

NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ TÍNH NĂNG ĐI BIỂN CHO TÀU HÀNG HIỆN ĐẠI CHẠY BIỂN TRONG GIAI ĐOẠN ĐẦU THIẾT KẾ.

Complex estimation of seakeeping qualities on initial stage of ship design

ThS. LÊ THANH BÌNH
Khoa Đóng tàu, Trường ĐHHH

Tóm tắt

Nghiên cứu này tập trung giới thiệu phương pháp đánh giá tính năng đi biển cho tàu hàng chạy biển có hình dáng thân tàu hiện đại trong giai đoạn đầu thiết kế, chỉ với các kích thước cơ bản và độ béo chung.

Astract

Seakeeping characteristic – one of the most important factor of ship design – decides the effectiveness and safety of operating of ship at sea. Therefore, the possibility of taking seakeeping into consideration on early stage of ship design still remains an actual subject. The following work gives a simple method of estimation of seakeeping performance of ship, using four basic parameters: main dimensions (length, breadth, draught) and block coefficient.

1. Đặt vấn đề

Tính năng hành hải đóng vai trò rất quan trọng trong thiết kế tàu, nó quyết định đến điều kiện làm việc của các trang thiết bị trên tàu, điều kiện làm việc của đoàn thủy thủ, tính toán các kết cấu của tàu cũng như độ an toàn của tàu. Trước đây, việc thiết kế tàu dựa trên điều kiện đạt được vận tốc tính toán trên nước tĩnh với công suất tiêu thụ nhỏ nhất. Những điều kiện hoạt động của tàu trên biển được tính đến thông qua hệ số *dự trữ công suất* cho trường hợp tàu gặp sóng, bão. Ngoài ra tính năng đi biển cũng được đánh giá gián tiếp thông qua *chu kỳ lắc ngang tự do*, và *biên độ lắc ngang* của tàu. Như vậy, mặc dù tàu được thiết kế để chạy trong thời tiết sóng biển khắc nghiệt nhưng những yếu tố đó mới chỉ được tính toán một cách tương đối.

Hiện nay, tính năng đi biển của tàu có thể được tính toán bằng nhiều chương trình máy tính, hoặc bằng các số liệu thử mô hình. Tính hiệu quả của các chương trình đó phụ thuộc vào chất lượng của mô hình toán học được sử dụng để tính toán. Những chương trình đó thường lớn và phức tạp, ngay cả với những nhà thiết kế được đào tạo để sử dụng nó. Với thử mô hình thì chỉ có thể thực hiện khi đạt đến giai đoạn cuối của thiết kế khi đã có đầy đủ các thông số hình dáng thân tàu và giá thành cao. Chính vì vậy việc xây dựng một phương pháp đơn giản hơn để đánh giá các tính năng hàng hải của tàu trong giai đoạn đầu thiết kế là rất cần thiết.

2. Nội dung

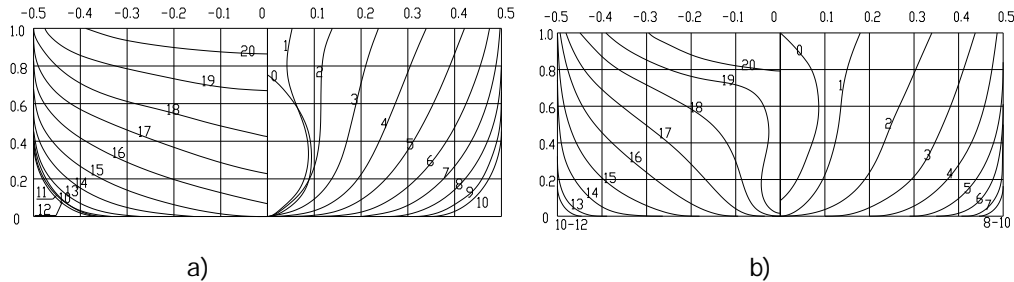
Nghiên cứu này cố gắng thiết lập một phương pháp đánh giá tính năng đi biển cho tàu hàng chạy biển có hình dáng thân tàu hiện đại trong giai đoạn đầu thiết kế, chỉ với các kích thước cơ bản và hệ số béo chung. Sự ảnh hưởng của một số các yếu tố hình dáng khác của tàu như: vị trí tương đối của tâm nổi L_{CB} , tọa độ trọng tâm đường nước L_{Xf} , bán kính quán tính tương đối $k_{yy} = i/L$ không được xét đến trong nghiên cứu này mà có thể sử dụng những nghiên cứu của những học giả khác [2], [3]. Những nghiên cứu đó cũng cho thấy rằng ảnh hưởng của những yếu tố trên đến một số tính năng hành hải là không đáng kể, đặc biệt là biên độ chòng chành, vận tốc, gia tốc của các điểm dọc theo chiều dài tàu. Nhằm phục vụ cho tính toán thì các yếu tố trên được chọn như sau: qua thống kê cho thấy đa số tàu khai thác có $k_{yy} = 0.24 \div 0.245$, chọn bằng 0.24.

