

## КОРАБЛЕБУДУВАННЯ

УДК 656.61.052.

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2026.1.1/03>

*Шпілєвая Т.М.*

<https://orcid.org/0000-0002-3039-8086>

Херсонська державна морська академія

### ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ І ЕКОЛОГІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ДВОПАЛИВНИХ ДВИГУНІВ У СУЧАСНОМУ ФЛОТІ

*Застосування двопаливних двигунів на сучасних морських судах набуває все більшого поширення у зв'язку з посиленням міжнародних екологічних вимог, спрямованих на зменшення викидів шкідливих речовин у атмосферу та зниження негативного впливу судноплавства на навколишнє середовище. Використання альтернативних видів палива, зокрема зрідженого або стисненого природного газу, у поєднанні з традиційними нафтовими паливами, дозволяє суттєво скоротити викиди оксидів сірки, азоту та вуглекислого газу, а також підвищити загальну енергоефективність судових енергетичних установок.*

*Водночас впровадження двопаливних двигунів супроводжується низкою технічних, економічних та експлуатаційних обмежень, серед яких значні інвестиції на стадії впровадження, необхідність створення відповідної паливної інфраструктури, підвищені вимоги щодо систем зберігання та подачі газу, а також певні операційні складності керування двигунами, що працюють на різних типах палива. У роботі здійснюється комплексний аналіз енергоефективності та екологічної доцільності використання двопаливних двигунів на різних типах морських суден з урахуванням сучасних тенденцій розвитку суднобудування та вимог міжнародних нормативних документів.*

*Особливу увагу приділено оцінці перспектив упровадження двопаливних енергетичних установок у комерційному флоті, аналізу їх переваг і недоліків, а також розгляду новітніх технічних рішень, спрямованих на підвищення надійності, безпеки та екологічності судових двигунів. Наводиться інформація про сучасні інженерні розробки та інноваційні технології, впровадження яких прогнозується у найближчій перспективі та які можуть суттєво вплинути на подальший розвиток морського транспорту.*

**Ключові слова:** *новітні технології, двопаливні двигуни, технологічні рішення, розвиток суднобудування, альтернативні види палива.*

**Постановка проблеми.** Сучасний розвиток світового морського транспорту визначається зростанням вимог до енергоефективності та екологічної безпеки експлуатації суден. Впровадження міжнародних стандартів, зокрема регуляцій Міжнародної морської організації (ІМО) щодо зменшення викидів парникових газів, оксидів сірки та азоту, зумовлює необхідність пошуку інноваційних технічних рішень у сфері судових енергетичних установок. Одним із перспективних напрямів є застосування двопаливних двигунів, здатних працювати як на традиційних вуглевод-

невих паливах, так і на альтернативних енергоносіях із нижчим рівнем викидів. Використання таких силових установок сприяє не лише підвищенню гнучкості експлуатації та енергетичної ефективності флоту, але й створює технологічні передумови для поступового переходу до низьковуглецевого та безвуглецевого судноплавства.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання енергоефективності і екологічності застосування двопаливних двигунів на сучасних судах постійно досліджується численними науковцями. Так, науковці Білоусов Є.В., Марченко А.П., Сав-



чук В.П., Білоусова Т.П. у своїй роботі «Використання метанолу у якості моторного палива для суднових двигунів внутрішнього згорання» виконали детальний огляд властивостей метанолу, технологічних особливостей адаптації двигунів, його переваг та недоліків як морського палива [1]. Аналіз стратегії впровадження зрідженого природного газу, метанолу, аміаку; техніко-економічні аспекти та етапність переходу розглянули у своїй статті Булгаков М.П., Мельник О.М., Терновський В.Б. Науковці Мельник О.М. та ін. провели дослідження стосовно пошуку стійких палив для флоту України, включаючи порівняння вартості та доступності [2]. Робота Железної Т. здійснює порівняння біопалив з іншими альтернативами видами біопалив, економічні прогнози, вплив на викиди [3]

**Постановка завдання.** Основною метою статті є дослідження впливу впровадження двопаливних двигунів на підвищення енергоефективності та зниження екологічного навантаження судноплавства. У роботі передбачається проаналізувати технічні, економічні та екологічні аспекти використання двопаливних енергетичних установок у сучасному флоті, а також оцінити їхню роль у реалізації міжнародних ініціатив щодо декарбонізації морського транспорту, зокрема вимог ІМО щодо скорочення викидів парникових газів.

