

NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ HIỆU SUẤT CHÂN VỊT TÀU THỦY TẠI CÁC THỜI ĐIỂM KHÁC NHAU TRONG QUÁ TRÌNH KHAI THÁC STUDY ON THE PERFORMANCE EVALUATION OF SHIP PROPELLER AT DIFFERENT TIMES DURING ITS OPERATION

LÊ VĂN ĐIỂM, ĐÀM VĂN TÙNG*

Khoa Máy tàu biển, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: tungdv.mtb@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Duy trì các đặc điểm thiết kế của chân vịt đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo hiệu suất làm việc của chân vịt. Thực tế, sau một thời gian hoạt động các đặc tính kỹ thuật của chân vịt thay đổi, làm giảm hiệu suất. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu đánh giá hiệu suất làm việc của chân vịt trên tàu Container 566TEU theo các thời điểm khác nhau trong quá trình khai thác, bao gồm thời điểm đóng mới và thời điểm sau khi tàu lên đã sửa chữa.

Từ khóa: Chân vịt, hiệu suất chân vịt, tàu container, CFD.

Abstract

Maintaining design characteristics of ship propeller plays an important role in ensuring its working efficiency. In practice, technical characteristics of the propeller is downgraded with time, leading to its efficiency reduction. This paper presents the results of a study evaluating the working efficiency of the propeller on the Container ship 566TEU at different times during its operation, including the time of new building and the time after docking for repairs.

Keywords: Propeller, propeller efficiency, container ship, CFD.

1. Đặt vấn đề

Tiết kiệm năng lượng và giảm lượng khí phát thải đang là thách thức lớn đối với các đội tàu vận tải biển quốc tế. Đặc biệt, đối với đội tàu lớn tuổi, sau nhiều năm khai thác, các yếu tố kỹ thuật của tàu thay đổi do tác động của môi trường dẫn đến suy giảm hiệu quả làm việc của tàu. Tàu Container 566TEU sử dụng trong nghiên cứu là tàu chở hàng Container chuyên dụng được đóng vào năm 1997, tính đến thời điểm lên đã gần nhất (năm 2023) tàu đã hoạt động được 26 năm. So với thời điểm đóng mới, hiệu suất làm việc của chân vịt giảm và lượng tiêu hao nhiên liệu tăng lên.

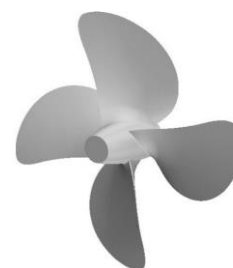
Trong thời gian gần đây, các nghiên cứu về mô phỏng hoạt động của chân vịt và sự tương tác giữa vỏ tàu và hệ động lực tàu thủy trong quá trình hoạt động đã xuất hiện nhiều trên các công bố trong và ngoài nước. Trong nghiên cứu [1] M. Nakisa cùng cộng sự đã tiến hành nghiên cứu các thông số thủy động của chân vịt trong môi trường nước tự do bằng việc sử dụng công cụ mô phỏng, kết quả của nghiên cứu cũng đã được nhóm tác giả tiến hành so sánh với các dữ liệu thực nghiệm có sẵn; Thông qua việc sử dụng phần mềm thương mại Star-CCM+, trong nghiên cứu [2] T.N. Tu cùng cộng sự đã trình bày kết quả đánh giá tính toán về các hệ số tương tác giữa thân tàu và chân vịt dựa trên mô hình dòng chảy RANS không ổn định.

Trong bài báo này, bằng phương pháp mô phỏng số CFD, nhóm tác giả tiến hành khảo sát, tính toán, phân tích mức độ suy giảm về hiệu suất của chân vịt theo các thời điểm khác nhau, đồng thời đưa ra đánh giá về khả năng làm việc của chân vịt cho đến lần lên đã gần nhất của tàu (dự kiến sau 2,5 năm).

