

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG MÔ HÌNH TÍNH TOÁN NHIÊN LIỆU TIÊU THỤ THEO THỜI GIAN THỰC CHO TÀU THỦY SỬ DỤNG PHƯƠNG PHÁP NỘI SUY

RESEARCH AND BUILD A REAL-TIME MODEL TO CALCULATE FUEL CONSUMPTION FOR SHIPS USING INTERPOLATION METHOD

ĐOÀN HỮU KHÁNH*, ĐINH ANH TUẤN, HOÀNG ĐỨC TUẤN

Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: khanhdh.ddt@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo này trình bày việc nghiên cứu, xây dựng một mô hình tính toán nhiên liệu theo thời gian thực cho tàu thủy sử dụng phương pháp nội suy. Nhiên liệu tiêu thụ được tính toán dựa trên việc tính toán công suất tiêu thụ tức thời và suất tiêu hao nhiên liệu tại mỗi thời điểm lấy mẫu. Công suất tức thời được tính toán dựa trên giá trị lực cản bổ sung của tàu tùy vào từng điều kiện khai thác cụ thể cũng như các thông số nhiễu môi trường. Giá trị lực cản bổ sung của tàu được tính toán sử dụng các công thức bán kinh nghiệm. Trong khi đó, suất tiêu hao nhiên liệu được tính bằng phép nội suy từ đường cong suất tiêu hao nhiên liệu được trích xuất các điểm dữ liệu mẫu từ dữ liệu chạy thử tàu thực sau khi đóng mới. Kết quả thử nghiệm mô hình cho thấy mô hình hoạt động tin cậy, có khả năng tính toán nhiên liệu theo thời gian thực với sai số nhỏ. Mô hình này có thể được sử dụng trong giải pháp tìm các tuyến đường cho tàu thủy trước mỗi chuyến đi sao cho tối ưu lượng nhiên liệu tiêu thụ dựa trên các thông tin dự báo thời tiết để nâng cao hiệu quả sử dụng nhiên liệu, giảm phát thải các khí độc hại ra môi trường.

Từ khóa: Mô hình tính toán nhiên liệu, công thức bán kinh nghiệm, phương pháp nội suy.

Abstract

This paper presents the research and construction of a real-time fuel calculation model for the main engine of ships using interpolation method. Fuel consumption is calculated based on the calculation of instantaneous power consumption and the specific fuel consumption at each sampling time. Instantaneous power is calculated based on the added resistance acting on the ship depending on different conditions, and this added resistance is calculated using semi-empirical formulas. Meanwhile, the specific fuel consumption is calculated by interpolation

method from the specific fuel consumption curve by extracting sample data points from the sea trial data of the actual ship after new construction. Model testing results show that the model operates reliably and is capable of calculating fuel in real-time with small errors. This model can be used to find optimal routes for ships before each trip based on weather forecast information to improve fuel efficiency and reduce emissions into the environment.

Keywords: Fuel calculation model, semi-empirical formulas, interpolation method.

1. Mở đầu

Vận tải bằng đường thủy là một trong những phương pháp vận tải rẻ nhất khi vận chuyển hàng hóa giữa các quốc gia và lục địa. Tuy nhiên, chi phí nhiên liệu có thể chiếm từ 50% đến 70% tổng chi phí khai thác một tàu tùy thuộc vào từng loại tàu và thông số của nó [1].

Hơn nữa, để tuân thủ công ước quốc tế về ngăn ngừa ô nhiễm do tàu gây ra (MARPOL), phụ lục VI của tổ chức hàng hải quốc tế IMO với những quy định về ngăn ngừa ô nhiễm từ tàu. Các công ty vận tải hiện nay đã và đang tìm những giải pháp để cắt giảm lượng nhiên liệu tiêu thụ cho tàu trong quá trình khai thác.

Trong những giải pháp để nâng cao hiệu quả sử dụng nhiên liệu cho tàu thì một mô hình tính toán nhiên liệu hoạt động chính xác, tin cậy có thể được sử dụng trong việc xây dựng kế hoạch trước mỗi chuyến đi cho tàu dựa trên các thông số của tàu và các thông tin dự báo thời tiết.

Nhiên liệu tiêu thụ của máy chính khi tàu hoạt động trong một ngày có thể được tính như sau [2]:

$$TFC = \int_{i=0}^{24h} P_i \cdot SFOC_i \cdot dt \quad (1)$$

Trong đó, TFC là nhiên liệu tiêu thụ tổng trong một ngày (tấn), P_i là công suất tức thời của máy chính

(kW), $SFOC_i$ là suất tiêu hao nhiên liệu (g/kW.h).

Như vậy, muốn tính được nhiên liệu tiêu thụ thì cần tính được công suất tức thời và suất tiêu hao nhiên liệu tại mỗi thời điểm lấy mẫu i .

Trong công bố [3], Barrass và cộng sự đã đề xuất một công thức để tính nhiên liệu tiêu thụ theo lượng chiếm nước của tàu và tốc độ tàu. Mersin và cộng sự trong nghiên cứu [4] để cải tiến công thức này khi xem xét sự thay đổi thông số lượng choán nước của tàu sẽ thay đổi tùy vào trọng tải hàng hóa của tàu và lượng nhiên liệu còn lại trong két chứa dầu. Tuy nhiên, những công thức này chỉ phù hợp để ước lượng mức tiêu thụ nhiên liệu trung bình cho mỗi chuyến đi, nếu xét trong những điều kiện thời tiết cụ thể thì độ chính xác sẽ không cao.

