

DOI:10.31653/smf51.2025.94-106

Отримана в редакції 7.10.2025

Прийнята до друку 17.10.2025

Чимшир В.І., Разінкін Р.О.

Дунайський інститут Національного університету
«Одеська морська академія»

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ МОТОРНОГО МАСТИЛА СУДНОВИХ ДОВГОХОДОВИХ ДИЗЕЛІВ

Постановка проблеми в загальному вигляді. Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) / дизелі, що встановлюються на судах морського та внутрішнього водного транспорту та виконують функції головних та допоміжних двигунів, вже понад 50-ти років займають домінуюче положення в порівнянні з іншими типами на теплових двигунів (паровими котлами, паровими та газовими турбінами) [1, 2]. Основною тенденцією в розвитку суднових дизелів є підвищення їх циліндрової та агрегатної потужності, а також техніко-економічних показників, що багато в чому залежить від якості моторних мастил, які забезпечують процеси їх мащення та охолодження [3, 4]. Під час виконання цих функцій мастила поступово, а в деяких випадках стрибкоподібно, втрачають експлуатаційні показники – перш за все в'язкість та загальне лужне число. Це погіршує змащувальну здатність мастила та згодом призводить до зростання контактних напружень та механічних втрат енергії [5, 6].

Системи мащення відносяться до одних з найважливіших систем, що забезпечують експлуатаційну надійність суднових дизелів. Залежно від конструкційних особливостей дизелів їх системи мащення можуть відрізнятися одна від одної, забезпечувати подачу мастила до різних контактних вузлів та з'єднань та мати різне функціональне призначення. Двотактні крейцкопфні суднові малообертові дизелі (МОД) використовують дві системи мащення – лубрикаторну (за допомогою якої мастило подається на стінки циліндрової втулки) та циркуляційну (мастило в якій спрямовується до підшипників колінчатого валу) [7, 8]. Чотиритактні тронкові середньообертові дизелі (СОД) та високообертові дизелі (ВОД) комплектуються лише циркуляційною системою мащення, в якій мастило потрапляє до всіх контактних вузлів дизеля, основними з яких для обох типів дизелів є

пари тертя поршневе кільце – втулка циліндра та вкладиш підшипника – колінчатий вал [9, 10].

Процес мащення суднових дизелів є одним із основних, які забезпечують його функціонування, а також надійну та безпечну роботу. Порушення процесу мащення (критичне зниження тиску або критичне підвищення температури мастила) може призвести до збільшення температурних та механічних напруг, а також виникненню аварійної ситуації (поломки поршневих кілець, заклинювання поршня в циліндрі, прокручування вкладишів підшипників). При цьому це характерно для будь яких суднових дизелів, головних або допоміжних, крейцкопфних або тронкових. Критичне відхилення показників роботи систем циліндрового або циркуляційного мащення головних крейцкопфних дизелів (наприклад, надмірне зниження тиску мастила, його відсутність, надмірне підвищення температури) призводить до їх аварійної зупинки системою автоматичного регулювання. Аналогічна аварійна зупинка з боку системи автоматичного регулювання здійснюється в разі критичних показників в роботі системи циркуляційного мащення суднових СОД, які виконують функцію головних двигунів (ГД) та передають потужність гребного гвинту. Зупинка ГД та призупинення передачі механічної енергії до гребного гвинта унеможливило рух судна та суттєво зменшує його маневрові якості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Якість процесу мащення суднових дизелів оцінюється за різними показниками, насамперед:

- за аналізом моторного мастила, що взято з підпоршневого простору (лише для двотактних МОД) або з картеру дизеля (для чотиритактних СОД та ВОД) [11, 12];
- за показниками робочого циклу (за величиною тиску наприкінці процесу стиснення та за значенням температури випускних газів) [13, 14];
- за механічними втратами, що виникають під час перетворення теплової здатності палива в корисну роботу кругового циклу дизеля та ефективну потужність споживачів енергії [15, 16].

