

# TÍNH SỨC CẢN VÀ CÔNG SUẤT YÊU CẦU CỦA TÀU HOẠT ĐỘNG Ở CHẾ ĐỘ NỒI (CHIẾM NƯỚC TOÀN PHẦN)

UNINSHIP

## MỞ ĐẦU

Hiện nay có nhiều phương pháp tính sức cản tàu nôi (hệ số  $F_n < 0,7$ ) được giới thiệu trong các tài liệu nghiên cứu khác nhau. Đặc điểm chung của các phương pháp đó là để có thể áp dụng, mẫu tàu cần tính sức cản phải có các thông số hình dáng và kích thước nằm trong phạm vi giới hạn của từng phương pháp. Điều này nhiều khi không được đáp ứng hoàn toàn, và làm hạn chế phạm vi lựa chọn thông số tàu khi thiết kế.

Để khắc phục hạn chế trên, các chuyên gia thiết kế tàu thuyền đã sử dụng phương pháp phân tích hồi quy kết quả thử nghiệm nhiều mô hình tàu khác nhau, từ đó đưa ra phương pháp gần đúng để tính sức cản của nhiều loại tàu khác nhau, không phụ thuộc nhiều vào phạm vi đặc điểm hình dáng và kích thước tàu thiết kế. Giải pháp này giúp cho các nhà thiết kế mở rộng phạm vi lựa chọn các thông số tàu, và cho thấy hiệu quả trong giai đoạn thiết kế sơ bộ. Một trong những kết quả phân tích hồi quy để xây dựng các biểu thức thực nghiệm áp dụng tính sức cản, và sau đó là công suất yêu cầu, trong giai đoạn thiết kế ban đầu được thực hiện bởi Holtrop, J. và Mennen, G.G.J. . Phương pháp này có thể áp dụng để tính sức cản và dự đoán công suất máy chính của hầu hết các loại tàu khác nhau hoạt động ở chế độ chiếm nước toàn phần. **UNINSHIP** tổng hợp và giới thiệu với các bạn đọc quan tâm về vấn đề này.

## I. TÍNH SỨC CẢN

Sức cản tổng của thân tàu được tính theo biểu thức:

$$R_T = R_F(1+k_1) + R_{APP} + R_W + R_B + R_{TR} + R_A \quad (1.1)$$

trong đó:

$R_F$  : Sức cản ma sát, tính theo công thức của ITTC-1957;

$1+k_1$  : hệ số hình dáng, biểu thị sức cản nhớt của dạng tàu theo mối quan hệ với  $R_F$ ;

$R_{APP}$  : sức cản của các phần phụ;

$R_W$  : Sức cản sóng (tạo sóng và phá sóng);

$R_B$  : Sức cản áp lực bổ sung của mũi quả lê gần mặt đường nước;

$R_{TR}$  : Sức cản áp lực bổ sung của phần vách đuôi ngập nước;

$R_A$  : sức cản hiệu chỉnh tàu-mô hình;

Hệ số  $1 + k_1$  có thể được tính theo công thức:

$$1 + k_1 = C_{13} \left\{ 0,93 + C_{12} (B/L_R)^{0,92497} (0,95 - C_p)^{-0,521448} (1 - C_p + 0,0225 \ell_{cb})^{0,6906} \right\} \quad (1.2)$$

Trong đó:

$C_p$ : hệ số lặn trụ;

$\ell_{cb}$  : vị trí dọc của tâm nổi tính từ  $0,5L$  ứng với  $L$ :  $\ell_{cb} = x_c/L$ ;

$L_R$  : Chiều dài phần tiếp nước của tàu khi đang chạy với tốc độ tương ứng, và được xác định theo biểu thức:

$$L_R / L = 1 - C_p + 0,06C_p \ell_{cp} / (4C_p - 1) \quad (1.3)$$

$$C_{12} = (T/L)^{0,2228446} \quad \text{khi } T/L > 0,05$$

$$C_{12} = 48,2(T/L - 0,02)^{2,078} + 0,479948 \quad \text{khi } 0,02 < T/L < 0,05;$$

$$C_{12} = 0,479948 \quad \text{khi } T/L < 0,02$$

T: mớn nước trung bình của tàu;

$$C_{13} = 1 + 0,003C_s$$

$$C_s = -10 \quad \text{với tàu đáy chữ V}$$

0 với tàu có mặt cắt ngang dạng bình thường;

