

УДК 621.431.74

DOI: 10.31653/1819-3293-2024-1-29-13-24

ARTICLE HISTORY

Received 28.08.2024

Accepted 25.09.2024

Будуров Микола Ігорович
НУ "Одеська морська академія", Одеса, Україна
budurovuk@gmail.com

Перспективні шляхи покращення екологічності суден торгового флоту

Budurov Mykola
NU "Odessa Maritime Academy", Odessa, Ukraine
budurovuk@gmail.com

Promising ways to improve the environmental friendliness of merchant fleet vessels

***Резюме.** Обґрунтовано перспективні шляхи забезпечення екологічних вимог у судноплавній галузі з урахуванням особливостей морського та внутрішнього водного транспорту. Проаналізовані кількісні показники шкідливих викидів для різних типів судових приводів. Показана ефективність впровадження перспективних рішень щодо скорочення викидів від судноплавної галузі з метою відповідності міжнародним екологічним нормам.*

***Summary.** The perspective ways for ensuring environmental requirements have been substantiated taking into account the peculiarities of maritime and internal water transport. Analyzed a quantitative indicators of harmful air emissions from various types of vessel's prime movers. The effectiveness of implementing the promising solutions regarding reducing emissions from the world shipping industry in order to comply with international environmental standards.*

Паризька угода про зміну клімату була погоджена в 2015 році Сторонами Рамкової конвенції ООН про зміну клімату і набула чинності в 2016 році. Головною метою Паризької угоди є посилення глобальної реакції на загрозу зміни клімату, утримуючи підвищення глобальної температури нижче 2 °С. Паризька угода не включає

міжнародне судноплавство, але Міжнародна морська організація, як регулюючий орган галузі, зобов'язалася зменшити викиди парникових газів від міжнародного судноплавства. У свою чергу, основним документом, який регламентує граничні значення шкідливих викидів в атмосферу від міжнародного судноплавства є Додаток VI Міжнародної Конвенції щодо запобігання забрудненню із суден (МАРПОЛ). У цьому документі викладені вимоги щодо обов'язкових цільових технічних та експлуатаційних заходів щодо скорочення інтенсивності викидів вуглецю в атмосферу від міжнародного судноплавства, що прийняті Резолюцією Комітету із захисту морського середовища МЕРС.328(76), правила щодо викидів оксидів сірки (SO_x) та твердих частинок – Резолюцією МЕРС.176(58), а також щодо викидів оксидів азоту (NO_x) – Резолюцією МЕРС.271(69). Зони контролю викидів визначені згідно з Додатком VI МАРПОЛ як зони, де потрібне прийняття спеціальних обов'язкових заходів для регулювання викидів із суден для запобігання, зменшення та контролю забруднення повітря оксидами азоту, оксидами сірки та твердими частинками. Циркуляром МЕРС.1/Circ.778/Rev.4 зонами контролю викидів визначено: зона Балтійського моря, зона Північного моря, територія Північної Америки (охоплює визначені прибережні території біля Сполучених Штатів Америки (США) і Канади) і зона Карибського моря США (навколо Пуерто-Ріко та Віргінських островів США). У свою чергу, Резолюцією МЕРС.361(79) внесені поправки щодо визначення всього Середземного моря зоною контролю за викидами оксидів сірки і твердих часток. Очікується, що новий ліміт вмісту сірки набуде чинності з 1 травня 2025 року. Відповідно до МЕРС.392(82) були прийняті поправки до Додатку VI МАРПОЛ щодо визначення арктичних вод Канади та Норвезького моря зонами контролю за викидами оксидів азоту, оксидів сірки і твердих часток. Ці зміни набудуть чинності, починаючи з 1 березня 2027 року.

