

УДК 629.5.035.5:662.75:621.43.019

DOI [https://doi.org/10.15589/znp2025.4\(502\).13](https://doi.org/10.15589/znp2025.4(502).13)**РОЗРАХУНОК ЗАПАСУ РІДКОГО ПАЛИВА
ДЛЯ ГОЛОВНИХ ДВИГУНІВ LNG-ТАНКЕРІВ****ESTIMATION OF LIQUID FUEL REQUIREMENTS
FOR THE PROPULSION ENGINES OF LNG CARRIERS****Vasyl S. Nalyvaiko¹**

vasyl.nalyvaiko@nuos.edu.ua

ORCID: 0009-0009-6030-0287

Roman Yu. Avdiunin²

roman.avdiunin@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0003-0798-8077

Vitalii O. Kachalov¹

vip.nartes@gmail.com

ORCID: 0009-0001-9772-3779

В. С. Наливайко¹

канд. техн. наук, професор

Р. Ю. Авдюнін²,

викладач

В. О. Качалов¹,

здобувач вищої освіти

¹ *Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv*² *Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson*¹ *Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв*² *Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування, м. Херсон*

Abstract. The article presents a modern approach to determining the liquid fuel reserve for the main engines of LNG carriers, taking into account the specific features of vessel operation and the requirements of international standards. A balance-based energy method is proposed, which enables rapid and efficient estimation of fuel consumption based on key parameters of the power plant, such as engine output, efficiency, proportion of liquid pilot fuel, and calorific value. The methodology incorporates both engineering aspects of design and regulatory requirements (IMO, EU MRV, national regulations), ensuring its universality and practical value.

Purpose. The aim of the research is to develop a convenient and accurate tool for estimating liquid fuel (MGO) requirements for LNG carriers with dual-fuel engines at the early stages of design and during operation, avoiding complex cycle-based calculations while simultaneously accounting for the thermodynamic specifics of the power plant's operation.

Methods. The methodology is based on a balance-based energy approach utilizing fundamental relationships between power, efficiency, fuel calorific value, and the proportion of pilot fuel. A nomogram was developed to visualize and simplify calculations, allowing for the determination of hourly fuel consumption depending on key parameters. Additionally, a model for estimating Boil-Off Gas (BOG) volumes is proposed, considering the thermophysical properties of the cargo, the insulation characteristics of the tanks, and external conditions.

Results. An algorithm for using the nomogram to quickly determine fuel consumption in various operational modes (cruising, maneuvering, standby) was developed. It was established that the proportion of liquid pilot fuel (q) should not be lower than 0.3 to prevent power loss and detonation. Based on a thermophysical analysis, a formula for calculating the daily boil-off gas volume was derived, accounting for heat ingress through the tank insulation.

Scientific novelty. Lies in the combination of the balance-based energy method with a graphical-analytical approach (nomogram) for rapid fuel consumption assessment, differing from traditional cycle models and empirical regulatory approaches. For the first time, an integrated model is proposed that simultaneously considers both engine operating parameters (power, efficiency) and cargo boil-off processes affecting gaseous fuel availability.

Practical significance. The proposed approach allows engineers and designers of LNG carriers to promptly evaluate various power plant configurations, compare their efficiency and cost-effectiveness, and make well-grounded decisions at the early stages of design. The methodology is convenient for multi-scenario calculations, easily adaptable to different fuel types, and applicable both in design and operational practice. Visualization of results in the form of a nomogram simplifies decision-making and enhances clarity for personnel without advanced thermodynamic training. The use of the method contributes to improved accuracy in fuel planning, compliance with IMO and EU MRV requirements, and optimization of operational costs.

Key words: MGO; LNG carriers; DF; dual-fuel engine; Boil-Off Gas (BOG); nomogram; balance method.

Анотація. У статті розглянуто сучасний підхід до визначення запасу рідкого палива для головних двигунів LNG-танкерів з урахуванням особливостей експлуатації судна та вимог міжнародних стандартів. Запропоновано балансовий енергетичний метод, який дозволяє швидко та ефективно оцінити витрати палива на основі основних параметрів енергетичної установки, таких як потужність двигуна, коефіцієнт корисної дії, частка рідкого запального палива та теплота згоряння. Методика враховує як інженерні аспекти проєктування, так і нормативні вимоги (IMO, EU MRV, національні регламенти), що забезпечує її універсальність та практичну цінність.