10 với mặt cắt ngang dạng chữ U

Diện tích ướt thân tàu có thể được tính theo biểu thức:

$$S = L(2T + B)\sqrt{\beta}(0,453 + 0,4425\delta - 0,262\beta - 0,003467B/T + 0,3696\alpha) + 2,38A_{BT} / C_p; \quad (1.4)$$

$A_{BT}$  : diện tích mặt cắt ngang của quả lê tại vị trí mặt nước tĩnh giao với mũi tàu;

Sức cản phần phụ có thể xác định theo biểu thức:

$$R_{APP} = 0,5\rho V^2 S_{APP}(1+k_2)_{eq} C_F; \quad (1.5)$$

trong đó  $\rho$  là mật độ nước,  $V$  là tốc độ tàu,  $S_{APP}$  là diện tích ướt của phần phụ,  $1+k_2$  là hệ số sức cản phụ, và  $C_F$  là hệ số sức cản ma sát của tàu tính theo công thức của ITTC-1957.

Trong bảng dưới đây cho các giá trị sơ bộ của  $1+k_2$  đối với các phần phụ bố trí theo hướng dòng chảy. Các giá trị này có được từ kết quả thử nghiệm sức cản đối với các mô hình tàu có và không có phần phụ.

Giá trị xấp xỉ của  $1+k_2$

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| - Bánh lái phía sau sống đuôi tàu:    | 1,5 – 2,0 |
| - Bánh lái phía sau tàu (không có ky) | 1,3 – 1,5 |
| - Các bánh lái tàu hai chân vịt       | 2,8       |
| - Giá đỡ trục chân vịt                | 3,0       |
| - Ky lái                              | 1,5 – 2,0 |
| - Các phần lồi của thanh giằng        | 3,0       |
| - Các phần lồi của thân tàu           | 2,0       |
| - Trục chân vịt                       | 2,0 – 4,0 |
| - Vây giảm lắc                        | 2,8       |
| - Vòm sona                            | 2,7       |
| - Ky bụng                             | 1,4       |

Giá trị  $(1+k_2)_{eq}$  của tổng các phần phụ được tính theo biểu thức:

$$(1+k_2)_{eq} = \frac{\sum (1+k_2) S_{APP}}{\sum S_{APP}}; \quad (1.6)$$

Sức cản phần phụ có thể tăng lên do sức cản của phần lỗ khoét hàm trục mũi, sức cản hàm trục mũi tính theo biểu thức:

$$R_{BTO} = \rho V^2 \pi d^2 C_{BTO}; \quad (1.7)$$

trong đó  $d$  là đường kính hàm trục mũi;

Hệ số  $C_{BTO}$  nằm trong khoảng 0,003 – 0,012. Với các lỗ khoét trong phần hình trụ của quả lê, nên chọn giá trị bé hơn;

Sức cản sóng tính theo biểu thức:

$$R_w = C_1 C_2 C_5 \nabla \rho g \exp\{m_1 F_n^d + m_2 \cos(\lambda F_n^{-2})\}; \quad (1.8)$$

với:

$$C_1 = 2223105 C_7^{3,78613} (T/B)^{1,07961} (90 - i_E)^{-1,37565};$$

$$C_7 = 0,229577 (B/L)^{0,33333} \quad \text{khi } B/L < 0,11$$

$$C_7 = B/L \quad \text{khi } 0,11 < B/L < 0,25$$

$$C_7 = 0,5 - 0,0625 L/B \quad \text{khi } B/L > 0,25$$

$$C_2 = \exp(-1,89 \sqrt{C_3});$$

$$C_5 = 1 - 0,8 A_T / (B T \beta);$$

Trong các biểu thức trên,  $C_2$  là thông số gây ra sự giảm sức cản sóng do tác động của mũi quả lê. Tương tự,  $C_5$  biểu thị ảnh hưởng của vách lái đến sức cản sóng.  $A_T$  biểu thị diện tích phần chìm vách đuôi khi tàu đứng yên; Trong các biểu thức trên, diện tích ngang của các gờ đặt ở vách đuôi phải được tính vào.