У свою чергу, станом на 01.01.2024 у світі зареєстровано 108789 торгових суден валовою місткістю 100 т і більше [1]. При цьому вік світового торгового флоту за дедвейтом становив 12,5 років; середній вік за кількістю суден становив 22,4 року, що на 2 % більше, ніж за той самий період у 2023 році. Більше половини флоту за кількістю суден зараз старше 15 років. Середній вік суден зріс у всіх сегментах флоту, за винятком контейнеровозів. Балкери відносно молоді, середній вік яких становив 11,1 років, тоді як універсальні торгові судна є найстарішими – 28 років. Середній вік флоту за кількістю суден під прапорами розвинутих країн і країн, що розвиваються, на початку 2024 року становив близько 22 роки. Незважаючи на те, що в даний час

понад 30 % тоннажу світового флоту складається з "еко" суден, зростаючий вік флоту, триваюча невизначеність середньострокових заходів щодо зменшення викидів, а також невизначеність щодо динаміки розвитку флоту в довгостроковій перспективі разом із глобальним енергетичним переходом, викликає занепокоєння з огляду на прийняті міжнародні екологічні цілі щодо скорочення викидів, у тому числі, парникових газів.

Тобто на практиці спостерігається тенденція збільшення кількості особливих районів контролю викидів та посилення граничних значень викидів, проте найбільш поширеними в експлуатації наразі є старі типи конструкцій приводів, які не відповідають вимогам щодо викидів. У зв'язку з цим невідповідність показників суднових двигунів установленим вимогам щодо запобігання забрудненню від судноплавної галузі виявило проблему вибору перспективних шляхів забезпечення екологічних вимог для зниження викидів шкідливих речовин судновими енергетичними установками.

У зв'язку з викладеним метою даної роботи є обґрунтування перспективних шляхів забезпечення екологічних вимог судновими енергетичними установками, у тому числі для досягнення судноплавною галуззю у довгостроковій перспективі транспортування з нульовими викидами.

Світова судноплавна галузь відповідає за 3 % світових викидів CO₂, 5 ... 8 % викидів SO_x та 15 % викидів NO_x. Серед приводів суден суднові дизелі застосовуються на 97 %, а на парові та газові турбіни припадає 3 % [2]. Щодо приводу суден річкового флоту і їхніх генераторних установок, включаючи аварійні, то у даному випадку використання дизелів поширюється на усі без винятку торгові судна [3]. Зустрічаються і нетрадиційні комплекси з альтернативними видами енергоутворення, які використовуються переважно у складі комбінованих пропульсивних комплексів, наприклад, ротори Флеттнера. Станом на 2023 рік у світі нараховується 29 діючих торгових суден та 72 закладених на суднобудівних верфях, які у складі комбінованих пропульсивних комплексів мають рушії, які можуть використовувати силу вітру на основі ефекту Магнуса [4]. У зв'язку із упрощенням регулювання щодо порогового вмісту сірки в судновому паливі використання дизельного, а також малосірчастого важкого палива із вмістом сірки менше 0,5 % збільшилося, що у порівнянні з мазутом із вмістом сірки до 3,5 % значно зменшує викиди CO₂, але їхнє виробництво на наземних нафтопереробних заводах виробляє приблизно еквівалентну величину парникових газів [5]. На сьогодні 7113 торгових суден використовує високосірчате паливо із

судновими скрубєрними установками [6], що окрім зменшення викидів SO_x , також допомагає зменшити глобальні викиди CO_2 . У свою чергу, одним із найефективніших способів зменшення викидів у суднопластві є використання альтернативних видів палива. На теперішній час 3949 торгових судна мають пропульсивні установки з двопаливними дизельними двигунами, які можуть використовувати альтернативні види палива з низьким або нульовим вмістом вуглецю, що зменшує приблизно на 15 % викидів парникових газів, 85 ... 90 % SO_x , 10 % NO_x та 90 % твердих частинок.