Trong bài báo [5], Kim và cộng sự đã đề xuất một phương pháp tính nhiên liệu tiêu thụ cho tàu thủy dựa trên tiêu chuẩn ISO 15016:2015. Trong nghiên cứu này, phương pháp để tính toán giá trị lực cản bổ sung khá phức tạp và phương pháp để tính suất tiêu hao nhiên liệu không được đề cập chi tiết.

Trong các tài liệu [6, 7], các tác giả sử dụng phương pháp thống kê để ước lượng nhiên liệu tiêu thụ. Trong khi đó, Le và các cộng sự trong nghiên cứu [8] sử dụng một mô hình mạng nơ-ron để dự báo lượng nhiên liệu tiêu thụ. Những phương pháp này đều yêu cầu một lượng dữ liệu hoạt động trong quá khứ của tàu đủ lớn và chưa nói đến những dữ liệu này thường rất khó để thu thập đầy đủ, chi tiết.

Trong công trình [9], Ailong Fan và các cộng sự đã xây dựng một mô hình tính toán nhiên liệu theo thời gian thực áp dụng cho các tàu chở hàng rời. Tuy nhiên, nghiên cứu này không xét đến ảnh hưởng của hướng sóng. Trên thực tế, hướng sóng sẽ có ảnh hưởng rất lớn đến lực cản bổ sung của tàu và lượng nhiên liệu tiêu thụ.

Ngoài ra, trong công bố [10], nhóm nghiên cứu cũng đề xuất xây dựng một mô hình tính toán nhiên liệu sử dụng phương pháp nội suy. Tuy nhiên, nghiên cứu này chỉ xét đến chế độ tàu chạy ballast chứ chưa đưa ra phương pháp tính toán cụ thể với các tải trọng khai thác khác nhau của tàu.

Từ những vấn đề còn tồn tại như đã chỉ ra ở trên. Bài báo này đề xuất xây dựng một mô hình tính toán nhiên liệu theo thời gian thực. Mô hình đề xuất sử dụng các công thức bán kinh nghiệm để tính lực cản bổ sung lên tàu, từ đó sẽ tính được công suất tức thời của máy chính. Ngoài ra, suất tiêu hao nhiên liệu sẽ được tính toán dựa trên phép nội suy từ đường cong suất tiêu hao nhiên liệu được thu thập trong quá trình

chạy thử của tàu thực sau khi đóng mới.

Phần còn lại của bài báo được sắp xếp như sau. Phần 2 đưa ra các bước để xây dựng mô hình tính toán nhiên liệu. Quá trình xây dựng mô hình cho một tàu cụ thể sẽ được trình bày trong phần 3. Trong phần 4 là quá trình thử nghiệm mô hình đề xuất và một số kết luận sẽ được đưa ra.

2. Xây dựng mô hình tính toán nhiên liệu theo thời gian thực

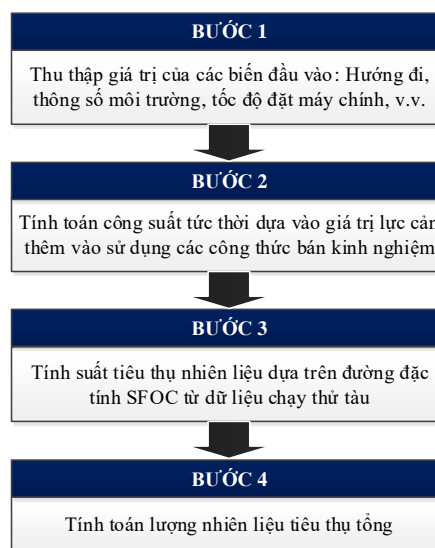
Khi tàu hành trình trên biển, nhiên liệu tiêu thụ tổng của tàu phần lớn bởi máy chính và máy phát điện. Trong khi máy phát hầu như luôn tiêu thụ một lượng nhiên liệu không đổi trong quá trình tàu chạy biển thì nhiên liệu tiêu thụ của máy chính phụ thuộc rất nhiều vào các yếu tố như tốc độ đặt cho máy chính, các nhiễu môi trường như sóng, gió, và dòng chảy,... Bởi vậy, nghiên cứu này chỉ xây dựng mô hình tính toán nhiên liệu cho máy chính. Nhiên liệu tiêu thụ của máy phát sẽ giả định là một hằng số khi xét đến lượng nhiên liệu tiêu thụ tổng của tàu.