Під час дослідження даної теми планується визначити переваги і обмеження експлуатації суден з двопаливними двигунами, оцінити ефективність використання альтернативних палив (LNG, метанол, аміак, біопалива), узагальнити практичний досвід впровадження таких технологій у провідних судноплавних компаніях світу, сформулювати рекомендації щодо підвищення екологічної та енергетичної стійкості морського транспорту.

**Виклад основного матеріалу.** В останні два десятиліття, за даними British Petroleum (BP) [5, с. 70], спостерігаються суттєві зміни в структурі світового енергетичного споживання у бік збільшення частки екологічно безпечних первинних джерел енергії. Тим не менш, незважаючи на зростання сумарної складової відновлюваних джерел енергії (включаючи складову гідроенергії), частка викопних видів корисних копалин (вугілля, нафта та газ) у структурі енергоспоживання залишається значною і становить біля 80% і більше. [6, с. 178]

Основним споживачем таких корисних копалин є транспортна інфраструктура, на котру припадає близько 65% споживання нафтопродуктів. При цьому, судноплавна галузь, яка є структурною ланкою транспортної інфраструктури, впливає на всі ці негативні процеси. Проблеми ско-

рочення емісії шкідливих продуктів згорання від суднових енергетичних установок (СЕУ) відносяться до найважливіших напрямків розвитку сучасного судноплавства та регулюються відповідно до вимог певними міжнародними та національними екологічними стандартами. Перспективним напрямом скорочення шкідливого впливу на навколишнє середовище є, наприклад, використання природного газу як палива [7]. Так, зростання флоту суден-газовозів дозволяє, з одного боку, задовольнити зростаючий попит на вуглеводневі гази в світі, а з іншого боку, призведе до збільшення екологічного навантаження на атмосферу, зокрема, до додаткових викидів парникових газів [8]. Варто відзначити, що сучасне світове двигунобудування відрізняється великою різноманітністю конструкцій, що реалізують різні технології використання газомоторного палива. Компоненти газу широко варіюються за складом та містять важкі вуглеводи. Застосування такого палива в двигунах внутрішнього згорання може викликати проблеми, пов'язані зі значним впливом складу палива на робочий процес двигуна. Провідні виробники суднових двигунів внутрішнього згорання обмежують нижчі показники метанового числа (MN). Наприклад, застосування для двопаливних двигунів WÄRTSILÄ палива з метановим числом WMN <46,8 не рекомендовані до використання, при цьому мольний вміст метану має бути не нижче 70 %, а показник H<sub>2</sub> – не більше 30 % [9]. Потужні двигуни WÄRTSILÄ 50DF знайшли застосування переважно на газовозах, де продукт, що перевозиться, використовується як паливо. Наприклад, газовоз Provalys ємністю 154000 м<sup>3</sup> є найбільшим у світі газовозом, що приводиться в рух двопаливними двигунами. Чотири двигуни WÄRTSILÄ 50DF (три 12-циліндрові та один 6-циліндровий) розвивають сумарну потужність до 39,9 МВт. Газовоз з електрорухом наочно демонструє такі переваги газового палива, як зниження витрати палива та шкідливих викидів [9]. У 2013 році було прийнято в експлуатацію судно Viking Grace – це перший у світі вантажо-пасажирський паром (Ro-Pax), оснащений двопаливними двигунами. Паром водотоннажністю 57000 тонн, що належить Viking Line, працює на лінії Туреччина-Стокгольм. Він приводиться в рух чотирма двигунами WÄRTSILÄ 50DF. Аналогічною силовою установкою оснащено новий швидкісний паром Destination Gotland, який будується для шведського оператора Rederi AB Gotland [9].