В даний час провідними в області розробки моторних масил є цілий ряд міжнародних нафтових компаній (Mobil oil, Shell, ESSO, Castrol, BP, Agip, Nippon, Texaco та ін.). Між ними ведеться гостра конкурентна боротьба за ринки збуту нафтопродуктів. Тому дослідні центри компаній постійно вишукують шляхи поліпшення якості масил за рахунок вдосконалення їх складу. Особлива увага приділяється питанням економії масил в процесі їх використання на судах, а

також перспективам регенерації їх експлуатаційних властивостей. Надійна і довговічна експлуатація суднових дизелів багато в чому залежить від якості застосовуваного моторного мастила. За останні 10...15 років в зв'язку з різко посилювалися умовами експлуатації (високі робочі температури, збільшення наддуву, погіршення якості палива) проблеми, пов'язані з вибором і використанням мастил при високих цінах на світовому ринку, ще більш ускладнилися [17, 18]. Тенденціями розвитку суднового дизелебудування впливають на зміну техніко-експлуатаційних вимог до суднових моторних мастил, а також методів випробування мастил [19, 20]. Також актуальним залишається розв'язання завдання з забезпечення процесу мащення циліндрової групи суднових дизелів, особливо довгоходових, в яких (через особливості конструкції) мастило повинно покривати плівкою набагато більшу площу циліндрової втулки [21, 22].

Постановка завдання. Завданням дослідження було аналіз основних діагностичних показників моторного мастила суднових довгоходових дизелів .

Виклад основного матеріалу дослідження. Проблеми, пов'язані з необхідністю розробки нових циліндрових мастил, виникли ще на початку 60-х років минулого століття та були пов'язані з появою на морських судах МОД з наддувом і переведенням їх роботи на економічно вигідні палива підвищеної в'язкості. Відповіддю на посилення умов роботи мастил і потреби в наданні їм відповідних властивостей нафтовими компаніями було створення декількох спеціальних циліндрових мастил з вихідним лужним числом 40...50 мгКОН/г, здатних певною мірою знизити несприятливі наслідки форсування наддувом МОД і використання в них палив низької якості, що впливають на зниження ресурсу циліндропоршневої групи (ЦПГ). Подальші тенденції в експлуатації суднових МОД були пов'язані з широким застосуванням в них ще більш важких палив з високим вмістом сірки та інших небажаних компонентів. Лужні циліндрові мастила першого покоління вже перестали відповідати зростаючим вимогам до їх властивостей, в першу чергу до протизносних, миючих і нейтралізуючих. У цей період провідними зарубіжними нафтовими компаніями (Mobil oil, Shell, ESSO, Техасо, Castrol і ін.) були розроблені і випущені на ринок циліндрові мастила з рівнем лужних чисел 60...70 мгКОН/г, що перевершували за своїми експлуатаційними властивостями мастила першого покоління. Високолужні циліндрові мастила другого покоління тривалий час успішно застосовувалися в

форсованих судових МОД в умовах експлуатації на паливах в'язкістю 120...320 сСт при 50 °С з вмістом сірки до 3...365 %. Експлуатація судових дизелів на подібних сортах палива і мастила проводилася до початку нинішнього століття, коли морський та річковий транспорт став поповнюватися суднами з довгоходовими моделями двотактних дизелів, високофорсованими чотиритактними дизелями, а крім того, посилилися вимоги до екологічних параметрів роботи судових енергетичних установок (СЕУ) в цілому і ДВЗ зокрема. В даний час світове судноплавство, суднове дизелебудування, а також тенденції в зміні способів переробки нафти і якості палив, що поставляються для суден морського та річкового транспорту, вступили в новий етап розвитку, завдання якого полягають у значному підвищенні економічності енергетичних установок і забезпеченні можливості використання в них надважких палив, отриманих із залученням вторинних продуктів переробки нафти. Наслідком такого розвитку стало створення довгоходових і понад довгоходових моделей МОД, для яких характерне відношення ходу поршня S до діаметру циліндра D – S/D до 4,0...4,5, а в самих останніх моделях до 5,0. Довгоходові МОД відрізняються від двигунів з традиційними співвідношеннями S/D , зниженою частотою обертання на номінальній потужності, що забезпечує більш високий індикаторний коефіцієнт корисної дії (ККД) двигуна і пропульсивний ККД всієї установки. Висока економічність таких двигунів досягнута і завдяки підвищенню максимального тиску згоряння та поліпшенню індикаторного процесу. Всі ці зміни прямо стосуються формування мастильної плівки на поверхні змащуваних деталей.

