
TỔNG QUAN VỀ CÁC MÔ HÌNH SÓNG ĐƯỢC SỬ DỤNG TRONG NGHIÊN CỨU DAO ĐỘNG CỦA TÀU TRÊN SÓNG

OVERVIEW OF WAVE MODELS USED IN STUDYING SHIP MOTIONS ON WAVES

VŨ TÀI TÚ^{1*}, NGUYỄN QUANG HÙNG², CHU ANH MỸ³

¹Viện Vũ khí, Tổng cục Công nghiệp Quốc Phòng

²Viện Tự động hóa, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự

³Học Viện Kỹ thuật Quân sự

*Email liên hệ: vutaitu@gmail.com

Tóm tắt

Bài báo trình bày tổng quan về sóng biển, quá trình sinh ra sóng biển, đặc điểm của sóng biển và ảnh hưởng của sóng biển đến dao động của tàu trên sóng. Phân tích, tổng hợp các mô hình sóng biển gồm: mô hình sóng điều hòa, mô hình sóng không điều hòa (phổ sóng) và mô hình sóng ngẫu nhiên đã và đang được sử dụng trong nghiên cứu dao động của tàu trên sóng.

Từ khóa: Sóng biển, mô hình sóng, dao động tàu.

Abstract

This paper presents an overview of ocean waves, the process of sea waves formation, its characteristics and effects on the motions of ship underwave. In general, sea wave models includes: harmonic wave model, irregular wave models (wave spectrum) and random wave models which has been used in the study of ship motions on waves.

Keywords: Sea wave, wave models, ship motions.

1. Giới thiệu

Như chúng ta đã biết, khi tàu biển hoạt động trên biển, kể cả khi neo đậu trong cảng, do ảnh hưởng của sóng biển nên mọi vị trí của tàu đều bị dao động, điều này ảnh hưởng đến chất lượng hoạt động của một số thiết bị bố trí trên tàu, đặc biệt là các tàu quân sự như anten vệ tinh, rada, vũ khí trên tàu..., từ đó dẫn đến khả năng tác chiến của tàu bị giảm đi. Để vũ khí và các khí tài có thể hoạt động được ổn định và hiệu quả khi lắp đặt trên tàu thì chúng cần được hiệu chỉnh dựa trên việc tính toán các dao động của tàu khi chạy ở các điều kiện khai thác khác nhau (khi tàu chạy ở các cấp sóng khác nhau, các tốc độ khác nhau, chạy theo các hướng khác nhau so với phương truyền sóng...). Để xác định được dao động của tàu trên sóng thì công việc đầu tiên ta cần phải làm đó là việc mô hình hóa sóng biển. Chính vì vậy, bài báo này sẽ đề cập đến các mô hình sóng biển hiện đang được sử dụng trong nghiên cứu dao động của tàu trên sóng. Trên cơ sở đó sẽ đề xuất hướng nghiên cứu tiếp theo trong việc lựa chọn mô hình sóng biển phù hợp nhất với điều kiện sóng biển của Việt Nam phục vụ cho nghiên cứu dao động của tàu dưới tác dụng của sóng cho các tàu quân sự của Việt Nam.

2. Tổng quan về dao động của tàu trên sóng

Trong cơ học lý thuyết khi nghiên cứu về chuyển động của tàu, người ta coi tàu là một vật rắn tuyệt đối tự do, nên tàu biển sẽ dao động với đầy đủ 6 bậc tự do khi nó chuyển động trên mặt nước (xem Hình 1) bao gồm: chòng chành tịnh tiến dọc (Surge) là dao động tịnh tiến dọc theo trục dọc Ox ; chòng chành tịnh tiến ngang (Sway) - dao động tịnh tiến dọc theo trục ngang Oy ; chòng chành thẳng đứng (Heave) - dao động tịnh tiến dọc theo trục thẳng đứng Oz ; chòng chành mạn (Roll) - dao động quay quanh trục dọc Ox ; chòng chành sồng chính (Pitch) - dao động quay quanh trục ngang Oy ; chòng chành đảo lái - dao động quay quanh trục thẳng đứng (Yaw) [1].