Сучасні двигуни, оснащені останніми досягненнями техніки, такими як, наприклад, сис-

тема упорскування common rail, новітніми турбокомпресорами, турбінами з регульованим сопловим апаратом, потребують управління безліччю робочих параметрів. Це, у свою чергу, призводить до постійного ускладнення систем управління та моніторингу. Так, система UNIC S3 може бути встановлена на всіх головних суднових та допоміжних двигунах Wärtsilä, що працюють на газі, а саме з іскровим запаленням та на двигунах з застосуванням двох видів палив. Нею обладнано вже понад 6000 двигунів. Вона включає набір з декількох модулів, що істотно скорочує необхідну номенклатуру запчастин. Система встановлюється як на новітні двигуни, так і замість аналогічних застарілих систем у порядку модифікації обладнання, що знаходяться в експлуатації. В звітах IMO та UNCTAD метанол та метанольно-спиртові суміші розглядаються як перспективні замітники традиційних суднових палив [6, с. 178]

Також хотілося б звернути увагу ще кілька сучасних винаходів двопаливних двигунів. Наприклад, Норвезька фірма Solco створила проєкт спеціального судна для автономного виробництва метанолу у відкритому морі потужністю близько 1 млн. т/рік. Це комбінована плавуча система, яка призначена для одночасного видобутку попутного газу і виробництва метанолу. Фірма VNP Petroleum на базі розробок ICI спроектувала та створила технологію отримання метанолу під низьким тиском. Установка з отримання метанолу складається з трьох секцій: отримання синтез-газу, синтезу метанолу, очищення метанолу. Ще одна компанія Wison Engineering (WEL) спроектувала плавучий комплекс з виробництва метанолу FGTM (floating natural gas to methanol) продуктивністю до 1,8 млн. т за рік. Об'єм накопичувальних ємностей судна складає 200000 м<sup>3</sup> [10].

На рис. 1 представлено графічне зображення прикладу системи Dual-Fuel-Electric (двопаливної електроприводної системи) для газозовів від компанії MAN. Воно демонструє, як двигуни можуть працювати на зрідженому природному газі (LNG) або на рідкому паливі – за технологією, що дозволяє оптимізувати ефективність і гнучкість роботи судна.

Технологічні рішення у сфері двопаливних двигунів, котрі в майбутньому будуть ефективно застосовуватися на судах комерційного торгового флоту.

1. Двигуни від виробника Wärtsilä. Моделі двигунів Wärtsilä 20DF, 25DF, 31DF, 34DF, 46DF, 46TS-DF – двигуни, здатні працювати як на LNG, так і на рідкому паливі (LFO, HFO, біопаливі). Перевагами є те, що у них присутня гнучкість палива – seamless переключення між режимами без втрати потужності та швидкості. Основними екологічними перевагами вищезазначеного обладнання являється: значне зниження викидів CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> та часток. Очікується, що двигуни зазначених моделей будуть адаптовані до роботи на альтернативних видах палива.

2. Компанія MAN Energy Solutions приймає участь у введенні в експлуатації плавучих теплових станцій Powerships. Було отримано замовлення на 24 двигуни 18V51/60DF, кожен потужністю 20,7 мегават (МВт). Така модель двигунів забезпечують гнучку та надійну генерацію електроенергії, адаптовану до будь-яких умов [11]

3. Технологія X-DF від WinGD. X-DF двигуни встановлюються на контейнеровозах, що експлуатуються компанією CMA CGM та GasLog, забезпечуючи стабільне згоряння, низькі викиди та високий коефіцієнт корисної дії.[12]

