

**NGHIÊN CỨU TÍNH NĂNG ĐIỀU ĐỘNG TÀU VLCC ĐẦY TẢI
SỬ DỤNG MÔ HÌNH TRONG BỂ THỬ TÀU**
STUDY ON FULL - LOADED VLCC MANOEUVRING CHARACTERISTICS
WITH SHIP MODEL IN TOWING TANK

**TS. PHẠM VĂN THUẦN
TS. ĐÌNH XUÂN MẠNH**
Trường Đại học Hàng hải

Tóm tắt

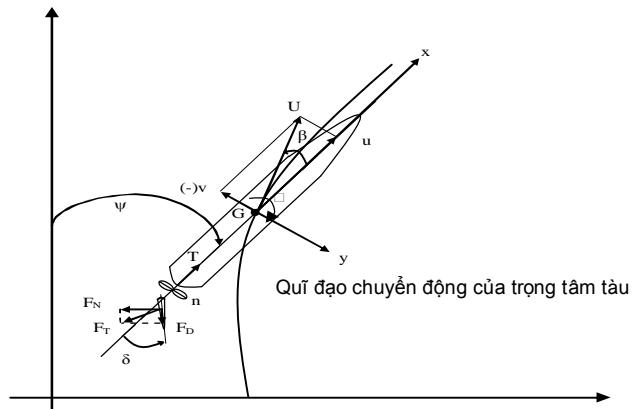
Nghiên cứu tính năng điều động tàu sử dụng mô hình tàu trong bể thử là một phương pháp nghiên cứu có độ chính xác cao. Nó giúp giảm thời gian, chi phí so với việc nghiên cứu bằng tàu thực. Ngoài ra, cơ sở dữ liệu từ kết quả nghiên cứu còn có thể được sử dụng cho các nghiên cứu khác. Bài báo này giới thiệu về kết quả nghiên cứu tính năng điều động của một tàu VLCC được tác giả tiến hành trong bể thử tàu.

Abstract

The study of ship manoeuvring characteristics using ship model in towing tank is one of the high precise methods. It reduces the time and the cost compared with the study on real ships. Besides that, the data base of study's results can be made use of for other researches. We introduce, the results of studying a VLCC's manoeuvring characteristics, which was carried out in towing tank by the author.

1. Giới thiệu

Chi phí cho nghiên cứu tính năng điều động của một con tàu thực rất tốn kém và đồng thời cũng không thể đánh giá các yếu tố tác động một cách độc lập do không thể loại trừ triệt để các yếu tố ngoại cảnh trong môi trường tự nhiên, khó khăn trong việc loại trừ các sai số trong đo đạc. Chính vì thế mà người ta phát triển các phương pháp khác để nghiên cứu tính năng điều động tàu mà không cần phải tiến hành thực nghiệm với con tàu thật. Một trong những phương pháp nghiên cứu tính năng điều động tàu cho độ chính xác rất cao đó là nghiên cứu tính năng điều động tàu sử dụng mô hình tàu trong bể thử. Thông qua kết quả nghiên cứu về lực thủy động tác động lên mô hình tàu trong bể thử, người ta sẽ dự đoán được chuyển động của con tàu thực trong những điều kiện khác nhau. Hay nói cách khác là dự đoán được tính năng điều động của con tàu đó.



Hình 1. Hệ tọa độ sử dụng trong nghiên cứu tính năng điều động tàu.

2. Các chuyển động cần thiết của mô hình phục vụ nghiên cứu tính năng điều động tàu trong bể thử tàu

Tính năng điều động tàu được dự đoán dựa trên ý tưởng về mô hình toán học MMG (Mathematical Modelling Group). Theo đó, các thành phần lực thủy động được phân ra làm 3 phần: thân tàu, bánh lái và chân vịt để nghiên cứu. Sau đây là hệ tọa độ và mô hình toán học được sử dụng trong công trình nghiên cứu tính năng điều động của tàu:

Hệ tọa độ

Mô hình toán học

$$\begin{cases} (m + m_x) \ddot{x} - (m + m_y) v \dot{r} = X \\ (m + m_y) \ddot{y} + (m + m_x) u \dot{r} = Y \\ (I_{zz} + J_{zz}) \ddot{\delta} = N \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} X &= X_H + X_P + X_R + X_w + \dots \\ Y &= Y_H + Y_P + Y_R + Y_w + \dots \\ N &= N_H + N_P + N_R + N_w + \dots \end{aligned} \quad (2)$$

H: thân tàu.

