

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA HOÀNH ĐỘ TÂM NỔI ĐẾN LỰC CẢN TÀU HÀNG RỜI 22000DWT BẰNG PHƯƠNG PHÁP CFD

NUMERICAL STUDY ON THE EFFECT OF LCB POSITION ON RESISTANCE OF BULK CARRIER 22000DWT BY CFD METHOD

TRẦN NGỌC TÚ*, LÊ THANH BÌNH, NGUYỄN THỊ THU QUỲNH

Khoa Đóng tàu, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: tutn.dt@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của hoành độ tâm nổi (LCB) đến lực cản tàu hàng rời 22000 DWT tại các tốc độ khác nhau bằng phương pháp CFD. Phương pháp Lackenby trong mô-đun mô hình hóa của phần mềm MAXSURF được sử dụng để tạo ra các hình dáng thân tàu khác nhau với sự thay đổi LCB. Kết quả tính toán mô phỏng chỉ ra rằng, xu hướng và mức độ thay đổi lực cản tàu phụ thuộc vào LCB và tốc độ tàu. Trên cơ sở đó, bài báo đưa ra khuyến nghị trong việc lựa chọn LCB tối ưu cho tàu. Bên cạnh đó, bài báo còn tiến hành phân tích sự khác nhau về hình dáng đường dòng bao quanh thân tàu ở các phương án LCB khác nhau để giải thích chi tiết bản chất vật lý dẫn đến sự khác nhau về lực cản tàu khi thay đổi LCB.

Từ khóa: Lực cản tàu, hoành độ tâm nổi, CFD.

Abstract

The paper presents the results of investigation on the influence of longitudinal centre of buoyancy (LCB) on resistance of bulk carrier 22000 DWT at different ship speeds using CFD method. The ship hull form with different LCB were produced from the initial one by using Lackenby method in MAXSURF modeler's parametric transformation tool. Numerical obtained results indicates that changing trends and levels in ship resistance depend on LCB position and ship speeds. Finally, the paper conduct analyzing the differences in flow field around the ship hull form with variation of LCB position to fully explain the physical phenomenon in change flow around the ship with variations of LCB position.

Keywords: Resistance, longitudinal centre of buoyancy, CFD.

1. Mở đầu

Ngày nay, việc nghiên cứu các giải pháp thiết kế nhằm sử dụng hiệu quả, tiết kiệm năng lượng cho tàu là một trong những mối quan tâm hàng đầu của các

nhà thiết kế cũng như chủ tàu bởi điều này liên quan đến hiệu quả kinh tế trong khai thác tàu và việc thỏa mãn các yêu cầu của Công ước quốc tế trong việc sử dụng năng lượng hiệu quả và tiết kiệm trên tàu.

Một trong các giải pháp thiết kế đã và đang được các nhà thiết kế áp dụng rộng rãi là nghiên cứu tối ưu hóa hình dáng thân tàu nhằm giảm lực cản từ đó giảm được mức tiêu hao nhiên liệu cho tàu. Để có được một tuyến hình tàu tốt khi cho trước các kích thước chủ yếu của tàu và lượng chiếm nước, người thiết kế cần phân tích các thông số hình dáng thân tàu ảnh hưởng đến lực cản tàu gồm [1, 2]: Hoành độ tâm nổi theo chiều dài tàu, hình dáng mũi và đuôi tàu, chiều dài đoạn thân ống, hình dáng đường nước và đường sườn,... Trên cơ sở kết quả thu được, người thiết kế sẽ lựa chọn ra được các thông số hình dáng tối ưu cho tàu.