Với hướng nghiên cứu là các tàu chở hàng có bước chân vịt cố định, theo tài liệu [11], công suất của máy chính sẽ được tính như sau:

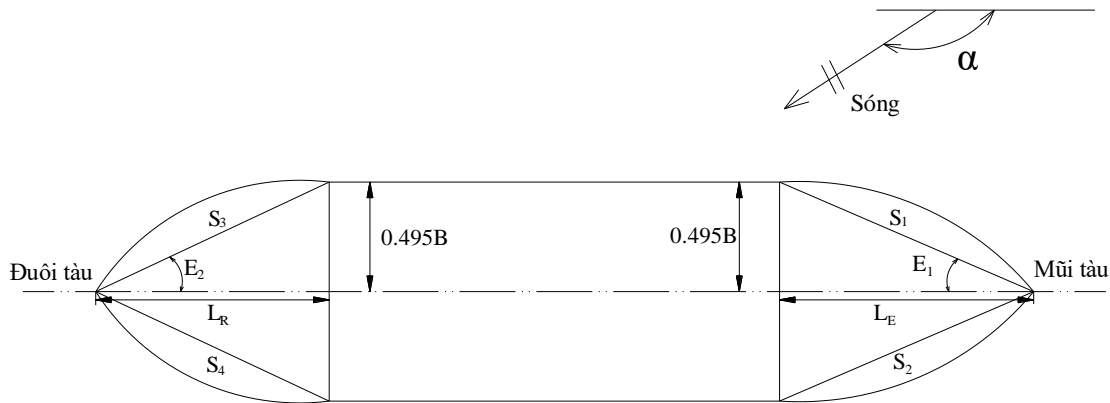
$$P = c \times n^3 \quad (2)$$

Với P là công suất máy chính (W), n là tốc độ máy chính (rpm), c là một hằng số. Hằng số c sẽ phụ thuộc vào lực cản bổ sung tàu khi hành trình trên biển.

Dựa trên các phương trình (1)-(2) và các phân tích trong phần 1, các bước xây dựng mô hình đề xuất được thể hiện như trên Hình 1.



Hình 1. Các bước xây dựng mô hình tính toán nhiên liệu tiêu thụ cho máy chính



Hình 2. Các tham số đường nước xác định lực cản bổ sung

Tại bước 1, các tín hiệu đầu vào cho mô hình đề xuất sẽ cần được thu thập tại mỗi thời điểm lấy mẫu khác nhau gồm: Hướng đi của tàu, trọng tải tàu, các thông số môi trường, mớn nước phía trước, mớn nước phía sau, tốc độ đặt máy chính.

Các giá trị đã thu thập sẽ được sử dụng để tính giá trị lực cản bổ sung tàu. Khi tàu vận hành trên biển, tổng lực cản tác dụng lên tàu có thể được tính như sau [12]:

$$R_{total} = R_{calm} + R_{added} \quad (3)$$

Trong đó, R_{total} là tổng lực cản tác động lên tàu (N), R_{calm} là lực cản tác động vào tàu ở điều kiện thời tiết tốt (N) (không sóng, gió, dòng chảy), và R_{added} là lực cản bổ sung bởi các nhiễu môi trường (N). Lực cản bổ sung R_{added} được tính như sau [13]:

$$R_{added} = R_{AWM} + \sum_{i=1}^4 R_{AWR}^i + R_{wind} \quad (4)$$

Trong đó R_{AWM} là lực cản bổ sung do sóng bởi hiệu ứng bức xạ, R_{AWR} là lực cản bổ sung do sóng bởi hiệu

ứng phản xạ, và R_{wind} là lực cản do gió. Với những tàu có chiều dài lớn, khi hoạt động trên biển thành phần lực cản do hiệu ứng bức xạ khá nhỏ khi so sánh với hiệu ứng phản xạ vì thành phần sóng ảnh hưởng đến tàu chủ yếu là sóng ngắn [14]. Với trọng tâm nghiên cứu là những tàu chở hàng có trọng tải và chiều dài lớn. Nghiên cứu này đề xuất việc tính toán xây dựng cho tàu hoạt động ở các chế độ sóng vừa và nhỏ so với tàu khi dao động trên sóng của tàu là không đáng kể. Do đó, giá trị lực cản bổ sung tàu của mô hình đề xuất chỉ xét đến lực cản bổ sung bởi hiệu ứng phản xạ và lực cản do gió. Theo tài liệu [13], các thành phần lực cản do hiệu ứng phản xạ R_{AWR}^i được tính theo (5), (6), (7) và (8).

Trong đó, α là góc tới của sóng (độ), ξ_A là biên độ sóng (m), U là vận tốc tàu (knots), R_{AWR}^i là thành phần lực cản dựa trên tham số đường nước S_i như trên Hình 2. Cụ thể đường nước S_1 và đường nước S_2 ở bên trái và phải mũi tàu, đường nước S_3 và đường nước S_4 ở bên trái và phải đuôi tàu. Các thành phần lực cản này sẽ tác dụng vào tàu khi góc tới của sóng nằm trong các dải tương ứng. Cụ thể là, R_{AWR}^i :

$$R_{AWR}^1 = \frac{2.25}{4} \rho g B \xi_A^2 \alpha_{T^*} \left(\frac{0.87}{C_B} \right)^{(1+4\sqrt{Fr})f(\alpha)} \left\{ \sin^2(E_1 - \alpha) + \frac{2\omega_0 U}{g} [\cos E_1 \cos(E_1 - \alpha) - \cos \alpha] \right\} \quad (5)$$

$$R_{AWR}^2 = \frac{2.25}{4} \rho g B \xi_A^2 \alpha_{T^*} \left(\frac{0.87}{C_B} \right)^{(1+4\sqrt{Fr})f(\alpha)} \left\{ \sin^2(E_1 + \alpha) + \frac{2\omega_0 U}{g} [\cos E_1 \cos(E_1 + \alpha) - \cos \alpha] \right\} \quad (6)$$