Аналіз сучасних тенденцій розвитку МОД показує, що для забезпечення необхідної довговічності і надійності сучасних двигунів, до циліндрового мастила висуваються особливі вимоги, багато в чому більш жорсткі, ніж ті, які висувалися для МОД попередніх моделей. Зокрема, вимоги до забезпечення плинності мастила і змащуємості металевих поверхонь набувають нового значення, якщо врахувати, що менше 1 г мастила подається в циліндр двигуна за кожен оберт колінчастого вала, при цьому площа змащувальної поверхні становить до 10...12 м², а хід поршня до 4,0 м. Ці властивості повинні забезпечувати рівномірність розподілу мастила по втулці циліндра. У довгоходових МОД збільшено в порівнянні зі звичайними МОД час знаходження мастильної плівки до її поновлення на поверхні втулки, в результаті чого мастило повинне витримувати більші термічні на-

вантаження, виконуючи необхідні функції. Одним з найважливіших завдань є забезпечення товщини і міцності мастильної плівки в умовах низьких швидкостей поршня, наприклад, при русі суден на економічних ходах, що досить широко поширене в сучасному судноплаванні. Висока потужність, яка припадає на одиницю робочого об'єму циліндрів сучасних МОД, дає велике тепловиділення, значна частка якого сприймається мастильною плівкою. При недостатній термічній і окислювальній стабільності мастила створюються передумови для підвищення утворення нагарів в зоні поршневих кілець, що знижує ресурс ЦПГ. Тому мастило повинне мати достатній ступень детергентності (миючих властивостей) і високу термоокислювальну стабільність. Таким чином, якісний стрибок у розвитку судових ДВЗ, безпосереднім чином вплинув на зміну вимог до циліндрових мастил і висунув завдання створення нового покоління мастил, що відповідає їм. В оцінці умов роботи циліндрового мастила не менш важливим фактором, ніж прогрес в розвитку МОД, є якість застосовуваних палив. Протягом останніх років 10...15 років особливості застосування палив в СЕУ зазнали значних змін – знизилася споживання палив, отриманих з використанням вторинних процесів: термічного і каталітичного крекінгу і ін. Поглиблення переробки нафти спричинило ускладнення залишкових і дистилятів компонентів. При цьому спостерігається збільшення густини палив навіть при постійній їх в'язкості. В процесі експлуатації в'язкість палива піддається ефективному регулюванню шляхом зміни його температури; що стосується густини, то через порівняно слабку її залежність від температури, цей важливий показник палива залишається практично незмінним в процесі підготовки палива до використання в дизелі. Суднові МОД і системи обробки палива сучасних суден модифіковані на застосування надважких палив з в'язкістю до 750 сСт при 50 °C і густиною до 1010 кг/м³. Особливості умов роботи циліндрового мастила на поверхні деталей ЦПГ при використанні палив з високою в'язкістю та густиною визначаються більш тривалим згорянням палива на лінії розширення, високим ступенем термічного впливу на мастильну плівку, попаданням на її поверхню великої кількості сажі в результаті неповноти згоряння, потрапляння крапельок незгорілого палива в плівку через збільшення дальності розпилення палива великої густини. Такий процес змішування частинок, що знаходяться на поверхні циліндра, чинить негативний вплив на змащувальні властивості мас-

тила, сприяє зниженню його термічної і термоокислювальної стабільності.

Сучасні суднові двотактні МОД, які використовуються як ГД (такі, що передають свою потужність на гвинт та забезпечують рух судна), комплектуються двома мастильними системами. Одна з них (циліндрова або лубрикаторна) подає мастило в циліндр і забезпечує мащення циліндрової групи (поршневих кілець та втулки циліндра). За допомогою другої (циркуляційної) мастило подається до підшипників дизеля (крейцкопфного, рамового та мотильового). Основним призначенням як циліндрової / лубрикаторної, так циркуляційної системи є запобігання контактним взаємодіям деталей дизеля за рахунок створення між ними мастильного шару та забезпечення гідродинамічного або граничного режиму мащення поверхонь тертя. Саме за цих умов забезпечується мінімальне зношування деталей дизеля та мінімальні втрати його потужності.

