

## Xác định các tham số dao động của tàu dưới tác động của sóng

Vũ Tài Tú<sup>1\*</sup>, Nguyễn Quang Hùng<sup>2</sup>, Chu Anh Mỹ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Viện Vũ khí, Tổng cục Công nghiệp Quốc Phòng;

<sup>2</sup>Đại học Công nghệ Đông Á;

<sup>3</sup>Học Viện Kỹ thuật Quân sự.

\*Email: vutaitu@gmail.com

Nhận bài: 14/4/2022; Hoàn thiện: 25/5/2022; Chấp nhận đăng: 10/6/2022; Xuất bản: 28/6/2022.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.80.2022.168-177>

### TÓM TẮT

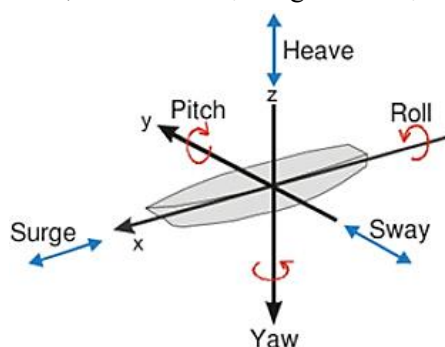
Bài báo giới thiệu phương pháp xây dựng mô hình toán dao động của tàu thủy và mô hình tải trọng của sóng biển, phục vụ cho việc tính toán lý thuyết dao động của tàu trên cơ sở ứng dụng hệ thống mô phỏng hàng hải MSS (Marine Systems Simulator). Đồng thời, trong phần thứ hai, bài báo đề xuất giải pháp xây dựng hệ thống thực nghiệm đo dao động của tàu trên sóng và sử dụng cảm biến vi cơ điện tử quán tính IMU (Inertion Measurement Unit) để thực hiện phép đo dao động. Kết quả đo đạc phù hợp với kết quả tính toán bằng lý thuyết (về biên độ, tần số và pha dao động). Từ đó có thể khẳng định rằng, phương pháp đo được sử dụng trong nghiên cứu là tin cậy.

**Từ khoá:** Dao động của tàu; Chòng chành; Dao động tịnh tiến; Dao động ngang; Dao động thẳng đứng; Dao động dọc trục.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Do ảnh hưởng của sóng, mọi vị trí của tàu biển đều bị dao động, ngay cả khi tàu neo đậu trong cảng cũng như khi chúng hoạt động trên biển. Điều đó ảnh hưởng đến chất lượng, hiệu quả hoạt động của các thiết bị bố trí trên tàu như anten vệ tinh, rada, hàng hoá và các thiết bị khác... [1].

Để vũ khí và các khí tài trên tàu hải quân có thể ổn định và hoạt động hiệu quả thì khi lắp đặt trên tàu, chúng cần được hiệu chỉnh dựa trên việc đo đạc các dao động của tàu thông qua thử nghiệm ở các điều kiện khai thác khác nhau (khi tàu chạy ở các cấp sóng, các tốc độ và các phương truyền sóng khác nhau,...). Tuy nhiên, trên thực tế, không thể tiến hành đo đạc được dao động của tàu ở tất cả các trường hợp khai thác có thể có của tàu bởi số lượng các đo đạc như vậy là rất lớn cũng như chi phí cho một lần đo đạc là rất tốn kém. Bởi vậy, người ta thường xây dựng các mô hình vật lý, mô hình toán mô tả quá trình chuyển động, dao động để khảo sát tính toán, điều khiển hệ tàu theo mong muốn, trên cơ sở một số giả thiết vật lý và cơ học [2-5].



Hình 1. Các dao động của tàu.

Theo cách tiếp cận đó, người ta thường coi tàu là một vật rắn tuyệt đối tự do và sẽ dao động với đầy đủ 6 bậc tự do khi chuyển động trên mặt nước (hình 1), bao gồm: chòng chành tịnh tiến dọc (Surge) là dao động tịnh tiến của tàu dọc theo trục dọc Ox; chòng chành tịnh tiến ngang (Sway) – dao động tịnh tiến của tàu dọc theo trục ngang Oy; chòng chành thẳng đứng (Heave) – dao động tịnh tiến của tàu dọc theo trục thẳng đứng Oz; chòng chành mạn (Roll) – dao động của

tàu quay quanh trục dọc  $Ox$ ; chòng chành sồng chính (Pitch)– dao động của tàu quay quanh trục ngang  $Oy$ ; chòng chành đảo lái – dao động của tàu quay quanh trục thẳng đứng (Yaw) [6, 7]. Mỗi một loại chòng chành có thể quan sát được một cách riêng biệt hoặc trong sự tương tác đồng thời với nhau.

Nội dung bài báo này sẽ gồm hai phần: phần thứ nhất là xây dựng mô hình toán dao động của tàu thủy và mô hình tải trọng của sóng, phục vụ cho việc tính toán lý thuyết dao động của tàu trên cơ sở ứng dụng hệ thống mô phỏng hàng hải MSS (*Marine Systems Simulator*); phần thứ hai là giải pháp xây dựng hệ thống thực nghiệm đo dao động của tàu trên sóng, kết quả thực nghiệm sẽ được so sánh với kết quả tính toán lý thuyết trên phần mềm Matlab.