2. Tình trạng kỹ thuật chân vịt tàu Container 566TEU theo các thời điểm

Thời điểm đóng mới (Thời điểm 1)

Dựa trên hồ sơ kỹ thuật tại thời điểm đóng mới, thông qua phần mềm Rhinoceros nhóm nghiên cứu đã tiến hành dựng lại mô hình 3D chân vịt như được thể hiện trên Hình 1 và Bảng 1. Tại thời điểm đóng mới chân vịt của tàu chưa được lắp chân vịt phụ (propeller boss cap fins - PBCF).



Hình 1. Mô hình 3D chân vịt tàu tại thời điểm đóng mới

Bảng 1. Thông số kỹ thuật chân vịt tàu Container 566TEU thời điểm đóng mới

Thông số cơ bản	Giá trị
Đường kính chân vịt (m)	4.40
Tỷ số đĩa	0.602
Tỷ số cù/đường kính chân vịt	0.193
Tỷ số bước	0.715
Số cánh chân vịt	4
Chiều quay	Quay phải
Vòng quay của chân vịt (vòng/phút)	176

Thời điểm lên đà trước khi sửa chữa (Thời điểm 2)

Trên cơ sở khảo sát vỏ tàu Container 566TEU khi lên đà sửa chữa, nhóm nghiên cứu nhận thấy tình trạng của chân vịt xuất hiện một số vấn đề như sau: Chân vịt của tàu bị mẻ một miếng lớn trên một cánh; Cánh chân vịt bị rỗ (do ảnh hưởng của ăn mòn, xâm thực); Các mép của chân vịt bị biến dạng. Tại thời điểm lên đà sửa chữa tàu được lắp chân vịt phụ PBCF (Hình 2).



a) Cánh chân vịt bị mẻ



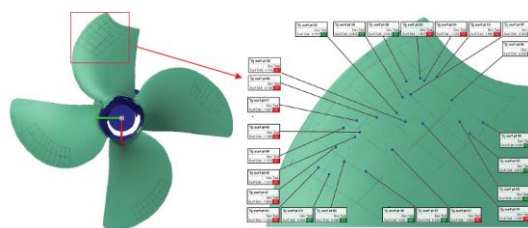
b) Mép cánh biến dạng



c) Bề mặt cánh bị rỗ

Hình 2. Tình trạng chân vịt tại thời điểm lên đà

Để đánh giá tình trạng của chân vịt tại thời điểm lên đà sửa chữa, độ nhám trung bình bề mặt cánh chân vịt được xác định và công nghệ quét 3D được sử dụng để dựng lại mô hình 3D (Hình 3a). Đường kính chân vịt xác định được tại thời điểm lên đà là 4,35m, giảm 0,05m so với thời điểm ban đầu (1,14%) (Hình 3b).



a) Hình ảnh vị trí đo độ nhám chân vịt



b) Kết quả kiểm tra đường kính chân vịt

Hình 3. Tình trạng chân vịt trước khi sửa chữa

Thời điểm sau khi lên đà sửa chữa (Thời điểm 3)

Sau khi sửa chữa, tình trạng chân vịt như sau: Phần cánh chân vịt bị mẻ đã được khắc phục; Phần mép cánh bị biến dạng của chân vịt đã được sửa chữa; Độ nhám của cánh chân vịt về cơ bản vẫn giống như thời điểm chân vịt chưa được sửa chữa do bề mặt cánh không được gia công phục hồi; Đường kính của chân vịt vẫn giữ nguyên giá trị 4,35m (Hình 4). Tình trạng của chân vịt PBCF không thay đổi.



a) Bề mặt và mép cánh chân vịt sau sửa chữa



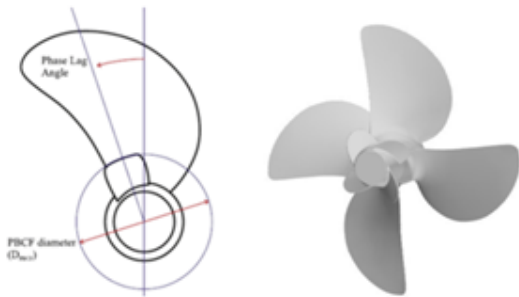
b) Cánh chân vịt bị mẻ sau sửa chữa

Hình 4. Tình trạng của chân vịt tại thời điểm lên đà sau sửa chữa

Thời điểm thay chân vịt mới (Thời điểm 4)

