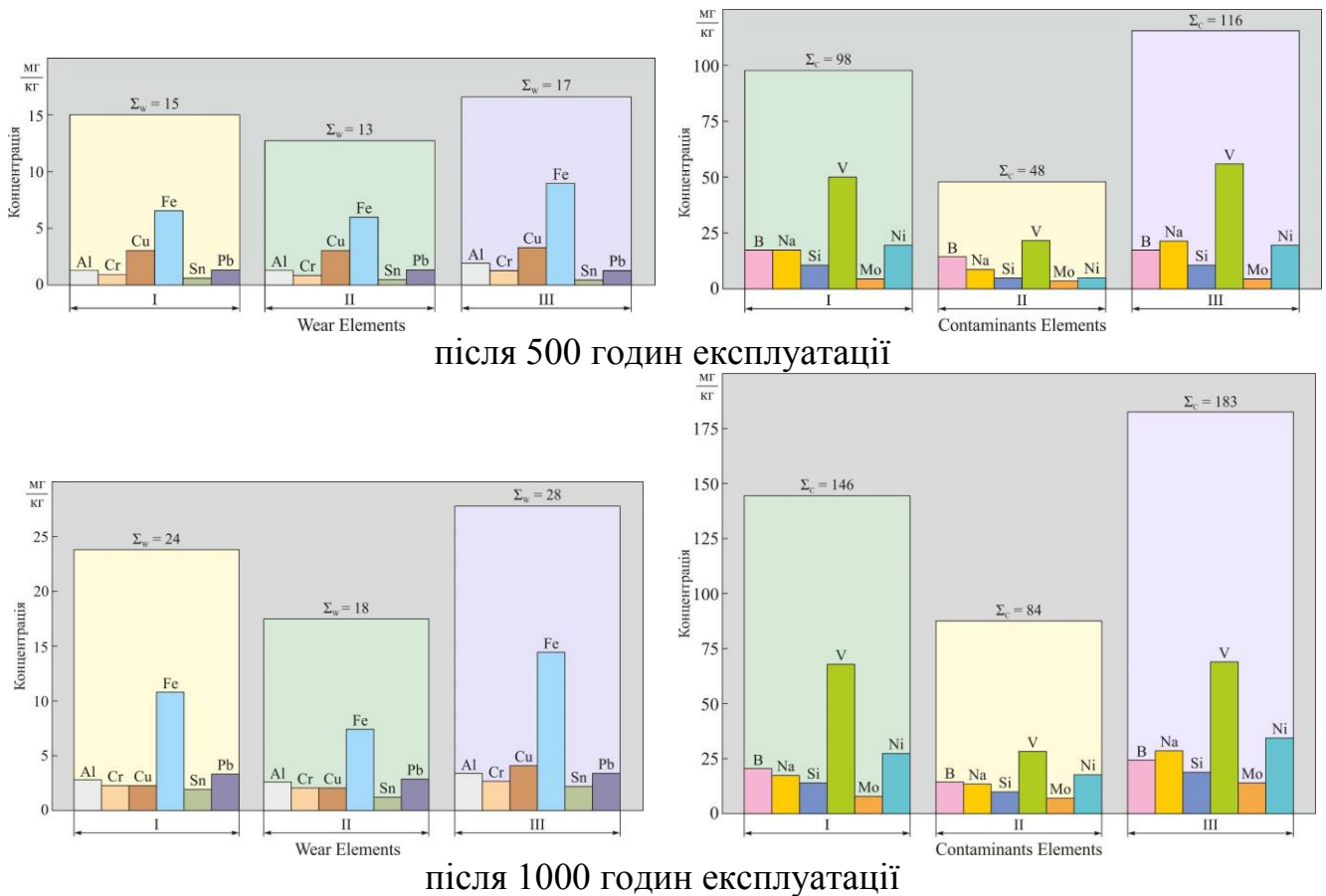
Наведені результати забезпечили розв'язання другого допоміжного завдання та формування його наукового результату – кількісним критерієм моторного мастила, що характеризує ресурсозберігаючу експлуатацію суднових дизелів, є швидкість зміни концентрації металевих домішок у моторному мастилі.

**Четвертий розділ** «Аналіз зміни ресурсних показників суднових дизелів за різних умов їхньої технічної експлуатації» присвячено розв'язанню третього допоміжного завдання.

Ресурсозберігаюча технологія експлуатації дизелів суден морського транспорту визначається багатьма факторами, одним з найбільш важливих є своєчасна подача до трибосполучень моторного мастила з відповідними характеристиками, через яку забезпечується гідродинамічний режим мащення його контактних поверхонь. Для суднових дизелів, що тривалий час знаходяться в експлуатації під час автономного плавання суден морського транспорту, на процес мащення також впливають зовнішні показники, що прямо не пов'язані з його забезпеченням. Перш за все до них належать режими охолодження дизеля та характеристики палива, що використовується для отримання корисної роботи та ефективної потужності.

Дослідження виконувались на трьох однотипних суднових чотиритактних дизелях 6DK-20e фірми Daihatsu Diesel, що були встановлені на універсальному судні водотоннажністю 37200 тонн. Кожний з дизелів експлуатувався на окремому термодинамічному режимі з рекомендованого фірмою-виробником температурного діапазону в системі охолодження прісної води.