Độ lớn của các thông số dao động của tàu phụ thuộc vào [1]: Tốc độ tàu; Các thông số chủ yếu và hình dáng thân tàu; Điều kiện sóng biển (chiều cao sóng, chu kỳ sóng); Phương chuyển động của tàu so với phương truyền sóng. Như vậy, để xác định được các tham số dao động của tàu thì một trong những bài toán chúng ta cần phải nghiên cứu đó chính là bài toán mô hình hóa sóng biển.

3. Tổng quan về các mô hình sóng được sử dụng trong nghiên cứu dao động của tàu trên sóng

3.1. Tổng quan về sóng biển

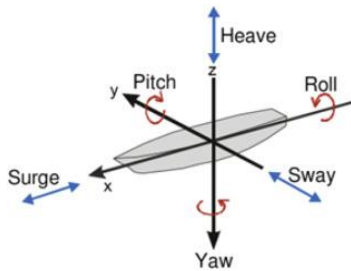
Sóng có sự đa dạng rất lớn, vì vậy hiện có rất nhiều sự phân loại sóng khác nhau. Theo đặc điểm chuyển động của sóng chúng được phân thành sóng tiến và sóng dừng. Sóng biển là sóng tiến, chúng được tạo nên bởi gió. Sóng dừng đặc trưng cho các vùng biển kín, chúng có chu kỳ dài và chiều dài bước sóng lớn và thường không ảnh hưởng nhiều đến động lực học của tàu.

Sóng có mức độ ảnh hưởng lớn nhất đến ngành hàng hải là sóng do gió tạo nên. Việc nghiên cứu sóng do gió tạo nên là công việc rất phức tạp bởi hình dạng sóng gió phụ thuộc vào các điều

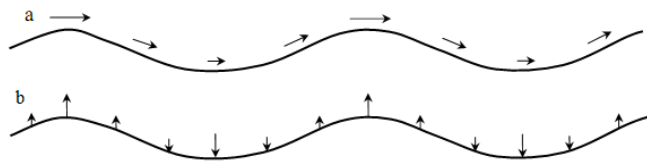
kiện liên quan đến các dòng chảy trên biển, sự không đồng đều về địa hình đáy biển tại vùng ven biển và hình dáng đường bờ biển. Đôi khi sự ảnh hưởng này sẽ tạo cho sóng gió có hình dáng không bình thường và tạo ra sự tích tụ năng lượng gây nguy hiểm cho tàu bè.

Trên quan điểm phân tích động lực của tàu, có thể phân chia mô hình sóng biển thực ra thành ba loại chính gồm: sóng điều hòa, sóng không điều hòa và sóng ngẫu nhiên. Ba mô hình sóng này phản ánh được các tính chất cơ bản của sóng gió trên biển ở các giai đoạn phát triển khác nhau của chúng [2].

Ở giai đoạn đầu sự tác động của gió lên mặt nước sẽ sinh ra lực ma sát từ đó tạo nên các con sóng nhỏ - gợn sóng. Khi gió tiếp tục tác động thì ngoài lực ma sát ra nó sẽ tạo ra áp suất khí động học không đồng đều trên bề mặt sóng, dẫn tới làm tăng chiều cao sóng và tốc độ truyền sóng. Tuy nhiên, khi gió đạt tới một tốc độ nào đó thì áp suất khí động học sẽ không tăng tiếp và việc tăng chiều cao sóng sẽ ngừng lại.