Trên cơ sở phân tích và đánh giá hiệu suất làm việc của chân vịt ở 3 thời điểm khác nhau trong quá trình hoạt động của tàu, nhóm tác giả đã tiến hành nghiên cứu và phân tích thêm trường hợp giả định thay thế chân vịt cũ bằng chân vịt mới. Việc nghiên

cứu thêm trường hợp này giúp đơn vị chủ tàu có thêm dữ liệu và phương án cho kế hoạch sửa chữa tàu trong lần lên đà tiếp theo. Đối với trường hợp thay mới chân vịt, giả thiết của bài toán được đưa ra như sau: Sau 3 năm tàu lên đà sửa chữa và bề mặt vỏ tàu ở thời điểm này không có sự khác biệt so với bề mặt vỏ tàu ở thời điểm hiện tại (thời điểm 3); Chân vịt thay mới phải đảm bảo có hình dáng, thông số hình học giống hệt so với chân vịt ban đầu; Vị trí tương đối của chân vịt mới so với chân vịt phụ phải đảm bảo giống hệt so với chân vịt hiện tại (Hình 5).



Hình 5. Mô hình 3D chân vịt thay mới có gắn PBDF

3. Thiết lập mô phỏng

Để nghiên cứu và đánh giá hiệu suất làm việc của chân vịt, nhóm nghiên cứu đã sử dụng công cụ mô phỏng số CFD nhằm phân tích các thông số thủy động của chân vịt đối với 4 trường hợp tương ứng với 4 trạng thái kỹ thuật được khảo sát nghiên cứu.

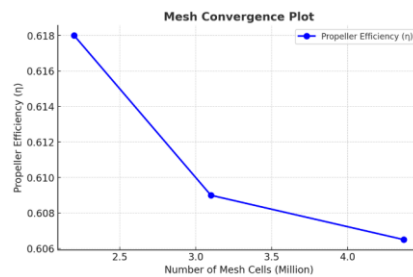
Theo [3, 4] hiệu suất của chân vịt được xác định và đánh giá dựa theo công thức (1). Trong đó, K_T - Hệ số lực đẩy của chân vịt; K_Q - Hệ số mô men của chân vịt; J - Bước tiến tương đối của chân vịt.

$$\eta_0 = \frac{J \cdot K_T}{2\pi \cdot K_Q} \quad (1)$$

Bằng phương pháp mô phỏng CFD, các hệ số trên đều được xác định dựa trên các thông số thiết lập đầu vào của bài toán mô phỏng. Mô hình mô phỏng trong nghiên cứu được xây dựng dựa trên các

tiêu chí bao gồm thiết lập miền tính toán, lựa chọn điều kiện biên, đặc điểm lưới tính toán và mô hình vật lý được sử dụng. Các thông số thiết lập mô phỏng trong nghiên cứu (Bảng 2) được lựa chọn dựa trên khuyến nghị của Hiệp hội bể thử Quốc tế (ITTC) và các tài liệu nghiên cứu khoa học đã được công bố về lĩnh vực mô phỏng thủy động lực học tàu thủy, nhằm đảm bảo tính chính xác và độ tin cậy của kết quả [2, 5, 6].

Để đảm bảo độ tin cậy của kết quả mô phỏng, bài báo đã tiến hành nghiên cứu độ hội tụ của lưới theo ba mật độ lưới khác nhau gồm lưới thô, lưới trung bình và lưới mịn với các thông số lần lượt là 2,2; 3,12 và 4,37 triệu ô. Sự thay đổi tỷ lệ độ mịn của lưới là $\sqrt{2}$. Kết quả hội tụ lưới của mô hình tại dải bước tương đối $J=0,55$ được thể hiện trên Hình 6.