Діагностика стану моторного мастила виконувалась за шляхом його спектрального аналізу, за яким визначалась кількість різних хімічних елементів, які потрапляють в мастило внаслідок згоряння палива, зношування деталей дизеля, а також в результаті безпосереднього окислення самого мастила. Частину цих елементів (відповідно до їхньої функціональної дії, а саме – впливу на знос деталей дизеля) уналежнюють до категорії Wear Elements, частину (що впливає на забруднення мастила) – до категорії Contaminant Elements. Результати спектрального аналізу моторного мастила наведені на рис. 3.



після 500 годин експлуатації

після 1000 годин експлуатації

Рис. 3. Зміна експлуатаційних показників моторного мастила Shell S40 та ресурсних показників судових дизелів 6DK-20e фірми Daihatsu Diesel за різних умов їхньої експлуатації: I –  $t_{\text{охл}}=65\pm 1^\circ\text{C}$ ; II –  $t_{\text{охл}}=72\pm 1^\circ\text{C}$ ; III –  $t_{\text{охл}}=80\pm 1^\circ\text{C}$

Ще однією причиною, що впливає на зміну технічного стану дизелів суден морського транспорту є елементарний склад палива, на якому відбувається їхня експлуатація. З метою визначення впливу палива різного елементарного складу на утворення в результаті його згоряння речовин, що впливають на забруднення моторного мастила та знос деталей дизеля, а також з можливістю використання запропонованої раніше технологічної схем для діагностування перебігу процесу мащення та технічного стану дизеля, цикл досліджень було продовжено та виконано на судових дизелях 6R26 Wartsila. Мащення дизелів забезпечувалось циркуляційною системою, у якій використовувалось моторне мастило Castrol 15W20, експлуатація одного з дизелів виконувалась з використанням палива RME180, іншого – з паливом RME350.

Виконані дослідження сприяли розв'язанню третього допоміжного завдання та формуванню його наукового результату – термодинамічні режими експлуатації судових дизелів та елементарний склад палива, що використовується в дизелі для отримання корисної роботи, впливають на експлуатаційні показники моторного мастила та технічний стан дизелів і, відповідно, призводять до зміни їхніх ресурсозберігаючих показників.

**П'ятий розділ** «Розробка методики ресурсозберігаючої експлуатації судових дизелів на основі системи діагностування моторного мастила» присвячено розв'язанню головного завдання наукового дослідження, яке було досягнуте шляхом синтезу наукових результатів допоміжних завдань.

Одним із типових методів розрахункової оцінки показників надійності та, зокрема, ресурсозберігаючої експлуатації є застосування масиву статистичних даних, що узагальнюють результати тривалих випробувань однотипних вузлів чи деталей. Більш пристосовані для індивідуальних прогнозів методи, інформаційною основою яких є результати моніторингу експлуатаційних параметрів конкретного контрольованого об'єкта. На рис. 4 представлена частина алгоритму моніторингу технічного стану енергетичного обладнання щодо процедури прогнозу. Разом з поточним контролем та діагностуванням експлуатаційних показників цей алгоритм передбачає статистичний аналіз та прогнозування цих показників з урахуванням згладжування їхніх окремих значень протягом відповідних часових рядів.

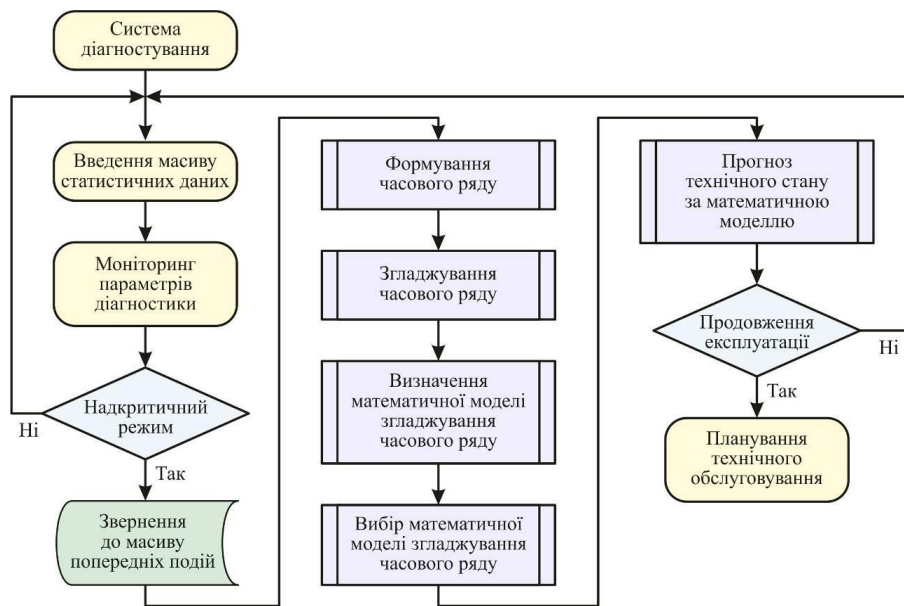


Рис. 4. Алгоритм моніторингу технічного стану дизеля щодо процедури прогнозу за допомогою часових рядів значень контрольованих параметрів

Система моніторингу технічного стану енергетичного обладнання на основі аналізу послідовних даних (якими в розглянутій постановці задачі є загальне лужне число моторного мастила TBN і кількість металевих домішок, які в ньому знаходяться  $C_{Fe}$ ) виконує розрахунок градієнта зміни швидкості загального лужного числа  $\vec{V}_{TBN}$  та швидкості зміни концентрації металевих домішок  $V_{C_{Fe}}$ . З появою критичного чи надкритичного відхилення цих величин починається процедура прогнозування технічного стану. При цьому система аналізує попередні тимчасові ряди з метою визначення збігу відхилень з аналогічними значеннями попередніх часових рядів.