$$R_{AWR}^3 = -\frac{2.25}{4} \rho g B \xi_A^2 \alpha_{T^*} \left\{ \sin^2(E_2 + \alpha) + \frac{2\omega_0 U}{g} [\cos E_2 \cos(E_2 + \alpha) - \cos \alpha] \right\} \quad (7)$$

$$R_{AWR}^4 = -\frac{2.25}{4} \rho g B \xi_A^2 \alpha_{T^*} \left\{ \sin^2(E_2 - \alpha) + \frac{2\omega_0 U}{g} [\cos E_2 \cos(E_2 - \alpha) - \cos \alpha] \right\} \quad (8)$$

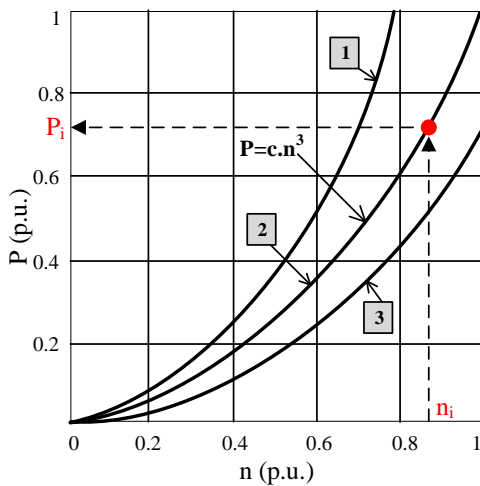
$E_1 \leq \alpha \leq \pi$, R_{AWR}^2 : $\pi - E_1 \leq \alpha \leq \pi$, R_{AWR}^3 : $0 \leq \alpha \leq \pi - E_2$, và R_{AWR}^4 : $0 \leq \alpha \leq E_2$. Trong khi đó α_{T^*} là hệ số môn nước. Chi tiết hơn về các hệ số trong các phương trình (5)-(8) được trình bày cụ thể trong nghiên cứu [13].

Từ các công thức tính lực cản bổ sung do sóng ở các công thức trên, ta thấy rằng lực cản bổ sung sẽ tăng cao khi chiều cao sóng lớn. Mối quan hệ giữa chiều cao sóng và vận tốc gió với phổ sóng Pierson-Moskowitz được thể hiện như sau [13]:

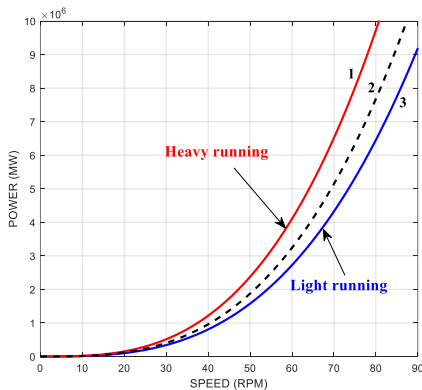
$$H_s = \frac{2.06}{g^2} V_{19.4}^2 \quad (9)$$

Với H_s là chiều cao sóng (m), g là gia tốc trọng trường ($m.s^{-2}$), $V_{19.4}$ là vận tốc gió ở chiều cao 19.4 m so với mặt nước biển ($m.s^{-1}$).

$$R_{wind} = \frac{I}{2} \left[\frac{C_X(\gamma_r) \rho_a V_r^2 A_T}{C_Y(\gamma_r) \rho_a V_r^2 A_L} \right] \quad (10)$$



Hình 3. Đồ thị làm việc của chân vịt

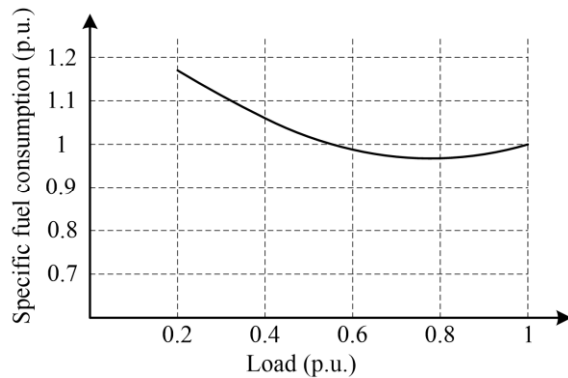


Hình 5. Các đường đồ thị làm việc của chân vịt xây dựng cho tàu The Prosperity

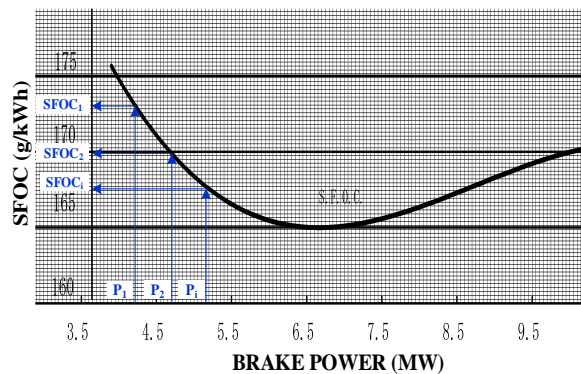
Trong khi đó, lực cản bổ sung do gió tác động dọc (trục X) thân tàu và ngang (trục Y) thân tàu có thể được tính như phương trình (10) [14].