P: chân vịt.

R: bánh lái.

W và ... : gió và các điều kiện ngoại cảnh khác.

Các lực thủy động tác dụng lên thân tàu:

$$\begin{cases} X_H = X_{uu} u^2 + X_{vv} v^2 + X_{vvv} v^4 + X_{rr} r^2 + X_{vr} vr \\ Y_H = Y_v v + Y_{vv} v^3 + Y_r r + Y_{rr} r^3 + Y_{vr} v^2 r + Y_{vr} vr^2 \\ N_H = N_v v + N_{vv} v^3 + N_r r + N_{rr} r^3 + N_{vr} v^2 r + N_{vr} vr^2 \end{cases} \quad (3)$$

Các lực thủy động do chân vịt tạo ra:

$$X_P = (1 - t) \cdot T \quad (4)$$

$$T = \rho \cdot n^2 \cdot D^4 \cdot K_T$$

$$K_T = a_1 + a_2 J_s + a_3 J_s^2$$

$$J_s = \frac{u_p}{n \cdot D}$$

$$u_p = (1 - w_p) \cdot u$$

$$1 - w_p = (1 - w_{p0}) (1 + \tau (v_p' + C_p v_p' | v_p' |)^2)$$

$$v_p = v + I_p \cdot r$$

Các thành phần lực và mô-men tạo ra do lực bề lái:

$$X_R = - (1 - t_R) \cdot F_N \cdot \sin \delta \quad (5)$$

$$Y_R = - (1 + a_H) \cdot F_N \cdot \cos \delta$$

$$N_R = - (x_R + a_H \cdot x_H) \cdot F_N \cdot \cos \delta$$

$$F_N = \frac{1}{2} \rho \cdot A_R \cdot f_\alpha \cdot U_R^2 \cdot \sin \alpha$$

$$U_R^2 = u_R^2 + v_R^2$$

$$\alpha = \delta - \delta_0 + \tan^{-1} \left(\frac{v_R}{u_R} \right)$$

$$u_R = \varepsilon \cdot u_p \sqrt{1 + \kappa \frac{8 K_T}{\pi J_s^2}}$$

$$v_R = \gamma \cdot (v + I_R \cdot r)$$

Các tính năng điều động của một con tàu được thể hiện bởi giá trị của các hệ số trong phương trình toán học nêu trên. Hay nói cách khác, xác định tính năng điều động của tàu chính là việc tiến hành thử nghiệm để tìm ra các hệ số đặc trưng cho chuyển động của con tàu đó. Từ phương trình toán học chúng ta nhận thấy chuyển động của con tàu (trong nghiên cứu tính năng điều động) bao gồm ba loại sau đây:

- Chuyển động theo chiều dọc tàu.
- Chuyển động dạt ngang.
- Chuyển động quay trở.

Các thành phần lực thủy động tác dụng lên con tàu cũng gắn liền với các chuyển động nêu trên. Có những thành phần xuất hiện trong từng chuyển động đơn lẻ, nhưng cũng có thành phần lực xuất hiện do sự kết hợp của hai thành phần dạt ngang và quay trở. Chính vì thế, khi tiến hành nghiên cứu tính năng điều động tàu, các chuyển động đơn lẻ cũng như kết hợp nêu trên phải được tái hiện lại. Các thành phần lực thủy động tác dụng vào mô hình tàu sẽ được đo đạc để xác định các hệ số. Cụ thể như sau:

- Kéo mô hình tàu chạy thẳng về phía trước: các thành phần chuyển động theo chiều ngang, quay trở sẽ không tồn tại. Chúng sẽ không sinh ra các thành phần lực cản do dạt

ngang và quay trở. Lực đo được sẽ do thành phần chuyển động theo chiều dọc gây ra. Từ số liệu thực nghiệm, ta xác định được X_{uu} .

- Kéo mô hình chạy tới với góc dạt ngang không có quay trở: sau khi loại bỏ thành phần do chuyển động theo chiều dọc, chúng ta sẽ xác định được các thành phần lực và mô-men do chuyển động dạt ngang gây ra. Từ đó xác định được các hệ số X_{vv} , X_{vww} , Y_v , Y_{vww} , N_v , N_{vww} .