Hình 6. Kết quả hội tụ lưới tại $J=0,5$



Hình 7. Kết quả chia lưới với trường hợp có chân vịt phụ và không có chân vịt phụ

Kết quả hội tụ lưới cho thấy độ chênh lệch về giá trị hiệu suất của chân vịt trong 2 trường hợp lưới trung bình và lưới mịn là rất nhỏ (0,4%), do đó nghiên cứu đã sử dụng mật độ lưới trung bình cho bài toán mô phỏng, tuy nhiên với đặc thù làm việc

Bảng 2. Thông số thiết lập mô phỏng

Thông số thiết lập	Đặc điểm lựa chọn
Miền tính toán	Miền lăng trụ có kích thước gấp 7 lần đường kính chân vịt (D_p); Mặt dòng chảy đến chân vịt (inlet) cách mặt phẳng đĩa chân vịt $7D_p$; mặt outlet cách mặt phẳng đĩa chân vịt $9D_p$.
Điều kiện biên	Dòng chảy đến chân vịt là velocity inlet; dòng chảy sau chân vịt là pressure outlet; bề mặt chân vịt No-slip wall
Lưới tính toán	Trimmed (được chia mịn tại khu vực mép chân vịt, Hình 6)
Mô hình vật lý	Mô hình dòng chảy nhớt không nén RANSE

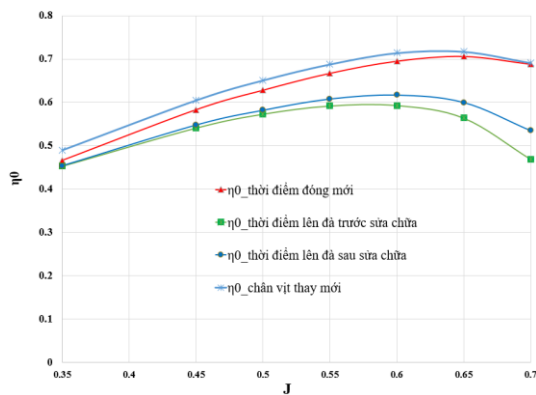
Bảng 3. Kết quả tính toán các thông số thủy động chân vịt

J	Thời điểm 1			Thời điểm 2 (có gắn PBCF)			Thời điểm 3 (có gắn PBCF)			Thời điểm 4 (có gắn PBCF)		
	K _T	10K _Q	η ₀	K _T	10K _Q	η ₀	K _T	10K _Q	η ₀	K _T	10K _Q	η ₀
0.35	0.212	0.254	0.466	0.185	0.228	0.453	0.206	0.253	0.454	0.216	0.245	0.49
0.45	0.170	0.208	0.583	0.144	0.191	0.541	0.162	0.212	0.548	0.174	0.206	0.605
0.5	0.148	0.187	0.628	0.123	0.171	0.573	0.140	0.191	0.582	0.152	0.185	0.651
0.55	0.125	0.165	0.667	0.102	0.150	0.592	0.117	0.168	0.608	0.128	0.163	0.688
0.6	0.102	0.141	0.695	0.079	0.128	0.593	0.093	0.145	0.617	0.105	0.140	0.714
0.65	0.079	0.115	0.706	0.057	0.104	0.564	0.069	0.119	0.6	0.079	0.115	0.717
0.7	0.054	0.088	0.688	0.033	0.078	0.469	0.044	0.092	0.535	0.054	0.088	0.691

của chân vịt khi quay trong nước với tốc độ cao, các khu vực mép chân vịt sẽ xuất hiện chênh lệch áp suất lớn, nếu lưới không đủ mịn sẽ gây ảnh hưởng tới kết quả của mô phỏng, vì vậy tại các khu vực mép của chân vịt được thiết lập mật độ lưới mịn hơn (Hình 7).

