

© Куропятник О.А.

## КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВИПУСКНИМИ ГАЗАМИ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДЕН МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Наведені результати досліджень щодо комплексної оцінки ефективності використання систем управління випускними газами суднових дизелів для забезпечення екологічної експлуатації суден морського транспорту. Як метод, що сприяє досягненню цього завдання, розглянута низькоемісійна технологія рециркуляції випускних газів суднових дизелів. Наведені результати досліджень, що виконувались на судовому дизелі 8G60ME фірми MAN Diesel (обладнаному системою рециркуляції високого тиску) та на судовому дизелі 7UEC60LS фірми Mitsubishi (обладнаному системою рециркуляції низького тиску). Дослідження виконувались в діапазоні експлуатаційних навантажень на дизелі 60...90 % з поперемінною зміною степеню рециркуляції в діапазоні 5...20 %. Експериментально доведено, що обидві системи односпрямоване діють на екологічність суден морського транспорту. При цьому обидві схеми забезпечують виконання вимог Annex VI MARPOL щодо емісії оксидів азоту з випускними газами суднових дизелів. Встановлено, що залежно від ступеню рециркуляції та експлуатаційного навантаження на дизель обидві системи забезпечують 30...35 % зниження емісії оксидів азоту з випускними газами. Водночас з цим шляхом аналітичних розрахунків та експериментальних досліджень встановлено, що під час використання систем рециркуляції погіршуються енергетичні та економічні показники роботи суднових дизелів, що відображається на відповідних характеристиках морського судна. При цьому для досліджуваного діапазону зміни ступеню рециркуляції спостерігається відносне збільшення питомої витрати палива на 0,57...3,72 %; відносне збільшення годинної витрати палива на 0,68...3,78 %; відносне зменшення індикаторного тиску на 0,22...2,97 %; відносне зменшення ефективної потужності дизеля на 0,23...3,26 %. Зазначене викликає необхідність комплексної оцінки зміни екологічних, енергетичних та економічних показників роботи дизелів під час забезпечення екологічної експлуатації суден морського транспорту

**Ключові слова:** екологічна безпека, екологічні показники, емісія оксидів азоту, ефективна потужність дизеля, морський транспорт, питома витрата палива, система рециркуляції випускних газів, судовий дизель

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** Експлуатація засобів морського транспорту характеризується деякими принциповими відмінностями від експлуатації інших видів транспорту – авіаційного, автомобільного та залізничного [1-3]. Перш за все це пов'язане з об'ємами вантажу, що транспортується суднами морського транспорту, а також відстанями, на які ці перевезення можливі [4-6]. Також необхідно визначити, що в деяких випадках морські перевезення поглинають у себе перевезення, що виконуються залізничними та автомобільними засобами транспорту [7-9]. Підтвердженням цього є залізничні та автомобільні пороми, що транспортують потяги та вантажні автомобілі від одного морського порту до іншого. У тому числі через це, до складу морського транспорту входять судна різного призначення, водотоннажності, потужності головної та допоміжної енергетичних установок, швидкості та району плавання [10-12].

Водночас з комерційними перевагами, які забезпечують судна морського транспорту, під час їх експлуатації здійснюється постійний негативний вплив на довкілля. Перш за все це пов'язано з емісією оксидів вуглецю CO та CO<sub>2</sub>, оксидів сірки SO<sub>x</sub>, а також оксидів азоту NO<sub>x</sub> які є невід'ємною складовою випускних газів суднових дизелів – найбільш розповсюдженого типу теплових двигунів, що встановлюються та використовуються на морських суднах [13-15]. Викиди оксидів азоту NO<sub>x</sub>, а також

вміст сірки S у судовому паливі (яка є джерелом подальшого утворення оксидів сірки SO<sub>x</sub>) регламентується з боку міжнародних організацій та класифікаційних товариств та повинні відповідати вимогами Annex VI MARPOL [16-18]. Забезпечення необхідного рівню емісії вказаних шкідливих речовин є актуальним завданням, на розв'язання якого вже багато років спрямована увага проектних та науково-дослідницьких організацій, а також провідних дизелебудівних фірм та концернів, які виробляють та постачають двигуни внутрішнього згоряння різного призначення та потужності як для судової, також і для стаціонарної енергетики [19-22].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** До одного з найбільш важливих компонентів випускних газів судових дизелів, значення якого регламентується Annex VI MARPOL, відносяться оксиди азоту NO<sub>x</sub>. Джерелами утворення NO<sub>x</sub> є азот, що знаходиться в повітрі, та азот, що знаходиться в паливі [23-26]. Під час згоряння паливоповітряної суміші, з азоту, що знаходиться в повітрі, утворюються термічні NO<sub>x</sub> та швидкі NO<sub>x</sub>; з азоту, що входить до складу палива, – паливні NO<sub>x</sub>. За температур вище ніж 1500 °C відбувається ланцюгова реакція утворення оксидів азоту [27-29]. Тому всі методи та технології, які забезпечують зменшення емісії NO<sub>x</sub>, спрямовані на зниження максимальної температури в циліндрі дизеля [30-32].

Відповідно до вимог Annex VI MARPOL встановлено три рівні викидів оксидів азоту – Tier I, Tier II, Tier III, які встановлюють максимальний рівень емісії оксидів азоту залежно від року побудови судна та частоти обертання дизеля [33-35].

Сучасні судна (термін експлуатації яких не перебільшує 10 років) відносяться до Tier III вимог Annex VI MARPOL. Підтримання необхідного рівня емісії оксидів азоту для подібних суден можливо лише за умовою використання додаткових методів очищення випускних газів, які поділяються на первинні та вторинні [36-38]. Первинні забезпечують створення сприятливих умов, які перешкоджають ланцюговій реакції утворення оксидів азоту під час згоряння палива [39-41]. Перш за все вони спрямовані на зниження максимальної температури згоряння в циліндрі дизеля. Найбільш розповсюдженими з первинних методів є зволоження наддувного повітря, використання водопаливних емульсій, безпосереднє впорскування води в циліндр дизеля, рециркуляція випускних газів. Найбільш поширеним серед вторинних методів зниження емісії оксидів азоту є селективне каталітичне відновлення [42-44].

Системи рециркуляції випускних газів судових дизелів відносяться до одних з найбільш розповсюджених технологій забезпечення екологічної експлуатації суден морського транспорту [45-47]. У залежності від технологічної схеми, за якою виконується рециркуляція газів, їх можливе поділити на лінійні та комплексні. У лінійних системах забезпечується однорівнева рециркуляція – в цих випадках частина випускних газів повертаються до циліндрів дизеля завдяки системи рециркуляції високого або низького тиску. До однорівневого способу управління емісією випускних газів дизелів морських суден також можливо віднести системи перепуску газів повз газотурбонагнітача.