4. Dual-Fuel системи з альтернативними видами палива. Methanol dual-fuel (Caterpillar 3500E) –

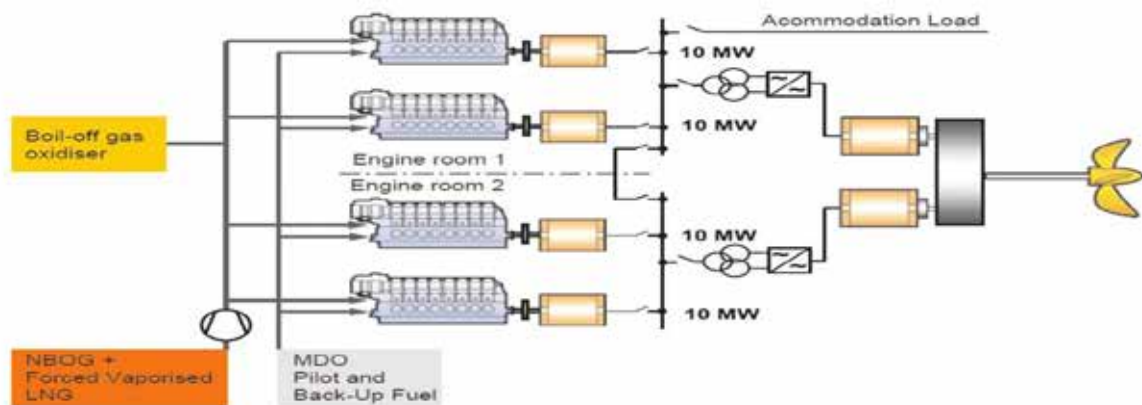


Рис. 1. Система Dual-Fuel-Electric

демонстраційна модель, що працюватиме з метанолом, зберігаючи характеристики дизельного аналога. Компанія Caterpillar Marine оголосила про плани впровадження у 2026 році першої серії демонстраційних морських двигунів 3500E з подвійним паливом на метанолі. Морські двигуни Cat 3500E використовуватимуть інноваційну технологію подвійного палива, яка базується на перевірених дизельних паливних системах і підтримує паливні системи суден з низьким тиском – нижче 10 бар. Двигун Cat 3500E з подвійним паливом на метанолі має таку саму продуктивність і довговічність, як і поточний дизельний двигун 3500E, при цьому відповідаючи стандартам викидів і забезпечуючи 100% потужність. Після значних успіхів у розробці цієї технології виробник двигунів оголосив про підписання меморандуму про взаєморозуміння (MOU) з Damen Shipyards Group щодо випробувань у 2026 році [13].

5. Hydrogen dual-fuel (BeHydro) – перший двигун зазначеного типу, сертифікований Lloyd's Register: дозволяє знизити CO<sub>2</sub> до 85%, за рахунок підтримки традиційного палива як резерву. Lloyd's Register (LR) надав сертифікат типу BeHydro, спільному підприємству CMB.TECH та Anglo Belgian Corporation (ABC), за його двопаливний двигун, що працює на водневому паливі. Це перший сертифікат типу для двопаливного водневого двигуна. Новий двигун, потужність якого становить до 2,7 мегават (МВт), дає судновласникам можливість зменшити викиди CO<sub>2</sub> на 85%, а технологія подвійного палива дозволяє двигуну продовжувати постачати енергію, використовуючи традиційні види палива, коли відновлювана енергія або водень недоступні. Розробка двигуна спрямована як на берегові операції, так і на використання в судноплаванні, і відкриває Be Hydro шлях до розробки водневих двигунів більшої потужності в майбутньому. LR спочатку надала принципове схвалення у вересні 2020 року і провела ретельний і всебічний процес затвердження типу, щоб забезпечити безпеку і придатність матеріалів. [14]

6. Ammonia-fuelled конверсія (Wärtsilä) являється реконструкцією платформи Viking Energy для роботи на аміаку без CO<sub>2</sub>-викидів. Очікується, що у 2026 році така платформа буде введена в експлуатацію. Фінський виробник двигунів Wärtsilä підписав контракт з норвезьким судновласником Eidesvik на переобладнання одного з його суден постачання платформ для роботи на аміачному паливі. Viking Energy стане першим у світі судном, що працює на аміачному паливі. Аміак є одним з декількох альтернативних видів палива,