$F_n$  là hệ số Froud dài. Các thông số còn lại được xác định như sau:

$$\lambda = 1,446 C_p - 0,03 L/B \quad \text{khi } L/B < 12;$$

$$\lambda = 1,446 C_p - 0,36 \quad \text{khi } L/B > 12;$$

$$m_1 = 0,0140407 L/T - 1,75254 \nabla^{1/3} / L - 4,79323 B/L - C_{16};$$

$$C_{16} = 8,07981 C_p - 13,8673 C_p^2 + 6,984388 C_p^3; \quad \text{Khi } C_p < 0,8$$

$$C_{16} = 1,73014 - 0,7067 C_p \quad \text{Khi } C_p > 0,8$$

$$m_2 = C_{15} C_p^2 \exp(-0,1 F_n^{-2})$$

$$C_{15} = -1,69385 \quad \text{Khi } L^3 / \nabla < 512;$$

$$C_{15} = -1,69385 + (L / \nabla^{1/3} - 8,0) / 2,36 \quad \text{Khi } 512 < L^3 / \nabla < 1727$$

$$C_{15} = 0 \quad \text{Khi } L^3 / \nabla > 1727$$

$$d = -0,9$$

$i_E$  : nửa góc vào nước, tính bằng độ; nếu chưa có số liệu chính xác, có thể tính  $i_E$  theo biểu thức sau:

$$i_E = 1 + 89 \exp\left\{- (L/B)^{0,80586} (1 - \alpha)^{0,30484} (1 - C_p - 0,0225 \ell_{cb})^{0,6367} (L_R/B)^{0,34574} (100 \nabla / L^3)^{0,16302}\right\}$$

Công thức này là kết quả của phân tích hồi quy hơn 200 dạng thân tàu, rút ra giá trị của  $i_E$  nằm giữa  $1^0$  và  $90^0$ .

Hệ số xác định ảnh hưởng của mũi quả lê đến sức cản sóng được tính như sau :

$$C_3 = 0,56A_{BT}^{1,5} / \{BT(0,31\sqrt{A_{BT}} + T_F - h_B)\}; \quad (1.9)$$

trong đó  $h_B$  là vị trí tâm của mặt cắt ngang mũi quả lê phía trên đường ki tàu,  $T_F$  là mớn nước mũi tàu;

Sức cản bổ sung do sự hiện diện của mũi quả lê được xác định theo biểu thức:

$$R_B = 0,11 \exp(-3P_B^{-2}) F_{ni}^3 A_{BT}^{1,5} \rho g / (1 + F_{ni}^2) \quad (1.10)$$

trong đó  $P_B$  là phạm vi phân nôi của mũi quả lê,  $F_{ni}$  là hệ số Froude theo phần chìm:

$$P_B = 0,56\sqrt{A_{BT}} / (T_F - 1,5h_B)$$

$$F_{ni} = V / \sqrt{g(T_F - h_B - 0,25\sqrt{A_{BT}}) + 0,15V^2}$$

Sức cản bổ sung do vách đuôi ngập nước được xác định theo biểu thức :

$$R_{TR} = 0,5\rho V^2 A_T C_6;$$

hệ số  $C_6$  phụ thuộc vào hệ số Froude theo chiều chìm vách đuôi, và xác định theo biểu thức :

$$C_6 = 0,2(1 - 0,2Fn_T) \quad \text{Khi } Fn_T < 5$$

$$C_6 = 0 \quad \text{Khi } Fn_T \geq 5$$

$$Fn_T = V / \sqrt{2gA_T / (B + B\alpha)};$$

Sức cản do sự sai khác giữa tàu thật và mô hình xác định theo biểu thức:

$$R_A = 0,5\rho V^2 S C_A;$$

$R_A$  được xem là biểu thị ảnh hưởng của độ nhám thân tàu và sức cản của không khí tĩnh. Từ phân tích kết quả thử tốc độ tàu, xây dựng công thức tính  $C_A$  như sau:

$$C_A = 0,006(L + 100)^{-0,16} - 0,00205 + 0,003\sqrt{L/7,58^4} C_2 (0,04 - C_4)$$

$$\text{với: } C_4 = T_F/L \quad \text{Khi } T_F/L \leq 0,04$$

$$C_4 = 0,04 \quad \text{Khi } T_F/L > 0,04$$

thêm vào đó,  $C_A$  cần phải được tăng thêm để tính đến ảnh hưởng của độ nhám thân tàu lớn hơn so với tiêu chuẩn. Để thực hiện điều này có thể sử dụng công thức ITTC 1978 để tính sự tăng của  $C_A$  đối với các giá trị độ nhám thân tàu cao hơn giá trị tiêu chuẩn  $k_s = 150\mu\text{m}$ , như sau :

$$\text{độ tăng của } C_A = (0,105k_s^{1/3} - 0,005579)/L^{1/3} \quad ;$$

trong công thức trên  $L$  và  $k_s$  tính bằng m ;

## II. XÁC ĐỊNH CÁC HỆ SỐ ĐẦY

Các công thức thống kê để xác định hệ số dòng theo, hệ số lực đẩy, hiệu suất xoáy như đã trình bày trong [1] có thể có một vài điều chỉnh. Với tàu một chân vịt có bố trí phía lái thông thường, có thể sử dụng công thức sau đây để tính hệ số dòng theo :

$$\omega = C_9 C_V \frac{L}{T_A} \left( 0,0661875 + 1,21756 C_{11} \frac{C_V}{1 - C_{P1}} \right) + 0,24558 \sqrt{\frac{B}{L(1 - C_{P1})} - \frac{0,09726}{0,95 - C_P} + \frac{0,11434}{0,95 - \delta}} + 0,75 C_S C_V + 0,02 C_S ;$$

Hệ số  $C_9$  xác định theo  $C_8$  như sau:

$$\begin{aligned} C_9 &= C_8 && \text{khi } C_8 < 28 \\ C_9 &= 32 - 16/(C_8 - 24) && \text{khi } C_8 > 28 \\ C_8 &= BS/(LDT_A) && \text{khi } B/T_A < 5 \\ C_8 &= S(7B/T_A - 25)/(LD(B/T_A - 3)) && \text{khi } B/T_A > 5 \\ C_{11} &= T_A/D && \text{khi } T_A/D < 2 \\ C_{11} &= 0,0833333(T_A/D)^3 + 1,33333 && \text{Khi } T_A/D > 2 \\ C_V &= (1 + k)C_F + C_A : \text{ hệ số sức cản nhớt;} \\ C_{P1} &= 1,45C_P - 0,315 - 0,0225\ell_{cb} ; \end{aligned}$$

Hệ số lực đẩy của tàu một chân vịt có vòm đuôi thông thường được xác định như sau:

$$\begin{aligned} t &= 0,001979L/(B - BC_{P1}) + 1,0585C_{10} - 0,00524 - 0,1418D^2/(BT) + 0,0015C_S \\ C_{10} &= B/L && \text{khi } L/B > 5,2 \\ C_{10} &= 0,25 - 0,003328402/(B/L - 0,134615385) && \text{khi } L/B < 5,2 \end{aligned}$$

Hiệu suất xoáy có thể tính theo công thức:

$$\eta_R = 0,9922 - 0,05908A_E/A_0 + 0,07424(C_P - 0,0225\ell_{cb}) ;$$

**Với các tàu thon, chạy nhanh, có thể tính các hệ số đầy tàu như sau:**

$$\begin{aligned} \omega &= 0,3\delta + 10C_V\delta - 0,1 \\ t &= 0,1 \\ \eta_R &= 0,98 \end{aligned}$$

Ảnh hưởng của độ béo và hệ số sức cản nhớt được biểu thị tương tự như công thức cơ bản của tàu hai chân vịt.