Під час вибору силової установки для суден торгового флоту, у першу чергу, враховується специфіка, умови експлуатації, проектна водотоннажність, а також економічна ефективність, відповідність екологічним нормам, висока надійність [7, 8]. Наприклад, якщо до судна висуваються жорсткі вимоги до маневрових якостей або довготривалої роботи на нестационарних режимах із частою зміною навантаження, використовують приведення в дію гребної установки електродвигунами. У цьому випадку для живлення електричною енергією гребних електродвигунів встановлюють головні електричні генератори з обертанням від дизеля, парової або газової турбіни. Використання електричних силових установок переважає на пасажирських поромках, а також суднах, які використовуються для сейсмічних досліджень, розвідування нафти і газу, а також постачання матеріалів і палива на офшорні нафтодобувні станції. Збільшення електричних або гібридних силових установок в енергоменеджменті водного транспорту потенційно може покращити екологічність, підвищити надійність, знизити експлуатаційні витрати і розширити можливості автоматизації [9]. Основні переваги електричних пропульсивних комплексів полягають у низькому рівні шуму та вібрації, а також шкідливих викидів. У свою чергу, загальні втрати потужності на всіх елементах електричної пропульсивної установки становлять 8 ... 12 % [10], що набагато вище порівняно з дизельними двигунами, де втрати потужності від первинних приводів до гвинта становлять 2 ... 4 %. Наприклад, на пасажирських та офшорних суднах поширене використання поворотних гвинторульових колонок типу Azipod із безпосереднім електроприводом гребного гвинта, які також себе добре зарекомендували як надійний електричний рушійний комплекс у льодових умовах плавання [11].

Наразі світовий торговий флот зрідженого природного газу налічує 221 судно з паротурбінним приводом, що становить 33 % від його загальної активної кількості [12]. Даний вид приводу на сьогодні також використовується на деяких пасажирських поромках, переважно, у

складі комбінованих пропульсивних комплексів. У порівнянні з популярними раніше силовими установками на газовому флоті – паровими турбінами або дво- та трипаливними дизель-електричними установками, сучасні двопаливні дизельні рушійні комплекси, які так само можуть використовувати випарний газ, приблизно на 50 % ефективніші. Парові турбіни можуть мати перевагу в області дуже великої потужності, але ефективність використання палива навіть паровими турбінами високого тиску досягає максимуму 35 % [13]. Основними недоліками є велика витрата палива та час підготування, особливо порівняно з дизельними установками, а також необхідність окремої турбіни для заднього ходу, що зумовлює недостатню маневреність судна. Атомний привід є особливим типом паротурбінної системи, оскільки він у кінцевому рахунку виробляє водяний пар, який приводить у рух ротор парової турбіни. Відмінність від звичайного паротурбінного приводу полягає в тому, що тепло, необхідне для створення водяної пари, виробляється з ядерного реактора, тому не відбувається згоряння палива, а весь процес генерації тепла відбувається без присутності кисню [14]. Із метою використання ядерних технологій у судноплаванні наразі створена Морська організація ядерної енергії для усунення ядерних і морських нормативних прогалин, оцінки впливу на навколишнє середовище, а також стандартизації протоколів безпеки [15].

Газові турбіни мають порівняно низький ККД у межах 25 ... 30 % [16], наразі зустрічаються у складі комбінованих комплексів швидкісних пасажирських суден, а також на деяких видах спеціалізованих суден, наприклад, плавучих установок для видобутку, зберігання та відвантаження природних вуглеводнів [17]. Найважливіші переваги полягають у відносній малогабаритності, мінімальній вібрації, а також реалізації високошвидкісного обертання. Недоліки полягають в можливості обертання тільки в одному напрямку, високій вартості виробництва, а також низькій ефективності та великій питомій витраті палива.