який прагнуть застосовувати перевізники з метою зменшення викидів вуглецю. [15]

7. LNG-танкери (Anglo American) – флот із 10 суден із двопаливними двигунами, що забезпечують ~35 % скорочення викидів CO<sub>2</sub>. Компанія Anglo American замовила та експлуатує флот із 10 балкерів типу Capesize+, оснащених двопаливними двигунами на LNG. Цей флот отримав назву Ubuntu fleet. Перший з цих суден, Ubuntu Harmony, почав перевезення залізної руди з Південної Африки (Kumba operations) у 2023 році. Останній з флоту, Ubuntu Liberty, був офіційно переданий у 2024 році, завершивши будівництво усіх 10 суден. [16]

Робота dual-fuel (LNG) у цьому випадку полягає у наступному. Судна можуть працювати як на LNG, так і на традиційному морському паливі (marine oil fuel), що дає гнучкість у виборі палива залежно від доступності LNG та умов рейсу. Використання LNG зменшує викиди CO<sub>2</sub> приблизно на 35 % порівняно з тим же об'ємом перевезення, якби судно працювало на звичайному морському нафтовому паливі. Крім CO<sub>2</sub>, відзначаються й суттєві зниження інших шкідливих викидів: оксидів сірки (SO<sub>x</sub>), оксидів азоту (NO<sub>x</sub>), частинок (particulate matter) – хоча точні відсотки залежать від умов експлуатації. [17]

**Даний проект має екологічні та операційні переваги:**

**1. Зменшення вуглецевого сліду.** Падіння CO<sub>2</sub> на ~35 % – це вагомий крок до відповідності екологічним цілям (наприклад, Anglo American ставить за мету досягти вуглецевої нейтральності у своїх морських перевезеннях до 2040 року).

**2. Зменшення локального забруднення.** Використання LNG значно знижує викиди SO<sub>x</sub> (близько до нуля), зменшує NO<sub>x</sub> і РМ, що корисно для портових зон, прибережних районів та глобальної якості повітря.

**3. Гнучкість та зменшення ризиків.** Судна dual-fuel можуть переходити на традиційне паливо, коли LNG недоступний, що зменшує ризик “енергетичної ізоляції”. Крім того, це дозволяє уникати великих витрат на реконструкцію існуючих суден, бо новобудови вже закладаються з можливістю dual-fuel.

**Поряд з перевагами існують деякі обмеження і недоліки:**

**1. Інфраструктура бункерування LNG.** Щоб переваги застосування двопаливних двигунів були реалізовані, потрібні порти, що можуть забезпечувати LNG як суднове паливо. Флот Ubuntu вже провів понад 30 таких заправок у стратегічних пунктах як Сінгапур та Малайзія. [18]

**2. “Methane slip”** (витік метану). Одна з ключових проблем при використанні LNG – частковий нерозгорілий метан, який може зменшити кліматичну вигідність, якщо не буде мінімізований технологічно. У компанії Ubuntu fleet звертають увагу на застосування нових технологій, щоб знизити цей ефект.

**3. Вища капітальна вартість і складність проекту.** Нові судна із dual-fuel технологією дорожчі у будівництві, потребують спеціальних систем зберігання LNG, утеплення, системи безпеки, додаткового навчання персоналу. Такий проект має ретельно плануватись. [19]

**4. Енергетична щільність пального LNG** має меншу енергетичну щільність за об’ємом у порівнянні з рідким морським паливом, тому для таких суден потрібні більші або додаткові баки/резервуари, а також інші конструкційні рішення. Це може впливати на вантажопідйомність чи ефективність використання простору. (в загальних джерелах на тему LNG-dual fuel цей момент згадується) [20]

#### **Ефективність застосування проекту:**

Ubuntu флоту Anglo American – один із найскрапіших прикладів того, як dual-fuel технології на LNG можуть забезпечити значне зниження викидів при збереженні конкурентоспроможності перевезень. При цьому важливо усвідомлювати, що максимальна екологічна ефективність можлива за умови:

- наявності якісної інфраструктури для LNG;
- застосування технологій, що мінімізують витік метану;
- відповідних регуляторних стимулів та підтримки зі сторони флоту, портів, держав.