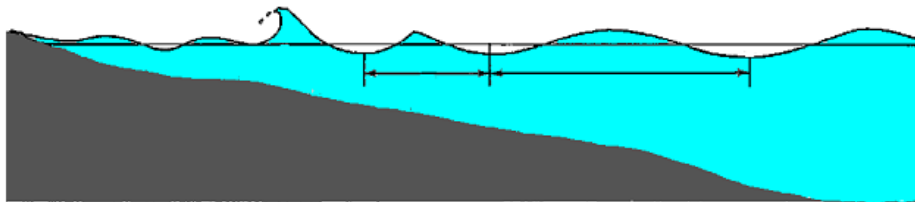


Hình 1. Các dao động của tàu trên sóng



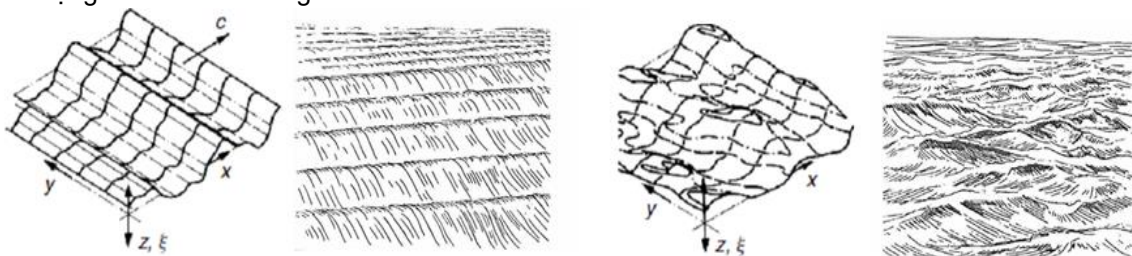
Hình 2. Vận tốc (a) và áp suất khí động học (b) của gió trên bề mặt sóng

Do sự thất thường của từng cơn gió và sự thay đổi hướng gió sẽ tạo nên các con sóng không điều hòa. Khi sóng tiếp tục phát triển, sóng hài chính của phổ sóng sẽ được tách ra, sóng sẽ trở thành tương đối điều hòa (gợn sóng). Các sóng như thế sẽ tắt dần và thường thoát ra khỏi giới hạn của vùng bão biển và sẽ di chuyển tự do khi không có gió (sóng lừng). Khi sóng tiến gần bờ, nơi độ sâu giảm dần, sẽ xuất hiện sóng vỡ bờ. Chiều cao sóng bắt đầu tăng đột ngột: phần phía trước sóng trở nên rất dốc, còn phần phía sau trở nên thoải hơn. Kết quả là đỉnh sóng trở nên nhọn và bị lật nhào (Hình 3).



Hình 3. Sự biến đổi hình dạng sóng khi tiến gần bờ và sự tạo thành sóng vỡ bờ

Từ các phân tích nêu trên về sóng biển, ta thấy sóng thực có cấu trúc không điều hòa, chúng có một vài hướng sóng chính và đỉnh sóng có sự kéo dài, điều này cho phép ta có thể mô hình hóa được gần đúng hình dạng của chúng dưới dạng sóng hai chiều (Hình 4) trong việc giải các bài toán dao động của tàu trên sóng.



Hình 4. Sóng hai chiều và sóng ba chiều

3.2. Các mô hình sóng biển được sử dụng trong nghiên cứu dao động của tàu trên sóng

Để nghiên cứu dao động của tàu trên sóng, các nhà thủy động lực học trên thế giới [3], [4], [5], [6], [7], hiệp hội bể thử thế giới (ITTC - The International Towing Tank Conference) [8] sử dụng các mô hình sóng biển sau cho nghiên cứu:

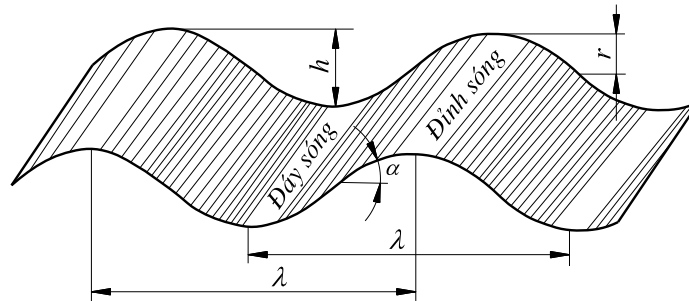
- Mô hình sóng điều hòa (Regular waves);
- Mô hình sóng không điều hòa (Irregular waves);

- Mô hình sóng ngẫu nhiên (Random waves).