Суднові дизелі відносяться до найбільш поширеного типу теплових двигунів, які використовуються на морському та внутрішньому водному транспорті. У порівнянні з іншими типами енергетичних установок суднові дизелі характеризуються мінімальними витратами як на одиницю потужності, так і на одиницю пройденого шляху [18]. Істотна перевага дизельних силових установок полягає в їхньому порівняльно високому ККД, який може сягати 49 ... 53 % [19]. Стосовно величини потужності, то дизельні двигуни стали серйозним конкурентом парових турбін. Наприклад, найбільша дизельна силова

установка Wärtsilä RT-flex96С, яка може розвивати потужність до 84420 кВт, встановлена на контейнеровозі Emma Maersk [20]. Провідними виробниками на світовому ринку суднових дизельних двигунів є Caterpillar Marine (включаючи дочірню компанію MaK) – 27 %, Hyundai Heavy Industries – 21 %, Yanmar – 18 %, MAN Energy Solutions – 13 %, Wärtsilä Corporation – 12 % та інші – 9 % [21]. Розрізняють мало-, середньо- та швидкообертові суднові дизелі. Малообертові в більшості випадків є двотактними, мають високу ефективність, можуть працювати з різними типами гвинтів (із фіксованою або змінною геометрією), виробляють високу постійну потужність і зазвичай вони без редукторної передачі. Щодо середньо- та швидкооберткових суднових дизелів, то переважно вони є чотиритактними та найчастіше використовується як допоміжні або головні невеликої потужності.

На суднах морського та внутрішнього водного транспорту дизелі мають найкращу перспективу у порівнянні з іншими видами приводів суднових пропульсивних та допоміжних установок завдяки:

високій термодинамічній ефективності;

великому моторесурсу, надійності і безпеці експлуатації;

можливості реверсування;

порівняльно низьким витратам на технічне обслуговування;

гнучкості вибору палива;

високому ступеню пристосованості до автоматизації;

помірній трудомісткості технічного обслуговування;

широкій можливості уніфікації вузлів та деталей;

відсутності жорстких обмежень за масою та розмірами.

Суттєвий вплив на зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу від торгових суден мають технологічні аспекти, пов'язані з покращенням енергоефективності, наприклад, системи зменшення опору корпусу судна, а також покращенням роботи систем діагностування та автоматичного регулювання суднових двигунів, наприклад, впровадженням штучного інтелекту для аналізу їхньої ефективності. Стосовно енергоефективної експлуатації існуючих суден світового торгового флоту, то необхідними є такі паливозберігаючі заходи, як підвищення ефективності систем рекуперації відпрацьованого тепла, оптимізація швидкості судна для забезпечення "вчасного" приходу, вибору оптимального співвідношення частоти обертання головного двигуна та кроку гребного гвинта на ходових режимах судна, а також впровадження альтернативних технологічних систем регенерації енергії та зберігання енергії у суперконденсаторних накопичувачах.

Щодо скорочення викидів вуглецю інноваційним рішенням є технологія уловлювання та зберігання CO₂ безпосередньо на борту судна. Провідним у цьому плані стала компанія Eastern Pacific Shipping установивши на танкері-хімовозі Pacific Cobalt таку установку, яка здатна вловлювати до 40 % CO₂ з вихлопних газів [22]. У свою чергу, використання акумуляторних батарей покращує екологічні показники як у складі комбінованих силових установках, так і у поєднанні з дизель-генераторами. Проте у зв'язку з особливостями роботи світового торгового морського флоту перспектива їхнього широкого використання як електричних енергетичних установок може поширюватися тільки на судна прибережного або внутрішнього водного плавання.

Для комплексного аналізу впливу на навколишнє середовище суднових приводів необхідна кількісна оцінка, для якої можна використовувати методологію [23], яка дозволяє оцінити викиди забруднюючих речовин у повітря від різних типів суднових двигунів, використовуючи дані щодо питомої витрати палива силовими установками торгових суден [24], виду палива [25] та типу двигуна [26], а також викиди CO₂ [27] та NO_x [28]. У табл. вказані усереднені результати розрахунків за даною методикою на основному експлуатаційному ходовому режимі суден з урахуванням вказаних вище особливостей.