- Kéo mô hình chạy tới với tốc độ quay trở đơn thuần: sau khi loại bỏ thành phần do chuyển động theo chiều dọc, chúng ta sẽ xác định được các thành phần lực và mô-men do chuyển động quay trở gây ra. Từ đó xác định được các hệ số X_{rr} , Y_r , Y_{rrr} , N_r , N_{rrr} .

- Kéo mô hình chạy tới với chuyển động dạt ngang và quay trở: sau khi loại bỏ thành phần do mô chuyển động theo chiều dọc, do quay trở và dạt ngang đơn thuần, chúng ta sẽ xác định được các thành phần lực và mô-men do chuyển động quay trở kết hợp với dạt ngang gây ra. Từ đó xác định được các hệ số X_{vr} , Y_{vvr} , Y_{vrr} , N_{vvr} , N_{vrr} .

- Kéo mô hình chạy thẳng với tốc độ, vòng tua khác nhau ta xác định được các thông số a_1 , a_2 , a_3 .

- Kéo mô hình chạy thẳng, điều chỉnh để vòng tua chân vịt sao cho lực đẩy chân vịt cân bằng với lực cản. So sánh giữa lực cản và lực đẩy của chân vịt đo được ta sẽ xác định được hệ số $(1 - t)$. Đồng thời cũng xác định được vòng tua cần thiết để thử mô hình tàu trong điều kiện có chân vịt quay.

- Cho tàu chạy thẳng, chân vịt quay, bánh lái để 0° để xác định $(1 - w_{p0})$.

- Kéo tàu chạy với góc dạt, tốc độ quay, bánh lái để 0° để xác định τ , C_p .

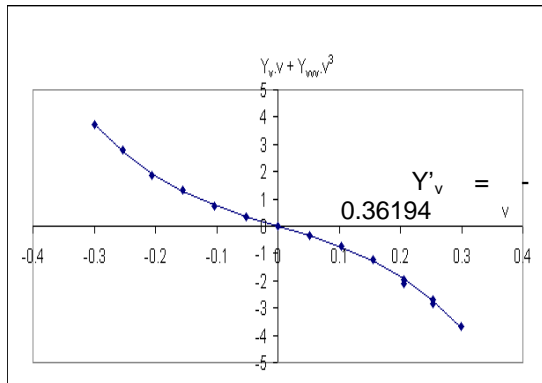
- Cho tàu chạy thẳng, chân vịt quay, bẻ bánh lái sang hai bên mạn để xác định các thông số về lực tác động của bánh lái: δ_0 , t_R , a_H , x_H .

- Qua mối liên hệ giữa u_R , và u_p ta xác định được các hệ số ϵ , κ .

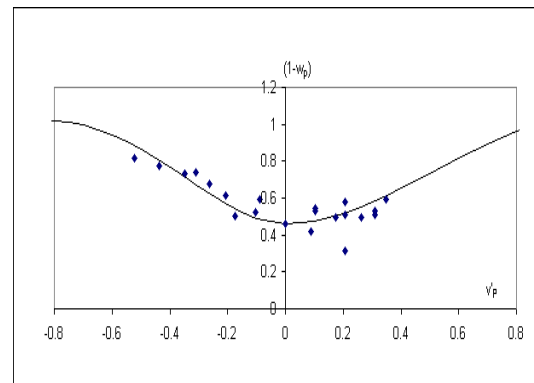
Từ tất cả các kết quả thực nghiệm trên, ta xác định được tất cả các hệ số mô tả lực tác động lên bản thân con tàu. Từ các hệ số này ta có thể mô phỏng các chuyển động của con tàu, từ đó xác định các đặc tính điều động của bản thân con tàu.

3. Kết quả phân tích mô hình tàu VLCC đầy tải qua thực nghiệm tại bể thử tàu

Dựa trên cơ sở lý thuyết nêu trên, tác giả đã tiến hành thử nghiệm xác định các thông số biểu thị tính năng điều động tàu trong bể thử tàu. Mô hình được sử dụng là mô hình tàu VLCC có các thông số được nêu trong bảng 1.



Hình 2. Kết quả dự đoán lực ngang tác động lên thân tàu do chuyển động dạt ngang gây ra.



Hình 3. Kết quả dự đoán hiệu suất nạp nước tại vị trí của chân vịt.