## 2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH TOÁN MÔ PHỎNG DAO ĐỘNG CỦA TÀU

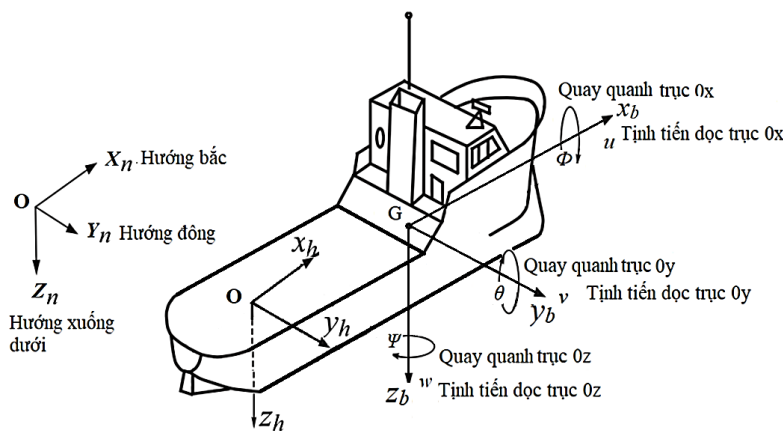
### 2.1. Mô hình cơ học hệ tàu biển

Với các công trình biển di động nói chung và tàu biển nói riêng, khi chuyển động trên biển chúng sẽ dao động với đầy đủ 06 bậc tự do gồm ba chuyển động quay và ba chuyển động tịnh tiến. Do vậy, muốn định vị tàu trên biển ta cần sử dụng hệ 6 tọa độ độc lập để xác định vị trí và hướng của chúng. Ba tọa độ và đạo hàm theo thời gian của chúng được sử dụng để biểu diễn vị trí và chuyển động tịnh tiến của tàu theo các trục  $Ox$ ,  $Oy$  và  $Oz$ . Ba tọa độ còn lại và đạo hàm theo thời gian của chúng được sử dụng để mô tả hướng và chuyển động quay của tàu. Bảng 1 biểu diễn ký hiệu các tham số dao động, lực mô men tác dụng lên tàu dưới tác động của sóng biển.

**Bảng 1.** Các ký hiệu được sử dụng trong tính toán dao động của tàu trên sóng.

STT	Tên các dao động của tàu	Lực và mô-men	Vận tốc dài và vận tốc góc	Vị trí và các góc Euler
1	Tịnh tiến theo trục x (surge)	$X$	$u$	$x$
2	Tịnh tiến theo trục y (sway)	$Y$	$v$	$y$
3	Tịnh tiến theo trục z (heave)	$Z$	$w$	$z$
4	Quay quanh trục x (roll)	$K$	$p$	$\phi$
5	Quay quanh trục y (pitch)	$M$	$q$	$\theta$
6	Quay quanh trục z (yaw)	$N$	$r$	$\psi$

Để xác định các dao động của tàu trên sóng, trong MSS sẽ sử dụng hệ quy chiếu với ba hệ tọa độ khác nhau gồm: Hệ tọa độ cố định gắn trên bờ  $Ox_n Y_n Z_n$  (n-frame); hệ tọa độ liên kết gắn cố định trên tàu  $Gx_b y_b z_b$ , chuyển động cùng với tàu (b-frame); hệ tọa độ di động theo tàu  $Ox_h y_h z_h$  nhưng cố định so với trạng thái cân bằng của tàu (h-frame) chính là hệ  $Ox_n Y_n Z_n$  di chuyển theo tàu được mô tả trên hình 2.



**Hình 2.** Mô hình cơ học hệ tàu biển.

Đối với hệ quy chiếu  $n$ -frame, vị trí của tàu, vận tốc dài, vận tốc góc của tàu được biểu diễn theo vector sau:

Vị trí tàu:

$$\mathbf{p}^n = [n \ e \ d]^T \quad (1)$$

Ở đây,  $n$ ,  $e$ ,  $d$  tương ứng là toạ độ bắc, toạ độ đông và toạ độ xuống dưới theo hướng  $OZ_n$  trong hệ quy chiếu  $OX_nY_nZ_n$  gắn với Trái Đất.