У комплексних системах забезпечується двохрівнева рециркуляція – як правило, почергово у системі високого та після цього у системі низького тиску. Таки схеми використовуються під час двохступеневого наддуву судових дизелів – способу забезпечення повітропостачання дизеля та видалення випускних газів, що знаходить широке розповсюдження для сучасних двигунів внутрішнього згоряння високої потужності [48-50]. Також комплексні системи поєднують два способи управління випускними газами – рециркуляцію (високого або низького тиску) та перепуск газів повз газотурбонагнітача.

Під час використання технологій, що забезпечують екологічну експлуатацію суден морського транспорту щодо емісії оксидів азоту, виникає протиріччя між екологічністю та енергетичністю, а також між екологічністю та економічністю [51, 52]. Збільшення екологічності роботи суден морського транспорту (а саме зниження емісії оксидів азоту) призводить до підвищення питомої витрати палива (що знижує економічність роботи судових дизелів), а в деяких випадках – сприяє зниженню ефективної потужності судових дизелів (що знижує його енергетичні показники). Через це, під час використання технологій, що забезпечують зниження емісії оксидів азоту, виникає необхідність розв'язання дилеми, іншим завданням якої є мінімізація енергетичних та економічних втрат, пов'язаних з експлуатацією суден та їх енергетичних установок.

**Формулювання цілей статті.** Ціллю статті була комплексна оцінка ефективності використання систем управління випускними газами суднових дизелів для забезпечення екологічної експлуатації суден морського транспорту. При цьому враховувались екологічні, енергетичні та економічні показники роботи суднових дизелів під час використання різних систем рециркуляції випускних газів.

**Виклад основного матеріалу.** Дослідження виконувались на морських судах класу Gas Carrier. Як головний двигун на одному з суден використовувався судновий малооборотний дизель 8G60ME фірми MAN Diesel (обладнаний системою рециркуляції газів високого тиску – HP-EGR) та на іншому – судновий малооборотний дизель 7UEC60LS фірми Mitsubishi (обладнаний системою рециркуляції випускних газів низького тиску – LP-EGR). Під час використання системи високого тиску частина випускних газів повертається до циліндрів до потрапляння на лопатки газової турбіни газотурбонагнітача, під час використання системи низького тиску частина випускних газів повертається до циліндрів дизеля після виходу з газотурбонагнітача.

Принципова схема системи рециркуляції випускних газів HP-EGR суднового малооборотного дизеля 8G60ME фірми MAN Diesel надана на рис. 1, а. Принципова схема системи рециркуляції випускних газів низького тиску LP-EGR суднового малооборотного дизеля 7UEC60LS фірми Mitsubishi з показана рис. 1, б. Компонівка та функціонування обох схем зрозуміла та не викликає додаткового пояснення.

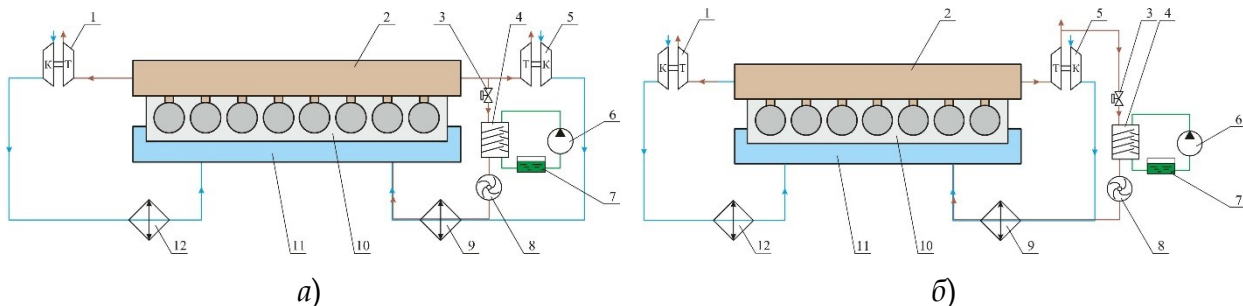


Рисунок 1 – Принципові схеми систем рециркуляції випускних газів:

а – HP-EGR, судновий дизель 8G60ME; б – LP-EGR, судновий дизель 7UEC60LS;

1, 5 – газотурбонагнітач; 2 – випускний колектор; 3 – керуючий клапан системи рециркуляції випускних газів; 4 – скруббер; 6 – насос подачі прісної води в систему очищення та охолодження випускних газів; 7 – цистерна прісної води системи очищення та охолодження випускних газів; 9, 12 – охолоджувач наддувального повітря; 10 – судновий дизель; 11 – ресивер наддувального повітря; Т, К – газова турбіна та повітряний компресор газотурбонагнітачів

Вимірювання виконувались на лише на сталих режимах роботи, що відповідали 60 %, 70 %, 80 % та 90 % від номінального навантаження. При цьому на кожному з режимах ступень рециркуляції поступово змінювався та складав 5 %, 10 %, 15 % та 20 %. На кожному з режимів дослідження починались з вимірювання концентрації  $\text{NO}_x$  за умовою роботи дизеля без використання системи рециркуляції – HP-EGR або LP-EGR (EGR=0 %). В подальшому ступень рециркуляції EGR ступеневе змінювався від 5 % до 20 %. Після завершення циклу досліджень на одному навантаженні (наприклад 90 % від номінального) за різних ступенів рециркуляції, дизель відключався від системи HP-EGR або LP-EGR та поступово переводився на інше навантаження (яке для визначеного випадку складало 80 %). Далі цикл вимірювань повторювався. Навігаційні переходи дозволяли виконувати дослідження на кожному з режимів на протязі 1,5...2,0 годин, що забезпечувало стабільність всіх контрольованих показників – частоти обертання та потужності дизеля; питомої витрати палива; концентрації оксидів азоту.

Випробування проводилися під час зниження потужності дизеля, починаючи з максимально можливої за умови чистого корпусу судна. Зниження частоти обертання здійснювалося приблизно на один оберт кожні п'ять хвилин, що забезпечувало рівномірну зміну теплового режиму роботи дизеля. При цьому на кожному з досліджуваних режимів дизель попередньо працював протягом

30...45 хвилин, що гарантувало рівномірний розподіл теплових і масових потоків, після чого виконувалася фіксація необхідних параметрів. Під час дослідження на кожному з режимів підтримувались постійними значення температури охолоджуючої води та змащувального мастила, а також фази паливоподачі та випуску газів [104, 105].