**Висновки.** Отже, як підсумок зазначимо, що основною перевагою двигуна з використанням безпосередньої подачі газу є висока паливна економічність, що перевищує на 5% паливну економічність дизельного двигуна. Проте зважаючи на високу динаміку протікання процесу тепловиділення, аналогічному дизельному двигуну, відпрацьовані гази такого двопаливного двигуна містять підвищений, порівняно з двигунами, що працюють на гомогенних зріджених газових сумішах, вміст оксидів азоту, що забезпечує досягнення тільки стандартів Tier II. До суттєвих недоліків двопаливних двигунів, які використовують гетерогенні технології також слід віднести підвищену складність обладнання для підготовки газоподібного палива з необхідністю використання компресорів і криогенних насосів високого тиску (у разі використання зрідженого природного газу).

Однак, на мою думку, енергетичні установки, що працюють на природному газі, все ж таки можуть розглядатись як перспективна базова конструкція для переходу на екологічно безпечні вуглецево-нейтральні види палива, такі як біогаз, синтетичний газ та ін.

#### **Список літератури:**

1. Білоусов Є. В., Марченко А. П., Савчук В. П., Білоусова Т. П. Використання метанолу у якості моторного палива для суднових двигунів внутрішнього згоряння. *Двигуни внутрішнього згоряння*. 2024. № 1. С. 43–51. DOI: <https://doi.org/10.20998/0419-8719.2024.1.06>
2. Мельник О. М., Булгаков М. П., Кучеренко В. Ю. Стан та динаміка екологічного навантаження від судноплавства в Чорноморському регіоні: тенденції, виклики, технологічні відповіді. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2025. Т. XX. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.2.1.21> (дата звернення: 06.01.2026).
3. Мельник О. М. Моделювання взаємозв’язку енергоефективності та безпеки судна на основі множинної лінійної регресії. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2023. Т. XX. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.204.2023.284042> (дата звернення: 06.01.2026).
4. Драгнев С. В., Железна Т. А., Гайдай О. І. Перспективи використання альтернативних палив на водному транспорті. *Теплофізика та теплоенергетика*. 2023. Т. 45, № 1. С. 55–63. DOI: <https://doi.org/10.31472/tpe.1.2023.7>.
5. BP. Statistical Review of World Energy 2021. 70th ed. London : BP, 2021. 70 p. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf> (дата звернення: 06.03.2024).
6. Шпілева Т. М., Голдін В. А. Застосування двопаливних двигунів на сучасних судах. *Матеріали СЕУТОО-2024*. Херсон : Херсонська держ. мор. акад., 2024. С. 178–179
7. Khurana G. Global shipping markets. *Capital Link Greek Shipping Forum*. 2017. URL: <http://forums.capitallink.com/shipping/2018greece/ppt/khurana.pdf> (дата звернення: 06.03.2024).
8. Third IMO GHG Study 2014. Executive summary and final report. London : International Maritime Organization, 2014. URL: <https://greenvoyage2050.imo.org/wp-content/uploads/2021/01/third-imo-ghg-study-2014-executive-summary-and-final-report.pdf> (дата звернення: 06.01.2026).