Góc Euler:

$$\Theta = [\phi \ \theta \ \psi]^T \quad (2)$$

Vị trí và góc Euler của tàu là vị trí và góc của hệ toạ độ  $Gx_b y_b z_b$  so với hệ toạ độ  $OX_n Y_n Z_n$  và được biểu diễn dưới dạng vector sau:

$$\boldsymbol{\eta} = [(\mathbf{p}^n)^T, \Theta^T]^T = [n, e, d, \phi, \theta, \psi]^T \quad (3)$$

Đối với hệ quy chiếu  $b$ -frame, vận tốc dài, vận tốc góc, lực tác dụng lên tàu được biểu diễn dưới dạng vector như sau:

- Vận tốc dài:

$$\mathbf{v}_0^b = [u, v, w]^T \quad (4)$$

- Vận tốc góc:

$$\boldsymbol{\omega}_0^n = [p, q, r]^T \quad (5)$$

- Lực tác dụng lên tàu:

$$\mathbf{f}_o^b = [X \ Y \ Z]^T \quad (6)$$

- Mô men tác dụng lên tàu:

$$\mathbf{m}_o^b = [K \ M \ N]^T \quad (7)$$

- Vận tốc dài, vận tốc góc của tàu tương ứng với vị trí  $G$  được biểu diễn dưới dạng vector sau:

$$\mathbf{v} = [\mathbf{v}_o^b, \boldsymbol{\omega}_0^n]^T = [u, v, w, p, q, r]^T \quad (8)$$

Lực và mô men tác dụng lên tàu xét dưới hệ quy chiếu  $h$ -frame, được biểu diễn dưới dạng vector như sau:

$$\boldsymbol{\tau}_{RB} = [\mathbf{f}_o^b, \mathbf{m}_o^b]^T = [X, Y, Z, K, M, N]^T \quad (9)$$

## 2.2. Phương trình vi phân chuyển động của tàu

Trong mục này, chuyển động và dao động của hệ tàu, dưới sự tác động của sóng biển được mô hình hóa với các phương trình vi phân chuyển động được viết ở dạng ma trận đại số.

Động lực học phi tuyến mô tả chuyển động tàu được xác định theo phương trình sau [8]:

$$\mathbf{M}_{RB} \dot{\mathbf{v}} + \mathbf{C}_{RB}(\mathbf{v})\mathbf{v} + \mathbf{M}_A \dot{\mathbf{v}}_r + \mathbf{C}_A(\mathbf{v})\mathbf{v}_r + \mathbf{D}(\mathbf{v})\mathbf{v}_r + \boldsymbol{\mu} + \mathbf{g}(\boldsymbol{\eta}) = \boldsymbol{\tau} + \boldsymbol{\tau}_w \quad (10)$$

Trong đó:  $\mathbf{M}_{RB}$  là ma trận quán tính của tàu;  $\mathbf{C}_{RB}(\mathbf{v})$  là ma trận hướng tâm của tàu;  $\mathbf{M}_A$  là ma trận quán tính khối lượng nước kèm;  $\mathbf{C}_A(\mathbf{v})$  là ma trận hướng tâm bổ sung của khối lượng nước kèm;  $\mathbf{D}(\mathbf{v})$  là ma trận dao động tắt dần;  $\boldsymbol{\mu}$  là ảnh hưởng bổ sung của độ nhớt chất lỏng;  $\mathbf{g}(\boldsymbol{\eta})$  là vec-tơ lực và mô men nổi,  $\boldsymbol{\tau}$  là vec-tơ điều khiển đầu vào;  $\boldsymbol{\tau}_w$  là vec-tơ nhiễu môi trường (gió, sóng và dòng chảy).

Dao động là một phần của Động lực học, phương trình dao động của tàu có thể được biểu diễn dưới dạng vector sau:

$$\mathbf{M}_{RB} \dot{\mathbf{v}} + \mathbf{C}_{RB}(\mathbf{v})\mathbf{v} = \boldsymbol{\tau}_{RB} \quad (11)$$

Trong đó:  $\mathbf{v} = [u, v, w, p, q, r]^T$  là vec-tơ vận tốc, gắn trong hệ quy chiếu  $b$ -frame;  $\boldsymbol{\tau}_{RB} = [X, Y, Z, K, M, N]^T$  là vec-tơ ngoại lực và mô men tác động vào tàu.

Ma trận quán tính của tàu  $\mathbf{M}_{RB}$  được xác định theo công thức:

$$\mathbf{M}_{RB} = \begin{bmatrix} m\mathbf{I}_{3 \times 3} & -m\mathbf{S}(\mathbf{r}_g^b) \\ m\mathbf{S}(\mathbf{r}_g^b) & \mathbf{I}_o \end{bmatrix} \quad (12)$$

Ma trận hướng tâm  $\mathbf{C}_{RB}(\mathbf{v})$  có thể được tính toán từ  $\mathbf{M}_{RB}$  như sau:

$$\mathbf{C}(\mathbf{v}) = \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{3 \times 3} & -\mathbf{S}(\mathbf{M}_{11}\mathbf{v}_1 + \mathbf{M}_{12}\mathbf{v}_2) \\ -\mathbf{S}(\mathbf{M}_{11}\mathbf{v}_1 + \mathbf{M}_{12}\mathbf{v}_2) & -\mathbf{S}(\mathbf{M}_{21}\mathbf{v}_1 + \mathbf{M}_{22}\mathbf{v}_2) \end{bmatrix} \quad (13)$$

với  $\mathbf{v}_1 = [u, v, w]^T$ ,  $\mathbf{v}_2 = [p, q, r]^T$ .