L_{CB} , L_{Xf} - nhận giá trị từ tuyến hình mẫu để xây dựng lên se-ri tính toán và chúng khác nhau cho mỗi giá trị của C_B .

2.1. Xây dựng mô hình tính toán

Đối tượng nghiên cứu là tàu hàng chạy biển có tỉ lệ kích thước chính $L/B=5.5, 7.0, 8.5$, $B/T=2.0, 3.0, 4.0$ và $C_B= 0.55 - 0.85$ (bước là 0.05). Đối với mỗi giá trị C_B , một tuyến hình mẫu

dưới dạng không thứ nguyên được sử dụng để xây dựng tuyến hình cho các tỉ lệ kích thước L/B, B/T sao cho phù hợp nhất đối với mỗi loại tàu: tàu hàng khô, tàu container, Ro-Ro, tàu dầu... – ví dụ: xem hình 1. Ta có được một se-ri gồm 72 tàu.



Hình 1. Tuyến hình tàu hàng.

a) Tàu hàng có $C_B=0.65, B/T=3.0$

b) Tàu hàng có $C_B=0.75, B/T=3.0$

Các tính toán sử dụng hệ thống chương trình “KACHKA” viết trên nền ngôn ngữ lập trình FORTRAN được Đảng kiểm Nga chấp nhận. Kết quả tính toán bao gồm các thông số sau: biên độ lắc dọc, biên độ lắc đứng; tốc độ tương đối, tuyệt đối trên các mặt cắt lý thuyết 0, 5, 10, 15, 20 và gia tốc tuyệt đối trên các mặt cắt 1, 2, 3, 4, 20 của một điểm, sức cản bổ sung và moment uốn trên sóng. Tính toán được thực hiện với góc tới của sóng 180 độ, cho 6 giá trị $Fn = 0.10 - 0.30$ (bước 0.05), với các cấp độ biển lần lượt là $S = \frac{h_{1/3}}{L} = 0.015, 0.020, 0.025, 0.030, 0.040, 0.05, 0.075, 0.100$. (Trên đây cấp biển sử dụng chiều cao sóng $h_{1/3}$ để thuận lợi cho việc so sánh kết quả với các số liệu trong nghiên cứu của tác giả Loukakis)

Phổ sóng sử dụng – phổ sóng II-ITTC

$$S_{\xi}(\omega) = 0,01 \cdot \bar{\tau} \cdot h_{3\%}^2 \cdot \left(\frac{\omega}{\bar{\omega}}\right)^{-5} \cdot \exp\left[-0,44 \cdot \left(\frac{\omega}{\bar{\omega}}\right)^{-4}\right] \quad (1)$$

Trong đó:

$$\bar{\tau} = 2\pi \frac{h_{3\%}^{0,4}}{1,74} \quad \text{- chu kì}$$

trung bình của sóng, c.