Принципова схема циліндрової / лубрикаторної системи мащення судового МОД надана на рис. 1.

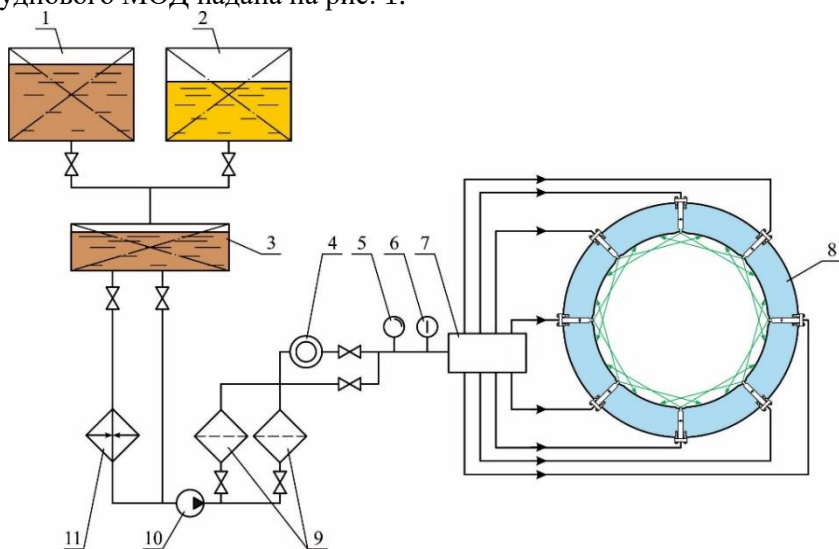


Рис. 1. Принципова схема циліндрової / лубрикаторної системи мащення судового МОД:

- 1, 2 – цистерни запасу циліндрового / лубрикаторного мастила; 3 – витратна цистерна; 4 – витратомір; 5 – манометр; 6 – термометр; 7 – лубрикатор; 8 – циліндрова втулка; 9 – мастильний фільтр; 10 – мастильний насос; 11 – мастильний підігрівач

У циліндровій / лубрикаторній системі мащення передбачається дві цистерни запасу мастила 1 та 2, у яких зберігається мастило з різним лужним числом. Під час використання палива, вміст сірки в якому досягає 0,5 % використовується мастило з лужним числом 40...50 мгКОН/г, де – гідроксид калію, що використовується як лужний компонент. Під час використання палива, вміст сірки в якому не перевищує 0,1 % (в разі експлуатації судна в спеціальних районах контролю викидів сірки – Sulfur Emission Control Areas, SECAs) використовується мастило з лужним числом 20...30 мгКОН/г. Мастило, яке необхідно для мащення циліндрової втулки, потрапляє до витратної цистерни 3. Далі мастило за допомогою мастильного насосу 10 через фільтр 9 спрямовується до лубрикатора 7. У разі необхідності збільшення температури мастила здійснюється в мастильному підігрівачі 11. Кількість мастила, що поступає до лубрикатора, а також його тиск та температура визначаються за допомогою витратоміра 4, манометра 5 та термометра 6.

Якість процесу мащення, що забезпечується циліндровою системою, оцінюється за такими показниками:

- питомій витраті мастила залежно від вмісту сірки у паливі – АСС-фактора (Adaptable Cylinder oil Control);
- питомій витраті мастила на мащення циліндрової групи залежно від потужності дизеля – FR (Feed Rate);
- лужному числу мастила (Total Base Number – TBN чи BN), взятому з підпоршневого простору дизеля;
- кількості металевих частинок (Particle Quantity Index – PQI) у мастилі, взятому із підпоршневого простору дизеля.