### 2.3. Mô hình tải trọng sóng

Tải trọng sóng bậc nhất tác dụng lên tàu ứng với hệ quy chiếu  $h$ -frame  $\tau_{w1}^* = [\tau_{w1}^{*1}, \tau_{w1}^{*2}, \tau_{w1}^{*3}, \tau_{w1}^{*4}, \tau_{w1}^{*5}, \tau_{w1}^{*6}]$  được tính toán từ hàm chuyển lực  $T^i(\omega_j, \beta_j)$  đối với bậc tự do thứ  $i$  ( $i=1..6$ ). Tổng hợp lực là tổng của các sóng thành phần:

$$\tau_{w1}^{*i} = \sum_{j=1}^N \zeta_j |T_j^i| \cos(\omega_j t + \phi_j + \arg(T_j^i)) \quad (14)$$

Tải trọng dạt do sóng được xác định bởi công thức:

$$\tau_{w2}^i = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \zeta_j \zeta_k T_{jk}^{i2} \cos((\omega_k - \omega_j)t + \phi_k - \phi_j) \quad (15)$$

Trong đó,  $\phi_j$  là góc pha và  $T_{jk}^{i2} = T_{kj}^{i2} = \frac{1}{2}(T_{jj}^{i2} + T_{kk}^{i2})$ .

Trong hệ quy chiếu  $b$ -frame, lực dạt do sóng được xác định theo công thức:

$$\boldsymbol{\tau}_{w2} = \mathbf{H}^T(\mathbf{r}_{w2}^b) [\tau_{w2}^1, \dots, \tau_{w2}^6]^T \quad (16)$$

Các mô hình toán về động lực học, động học của tàu và mô hình tải trọng sóng nói trên được đưa vào hệ MSS để tính dao động của tàu trên sóng và được xem như kết quả lý thuyết để đối sánh với kết quả thực nghiệm ở mục 3.

## 3. THỰC NGHIỆM ĐO DAO ĐỘNG CỦA TÀU TRÊN SÓNG

Trên cơ sở sử dụng bộ cảm biến đo lường quán tính IMU để đo dao động tàu, phương pháp đo và hệ thống đo dao động của tàu trên sóng cũng như phương pháp xác định dao động cho hệ thống vũ khí đặt trên tàu được tiến hành như sau:

### 3.1. Phương pháp đo và tính toán dao động

Như trên đã đề cập, dao động của tàu được qui về trọng tâm G, do đó, về nguyên tắc, phải đặt thiết bị đo tại trọng tâm G của tàu, song điều này là không thể. Chính vì thế cần phải tìm giải pháp để có thể đặt IMU đo ở bất kỳ điểm nào trên tàu mà vẫn qui được kết quả đo về điểm trọng tâm G. Phép biến đổi tọa độ thuần nhất giúp thực hiện quá trình chuyển đổi theo nguyên tắc sau.

Gọi hệ tọa độ đo là  $Dx_d y_d z_d$ , trong lần đo thứ  $i$  hệ này có các góc  $\sigma$  le so với hệ tọa độ liên kết  $Gx_b y_b z_b$  là  $\beta_i^x, \beta_i^y, \beta_i^z$  và tâm D cách tâm G một đoạn GD có các hiệu tọa độ giữa 2 điểm là  $(x_i, y_i, z_i)$ , nói cách khác  $(x_i, y_i, z_i)$  là tọa độ của D trong hệ liên kết  $Gx_b y_b z_b$ . Giả sử lần đo thứ  $i$  đo được véc tơ 6 tọa độ  $\eta_{di} = [n_i, e_i, d_i, \phi_i, \theta_i, \psi_i]^T$  thì kết quả đo này được tính qui đổi về tâm G theo công thức:

$$\eta_i = T_i \cdot \eta_{di} \quad \eta_i = T_i \cdot \eta_{di} \quad (17)$$

Trong đó,  $T_i$  là ma trận chuyển đổi là tích của 4 ma trận thuần nhất, ma trận tịnh tiến  $M$  theo 3 tọa độ Đề-các và 3 ma trận quay theo các góc  $\sigma$  le, tính theo công thức (18).

$$T_i = R_z(\beta_i^z) \cdot R_y(\beta_i^y) \cdot R_x(\beta_i^x) \cdot M(x_i, y_i, z_i) \quad (18)$$