Таблиця

Кількісна оцінка шкідливих викидів з урахуванням питомої витрати та виду палива для кожного типу суднових приводів

Показник	МОД			СОД		ВОД		ГТ		ПТ	
	ЗПГ	ДП	ВП	ДП	ВП	ДП	ВП	ДП	ВП	ДП	ВП
Паливо											
Питома витрата, г/кВт*год	140	185	195	203	213	203	213	290	305	290	305
CO ₂ , г/кВт*год	435	588	620	645	677	645	677	922	970	922	970
NO _x , кг/т	4,71	88,6	89,7	63,1	63,4	57,1	57,7	19,0	19,3	6,6	6,6

де МОД, СОД та ВОД – мало-, середньо- та високообертові дизелі; ГТ та ПТ – газова та парова турбіни; ЗПГ, ДП та ВП – зріджений природний газ, дизельне та мазутне паливо.

У табл. екологічні характеристики визначалися вмістом у продуктах згоряння NO_x, який за рівнем токсичності значно перевищують інші

шкідливі компоненти вихлопних газів, та CO_2 є одним з основних парникових газів, що зумовлює глобальне потепління. Використання парових або газових турбін, які у порівнянні з судновими дизелями мають значно більшу питому витрату палива, призводить не тільки до підвищення загальних експлуатаційних витрат, а до суттєвого збільшення шкідливих викидів із вихлопними газами в атмосферу і, особливо, парникових газів. У той же час, суднові дизелі порівняно з турбінними установками мають значно вищий рівень NO_x викидів, що утворюються під час згоряння палива. Для того, щоб відповідати сучасним екологічним вимогам необхідно використовувати такі технологічні рішення, як рециркуляція вихлопних газів, змінна геометрія соплового апарату турбонагнітача, впорскування води в циліндр на стадії згоряння для підвищення вологості суміш (для малооборотних дизелів), використання систем селективного каталітичного відновлення або ж прямого впорскування аміаку у вихлоп у вигляді розчину сечовини. Проте незмінним методом в області зменшення викидів NO_x у судноплаванні також залишається переналаштування параметрів робочого процесу дизеля. Стосовно екологічності нових конструкцій суднових дизелів то, наприклад, розроблені компанією WinGD сучасні двигуни з упорскуванням газу під низьким тиском типу X-DF відповідають найвищому стандарту рівня викидів і не вимагають додаткової обробки вихлопних газів. Проте на змінних режимах роботи особливо під час стохастичної зміни навантаження на головний двигун в умовах хвилювання моря або під час пуску, а також переходу з одного виду палива на інше, можуть виникати як підвищене димлення у зв'язку з незадовільною динамікою електронного регулятора частоти обертання, так і підвищена емісія шкідливих викидів із відпрацьованими газами у результаті теплового перевантаження деталей циліндрово-поршневої групи.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що враховуючи експлуатаційний період та кількість існуючих торгових суден із старими конструкціями суднових дизелів, необхідним є врахування таких перспективних шляхів забезпечення екологічних вимог:

підвищенням ефективності дизелів під час використання палив із низьким або нульовим вмістом вуглецю, але з урахуванням експлуатаційних ризиків у зв'язку з легкозаймистістю і токсичністю більшості альтернативних палив;

попередженням утворення токсичних компонентів та нейтралізація утворених токсичних домішок за допомогою додаткових систем очищення вихлопних газів;

впровадженням систем діагностування та моніторингу робочих процесів, у тому числі, на базі штучного інтелекту;

вибором оптимального співвідношення частоти обертання головного двигуна та кроку гребного гвинта для суден із гвинтами зі змінною геометрією;

покращенням енергоефективності використанням енергії вітру та сонячної енергії, а також акумуляторних батарей, паливних елементів та суперконденсаторних накопичувачів.