$$h_{3\%} = 1,32 h_{1/3} \quad \text{- độ cao}$$

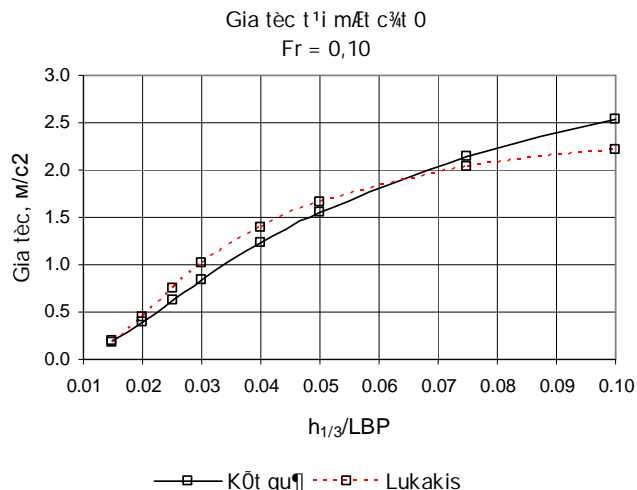
sóng 3%, m.

$\bar{\omega}$ – tần số sóng.

$\bar{\omega} = 2\pi \cdot \bar{\tau}$ - tần số trung bình của phổ sóng.

2.2. Xử lý và so sánh kết quả

Kết quả tính toán được so sánh với tính toán do tác giả Loukakis thực hiện cho các tàu Se-ri 60, gồm các tàu hàng có hình dáng thân tàu phổ biến trong những năm 60. (Hình 2, 3, 5, 6)



Hình 2. So sánh gia tốc tại đường vuông góc mũi cho tàu có $C_B=0.70, L/B=5.5, B/T=2$.

a) Xử lý kết quả

Kết quả tính toán thu được “độ lệch chuẩn” σ – standard, có đơn vị là đơn vị của quá trình tính toán – trừ trường hợp của góc chúi và lực cản bổ sung, được chuyển về dạng giá trị không thứ nguyên theo công thức sau:

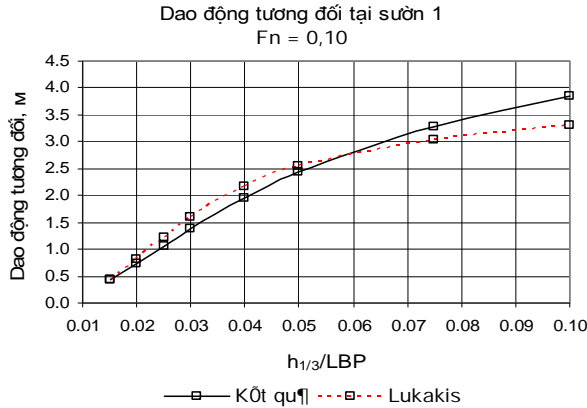
$$\begin{cases} \zeta = 10^4 \sigma_\zeta / L \\ M_{BM} = 10^7 \sigma_{M_{BM}} / \rho g L^4 \\ t' = 10^4 \sigma_{t'} / L \\ v' = 10^4 \sigma_{v'} / \sqrt{gL} \\ a' = 10^4 \sigma_{a'} / g \end{cases} \quad (2)$$

Trong đó: $-\zeta, M_{BM}, t', v', a'$ - tương ứng là biên độ lắc đứng, moment uốn tại mặt phẳng giữa tàu, chuyển động tương đối, vận tốc tương đối và gia tốc.

$-\sigma_\zeta, \sigma_{M_{BM}}, \sigma_{t'}, \sigma_{v'}, \sigma_{a'}$ - tương ứng là độ lệch chuẩn của biên độ lắc đứng, moment uốn, chuyển động tương đối, vận tốc tương đối và gia tốc.

Với việc đưa các giá trị chuẩn của mỗi quá trình và cấp độ sóng $S = \frac{h_{1/3}}{L}$ về dạng không thứ nguyên giúp chúng ta có thể sử dụng những kết quả này cho một tàu có chiều dài L bất kì.

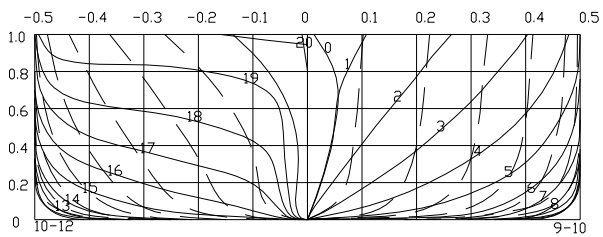
Kết quả được lưu dưới dạng bảng giá trị không thứ nguyên của mỗi quá trình. Mỗi bảng tương ứng với một giá trị của 3 thông số hình dáng sau $C_B, L/B$ và B/T .