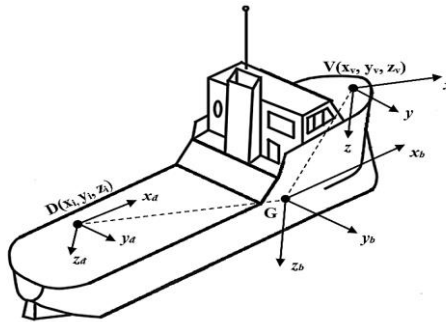
với

$$R_z(\beta_i^z) = \begin{bmatrix} \cos \beta_i^z & \sin \beta_i^z & 0 & 0 \\ -\sin \beta_i^z & \cos \beta_i^z & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad R_y(\beta_i^y) = \begin{bmatrix} \cos \beta_i^y & 0 & \sin \beta_i^y & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \beta_i^y & 0 & \cos \beta_i^y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$R_x(\beta_i^x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta_i^x & \sin \beta_i^x & 0 \\ 0 & -\sin \beta_i^x & \cos \beta_i^x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad M(x_i, y_i, z_i) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_i \\ 0 & 1 & 0 & y_i \\ 0 & 0 & 1 & z_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Để tăng tính khách quan và độ chính xác của phép đo, ta thực hiện  $k$  phép đo tại  $k$  vị trí khác nhau trên tàu. Khi đó, từ  $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_k$  sẽ tính được  $\eta$  tại tâm G (gồm  $\eta$  trung bình và phương sai phép đo). Nếu tại mỗi vị trí đo ta thực hiện  $n$  phép đo thì sẽ có  $k.n$  phép đo và theo lý thuyết xác suất thống kê, sẽ tăng thêm độ chính xác kết quả đo.

Hình 3 là sơ đồ biểu kiến hệ tọa độ đo và hệ tọa độ vũ khí trên tàu.



Hình 3. Tọa độ đo và tọa độ vũ khí đặt trên tàu.

Sau khi có số liệu dao động của tàu  $\eta$ , cũng với phép biến đổi ma trận thuần nhất, ta sẽ tính được dao động của hệ thống vũ khí đặt trên tàu.

Giả sử vũ khí tại điểm V với hệ tọa độ liên kết  $Vxyz$  có các góc  $\sigma$  le so với hệ tọa độ  $Gx_b y_b z_b$  là  $\beta_v^x, \beta_v^y, \beta_v^z$  và  $(x_v, y_v, z_v)$  là tọa độ của V trong  $Gx_b y_b z_b$  thì tương tự như (17) và (18), ta cũng có ma trận  $T_V$  và tính được dao động  $\eta_v$  của vũ khí theo công thức:

$$\eta = T_V \cdot \eta_v \Rightarrow \eta_v = T_V^{-1} \cdot \eta \quad (19)$$

### **3.2. Cấu trúc hệ thống đo dao động bằng cảm biến vi cơ điện tử quán tính (IMU) và xây dựng qui trình đo**

Thiết bị đo sử dụng trong thực nghiệm đo dao động của tàu trên sóng là IMU 6 bậc tự do, tích hợp trong đó 3 gia tốc kế và 3 con quay hồi chuyển đo vận tốc góc của 3 trục. Đó là cảm biến đo dao động IB6 của hãng Texense - Pháp, chuyên sử dụng để đo dao động của hệ chuyển động dựa trên cảm biến gia tốc trên 3 trục và vận tốc góc của 3 trục. Từ giá trị 6 tham số đo được của IMU sẽ tiến hành phân tích, tính toán ra các tham số dao động của tàu gồm: lắc ngang (Roll), chòng chành sóng chính (Pitch), chòng chành đảo lái (Yaw), chuyển động tịnh tiến theo các trục 0x, 0y và 0z (Surge, Sway, Heave).

Thành phần của hệ đo dao động bao gồm: Cảm biến IMU kết nối với máy tính, phần mềm thực hiện đo, tính toán và phân tích. Ngoài ra, còn sử dụng thiết bị phân tích và thu thập dữ liệu DEWE3020 (của hãng DEWETRON - Áo) để xử lý tín hiệu đo. Với hệ thống thiết bị trên, quy trình đo được tiến hành theo 6 bước: 1- Chuẩn bị trang thiết bị và vị trí lắp đặt trên tàu; 2- Khởi động thiết bị và kết nối với phần mềm; 3- Hiệu chỉnh cân bằng thiết bị đo; 4- Thực hiện đo dao động của tàu; 5- Phân tích dữ liệu thu được trên miền thời gian, miền tần số; 6- Báo cáo giá trị đã phân tích được.

### **3.3. Thực nghiệm đo dao động của tàu trên sóng biển thực**

Mẫu tàu được tác giả lựa chọn phục vụ cho thực nghiệm là tàu tuần tra ST-250 được thiết kế hoạt động trên vùng biển Việt Nam tương đương vùng hoạt động cấp hạn chế II theo Quy phạm “Phân cấp và đóng tàu cao tốc” của Đăng kiểm Việt Nam năm 1998. Các thông số kỹ thuật của tàu được trình bày trên bảng 2.

Quá trình thực nghiệm đo đặc dao động của tàu dưới tác động của sóng biển thực được thực hiện dưới các điều kiện sau:

- Khu vực diễn ra thử nghiệm: Cách bờ 18 hải lý, tại khu vực biển Bạch Long Vĩ.
- Điều kiện môi trường: Trong điều kiện sóng cấp 4 theo bảng cấp gió và sóng của Việt Nam (tốc độ gió; chiều cao sóng trung bình), tốc độ dòng chảy thực tế.
- Phương truyền sóng so với phương chuyển động của tàu: Tàu chạy ngược sóng (sóng tới).
- Tàu chạy tại chiều chìm  $T = 4,85$  m, với độ chúi bằng không, chạy ở tốc độ  $V = 10$  knots