Việc nghiên cứu ảnh hưởng của hoành độ tâm nổi (LCB) đến lực cản tàu đã được nhiều các tác giả khác nhau thực hiện. Các nghiên cứu định tính chỉ ra rằng vị trí LCB tối ưu của tàu dưới góc độ tối thiểu hóa lực cản phụ thuộc vào hệ số béo thể tích, số Froude, hệ số béo dọc chung thân tàu và hình dáng đường sườn [1, 4]. Tuy nhiên, các nghiên cứu này chưa đề cập đến mức độ ảnh hưởng của LCB đến lực cản tàu. Đối với các nghiên cứu định lượng về ảnh hưởng của LCB đến lực cản tàu có thể kể đến các công trình nghiên cứu được thực hiện bởi nhóm các tác giả: Banawan và Ahmed [5]; tác giả Luu và các cộng sự [6]; tác giả Szelangiewicz và Abramowski [7]. Trong các nghiên cứu này, các tác giả đã chỉ ra mức độ ảnh hưởng của LCB đối với từng mô hình tàu cụ thể, giải thích được một phần bản chất vật lý sự thay đổi lực cản tàu khi thay đổi vị trí LCB bằng việc phân tích sự khác nhau về đường dòng bao quanh thân tàu. Phương pháp nghiên cứu mà các tác giả sử dụng trong nghiên cứu là CFD. Đối tượng nghiên cứu mà các tác giả sử dụng là tàu ở dạng tỷ lệ mô hình.

Nghiên cứu này, trên cơ sở kế thừa kết quả của các nghiên cứu đi trước sẽ tiến hành mô phỏng tính toán ảnh hưởng của LCB đến lực cản tàu hàng rời trọng tải 22000DWT ở dạng tỷ lệ thực bằng phương pháp CFD với sự hỗ trợ của phần mềm

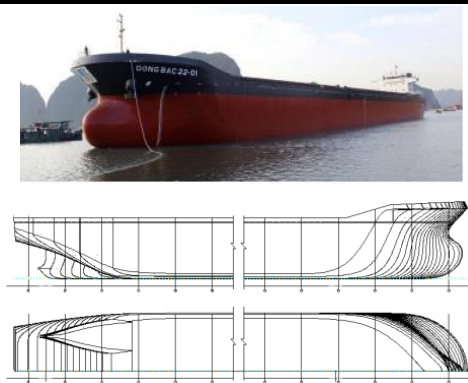
thương mại Star-CCM+ do hãng Siemens phát triển. Sự khác nhau về đường dòng bao quanh thân tàu ở các phương án LCB khác nhau sẽ được phân tích chi tiết để người đọc có thể hiểu được một cách tường tận bản chất vật lý dẫn đến sự thay đổi lực cản tàu khi thay đổi vị trí LCB.

2. Mô phỏng số

2.1. Đặc điểm của mô hình tàu nghiên cứu

Bảng 1. Các thông số kích thước chủ yếu của tàu

Các thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
Chiều dài hai đường vuông góc	L_{PP}	[m]	139,98
Chiều rộng tàu	B	[m]	22,00
Chiều cao mạn	D	[m]	10,50
Chiều chìm	T	[m]	9,00
Lượng chiếm nước thể tích	∇	[m ³]	25.530
Diện tích mặt ướt	S	[m ²]	5.483
Vị trí hoành độ tâm nổi theo chiều dài tàu (tính từ vị trí sườn giữa)	L_{CB}/L_{PP}	[%]	+0,365
Hệ số béo thể tích	C_B	[-]	0,921
Hệ số béo đường nước	C_{WP}	[-]	0,974



Hình 1. Hình dáng tàu hàng rời trọng tải 22000DWT

Mô hình tàu được lấy làm đối tượng nghiên cứu trong bài báo này là tàu hàng rời trọng tải 22000DWT, đây là mẫu tàu đã và đang được đóng rất nhiều ở Việt Nam. Các thông số hình học và hình dáng tàu này được trình bày trên Bảng 1 và Hình 1. Mô hình tàu này có điểm đặc trưng là hệ số béo thể tích (C_B) rất

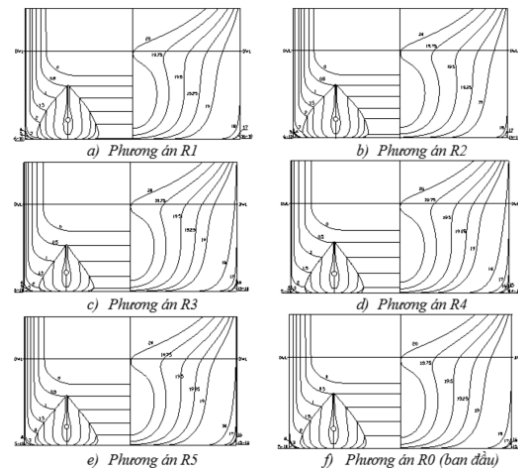
lớn, đạt đến 0,921 và sử dụng hai chong chóng. Điều đặc biệt này làm cho nó vượt ra ngoài dải có thể áp dụng các khuyến nghị của các tác giả [1-4] về việc lựa chọn hoành độ tâm nổi tối ưu cho tàu.