Результати досліджень узагальнені та надані на рис. 2.

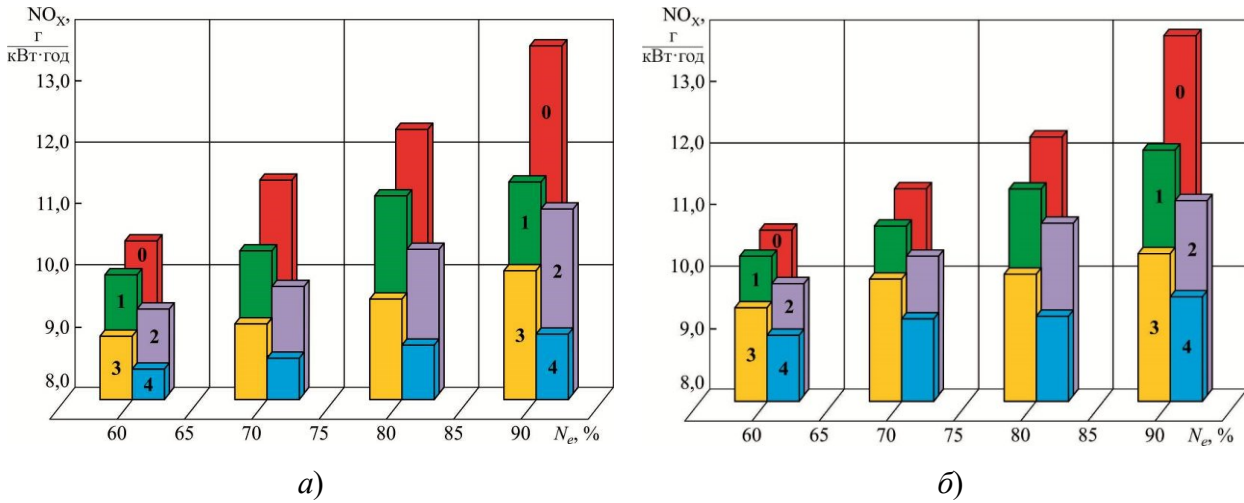


Рисунок 2 – Зміна емісії оксидів азоту  $NO_x$ , г/(кВт·год), з випускними газами для різного ступеня рециркуляції: а – дизель 8G60ME з HP-EGR; б – дизель 7UEC60LS з LP-EGR: 0 – робота без рециркуляції, EGR=0 %; 1 – EGR=5 %; 2 – EGR=10 %; 3 – EGR=15 %; 4 – EGR=20 %

Відносне зменшення емісії оксидів азоту  $\Delta NO_x$  може бути визначено за виразом

$$\Delta NO_x = \frac{NO_x^0 - NO_x^i}{NO_x^0} \cdot 100, \% \tag{1}$$

де  $NO_x^0$  – концентрація оксидів азоту у випадку, коли EGR=0 %.

$NO_x^i$  – концентрація оксидів азоту для інших значень ступеню рециркуляції EGR (5 %, 10 %, 15 %, 20 %).

Результати з визначення відносного зменшення емісії оксидів азоту  $\Delta NO_x$ , виконаного за виразом (1), узагальнені та надані на рис. 3.

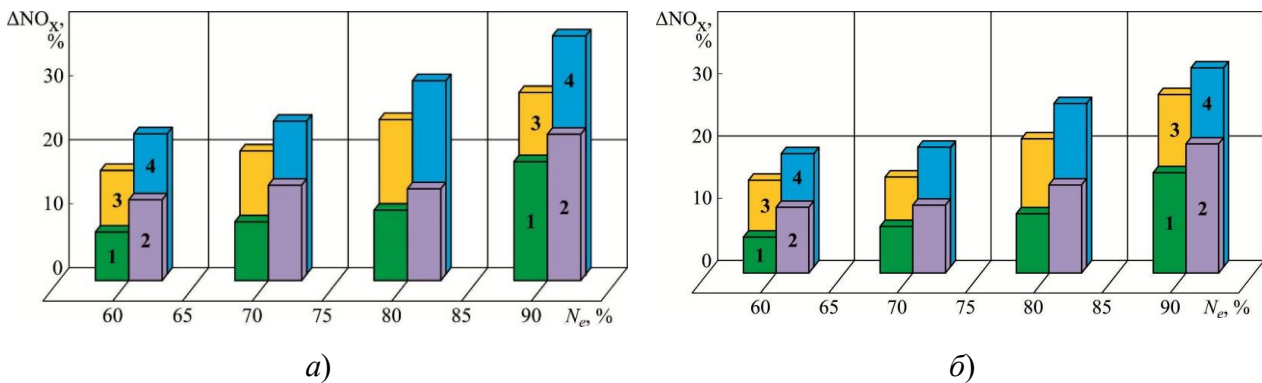


Рисунок 3 – Відносне зменшення емісії оксидів азоту  $\Delta NO_x$ , %, для різного ступеня рециркуляції: а – дизель 8G60ME з HP-EGR; б – дизель 7UEC60LS з LP-EGR: 1 – EGR=5 %; 2 – EGR=10 %; 3 – EGR=15 %; 4 – EGR=20 %



Повернення випускних газів у циліндри дизеля, що забезпечується під час їх рециркуляції системами HP-EGR або LP-EGR, призводить до зміни складу повітряно-газової суміші, яка у подальшому використовується як окислювач для палива, що впорскується у циліндр. Перш за все це виявляється у збільшенні кількості газів, що знаходяться у циліндрі. Це стає причиною збільшення коефіцієнту остаточних газів та зменшенню коефіцієнта наповнення та подальшого збільшення значення питомої витрати палива. Збільшенні кількості газів, що знаходяться у циліндрі, та відповідно зменшення кількості кисню призводить до зменшення утворення нових продуктів згоряння палива. Це знижує їх кінетичну енергію та призводить до зменшення індикаторного тиску та ефективної потужності дизеля.

Дослідження з визначення зміни енергетичних показників дизелів суден морського та внутрішнього водного транспорту під час використання системи рециркуляції випускних газів виконувались для всіх без виключення випадків випробувань, технологічні схеми та результати яких наведені на рис. 1, 2. При цьому ці показники визначались безпосередньо під час експлуатації дизелів – за допомогою систем діагностування та контролю, а також через використання суднового вимірювального обладнання. Як системи діагностування та контролю використовувались системи ProPower (для дизеля 8G60ME фірми MAN Diesel) та Engine Power Diagnostic (для дизеля 7UEC60LS фірми Mitsubishi). Як суднове вимірювальне обладнання – електроні мультіфункціональні витратоміри газів, повітря, рідини та вимірювачі рівню, а також газоаналізатори, що поєднані зі системою діагностики, електроні ватметри, цифрові тахометри.