**Bảng 2.** Các thông số kỹ thuật của tàu tuần tra ST-250 (theo tài liệu khai thác tàu).

Các thông số hình học	Ký hiệu	Đơn vị	Kích thước tàu
Chiều dài lớn nhất	Lmax	[m]	27,60
Chiều dài thiết kế	Ltk	[m]	25,33
Chiều rộng lớn nhất	Bmax	[m]	6,50
Chiều rộng thiết kế	Btk	[m]	5,80
Lượng chiếm nước đầy tải	$\Delta_{max}$	[t]	84,7
Lượng chiếm nước trung bình	$\Delta_{tb}$	[t]	78,00
Công suất máy chính	Ps	[BHP]	02x1500
Tốc độ tàu lớn nhất ở lượng chiếm nước trung bình	V	[knots]	25,00
Khả năng đi biển của tàu: chịu được cấp sóng 6 cấp gió 8 trong thang Beaufort			

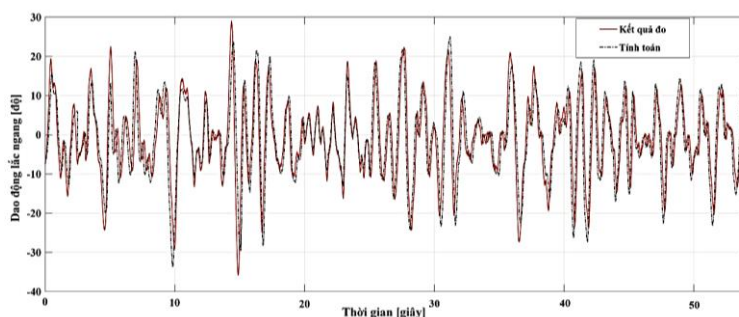
### 3.4. Kết quả thực nghiệm và tính toán

Trên hình 4 là hình ảnh kết quả đo đạc các dao động của tàu trên sóng trên tàu tuần tra ST-250.

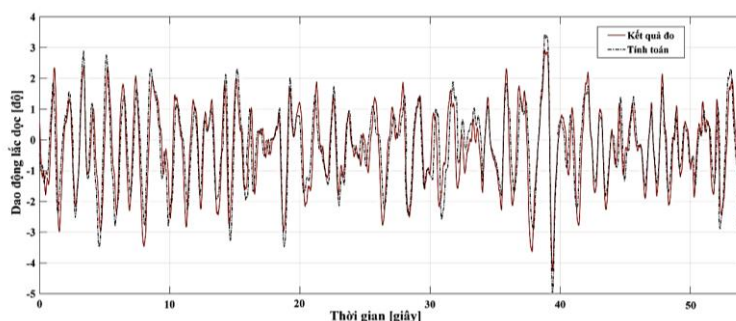


**Hình 4.** Hình ảnh kết quả đo đạc các dao động của tàu trên sóng trên tàu tuần tra ST-250.

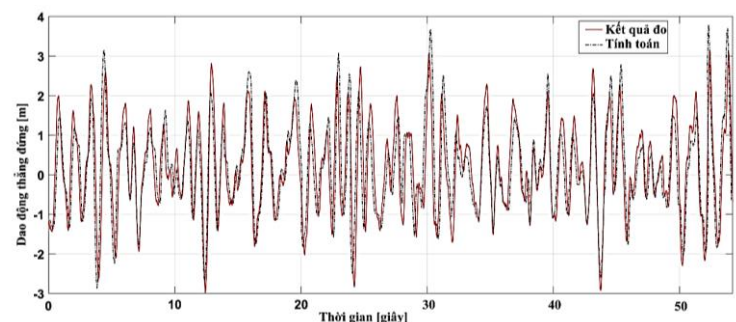
Kết quả đo đạc thực nghiệm các dao động của tàu so với kết quả mô phỏng tính toán ứng với điều kiện thử nghiệm được trình bày trên các hình 5 ÷ hình 13.



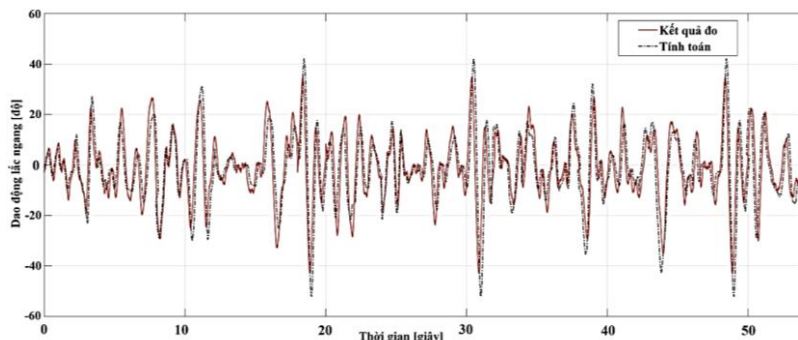
**Hình 5.** Kết quả đo đạc và mô phỏng dao động lắc ngang của tàu trên sóng chéo  $\beta_w = 45^\circ$ .