Мета. Метою дослідження є розробка зручного та точного інструменту для оцінки запасів рідкого палива (MGO) на LNG-танкерах з двопаливними двигунами на ранніх стадіях проєктування та в експлуатації, що дозволяє уникнути складних циклових розрахунків і водночас врахувати термодинамічні особливості роботи енергетичної установки.

Методика. В основу методики покладено балансовий енергетичний підхід, який використовує фундаментальні співвідношення між потужністю, ККД, теплотою згоряння палива та часткою запального палива. Для візуалізації та спрощення розрахунків розроблено номограму, що дозволяє визначати годинну витрату палива залежно від ключових параметрів. Додатково запропоновано модель для оцінки обсягів випаровування зрідженого газу (BOG) з урахуванням теплофізичних властивостей вантажу, теплоізоляційних характеристик танків та зовнішніх умов.

Результати. Розроблено алгоритм використання номограми для швидкого визначення витрат палива в різних режимах експлуатації (крейсерський хід, маневри, стоянка). Встановлено, що частка рідкого запального палива (q) не повинна бути нижчою за 0,3 для запобігання втраті потужності та детонації. На основі теплофізичного аналізу отримано формулу для розрахунку добового об'єму випаровування газу, що враховує теплоприток через ізоляцію танків.

Наукова новизна. Полягає в поєднанні балансового енергетичного методу з графоаналітичним підходом (номограмою) для швидкої оцінки витрат палива, що відрізняється від традиційних циклових моделей та емпіричних нормативних підходів. Вперше запропоновано інтегровану модель, яка одночасно враховує як параметри роботи двигуна (потужність, ККД), так і процеси випаровування вантажу, що впливають на доступність газоподібного палива.

Практична значимість. Запропонований підхід дозволяє інженерам та проєктантам LNG-танкерів оперативно оцінювати різні варіанти енергетичних установок, порівнювати їхню ефективність та економічність, а також приймати обґрунтовані рішення на ранніх стадіях проєктування. Методика є зручною для багатоваріантних розрахунків, легко адаптується під різні типи палива та може бути використана як у проєктній, так і в експлуатаційній діяльності. Візуалізація результатів у вигляді номограми спрощує процес прийняття рішень та підвищує наочність для персоналу без глибокої термодинамічної підготовки. Використання методу сприяє підвищенню точності планування запасів палива, відповідності вимогам IMO та EU MRV, а також оптимізації експлуатаційних витрат.

Ключові слова: MGO; LNG carriers; DF; двопаливний двигун; випаровування газу (BOG); номограма; балансовий метод.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Транспортування зрідженого природного газу (ЗПГ) морським шляхом здійснюється спеціалізованими суднами-газовозами (LNG carriers). Нині цей тип комерційних суден є одним із найскладніших, оскільки потребує створення особливих умов для транспортування зрідженого природного газу. Сучасні LNG-танкери можуть перевозити від 125 до 266 тис. м³ ЗПГ за один рейс. Газ транспортується у зрідженому стані за атмосферного тиску та температури $-161,5$ °C (близька до точки кипіння) у спеціальних термоізованих резервуарах [1]. Найбільш поширені мембранні типи зберігання (GTT Mark III, NO96) та сферичні танки типу Moss [2]. Незважаючи на наявність теплоізоляції, відбувається безперервне випаровування вантажу. Повторне зрідження (re-liquefaction) на LNG-танкерах є ключовою технологією управління випарним газом (BOG, boil-off gas), який неминуче утворюється під час транспортування зрідженого природного газу. За відсутності

такої установки у складі енергетичних систем суден цього типу як паливо використовують метан, що випарувався, разом із рідким паливом.

Для танкерів-газовозів ця проблема була вирішена значно раніше. На суднах LNG під час перевезення природного газу у рідкому стані щодня випаровувалося близько 0,2...0,3 % його об'єму. Спочатку цей газ використовували лише в головному двигуні, а сьогодні – також у дизель-генераторах та котлах.

В прогресивних судноплавних компаніях у 2018 році було проведено розрахунки економії палива при використанні природного газу на танкерах. Було проаналізовано експлуатацію танкерів-газовозів типу «Афрамакс» із дедвейтом 114 тис. тон та льодовим класом Arc. 4, а також нафтоналивних танкерів із дедвейтом 113 тис. тон та льодовим класом ICE-1A (корпус 1A). Економія палива склала 20...25 %.