Виконаними дослідженнями було встановлено, що забезпечення ресурсозберігаючої експлуатації судових дизелів можливе через діагностування та подальше управління експлуатаційними характеристиками моторного мастила, яке використовується в його системах мащення. При цьому як такі характеристики доцільно використовувати значення градієнту швидкості зміни загального лужного числа  $\vec{V}_{TBN}$  та швидкість концентрації металевих домішок у

моторному мастилі  $V_{C_{Fe}}$ . Для систем циліндрового мащення ці показники вимірюються та розраховуються для моторного мастила, що потрапляє до підпоршневого простору дизеля, для систем циркуляційного мащення – для мастила, що знаходиться в картері дизеля. З метою підтвердження такого способу управління експлуатаційними характеристиками моторного мастила та забезпечення через це ресурсозберігаючої експлуатації суднових дизелів була подовжена серія експериментальних досліджень на суднових двотактних дизелях 6S50ME-C9.7-HPSCR MAN-B&W Yichang Marine Diesel Engine Co. Ltd, а також суднових чотиритактних дизелях 6DE-18 Daihatsu Diesel та 6L27/38 MAN-Diesel&Turbo. Як критичні значення для мастил системи циліндрового мащення

були прийняті значення  $\vec{V}_{TBN}^{2r} \geq 0,03 \frac{\text{мгКОН/г}}{\text{год}}$ ;  $V_{C_{Fe}} \geq 0,04 \frac{\text{ppm}}{\text{год}}$ ; для мастил

системи циркуляційного мащення  $\vec{V}_{TBN}^{4r} \geq 0,09 \frac{\text{мгКОН/г}}{\text{год}}$ ;  $V_{C_{Fe}} \geq 0,04 \frac{\text{ppm}}{\text{год}}$ . У разі

фіксації критичних значень контрольованих величин або значень, що перебільшували критичні значення, здійснювалось примусове збільшення подачі мастила в циліндр дизеля або поповнення обсягу моторного мастила в системі циркуляційного мащення. У першому випадку це забезпечувалось підвищенням дозування моторного мастила за допомогою лубрикатора; у другому – доливанням мастила в картер дизеля до максимального рівня (зазначимо, що ця операція була не обов'язковою, та обсяг мастила в системі знаходився в регламентованому рівні). Візуалізація результатів дослідження наведена на рис. 5, 6 (червоні пунктирні лінії на рисунках відповідають часу виконання дій з управління експлуатаційними характеристиками моторного мастила).