Với C_X, C_Y là các hệ số lực, chúng sẽ phụ thuộc vào giá trị của góc tương đối giữa hướng gió và mũi tàu, ρ_a là mật độ của không khí ($kg.m^{-3}$), V_r là vận tốc gió tương đối ($m.s^{-1}$), L là chiều dài của tàu (m), A_T và A_L (m^2) là diện tích mà gió thổi vào mặt trước và mặt bên của tàu.

Hình 3 thể hiện đồ thị làm việc của chân vịt ứng với các giá trị khác nhau của lực cản bổ sung. Trong đồ thị này, trục hoành thể hiện tốc độ máy chính và trục tung thể hiện công suất máy chính ở dạng đại lượng tương đối. Các đồ thị làm việc này được xây dựng dựa trên việc kết hợp giữa dữ liệu đo được về công suất động cơ ở trạng thái biển trong báo cáo buổi trưa và tương ứng là giá trị lực cản bổ sung của tàu theo công thức bán thực nghiệm ở nhiều trạng thái tải trọng khác nhau của tàu. Điều này sẽ là cơ sở để nội suy công suất tại các trạng thái biển trung gian.



Hình 4. Đường cong suất tiêu hao nhiên liệu tiêu chuẩn của động cơ diesel tàu thủy [15]



Hình 6. Đường cong suất tiêu hao nhiên liệu của tàu The Prosperity

Đường số 3 là đồ thị làm việc của chân vịt với thời tiết tốt. Đường này có thể được xây dựng từ bảng dữ liệu chạy thử tàu hoặc dữ liệu trong bảng báo cáo buổi trưa với điều kiện thời tiết không có nhiễu loạn ứng với giá trị lực cản bổ sung bằng không ($R_{added}=0$).

Trong khi đó, đường số 1 là đồ thị làm việc của chân vịt với thời tiết xấu. Đường này được xây dựng dựa trên bảng thông số của mỗi hãng máy như một trường hợp cụ thể của hãng máy MAN được trình bày trong mục 3. Trong trường hợp này, lực cản bổ sung được giả định là giá trị lớn nhất ($R_{added}=\max$).

Giá trị lực cản bổ sung tàu R_i tại thời điểm tính toán i bất kỳ sẽ tính được từ các công thức bán kinh nghiệm tùy vào các thông số hiện tại của tàu và độ lớn cũng như hướng của các nhiễu môi trường nên $R_i \in [0, \max]$. Từ đó, hệ số c trong phương trình (2) sẽ được nội suy tùy thuộc vào giá trị của R_i tại thời điểm tính toán. Với một trị của c thì đường đồ thị làm việc sẽ là một đường nào đó nằm giữa đường số 1 ($R_{added}=\max$) và đường số 3 ($R_{added}=0$). Từ đó, giả sử như đồ thị làm việc của chân vịt tại thời điểm tính toán là đường số 2 thì với giá trị tốc độ đặt cho máy chính trên trục hoành n_i , giá trị công suất tức thời P_i có thể được tính ra với giá trị tương ứng nằm trên trục tung như trên Hình 3.

Tại bước 3 giá trị suất tiêu hao nhiên liệu sẽ tính được dựa trên giá trị công suất tức thời đã tính được ở bước 2 dựa trên đường cong suất tiêu hao nhiên liệu như trên Hình 4. Hình 4 là một đường cong suất tiêu hao nhiên liệu tiêu chuẩn của động cơ diesel tàu thủy. Đường cong này với một máy chính bất kỳ có thể có

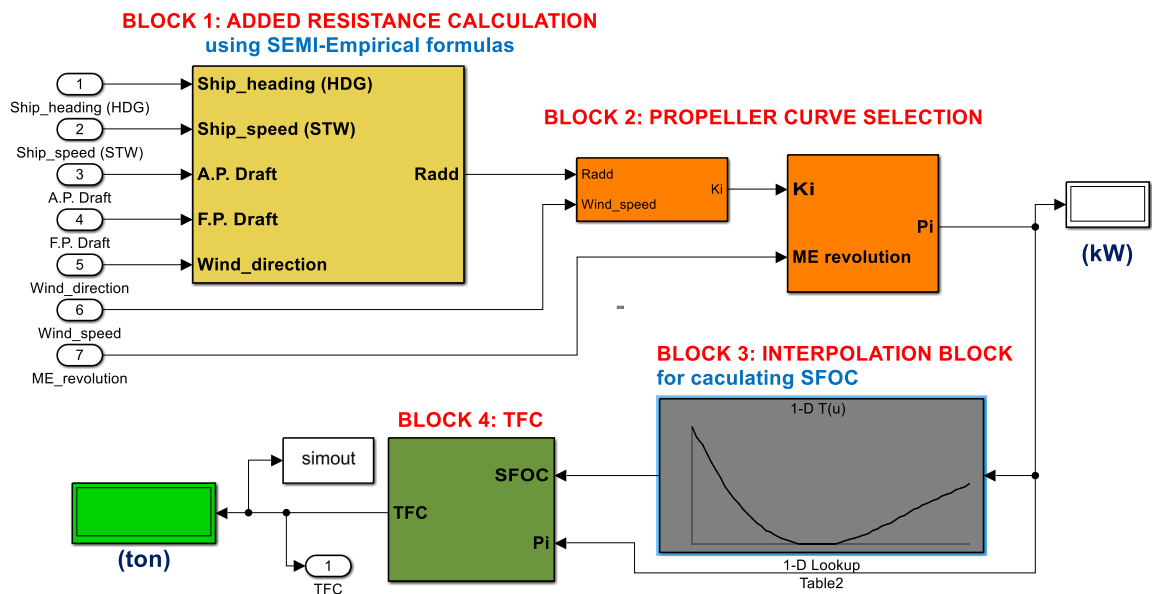
được từ dữ liệu chạy thử tàu của tàu đó.

