

BÀI TOÁN CHUYỂN ĐỘNG CỦA TÀU HAI THÂN TRÊN SÓNG ĐIỀU HÒA

NGUYỄN TIẾN ĐẠT

So với tàu một thân, tàu hai thân có tính ổn định tốt hơn, diện tích hữu ích trên boong tàu lớn hơn và độ lắc trên sóng nhỏ hơn... Vì thế trong những năm gần đây, tàu hai thân được nghiên cứu, thiết kế và chế tạo nhiều. Bài toán xác định chuyển động lắc của tàu hai thân trên sóng phức tạp hơn đối với tàu một thân là do có sự tương tác của mỗi thân với chất lỏng và hiệu ứng sóng trong vùng giữa hai thân. Trong bài báo này, dựa trên cơ sở lý thuyết sóng tàu của Khaskind [3], tác giả sử dụng phương pháp Frank Close Fit cho tàu một thân để tính toán bài toán chuyển động của tàu hai thân trên sóng điều hòa, trong chất lỏng sâu vô hạn và con tàu không có vận tốc chuyển động của bản thân nó. Hiệu ứng tương tác giữa hai thân được xét đến bằng việc đưa vào điện tích ướt của hai phần thân. Kết quả nhận được so với kết quả bằng lý thuyết và thực nghiệm đã công bố trong [2, 3] là trùng hợp. Trong trường hợp bài toán có xét đến vận tốc chuyển động của bản thân con tàu, có thể sử dụng cách giải này và tham khảo trong [5].

Ở đây ngoài các giả thiết cần có cho tàu một thân như:

— Chất lỏng được coi là lý tưởng, không nén được, chuyển động của chất lỏng là có thể.

— Quá trình sóng điều hòa là sóng tiến có biên độ nhỏ (biên độ sóng nhỏ hơn nhiều lần bước sóng)

— Thân tàu là vật thể rắn tuyệt đối và thực hiện dao động điều hòa có biên độ nhỏ (so với các kích thước đặc trưng của con tàu) quanh vị trí cân bằng.

Ta cần thêm các điều kiện đối với tàu hai thân sau:

— Bỏ qua hiệu ứng tương tác của chất lỏng lên cầu nối giữa hai thân.

— Thân tàu hai thân được coi là mỏng.

§1. BÀI TOÁN

Để nghiên cứu bài toán chuyển động của tàu hai thân trên sóng điều hòa, ta thiết lập hai hệ tọa độ sau:

— Hệ cố định $O'\xi\eta\zeta$; $O'\zeta$ — hướng thẳng đứng lên trên.

— Hệ tọa độ động $Oxyz$ gắn liền với tàu, trục Oz đi qua trọng tâm tàu, Ox dọc theo chiều dài tàu, mặt phẳng Oxy trùng với mặt nước khi yên tĩnh.

Hai hệ tọa độ này trùng nhau khi không có sóng.

Khi đó có 6 thành phần lắc là:

η_1, η_2, η_3 — Các thành phần tịnh tiến của con tàu theo các trục $O'\xi, O'\eta, O'\zeta$.

η_4, η_5, η_6 — Các thành phần quay của con tàu quanh các trục $O'\xi, O'\eta, O'\zeta$.

Theo giả thiết các η_j ($j = 1, 6$) — nhỏ nên có thể bỏ qua tích của chúng: $\eta_k \cdot \eta_j = 0$ ($k, j = 1, 6$).

Giả sử ta tìm được các lực mômen tác động lên con tàu, ta có thể thiết lập được phương trình chuyển động của tàu đối với hệ tọa độ $O'\xi\eta\zeta$ như sau:

$$\sum_{k=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk})\ddot{\eta}_k + B_{jk}\dot{\eta}_k + C_{jk}\eta_k] = F_j e^{i\sigma t}, \quad j = \overline{1, 6}, \quad i = \sqrt{-1}, \quad (1-1)$$

trong đó: M_{kj} — các thành phần của ma trận khối lượng
 A_{kj}, B_{kj} — các hệ số khối lượng kèm và hệ số rung
 C_{jk} — các hệ số phục hồi thủy tĩnh
 F_j — lực kích động của sóng điều hòa lên con tàu và lực tán xạ của con tàu.

$\eta_k, \dot{\eta}_k$ — vận tốc và gia tốc của các dịch chuyển con tàu. Có thể dễ dàng tính được các thành phần lắc η_k nếu biết các ma trận hệ số (M_{kj}), (A_{kj}), (B_{kj}) và các thành phần F_j . Trong đó việc tìm các thành phần của ma trận (A_{kj}) và (B_{kj}) là phức tạp nhất vì đó là sự tương tác của chất lỏng lên con tàu.