Для визначення запасу рідкого палива (MGO) для головних двигунів газозовів необхідно проводити техніко-економічні розрахунки під час проєктування

судна та його енергетичної установки [3]. Визначення запасів палива для LNG-танкера здійснюється як комбінація інженерного розрахунку (за потужністю та рейсовою лінією), так і врахування нормативних вимог (IMO, EU MRV, національні регламенти).

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою цього дослідження є розробка балансового енергетичного розрахунку, який дозволяє швидко оцінити витрати палива при заданій потужності. На відміну від циклових моделей, він не потребує складних даних про процеси впорскування, що особливо важливо на ранніх стадіях проектування, а на відміну від нормативних підходів – враховує термодинамічні залежності, а не лише емпіричні коефіцієнти.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Методи дослідження включають графоаналітичне моделювання для визначення годинної витрати рідкого запального палива в залежності від коефіцієнта корисної дії (η_e) та теплоти згоряння палива (q). Об'єктом дослідження є процеси паливоподачі двопаливних ДВЗ та випаровування газоподібного палива під час транспортування. Предметом дослідження є застосування балансового методу для визначення витрат палива у процесах проектування та експлуатації газозовів.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Головні суднові двигуни Wärtsilä 50DF можуть працювати на природному газі різної якості, при цьому номінальне значення метанового числа становить 80. Крім того, конструкція двигуна дозволяє використовувати дизельне паливо або мазут без зниження потужності для забезпечення базового навантаження [4].

Запуск двигуна здійснюється в дизельному режимі з використанням основного дизельного і запального палива. Подача газу починається після забезпечення стабільного горіння в кожному з циліндрів.

При роботі двигуна на газі витрата запального палива, яким завжди є дизельне паливо, становить при повному навантаженні не більше 1 % від загальної витрати. Кількість запального палива автоматично контролюється системою управління. Під час роботи двигуна на резервному паливі запальне паливо використовується для охолодження форсунок, а також для запобігання їх забрудненню.

Двигуни Wärtsilä 50DF можуть виготовлятися без системи резервного палива. У цьому випадку запуск здійснюється на запальному паливі, а подача газу починається після розкрутки двигуна. Синхронізація енергоблоку та вихід на повне навантаження виконуються вже під час роботи на газі. Витрата запального палива при цьому залишається незмінною – не більше 1 % від загальної витрати палива при повному навантаженні.

Природний газ подається в двигун через блок регулювання газу. Перш за все, газ проходить очищення, при цьому тиск газу, який залежить від навантаження двигуна, контролюється за допомогою клапана блоку регулювання газу. При повному навантаженні тиск газу з нижчої теплотворною здатністю 36 МДж/м³ на вході в двигун повинен бути 0,39 МПа [5]. При більш низьких значеннях теплотворної здатності тиск газу має бути збільшено. До складу блоку регулювання газу також входять відсічний і випускний клапани, які забезпечують безпечну та надійну подачу паливного газу, що показано на рис. 1.

На двигуні паливний газ подається по трубній обв'язці системи загальної магістралі («Common Rail»), розташованій уздовж двигуна. Кожен циліндр має