3.2.1. Mô hình sóng điều hòa

Mô hình sóng truyền thống và đơn giản nhất chính là mô hình sóng điều hòa, profile sóng của nó được biểu diễn bởi hàm số sau [9]:

$$\eta(x, t) = r \sin(\omega t - kx) \quad (1)$$



Hình 5. Các yếu tố của sóng tuyến tính

Trong đó: r - là biên độ sóng; $\omega = 2\pi/\tau$ - là tần số góc; $k = 2\pi/\lambda$ - là số sóng (số lượng chiều dài bước sóng, được đặt tại đoạn 2π mét); λ - chiều dài bước sóng; τ - chu kỳ sóng.

Sóng điều hòa không tồn tại trong tự nhiên và đây chỉ là một trong những mô hình toán có thể có của sóng biển thực.

3.2.2. Mô hình sóng không điều hòa

Do sự thất thường của từng cơn gió và sự thay đổi hướng gió sẽ tạo nên các cơn sóng không điều hòa. Trên thực tế sóng không điều hòa là tổng hợp của các sóng điều hòa có chiều cao, tần số phương lan truyền sóng khác nhau (xem Hình 6). Nếu chúng có một vài hướng sóng chính và đỉnh sóng có sự kéo dài thì ta sẽ thu được sóng không điều hòa hai chiều. Sóng không điều hòa ba chiều có thể hiểu là sự kết hợp của tập hợp các sóng đơn giản, các sóng điều hòa chính quy với biên độ, tần số và hướng lan truyền khác nhau, nghĩa là ở đây ta áp dụng phương pháp xếp chồng (Hình 6, b).

Đối với sóng hai chiều không điều hòa, chúng được mô hình hóa theo biểu thức sau:

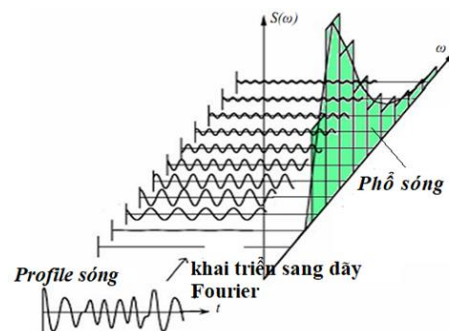
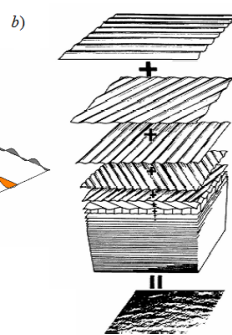
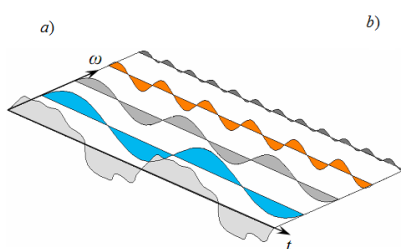
$$z_w(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} r_n \sin(k_n x - \omega_n t) \quad (2)$$

Do chiều dài bước sóng chiếm tỷ trọng rất nhỏ so với kích thước của mặt biển, nên ta có thể bỏ qua các số hạng đầu tiên. Khi đó ta sẽ thu được phổ tần số dày đặc. Ngoài ra, khi xét đến sai số ngẫu nhiên các thông số của sóng, phổ tần số có thể được coi là liên tục, như vậy ta có thể chuyển chúng sang tích phân Fourier có dạng như sau:

$$z_w(x, t) = \int_{\omega} r(\omega) \sin\left(\frac{\omega^2}{g} x - \omega t\right) d\omega \quad (3)$$

