ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP CÁC ĐIỂM KÌ DỊ ĐỂ TÍNH TOÁN SỨC CẢN SÓNG CỦA TÀU THỦY

A SINGULARITY METHOD APPLIED FOR SHIP WAVE RESISTANCE CALCULATION

NGUYỄN MẠNH HƯNG, NGÔ VĂN HỆ, LÊ QUANG
Trường Đại Học Bách Khoa - Hà Nội

Tóm tắt

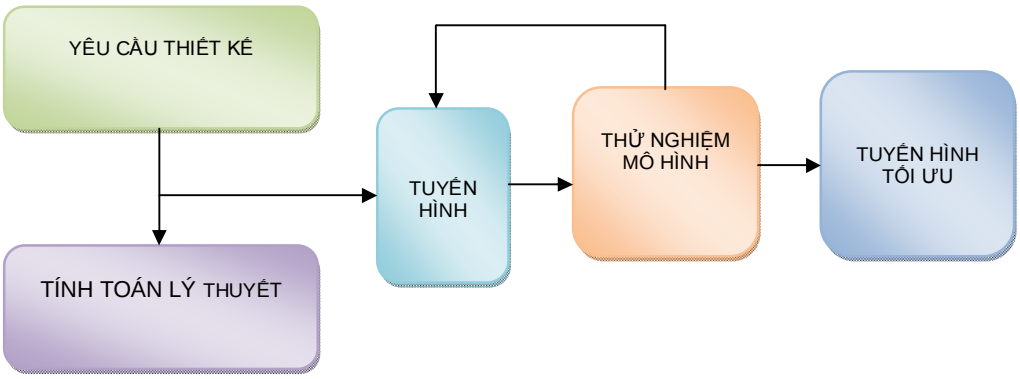
Nghiên cứu tính sức cản tối ưu hình dáng tàu là một yêu cầu cần thiết trong tính toán thiết kế tàu thủy. Việc xác định đầy đủ các thành phần sức cản thân tàu khi chuyển động là rất phức tạp. Để thuận tiện người ta có thể phân chia sức cản theo các nguyên nhân gây ra nó. Bài viết này, giới thiệu một phương pháp tính toán và khảo sát sức cản sóng của tàu thủy. Ứng dụng phương pháp này để tính, khảo sát đáp ứng của tàu và tối ưu hình dáng cho tàu thiết kế.

Abstract

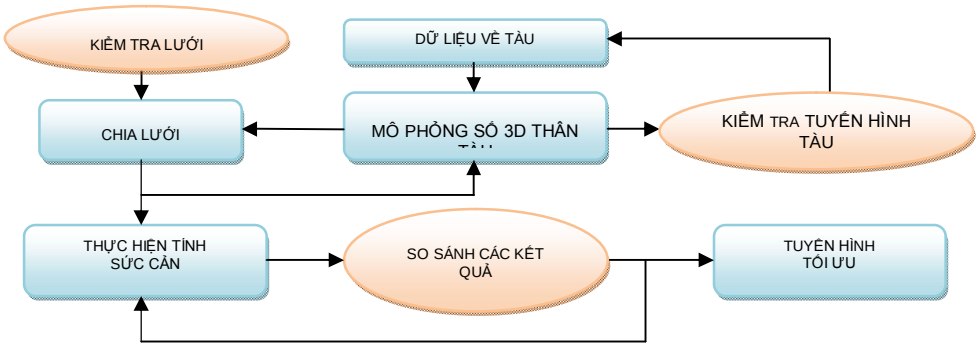
A study regarding the optimal shape of resistance vessels is an essential requirement in the ship design. Determining the full composition hull resistance is very complex. Subjects in research to facilitate one can divide the resistance by the cause it. The paper presents a methodology and survey of the wave resistance of ship. Application of Singularity method to calculate, survey and optimal shape for ship design.

1. Giới thiệu chung

Việc nghiên cứu và thiết lập ra một phương pháp tính, một chương trình tính sức cản có độ chính xác cao, thuận tiện và nhanh cũng như sử dụng dễ dàng cho người thiết kế là cần thiết. Bài viết giới thiệu phương pháp điểm kỳ dị ứng dụng để tính sức cản sóng tàu thủy. Bằng phương pháp này có thể sử dụng để khảo sát sự thay đổi của sức cản theo hình dáng tàu khác nhau, từ đó tối ưu hình dáng tàu.



Hình 1.1. Sơ đồ thiết kế tuyến hình tàu.