**Các công thức cơ bản của tàu hai chân vịt là:**

$$\begin{aligned} \omega &= 0,3095\delta + 10C_V\delta - 0,23D/\sqrt{BT} ; \\ t &= 0,325\delta - 0,1885D/\sqrt{BT} ; \\ \eta_R &= 0,9737 + 0,111(C_P - 0,0225\ell_{cb}) - 0,06325P/D ; \end{aligned}$$

### III. XÁC ĐỊNH HIỆU SUẤT CHÂN VỊT

Để xác định công suất đẩy yêu cầu, cần xác định hiệu suất chân vịt trong mặt nước mở. Điều kiện hữu là các đặc tính của hầu hết các chân vịt có thể xác định nhờ sử dụng kết quả thử nghiệm seri chân vịt. Trong [2] giới thiệu sự biểu diễn dưới dạng đa thức của hệ số lực đẩy và hệ số mô men đối với chân vịt thuộc seri B. Các đa thức này chỉ đúng khi hệ số Reynold là  $2 \times 10^6$ , và cần điều chỉnh đối với các hệ số Reynold khác, cũng như theo độ nhám của chân vịt thực. Khi đó hệ số lực đẩy và hệ số mô men được xác định như sau [3]:

$$K_{T\text{-ship}} = K_{T\text{-B-Series}} + \Delta C_D 0,3 \frac{PC_{0,75}Z}{D^2};$$

$$K_{Q\text{-ship}} = K_{Q\text{-B-Series}} + \Delta C_D 0,25 \frac{C_{0,75}Z}{D^2}$$

với: D: đường kính chân vịt;

$\Delta C_D$  : độ chênh lệch về hệ số lực cản của profile mặt cắt ngang, tính theo biểu thức:

$$\Delta C_D = (2 + 4(t/C)_{0,75}) [0,003605 - (1,89 + 1,62 \log(C_{0,75} / k_P))^{-2,5}]$$

P : bước chân vịt;

$C_{0,75}$ : chiều dài dây cung ở bán kính  $0,75R$ ; xác định theo biểu thức:

$$C_{0,75} = 2,073(A_E / A_0)D / Z$$

Z : số cánh chân vịt;

t/C : tỉ số chiều dày và dây cung; xác định theo công thức :

$$(t/C)_{0,75} = (0,0185 - 0,00125Z)D / C_{0,75}$$

$k_P$  : độ nhám bề mặt cánh chân vịt ; với chân vịt mới,  $k_P = 0,00003m$  ;

Tỉ số diện tích cánh  $A_E/A_0$  xác định theo công thức Keller như sau :

$$A_E/A_0 = K + (1,3 + 0,3Z)T/(D^2(p_0 + \rho gh + p_v))$$

Trong công thức trên, T là lực đẩy,  $p_0 + \rho gh$  là áp suất tĩnh ở đường tâm trục,  $p_v$  là áp suất hơi bão hoà, K là hằng số được chọn như sau :

$K = 0 - 0,1$  : đối với tàu hai chân vịt ;

$K = 0,2$  : đối với tàu một chân vịt ;

Với nước biển ở  $15^{\circ}C$ , giá trị của  $p_0 - p_v = 99047 \text{ N/m}^2$  ;

Các phương trình đã nêu trên phù hợp với hiệu suất hệ trục là

$$\eta_S = P_D/P_S = 0,99$$

Và ở điều kiện thử nghiệm lý tưởng :

- Không gió, không sóng ;
- Nước sâu với mật độ  $1025 \text{ kg/m}^3$  và ở nhiệt độ  $15^{\circ}C$
- Thân tàu và chân vịt sạch, với độ nhám bề mặt bằng giá trị tiêu chuẩn ;

Cuối cùng, công suất yêu cầu tại trục chân vịt được xác định theo biểu thức :

$$P_s = P_E / \left( \eta_R \eta_0 \eta_s \frac{1-t}{1-\omega} \right)$$

#### IV. VÍ DỤ MINH HOẠ

Các đặc tính làm việc của tàu một chân vịt được tính ở tốc độ 25hl/g. Thông số tàu cho trong bảng sau :