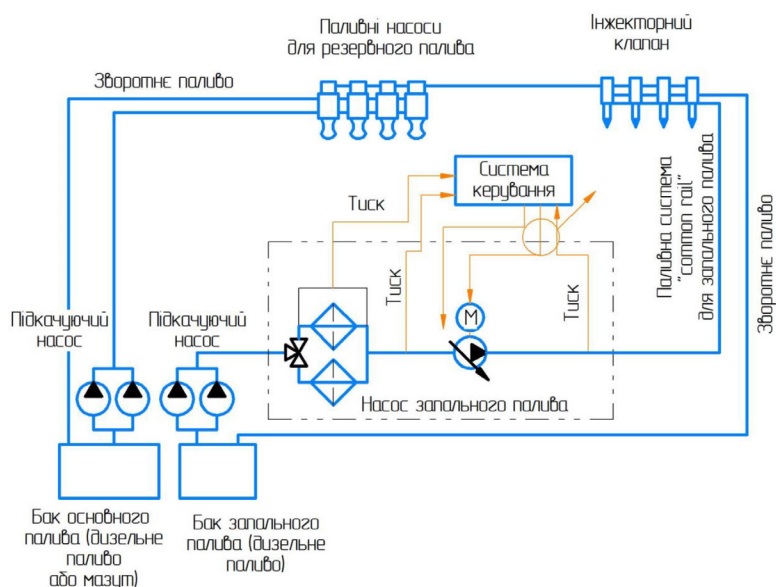


Рис. 1. Узагальнена типова схема паливної системи двопаливного двигуна

індивідуальне підведення газу до клапану, розташованому на голівці циліндра. Трубна обв'язка для газу може поставлятися замовнику із захисним кожухом.

Система подачі дизельного палива розділена на дві окремі системи: одна для подачі запального палива, інша – для резервного. Необхідний тиск палива забезпечується спеціальним насосним агрегатом, до складу якого входять подвійні фільтри, регулятор тиску палива і радіальний поршневий насос з приводом від двигуна.

Запальне паливо високого тиску подається по трубній обв'язці загальної магістралі до форсунок кожного з циліндрів і впорскується під тиском 90 МПа.

Синхронізація і контроль тривалості впорскувань здійснюється автоматично. Система подачі резервного палива має окреме підведення до двигуна. Паливо подається в стандартний насосний агрегат з приводом від розподільного (кулачкового) валу. Потім під високим тиском паливо подається на паливну форсунку стандартної конструкції.

Двопаливні двигуни Wärtsilä 50DF працюють за принципом подачі газу, який змішується з повітрям до впуску через клапани. Після фази стиснення газоповітряна суміш запалюється невеликою кількістю дизельного (пілотного) палива, як показано на рис. 2.

Як показують дослідження, проведені компанією на двигуні RMND 90 [6], при 30 % внеску теплоти від рідкого запального палива ($q = 0,30$) досягалася номінальна потужність, характерна для чисто дизельного циклу. При зменшенні частки теплоти, що вноситься рідким запальним паливом, до 5 % потужність становила близько 76 % від номінальної.

При роботі двигунів на дизпаливі $0,3 \leq q \leq 1,0$ номінальна потужність підтримувалася за рахунок зменшення витрат рідкого палива та збільшення витрати газу. На межі $q = 0,3$ подальше збільшення витрати газу призводить до виникнення детонації. Тому зменшення частки запального палива ($q < 0,3$) при незмінній витраті газу викликає зменшення потужності. Ця обставина свідчить про те, що під

час розрахунку запасу рідкого палива величину q слід приймати не менше 0,3.

Годинна витрата палива з урахуванням запального палива [7]

$$B_{\text{год}} = \frac{3,6 \cdot 10^3 \cdot N_e \cdot q}{\eta_e \cdot Q_H}, \quad (1)$$

де N_e – ефективна потужність двигуна, кВт, q – частка рідкого запального палива, η_e – ККД двигуна, Q_H – нижча теплота згоряння палива, кДж/кг.

На стадії проектування виконується певний ряд наближених розрахунків, для цього користуються рис. 3.

Покроковий алгоритм використання номограми наведено в табл. 1.

У табл. 1 послідовно показано порядок зчитування значень і врахування необхідних поправок для рейсової лінії LNG-танкера. Для побудови номограми прийнято такі межі зміни величин, що входять у формулу (1): $N_e = 0 \dots 37\,000$ кВт, $q = 0,3 \dots 1,0$; $\eta_e = 0,3 \dots 0,4$; $Q_H = 42\,500$ кДж/кг. Приклад використання номограми показано на рис. 3 стрілками.

Більш точне визначення частки рідкого запального палива q може бути визначене за допомогою номограми залежно від потужності головного двигуна N_e , його ККД η_e , вантажомісткості судна P_w , нижчої теплоти згоряння транспортованого газу Q_H і частки на випаровування α

$$\alpha = \frac{W}{k_1 \cdot P_w}, \quad (2)$$

де W – кількість газу, що випаровується за добу, $\text{м}^3/\text{добу}$, k_1 – коефіцієнт зміни об'єму газу під час переходу з рідкого стану в газоподібний при атмосферному тиску (для метану та природних газів, у складі яких переважає метан, $k_1 = 625$).