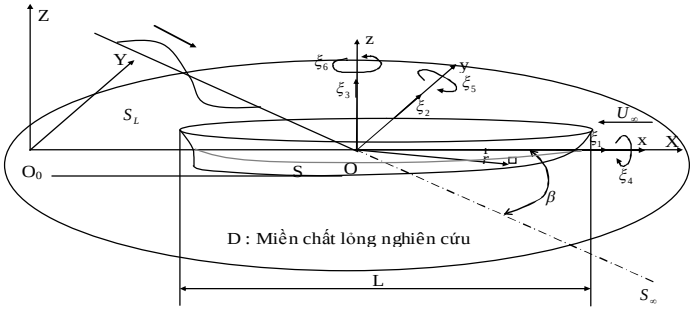


Hình 1.2. Sơ đồ tính toán sức cản tàu và tối ưu hình dáng.

2. Các phương trình cơ bản

Giả thiết về trường chất lỏng nghiên cứu: chất lỏng không nén được, chất lỏng không nhớt và chuyển động của dòng chất lỏng không có xoáy.

Hệ trục tọa độ sử dụng: gồm các hệ trục tọa độ cố định O_0XY, Oxyz gắn với tàu, [1]. (*hình 2.1*)



Hình 2.1. Các hệ trục tọa độ khảo sát.

Thế vận tốc và áp suất tương ứng của các điểm nghiên cứu trên bề mặt vỏ tàu có thể phân tích thành các thành phần tác dụng khác nhau như sau, [1,2]:

$$\Phi(\vec{x},t) = \Phi_s(\vec{x}) + \Phi_t(\vec{x},t) = -U_\infty x + \overline{\Phi}(\vec{x}) + \Phi_t(\vec{x},t) \tag{2.1}$$

$$\tilde{p}(\vec{x},t) = \bar{p}(\vec{x}) + p_t(\vec{x},t)$$

Trong chuyển động của tàu nghiên cứu bao gồm các chuyển động khác nhau. Ta có thể phân tích thế vận tốc theo các thành phần gây ra:

$$\Phi(\vec{x})e^{i\omega t} = [\Phi_r(\vec{x}) + \Phi_w(\vec{x}) + \Phi_d(\vec{x})]e^{i\omega t} =$$

$$= [\sum_{j=1}^{6} \xi_j \Phi_{rj}(\vec{x}) + \Phi_w(\vec{x}) + \Phi_d(\vec{x})]e^{i\omega t} \tag{2.2}$$

Phương trình Laplace:

$$\nabla^2\Phi(\vec{x},t) = \frac{\partial^2\Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\Phi}{\partial z^2} = 0 \tag{2.3}$$

Phương trình Bernoulli:

Trong hệ trục tọa độ Oxyz phương trình Bernoulli được phát triển bởi Taylor viết dưới dạng [2]:

$$p = \left[p_a - \rho g z + \rho \frac{U_\infty^2}{2} - \rho \frac{(\nabla \Phi_s)^2}{2} - \rho \nabla \Phi_s \nabla \Phi_t - \rho \frac{\partial \Phi_t}{\partial_t} + \rho \overrightarrow{P_0 P}.\nabla_t \left(\frac{(\nabla \Phi_s)^2}{2} \right) - \rho g (z - z_0) \right] \quad (2.4)$$

Các điều kiện biên và giới hạn bài toán [1]:

Điều kiện trượt:

$$\nabla \Phi . \vec{n} = (\vec{x} + \vec{\theta} \wedge \overrightarrow{GP}) n \quad (2.5)$$

Điều kiện trên bề mặt thoáng: $\left[\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} - 2U_\infty \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t \partial x} + U_\infty^2 \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + g \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right]_{z=0} = 0$

$$\zeta(\vec{x}, t) = -\frac{1}{g} \left[\frac{\partial \Phi}{\partial z} - U_\infty \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right]_{z=0} \quad (2.6)$$

Điều kiện giới hạn và xác định:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t}(\vec{x}, -\infty) = 0; \Phi(x,t) = \lim_{\varepsilon \to 0^+} (\Phi(x) e^{\varepsilon t} e^{i \omega t}); \lim_{z \to \infty} \frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0 \quad (2.7)$$