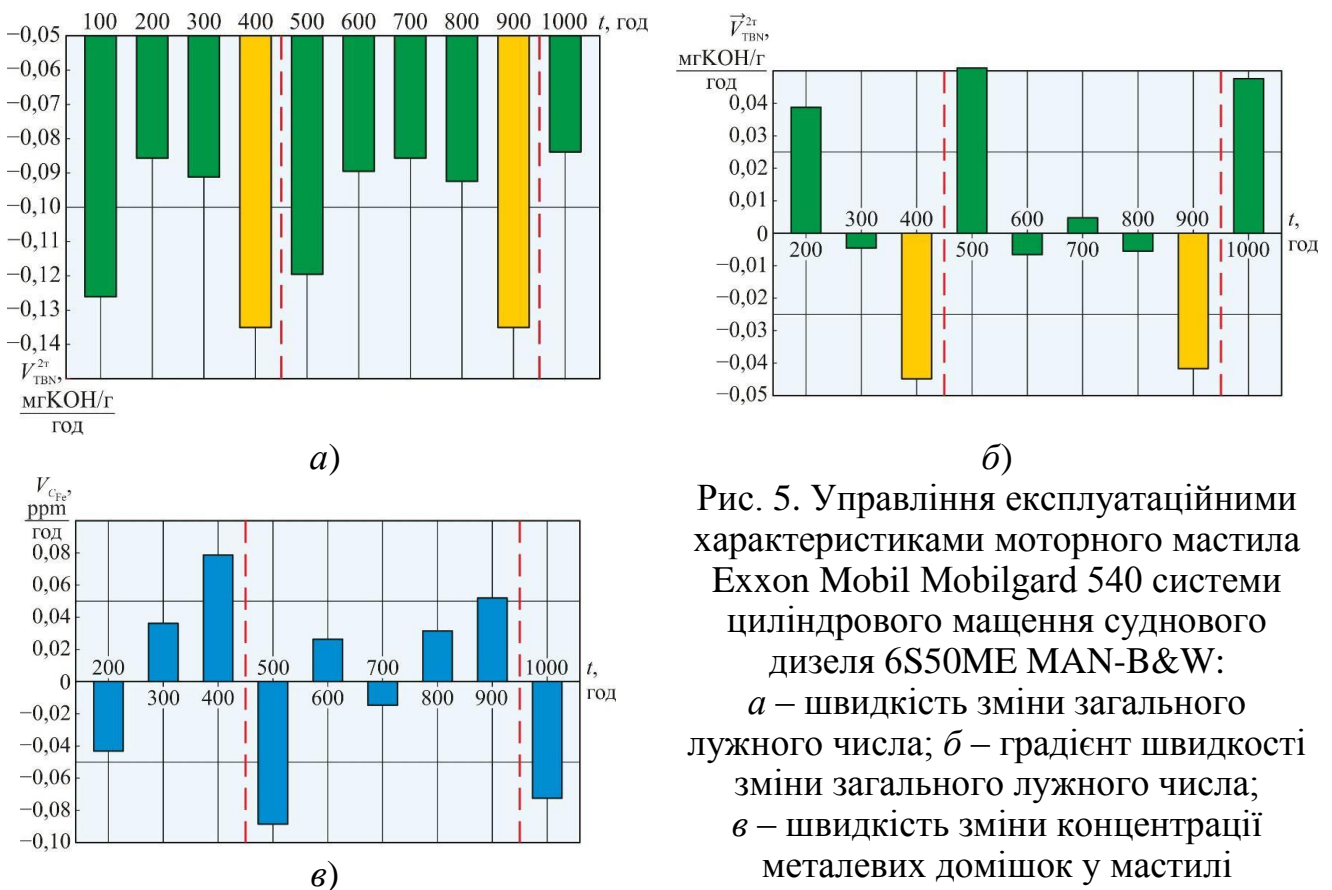


Рис. 5. Управління експлуатаційними характеристиками моторного мастила Exxon Mobil Mobilgard 540 системи циліндрового мащення суднового дизеля 6S50ME MAN-B&W: а – швидкість зміни загального лужного числа; б – градієнт швидкості зміни загального лужного числа; в – швидкість зміни концентрації металевих домішок у мастилі

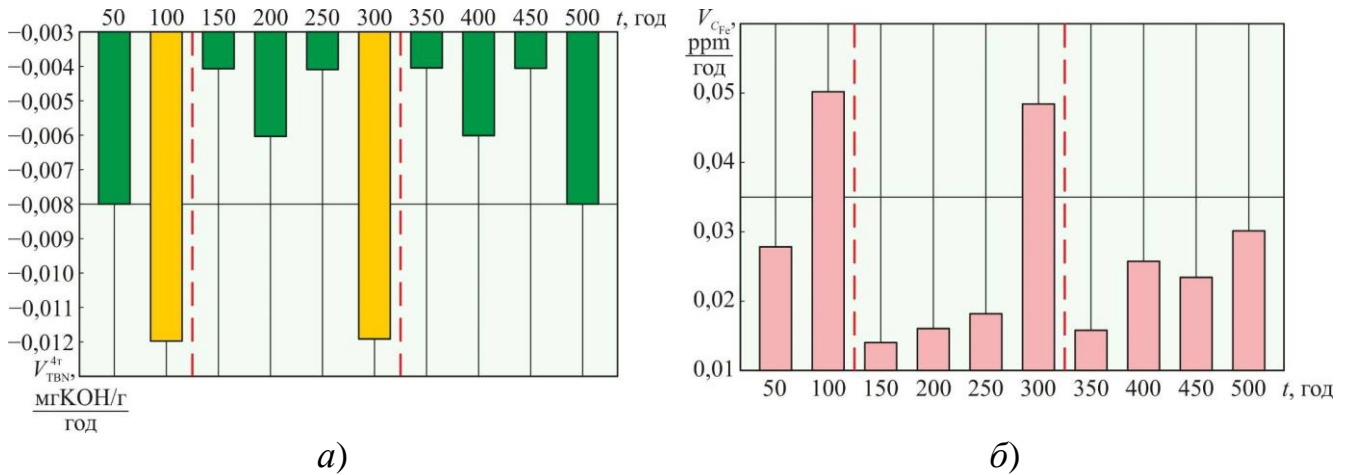


Рис. 6. Управління експлуатаційними характеристиками моторного мастила Exxon Mobil Mobilgard 412 системи циркуляційного мащення суднового дизеля 6DE-18 Daihatsu Diesel: *а* – градієнт швидкості зміни загального лужного числа; *б* – швидкість зміни концентрації металевих домішок у моторному мастилі

Комплексними науковими та експериментальними дослідженнями, як критерії, за якими більш доцільно та ефективно діагностувати технічний стан суднових дизелів, визначені градієнт швидкості зміни загального лужного числа мастила та швидкість зміни концентрації металевих домішок у мастилі. Разом з визначенням технічного стану дизеля ці показники також впливають на ресурс його роботи та, відповідно, визначають його ресурсозберігаючу експлуатацію. Встановлення діапазону допустимих, критичних, надкритичних та аварійних значень експлуатаційних показників моторного мастила (відносно швидкості зміни загального лужного числа, градієнту швидкості зміни загального лужного числа, швидкості зміни концентрації металевих домішок); встановлення часових рядів зі визначення експлуатаційних показників моторного мастила забезпечили розробку методики ресурсозберігаючої експлуатації суднових дизелів на основі системи діагностування моторного мастила, що використовується у системах циліндрового або циркуляційного мащення. Послідовність її проведення наведена на рис. 7.

Усі дослідження виконувались на енергетичних установках, що мають чинні 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 – розробки методики ресурсозберігаючої експлуатації судових дизелів на основі системи діагностування моторного мастила.