Các hình vẽ dưới đây nêu lên một số ví dụ minh họa về kết quả thí nghiệm. Hình 2 nêu lên kết quả dự đoán lực ngang tác động lên thân tàu. Trong hình vẽ, trục tung biểu thị giá trị lực thủy động tác dụng vào thân tàu do chuyển động dạt ngang gây ra ($Y_v.v + Y_{vww}.v^3$), trục hoành biểu thị giá trị tốc độ dạt ngang. Các dấu hiệu hình thoi thể hiện giá trị có được từ thực nghiệm, đường kẻ liền nét biểu thị giá trị dự đoán lực ngang tác động lên tàu do chuyển động ngang gây ra. Chúng ta

thấy rằng giá trị thực nghiệm phân bố tương đối tập trung và đường dự đoán mô tả rất sát với tác động của lực cản ngang do chuyển động ngang của con tàu gây ra. Lực này tăng rất nhanh khi tốc độ dịch chuyển ngang tăng, nó sẽ cản trở mạnh đến chuyển động tới của tàu, làm giảm đáng kể tốc độ tàu.

Nếu như các thành phần lực tác động lên thân tàu biến đổi tương đối tuyến tính so với tốc độ dịch chuyển của tàu thì việc dự đoán các thành phần lực tác động có liên quan đến hoạt động của chân vịt tỏ ra tương đối khó khăn. Hình 3 nêu lên ví dụ về dự đoán hiệu suất đạp nước tại vị trí của chân vịt ($1 - w_p$). Trong hình vẽ, trục tung thể hiện giá trị $(1 - w_p)$, trục hoành thể hiện giá trị không hình dáng (non-dimension) của tốc độ ngang của dòng chảy tại vị trí chân vịt v'_p . Các dấu hiệu hình thoi thể hiện giá trị có được từ thực nghiệm, đường kẻ liền nét biểu thị giá trị dự đoán của $(1 - w_p)$. Do các cánh của chân vịt hoạt động trong điều kiện độ sâu luôn thay đổi nên dòng nước do chân vịt đạp ra cũng như dòng nước đến chân vịt luôn có sự biến động. Các giá trị đo đạc vì thế cũng biến đổi theo. Tuy nhiên, tổng hợp các giá trị đo được cho ta một xu thế thay đổi nhất định như dự đoán trong hình 3.

Để chuyển đổi các giá trị dự đoán từ mô hình tàu sang tàu thật, người ta sử dụng các giá trị không hình khối. Các giá trị này được biểu thị giống như các giá trị có hình khối nhưng thêm dấu (') ở phía trên.

Sau khi phân tích số liệu thực nghiệm, thu được các kết quả phân tích được nêu trong bảng 2, 3.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật tàu VLCC.

| Thông số KT | Tàu thực | Tàu mô hình |
|----------------------|----------|-------------|
| Thân tàu | | |
| $L_{pp}(m)$ | 325.0 | 3.0 |
| $B(m)$ | 53.0 | 0.48925 |
| $d(m)$ | 21.73 | 0.201 |
| L_{pp}/B | 6.132 | 6.132 |
| B/d | 2.438 | 2.434 |
| C_b | 0.8293 | 0.8293 |
| Chân vịt | | |
| $D_p(m)$ | 9.10 | 0.084 |
| $P(m)$ | 6.507 | 0.06007 |
| $p(\text{non})$ | 0.7049 | 0.7151 |
| Số lượng cánh | 5 | 5 |
| Bánh lái | | |
| b | 9.0 | 0.08308 |
| h | 13.85 | 0.1279 |
| Λ | 1.539 | 1.539 |
| f_α | 2.489857 | 2.489857 |
| Diện tích | 119.87 | 0.0103 |
| Thông số khác | | |
| Tốc độ | 12kts | 0.6 m/s |
| Vòng tua của máy | 83rpm | 14.4645 rps |

Bảng 2. Hệ số lực cản thân tàu.

| Hệ số | Giá trị |
|--------------|-----------|
| X'_{uu} | -0.019113 |
| X'_{vv} | -0.01128 |
| $X'_{v'v'v}$ | 0.29245 |
| X'_{rr} | 0.00324 |
| X'_{vr} | -0.019628 |
| Y'_v | -0.36194 |
| $Y'_{v'v'v}$ | -1.26275 |
| Y'_r | 0.08911 |
| Y'_{rrr} | 0.02556 |
| $Y'_{v'vr}$ | -0.11168 |
| $Y'_{v'rr}$ | -0.62893 |
| N'_v | -0.15420 |
| $N'_{v'v'v}$ | 0.02976 |
| N'_r | -0.04942 |
| N'_{rrr} | -0.01816 |
| $N'_{v'vr}$ | -0.21938 |
| $N'_{v'rr}$ | 0.11896 |