2.2. Các trường hợp nghiên cứu

Để nghiên cứu ảnh hưởng của vị trí LCB đến lực cản tàu, phương án đưa ra là giữ nguyên các kích thước chủ yếu của tàu, lượng chiếm nước, hệ số béo thể tích, hệ số béo lạng trụ, chỉ thay đổi vị trí LCB. Việc thay đổi vị trí LCB được thực hiện dựa trên phương pháp Lackenby [8, 9] trong mô-đun mô hình hóa của phần mềm MAXSURF. Trong nghiên cứu này sẽ tiến hành nghiên cứu với 05 phương án thay đổi LCB khác nhau so với phương án LCB ban đầu của tàu trọng tải 22000DWT. Các thông số hình dáng của 06 mô hình tàu này được trình bày trên Bảng 2 và Hình 2.

Bảng 2. Các thông số kỹ thuật về hình dáng của các phương án khi thay đổi LCB

STT	Ký hiệu phương án	LCB (% L_{PP}), fwd+
Ban đầu	R0	0,365
1	R1	0,556
2	R2	0,816
3	R3	-0,082
4	R4	-0,196
5	R5	0,141



Hình 2. Các phương án hình dáng thân tàu khác nhau khi thay đổi LCB

Việc tính toán lực cản tàu ở các phương án hình dáng khác nhau được thực hiện trong các điều kiện sau: Tính toán trên nước tĩnh; khối lượng riêng của nước được lấy là: 1.025 tấn/m³; độ nhớt động học được lấy ứng với nhiệt độ môi trường nước là 25°C;

Độ nhám thân tàu lấy giá trị $150.10^{-6}m$ (theo đề xuất của ITTC ứng với thân tàu đóng mới).

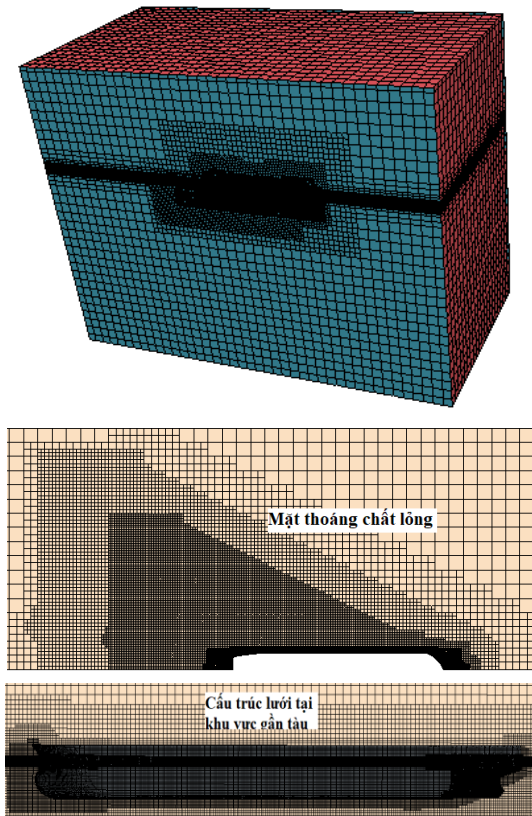
2.3. Thiết lập mô phỏng

2.3.1. Lựa chọn kích thước bể thử ảo và điều kiện biên

Trong bài toán tính toán lực cản tàu bằng phương pháp CFD, do tàu có tính chất đối xứng qua mặt phẳng dọc tâm nên để giảm số lượng phần tử lưới từ đó giảm thời gian tính toán, ta chỉ cần thực hiện việc mô phỏng cho một nửa thân tàu. Kích thước của miền không gian tính toán bao quanh thân tàu (bể thử ảo) được lựa chọn theo hướng dẫn của [8, 9]. Cụ thể, miền không gian phía trước tàu nằm cách đường vuông góc mũi tàu một đoạn $1,5L$, miền không gian phía sau tàu nằm cách đường vuông góc đuôi tàu một đoạn $2,5L$, phía đáy và phía trên bể thử ảo cách mặt thoáng chất lỏng một đoạn tương ứng là $2,5L$ và $1,5L$. Cạnh bên của bể thử ảo cách mặt phẳng dọc tâm tàu một đoạn bằng $2,5L$.