4. Kết quả mô phỏng

Kết quả tính toán mô phỏng các thông số thủy động của chân vịt tại 4 thời điểm khảo sát được thể hiện trên Bảng 3 và Hình 8 với dải bước tiến tương đối của chân vịt (J) lần lượt là: 0,35; 0,45; 0,5; 0,55; 0,6; 0,65; 0,7.



Hình 8. Kết quả tính toán hiệu suất chân vịt theo 3 thời điểm

Để định lượng độ chênh lệch về hiệu suất làm việc của chân vịt so với thời điểm đóng mới, nhóm nghiên cứu sử dụng công thức về độ lệch tương đối của hiệu suất (2).

$$\Delta\eta = \frac{\eta_k - \eta_0}{\eta_0} \times 100(\%) \quad (2)$$

Trong đó, η₀ là hiệu suất của chân vịt ở thời điểm đóng mới; η_k là hiệu suất của chân vịt tại thời điểm tham chiếu. Kết quả về độ chênh lệch hiệu suất làm việc của chân vịt được thể hiện trên Bảng 4.

Sự thay đổi về hiệu suất của chân vịt ở các thời điểm có thể được giải thích thông qua các kết quả về

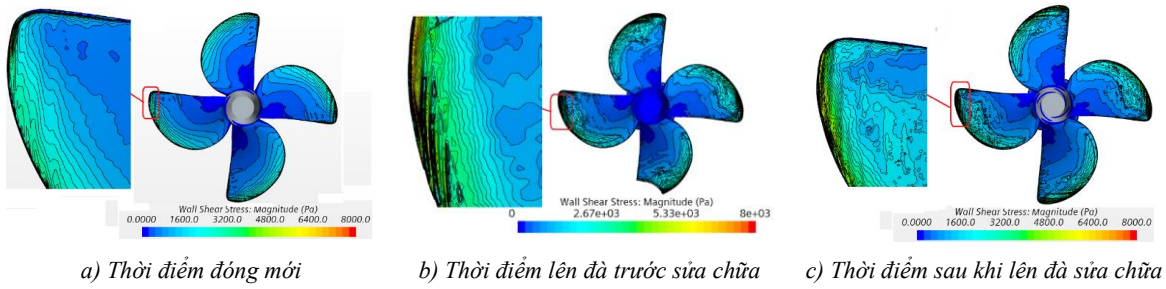
phân bố áp suất của dòng chảy trên bề mặt cánh và củ chân vịt (Hình 9, 10) cũng như biểu đồ vận tốc theo phương dọc trục chân vịt (Hình 11).

Bảng 4. Độ chênh lệch hiệu suất chân vịt so với thời điểm ban đầu

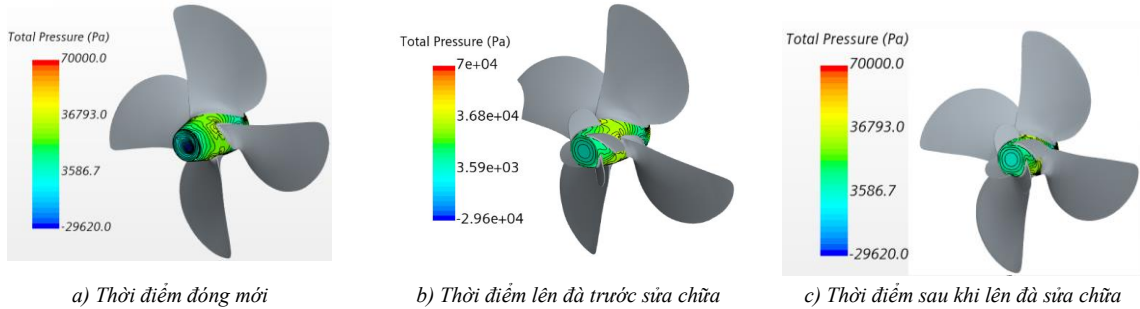
J	So với thời điểm đóng mới (Thời điểm 1)		
	Thời điểm 2	Thời điểm 3	Thời điểm 4
	Δη (%)	Δη (%)	Δη (%)
0.35	-2.79	-2.58	5.15
0.45	-7.20	-6.00	3.77
0.5	-8.76	-7.32	3.66
0.55	-11.24	-8.85	3.15
0.6	-14.68	-11.22	2.73
0.65	-20.11	-15.01	1.56
0.7	-31.83	-22.24	0.44