Với giá trị công suất tức thời và suất tiêu hao nhiên liệu đã tính được ở bước 2 và bước 3 tại mỗi thời điểm lấy mẫu. Ở bước 4, lượng tiêu hao nhiên liệu tổng sẽ được tính dựa trên phương trình (1).

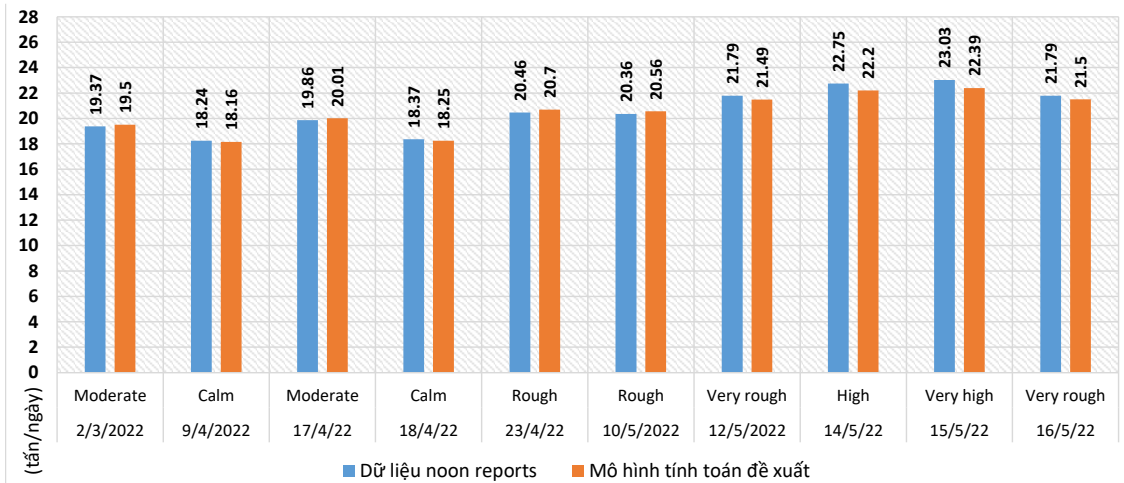
3. Xây dựng mô hình tính toán nhiên liệu cho tàu The Prosperity

Với trọng tâm nghiên cứu là những tàu chở hàng có trọng tải lớn. Nhóm tác giả lựa chọn tàu The Prosperity để nghiên cứu thực nghiệm. The Prosperity là một tàu chở hàng rời với trọng tải 82,000 tấn. Dựa trên 03 tệp dữ liệu của tàu này mà nhóm nghiên cứu đã thu thập được bao gồm: Hồ sơ tàu chứa các thông số kỹ thuật và thông số thiết kế của tàu; Dữ liệu chạy thử tàu sau khi đóng mới; Báo cáo buổi trưa (noon reports) trong khoảng thời gian 02 năm (12/2020 ÷ 11/2022). Dựa trên 02 tệp dữ liệu đầu tiên, một mô hình đề xuất để tính toán nhiên liệu sẽ được xây dựng theo các bước đã đề cập trong phần 2. Trong khi đó, tệp dữ liệu còn lại được dùng để kiểm chứng mô hình đã đề xuất.

Máy chính trên tàu The Prosperity là máy 6S60ME-C8.2 của hãng MITSUI MAN B&W. Theo tài liệu máy MAN, khi tàu vận hành trong thời tiết xấu với khoảng sóng cấp 10/12 của thang Beaufort đưa ra bởi tổ chức khí tượng quốc tế WMO, với cùng công suất chân vịt thì tốc độ của chân vịt có thể giảm tới 12% [11]. Từ đó, với các giả định rằng:



Hình 7. Mô hình tính toán nhiên liệu đề xuất xây dựng trên phần mềm Matlab/Simulink



Hình 8. Nhiên liệu tiêu thụ thực và nhiên liệu tiêu thụ tính bằng mô hình đề xuất trong 10 ngày tiêu biểu

- Sóng biển cấp 10/12;
- Độ cao sóng là 9m;
- Góc tương đối giữa hướng mũi tàu và hướng sóng là 180^0 (head sea);
- Tàu đầy hàng (laden);
- Tốc độ chân vịt giảm 12% với cùng công suất khi thời tiết xấu (10/12).