9. WÄRTSILÄ. Wärtsilä GasReformer. 2015. URL: [https://www.offshore-europe.co.uk/\\_\\_\\_novadocuments/31687](https://www.offshore-europe.co.uk/___novadocuments/31687) (дата звернення: 06.03.2024).
10. Remelje C. Methanol Floating Production Storage and Offloading (MFPSO). Offshore Technology Conference. Houston, 1999. URL: <https://onepetro.org/OTCONF/99OTC/conference/All-99OTC> (дата звернення: 06.03.2024).
11. WÄRTSILÄ. Wärtsilä Methane Number Calculator. 2019. URL: <https://www.wartsila.com/products/marine-oil-gas-solutions/methane-number-calculator> (дата звернення: 06.03.2024).
12. WÄRTSILÄ. Future-proof dual fuel engines. URL: <https://www.wartsila.com/marine/products/engines-and-generating-sets/dual-fuel-engines> (дата звернення: 06.03.2024).
13. MAN Energy Solutions. Multiple dual-fuel engines bound for newbuilding powerships. 2025. URL: <https://www.man-es.com/company/press-releases/press-details/2025/03/25/multiple-dual-fuel-engines-bound-for-newbuilding-powerships> (дата звернення: 06.01.2026).
14. Dual fuel technology news. Maritime Propulsion. URL: <https://www.maritimepropulsion.com/news/propulsion/dual-fuel-technology> (дата звернення: 12.12.2025).
15. First Caterpillar methanol dual-fuel engines to deploy in 2026. MarineLink. URL: <https://www.marinelink.com/news/first-caterpillar-methanol-dualfuel-513993> (дата звернення: 11.12.2025).
16. BeHydro hydrogen dual-fuel engine earns LR type approval. MarineLink. URL: <https://www.marinelink.com/news/behydro-hydrogen-dualfuel-engine-earns-lr-509444> (дата звернення: 06.01.2026).
17. World's first ammonia-fuelled PSV ship to operate in 2026, says Wärtsilä. Reuters. 2024. URL: <https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/worlds-first-ammonia-fuelled-psv-ship-operate-2026-says-wartsila-2024-08-26> (дата звернення: 06.01.2026).
18. Anglo American completes chartered fleet of lower-emission LNG dual-fuelled vessels. LNG Industry. 2024. URL: <https://www.lngindustry.com/small-scale-lng/29022024/anglo-american-completes-chartered-fleet-of-lower-emission-lng-dual-fuelled-vessels> (дата звернення: 06.01.2026).
19. Anglo American loads first LNG dual-fuelled vessel in chartered fleet, cutting emissions by up to 35 %. VesselFinder. 2024. URL: <https://www.vesselfinder.com/news/25485> (дата звернення: 06.01.2026).
20. IEA-AMF Task 60: The progress of advanced marine fuels. Paris : International Energy Agency, 2023. URL: [https://iea-amf.org/app/webroot/files/file/Annex%20Reports/AMF\\_Task\\_60.pdf](https://iea-amf.org/app/webroot/files/file/Annex%20Reports/AMF_Task_60.pdf) (дата звернення: 06.01.2026).

### **Шпілєвая Т.М. ENERGY EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL FEASIBILITY OF USING DUAL-FUEL ENGINES IN THE MODERN FLEET**

*The use of dual-fuel engines on modern marine vessels is becoming more and more widespread in connection with the strengthening of international environmental requirements aimed at reducing emissions of harmful substances into the atmosphere and reducing the negative impact of shipping on the environment. The use of alternative types of fuel, in particular liquefied or compressed natural gas, in combination with traditional petroleum fuels, allows to significantly reduce emissions of sulfur oxides, nitrogen and carbon dioxide, as well as to increase the overall energy efficiency of ship power plants.*

*In the work, a comprehensive analysis of the energy efficiency and environmental feasibility of using dual-fuel engines on various types of marine vessels is carried out, taking into account the modern trends in the development of shipbuilding and the requirements of international regulatory documents.*

*Special attention is paid to the assessment of the prospects for the introduction of dual-fuel power plants in the commercial fleet, the analysis of their advantages and disadvantages, as well as the consideration of the latest technical solutions aimed at increasing the reliability, safety and environmental friendliness of ship engines. Information is given on modern engineering developments and innovative technologies, the implementation of which is predicted in the near future and which can significantly affect the further development of maritime transport.*

**Keywords:** latest technologies, dual-fuel engines, technological solutions, shipbuilding development, alternative fuels.

Дата першого надходження статті до видання: 15.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 18.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 08.04.2026