Hình 3. So sánh chuyển động tương đối tại sườn lý thuyết số 1 cho tàu có $C_B=0.70, L/B=5.5, B/T=2$.

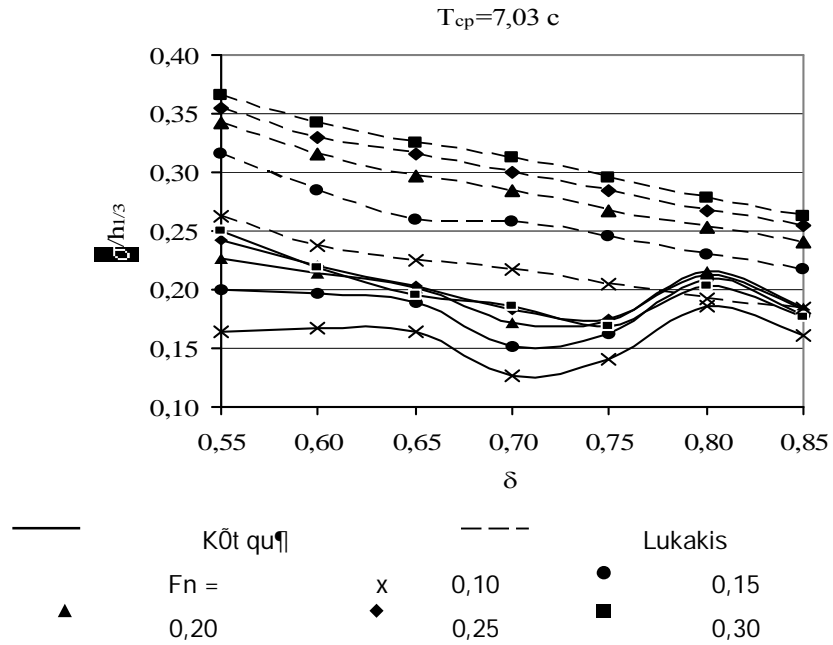
b) So sánh kết quả

Có thể thấy kết quả có sai khác nhưng lý giải cho điều này là sự khác nhau khá lớn về hình dáng thân tàu giữa những tàu Se-ri 60 và tàu hàng hiện đại (Hình 4). Mặc dù sử dụng các phương pháp khác nhau để tính toán các tính năng hành hải của tàu nhưng sai số kết quả của 2 phương pháp trên là khá tốt và có thể áp dụng vào việc đánh giá sơ bộ tính năng hành hải của tàu trong giai đoạn đầu thiết kế.

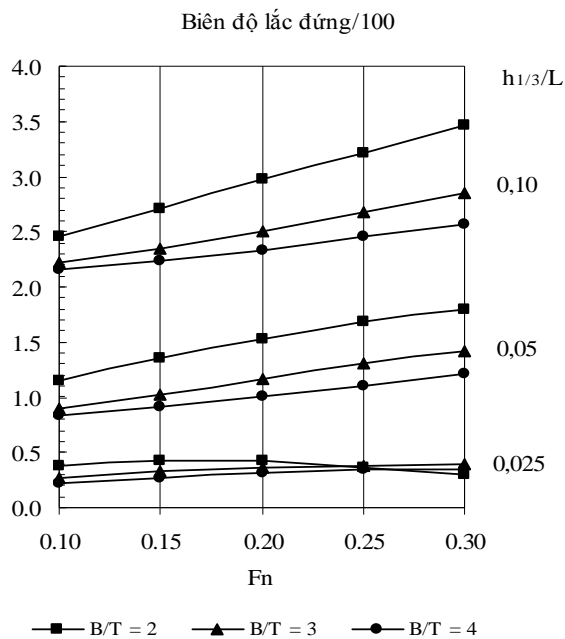


Hình 4. So sánh hình dáng thân tàu $C_B=0.70, B/T=3.0$ (nét đứt - Se-ri 60)

Phân tích các kết quả và bằng cách lập đồ thị ta có thể thấy rõ tính chất ảnh hưởng của từng thông số hình dáng tàu lên tính năng hành hải một cách trực quan và giúp chúng ta có những lựa chọn và điều chỉnh hợp lý trong quá trình thiết kế tàu. Các ví dụ sau đây cho thấy ảnh hưởng của C_B , L/B , B/T lên tính năng hành hải của tàu.