Наступне дослідження планується в області оцінки досягнення нульових викидів від суден світового торгового флоту з урахуванням особливостей впровадження сучасних конструкційно-технічних рішень для забезпечення екологічних показників суднових енергетичних установок.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

1. UNCTAD – United Nations Conference on Trade and Development. // Review of Maritime Transport 2024. – United Nations Publications: Geneva. – 2024. – 166 p.

2. Nguyen H., Hoang A., Nizetic S., Nguyen X., Le A., Luong C., Chu V., Pham V. The electric propulsion system as a green solution for management strategy of CO₂ emission in ocean shipping: A comprehensive review. // International Transactions on Electrical Energy Systems. – 2020. – № 31 (11). – 29 p.

3. Sulligoi G., Vicenzutti A., Menis R. All-electric ship design: from electrical propulsion to integrated electrical and electronic power systems. // IEEE Transactions on Transportation Electrification. – 2016. – № 2 (4). – P. 507 – 521.

4. ENERGY EFFICIENCY RETROFIT REPORT 2024: Applying wind-assisted propulsion to ships. // Lloyd's Register. – 2024. – 43 p.

5. Hoang A., Pham V. A review on fuels used for marine diesel engines. // Journal of Mechanical Engineering Research and Developments. – 2018. – № 41 (4). – P. 22 – 32.

6. World Fleet Register. // Clarksons Research. – Режим доступу: <https://www.clarksons.net/wfr>.

7. Pham V., Hoang A., Do H. Analysis and evaluation of database for the selection of propulsion systems for tankers. // In: International Conference on Emerging Applications in Material Science and Technology. – 2020. – № 020034. – 13 p.

8. Parsons M. Applications of optimization in eearly-stagehip design. // *The Ship Science and Technology Journal*. – 2009. – № 3. – P. 9 – 32.
9. Martelli M. Numerical and experimental investigation for the performance assessment of full electric marine propulsion plant. // *Maritime Transportation and Harvesting of Sea Resources*. – Taylor & Francis Group: Boca Raton. – 2018. – № 1. – P. 87 – 93.
10. Skjong E., Johansen T., Molinas M., Srensen A. Approaches to Economic Energy Management in Diesel-Electric Marine Vessels. // In: *IEEE Transactions on Transportation Electrification*. – 2017. – № 3 (1). – P. 22 – 35.
11. Symington W., Belle A., Nguyen H., Binns J. Emerging technologies in marine electric propulsion. // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*. – 2016. – № 230. – P. 187 – 198.
12. WORLD LNG REPORT 2023. // International Gas Union. – 2023. – 79 p. – Режим доступу: https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2023/07/IGU-World-LNG-Report_2023_07.pdf
13. Ito M., Hiraoka K., Matsumoto S., Tsumura K. Development of high efficiency marine propulsion plant (Ultra Steam Turbine). // *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review*. – 2007. – № 44 (3). – 5 p.
14. Saito E., Matsuno N., Tanaka K., Nishimoto S., Yamamoto R., Imano S. Latest technologies and future prospects for a new steam turbine. // *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review*. – 2015. – № 52 (2). – P. 39 – 46.
15. How close is the shipping industry to adopting nuclear for propulsion? // *Lloyd's Register*. – 2024. – 10 p. – Режим доступу: https://storage.pardot.com/941163/1719821070NWHAMFvm/LR_ZCFM_Nuclear_Report.pdf
16. Bonet M.U. Techno-economic and environmental assessment of an intercooled-recuperated (ICR) marine gas turbine for powering a LNG carrier. // *Naval Engineers Journal*. – 2017. – № 129. – P. 77 – 86.
17. Gutierrez C., Labajos C. Technical structure of the Gas carrier fleet in 2019. // *Journal of Maritime Research*. – 2020. – № 17 (1). – P. 86 – 92.
18. Nikolaos X. Robust control of diesel ship propulsion. // London: Springer. – 2012. – 51 p.
19. Lamaris V., Hountalas D. A general-purpose diagnostic technique for marine diesel engines - Application on the main propulsion and auxiliary diesel units of a marine vessel. // *Energy Conversion and Management*. – 2010. – № 51 (4). – P. 740 – 753.