|                                  |                                     |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| Chiều dài đường nước :           | $L = 205\text{m}$ ;                 |
| Chiều dài hai trụ :              | $L_{PP} = 200\text{m}$ ;            |
| Chiều rộng lý thuyết :           | $B = 32\text{m}$                    |
| Mớn nước trụ mũi :               | $T_F = 10\text{m}$                  |
| Mớn nước trụ lái :               | $T_A = 10\text{m}$                  |
| Thể tích chiếm nước              | $\nabla = 37500\text{m}^3$          |
| Hoành độ tâm nổi:                | 2.02% về phía sau của $1/2L_{PP}$ ; |
| Diện tích mặt cắt ngang quả lê:  | $A_{BT} = 20\text{m}^2$ ;           |
| Vị trí tâm quả lê so với ki:     | $h_B = 4.0\text{m}$ ;               |
| Hệ số diện tích MCN              | $\beta = 0,98$                      |
| Hệ số diện tích MĐN              | $\alpha = 0,75$                     |
| Diện tích vách đuôi              | $A_T = 16\text{m}^2$ ;              |
| Diện tích ướt phần phụ           | $S_{APP} = 50\text{m}^2$ ;          |
| Thông số hình dáng phía lái      | $C_S = 10$                          |
| Đường kính chân vịt:             | $D = 8,0\text{m}$                   |
| Số cánh chân vịt:                | $Z = 4$                             |
| Khe hở giữa chân vịt với ky tàu: | 0,2m                                |
| Tốc độ tàu:                      | $V = 25\text{hl/h}$                 |

#### Kết quả tính toán như sau:

|   |                          |
|---|--------------------------|
| $F_n = 0,2868$                          | $F_{n_T} = 5,433$        |
| $C_P = 0,5833$                          | $R_{TR} = 0,00\text{kN}$ |
| $L_R = 81,385$                          | $C_4 = 0,04$             |
| $\ell_{cb} = -0,75\%$ (ứng với $0,5L$ ) | $C_A = 0,000352$         |
| $C_{12} = 0,5102$                       | $R_A = 221,98\text{kN}$  |
| $C_{13} = 1,03$                         | $R_T = 1793,26\text{kN}$ |
| $1+k_1 = 1,156$                         | $P_E = 23063\text{kW}$ ; |
| $S = 7381,45\text{m}^2$                 | $C_V = 0,001963$         |

$$C_F = 0,001390$$

$$R_F = 869,63\text{kN}$$

$$1+k_2 = 1,50$$

$$R_{APP} = 8,83\text{kN}$$

$$C_7 = 0,1561$$

$$i_E = 12,08^0$$

$$C_1 = 1,398$$

$$C_3 = 0,02119$$

$$C_2 = 0,7595$$

$$C_5 = 0,9592$$

$$m_1 = -2,1274$$

$$C_{15} = 1,69385$$

$$m_2 = -0,17087$$

$$\lambda = 0,6513$$

$$R_W = 557,11\text{kN}$$

$$P_B = 0,6261$$

$$F_{ni} = 1,5084$$

$$R_B = 0,049\text{kN}$$

$$C_9 = 14,5$$

$$C_{11} = 1,25$$

$$C_{P1} = 0,5477$$

$$\omega = 0,2584$$

$$C_{10} = 0,1561$$

$$t = 0,1747$$

$$T = 2172,75\text{kN}$$

$$A_E/A_0 = 0,7393$$

$$\eta_R = 0,9931$$

$$C_{0,75} = 3,065\text{m}$$

$$(t/C)_{0,75} = 0,03524$$

$$\Delta C_D = 0,000956$$

#### **Từ các đa thức của Series B:**

$$K_T = 0,18802$$

$$n = 1,6594 \text{ Hz}$$

$$K_{Q0} = 0,033275$$

$$\eta_0 = 0,6461$$

$$P_S = 32621\text{kW}$$

#### **Tài liệu tham khảo :**

- [1] Holtrop, J. and Mennen, G.G.J. 'A statistical power prediction method'. International Shipbuilding Progress, Vol. 25, October 1978 ;
- [2] Oosterveld, M.W.C. and Oossanen, P. van ; 'Further computer analyzed data of the Wageningen B-Screw Series '. International Shipbuilding Progress, July 1975 ;
- [3] Proceedings 15th ITTC, The Hague, 1978.