Loại điều kiện biên được sử dụng trong bài toán này được lựa chọn như sau [8, 9]: Miền chất lỏng phía trước, phía đáy và phía trên là velocity inlet, dòng chảy phía sau thân tàu pressure outlet, hai mặt cạnh của miền chất lỏng tính toán là symmetry plane, điều kiện biên áp dụng tàu là No-slip wall.

2.3.2. Chia lưới và lựa chọn mô hình vật lý



Hình 3. Kết quả chia lưới

Trong tính toán lực cản tàu bằng CFD, loại lưới khối được sử dụng để chia miền chất lỏng bao quanh thân tàu ra thành các thể tích hữu hạn là lưới hình lục diện và lưới lăng trụ được sử dụng để giải lớp biên bao quanh thân tàu. Để số lượng phần tử lưới sử dụng là ít nhất trong khi vẫn đảm bảo được độ chính xác trong mô phỏng, lưới sẽ được làm mịn tại khu vực gần tàu, đặc biệt là khu vực mũi và đuôi tàu, tại bề mặt thoáng của chất lỏng (để có thể mô phỏng được chính xác sóng kelvin). Tổng số phần tử lưới được sử dụng trong nghiên cứu là 4,20 triệu phần tử lưới. Kết quả chia lưới được trình bày trên Hình 3.

Mô hình vật lý được sử dụng trong tính toán lực cản tàu là mô hình chất lỏng thực với việc sử dụng phương trình Unsteady Reynolds Averaged Navier-Stokes equations (RANSE). Mô hình dòng rối SST K-Omega được sử dụng để đóng kín phương trình RANSE bởi theo [10] việc sử dụng mô hình dòng rối SST K-Omega mang lại kết quả tương đối chính xác trong việc tính toán lực cản tàu nói riêng. Phương pháp thể tích chất lỏng VOF được sử dụng để mô phỏng mặt thoáng chất lỏng.

3. Kết quả tính toán

Trên Hình 4 trình bày kết quả tính toán lực cản tàu ứng với 6 phương án LCB khác nhau tại 3 tốc độ 7, 8 và 10 knots. Kết quả tính toán so sánh lực cản tàu giữa các phương án LCB khác nhau được thể hiện Hình 5. Các Hình 6, 7, 8 biểu diễn phần trăm thay đổi các thành phần lực cản của tàu khi thay đổi LCB (ở đây các ký hiệu R_T , R_P và R_F tương ứng là các thành phần lực cản tổng, lực cản áp suất và lực cản ma sát). Ở đây, sẽ lấy phương án R0 (phương án ban đầu) làm phương án chuẩn để so sánh với các phương án lực cản khác, nghĩa là sự thay đổi về lực cản tàu giữa các phương án được xác định theo biểu thức:

$$\Delta R, \% = \frac{R_{var} - R_{original}}{R_{original}} \times 100\% \quad (1)$$

Trong đó: $R_{original}$ - Là lực cản tàu tương ứng với phương án ban đầu; R_{var} - Là lực cản tàu tương ứng với các phương án thay đổi LCB.