3. Phương pháp giải và phương trình tính toán

Hàm thế vận tốc kể đến các yếu tố khảo sát và các điều kiện được xác định:

$$\Phi(M) = -\frac{1}{4\pi} \left[\iint_S \frac{\partial \Phi(M')}{\partial n_{M'}} G(M, M') dS_{M'} + \iint_{S_L} \frac{\partial \Phi(M)}{\partial n_{M'}} G(M, M') dS_{M'} + \iint_{S_\infty} \frac{\partial \Phi(M)}{\partial n_{M'}} G(M, M') dS_{M'} \right]$$
$$+ \frac{1}{4\pi} \left[\iint_S \frac{\partial \Phi(M')}{\partial n_{M'}} G(M, M') dS_{M'} + \iint_{S_L} \frac{\partial \Phi(M)}{\partial n_{M'}} G(M, M') dS_{M'} + \iint_{S_\infty} \Phi(M') G(M_0 M) dS_{M'} \right]$$

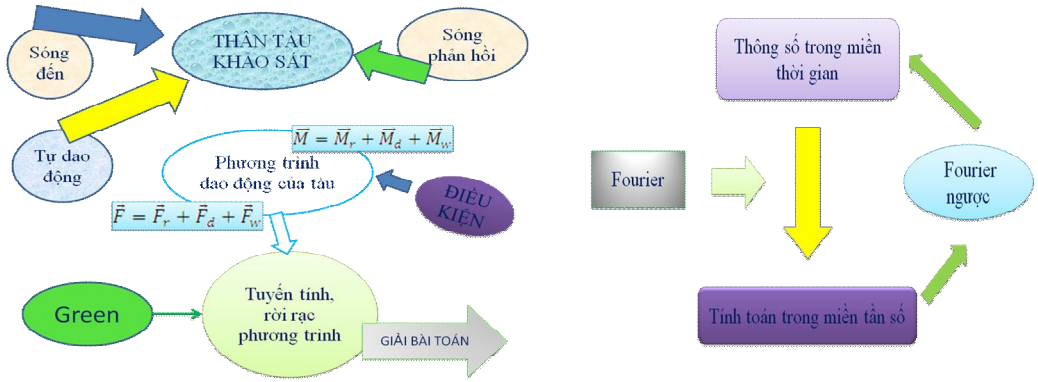
Phương trình hàm Green: (3.1)

$$G(M, M') = [G_0(M, M') + G_1(M, M') + conjg\{G_2(M, M')\}] \quad (3.2)$$

$$G_0(M, M') = \frac{1}{r} - \frac{1}{r'} = \frac{1}{\sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2}} - \frac{1}{\sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z + z')^2}}$$

$$G_1(M, M') = \frac{1}{\pi L} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{K_1[g_1(K_1\xi) + g_1(K_1\xi')] - K_2[g_1(K_2\xi) + g_1(K_2\xi')]}{\sqrt{1 + 4\tau \cos\theta}} d\theta$$

$$G_2(M, M') = \frac{1}{\pi L} \begin{cases} \int_0^{\theta_c'} - i \frac{Z_3[g_2(Z_3\xi) + g_2(Z_3\xi')] - Z_4[g_2(Z_4\xi) + g_2(Z_4\xi')]}{\sqrt{4\tau \cos\theta - 1}} d\theta \\ + \int_0^{\theta_c' - \alpha_c} - i \frac{Z_3[g_2(Z_3\xi) + g_2(Z_3\xi')] - Z_4[g_2(Z_4\xi) + g_2(Z_4\xi')]}{\sqrt{4\tau \cos\theta - 1}} d\theta \\ - \frac{2\pi K_c (1 - i)(e^{K_c \xi_c})}{\sqrt{\tau \sin\theta_c}} \sqrt{\alpha_c} \\ \int_{\theta_c + \alpha_c}^{\frac{\pi}{2}} \frac{K_3[g_3(K_3\xi) + g_3(K_3\xi')] - K_4[g_1(K_4\xi) + g_1(K_4\xi')]}{\sqrt{1 - 4\tau \cos\theta}} d\theta \end{cases}$$

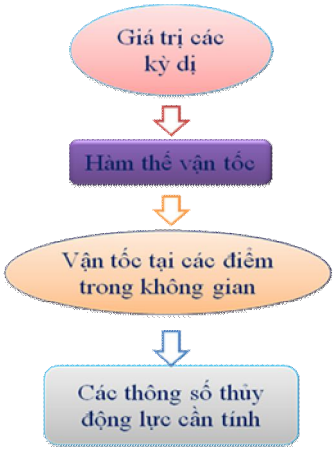


Hình 3.1. Sơ đồ phương pháp nghiên cứu.