За умови, що ЗПГ транспортується при температурі кипіння, усе тепло, яке надходить у танки, витрачається на пароутворення. Кількість випаровуваного газу за добу можна визначити за формулою

$$W = 24 \frac{Q}{r \gamma_r}, \quad (3)$$

де Q – кількість теплоти, що надходить у танки протягом однієї години, кДж/год, r – прихована теплота пароутворення, кДж/кг (для метану $r = 510 \dots 520$ кДж/кг), γ_r – питома маса газу $\text{кг}/\text{м}^3$ (для метану $\gamma_r = 0,716$ $\text{кг}/\text{м}^3$).

Тепло, що надійшло в танки

$$Q = k F_T (T_0 - T_{\text{зн}}), \quad (4)$$

де k – коефіцієнт теплопередачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, F_T – площа поверхні танків, м^2 , T_0 – температура навколишнього середовища, К, $T_{\text{зн}}$ – внутрішня температура в танку, К.

Таким чином, із урахуванням виразів (3) та (4) і після відповідних перетворень, формула (2) для визначення добового об'єму випаровуваного газу набуває такого вигляду

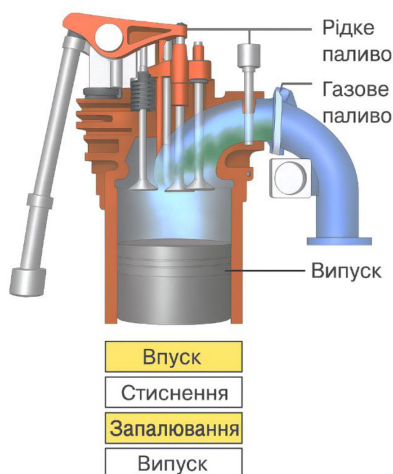


Рис. 2. Подача газу в двопаливний двигун Wärtsilä 50DF

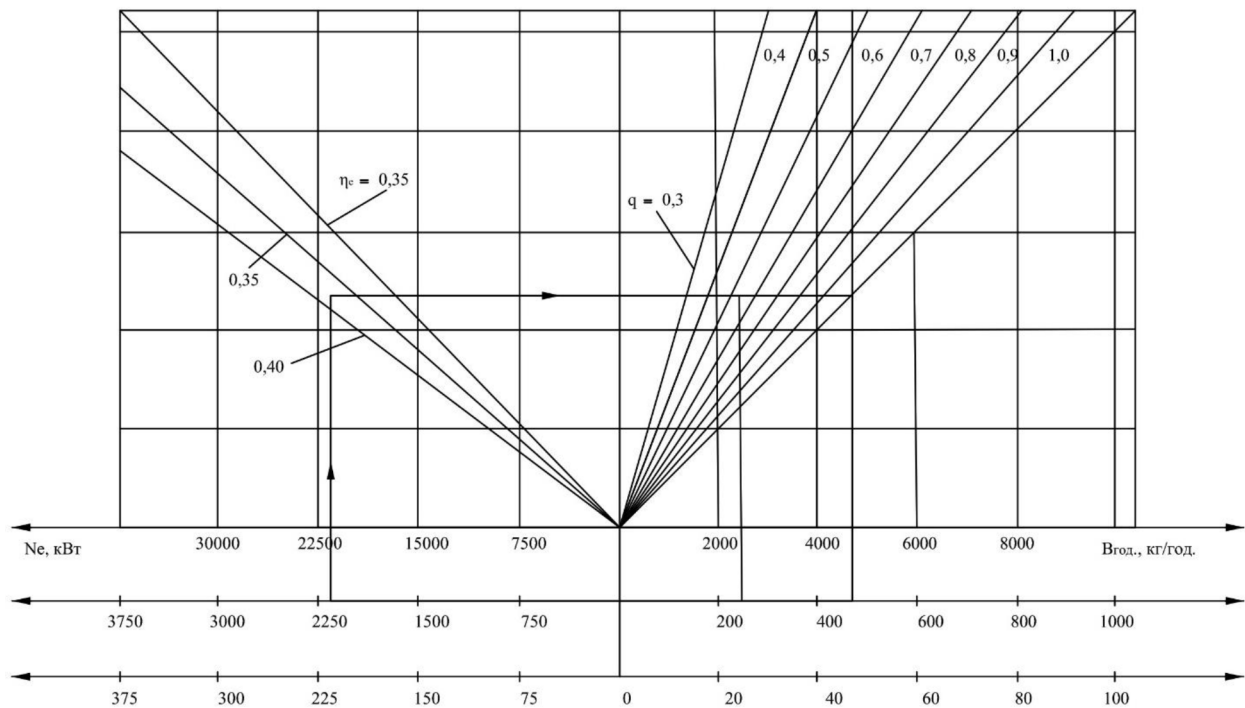


Рис. 3. Номограма для визначення годинної витрати рідкого запального палива в залежності від η_e та q при $Q_n = 42\,500$ кДж/кг