Відносна зміна економічних та енергетичних показників під час використання системи EGR визначалась за виразами:

- відносне збільшення питомої витрати палива

$$\Delta b_e = \frac{b_e^{\text{EGR}} - b_e^0}{b_e^0} \cdot 100\%; \quad (2)$$

- відносне збільшення годинної витрати палива

$$\Delta B_{\text{год}} = \frac{B_{\text{год}}^{\text{EGR}} - B_{\text{год}}^0}{B_{\text{год}}^0} \cdot 100\%; \quad (3)$$

- відносне зменшення індикаторного тиску

$$\Delta p_i = \frac{p_i^0 - p_i^{\text{EGR}}}{p_i^0} \cdot 100\%; \quad (4)$$

- відносне зменшення ефективної потужності

$$\Delta N_e = \frac{N_e^0 - N_e^{\text{EGR}}}{N_e^0} \cdot 100\%; \quad (5)$$

в яких  $b_e^0$ ,  $B_{\text{год}}^0$ ,  $p_i^0$ ,  $N_e^0$  – питома витрата палива, годинна витрата палива, індикаторний тиск, ефективна потужність під час роботи дизеля без використання системи EGR;

$b_e^{\text{EGR}}$ ,  $B_{\text{год}}^{\text{EGR}}$ ,  $p_i^{\text{EGR}}$ ,  $N_e^{\text{EGR}}$  – ці ж показники під час роботи дизеля з використання системи EGR.

Результати визначення зміни енергетичних та економічних показників дизелів суден морського транспорту за виразами (2)-(5) з одночасним сумісним їх визначенням за допомогою суднових засобів діагностування та контролю, узагальнені та надані на рис. 4.

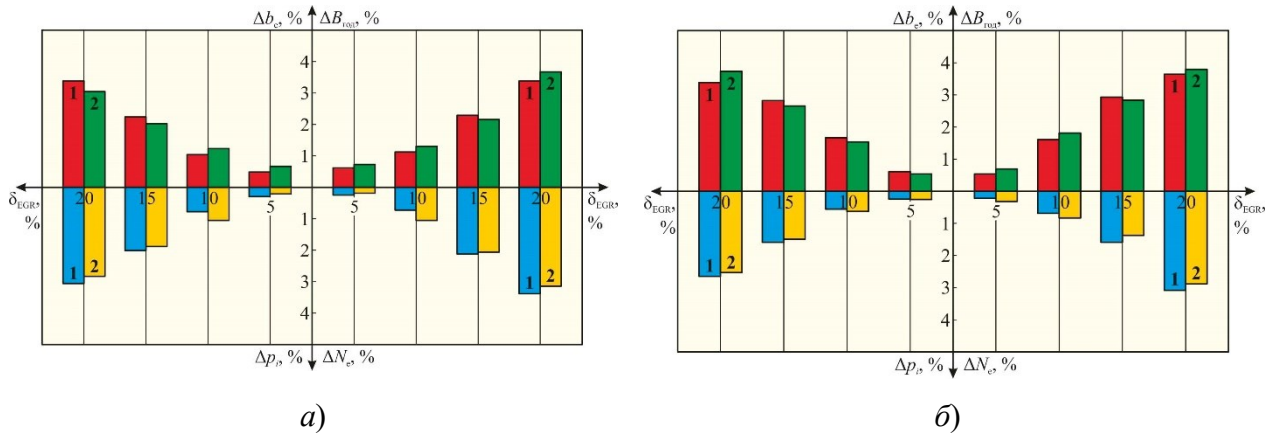


Рисунок 4 – Зміна енергетичних та економічних показників суднового дизеля 8G60ME фірми MAN Diesel під час використання системи HP-EGR (а) та суднового дизеля 7UEC60LS Mitsubishi під час використання системи LP-EGR (б):  
1 – експериментальне визначення; 2 – аналітичне визначення

Під час дослідження також контролювались та підтримувались в рекомендованому фірмою-виробником діапазоні всі основні показники роботи дизелів 8G60ME фірми MAN Diesel та 7UEC60LS Mitsubishi, а також систем, що забезпечують їх функціонування.

**Висновки.** Наведені результати досліджень дозволяють зробити наступні висновки.

1. Одним з показників, що визначає екологічність роботи суден морського та внутрішнього водного транспорту, є емісія оксидів азоту  $\text{NO}_x$  з випускними газами судових дизелів. Важливість підтримання необхідного рівню емісії оксидів азоту підтверджується вимогами Annex VI MARPOL. Одним з методів, що забезпечує зниження емісії оксидів азоту  $\text{NO}_x$ , та через це сприяє підвищенню екологічної експлуатації суден морського транспорту, є рециркуляція випускних газів. Залежно від параметрів випускних газів, з якими вони переспрямовується з випускної системи до циліндрів дизеля, системи рециркуляції поділяються на високого HP-EGR та LP-EGR низького типу.

2. Експериментальними дослідженнями, що використовувались на судових дизелях 8G60ME MAN Diesel (обладнаному системою HP-EGR) та 7UEC60LS Mitsubishi (обладнаному системою LP-EGR) встановлено, що в діапазоні експлуатаційних навантажень 60...90 % під час зміни ступеню рециркуляції в діапазоні 5...20 % системи HP-EGR та LP-EGR утворюють односпрямований позитивний вплив на екологічні показники роботи судових дизелів, при цьому

- система HP-EGR забезпечує зниження емісії оксиду азоту  $\text{NO}_x$  зі значень 10,42...13,62 г/(кВт·год) (що відповідає експлуатації дизеля 8G60ME MAN Diesel без використання системи рециркуляції) до значень 8,28...11,35 г/(кВт·год); у відсотковому діапазоні це зниження складає 5,37...35,54 %;

- система LP-EGR забезпечує зниження емісії оксиду азоту  $\text{NO}_x$  зі значень 10,56...13,74 г/(кВт·год) (що відповідає експлуатації дизеля 7UEC60LS Mitsubishi без використання системи рециркуляції) до значень 8,82...11,85 г/(кВт·год); у відсотковому діапазоні це зниження складає 3,79...30,71 %;

3. Водночас з цим шляхом аналітичних розрахунків та експериментальних досліджень встановлено, що під час використання систем рециркуляції погіршуються енергетичні та економічні показники роботи судових дизелів, що відображається на відповідних характеристиках морського судна. При цьому для досліджуваного діапазону зміни ступеню рециркуляції спостерігається відносне збільшення питомої витрати палива на 0,57...3,72 %; відносне збільшення годинної витрати палива на 0,68...3,78 %; відносне зменшення індикаторного тиску на 0,22...2,97 %; відносне зменшення ефективної потужності дизеля на 0,23...3,26 %.