Дані параметри є взаємопов'язаними та визначаються на підставі результатів сервісних оглядів циліндрової групи, вимірювань зносу циліндрової втулки та аналізу мастила, взятому з підпоршневого простору дизеля.

Величина АСС-фактора приймається за експериментальними даними, залежно від значень PQI (Particle Quantity Index) – кількості металевих частинок та BN в аналізах мастилі, взятому з підпоршневого простору. Для суднових МОД АСС-фактор дорівнює 0,2...0,35 г/(кВт·год·S %).

ЦПГ дизелів відноситься до об'єктів постійного контролю технічного стану. У сучасних умовах експлуатації суднових дизелів виконання частих візуальних інспекцій циліндрових втулок не завжди видається можливим. Перш за все, це пов'язано з періодом невинної

роботи головних двигунів морських суден (наприклад, тривалість океанських переходів може досягати 20...30 діб), а також – з великими затратами на їх виконання. Тому для діагностування технічного стану циліндрової групи застосовуються непрямі методи. Найпоширенішим і доступним для умов морського судна є визначення лужного числа і кількості металевих домішок в мастилі, взятому з підпоршневих просторів дизеля. З цією метою використовуються судові лабораторії, такі як Cylinder Scrape-Down Oil Analysis.

Сучасні методи діагностування, аналізують рівень корозії циліндрових втулок судових дизелів, на основі визначення залишкового лужного числа мастила (base number – BN), взятого з підпоршневих просторів. При цьому за величиною BN можливо дати оцінку стану циліндропоршневої групи. Стан корозії циліндрових втулок залежить від рівня незворотних втрат енергії під час поступального руху поршня в трибологічній системі і переділяється на три основні групи:

1) $BN=17...45$ – циліндрові втулки експлуатуються в допустимому режимі, їх знос не перевищує допустимого значення, при цьому процес перетворення енергії відбувається з мінімальними незворотними втратами;

2) $BN=10...16$ – в циліндрі дизеля відбувається інтенсифікація процесу зношування – величина незворотних втрат підвищується;

3) BN до 10 – відбувається інтенсивне збільшення зносу циліндропоршневої групи із зростанням незворотних втрат.

Під час експлуатації дизеля в умовах 1-го режиму ($BN=17...45$) циліндрова система мащення не піддається регулюванню і питома витрата циліндрового мастила вважається оптимальним для даного режиму роботи.

Умови 2-го режиму ($BN=10...16$) свідчать про недостатню кількість мастила, що надходить на поверхню циліндрової втулки і для відновлення належного значення BN необхідно регулювання подачі циліндрового мастила.

Робота дизеля на третьому режимі (з показником $BN<10$) відноситься до аварійних умов, свідчить про підвищений знос циліндрової групи і вважається неприпустимою. При цьому необхідне не тільки регулювання подачі циліндрового мастила, але і регулювання інтенсивності охолодження циліндрових втулок, а також переведення дизеля на режим зниженого навантаження.

Основними показниками кількості подачі циліндрового мастила на циліндрові втулки є АСС фактор (Adaptive Cylinder oil Control) і

витрата мастила FR (Feed Rate). Величина ACC фактора береться за експериментальними даними, залежно від значень PQI (Particle Quantity Index) – кількості металевих частинок і BN в аналізах мастила, взятого з підпоршневого простору. Для судових МОД ACC=0,2...0,35.

Рекомендована витрата мастила розраховується за формулою, г/(кВт·год)

$$FR = ACC \times S;$$

де S – кількість сірки в паливі, %.

Величини BN та PQI визначаються на підставі лабораторних досліджень, що виконуються безпосередньо на борту судна за допомогою судових діагностичних лабораторій відповідно до міжнародного стандарту ASTM D5185-09. Крім того, значення BN має визначатися відповідно до вимог ISO 3771:2011(E). Для визначення BN використовуються судові діагностичні лабораторії, такі як Cylinder Scrape-Down Oil Analysis, Unimarine Cylinder Scrape-Down Oil Analysis, Shell Analex Alert, Signum onboard test kit of ExxonMobil, Parker Kittiwake Cold Corrosion Test Kit, Digi TBN Test.