Hình 5. Ảnh hưởng của C_B lên biên độ lắc đứng của tàu tại $h_{3\%} = 5.28 \text{ m}$, chu kỳ sóng trung bình $T = 7.03\text{s}$.
(Đường nét đứt là kết quả tính cho Series 60)



Hình 6. Ảnh hưởng của B/T lên biên độ lắc đứng của tàu ($C_B=0.70$ và $L/B=5.5$)

3. Tính ứng dụng

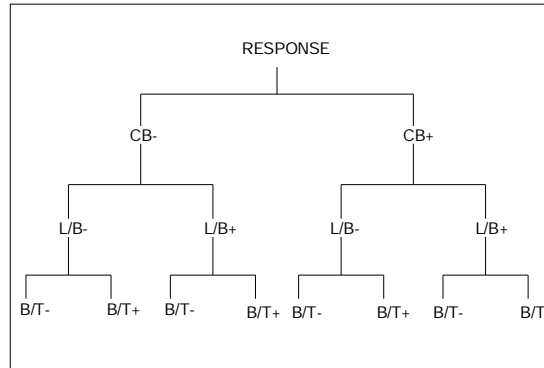
Để tính toán các yếu tố tính năng đi biển cho một tàu có tỉ lệ kích thước và hệ số béo C_B ta nội suy theo sơ đồ hình 5, lần lượt các bước nội suy theo B/T, đến L/B và cuối cùng theo C_B .

Công thức nội suy tuyến tính như sau:

$$R = R_{i-1}^- + (R_{i-1}^+ - R_{i-1}^-) \left(\frac{X - X^-}{X^+ - X^-} \right) \quad (3)$$

Nguyên tắc nội suy parabol được khuyến áp dụng đối với việc tính toán gia tốc, vận tốc theo công thức sau:

$$Y = \frac{(X - X_1)(X - X_2)}{(X_0 - X_1)(X_0 - X_2)} Y_0 + \frac{(X - X_0)(X - X_2)}{(X_1 - X_0)(X_1 - X_2)} Y_1 + \frac{(X - X_0)(X - X_1)}{(X_2 - X_0)(X_2 - X_1)} Y_2 \quad (4)$$



Hình 5. Sơ đồ nội suy.

Trong đó kí hiệu “-” và “+” thể hiện cận dưới và cận trên của giá trị nội suy.

Tính toán cho hết 72 tàu của se-ri tính toán ta có thể xác định một tính năng bất kì của tàu trong mọi điều kiện sóng biển, tốc độ... Từ đó có những đánh giá về tính năng hành hải của tàu.

4. Đánh giá tính năng hàng hải của tàu

4.1. Các tiêu chuẩn đánh giá tính năng hàng hải của tàu

Để đánh giá an toàn của tàu trước hết phải xây dựng một hệ thống tiêu chuẩn. Một trong số đó là đánh giá độ an toàn và tính năng hành hải của tàu theo các tiêu chuẩn về xác suất tràn nước lên boong, gia tốc giới hạn, slamming và hiện tượng nhô của cánh chong chóng trên mặt nước.

Rất nhiều kết quả tính toán, đo và thống kê sóng cho thấy tung độ của sóng phân bố theo định luật phân bố chuẩn:

$$f(\zeta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_\zeta}} \exp\left(-\frac{(\zeta - \bar{\zeta})^2}{2D_\zeta}\right) \quad (5)$$

$$F(\zeta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_\zeta}} \int_{-\infty}^{\zeta} \exp\left(-\frac{(\zeta - \bar{\zeta})^2}{2D_\zeta}\right) d\zeta \quad (6)$$

Tung độ trung bình của sóng $\bar{\zeta} = 0$, vì vậy phân bố tung độ sóng đối xứng qua $\zeta = 0$ và được xác định hoàn toàn bởi giá trị D_ζ .