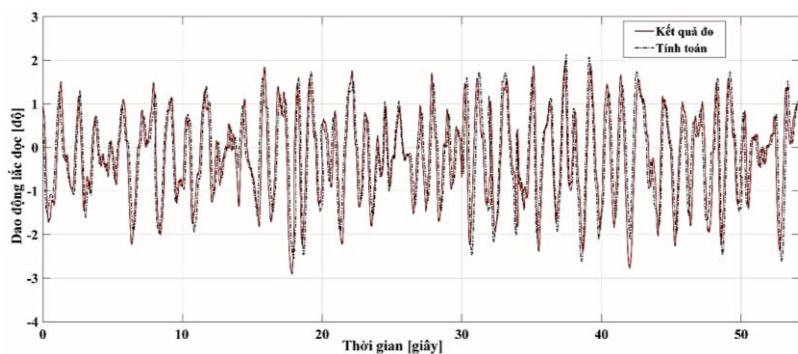
**Hình 6.** Kết quả đo đạc và mô phỏng dao động lắc dọc của tàu trên sóng chéo  $\beta_w = 45^\circ$ .



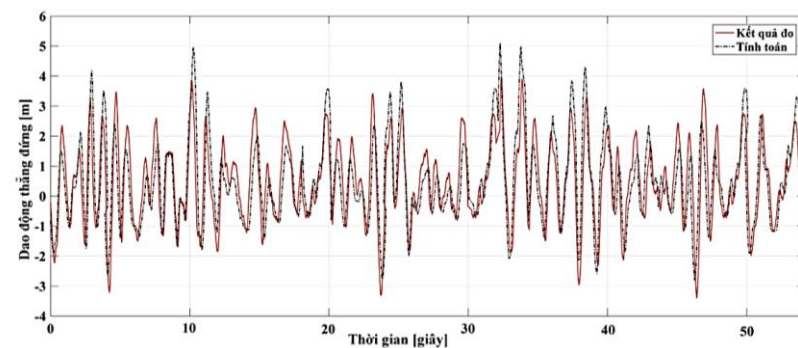
**Hình 7.** Kết quả đo đạc và mô phỏng dao động thẳng đứng của tàu trên sóng chéo  $\beta_w = 45^\circ$ .



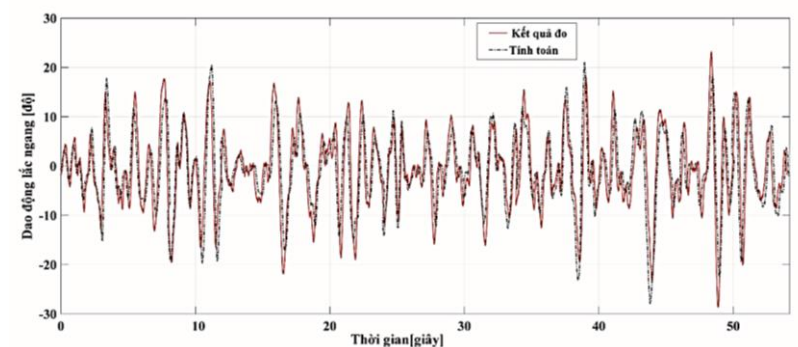
Hình 8. Kết quả đo đạc và mô phỏng dao động lắc ngang của tàu trên sóng chéo  $\beta_w = 90^\circ$ .



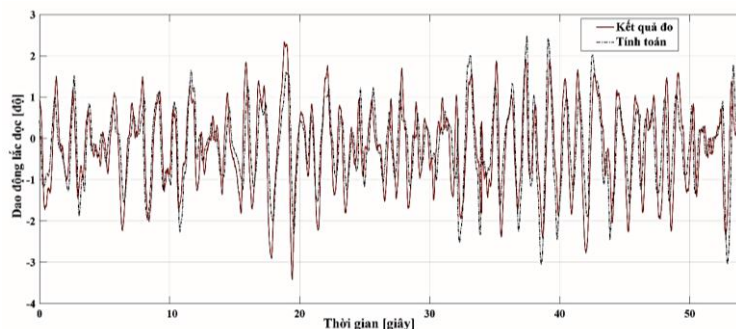
Hình 9. Kết quả đo đạc và mô phỏng dao động lắc dọc của tàu trên sóng chéo  $\beta_w = 90^\circ$ .



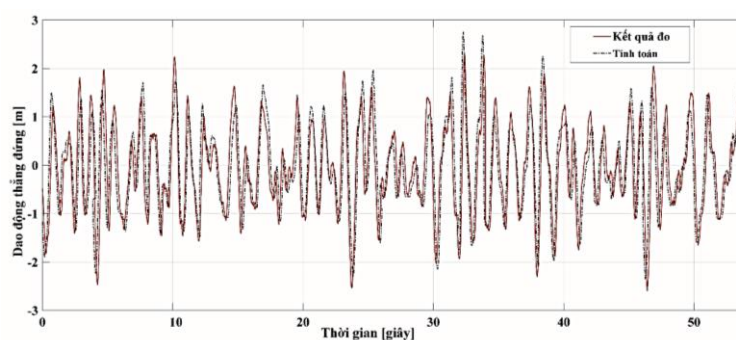
Hình 10. Kết quả đo đạc và mô phỏng dao động thẳng đứng của tàu trên sóng chéo  $\beta_w = 90^\circ$ .