Моторне мастило, що використовується в системах циліндрового та циркуляційного мащення судових дизелів, є однією з надважливих складових, що впливають, забезпечують та гарантують ресурс їхньої роботи, а також сприяють підтриманню їхніх енергетичних та економічних показників та технічного стану.

Головним науковим результатом дисертаційної роботи є визначення методики ресурсозберігаючої експлуатації судових дизелів, яка, на відміну від існуючих, заснована на діагностуванні та подальшому управлінні експлуатаційними характеристиками моторного мастила систем циліндрового та циркуляційного мащення, якими є градієнт швидкості зміни загального лужного числа та швидкість зміни концентрації металевих домішок у моторному мастилі.

Основні наукові та практичні результати дисертаційного дослідження.

1. Під час експлуатації моторного мастила (як будь-якої робочої речовини, що використовується в дизелях суден морського транспорту) здійснюються постійні зміни його експлуатаційних характеристик – ці зміни здійснюються в негативний бік та характерні для моторних мастил як для циліндрових, також і для циркуляційних систем мащення.

Загальне лужне число моторного мастила та значення концентрації металевих домішок у моторному мастилі, як найбільш визнані показники моторного мастила, за якими здійснюється оцінка його функціональності, характеризують поточний стан процесу мащення контактних вузлів судового дизеля та не надають оцінки його комплексного перебігу. Для виконання такої оцінки найбільш доцільним є визначення швидкості зміни цих показників, а також градієнту швидкості зміни загального лужного числа.

2. Швидкість зміни загального лужного числа моторного мастила характеризується негативними значеннями для всіх режимів та інтервалів експлуатації дизелів. Збільшення швидкості зміни загального лужного числа свідчить про виникнення додаткових процесів та явищ, що призвели до підвищення кислотного середовища в циліндрі дизеля та, відповідно, до зменшення загального лужного числа моторного мастила на певних проміжках часу.

3. Для систем циліндрового мащення поточне та попереднє зменшення загального лужного числа під час експлуатації характеризується коливальним характером. Через це коливальним характером характеризується також швидкість зміни загального лужного числа. Поточне значення цієї величини в порівнянні з попереднім може змінюватися або в бік зменшення, або в бік збільшення за певний проміжок часу. Це дає підставу для оцінки процесу мащення ввести додаткове поняття «градієнт швидкості зміни загального лужного числа». Позитивні значення цієї величини відповідають уповільненню зменшення загального лужного числа (та, відповідно, зменшенню окислювальних процесів в

циліндрі дизеля та покращення перебігу процесу мащення), негативні – прискоренню зменшення загального лужного числа (та, відповідно, погіршенню перебігу процесу мащення). Саме «градієнт швидкості зміни загального лужного числа» є показником, що може бути прийнятий як якісний критерій моторного мастила, що характеризує ресурсозберігаючу експлуатацію судових дизелів.

4. Через збіг динаміки зміни вмісту в мастилі компонентів, що характеризують знос його трибосполучень, а також потрапляння до мастила забруднюючих речовин, з градієнтом швидкості зміни загального лужного числа мастила саме градієнт швидкості зміни загального лужного числа рекомендується як параметр, за яким доречно виконувати експрес-діагностику технічного стану трибосполучень дизелів суден морського транспорту. До таких трибосполучень перш за все відносяться поршневі кільця та втулка циліндра, а також вкладиш підшипника та колінчатий вал. Збільшення градієнту швидкості зміни загального лужного відповідає збільшенню концентрації в мастилі компонентів, що характеризують знос саме цих елементів дизеля.

5. Швидкість зміни вмісту металевих домішок у моторному мастилі може приймати як позитивні, також і негативні значення. Позитивні значення відповідають режимам тертя, у результаті яких збільшується знос контактних поверхонь (циліндрових втулок, поршневих кілець, вкладишів підшипників) що відображається в підвищенні кількості металевих домішок у пробах моторного мастила та призводить до зменшення ресурсу судового дизеля. Негативні значення свідчать про зменшення металевих домішок у моторному мастилі в порівнянні з попереднім вимірюванням та характеризують зменшення зносу контактних поверхонь за цей період. Саме «швидкість зміни вмісту металевих домішок у моторному мастилі» є показником, що може бути прийнятий як кількісний критерій моторного мастила, що характеризує ресурсозберігаючу експлуатацію судових дизелів.

6. Термодинамічні режими експлуатації судових дизелів та елементарний склад палива, що використовується в дизелі для отримання корисної роботи, впливають на експлуатаційні показники моторного мастила та технічний стан дизелів й через це призводять до зміни їхніх ресурсозберігаючих показників.

Ефективність експлуатації циркуляційних систем мащення судових чотиритактних дизелів залежить як від параметрів безпосередньо в системі мащення (тиску, температури, в'язкості та лужного числа мастила), також і від параметрів в системі охолодження циліндрів дизеля. У рекомендованому діапазоні температур охолоджуючої води існують оптимальні значення, за якими підтримується термодинамічна рівновага в комплексі паливо – продукти згоряння – мастило – деталі дизеля, що сприяє зменшенню зносу циліндрових втулок та поршневих кілець та відображається меншою концентрацією в моторному мастилі елементів, що впливають на знос деталей дизеля та на забруднення мастила.