Thông thường thân tàu đối xứng qua mặt phẳng xOz và trọng tâm đặt ở $(0, 0, Z_c)$.

Khi đó ma trận khối lượng là:

$$\begin{pmatrix} M & 0 & 0 & 0 & Mz_c & 0 \\ 0 & M & 0 & -Mz_c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -Mz_c & 0 & I_{44} & 0 & -I_{46} \\ Mz_c & 0 & 0 & 0 & I_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -I_{46} & 0 & I_{66} \end{pmatrix}$$

ở đây M — khối lượng của con tàu

I_{ij} — mômen quán tính

và $[A_{jk}]$ (hay $[B_{jk}]$) =

$$\begin{pmatrix} A_{11} & 0 & A_{13} & 0 & A_{15} & 0 \\ 0 & A_{22} & 0 & A_{24} & 0 & A_{26} \\ A_{31} & 0 & A_{33} & 0 & A_{35} & 0 \\ 0 & A_{42} & 0 & A_{44} & 0 & A_{46} \\ A_{51} & 0 & A_{53} & 0 & A_{55} & 0 \\ 0 & A_{62} & 0 & A_{64} & 0 & A_{66} \end{pmatrix}$$

Ma trận $[C_{ij}]$ chỉ có $C_{33}, C_{35}, C_{53}, C_{55}$ là khác không và được biết từ các thông số của hình dạng con tàu.

Do tính chất đối xứng của thân tàu, hệ (A) được tách thành hai hệ độc lập:

Hệ I

$$(M + A_{11})\ddot{\eta}_1 + B_{11}\dot{\eta}_1 + A_{13}\ddot{\eta}_3 + B_{13}\dot{\eta}_3 + (Mz_c + A_{15})\ddot{\eta}_5 + B_{15}\dot{\eta}_5 = F_{1e}^{i\sigma t},$$

$$A_{31}\ddot{\eta}_1 + B_{31}\dot{\eta}_1 + (M + A_{33})\ddot{\eta}_3 + B_{33}\dot{\eta}_3 + C_{33}\ddot{\eta}_3 + A_{35}\ddot{\eta}_5 + B_{35}\dot{\eta}_5 + C_{35}\ddot{\eta}_5 = F_{3e}^{i\sigma t},$$

$$(Mz_c + A_{51})\ddot{\eta}_1 + B_{51}\dot{\eta}_1 + A_{53}\ddot{\eta}_3 + B_{53}\dot{\eta}_3 + C_{53}\ddot{\eta}_3 + (I_{55} + A_{55})\ddot{\eta}_5 + B_{55}\dot{\eta}_5 + C_{55}\ddot{\eta}_5 = F_{5e}^{i\sigma t}.$$

Trên thực tế con tàu chiếm một vị trí trong không gian 3 chiều nhưng nếu thân tàu là dài ($L/B > 6$; L — chiều dài con tàu, B — chiều rộng thân tàu) thì có $\partial/\partial x \ll \partial/\partial y$ và $\partial/\partial z$ trên bề mặt thân tàu và lực thủy động kích động theo trục Ox rất nhỏ so với các thành phần lực còn lại nên $\eta_1 \ll \eta_j$ ($j = 2, 6$) [5]. Cùng với giả thiết sóng có biên độ nhỏ, khi đó sự tác động giữa các mặt cắt $x = \text{const}$ là rất ít nên trên mỗi mặt cắt đó bài toán 3 chiều trở thành 2 chiều. Vì thế ta thu được

$$(M + A_{33})\ddot{\eta}_3 + B_{33}\dot{\eta}_3 + C_{33}\ddot{\eta}_3 + A_{35}\ddot{\eta}_5 + B_{35}\dot{\eta}_5 + C_{35}\ddot{\eta}_5 = F_{3e}^{i\sigma t},$$

$$A_{53}\ddot{\eta}_3 + B_{53}\dot{\eta}_3 + C_{53}\ddot{\eta}_3 + (I_{55} + A_{55})\ddot{\eta}_5 + B_{55}\dot{\eta}_5 + C_{55}\ddot{\eta}_5 = F_{5e}^{i\sigma t}.$$