Sóng không điều hòa được đặc trưng bởi năng lượng của các sóng điều hòa thành phần của nó. Từ thủy động lực học của sóng ta biết rằng năng lượng của sóng trên một đơn vị chiều rộng của nó là:

$$E_1 = \rho g r^2 \lambda / 2 \quad (4)$$



Hình 6. Mô hình phổ sóng không điều hòa:
a - sóng hai chiều; b - sóng ba chiều

Hình 7. Phổ sóng

Khi đó mật độ năng lượng (năng lượng trên một đơn vị diện tích) của sóng bao gồm tập hợp các sóng điều hòa sẽ là:

$$e = \frac{1}{2} \rho g \sum_n r_n^2 \quad (5)$$

Đối với phổ tần số liên tục:

$$e = \rho g \int_{\omega} S(\omega) d\omega = \rho g D_r \quad (6)$$

Ở đây D_r - là phương sai của biên độ sóng; $S(\omega) = r^2(\omega)/2$ - là phổ mật độ sóng hay phổ năng lượng. Ngoài ra, hàm này còn được gọi là phổ tần số (hay đơn giản là phổ) sóng, nó đặc trưng cho sự phân bố năng lượng sóng theo tần số. Trên Hình 7, diễn giải phổ sóng dưới dạng đồ thị. Có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng đến hình dáng của phổ sóng, ví dụ như sức gió và thời gian mà nó thổi, chiều dài xuất phát của sóng, độ sâu, hình dáng đường bờ biển, dòng chảy,...

Để tính toán dao động của tàu trên sóng, người ta thường áp dụng các phổ tổng quát tiêu chuẩn, ví dụ phổ: phổ II của hội nghị quốc tế về độ bền tàu (II IPSC); phổ 12 của hiệp hội bể thử quốc tế (12 ITTC); phổ JONSWAP. Các hướng dẫn trong việc sử dụng các phổ trên được trình bày trong các tài liệu [10], [11].

Phổ JONSWAP (PM) [11]. Phổ JONSWAP là kết quả của chương trình thống kê sóng vào năm 1986-1969 tên là Joint North Sea Wave Project tại khu vực biển bắc. Phổ JONSWAP có ứng dụng cho vùng biển gần bờ, chế độ sóng đang phát triển. Đây là phổ sóng có thể nói là tương đối phù hợp với khu vực biển Đông của chúng ta.

$$S_j(\omega) = \frac{5}{16} A_\gamma H_s^2 \omega_p^4 \omega^{-5} \exp\left(-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^4\right) \gamma \exp\left(-0.5 \left(\frac{\omega - \omega_p}{\sigma \omega_p}\right)^2\right) \quad (7)$$

Trong đó: H_s - là chiều cao sóng đáng kể; γ - tham số kể đến đến hình dáng đỉnh của phổ; ω_p - là tần số sóng lớn nhất; ω - là tần số sóng trung bình; σ - tham số kể đến độ rộng của phổ ($\sigma = \sigma_a$ for $\omega \leq \omega_p$, $\sigma = \sigma_b$ for $\omega > \omega_p$); $A_\gamma = 1 - 0.287 \ln(\gamma)$ - là thông số chuẩn hóa. Các giá trị trung bình của phổ JONSWAP thu được dựa trên các số liệu thực nghiệm như sau: $\gamma = 3.3$, $\sigma_a = 0.07$, $\sigma_b = 0.09$.

3.2.3. Mô hình sóng ngẫu nhiên

Sóng ngẫu nhiên cũng giống như sóng không điều hòa, đó là hình dạng sóng bề mặt $\eta(x, y, t)$ là một quá trình ngẫu nhiên. Mô hình sóng ngẫu nhiên gồm 2 mô hình: mô hình sóng ngẫu nhiên tuyến tính và mô hình sóng ngẫu nhiên phi tuyến [11-14].

Mô hình sóng ngẫu nhiên tuyến tính là tổ hợp của rất nhiều các con sóng điều hòa nhỏ có biên độ, chu kỳ khác nhau và phương truyền sóng khác nhau. Các phase của chúng là ngẫu nhiên so với nhau, được biểu diễn bởi công thức sau [15]:

$$\eta(t) = \sum_{n=1}^N a_n \cos(\omega_n t + \varepsilon_n) \quad (8)$$

Trong đó: $\eta(t)$ - là tập hợp của n con sóng điều hòa, a_n là biên độ của các sóng điều hòa thành phần, $\omega_n = (2\pi n / T)$ - là chu kỳ của các con sóng; ε_n - là pha ngẫu nhiên nằm trong dải từ 0 đến 2π . Mô hình sóng ngẫu nhiên phi tuyến là mô hình sóng có tính đến sự tương tác của các sóng điều hòa thành phần với các tần số khác nhau [15], [11].