Bảng 3. Hệ số tác dụng tương hỗ thân tàu, bánh lái, chân vịt.

| Hệ số | Giá trị | Hệ số | Giá trị | |
|----------------|----------|--------------|---------|----------|
| a_1 | 0.295 | v'_p | >0 | <0 |
| a_2 | -0.207 | T | 3.7974 | 7.343 |
| a_3 | -0.270 | C_D | -0.4114 | -0.61451 |
| $(1 - t)$ | 0.8509 | $v'+l'_R.r'$ | >0 | <0 |
| $(1 - w_{p0})$ | 0.459937 | l'_R | -1.0396 | -1.0396 |
| $(1 - t_R)$ | 0.718 | γ | 0.2258 | 0.507 |
| a_H | 0.5168 | ϵ | 1.623 | |
| x'_H | -0.39053 | κ | 0.0677 | |
| $l'_p(x'_p)$ | -0.5155 | | | |

4. Đánh giá một số tính năng điều động của tàu trên kết quả mô phỏng

Từ các giá trị dự đoán nêu ở phần 3, căn cứ vào mô hình toán học, một số chuyển động đặc trưng của con tàu được mô phỏng và ghi lại.

Hình 4 ghi lại kết quả mô phỏng quay trở với góc bẻ lái 35° , tốc độ chạy hết máy.

Hình 5 ghi lại kết quả mô phỏng spiral với tốc độ chạy hết máy.

Hình 6 ghi lại kết quả mô phỏng zigzag $10^\circ/10^\circ$ với tốc độ chạy hết máy.

Hình 7 ghi lại kết quả mô phỏng zigzag $20^\circ/20^\circ$ với tốc độ chạy hết máy.

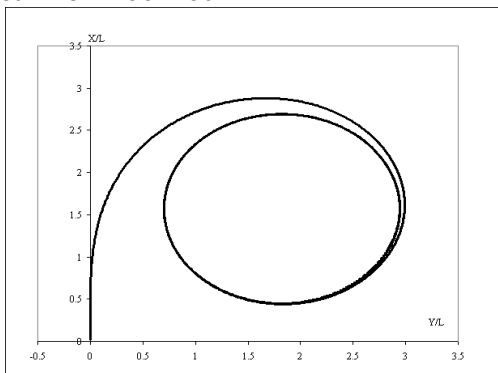
Trên đây là một số các phương pháp thử tính năng điều động tàu cơ bản được Tổ chức Hàng hải quốc tế (IMO) qui định trong Nghị quyết A.751(18).

Từ kết quả thử quay trở ta có thể thấy độ dịch chuyển theo chiều dọc, đường kính vòng quay trở chiến thuật của tàu đáp ứng được các qui định về tính năng quay trở.

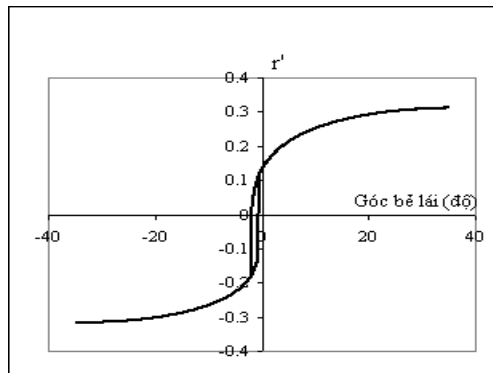
Từ kết quả thử điều động zigzag, ta thấy độ lớn của các góc vượt quá (overshoot angle) thử nhất, thử hai trong thử zigzag $10^\circ/10^\circ$ và zigzag $20^\circ/20^\circ$ thỏa mãn được các yêu cầu về tính năng ổn định hướng đi và kiểm soát quay của tàu.

Từ kết quả thử spiral cho ta thấy con tàu VLCC này tương đối ổn định trong điều kiện đầy tải. Việc có tồn tại một vòng đai có độ lớn hơn 1° (loop width $>1^\circ$) chứng tỏ con tàu này có xu thế không ổn định ở góc bẻ lái nhỏ. Tuy nhiên, khoảng không ổn định này là nhỏ, chỉ xảy ra ở góc bẻ lái từ $-0,5^\circ$ đến $-1,9^\circ$ cho nên cũng không ảnh hưởng nhiều đến khả năng điều động của con tàu.

