

**PHÂN TÍCH ĐIỀU HÒA THỦY TRIỀU THEO
PHƯƠNG PHÁP BÌNH PHƯƠNG NHỎ NHẤT**
ANALYZING HARMONIC OF TIDE ACCORDING
TO LEAST SQUARES METHOD

TS. ĐINH XUÂN MẠNH; TS. PHẠM KỶ QUANG

Trường Đại học Hàng hải

Tóm tắt

Bài báo đưa ra sự phân tích chi tiết điều hòa thủy triều theo phương pháp bình phương nhỏ nhất. Kết quả phương pháp có những điểm vượt trội như độ chính xác phân tích cao, bộ hằng số điều hòa chính xác và đủ tin cậy. Từ đó đã khắc phục những nhược điểm cơ bản của các phương pháp phân tích thủy triều truyền thống.

Abstract

In this article, we introduced the harmonic analysis of tide and tidal current according to least squares method. The result of tidal analysis built up on this method has many advantages such as improved analysis accuracy, the full set of accurate and reliable harmonic constants. Therefore, this method overcame basic shortcomings of the tradition harmonic analysis of tide.

Keywords: *harmonic constants, tide, tidal current, least squares method.*

1. Cơ sở tính toán thủy triều bằng phương pháp hằng số điều hòa

Thủy triều là hiện tượng dao động có chu kỳ của mực nước biển và đại dương dưới tác dụng của lực hấp dẫn vũ trụ từ mặt trăng, mặt trời và các thiên thể. Năm 1867, sau khi Newton phát minh ra định luật vạn vật hấp dẫn mới có cơ sở khoa học giải thích hiện tượng thủy triều. Tuy nhiên vẫn còn một số hiện tượng đến nay vẫn chưa lý giải thỏa đáng. Hiện nay có hai học thuyết về thủy triều là thuyết tĩnh học thủy triều của Newton và thuyết động học thủy triều của Laplace [1, 3].

Thuyết tĩnh học thủy triều của Newton hoàn toàn đúng với các khu vực gần với giả thiết như ven các đảo nằm giữa đại dương. Do không xét đến các yếu tố như: sự phân bố của biển và lục địa, hình dạng đáy biển, lực ma sát và quán tính của nước biển nên thuyết tĩnh học không giải thích được đầy đủ các hiện tượng thủy triều phức tạp. Thuyết động lực thủy triều của Laplace đã giải thích được các hiện tượng thủy triều đầy đủ hơn, chỉ ra ý nghĩa quyết định của độ sâu đại dương và đặc điểm địa hình đáy đối với thủy triều và vạch ra phương hướng tính toán thủy triều sát với thực tế hơn. Phát triển thuyết động lực thủy triều, các nhà khoa học đã lập ra phương pháp phân tích hằng số điều hòa thủy triều. Phương pháp này được áp dụng rộng rãi nhằm mục đích dự tính thủy triều trên cơ sở các số liệu thiên văn và các hằng số điều hòa phụ thuộc vào điều kiện biển, địa hình, địa phương từng khu vực.

Năm 1936, các nhà khoa học Anh đề xuất phương pháp phân tích điều hòa đơn giản gọi là phương pháp hoa tiêu. Phương pháp này dự tính độ cao thủy triều bằng cách phân tích điều hòa các sóng chính (M_2 , S_2 , K_1 , O_1) với thời gian quan trắc từ 1 đến 2 ngày với độ chính xác khoảng 0,2 mét.

Xây dựng cơ sở tính toán, dự đoán trước thủy triều có ý nghĩa quan trọng trong hàng hải, đặc biệt khi tàu hành trình qua khu vực luồng lạch hẹp, nông cạn, khu vực hàng hải khó khăn, khi tàu ra vào cảng hay khu neo đậu, v.v. Phương pháp phân tích hằng số điều hòa được sử dụng rộng rãi trong công tác dự đoán thủy triều.