Từ kết quả mô phỏng tính toán thu được trên các Hình từ 4 đến 8, ta có thể đưa ra một số kết luận và nhận xét sau:

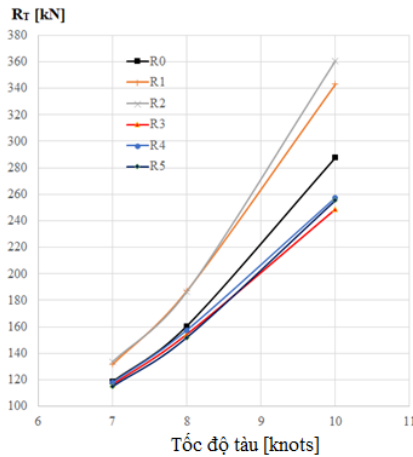
- Khi tàu chạy với tốc độ dưới 9,0knots, LCB tối ưu của tàu dưới góc độ lực cản tàu là phương án R5 (xem Hình 5). Lực cản tàu trong trường hợp này có thể giảm được 3,08% khi tàu chạy ở tốc độ 7,0knots; 5,36% khi tàu chạy ở tốc độ 8,0knots, và tăng lên 11,22% khi tàu chạy ở tốc độ 10,0knots (xem Hình 6,

7 và 8). Nghĩa là mức giảm sẽ tăng lên khi ta tăng tốc độ tàu.

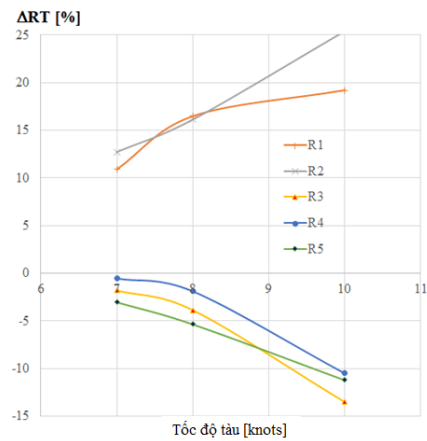
- Sự thay đổi về lực cản tàu giữa các phương án chủ yếu là do sự thay đổi về thành phần lực cản áp suất của tàu (Đây là thành phần lực cản phụ thuộc rất lớn vào hình dáng thân tàu).

- Khi tăng tốc độ tàu LCB tối ưu dịch về phía đuôi

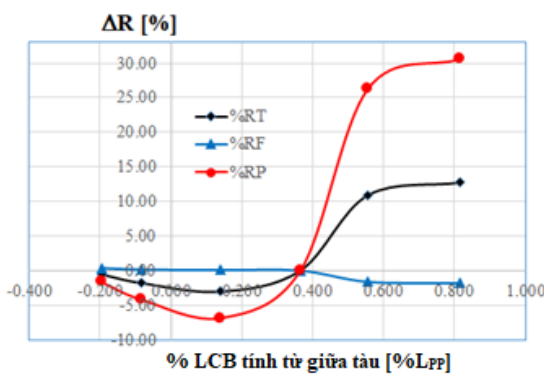
tàu (xem Hình 6, 7 và 8). Phương án R3 có mức giảm lực cản lớn hơn so với phương án R5 khi tàu chạy ở tốc độ trên 9,0knots (tại tốc độ 10knots, R3 giảm được 13,5% lực cản so với phương án R0, trong khi phương án R5 chỉ giảm được 11,22%). Các kết quả thu được này hoàn toàn phù hợp với các nghiên cứu định tính liên quan đến việc xác định LCB tối ưu cho tàu [1-4].



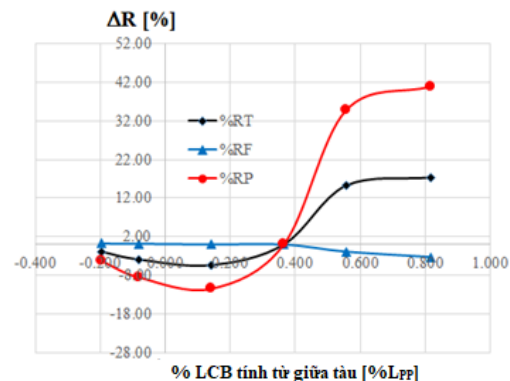
Hình 4. Quan hệ giữa lực cản với tốc độ tàu ở các phương án LCB khác nhau