20. Largest marine engine. // Guinness World Records – 2008. – Режим доступу: <https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/largest-marine-engine#>

21. Marine Engine Industry Report. // Mordor Intelligence. – 2024. – Режим доступу: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/marine-propulsion-engine-market>

22. First LR class notation for onboard carbon capture system assigned to Eastern Pacific Shipping tanker. // Lloyd's Register. – 2024. – Режим доступу: <https://www.lr.org/en/knowledge/press-room/press-listing/press-release/first-lr-class-notation-for-onboard-carbon-capture-system-assigned-to-eastern-pacific-shipping-tanker/>

23. Trozzi C. Vaccaro R. Methodologies for estimating air pollutant emissions from ships: a 2006 update. // In: Environment & Transport 2nd International Scientific Symposium. – 2006. – 8 p.

24. Huan T., Hongjun F., Wei L., Guoqiang Z. Options and Evaluations on Propulsion Systems of LNG Carriers. // Propulsion Systems. – 2019. – 20 p.

25. Haglind F. A review of the use of gas and steam turbine combined cycle as prime movers for large ships, Part III Fuels and emissions. // Energy Conversion and Management. – 2008. – № 49. – P. 3476–3482.

26. Gopi M. The technical and economical aspects of marine engine selection. Dissertation ... Master of Science. – M.: WMU. – 1996. – 100 p.

27. Defra UK Ship Emissions Inventory. // Report № 21897-01. – 2010. – 168 p.

28. Lamas M.I., Rodriguez C.G. Emissions from Marine Engines and NO_x Reduction Methods. // Journal of Maritime Research. – 2012. – № 9. – P. 77 – 81.

Abstract. *Compliance of ship power plants with international environmental requirements regarding the level of atmospheric emissions is mandatory and regulated by Annex VI of the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships. At the beginning of 2024, 108,789 merchant ships with a gross tonnage of 100 tons and above were registered in the world. At the same time, the age of the world merchant fleet by deadweight was 12.5 years, and the average age by number of ships was 22.4 years. More than half of the fleet by number of ships is now over 15 years old.*

In practice, there is a trend towards an increase in the number of special emission control areas and tightening of emission limits, however, the most common types of vessel's prime movers in operation on merchant ships are

currently old types that do not meet the requirements for emissions in special areas. In this regard, the inconsistency of marine engine performance with the established requirements for preventing pollution from the shipping industry has revealed the problem of choosing promising ways to ensure environmental requirements for reducing emissions of harmful substances by ship power plants.

International shipping accounts for approximately 90 % of world trade, producing approximately 3 % of global CO₂, 5...8 % of SO_x and 15 % of NO_x emissions. The most common movers on merchant ships are marine diesel engines, which account for 97 %. A quantitative assessment of the impact of marine drives on the environment has shown that the use of steam and gas turbines leads to a significant increase in harmful emissions with exhaust gases into the atmosphere and, especially, greenhouse gases. At the same time, modern marine diesel engines have a significantly higher level of NO_x emissions formed during fuel combustion. In order to meet modern environmental requirements, it is additionally necessary to use, for example, selective catalytic reduction, exhaust gas recirculation or alternative fuels.

Based on the analysis conducted in the work, it can be concluded that it is necessary to take into account promising ways to ensure environmental requirements when using fuels with low or zero carbon content, but taking into account operational risks due to flammability and toxicity; prevention of the formation of toxic components and neutralization of the formed toxic impurities using additional exhaust gas cleaning systems; implementation of systems for diagnosing and monitoring work processes, including those based on artificial intelligence; selection of the optimal ratio of the main engine speed and propeller pitch for vessels with variable geometry propellers; improvement of energy efficiency by using wind and solar energy, as well as batteries, fuel cells and supercapacitor storage devices.