Bản chất của phương pháp phân tích hằng số điều hòa thủy triều là sự biến đổi của mực nước biển dưới tác động của lực tạo triều có dạng đường cong biến đổi phức tạp được triển khai thành những sóng triều đơn giản đều đặn và mỗi đường cong thể hiện sóng đơn giản đó có tính chất của một dao động điều hòa biểu diễn dưới dạng [1, 3]:

$$Z = R \cos(qt - \xi) \quad (1)$$

Trong đó: R - biên độ sóng và tính theo công thức $R = fH$; H - biên độ trung bình của sóng phụ thuộc vào điều kiện địa lý và không đổi với một vị trí đã chọn; f - hệ số suy giảm phụ thuộc vào điều kiện thiên văn và được tính theo quy luật chuyển động của các thiên thể; q - vận tốc góc của sóng triều (không phụ thuộc vào điều kiện địa lý và không thay đổi đối với mỗi sóng); t - giờ mặt trời trung bình; ξ - pha ban đầu của sóng triều và tính theo công thức: $\xi = (V_0 + u) - g$, trong đó: $(V_0 + u)$ - được coi là đối số thiên văn ban đầu, tính theo qui luật chuyển động của các thiên thể và tính từ 0 giờ ngày quan trắc đầu tiên; g - góc vị của sóng triều, phụ thuộc vào điều kiện địa lý và không đổi với một địa điểm đã chọn.

Như vậy, H và g là hai giá trị xác định dựa trên cơ sở chính lý các quan trắc dao động mực nước biển và không đổi với một địa điểm đã chọn (có thể là trạm) được gọi là hằng số điều hòa thủy triều.

Khi có khối lượng thiên thể, bán kính quỹ đạo và tốc độ góc có thể thu được kết quả sóng triều thật. Độ cao mực nước ở thời điểm t bất kỳ xác định theo công thức: $h_t = \sum_{i=1}^r R \cos(qt - \xi)$.

Trong thiên nhiên, khi quan sát không thể nhận thấy sóng thành phần nào mà chỉ tồn tại duy nhất một sóng triều. Như vậy, phương pháp xây dựng trên cơ sở lý thuyết về sóng tự do, trong đó tất cả hiện tượng thủy triều xảy ra như sự tồn tại sóng thành phần riêng biệt. Khi có n độ cao mực nước quan trắc Z_t tại thời điểm bất kỳ, nhiệm vụ của phân tích thủy triều là xác định bộ gồm r cặp hằng số điều hòa không đổi H và g cho mỗi địa điểm đã chọn.

Xét cả ảnh hưởng điều kiện địa phương đến biên độ thì công thức (1) của sóng triều có thể viết:

$$Z_t = A_0 + \sum_{i=1}^r f_i H_i \cos[q_i t - (V_0 + u)_i - g_i] \quad (2)$$

Trong đó: A_0 - độ cao mực nước trung bình; i - sóng triều thứ i.

Công thức tính đầy đủ độ cao thủy triều gồm có 93 thành phần. Tuy nhiên đối với biển sâu chỉ cần 8 thành phần, còn vùng nước nông là 11 thành phần đảm bảo yêu cầu về độ chính xác trong hàng hải. Trên cơ sở phân tích điều hòa, lập các bảng thủy triều dự đoán trước các yếu tố thủy triều tại các cảng, khu vực khác nhau hoặc kết hợp tính toán bằng phương pháp hằng số điều hòa đơn giản.

2. Phân tích điều hòa thủy triều theo phương pháp bình phương nhỏ nhất

Các phần mềm phân tích thủy triều hiện đại trên thế giới, kể cả những phần mềm chính thức dùng tại các trung tâm mực nước đại dương quốc tế hiện nay đều dựa trên phương pháp bình phương nhỏ nhất, cho phép phân tích ra bộ hằng số điều hòa đến nhiều chục sóng triều, tùy thuộc vào độ dài chuỗi mực nước quan trắc liên tục từng giờ trong thời kỳ 1 - 2 năm.

Áp dụng phương pháp bình phương nhỏ nhất, biến đổi phương trình (2) thành dạng [2]:

$$Z_t = A_0 + \sum_{i=1}^r (A_i \cos q_i t + B_i \sin q_i t) \quad (3)$$

Trong đó: $A_i = f_i H_i \cos[g_i - (V_0 + u)]$, $B_i = f_i H_i \sin[g_i - (V_0 + u)]$

Biết mực nước tại n giờ, có n phương trình đại số dạng (3) đối với các ẩn số A_i và B_i để giải bằng phương pháp bình phương nhỏ nhất. Từ mỗi cặp ẩn số A_i và B_i tìm được sẽ tính ra:

$$H_i = \frac{\sqrt{A_i^2 + B_i^2}}{f_i}, \quad g_i = \arctg \frac{B_i}{A_i} + (V_0 + u)_i \quad (4)$$

Chuỗi quan trắc càng dài, số phương trình dạng (3) càng nhiều, thì A_0 và số cặp hằng số điều hòa H, g nhận được càng nhiều và càng chính xác.