4. Kết luận

Trên cơ sở nghiên cứu tổng quan về sóng biển bài báo đã giải quyết được các vấn đề sau:

- Đã trình bày được tổng quan về sóng biển, quá trình sinh ra sóng biển, đặc điểm của sóng biển và ảnh hưởng của sóng biển đến dao động của tàu trên sóng.

- Đã tổng hợp đưa ra được các mô hình sóng biển đã và đang được các nhà thủy động lực học trên thế giới sử dụng trong nghiên cứu dao động của tàu trên sóng. Các mô hình sóng này gồm: mô hình sóng điều hòa, mô hình sóng không điều hòa (phổ sóng) và mô hình sóng ngẫu nhiên.

- Việc nghiên cứu tổng quan về các mô hình sóng là nghiên cứu khởi đầu của tác giả để phục vụ cho hướng nghiên cứu tiếp theo là phân tích lựa chọn ra mô hình sóng phù hợp với điều kiện

sóng biển Việt Nam. Đây là dữ liệu đầu vào quan trọng ảnh hưởng đến độ tin cậy của kết quả tính toán dao động của tàu trên sóng hoạt động trên vùng biển Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Newman, J.N., *The theory of ship motions*, in *Advances in applied mechanics.*, Elsevier. pp. 221-283, 1979.
- [2]. Чижиумов, С.Д., *Основы динамики судов на волнении*. Комсомольский-на-Амуре гос. технический ун-т, 2010.
- [3]. Bulian, G., A. Francescutto, and C. Lugni, *On the nonlinear modeling of parametric rolling in regular and irregular waves*. International shipbuilding progress, 51(2, 3), p. 173-203, 2004.
- [4]. Haddara, M.R., *On nonlinear rolling of ships in random seas*. International Shipbuilding Progress., 20(230), pp. 377-387, 1973.
- [5]. Hua, J.-B. and W.-H. Wang, *Roll motion of a roro-ship in irregular following waves*. Journal of marine science and technology, 9(1), p. 38-44, 2001.
- [6]. Ness, O.B., et al. *Nonlinear analysis of ship rolling in random beam waves*. in *Proceedings of the STAR symposium on 21st century ship and offshore vessel design, production and operation, Society of Naval Architects and Marine Engineers, April*. 1989.
- [7]. Salvesen, N., E. Tuck, and O. Faltinsen, *Ship motions and sea loads*. Trans. SNAME, 78(8), pp. 250-287, 1970.
- [8]. <https://www.ittc.info/media/8075/75-02-05-04.pdf>.
- [9]. Part, a., *linear wave theory*. 2000.
- [10]. Войткунский, Я., *Справочник по теории корабля. В трех томах. Том 2. Статика судов, кач-ка судов*.Л.: Издательство: Судостроение, 1985.
- [11]. AS, D.N.V., *Environmental Conditions and Environmental Loads*. 2014.
- [12]. Langley, R., *A statistical analysis of non-linear random waves*. Ocean Engineering, 14(5), pp. 389-407, 1987.
- [13]. Konotop, V.V., *Nonlinear random waves*. 1994: World Scientific.
- [14]. Fedele, F. and F. Arena, *Weakly nonlinear statistics of high random waves*. Physics of fluids., 17(2), pp. 026601, 2005.
- [15]. Benney, D. and P.G. Saffman, *Nonlinear interactions of random waves in a dispersive medium*. Proc. R. Soc. Lond. A., 289(1418), pp. 301-320, 1966.

Ngày nhận bài: 15/4/2019
Ngày nhận bản sửa: 09/5/2019
Ngày duyệt đăng: 18/5/2019