Phương trình rời rạc hóa của bài toán [1]:

$$[S \to G]_{ij}\tilde{\sigma}_j = B_i^l \qquad (3.3)$$

$$[S \to G]_{ij} = -\frac{1}{4\pi}\iint_{S_j}\frac{\partial G(M_i,M_j)}{\partial n_i}dS_j + \frac{U_\infty^2}{4\pi g}\int_{c_j}\frac{\partial G(M_i,M_j)}{\partial n_i}(n_j,\overset{0}{x})dy_i$$



Hình 3.2. Sơ đồ phương pháp giải.

Với các ma trận, [1]:

$$B_i^l = [i\varpi n_i(M_i) + m_i(M_i)]$$

$$B_i^7 = \frac{\partial \Phi_w(M_i)}{\partial n_i}$$

Tiến hành giải phương trình (3.3) thu được giá trị các cường độ nguồn. Từ đó xác định được các yếu tố cần tính toán và khảo sát.

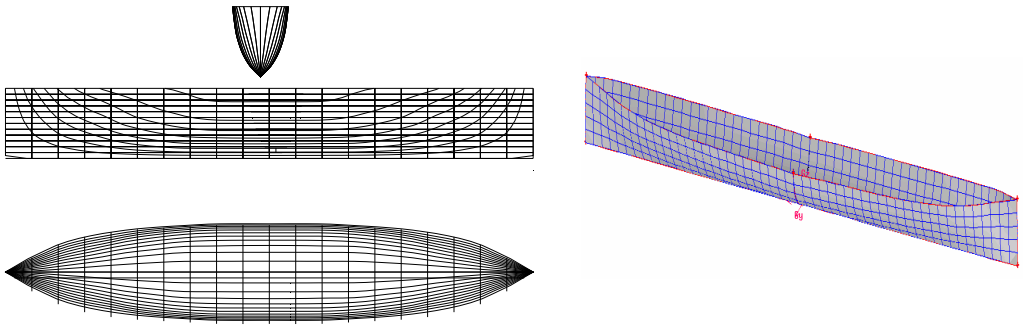
4. Một số kết quả tính toán

Mô hình tàu sử dụng trong tính toán và khảo sát là tàu Wigley (M1, M2) và mô hình Elliptic(M3). Thông số cơ bản của mô hình sử dụng trong tính toán:

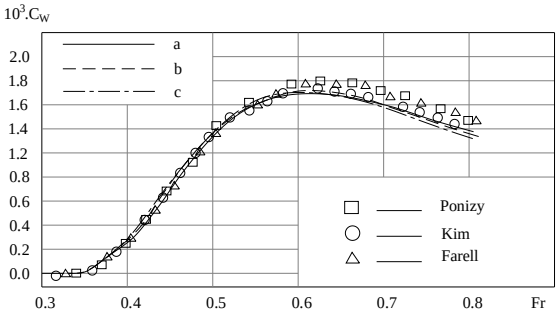
M1: L = 80 m; B = 8 m ; T = 5 m

M2: L = 3 m; B = 0.3 m ; T = 0.187 m

M3: a = 0.5 m; b = 0.1 m; c = 0.24 m; h = 0.25 m



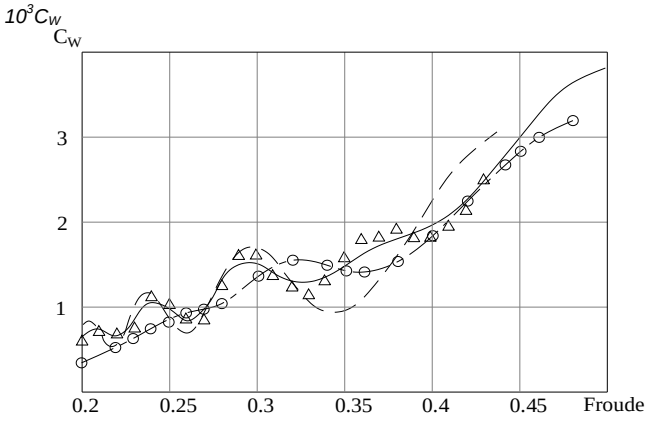
Hình 4.1. Đường hình dáng và mô hình tàu Wigley.