Hệ II

$$(M + A_{22})\ddot{\eta}_2 + B_{22}\dot{\eta}_2 + (-Mz_c + A_{24})\ddot{\eta}_4 + B_{24}\dot{\eta}_4 + A_{26}\ddot{\eta}_6 + B_{26}\dot{\eta}_6 = F_{2e}^{i\sigma t},$$

$$(-Mz_c + A_{24})\ddot{\eta}_2 + B_{24}\dot{\eta}_2 + (I_{44} + A_{44})\ddot{\eta}_4 + B_{44}\dot{\eta}_4 + C_{44}\ddot{\eta}_4 + (-I_{46} + A_{46})\ddot{\eta}_6 + B_{46}\dot{\eta}_6 = F_{4e}^{i\sigma t},$$

$$A_{62}\ddot{\eta}_2 + B_{62}\dot{\eta}_2 + (-I_{46} + A_{64})\ddot{\eta}_4 + B_{64}\dot{\eta}_4 + (I_{66} + A_{66})\ddot{\eta}_6 + B_{66}\dot{\eta}_6 = F_{6e}^{i\sigma t}.$$

Hệ (I) và (II) có thể giải được đối với các η_j nếu biết được các F_j và A_{jk}, B_{jk} .

Giả sử ta cho thế vận tốc của sóng điều hòa dưới dạng:

$$\Phi^* = \frac{igh}{\sigma} e^{-ik(x\cos\epsilon - y\sin\epsilon) - kz + i\sigma t} \quad (1.2)$$

trong đó: h - biên độ sóng điều hòa

σ - tần số sóng

ε - góc giữa hướng sóng điều hòa và trục Ox'

$k = \sigma^2/g$, g - gia tốc trọng trường.

Việc tìm các A_{jk} , B_{jk} đi đến việc giải 3 hàm thế vận tốc Φ_2, Φ_3, Φ_4 trong mỗi thiết diện $x = \text{const}$ thỏa mãn các điều kiện sau [2, 8]:

$$\begin{aligned} \Phi_j &= V_j \varphi_j(x, y) e^{i\sigma t}, \quad (j = \overline{2,4}); \\ V_2 e^{i\sigma t} &= \eta_2 + x\eta_3; \quad V_3 e^{i\sigma t} = \eta_3 - x\eta_5; \quad V_4 e^{i\sigma t} = \eta_4; \\ \Delta \Phi_j &= \Delta \varphi_j = \frac{\partial^2 \varphi_j}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi_j}{\partial y^2} = 0, \end{aligned} \quad (1.3)$$

trong miền chất lỏng $y < 0$

(ở đây ta đã chuyển ký hiệu $y \rightarrow x, z \rightarrow y$)

và các điều kiện biên như sau:

1. Điều kiện trên mặt tự do:

$$\frac{\partial \varphi_j}{\partial y} - \frac{\sigma^2}{g} \varphi_j = 0 \quad \text{trên } y = 0 \quad (1.4)$$

2. Điều kiện ở đáy:

$$\lim_{y \rightarrow -\infty} [\nabla \varphi_j] = 0 \quad (1.5)$$

3. Điều kiện trên phân ngáp dưới nước của thiết diện thân tàu:

$$n \cdot \nabla \varphi_j = n_j \quad (j = \overline{2,4});$$

$$n_2 = \cos(n, x); \quad n_3 = \cos(n, y); \quad n_4 = x \cos(n, y) - y \cos(n, x), \quad (1.6)$$

n - vec tơ pháp tuyến đơn vị của thiết diện ngáp nước thân tàu S .

4. Điều kiện ở vô cùng (tính duy nhất nghiệm của bài toán)

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \sqrt{r} \left(\frac{\partial \varphi_j}{\partial r} + ik \varphi_j \right) = 0, \quad r = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad (1.7)$$

theo Wehausen và Laiton [1], hàm thỏa mãn các điều kiện (1.3), (1.4), (1.5), (1.7) là:

$$\begin{aligned} G(z, \zeta) &= \frac{1}{2\pi} \operatorname{Re} \left[\log(z - \zeta) - \log(z - \bar{\zeta}) + 2P \cdot v \int_0^\infty \frac{e^{-ik(z - \bar{\zeta})}}{v - k} dk \right] - \\ &- i \operatorname{Re} [e^{-iv(z - \bar{\zeta})}] = G_1(z, \zeta) + iG_2(z, \zeta), \quad v = \sigma^2/g. \end{aligned} \quad (1.8)$$

ở đây:

$$z = x + iy; \quad \zeta = x_1 + iy_1.$$

Khi đó tìm φ_j dưới dạng

$$\varphi_j = \int_S Q_j(S) G(z, \zeta) dS, \quad (j = \overline{2,4}) \quad (1.9)$$