Згідно з рекомендаціями дизелебудівних фірм MAN-Diesel & Turbo та Wartsila-Sulzer, значення питомої витрати мастила FR на мащення циліндрової групи судових довгоходових МОД не повинно бути нижче за 0,6 г/(кВт·год). Залежно від часу експлуатації циліндрової групи величина FR знаходиться у межах, наведених у таблиці 1.

Підтримання вказаних значень є обов'язковим для всіх типів дизелів, що обладнані циліндровою системою мащення.

Таблиця 1. Рекомендовані значення питомої витрати циліндрового мастила FR в залежності від часу експлуатації циліндрової групи дизеля

Час експлуатації, год	Питома витрата циліндрового мастила, г/(кВт·год)
0...5	1,7
5...100	1,5
100...200	1,3
200...300	1,1
300...400	0,9
400...500	0,7
більш за 500	0,6...0,65

Висновки і перспективи подальших досліджень. Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки.

1. Суднові малообертові довгоходові дизелі відрізняються від інших підвищеною площею циліндрової втулки, яка потребує наявності мастильної плівки на її поверхні.

2. Якість процесу мащення циліндрової групи судових довгоходових дизелів оцінюється не лише за показниками моторного мастила, взятого з підпоршневого простору дизеля (до яких перш за все відносяться лужне число BN та кількість металевих частинок PQI), але також за значеннями питомій витраті мастила залежно від вмісту сірки у паливі – АСС-фактора та питомій витраті мастила на мащення циліндрової групи залежно від потужності дизеля – FR. Саме за цими показниками найбільш ефективно та ціліподібно виконувати діагностування моторного мастила судових довгоходових дизелів.

Перелік використаних джерел

1. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 4 (3(72)). – Р. 33–42. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>.

2. Сагін А.С., Сагін С.В. Експериментальне визначення оптимальних фаз подачі палива в циліндр судових дизелів // Водний транспорт. Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 206-215. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.22.

3. Сагин С.В. Определение диапазона стратификации вязкости смазочного материала в трибологических системах судовых дизелей // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. Наук. праць. – 2019. – Вип. 1(58). – С. 89-100.

4. Сагін А.С., Заблоцький Ю.В. Регенерація змащувальних властивостей моторних палив і мастил під час експлуатації судових дизелів // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – С. 17-30. doi: 10.31653/smf45.2022.17-30.

5. Сагін С.В., Столярик Т.О. Динаміка судових дизелів під час використанні моторних мастил з різними структурними характеристиками // Автоматизація судових технічних засобів: наук. -техн. зб. – 2021. – Вип. 27. С. 108-119. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-108-119.

6. 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>.

7. Заблоцький Ю.В. Зниження втрат енергії під час забезпечення процесів мащення суднових двигунів внутрішнього згоряння // *Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник*. – 2023. – Вип. 47. – С. 23-31. doi: 10.31653/smf47.2023.23-31.

8. Levinskyi M. Automatic diagnostic of marine diesel generator lubricating oil condition // *Автоматизація суднових технічних засобів: наук.-техн. зб.* – 2023. – Вип. 28. – Одеса: НУ «ОМА». – С. 106-120. DOI: 10.31653/1819-3293-2023-1-28-106-120

9. Заблоцький Ю.В. Підвищення паливної економічності суднових дизельних установок // *Вісник Одеського національного морського університету: зб. наук. праць*. – 2020. – № 2(62). – С. 106-119. DOI: 10.47049/2226-1893-2020-1-106-119.

10. Мацкевич Д.В., Сагин С.В., Ханмамедов С.А. Изменение реологических характеристик смазочных материалов в циркуляционной масляной системе в процессе эксплуатации среднеоборотного двигателя // *Судовые энергетические установки : науч.-техн. сб.* – 2010. – Вип. 25. – С.109-118.

11. Sagin S., Sagin A. Development of method for managing risk factors for emergency situations when using low-sulfur content fuel in marine diesel engines // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2023. – № 5 (1(73)). – P. 37-43. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290198>.

12. 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.

13. 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.