Таблиця 1. Алгоритм використання номограми

Крок	Дія	Пояснення / що врахувати
1.	Визначити ефективну потужність N_e	Режим руху судна (крейсерський хід, маневри, стоянки)
2.	Вибрати значення ККД η_e	Орієнтуватися на паспортні дані двигуна або середні експлуатаційні значення
3.	Провести вертикаль від N_e та знайти перетин з ізолінією η_e	Це точка робочого режиму на номограмі
4.	Зчитати витрату палива $B_{год.}$ по осі ординат	Отримуємо годинну витрату палива для даного режиму.
5.	Ввести поправки на режим руху	Додати: +10...15 % на штормові затримки, +5 % на маневри, + резерв на аварійні ситуації
6.	Інтегрувати витрати по часу	Помножити витрату на тривалість кожного режиму, підсумувати по рейс
7.	Додати конструктивний запас	Зазвичай 5...7 % від загального обсягу.
8.	Зафіксувати результат у FOCR	Для відповідності вимогам IMO, EU MRV та внутрішніх стандартів

$$\alpha = 1,05 \cdot 10^{-4} \frac{kF_T}{P_w} (T_0 - T_{zn}). \quad (5)$$

Коефіцієнт теплопередачі визначається за умови, що теплообмін між навколишнім середовищем і вантажем відбувається через плоску стінку, з урахуванням великих розмірів танків

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (6)$$

де α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від навколишнього середовища до танку, Вт/(м² · К); δ – товщина ізоляції танка, м; λ – коефіцієнт теплопровідності ізоляції, Вт/(м · К);

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від поверхні танка до вантажа, Вт/(м² · К).

Як видно з (6), основним чинником є термічний опір ізоляції (δ/λ), значення котрого може буде визначене на стадії проєктування судна, тоді як вплив коефіцієнтів α_1 та α_2 можна знехтувати. Вираз (6) набуває такого вигляду

$$\alpha = 1,05 \cdot 10^{-4} \frac{\lambda F_T}{\delta P_w} (T_0 - T_{zn}). \quad (7)$$

Врахувавши товщину ізоляції, отримаємо

$$\alpha = \frac{5,25 \cdot 10^{-3} \cdot \lambda F_T (T_0 - T_{zn})}{0,105 \cdot \lambda F_T (T_0 - T_{zn}) - P_w}. \quad (8)$$

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження розроблено балансовий енергетичний метод для визначення запасу рідкого запального палива головних двигунів LNG-танкерів, який базується на основних енергетичних параметрах суднової енергетичної установки. Запропонований підхід дозволяє швидко оцінити витрати палива при заданій потужності без необхідності складних циклових розрахунків.

Методика враховує термодинамічні залежності процесів згоряння та випаровування зрідженого природного газу, що забезпечує її достовірність і практичну застосовність як на етапі проектування, так і під час експлуатації судна. Побудована номограма дозволяє інженерам і екіпажам оперативно визначати годинну витрату запального палива, коригувати її залежно від режиму роботи двигуна, а також враховувати вплив ККД і теплоти згоряння.

Застосування балансового методу сприяє:

- підвищенню точності розрахунків запасу палива на ранніх етапах проектування LNG-танкерів;
- зменшенню часу, необхідного для техніко-економічних оцінок різних конфігурацій енергетичних установок;
- удосконаленню експлуатаційних розрахунків і планування рейсів;
- забезпеченню відповідності вимогам міжнародних стандартів ІМО та системи моніторингу EU MRV.

Таким чином, запропонований підхід є ефективним інструментом для розрахунку запасу рідкого палива двопаливних головних двигунів LNG-танкерів, поєднує інженерну точність із практичною зручністю, та може бути рекомендований для використання в інженерній і навчальній практиці під час проектування сучасних газовозів.