Cho thỏa mãn (1.6) ta thu được 3 cặp hệ 2 phương trình để tìm các phần thực và ảo của Q_2, Q_3, Q_4 :

$$\begin{aligned} \operatorname{Re}(n \cdot \nabla) \int_S Q_j(S) G(z, \zeta) dS &= n_j, \\ \operatorname{Im}(n \cdot \nabla) \int_S Q_j(S) G(z, \zeta) dS &= 0, \end{aligned} \quad (1.10)$$

$$z, \zeta \in S, \quad (j = \overline{2,4})$$

Giải (1.10) thu được Q_j và thay vào (1.9) tìm được φ_j . Giải (1.10) bằng cách chia S thành những đường gấp khúc $S_1US_2U \dots U_{S_n}$ (khi $n \rightarrow \infty : S_1US_2U \dots U_{S_n} \rightarrow S$). Trên mỗi S_i , coi $Q_j = \text{const}$. Sử dụng:

$$\text{Re}\{ (n \cdot \nabla) F(z) \} = -\text{Re}\{ -ie^{i\alpha} dF/dz \}$$

ở đây $n = -ie^{i\alpha}$, α - véctơ tiếp tuyến của S .

Khi đó (1.10) trở thành 3 cặp hệ 2 phương trình đại số tuyến tính tìm các $Q_j(i)$

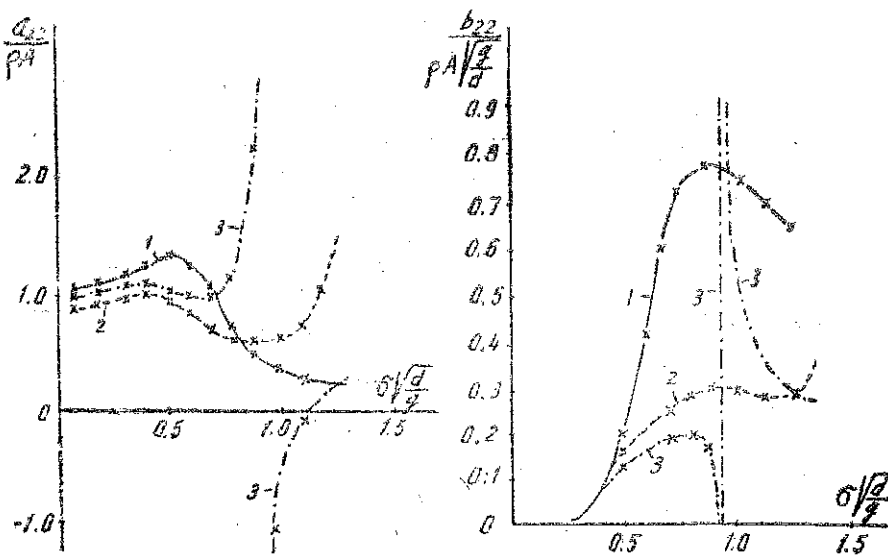
Việc tìm F_j cũng đi đến tìm 3 hàm φ_j^* ($j = 2, 4$) thỏa mãn các điều kiện (1.4) - (1.7) còn (1.3) được thay bằng phương trình

$$\frac{\partial^2 \varphi_j^*}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi_j^*}{\partial y^2} - \left(\frac{\sigma^2}{g} \cos \varepsilon \right)^2 \varphi_j^* = 0 \quad (1.3')$$

Ta thấy $\sigma^4/g^2 \ll 1$ nên có thể coi $\varphi_j^* \equiv \varphi_j$ [2]. Từ đó ta tìm được F_j ($j = 2, 6$) và thay vào hệ (I) - (II) ta tìm được 5 thành phần lắc η_j ($j = 2, 6$) với $\eta_j = \bar{\eta}_j e^{i\sigma t + i\alpha_j}$, trong đó $\bar{\eta}_j$, α_j là biên độ và độ lệch pha của η_j .