So với thời điểm đóng mới ứng suất tiếp trên bề mặt cánh ở thời điểm lên đà trước khi sửa chữa lớn hơn so với thời điểm đóng mới. Ngoài ra, phân bố ứng suất tiếp có sự thay đổi lớn tại mép cánh so với chân vịt đóng mới, từ đó dẫn tới làm tổn thất năng lượng trên cánh, cuối cùng là làm giảm hiệu suất chung của chân vịt (Hình 9). Việc lắp đặt chân vịt phụ cho thấy sự cải thiện rõ rệt về sự chênh lệch áp suất trên củ chân vịt, từ đó làm giảm tổn thất năng lượng do dòng xoáy gây ra tại củ chân vịt (Hình 10). Trên Hình 11b có thể quan sát thấy do chân vịt bị mẻ nên vận tốc dòng chảy theo phương dọc trục chân vịt không đối xứng với nhau qua trục chân vịt. Đây là nguyên nhân dẫn đến tâm đặt lực đẩy không nằm ở tâm của trục từ đó tạo nên sự rung động của trục nối chân vịt với máy chính. Trong khi đó tại thời điểm đóng mới và sau sửa chữa vận tốc dòng chảy dọc tâm trục chân vịt thể hiện sự đối xứng dẫn đến giảm sự rung động của hệ trục so với trường hợp bị mẻ.

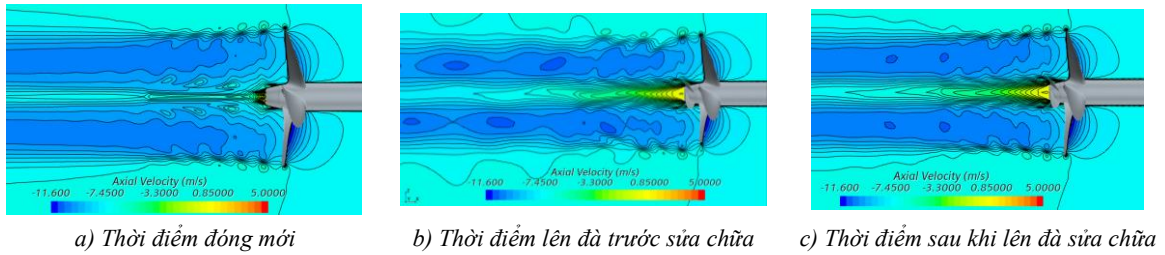
Trong khi đó, kết quả tính toán với trường hợp



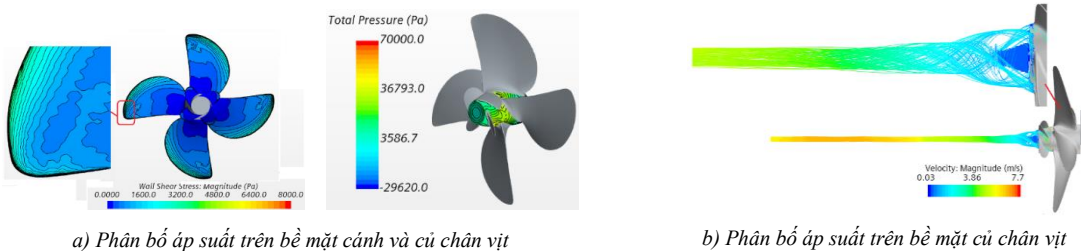
Hình 9. Kết quả phân bố áp suất trên bề mặt cánh chân vịt