Thay $\bar{\zeta} = 0$ vào (5) và (6), ta có:

$$f(\zeta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_\zeta}} \exp\left(-\frac{\zeta^2}{2D_\zeta}\right) \quad (7)$$

$$F(\zeta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_\zeta}} \int_{-\infty}^{\zeta} \exp\left(-\frac{\zeta^2}{2D_\zeta}\right) d\zeta \quad (8)$$

Từ công thức (8) ta có xác suất để xảy ra một hiện tượng là:

$$P = 1 - F(x) = \exp\left(-\frac{f^2}{2D_x}\right) \quad (9)$$

Trong đó: f – giá trị của quá trình đầu ra dưới tác dụng của sóng.

D_x - phương sai của quá trình.

Cho $d_x = \frac{D_x}{h_{3\%}^2}$ - phương sai đơn vị của quá trình với độ cao sóng bằng 1 đơn vị.

Thay vào công thức (9) ta có:

$$P = 1 - F(x) = \exp\left(-\frac{f^2}{2d_x h_{3\%}^2}\right) \quad (10)$$

Do chiều cao sóng phân bố theo định luật phân bố chuẩn nên các quá trình gây ra bởi sóng (Ví dụ: các dao động tuyến tính, vận tốc, gia tốc của các điểm trên tàu khi tàu chong chong do sóng) cũng có thể coi là tuân theo định luật này. Kết luận này cho phép chúng ta đánh giá xác suất tràn nước lên boong, gia tốc giới hạn, slamming và xác suất hiện tượng nhô của cánh chong chong trên mặt nước. Trong trường hợp này giá trị f trong công thức (10) được thay tương ứng bằng chiều cao mạn khô có ích (có tính đến chiều cao sóng mũi) tại đường vuông góc mũi đối với boong ngập nước, giá trị của gia tốc giới hạn, mớn nước tại mặt cắt lý thuyết số 2 (do hiện tượng slamming thường xảy ra nhất tại mặt cắt này) đối với hiện tượng slamming và khoảng cách từ mặt cắt 1/3 đường kính chong chong đến đường nước tại vị trí đặt chong chong đối với hiện tượng của mép cánh chong chong trên mặt nước.

4.2. Ứng dụng các kết quả tính toán trong thực tế thiết kế

Một số trong những thông tin thêm rất quan trọng về tính năng hành hải của tàu mà ta có thể rút ra bao gồm:

- a) Tính chong tràn và hiện tượng nhô của cánh chong chong trên mặt nước: Tần số xuất hiện của các hiện tượng trên có thể được tính bằng công thức sau:

$$N = \frac{3600}{2\pi} \exp\left(-\frac{f^2}{A_{rm}^2}\right) \left[\frac{m_{0(rv)}}{m_{0(rm)}}\right]^{1/2} \quad (\text{lần/h}) \quad (11)$$

trong đó: f – chiều cao mạn khô hiệu quả tại mặt cắt đó hoặc khoảng cách từ mớn nước đến mặt cắt 1/3 đường kính chong chong.

$m_{0(rm)}$, $m_{0(rv)}$ – độ lệch chuẩn biên độ dao động tương đối và tốc độ tương đối của điểm được xét.

$$\bar{A}_{rm} = 2m_{0(rm)}$$

- b) Hiện tượng Slamming: tần số xuất hiện của slamming được tính theo công thức sau:

$$N = \frac{3600}{2\pi} \exp\left(-\frac{f^2}{\bar{A}_{rm}^2} + \frac{V_{cr}^2}{A_{rv}^2}\right) \left[\frac{m_{0(rv)}}{m_{0(rm)}}\right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{lçn/h}) \quad (12)$$

trong đó: f – mớn nước tại mặt cắt tính toán, m

$$\bar{A}_{rm} = 2m_{0(rv)}$$

V_{cr} – tốc độ tới hạn - tốc độ tại đó mà xác suất xảy ra slamming lớn nhất.