Nhóm tác giả xây dựng được đồ thị làm việc của chân vịt với thời tiết xấu (heavy running) là đường số 1 (màu đỏ) trên Hình 5. Đồ thị làm việc của chân vịt với thời tốt (light running) được xây dựng là đường số 3 (màu xanh). Đường đặc tính này ứng với lực cản bổ sung bằng không (không có nhiễu mỗi trường) được xây dựng dựa trên dữ liệu từ bảng báo cáo buổi trưa trong ngày thời tiết tốt và tàu chở đầy hàng (ngày 09/4/2022). Dựa trên giá trị lực cản bổ sung tại mỗi thời điểm lấy mẫu bất kỳ (được tính như đã đề cập trong phần 2), đồ thị làm việc của chân vịt sẽ được nội suy là đường nét đứt 2 (màu đen) nằm giữa đường 1 và đường 3. Từ đường 2 này, công suất tức thời của máy chính sẽ tính được dựa trên tốc độ đặt của nó.

Sau khi đã tính được giá trị công suất tức thời, suất tiêu hao nhiên liệu theo như bước 3 trong phần 2 đã trình bày sẽ được tính toán bằng phép nội suy dựa vào đường cong suất tiêu hao nhiên liệu. Hình 6 là đường cong suất tiêu hao nhiên liệu được thu thập trong quá trình chạy thử tàu thực The Prosperity.

Dựa trên đường cong này, 61 mẫu dữ liệu (P_i , $SFOC_i$) được trích xuất để sử dụng cho khối nội suy trong mô hình tính toán.

Từ các cơ sở trên, mô hình đề xuất được thiết kế xây dựng trên phần mềm Matlab/Simulink như Hình 7. Trong đó, Block 1 là khối tính toán giá trị lực cản

bổ sung tàu với các biến đầu vào là: Hướng đi của tàu, tốc độ tàu, vận tốc gió, hướng gió, món nước phía trước và phía sau tàu, và tốc độ đặt của máy chính. Trong khi đó, Block 2 có vai trò tính toán công suất tức thời của máy chính dựa trên giá trị lực cản bổ sung tàu đã tính toán ở Block 1. Từ giá trị công suất tức thời đã tính được, Block 3 có chức năng nội suy ra giá trị suất tiêu hao nhiên liệu với 61 mẫu dữ liệu đã trích xuất. Cuối cùng, với công suất tức thời và suất tiêu hao nhiên liệu tại mỗi thời điểm lấy mẫu sẽ được đưa đến Block 4 để tính toán lượng nhiên liệu tiêu thụ tổng.

4. Thử nghiệm mô hình đề xuất

Để thử nghiệm mô hình đề xuất, 10 ngày tiêu biểu trong tệp dữ liệu báo cáo buổi trưa của tàu The Prosperity từ 02/3/2022 đến 16/5/2022 được chọn lựa là những ngày với những trạng thái thời tiết khác nhau được thể hiện như trên Hình 8. Những ngày này tàu đều có tốc độ đặt cho máy chính là 70rpm. Chiều cao sóng và tốc độ gió trong 10 ngày ứng với các trạng thái mặt biển khác nhau được định nghĩa theo thang Beaufort của tổ chức khí tượng quốc tế WMO.

Có thể thấy như trong Hình 8, với những ngày thời tiết xấu thì lượng nhiên liệu tiêu thụ của tàu giữa mô hình đề xuất và dữ liệu thật đều tăng. Sai số giữa dữ liệu tính toán bởi mô hình đề xuất và dữ liệu thực rất nhỏ ở những ngày thời tiết tốt như ngày 09/4/2022 hay ngày 18/4/2022. Tuy nhiên, khi thời tiết xấu hơn thì những sai số này tăng lên, cụ thể như trong Bảng 1. Sai số lớn nhất là -2,76% trong ngày 15/5/2022. Thực tế đã chứng minh, trong những nghiên cứu tính lực cản bổ sung tàu, rất khó để tính được giá trị này với sai số thấp khi có những nhiễu loạn lớn tác động lên tàu.

Bảng 1. Sai số giữa mô hình đề xuất và giá trị thực

No.	Ngày	Sea state (WMO)		Wi. sp. (knots)	Sai số (%)
		Code	Mô tả		
1	02/3/22	4	Moderate	17	0.69%
2	09/4/22	1	Calm	3	-0.46%
3	17/4/22	4	Moderate	21	0.74%
4	18/4/22	1	Calm	3	-0.63%
5	23/4/22	5	Rough	25	1.15%
6	10/5/22	5	Rough	24.8	0.97%
7	12/5/22	6	Very rough	33	-1.39%
8	14/5/22	7	High	41	-2.43%
9	15/5/22	8	Very high	46	-2.76%
10	16/5/22	6	Very rough	33.2	-1.35%
Sai số trung bình:					1.22%

Sai số trung bình trong quá trình thử nghiệm là 1,22%. Sai số này là không lớn và hoàn toàn có thể chấp nhận được khi so sánh với những mô hình tương tự trong các nghiên cứu khác. Diễn hình như trong nghiên cứu [5], các tác giả cũng sử dụng dữ liệu thử tàu theo tiêu chuẩn ISO 15016:2015 để xây dựng mô hình tính toán nhiên liệu. Kết quả thử nghiệm mô hình đó được so sánh với kết quả từ thử nghiệm mô hình Grey-box thay vì từ tệp dữ liệu thật được thực hiện trong nghiên cứu này. Sai số trung bình trong quá trình thử nghiệm mô hình đó là 2,1%.