Hình 11. Kết quả đo đạc và mô phỏng dao động lắc ngang của tàu trên sóng chéo  $\beta_w = 135^\circ$ .



Hình 12. Kết quả đo đạc và mô phỏng dao động lắc dọc của tàu trên sóng chéo  $\beta_w = 135^\circ$ .



Hình 13. Kết quả đo đạc và mô phỏng dao động thẳng đứng của tàu trên sóng chéo  $\beta_w = 135^\circ$ .

Từ các kết quả thu được ta có thể đưa ra một số nhận xét sau:

- Biên độ dao động lắc ngang (roll motion) của tàu đạt giá trị nhất khi tàu chạy trên sóng chéo  $\beta_w = 90^\circ$ . Đây là trường hợp đặc biệt nguy hiểm có thể dẫn đến lật tàu và trong thực tế khai thác người ta không chạy tàu theo phương sóng cặp mạn;
- Dao động thẳng đứng (heave motion) của tàu lớn nhất khi tàu chạy trên sóng theo và nhỏ nhất khi chạy trên sóng cặp mạn;
- Dao động chòng chành sóng chính (pitch motion) của tàu đạt giá trị lớn nhất khi tàu chạy trên sóng chéo  $\beta_w = 45^\circ$  và  $\beta_w = 135^\circ$  và đạt giá trị cực tiểu khi nó chạy trên sóng cặp mạn.

Các kết quả tính toán và đo thu được này hoàn toàn phù hợp với quy luật thực tế dao động của tàu trên sóng tại các phương truyền sóng khác nhau. Tuy nhiên, kết quả tính toán và kết quả đo có sự khác nhau về biên độ, pha do trong tính toán không thể bỏ sung các yếu tố ảnh hưởng như gió, dòng hải lưu. Tuy nhiên, sự chênh lệch giữa kết quả đo và tính toán nằm trong giới hạn cho phép. Cụ thể, các pha dao động trong các trường hợp có sự sai lệch khoảng 0,5 giây.

Từ các phân tích ở trên ta có thể kết luận rằng, phương pháp đo dao động tàu thực tế ngoài biển mà tác giả đề xuất là tin cậy và có thể sử dụng để đo các dao động trên tàu. Kết quả đo dao động có thể sử dụng trong việc tính toán, bố trí khí tài lắp đặt trên tàu đảm bảo điều kiện làm việc tốt.

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo đã xây dựng được quy trình đo, tiến hành đo và so sánh kết quả đo đạc được với kết quả tính toán dao động của tàu trên sóng bằng phương pháp lý thuyết. Kết quả đo đạc và kết quả tính toán bằng lý thuyết rất sát nhau (về biên độ, tần số và pha dao động), từ đó, khẳng định phương pháp đo mà tác giả xây dựng là tin cậy.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Araki, M., et al., "Estimating maneuvering coefficients using system identification methods with experimental, system-based, and CFD free-running trial data". *Ocean Engineering*. **51**: pp. 63-84, (2012).
- [2]. Sadat-Hosseini, H., et al., "CFD, system-based and EFD study of ship dynamic instability events: Surf-riding, periodic motion, and broaching". *Ocean Engineering*. **38**(1): pp. 88-110, (2011).
- [3]. Araki, M., et al. "Broaching prediction using an improved system-based approach". in Proceedings of 28th Symposium on Naval Hydrodynamics. (2010).
- [4]. Stern, F., et al., "Experience from SIMMAN 2008—the first workshop on verification and validation of ship maneuvering simulation methods". *Journal of Ship Research*. **55**(02): pp. 135-147, (2011).
- [5]. Shi, C., et al., "2 Identification of ship maneuvering model using extended Kalman filters", in *Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. CRC Press. pp. 355-360, (2009).
- [6]. Newman, J.N., "The theory of ship motions, in *Advances in applied mechanics*". Elsevier. pp. 221-283, (1979).
- [7]. Fonseca, N. and C. Guedes Soares, "Comparison of numerical and experimental results of nonlinear wave-induced vertical ship motions and loads". *Journal of Marine Science and Technology*. **6**(4): pp. 193-204, (2002).
- [8]. Fossen, T.I., "Marine Control Systems: Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles". *Marine Cybernetics*, (2002).

## ABSTRACT

### **Determination of vibration parameters of the ship under the action of waves**

*This paper presents a method to determine the mathematical model of ship's vibration and load model of ocean waves, serving the theoretical calculation of ship's vibration by using an application of the Marine Simulation System - MSS. Simultaneously, in the second part, the article proposes a solution to carry out an experimental system for measuring the ship's vibrations on waves and using an inertial mechatronic sensor (IMU) to perform the measurement. The measurement results are consistent with the theoretical calculation results (about amplitude, frequency, and phase of oscillation), from which it can be confirmed that the measurement method used in the study is reliable.*

**Keywords:** Vibration of ship; Yaw; Pitch; Heave; Roll; Surge; Wave; Sway.