Ví dụ: tiêu chuẩn đánh giá độ an toàn cho tàu theo tiêu chuẩn xác suất ngập boong (P_W) là xác suất xảy ra không lớn hơn 7%, theo tiêu chuẩn hiện tượng nhô của cánh chong chóng trên mặt nước (P_{PR}) là không lớn hơn 25%, theo tiêu chuẩn slamming (P_{SL}) là không lớn hơn 3%.

Sử dụng các tiêu chuẩn đánh giá an toàn hàng hải của tàu và công thức (10), chiều cao sóng $h_{3\%}$ giới hạn có thể tính được theo công thức sau:

$$h_{3\%} = \frac{f}{\sqrt{-2d_x \ln P}} \quad (13)$$

với P - xác suất giới hạn.

Công thức (13) giúp chúng ta xây dựng đồ thị chiều cao sóng $h_{3\%}$ giới hạn giúp khai tàu an toàn trong các điều kiện sóng biển khác nhau.

5. Các hạn chế và kết luận

Phân tích các kết quả cuối cùng cho thấy còn nhiều vấn đề cần tập trung xem xét như:

- Cần tập trung nghiên cứu cho từng loại tàu riêng rẽ, có tuyến hình gần tương đương nhau, các thông số hình dáng như L_{CB} , L_{Xf} , k_{yy} thay đổi một cách hệ thống. Đồ thị ảnh hưởng của hệ số béo chung và tỉ lệ kích thước chính cho thấy ảnh hưởng của hình dáng thân tàu lên các tính năng hành hải của tàu, thể hiện trên đồ thị có hình dạng sóng và các cực trị. Nếu được thực hiện cho một loại hình dáng thân tàu riêng khi đó các đồ thị sẽ có dạng tuyến tính. Như vậy việc áp dụng phương pháp nội suy sẽ cho ra kết quả chính xác hơn.

- Cấp độ sóng được giới hạn lớn nhất là $S=0.10$ tương ứng với tàu có chiều dài $L=100m$ sẽ gần như không hoạt động được trên sóng cao trên 10m. Nhưng điều này không thật đúng cho các tàu có chiều dài tương đối ngắn như tàu cá, tàu kéo... với chiều dài khoảng 20m đến 30m vẫn dễ dàng vượt qua sóng cao 2 - 3m.

- Đề có được cơ sở dữ liệu đầy đủ hơn trong tính toán và đánh giá tính năng hàng hải của tàu cần tính cho các góc tới của sóng từ 0 đến 180 độ (bước của góc tới 30 độ).

- Phổ sóng sử dụng để tính toán có thể ảnh hưởng đến kết quả tính toán. Do vậy để chính xác hơn sẽ cần sử dụng đến các kết quả nghiên cứu tại các vùng biển khác nhau.

Với việc tính toán đầy đủ các thông số tính năng hàng hải của se-ri tàu, sử dụng phương pháp nội suy theo sơ đồ hình 5 và các tiêu chuẩn đánh giá tính năng đã nêu trên cho phép đánh giá sơ bộ tính năng hàng hải của tàu một cách nhanh chóng và đơn giản ngay trong giai đoạn đầu thiết kế, giúp cho các nhà thiết kế có được đánh giá tổng thể trước khi quyết định lựa chọn các thông số hình dáng của tàu. Một phần giúp làm giảm sai sót trong quá trình thiết kế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] “Sổ tay lý thuyết tàu”. NXB Leningrad 1985, tập 1.
- [2] Theodore A.Loukakis “Seakeeping standard series for cruiser-stern ships” M.I.T. Report.
- [3] D.I.Moor “Goemetry of forms and variation of resistance with block coefficient and longitudinal centre of buoyancy” M.I.T. Report, 1961.
- [4] D.I.Moor “Motion and propulsion of single screw models in head seas” Part I, M.I.T. Report, 1967.

- [5] D.I.Moor *“Motion and propulsion of single screw models in head seas”* Part II, M.I.T. Report, 1970.
- [6] J.M. Guliev, I.F. Davidov *“Practical estimation of safe ship speed in waves”*, Odessa Institute of Marine Engineers.

Người phản biện: PGS.TS. Lê Hồng Bang