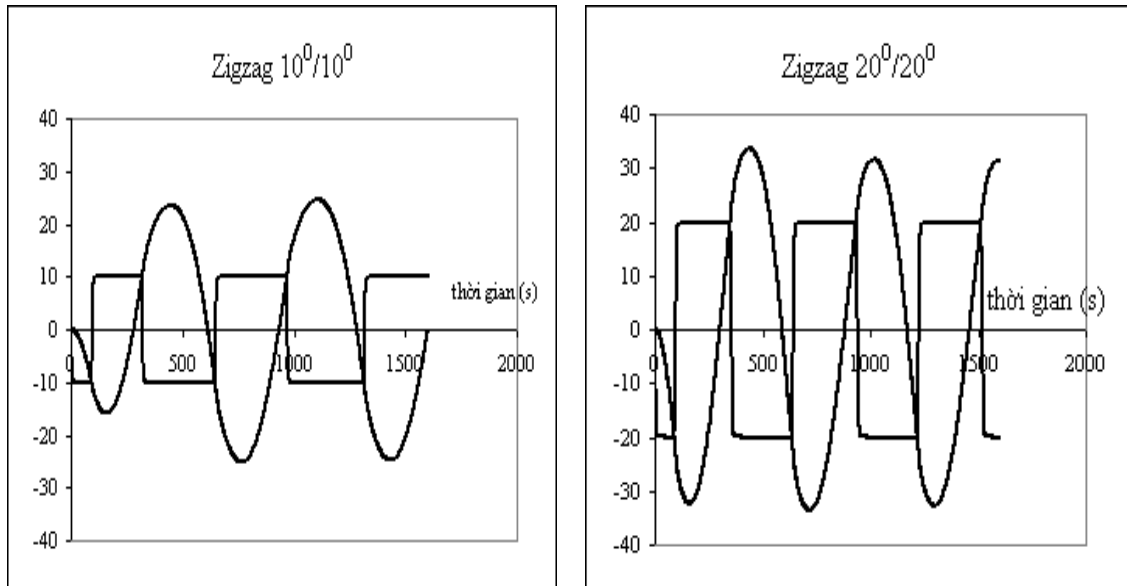
Các kết quả mô phỏng cho thấy con tàu VLCC này hoàn toàn thỏa mãn các yêu cầu về tính năng điều động theo Nghị quyết A.751(18) của IMO. Ngoài ra, việc thay đổi các điều kiện khi tiến hành mô phỏng còn giúp nghiên cứu thêm các khả năng điều động khác của con tàu ở các chế độ điều khiển khác nhau.



Hình 4. Kết quả quay trở phải.



Hình 5. Kết quả thử spiral.



5. Kết luận

Nghiên cứu tính năng điều động tàu có sử dụng mô hình tàu trong bể thử là phương pháp nghiên cứu có độ chính xác cao. Bài báo này đã giới thiệu một cách sơ lược phương pháp nghiên cứu tính năng điều động tàu có sử dụng mô hình tàu VLCC trong bể thử.

Từ kết quả thí nghiệm trong bể thử, các số liệu đã được phân tích một cách có hệ thống. Các kết quả dự đoán mô tả khá chính xác các thành phần lực tác động lên các thành phần thân tàu, bánh lái và chân vịt của tàu VLCC. Đó là cơ sở để khẳng định độ tin cậy cao của mô hình toán học tàu VLCC đầy tải đã nghiên cứu được.

Từ mô hình toán học đã nghiên cứu được, một số chuyển động của con tàu được mô phỏng. Trên cơ sở kết quả mô phỏng các tính năng điều động tàu đã được đánh giá. Chúng ta có thể khẳng định rằng con tàu VLCC này thỏa mãn đầy đủ các yêu cầu của IMO về tính năng điều động tàu.

Cơ sở dữ liệu của tàu VLCC đầy tải thu nhận được từ kết quả thử mô hình trong bể thử không những chỉ dùng để đánh giá tính năng điều động theo yêu cầu của IMO mà còn có thể sử dụng được trong các nghiên cứu khác về tính năng điều động tàu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] The Research Committee of Dynamic Performance Manoeuvring and Control Section, "Prediction of maneuverability of a ship", Bulletin of the Society of Naval Architects of Japan No. 668, February 1985 (Translated from Japanese by Takako Bundgaard, edited by M.S. Chislett for Danish Maritime Institute, 1986).
- [2] Phạm Văn Thuận, *Doctoral thesis*, 2009.

Người phản biện: TS. Nguyễn Kim Phương