7. Встановлення діапазону допустимих, критичних, надкритичних та аварійних значень експлуатаційних показників моторного мастила (відносно швидкості зміни загального лужного числа, градієнту швидкості зміни загального лужного числа, швидкості зміни концентрації металевих домішок); встановлення

часових рядів з визначення експлуатаційних показників моторного мастила забезпечили розробку методики ресурсозберігаючої експлуатації суднових дизелів на основі системи діагностування моторного мастила, що використовується у системах циліндрового або циркуляційного мащення.

8. Забезпечення ресурсозберігаючої експлуатації суднових дизелів здійснюється шляхом моніторингу та подальшого управління експлуатаційними характеристиками моторних мастил, що використовуються в їхніх системах циліндрового та циркуляційного мащення (а саме, градієнтом зміни швидкості загального лужного числа моторного мастила та швидкістю зміни концентрації металевих домішок у моторному мастилі).

9. Наведені в дослідженні теоретично обґрунтовані та експериментально підтверджені наукові результати мають суттєву практичну значимість. Доведена можливість управління експлуатаційними характеристиками суднових моторних мастил, що використовуються в системах циліндрового та циркуляційного мащення суднових дизелів забезпечує гарантований фірмою-виробником ресурс роботи суднових дизелів.

## 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. Разінікін Р.О. Діагностування технічного стану суднових дизелів за аналізом моторної оливи // Розвиток транспорту. – 2025. – Вип. 4(27). – С. 82-93. <https://doi.org/10.33082/td.2025.4-27.06>.

2. Разінікін Р.О. Забезпечення ресурсозберігаючої експлуатації суднових дизелів шляхом діагностування моторного мастила // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2025. – Вип. 3(44). – С. 241-255. [doi.org/10.33298/2226-8553.2025.3.43.24](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2025.3.43.24).

3. Чимшир В.І., Разінікін Р.О. Аналіз показників системи діагностування моторного мастила суднових довгоходових дизелів // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. – 2025. – Вип. 51. – С. 94-106. DOI: [10.31653/51.2025.94-106](https://doi.org/10.31653/51.2025.94-106).

4. Сагін С.В., Куропятник О.А., Разінікін Р.О. Визначення впливу системи рециркуляції випускних газів на експлуатаційні показники роботи суднового малообертового дизеля // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. – 2024. – Вип. 49. – С. 124-136. doi: DOI: [10.31653/smf49.2024.124-136](https://doi.org/10.31653/smf49.2024.124-136).

5. Сагін С.В., Мадей В.В., Сагін С.С., Чимшир В.І., Разінікін 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. – С. 157-171. doi: [10.31653/smf47.2023.157-171](https://doi.org/10.31653/smf47.2023.157-171).

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

6. Sagin S., Haichenia O., Karianskyi S., Kuropyatnyk O., Razinkin R., Sagin A., Volkov O. Improving Green Shipping by Using Alternative Fuels in Ship Diesel Engines // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2025. – Vol. 13(3). – P. 589. <https://doi.org/10.3390/jmse13030589>.

7. Sagin S., Kuropyatnyk O., Matieiko O., Razinkin R., Stoliaryk T., Volkov O. Ensuring Operational Performance and Environmental Sustainability of Marine Diesel Engines through the Use of Biodiesel Fuel // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2024. – Vol. 12(8). – P. 1440. <https://doi.org/10.3390/jmse12081440>.

Розділ у колективній монографії:

8. Разінкін Р.О. Імітаційна модель накопичення продуктів зносу у відпрацьованій циліндровій оливі // Колективна монографія «Сучасні підходи до вискоелективного використання засобів транспорту», за редакцією В. Чимшир. – Ізмаїл: ДІ НУ «ОМА», 2020 – Київ: Міленіум, 2020. – С. 182-193. ISBN 978-966-8063-81-6. <https://dinuoma.com.ua/wp-content/uploads/2021/04/monografia2020.pdf>.

Статті у збірках матеріалів наукових конференцій

9. Разінкін Р.О. Використання імітаційного статистичного аналізу даних під час діагностування технічного стану дизелів суден морського транспорту // Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 19-20 березня 2026 р., НУОМА. – С. 69-75.

10. Разінкін Р.О. Забезпечення ефективності експлуатації циркуляційних систем мащення судових чотиритактних дизелів // Збірник матеріалів XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні підходи до вискоелективного використання засобів транспорту», ДІ НУОМА – 2025, 5-6 грудня 2025 р. Ізмаїл. – С. 210-213.

11. Разінкін Р.О. Діагностування стану циліндрової групи та підшипників ковзання судових дизелів за аналізом моторного мастила циркуляційних систем мащення // Збірка матеріалів VI міжнародної науково-практичної конференції: Дніпровські читання-2025, 5 грудня 2025 р. – Київ: Київський інститут водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного Національного транспортного університету, 2025. – С. 43-46.

12. Чимшир В.І., Разінкін Р.О. Забезпечення експлуатаційних показників моторних мастил судових дизелів // Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI – 2025)», 03–04 грудня 2025 р. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2025. – С. 264-268.

13. Разінкін Р.О. Підвищення ефективності процесу мащення підшипникових вузлів судових дизелів // Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми сталого розвитку морської галузі (PSDMI – 2025)», 03–04 грудня 2025 р. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2025. – С. 242-244.