4. Зазначене викликає необхідність комплексної оцінки зміни екологічних, енергетичних та економічних показників роботи дизелів під час забезпечення екологічної експлуатації суден морського транспорту

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Сагін С.В., Сагін А.С. Контроль та діагностування надійності та економічності дизелів морських та річкових засобів транспорту // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2023. – Вип. 46. – С. 118-131. doi: 10.31653/smf46.2023.118-131.
2. Левченко О.В., Двудіт З.П., Козленко О.В. Особливості управління персоналом підприємств залізничного транспорту // Ефективна економіка. – 2020. – № 6. – С. 1-7. <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=7985>. DOI: 10.32702/2307-2105-2020.6.72
3. Kurdiuk S., Dremluk V., Melnyk O., Onishchenko O., Fomin O., Pištěk V., Kučera P. Development of a High-Reliability Hybrid Data Transmission System for Unmanned Surface Vehicles Under Interference Conditions // Drones. – 2025. – № 9 (3). – P. 174. <https://doi.org/10.3390/drones9030174>.
4. Сагін С.С., Сагін С.В. Забезпечення безпеки маневрування великотоннажних суден в стиснених портових водах // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 3(41). – С. 208-220. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41.21.
5. Левченко О.В., Ганношина І.М., Остапчук Т.В. Система інформаційного забезпечення процесів прийняття рішень на мостіку судна // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2025. – Вип. 1(42). – С. 24-27. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.04.
6. Левченко О.В., Маранов О.В. Інтеграція комбінованих систем підтримки ухвалення рішень для забезпечення навігаційної безпеки та оптимізації руху суден у портових акваторіях // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2025. – Вип. 1(42). – С. 99-108. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.14.
7. Сагін С.В., Сагін С.С. Визначення методу управління рухом суден морського транспорту під час забезпечення їх безпечного розходження // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 2(38). – С. 187-198. doi.org/10.33298/2226-8553/2023.2.38.20.
8. Двудіт З.П., Тимошук О.М., Левченко О.В. Вдосконалення бізнес-процесів сучасних судноплавних компаній в сфері міжнародних морських вантажних перевезень // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Проблеми економіки та управління. – 2021. – № 1. – С. 1-12. <https://ena.lpnu.ua/items/c18bd237-03e6-4ae1-947c-6a2300e013e2>.
9. Левченко О.В. Сутність і зміст організаційно-економічного механізму управління логістичним потенціалом підприємств залізничного транспорту // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія: Економіка і управління. – 2014. – Вип. 29. – С. 148-155.
10. Сагін С.В., Сагін С.С. Використання штучного інтелекту в ситуаціях надмірного зближення суден // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 215-225. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22.
11. Левченко О.В., Маранов О.В. Поточний стан дослідження питання прогнозування маневреності суден та їхньої гідродинаміки в обмежених водах // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2025. – Вип. 1(42). – С. 55-60. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.08.
12. Двудіт З.П., Левченко О.В., Деркач Д.М. Формування маркетингових рішень у системі управління підприємством // Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення та проблеми розвитку. – 2020. – Вип. 2(1). – С. 21-28. <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2020/jun/21855/st3.pdf>
13. Petrychenko O., Levinskyi M., Prytula D., Vynohradova A. Fuel options for the future: a comparative overview of properties and prospects // Transport Systems and Technologies. – 2023. – № 41. – P. 96-106. <https://doi.org/10.32703/2617-9059-2023-41-8>.
14. Сагін С.В. Зниження енергетичних втрат в прецизійних парах паливної апаратури судових дизелів // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2018. – Вип. 38. – С. 132-142.
15. Сагін С.В. Зниження механічних втрат у судових середньооберткових дизелях за рахунок оптимізації роботи циркуляційних систем мащення // Вісник Одеського національного морського університету : Зб. наук. праць. – 2020. – Вип. 1(61). – С. 87-96. doi.org 10.47049/2226-1893-2020-1-87-96.
16. 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. – № 13. – P. 589. <https://doi.org/10.3390/jmse1303058924>.

17. Сагін С.В., Куропятник О.А. Визначення оптимальних режимів експлуатації суднових двигунів внутрішнього згоряння під час використання біодизельного палива // Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб. – 2024. – Вип. 48. – С. 100-113. doi: 10.31653/smf48.2024.100-113.
18. Сагін С.В., Бондар С.А., Столярик Т.О. Оцінка безвідмовності суднових дизелів за технічним станом моторного мастила циркуляційних систем мащення // Водний транспорт. – 2023. – № 1(37). – С. 59-70. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06.
19. Мацкевич Д.В., Сагін С.В., Ханмамедов С.А. Изменение реологических характеристик смазочных материалов в циркуляционной масляной системе в процессе эксплуатации среднеоборотного двигателя // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2010. – Вып. 25. – С.109-118.
20. Сагін С.В., Поповский Ю.М., Гребенюк М.Н. Влияние ориентационной упорядоченности в граничных смазочных слоях на триботехнические характеристики узлов трения // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 1998. – Вып. 1. – С.102-104.
21. Сагін С.В. Реология моторных масел при режимах пуска и реверса судовых малооборотных дизелей // Universum: Технические науки. – 2018. – Вып. 3(48). – С. 67-71.
22. Сагін С.В., Мацкевич Д.В. Оптические характеристики граничных смазочных слоев масел, применяемых в циркуляционных системах судовых дизелей // Судовые энергетические установки: науч.-техн.сб. – 2011. – № 26. – С.116-125.
23. Побережний Р.В., Сагін С.В. Забезпечення екологічних показників дизелів суден річкового та морського транспорту // Суднові енергетичні установки: наук. -техн. зб. – 2020. – Вип. 41. – С. 5-9. DOI: 10.31653/smf340.2020.5-9.
24. Petrychenko O., Levinskyi M. Trends and preconditions for widespread adoption of liquefied natural gas in maritime transport // Transport systems and technologies. – 2024. – № 43. – С. 21-36. DOI:10.32703/2617-9059-2024-43-2.
25. Заблоцький Ю.В., Сагін А.С. Визначення динамічних навантажень під час зміни режимів мащення прецизійних пар паливної апаратури суднових дизелів // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2022. – Вип. 44. – С. 121-131. doi: 10.31653/smf44.2022.121-131.
26. Сагін С.В., Заблоцький Ю.В. Влияние анизотропных жидкостей на работу узлов трения судовых дизелей // Проблемы техники: науч.-виробн. журнал. – 2012. – № 4. – С. 68-81.
27. Сагін С.В., Куропятник О.А. Аналіз впливу біодизельного палива на екологічні та економічні показники роботи суднових дизелів // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2025. – Вип. 1(42). – С. 180-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.21.
28. 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>
29. 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.
30. Заблоцький Ю.В., Солодовников В.Г. Снижение энергетических потерь в топливной аппаратуре судовых дизелей // Проблемы техники: науч.-виробн. журнал. – 2013. – № 3. – С. 46-56.
31. Зверьков Д.О., Сагін С.В. Зниження механічних втрат у суднових дизелях // Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 40. – С. 20-25. DOI : 10.31653/smf341.2020.20-25.
32. Сагін А.С., Сагін С.В. Експериментальне визначення оптимальних фаз подачі палива в циліндр суднових дизелів // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 206-215. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.21.
33. Сагін С.В. Повышение надежности работы прецизионных пар топливной аппаратуры судовых дизелей за счет использования органических покрытий // Вісник Одеськ. нац. мор. ун-ту. – 2018. – Вип. 4(57). – С. 109-120.
34. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.O., Tkachenko I.V Ensuring the environmental friendliness of marine diesel engines of specialized ships // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – С. 5-16. doi: 10.31653/smf45.2022.5-16.
35. Sagin S.V. Decrease in mechanical losses in high-pressure fuel equipment of marine diesel engines // Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration” – 2019. – P. 139–145. DOI: 10.34660/INF.2019.15.36258.
36. Сагін С.В., Столярик Т.О. Динаміка суднових дизелів під час використанні моторних мастил з різними структурними характеристиками // Автоматизація суднових технічних засобів : наук. -техн. зб. – 2021. – Вип. 27. – С. 108-119. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-108-119.



37. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. Using exhaust gas bypass for achieving the environmental performance of marine diesel engines // *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal.* – 2021. – № 7-8 – P. 36-43. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-36-43>.
38. Сагін С.В., Куропятник О.А. Визначення оптимальних режимів процесів управління випускними газами судових дизелів // *Водний транспорт: Збірник наукових праць.* – 2024. – Вип. 2(40). – С. 173-185. [doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.16](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.16).
39. Сагін С.В., Куропятник А.А. Оптимизация режимов работы системы перепуска выпускных газов судовых среднеоборотных дизелей // *Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб.* – 2019. – Вып. 25. – С. 79-89.
40. Сагін С.В., Столярик Т.О. Аналіз експлуатаційних характеристик моторних мастил судових дизелів // *Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб.* – 2021. – Вип. 43. – С. 69-80. [doi: 10.31653/smf343.2021.69-80](https://doi.org/10.31653/smf343.2021.69-80).
41. Levinskyi M. Automatic diagnostic of marine diesel generator lubricating oil condition // *Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. зб.* – 2023. – Вип. 28. – С. 106-120. DOI: 10.31653/1819-3293-2023-1-28-106-120.
42. Заблоцкий Ю. В. Исследование влияния органических покрытий на работу элементов топливной аппаратуры высокого давления судовых дизелей // *Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб.* – 2015. – № 35. – С. 83-92.
43. Сагін С. В. Определение диапазона стратификации вязкости смазочного материала в трибологических системах судовых дизелей // *Вісник Одеськ. нац. мор. ун-ту.* – 2019. – Вип. 1(58). – С. 89-100.
44. Руснак Д.Ю., Сагін С.В. Забезпечення екологічних вимог при ультразвуковій десульфурізації вуглеводних палив // *Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб.* – 2020. – Вип. 40. – С. 49-54. DOI: 10.31653/smf340.2020.49-54.
45. Поповский А.Ю., Сагін С.В. Комплексная оценка эксплуатационных характеристик смазочных углеводородных жидкостей // *Автоматизация судовых технических средств : науч.-техн. сборник.* – 2014. – Вып. 20. – С. 74-83.
46. Сагін С.В., Заблоцкий Ю.В. Діагностування технічного стану судових енергетичних установок засобів водного транспорту // *Водний транспорт. Збірник наукових праць.* – 2023. – № 2(38). – С. 164-175. [doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.18](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.18).
47. 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. – № 13. – P. 589. <https://doi.org/10.3390/jmse1303058924>.
48. Сагін С.В. Зниження механічних втрат у судових середньооборотних дизелях // *Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб.* – 2020. – Вип. 40. – С. 5-11. DOI : 10.31653/smf340.2020.5-11.
49. Марченко О.О., Сагін С.В. Вдосконалення процесу очищення судових важких палив // *Суднові енергетичні установки: наук.-техн. зб.* – 2020. – Вип. 41. – С. 10-14. DOI: 10.31653/smf341.2020.10-14.
50. Сагін С.В., Заблоцкий Ю.В. Определение триботехнических характеристик поверхностей по степени упорядоченности пристенных слоев углеводородных жидкостей // *Проблеми техніки: наук.-виробн. журнал.* – 2011. – № 3. – С. 78-88.
51. Сагін С.В., Сагін А.С. Контроль та діагностування надійності та економічності дизелів морських та річкових засобів транспорту // *Суднові енергетичні установки : наук.-техн. зб.* – 2023. – Вип. 46. – С. 118-131. [doi: 10.31653/smf46.2023.118-131](https://doi.org/10.31653/smf46.2023.118-131).
52. Сагін С.В., Заблоцкий Ю.В., Сагін А.С. Підвищення економічності роботи судових середньооборотних дизелів // *Водний транспорт. Збірник наукових праць.* – 2025. – Вип. 1(42). – С. 166-179. [doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.20](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.20).

## REFERENCES

1. Sagin S.V., Sagin A.S. Control and diagnostics of the reliability and economy of diesel engines of sea and river means of transport // *Ship power plants.* – 2023. – Vol. 46. – P. 118-131. [doi: 10.31653/smf46.2023.118-131](https://doi.org/10.31653/smf46.2023.118-131).
2. Levchenko O.V., Dvulit Z.P., Kozlenko O.V. Features of Human Resource Management at Railway Transport Enterprises // *Efektivna ekonomika.* – 2020. – Vol. 6. – P. 1-7 <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=7985>. DOI: 10.32702/2307-2105-2020.6.72.
3. Kurdiuk S., Dremliuk V., Melnyk O., Onishchenko O., Fomin O., Pišték V., Kučera P. Development of a High-Reliability Hybrid Data Transmission System for Unmanned Surface Vehicles Under Interference Conditions // *Drones.* – 2025. – № 9 (3). – P. 174. <https://doi.org/10.3390/drones9030174>.