5. Kết luận

Bài báo này đã trình bày một phương pháp để xây dựng một mô hình tính toán nhiên liệu tiêu thụ cho tàu thủy theo thời gian thực. Mô hình được xây dựng trên phần mềm Matlab/Simulink. Khi thử nghiệm, so sánh kết quả tính toán của mô hình đề xuất và dữ liệu thực trong 10 ngày với các hình thái thời tiết tiêu biểu, kết quả cho thấy mô hình hoạt động tin cậy với sai số thấp.

Mô hình này có thể được sử dụng trong các nghiên cứu về những giải pháp nâng cao hiệu quả sử dụng nhiên liệu cho tàu thủy như các phần mềm hỗ trợ ra quyết định hay lập tuyến đường trước mỗi chuyến đi dựa trên các thông tin thời tiết.

Hướng nghiên cứu tiếp theo của bài báo là xây dựng thêm các đồ thị làm việc của chân vịt ở nhiều trạng thái tải trọng khác nhau của tàu để có thể áp dụng nó để tính toán nhiên liệu cho hầu hết các tình huống khai thác khác nhau trên thực tế.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT23-24.59**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Dere, C., & Deniz, C. (2019). *Load optimization of central cooling system pumps of a container ship for the slow steaming conditions to enhance the energy efficiency*. Journal of Cleaner Production, Vol.222, pp.206-217.
doi:10.1016/j.jclepro.2019.03.030
- [2] Szelangiewicz, T., & Żelazny, K. (2019). *Mathematical model for calculating fuel consumption in real effect weather for a vehicle vessel*. Multidisciplinary Aspects of Production Engineering, Vol.2(1), pp.367-374.
doi:10.2478/mape-2019-0036
- [3] Barrass, D. C. B. (2004). *Ship Design and Performance for Masters and Mates*. Elsevier Butterworth-Heinemann, Vol.4, No.1, pp.88-100.
- [4] Mersin, K., Alkan, G., Mısırlıoğlu, T., & Meng, W. (2018). *A new method for calculating fuel consumption and displacement of a ship in maritime transport*. Cogent Engineering, Vol4(1).
doi:10.1080/23311916.2017.1415107
- [5] Kim, K.-S., & Roh, M.-I. (2020). *ISO 15016:2015-Based Method for Estimating the Fuel Oil Consumption of a Ship*. Journal of Marine Science and Engineering, Vol.8(10).
doi:10.3390/jmse8100791
- [6] Bialystocki, N., & Konovessis, D. (2016). *On the estimation of ship's fuel consumption and speed curve: A statistical approach*. Journal of Ocean Engineering and Science, Vol.1(2), pp.157-166.
doi:10.1016/j.joes.2016.02.001

- [7] Tran, T. A. (2020). *Effect of ship loading on marine diesel engine fuel consumption for bulk carriers based on the fuzzy clustering method*. Ocean Engineering, Vol.207.
doi:10.1016/j.oceaneng.2020.107383
- [8] Le, L. T., Lee, G., Park, K.-S., & Kim, H. (2020). *Neural network-based fuel consumption estimation for container ships in Korea*. Maritime Policy & Management, Vol.47(5), pp.615-632.
doi:10.1080/03088839.2020.1729437
- [9] Ailong Fan, X. Y., Richard Bucknall, Qizhi Yin, and Rui Song. (2015). *Study of real-time fuel consumption model for large bulk carrier*. Paper presented at the SCC2015 Shipp. Chang. Clim. Conf, pp.1-10.
- [10] Huu, K. D., Anh, T. D., & Duc, T. H. (2023). *A Real-Time Model Using Interpolation Method and Semi-Empirical Formulas to Estimate Fuel Consumption for Cargo Ships*. Paper presented at the 2023 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM).
- [11] &Turbo, M. D. (2011). *Basic Principles of Ship Propulsion*. Man Diesel Turbo, pp.1-42.
[Online]. Available:
http://www.mandieselturbo.com/files/news/files0f5405/5510_004_02low.pdf.
- [12] Holt, P., & Nielsen, U. D. (2021). *Preliminary assessment of increased main engine load as a consequence of added wave resistance in the light of minimum propulsion power*. Applied Ocean Research, Vol.108.
doi:10.1016/j.apor.2021.102543
- [13] Liu, S., & Papanikolaou, A. (2020). *Regression analysis of experimental data for added resistance in waves of arbitrary heading and development of a semi-empirical formula*. Ocean Engineering, Vol.206.
doi:10.1016/j.oceaneng.2020.107357
- [14] Fossen, T. I. (2002). *Marine Control Systems*. Marine Cybernetics.
- [15] Al-Falahi, M., Tarasiuk, T., Jayasinghe, S., Jin, Z., Enshaei, H., & Guerrero, J. (2018). *AC Ship Microgrids: Control and Power Management Optimization*. Energies, Vol.11(6).
doi:10.3390/en11061458.

Ngày nhận bài:	27/10/2023
Ngày nhận bản sửa lần 01:	06/11/2023
Ngày nhận bản sửa lần 02:	13/11/2023
Ngày duyệt đăng:	18/11/2023