14. Разінкін Р.О. Огляд способів підвищення надійності втулок циліндрів судових дизелів // Матеріали XV міжнародної науково-технічної конференції

«Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 26.11.2025. – Одеса: НУОМА, 2025. – С.179-183 <http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2025.26.11.25.pdf>.

15. Разінкін Р.О. Контроль технічного стану циліндрової групи судових малооборотних дизелів // V науково-технічна конференція молодих вчених «Інновації та технології на морському та внутрішньому водному транспорті», 26.11.2025 – Одеса: НУОМА, 2025. – С.46-48. <http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/IandTMIWT-2025.26.11.25.pdf>.

16. Разінкін Р.О., Шумейко М.С. Перспективи використання аміаку як палива для морського транспорту // Матеріали XV Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні підходи до вискоефективного використання засобів транспорту», м. Ізмаїл, ДІ НУОМА, 6-7 грудня 2024 р. – С. 163-165. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14560948>.

17. Razinkin R. Utilising of methanol as marine fuel // Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні підходи до вискоефективного використання засобів транспорту», м. Ізмаїл, ДІ НУ «ОМА», 8-9 грудня 2023 р. – С. 185-187. [https://drive.google.com/file/d/1NObPGGddzTIE1ytFS0hRD5z6\\_q\\_FeyQO/view](https://drive.google.com/file/d/1NObPGGddzTIE1ytFS0hRD5z6_q_FeyQO/view).

18. Разінкін Р.О. Аналіз впливу низькосірчаного палива на систему лубрикації СДВЗ та превентивні заходи зі зменшення зносу деталей ЦПГ // Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні підходи розвитку компетентнісних якостей фахівців в умовах професійного становлення», м. Ізмаїл, ДІ НУ «ОМА», 21 квітня 2023 року. – С. 70-73. <https://dinuoma.com.ua/wp-content/uploads/2023/05/zbyrnyk210423.pdf>.

19. Разінкін Р.О. Вплив на показники роботи СДВЗ в умовах підвищених зовнішніх збурень // Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні підходи до вискоефективного використання засобів транспорту», м. Ізмаїл, ДІ НУ «ОМА», 8-9 грудня 2022 р. – С. 106-109. <https://dinuoma.com.ua/wp-content/uploads/2022/12/conf20122022.pdf>.

20. Разінкін Р.О. Особливості експлуатації двохтактних малооборотних ДВЗ на ULSFO (<0.1% S) // Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні підходи розвитку компетентнісних якостей фахівців в умовах професійного становлення», м. Ізмаїл, ДІ НУ «ОМА», 28 червня 2021 року. – С. 71-73.

21. Лихогляд К.А., Разінкін Р.О., Журавльов С.В. Альтернативні види палива. Метанол та диметилловий ефір у якості замінників палива для ДВЗ // Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні підходи до вискоефективного використання засобів транспорту», м. Ізмаїл, ДІ НУ «ОМА», 3-4 грудня 2020 р. – С. 253-256. <https://dinuoma.com.ua/wp-content/uploads/2020/12/tezy041220.pdf>.

22. Razinkin R. Analysis of the possibility for the development of four-cycle engines man for the cruise fleet // Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні підходи до вискоефективного використання засобів транспорту», м. Ізмаїл, ДІ НУ «ОМА», 6-7 грудня 2018 р. – С. 191-193. <https://dinuoma.com.ua/wp-content/uploads/2018/12/mnpk9.pdf>.

23. Разінкін Р.О., Найдьонов А.І. Ресурсозберігаюча експлуатація суднових дизелів на основі трибомоніторингу моторного мастила // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні тенденції розвитку морської галузі, безпека судноплавства, підготовка моряків у відповідності до національних і міжнародних вимог», 25 травня 2018 р. – Маріуполь: АМІ НУ «ОМА». – С. 229-232.

24. Разінкін Р.О. Ресурсозберігаюча експлуатація суднових дизелів на основі трибомоніторингу моторного мастила // Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні підходи до вискоефективного використання засобів транспорту», м. Ізмаїл, ДІ НУ «ОМА», 7 грудня 2017 р. – 196-199. <https://dinuoma.com.ua/wp-content/uploads/2018/12/mnpk8.pdf>.

## АНОТАЦІЯ

**Разінкін Р.О. Розробка методики ресурсозберігаючої експлуатації суднових дизелів на основі системи діагностування моторного мастила.** – 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, 2026.

Дисертаційне дослідження спрямоване на розв’язання актуального науково-прикладного завдання – забезпечення ресурсозберігаючої експлуатації дизелів суден морського транспорту.

Головним науковим результатом дисертаційної роботи є визначення методики ресурсозберігаючої експлуатації суднових дизелів, яка, на відміну від існуючих, заснована на діагностуванні та подальшому управлінні експлуатаційними характеристиками моторного мастила систем циліндрового та циркуляційного мащення, якими є градієнт швидкості зміни загального лужного числа та швидкість зміни концентрації металевих домішок у моторному мастилi.

Визначено, що ресурсозберігаюча експлуатація суднових дизелів залежить від багатьох факторів, одним з яких є забезпечення процесу мащення їхніх основних контактних вузлів – поршневих кілець та втулки циліндра, а також вкладишів рамових та мотильових підшипників та колінчатого вала. Запобігання негативним випадкам, що пов’язані зі критичним погіршенням якості процесу мащення контактних вузлів дизеля, можливо шляхом діагностування та управління експлуатаційними характеристиками моторного мастила.