REFERENCES

- [1] Diachenko, T. V. (2017). *Transportuvannya ta zberezhennia zridzhenoho pryrodnoho hazu: navchalnyi posibnyk* [Transportation and storage of liquefied natural gas: a training manual]. Odesa : Osvita Ukrainy. 106 p. [in Ukrainian].
- [2] Martinić-Cezar, S., Jurić, Z., Assani, N. & Lalić, B. (2024). Optimization of Fuel Consumption by Controlling the Load Distribution between Engines in an LNG Ship Electric Propulsion Plant. *Energies*, Vol. 17(15), Article 3718. DOI: 10.3390/en17153718
- [3] Mysko, V. O., Avdiunin, R. Yu. & Rudenko, O. V. (2019). Vyrishennia ekolohichnykh problem SDVZ za rakhunok vykorystannia LPG [Solving the economic problems of the marine IC engine through the use of LPG]. *Science, engineering and technology: global and current trends: International scientific and practical conference, Prague, Czech Republic, December 27–28. Prague: Izdevnieciba "Baltija Publishing"* pp. 86–90 [in Ukrainian].
- [4] Wärtsilä Corporation. *Marine Engines Technical Manual*. (2020). *Helsinki: Wärtsilä*. 145 p.
- [5] Tu, H., Fan, H., Lei, W. & Zhou, G. (2019). Options and Evaluations on Propulsion Systems of LNG Carriers. *IntechOpen*. DOI: 10.5772/intechopen.82154
- [6] Nalyvaiko, V. S., Tymoshevskyy, B. H. & Tkachenko, S. H. (2015). *Sudnovi dvyhuny vnutrishnoho zghoriannia: pidruchnik dlia studentiv VNZ* [Marine internal combustion engines: a textbook for university students]. Mykolaiv: Torubara V. V. 331 p. [in Ukrainian].
- [7] Uvarov, V. A., Mysko, V. O., Avdiunin, R. Yu. & Khomenko, V. S. (2018). *Metodychni vkazivky do samostiinoi roboty z dystsypliny "Proektuvannya system sudnovykh enerhetychnykh ustanovok"* [Methodological instructions for independent work on the discipline "Design of power plant systems"]. Mykolaiv: Torubara V. V. 98 p. [in Ukrainian].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Дьяченко, Т. В. (2017). *Транспортування та збереження зрідженого природного газу: навчальний посібник*. Одеса : Освіта України. 106 с.
- [2] Martinić-Cezar, S., Jurić, Z., Assani, N. & Lalić, B. (2024). Optimization of Fuel Consumption by Controlling the Load Distribution between Engines in an LNG Ship Electric Propulsion Plant. *Energies*, Vol. 17(15), Article 3718. DOI: 10.3390/en17153718
- [3] Мисько, В. О., Авдюнін, Р. Ю. & Руденко, О. В. (2019). Вирішення екологічних проблем СДВЗ за рахунок використання LPG. *Science, engineering and technology: global and current trends: International scientific and practical conference, Prague, Czech Republic, December 27–28. Prague: Izdevnieciba "Baltija Publishing"*. С. 86–90.
- [4] Wärtsilä Corporation. *Marine Engines Technical Manual*. (2020). *Helsinki: Wärtsilä*. 145 p.
- [5] Tu, H., Fan, H., Lei, W. & Zhou, G. (2019). Options and Evaluations on Propulsion Systems of LNG Carriers. *IntechOpen*. DOI: 10.5772/intechopen.82154
- [6] Наливайко, В. С. Тимошевський, Б. Г. & Ткаченко, С. Г. (2015). *Суднові двигуни внутрішнього згоряння : підруч. для студентів ВНЗ*. Миколаїв : Торубара В. В. [вид.]. С. 331.
- [7] Уваров, В. А., Мисько, В. О., Авдюнін, Р. Ю. & Хоменко, В. С. (2018). *Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Проектування систем суднових енергетичних установок»*. Миколаїв: Торубара В. В. С. 98.

© Наливайко В. С., Авдюнін Р. Ю., Качалов В. О.
Дата надходження статті до редакції: 05.11.2025
Дата затвердження статті до друку: 23.11.2025
Опубліковано: 30.12.2025

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0