14. Сагін С.В., Куропятник О.А. Визначення оптимальних режимів процесів управління випускними газами суднових дизелів // *Водний транспорт: Збірник наукових праць*. – 2024. – Вип. 2(40). – С. 173-185. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.16.

15. Заблоцкий Ю.В., Солодовников В.Г. Снижение энергетических потерь в топливной аппаратуре судовых дизелей // Проблемы техники: наук.-виробн. журнал. – 2013. – № 3. – С. 46-56.

16. Заблоцький Ю.В., Сагін А.С. Визначення динамічних навантажень під час зміни режимів мащення прецизійних пар паливної апаратури судових дизелів // Суднові енергетичні установки: наук. - техн. зб. – 2022. – Вип. 44. – С. 121-131. doi: 10.31653/smf44.2022.121-131.

17. Sagin S., Chymshyr V., Karianskyi S., Kuropyatnyk O., Madey V., Rusnak D. Using Ultrasonic Fuel Treatment Technology to Reduce Sulfur Oxide Emissions from Marine Diesel Exhaust Gases // Energies. – 2025. – Vol. 18. – P. 4756. <https://doi.org/10.3390/en18174756>.

18. Sagin S., Kuropyatnyk O., Rusnak D. Improvement of the process of cleaning exhaust gases of marine diesels from sulfur oxides // Technology Audit and Production Reserves. – 2025. – №4(1(84)). – P. 72–79. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.337616>.

19. Данилян А.Г., Чимшир В.И., Разинкин Р.А., Найденов А.И. Совершенствование систем технического диагностирования малооборотных судовых дизелей // Молодой ученый. – 2015. – № 2. – С. 138-142.

20. 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>.

21. 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>.

22. Sagin S.V., Kuropyatnyk O.A. Using exhaust gas bypass for achieving the environmental performance of marine diesel engines // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. – 2021. – № 7-8. – P. 36-43. <https://doi.org/10.29013/AJT-21-7.8-36-43>.

DOI:10.31653/smf51.2025.106-118

Отримана в редакції 20.09.2025

Прийнята до друку 12.10.2025

Хлієва О.Я., Константінов О. І.

Національний університет “Одеська морська академія”

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ОРГАНІЧНОГО ЦИКЛУ РЕНКІНА ДЛЯ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ОХОЛОДЖУВАЛЬНОЇ ВОДИ ДВИГУНА WÄRTSILÄ 12V46F ЗА РІЗНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Вступ

Міжнародна морська організація (ІМО) протягом останнього десятиліття посилює вимоги до енергоефективності та викидів парникових газів від морського транспорту. Додаток VI MARPOL включає обов’язкові технічні та експлуатаційні вимоги, зокрема оцінку Energy Efficiency Design Index (EEDI) для нових суден та Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI) для існуючого флоту, а також індекс вуглецевої інтенсивності СІІ та Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP), які спрямовані на зниження питомих викидів CO₂ при перевезенні вантажів [1-3].

У 2023 р. ІМО ухвалила оновлену Стратегію зі скорочення викидів парникових газів у судноплаванні [4], яка передбачає досягнення нульового або близького до нуля рівня викидів до 2050 р., а також проміжні орієнтири зі зменшення сукупних річних викидів на 20–30 % до 2030 р. і на 70–80 % до 2040 р. порівняно з 2008 роком.

Враховуючи, що сучасні суднові дизелі перетворюють у корисну роботу лише близько половини енергії палива, а решта відводиться у вигляді скидної теплоти з вихлопними газами та охолоджувальною водою, утилізація цієї теплоти розглядається як один з найефективніших шляхів підвищення енергоефективності та зниження викидів [5]. Серед різних технологій утилізації дедалі більшої уваги набувають установки на основі органічного циклу Ренкіна (ORC), здатні працювати з низько- та середньотемпературними джерелами теплоти (вода сорочок циліндрів, охолодження наддувного повітря, низькотемпературні гази тощо) і забезпечувати додаткову електричну потужність без збільшення витрати палива головного двигуна [6-8].

Численні дослідження демонструють потенціал ORC-систем для зниження питомої витрати палива та покращення показників