§ 2. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

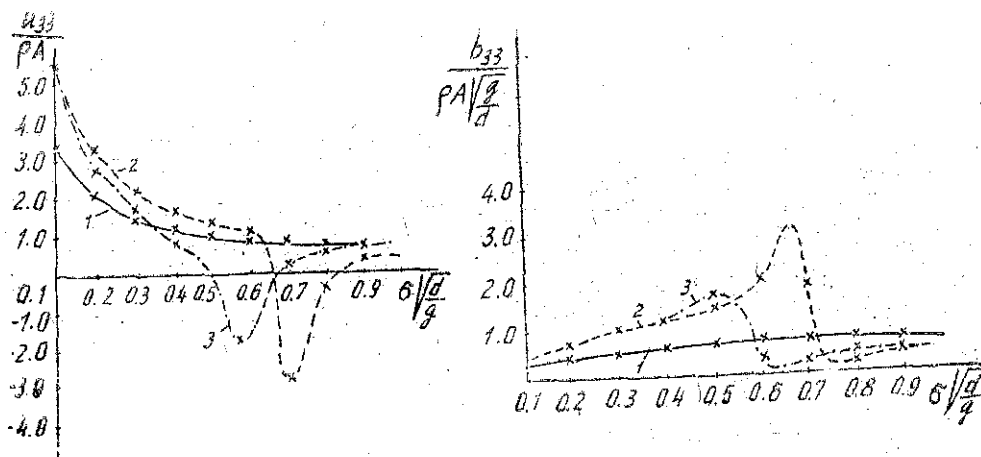
1. Đã thiết lập chương trình toán trên máy tính điện tử IBM 360/50 ở Trung tâm tính toán (Ủy ban kế hoạch nhà nước) để tính toán các hệ số khối lượng kèm và các hệ số rung cho trường hợp S là một nửa đường tròn có đường kính $2d$. Trên hình 1 và 2 là các kết quả trong [2, 3] và các dấu x là kết quả tính toán cho các hệ số a_{22} , b_{22} , a_{33} , b_{33} . Đối với các hệ số a_{44} , b_{44} , a_{24} , b_{24} kết quả cũng trùng nhau. Ở đây: 1 là kết quả tính toán cho tàu một thân, 2 và 3 là kết quả tính toán cho tàu hai thân có khoảng cách giữa 2 thân là $4d$ và $6d$; $A = \pi d^2 = 3,14d^2$. Có thể thấy kết quả nhận được là trùng hợp.



Hình 1

Khối lượng kèm đối với lắc ngang

Hệ số rung đối với lắc ngang



Hình 2

Khối lượng kèm đối với lắc thẳng đứng Hệ số rung đối với lắc thẳng đứng

2. Đã thiết lập bộ chương trình tính toán để tính 5 thành phần lắc của tàu hai thân theo kích thước trong [2]. Ma trận khối lượng được đưa vào trên giả thiết mật độ khối lượng phân bố đều. Tính toán với sóng điều hòa có biên độ $h = 4$ (m) và tần số $\sigma = 1,5$ giây cho hai trường hợp khi $\varepsilon = 0^\circ$, và $\varepsilon = 90^\circ$ đã cho một số kết quả định tính tốt. Cụ thể là

$$\text{— Khi } \varepsilon = 0^\circ: \bar{\eta}_2 = 0,08(\text{m}), \bar{\eta}_3 = 7,5(\text{m}), \bar{\eta}_4 = 2,7^\circ, \bar{\eta}_5 = 18^\circ, \bar{\eta}_6 = 1^\circ,$$

$$\alpha_2 = 180^\circ, \alpha_3 = 83^\circ, \alpha_4 = 0^\circ, \alpha_5 = 85^\circ, \alpha_6 = 180^\circ.$$

$$\text{— Khi } \varepsilon = 90^\circ: \bar{\eta}_2 = 1,27(\text{m}), \bar{\eta}_3 = 2,16(\text{m}), \bar{\eta}_4 = 15^\circ, \bar{\eta}_5 = 1,4^\circ, \bar{\eta}_6 = 2^\circ,$$

$$\alpha_2 = 0^\circ, \alpha_3 = -160^\circ, \alpha_4 = 180^\circ, \alpha_5 = -143^\circ, \alpha_6 = 180^\circ$$

§3. KẾT LUẬN

Phương pháp này có thể sử dụng cho bài toán chuyển động lắc của tàu hai thân trên sóng điều hòa biên độ nhỏ với việc coi thân tàu hai thân là mỏng. Khi giả thiết này không được thỏa mãn, ta cần phải nghiên cứu bằng cách khác, chẳng hạn như mô hình ba chiều.

Địa chỉ:

Nhận ngày 25/10/1984

Viện Cơ Viện KHVN

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. WEHAUSEN J. V. and LAITONE E. V. « Surface waves » Handbuck der physik (Encyclopedia of physics) Vol. 9 Springer - Verlag, Berlin, 446 - 778 p. 1960
2. Third annual offshore technology conference Vol. 2. « Prediction of wave - Induced motions and loads for catamaran » by NORDENSTROM N., FANTINSEN O...
3. FRANK W. « Oscillation of cylinders in or below the free surface of deep fluids ». Naval ship research and development centre, 1967.

(xem tiếp trang 20)