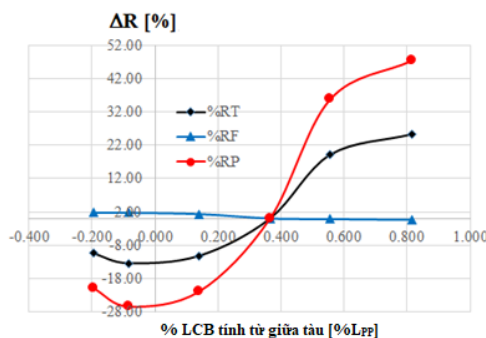
Hình 5. Phần trăm thay đổi lực cản tàu ở các phương án LCB khác nhau so với phương án ban đầu



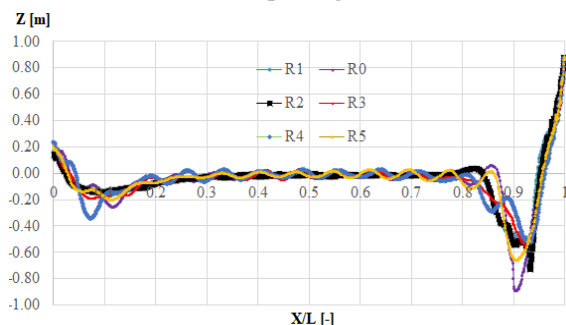
Hình 6. Phần trăm thay đổi các thành phần lực cản tàu tại tốc độ V=7knots ở các phương án LCB khác nhau



Hình 7. Phần trăm thay đổi các thành phần lực cản tàu tại tốc độ V=8knots ở các phương án LCB khác nhau

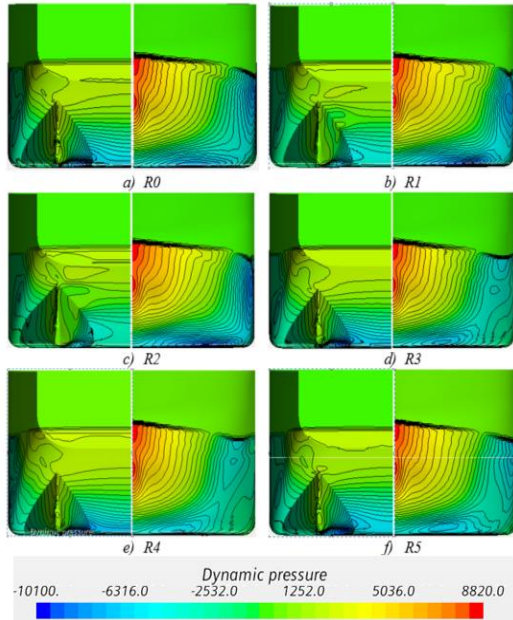


Hình 8. Phần trăm thay đổi các thành phần lực cản tàu tại tốc độ V=10knots ở các phương án LCB khác nhau

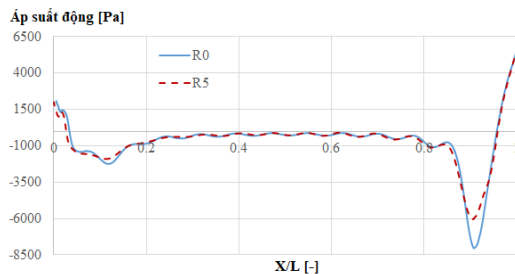


Hình 9. Profile sóng dọc thân tàu tại các phương án LCB khác nhau khi tàu chạy tại tốc độ 8,0knots

Việc thay đổi lực cản tàu khi thay đổi LCB có thể được giải thích thông qua việc phân tích đường dòng bao quanh thân tàu ở các phương án thân tàu khác nhau.



Hình 10. Sự khác nhau về phân bố áp suất động dọc thân tàu tại tốc độ 8,0knots ở các phương án LCB khác nhau



Hình 11. So sánh phân bố áp suất động dọc thân tàu giữa phương án R0 và R5 tại vị trí Z=7m khi tàu chạy tại tốc độ 8,0 knots

Như kết quả thu được ở trên, sự thay đổi lực cản tàu ở các phương án LCB khác nhau chủ yếu là do thay đổi về thành phần lực cản áp suất của tàu gây ra. Sự thay đổi thành phần lực cản này có thể giải thích một phần là do sự khác nhau về profile sóng do tàu tạo ra khi chuyển động (xem Hình 9) và sự phân bố áp suất động trên bề mặt thân tàu ở các phương án LCB khác nhau (xem Hình 10 và 11).