4. Sagin S.S., Sagin S.V. Ensuring the safe maneuvering of large-tonnage vessels in confined port waters // *Water transport*. – 2024. – № 3(41). – С. 208-220. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.3.41.21.
5. Levchenko O.V., Hannoshyna I.M., Ostupchuk T.V. Information support system for decision-making processes on the bridge of a ship // *Water transport*. – 2025. – № 1(42). – P. 24–27. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.04.
6. Levchenko O.V., Maranov O.V. Integration of combined decision support systems to ensure navigational safety and optimize vessel traffic in port areas // *Water transport*. – 2025. – № 1(42). – P. 99–108. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.14.
7. Sagin S.V., Sagin S.S., Determination of the method of controlling the movement of marine transport vessels while ensuring their safe divergences // *Water transport*. – 2023. – № 2(38). – С. 187-198. doi.org/10.33298/2226-8553/2023.2.38.20.
8. Dvulit Z. P., Tymoshchuk O.M., Levchenko O.V. Improvement of business processes in modern shipping companies in the field of international sea freight transportation // *Management and entrepreneurship in Ukraine: the stages of formation and problems of development*. – 2021. – № 1. – P. 1-12. <https://ena.lpnu.ua/items/c18bd237-03e6-4ae1-947c-6a2300e013e2>.
9. Levchenko O. Nature and content organizational-economic mechanism of logistics potential railway undertakings // *Herald of the State Economic and Technological University of Transport. Series: Economics and Management*. – 2014. – №. 29. – P. 148–155.
10. Sagin S.S., Sagin S.V. Use of artificial intelligence in the situations of excessive vessels approaching // *Water Transport*. – 2024. – №. 1(39). – P. 215-225. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22.
11. Levchenko O.V., Maranov O.V. The current state of research on predicting the manoeuvrability of ships and their hydrodynamics in confined waters // *Water transport*. – 2025. – № 1(42). – P. 55–60. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.08.
12. Dvulit Z.P., Levchenko O.V., Derkach D.M. Formation of marketing decisions in the enterprise management system // *Menedzhment ta pidpriemnytstvo v Ukraini: etapy stanovlennia ta problemy rozvytku*. – 2020 – Vol. 2(1). – P. 21–28. <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2020/jun/21855/st3.pdf>
13. Petrychenko O. Levynskiy M., Prytula D., Vynohradova A. Fuel options for the future: a comparative overview of properties and prospects // *Transport Systems and Technologies*. – 2023. – № 41. – P. 96-106. <https://doi.org/10.32703/2617-9059-2023-41-8>.
14. Sagin S.V. Reducing energy losses in precision steam of fuel equipment of marine diesel engines // *Ship power plants*. – 2018. – Vol. 38. – P. 132-142
15. Sagin S.V. Reducing mechanical losses in medium-speed marine diesel engines by optimizing the operation of circulating lubrication systems // *Herald of the Odessa Maritime University*. – 2020. – Vol. 1(61). – P. 87-96. doi.org/10.47049/2226-1893-2020-1-87-96.
16. 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. – № 13. – P. 589. <https://doi.org/10.3390/jmse1303058924>.
17. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. Determining the optimal operating modes of marine internal combustion engines when using biodiesel fuel // *Ship power plants*. – 2011. – Vol. 48. – P. 100-113. doi: 10.31653/smf48.2024.100-113.
18. Sagin S.V., Bondar S.A., Stoliaryk T.O. Assessment of the reliability of marine diesel engines according to the technical condition of engine oil of circulating lubrication systems // *Water transport*. – 2023. – Vol. 1(37). – P. 59-70. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06.
19. Matskevych D.V., Sagin S.V., Hanmamedov S.A. Changes in the rheological characteristics of lubricants in the circulating oil system during operation of a medium-speed engine // *Ship power plants*. – 2010. – Vol. 25. – P. 109-118.
20. Sagin S.V., Popovskii Y.M., Grebenuk M.N. The influence of orientation ordering in boundary lubricant layers on the tribological characteristics of friction units // *Ship power plants*. – 1998. – Vol. 1. – P. 102-104.
21. Sagin S.V. Rheology of motor oils in start-up and reverse modes of marine low-speed diesel engines // *Universum: Technical sciences*. – 2018. – № 3(48). – P. 67-71.
22. Sagin S.V., Matskevych D.V. Optical characteristics of boundary lubricating layers of oils used in circulation systems of marine diesel engines // *Ship power plants*. – 2011. – Vol. 26. – P. 116-125.
23. Poberezhniy R.V., Sagin S.V. Ensuring the environmental performance of diesel engines in river and sea transport vessels // *Ship power plants*. – 2020. – Vol. 41. – P. 5-9. DOI: 10.31653/smf340.2020.5-9.
24. Petrychenko O., Levynskiy M. Trends and preconditions for widespread adoption of liquefied natural gas in maritime transport // *Transport systems and technologies*. – 2024. – № 43. – С. 21-36. DOI:10.32703/2617-9059-2024-43-2.
25. Zablotskyi Yu.V., Sagin A.S. Determination of dynamic loads during the change of lubrication modes of precision pairs of fuel equipment of marine diesel engines // *Ship power plants*. – 2022. – Vol. 44. – P. 121-131. doi: 10.31653/smf44.2022.121-131.