Hình 4.2. Đồ thị hệ số sức cản sóng theo số F_r phụ thuộc vào số lưới (M3)

a: với 450 lưới b: với 800 lưới

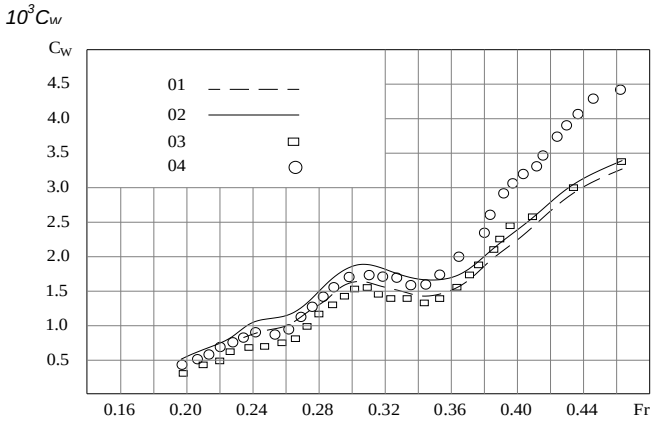
c: với 1000 lưới



Hình 4.3. Đồ thị hệ số sức cản sóng tính toán và kết quả đã nghiên cứu

CE: Tính với lý thuyết tấm phẳng

A: Kết quả tính



Hình 4.4. Đồ thị hệ số sức cản sóng tính toán và kết quả thực nghiệm

01: Kết quả tính

02: Kết quả của Delhommeau

03: Thử mô hình tự do

04: Thử mô hình cố định

MỘT SỐ KÝ HIỆU SỬ DỤNG

Φ	Hàm thế vận tốc trong hệ trục tọa độ Oxyz	O_0XYZ	Hệ trục tọa độ cố định
Φ_0	Hàm thế vận tốc trong hệ trục tọa độ O_0XYZ	$Oxyz$	Hệ trục tọa độ đặt trên tàu
Φ_s	Hàm thế vận tốc trong chuyển động dừng	$O'x'y'z'$	Hệ trục tọa độ gắn với tàu khi chuyển động
Φ_t	Thế vận tốc trong chuyển động không dừng	U_∞	Vận tốc dòng vào ở vô cùng

Φ_d	Hàm thế vận tốc của dao động sóng phản hồi	Fr, R_e	Số Froude và số Reynol
Φ_r	Thế vận tốc của chuyển động tự thân tàu	$G = \tilde{G}e^{i\omega t}$	Hàm Green
Φ_x	Hàm thế vận tốc của sóng	W	Tần số góc dao động tổng hợp của sóng
$\tilde{\rho}$	Áp suất tổng	S	Diện tích mặt thoáng
$\overline{\rho}$	Áp suất tức thời trong chuyển động dừng	τ	Thành phần chuyển động theo phương tiếp tuyến
ρ_t	Áp suất trong chuyển động không dừng	θ	Thành phần chuyển động quay
$X_j = 1,6$	Các thành phần chuyển động của thân tàu	ρ	Khối lượng riêng của chất lỏng
$\xi_j = 1,6$	Các thành phần chuyển động của thân tàu	$\sigma = \tilde{\sigma}e^{i\omega t}$	Cường độ điểm nguồn
$\vec{h}$	Véc tơ pháp tuyến	W_h	Tần số góc dao động của sóng
θ	Thành phần chuyển động quay	W	Tần số góc dao động tổng hợp của sóng
τ	Thành phần chuyển động theo phương tiếp tuyến	$k_0 = \omega^2 / g$	Hệ số k_0
$V_n(\vec{x},t)$	Vận tốc tại điểm bất kỳ trên tàu	$\omega = \omega\sqrt{L/g}$	Hệ số vận tốc góc

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Manh Hung NGUYEN. *Developpement d'une method de calcul de tenue a la mer avec portants par une method de singularite de Kelvin*, 2007.

[2] Gérard DELHOMMEAU. *Les problems de diffraction – radiation et de resistance de vagues*: etude theorique et resolution numerique par la method des singularites, 1987.

[3] Volker Bertram. *Practical Ship Hydrodynamics*, 2000.

[4] Farell C: On the wave resitance of a submerged spheroid, 11-1973.

[5] Ponizy B. *Calcul rapide de l'écoulement non symétrique autour de navires à l'aide de singularités de Kelvin*. Application au cas des voiliers. Thèse de doctorat, Universite, 1996

[6] Kim B.K. *Computation of hudrodynamic fore on a submerged lifting body USA*, 1992

[7] Maissonneuve J.J. *Résolution du problème de la résistance de vagues navires par une méthode de singularité*. Thèse de doctorat, Universite de Nantes, 1989.

Người phản biện: TS. Đào Văn Tuấn