Từ kết quả so sánh profile sóng trên Hình 9 ta thấy rằng, chiều cao đáy sóng tại khu vực mũi tàu ở phương án R5 nhỏ hơn so với phương án R0, R1, R2 và R3. Phương án R4 có chiều cao đáy sóng nhỏ hơn R5

nhưng nó lại có đến hai đáy sóng. Từ kết quả phân bố áp suất động trên Hình 10, ta thấy rằng, phần áp suất động âm (màu xanh đậm) ở phương án R5 đã giảm đi rất nhiều so với các phương án còn lại. Ví dụ, tại vị trí $Z=7,0\text{m}$ tính từ mặt phẳng cơ bản, phần áp suất động âm tại vị trí $X/L=0,90$ ở phương án R5 nhỏ hơn khoảng 2000Pa so với phương án R0 (xem Hình 11).

4. Kết luận

Bài báo đã áp dụng thành công phương pháp CFD vào trong nghiên cứu ảnh hưởng của vị trí LCB đến lực cản tàu. Cụ thể như sau:

- Kết quả nghiên cứu phản ánh đúng quy luật đó là khi tăng tốc độ tàu thì vị trí LCB tối ưu dịch chuyển về phía đuôi tàu và ngược lại [1, 3];

- Kết quả nghiên cứu đã đưa ra được các con số định lượng ảnh hưởng của LCB đến lực cản tàu. Từ đó ta thấy rằng, đây là một trong những thông số hình dáng có ảnh hưởng khá lớn đến lực cản tàu;

- Thay đổi vị trí LCB từ 0,365% L_{PP} (phương án ban đầu) về 0,141 L_{PP} (phương án 5) sẽ cho phép ta giảm được 3,08%, 5,36% và 11,22% lực cản tàu khi tàu chạy ở các tốc độ lần lượt là 7, 8 và 10knots;

- Đã chỉ ra nguyên nhân dẫn đến sự khác nhau về lực cản tàu khi thay đổi LCB thông qua việc phân tích sự khác nhau về profile sóng dọc thân tàu và phân bố áp suất động trên bề mặt thân tàu.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT21-22.22**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Molland, A.F., S.R. Turnock, and D.A. Hudson, *Ship resistance and propulsion*. 2017: Cambridge university press.
- [2] Schneekluth, H. and V. Bertram, *Ship design for efficiency and economy*. Vol.218. 1998: Butterworth-Heinemann Oxford.
- [3] Papanikolaou, A., *Ship design: methodologies of preliminary design*. 2014: Springer.
- [4] Larsson, L. and H.C. Raven, *Ship resistance and flow : The Society of Naval Architects and Marine Engineers*, SNAME, The Principles of Naval Architecture Series, ISBN: 978-0-939773-76-3, 2010.
- [5] Banawan, A.A. and Y.M. Ahmed, *Use of computational fluid dynamics for the calculation of ship resistance, and its variation with the ship hull form parameters*. Alexandria Engineering Journal, Vol.45(1), pp.47-56, 2006.

- [6] Luu, D.D., et al., *Numerical Study on the Influence of Longitudinal Position of Centre of Buoyancy on Ship Resistance Using RANSE Method*. Naval Engineers Journal, Vol.132(4): pp.151-160, 2020.
- [7] Szelangiewicz, T. and T. Abramowski, *Numerical analysis of influence of ship hull form modification on ship resistance and propulsion characteristics*. Polish Maritime Research, Vol.16(4), pp.3-8, 2009.
- [8] Siemens, STAR-CCM+ User Guide, 2020.
- [9] Demirel, Y.K., O. Turan, and A.J.A.O.R. Incecik, *Predicting the effect of biofouling on ship resistance using CFD*. Applied Ocean Research, Vol.62, pp.100-118, 2017.
- [10] Yong, Z., et al., *Turbulence model investigations on the boundary layer flow with adverse pressure gradients*, Vol.14(2), pp. 170-174, 2015.

Ngày nhận bài:	30/11/2021
Ngày nhận bản sửa:	17/12/2021
Ngày duyệt đăng:	23/12/2021