26. Sagin S.V., Zablotsky Yu.V. The influence of anisotropic fluids on the operation of friction units of marine diesel engines // *Problems of technical.* – 2012. – Vol. 4. – P. 68-81.
27. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. Analysis of the impact of biodiesel fuel on the environmental and economic performance of marine diesel engines // *Water transport.* – 2025. – Вип. 1(42). – С. 180-194. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.21.
28. 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>
29. Madey V.V., Sagin S.V., Volkov O.M. Direction of the injection process during the use of fuel mixture that include fuel of biological origin in marine diesel engines // *Water transport.* – 2024. – Vol. 1(39). – P. 193-205. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.20.
30. Zablotskyi Yu.V., Solodovnikov V.G. Reducing energy losses in fuel equipment of marine diesel engines // *Problems of technical.* – 2012. – Vol. 3. – P. 46-56.
31. Zverkov D.O., Sagin S.V. Reduction of mechanical losses in marine diesel engines // *Ship power plants.* – 2020. – № 41. – P. 20–25. DOI: 10.31653/smf341.2020.20-25.
32. Sagin A.S., Sagin S.V. Experimental determination of optimal phases of fuel supply to the cylinder of marine diesel engines // *Water transport.* – 2024. – Vol. 1(39). – P. 206-215. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.21.
33. Sagin S.V. Increasing the reliability of precision pairs of marine diesel fuel equipment through the use of organic coatings // *Herald of the Odessa National Maritime University.* – 2018. – № 4(57). – P. 109–120.
34. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.O., Tkachenko I.V. Ensuring the environmental friendliness of marine diesel engines of specialized ships // *Ship power plants.* – 2022. – № 45. – P. 5–16. doi: 10.31653/smf45.2022.5-16.
35. Sagin S.V. Decrease in mechanical losses in high-pressure fuel equipment of marine diesel engines // *Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration”* – 2019. – P. 139–145. DOI: 10.34660/INF.2019.15.36258.
36. Sagin S.V., Stoliaryk T.O. Dynamics of marine diesel engines when using motor oils with different structural characteristics // *Automation of ship facilities.* – 2021. – № 27. – P. 108-119. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-108-119.
37. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. Using exhaust gas bypass for achieving the environmental performance of marine diesel engines // *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. Scientific journal.* – 2021. – № 7-8 – P. 36-43. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-36-43>.
38. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. Determination of optimal modes of exhaust gas control processes for marine diesel engines // *Water transport.* – 2024. – № 1(39). – P. 173–185. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.16.
39. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. Optimization of operating modes of the exhaust gas bypass system of marine medium-speed diesel engines // *Automation of ship facilities.* – 2019. – № 25. – P. 79-89.
40. Sagin S.V., Stoliaryk T.O. Analysis of operational characteristics of motor oils of marine diesels // *Ship plants.* – 2021. – Vol. 43. – P. 69-80. doi: 10.31653/smf343.2021.69-80.
41. Levinskyi M. Automatic diagnostic of marine diesel generator lubricating oil condition // *Automation of ship technical facilities.* – 2023. – № 28. – P. 106-120. DOI: 10.31653/1819-3293-2023-1-28-106-120
42. Zablotskyi Yu.V. A study of the influence of organic coatings on the operation of high-pressure fuel system components of marine diesel engines // *Ship power plants.* – 2015. – Vol. 35. – P. 83-92.
43. Sagin S.V. Determination of the range of lubricant viscosity stratification in tribological systems of marine diesel engines // *Herald of the Odessa National Maritime University.* – 2019. – № 1(58). – P. 89–100.
44. Rusnak D.Y., Sagin S.V. Ensuring environmental requirements during ultrasonic desulfurization of hydrocarbon fuels // *Ship power plants.* – 2020. – Vol. 40. – P. 49-54. DOI: 10.31653/smf340.2020.49-54.
45. Popovskii A.Y., Sagin S.V. Complex assessment of operational characteristics of lubricating hydrocarbon liquids // *Automation of ship facilities.* – 2014. – №20. – P. 74-83.
46. Sagin S.V., Zablotskyi Yu.V. Development of a method for diagnosing the technical condition of elements of the main power plant of water transport // *Water transport.* – 2023. – Vol. 2(38). – P. 164-175. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.18.
47. 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. – № 13. – P. 589. <https://doi.org/10.3390/jmse1303058924>.
48. Sagin S.V. Reducing mechanical losses in marine medium-speed diesel engines // *Ship power plants.* – 2020. – Vol. 40. – P. 5-11. DOI : 10.31653/smf340.2020.5-11.
49. Marchenko O.O., Sagin S.V. Improving the process of cleaning marine heavy fuels // *Ship power plants.* – 2020. – Vol. 41. – P. 10-14. DOI: 10.31653/smf340.2020.10-14.

50. Sagin S.V., Zablotskiy Y.V. Determination of tribological characteristics of surfaces by the degree of ordering of wall layers of hydrocarbon liquids // Problems of technical. – 2011. – Vol. 3. – P. 78-88.

51. Sagin S.V., Sagin A.S. Control and diagnosis of reliability and economy of diesel engines of sea and river means of transport // Ship power plants. – 2023. – Vol. 46. – P. 118-131. doi: 10.31653/smf46.2023.118-131.

52. Sagin S.V., Zablotskiy Y.V., Sagin A.S. Increasing the efficiency of ship's medium-speed diesel engines // Water transport. – 2025. – Вип. 1(42). – С. 166-179. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.20.

**Куropyatnyk O.A.**

## **COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF USING MARINE DIESEL ENGINE EXHAUST GAS MANAGEMENT SYSTEMS TO ENSURE THE ENVIRONMENTAL OPERATION OF MARINE TRANSPORT VESSELS**

*The results of research on the comprehensive assessment of the effectiveness of using marine diesel engine exhaust gas management systems to ensure the environmental operation of marine transport vessels are presented. As a method that contributes to achieving this task, the low-emission technology of marine diesel engine exhaust gas recirculation is considered. The results of research carried out on the 8G60ME marine diesel engine from MAN Diesel (equipped with a high-pressure recirculation system) and on the 7UEC60LS marine diesel engine from Mitsubishi (equipped with a low-pressure recirculation system) are presented. The research was carried out in the range of operational loads on the diesel engine 60–90 % with an alternating change in the degree of recirculation in the range of 5–20 %. It has been experimentally proven that both systems have a unidirectional effect on the environmental friendliness of marine transport vessels. At the same time, both schemes ensure compliance with the requirements of Annex VI MARPOL regarding the emission of nitrogen oxides with the exhaust gases of marine diesel engines. It was established that, depending on the degree of recirculation and the operational load on the diesel, both systems provide a 30–35 % reduction in nitrogen oxide emissions with exhaust gases. At the same time, through analytical calculations and experimental studies, it was established that when using recirculation systems, the energy and economic performance of marine diesel engines deteriorates, which is reflected in the corresponding characteristics of the seagoing vessel. At the same time, for the studied range of changes in the degree of recirculation, a relative increase in specific fuel consumption is observed by 0.57–3.72 %; a relative increase in hourly fuel consumption by 0.68–3.78 %; a relative decrease in indicator pressure by 0.22–2.97 %; a relative decrease in effective diesel power by 0.23–3.26 %. The above necessitates a comprehensive assessment of changes in the environmental, energy and economic performance of diesel engines while ensuring the environmental operation of marine transport vessels.*

**Keywords:** *environmental safety, environmental performance, nitrogen oxide emissions, effective diesel engine power, marine transport, specific fuel consumption, exhaust gas recirculation system, marine diesel*

Стаття прийнята 19.09.2025