Якісним критерієм моторного мастила, що характеризує ресурсозберігаючу експлуатацію суднових дизелів, визначено градієнт швидкості зміни загального лужного числа моторного мастила. При цьому для системи циліндрового мащення цей показник визначається через поточне та паспортне значення загального лужного числа моторного мастила, проби якого відбираються за певний проміжок часу з підпоршневого простору дизеля, для системи циркуляційного мащення – через поточне та попереднє значення загального лужного числа моторного мастила, проби якого відбираються з картера дизеля.

Кількісним критерієм моторного мастила, що характеризує ресурсозберігаючу експлуатацію суднових дизелів, визначено швидкість зміни концентрації металевих домішок у моторному мастилі, яка як для систем циліндрового, так і для систем циркуляційного мащення визначається через поточне та попереднє значення концентрації металевих домішок у мастилі.

Комплекс досліджень, що виконувався в системах циліндрового та циркуляційного мащення різних двотактних та чотиритактних дизелів морських суден різного дедвейту та призначення сприяв встановленню діапазону допустимих, критичних, надкритичних та аварійних значень експлуатаційних показників моторного мастила (відносно швидкості зміни загального лужного числа, градієнту швидкості зміни загального лужного числа, швидкості зміни концентрації металевих домішок). Встановлення часових рядів зі визначення експлуатаційних показників моторного мастила забезпечили розробку методики ресурсозберігаючої експлуатації суднових дизелів на основі системи діагностування моторного мастила, що використовується у системах циліндрового або циркуляційного мащення.

Експериментально підтверджено, що забезпечення ресурсу роботи суднових дизелів досягається шляхом управління експлуатаційними характеристиками суднових моторних мастил, що використовуються в їхніх системах циліндрового та циркуляційного мащення (а саме, градієнтом зміни швидкості загального лужного числа моторного мастила та швидкістю зміни концентрації металевих домішок у моторному мастилі).

**Ключові слова:** вкладиш підшипника, діагностування, експлуатаційні показники, експлуатація, ефективність, загальне лужне число, знос, методика, металеві домішки, морський транспорт, моторне мастило, надійність, підшипники ковзання, поршень, поршневе кільце, регулювання, ремонт, ресурс, ресурсозбереження, система мащення, судновий дизель, транспорт, управління, циліндрова група.

## THE SUMMARY

**Razinkin R.O. Development of a methodology for resource-saving operation of marine diesel engines based on a motor lubricant diagnostic system.** – 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, 2026.

The dissertation addresses the scientific and applied problem of developing a methodology for resource-saving operation of marine diesel engines using a motor lubricant diagnostic system.

The primary scientific result is the experimentally validated assertion that engine service life is ensured through diagnosis and management of key operational characteristics of engine oil in cylinder and circulating lubrication systems: namely, the gradient of the rate of change of the total base number (TBN) and the rate of change of metal impurity concentrations.

It has been determined that the resource-saving operation of marine diesel engines depends on many factors, one of which is ensuring the lubrication process of their main contact nodes – piston rings and cylinder liners, as well as liners of main and bearings liner and crankshaft. Prevention of negative incidents associated with a critical deterioration in the quality of the lubrication process of diesel engine contact nodes is possible by diagnosing and managing the operational characteristics of engine lubricant.

The gradient of the TBN rate of change serves as a qualitative criterion for resource-saving operation. For the cylinder lubrication system, it is calculated using current and passport TBN values from oil samples taken over time from the sub-piston space. For the circulating lubrication system, it uses current and prior TBN values from crankcase samples.

The gradient of the TBN rate of change serves as a qualitative criterion for resource-saving operation. For the cylinder lubrication system, it is calculated using current and passport TBN values from oil samples taken over time from the sub-piston space. For the circulating lubrication system, it uses current and prior TBN values from crankcase samples.

The rate of change in metal impurity concentrations provides the quantitative criterion and is determined for both systems using current and prior concentration values. Comprehensive studies on cylinder and circulating lubrication systems of two-stroke and four-stroke marine diesel engines across vessels of varying deadweight and purpose established permissible, critical, supercritical, and emergency thresholds for these operational parameters (TBN rate of change, TBN gradient, and metal impurity concentration rate). Time-series analysis of these parameters enabled formulation of the resource-saving methodology based on motor lubricant diagnostics.

It has been experimentally confirmed that ensuring the service life of marine diesel engines is achieved by controlling the operational characteristics of marine motor oils used in their cylinder and circulating lubrication systems (namely, the gradient of the rate of change of the total alkaline number of the motor oil and the rate of change of the concentration of metal impurities in the motor oil).

**Key words:** adjustment, bearing liner, control, cylinder group, diagnostics, efficiency, lubrication system, marine diesel, marine transport, metal impurities, methodology, motor oil, operation, performance indicators, piston ring, piston, plain bearings, reliability, repair, resource saving, resource, total base number, transport, wear.

Підп. до друку 5.05.2026.  
Формат 60×84/16. Папір офсет.  
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,39.  
Тираж 100 пр. Зам. № И26-05-06

Національний університет «Одеська морська академія»  
65052, м. Одеса, Дідріхсона, 8.  
Тел./факс (0482) 34-14-12  
publish-r@onma.edu.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 1292 від 20.03.2003