Hình 10. Kết quả phân bố áp suất trên bề mặt củ chân vịt



Hình 11. Vận tốc theo phương dọc trục chân vịt tại $J=0,5$



Hình 12. Kết quả mô phỏng đối với thời điểm thay mới chân vịt và gắn PBCF tại $J=0,5$

thay mới chân vịt cho thấy sự cải thiện rõ rệt: Chênh lệch áp suất trên bề mặt và phản ứng suất âm tại củ chân vịt giảm, dẫn đến làm tăng hiệu suất chân vịt; Hình 12b, cho thấy dòng chảy phía sau chân vịt mới có gắn PBCF lớn hơn so với chân vịt không có PBCF (Thời điểm 1), đồng thời các dòng chảy rối phía sau chân vịt đã giảm đáng kể, nhờ đó tạo ra hiệu suất đẩy cao hơn so với trường hợp không lắp đặt PBCF.

5. Kết luận

Bằng việc sử dụng công cụ mô phỏng số CFD, bài báo đã tiến hành nghiên cứu và đánh giá hiệu

suất làm việc của chân vịt tàu Container 566TEU tại 3 thời điểm khác nhau. Dựa trên các kết quả nhận được có thể đưa ra các kết luận về hiệu suất hoạt động của chân vịt tại dải hoạt động của chân vịt (với $J=0,55-0,6$) như sau:

- Đối với chân vịt tại thời điểm lên đà trước khi sửa chữa (bị mẻ) hiệu suất chân vịt giảm trung bình 12,5% so với chân vịt ban đầu;
- Đối với chân vịt tại thời điểm sau sửa chữa, hiệu suất chân vịt giảm trung bình 10% so với chân vịt ban đầu;
- Trường hợp thay mới chân vịt và có gắn thêm

PBCF hiệu suất trung bình tăng khoảng 3% so với chân vịt ban đầu;

- Việc lắp đặt thêm chân vịt phụ PBCF cho thấy phản ứng suất âm tại củ chân vịt đã giảm rõ rệt từ đó giúp giảm dòng rối tạo ra tại đầu củ chân vịt và làm tăng hiệu suất hoạt động của chân vịt;

- Việc đánh giá định lượng sức cản thân tàu, lực đẩy và hiệu suất chân vịt theo tốc độ cho phép lựa chọn hợp lý chế độ khai thác (tốc độ quay) của động cơ diesel lai. Chế độ khai thác hợp lý, ngoài việc đảm bảo động cơ không bị quá tải, còn cần phù hợp với kế hoạch khai thác tàu, tối ưu hóa độ tiêu hao nhiên liệu và đảm bảo chỉ tiêu sử dụng năng lượng hiệu quả theo quy định.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT24-25.19**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nakisa, M., M.J. Abbasi, and A.M. Amini (2010). *Assessment of marine propeller hydrodynamic performance in open water via CFD*. in Proceedings of The 7th International Conference on Marine Technology (MARTEC 2010).
- [2] Tu, T. N., Luu, D. D., Ha, N. T. H., Quynh, N. T. T., & Vu, N. M. (2019). *Numerical prediction of propeller-hull interaction characteristics using RANS method*. Polish Maritime Research, Vol.2, pp.163-172.
- [3] Molland, A.F., S.R. Turnock, and D.A. Hudson (2017), *Ship resistance and propulsion*. Cambridge university press.
- [4] Жинкин, В. Б (2025). *Теория и устройство корабля: учебник для вузов/ В. Б. Жинкин.-5-е изд., испр. и доп.* - Москва: Издательство Юрайт, 379 с.
- [5] Procedures, I.R., (2011). *Practical guidelines for ship CFD applications*. Guidelines 2011, pp.1-18.
- [6] Owen, D., et al. (2018), *Investigating the effect of biofouling on propeller characteristics using CFD*. Ocean Engineering, Vol.159, pp.505-516.

Ngày nhận bài:	16/02/2025
Ngày nhận bản sửa:	18/03/2025
Ngày duyệt đăng:	19/03/2025