Phân tích phương trình (3) thấy một số nhược điểm cơ bản là những đại lượng thiên văn biến thiên với thời gian f và $(V_0 + u)$ của mỗi dao động thành phần i đã bị xem là không đổi trong

thời gian quan trắc và bị đưa vào trong các ẩn số của các phương trình, do đó từng phương trình ở dạng (3) trở thành không chính xác, bởi vì trong thực tế mỗi dao động sóng triều ở công thức (3) là một dao động điều biến biên độ, f biến đổi với thời gian và phần phụ pha $(V_0 + u)$ cũng biến đổi với thời gian một cách đáng kể. Khi tính H_i và g_i và theo các công thức (4) phải dùng giá trị trung bình của f_i tại thời điểm giữa thời kỳ quan trắc và giá trị $(V_0 + u)$ tại thời điểm đầu thời kỳ quan trắc. Điều này gây nên những mâu thuẫn kỹ thuật như: chuỗi quan trắc càng dài sai số càng tăng, chuỗi không liên tục (ví dụ 2 năm quan trắc không kế tiếp, cách xa nhau) thì không thể có thời điểm giữa quan trắc, v.v.

Để khắc phục nhược điểm này, có thể xây dựng phương trình độ cao mực nước triều (2) đã được biến đổi theo cách khác, do Peresipkin đề xuất [2], cho phép tính sự biến đổi của các đại lượng thiên văn f và $(V_0 + u)$ với thời gian. Nếu nhóm riêng các đại lượng biến thiên với thời gian và không biến thiên với thời gian bằng các ký hiệu:

$$a_i = f_i \cos[q_i t + (V_0 + u)_i], \quad b_i = f_i \sin[q_i t + (V_0 + u)_i], \quad X_i = H_i \cos g_i, \quad Y_i = H_i \sin g_i \quad (5)$$

thì phương trình (2) có dạng [2]:

$$Z_t = A_0 + \sum_{i=1}^r [(a_i)_t X_i + (b_i)_t Y_i] \quad (6)$$

Rõ ràng những đại lượng không phụ thuộc thời gian nằm trong các ẩn số X và Y. Còn những đại lượng phụ thuộc thời gian nằm trong các hệ số a_i và b_i của mỗi phương trình, do đó chúng được tính đến đầy đủ khi lập ra hệ n phương trình ứng với n độ cao mực nước quan trắc tại những thời điểm khác nhau. Giải những phương trình này bằng phương pháp bình phương nhỏ nhất, tìm được các ẩn số A_0, X_i, Y_i , từ đó tính các cặp hằng số điều hòa:

$$H_i = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2}, \quad g_i = \arctg \frac{Y_i}{X_i} \quad (7)$$

Theo phương pháp bình phương nhỏ nhất xác định các ẩn số của những phương trình (6) sao cho:

$$\sum_{t=t_1}^{t_n} \left\{ Z_t - A_0 - \sum_{i=1}^r [(a_i)_t X_i + (b_i)_t Y_i] \right\}^2 \rightarrow \min. \quad (8)$$

Để thỏa mãn điều kiện (8) sẽ cho một hệ gồm $(2r + 1)$ phương trình đại số tuyến tính (hệ phương trình chính tắc), trong đó: r - số các sóng triều được phân tích (từ sóng triều M_2 đến sóng triều cuối cùng quy ước ký hiệu W):

$$\begin{vmatrix} n & [a_{M_2}] & [b_{M_2}] & [a_{S_2}] & \Lambda & [b_W] \\ [a_{M_2}] & [a_{M_2} a_{M_2}] & [a_{M_2} b_{M_2}] & [a_{M_2} a_{S_2}] & K & [a_{M_2} b_W] \\ [b_{M_2}] & [a_{M_2} b_{M_2}] & [b_{M_2} b_{M_2}] & [b_{M_2} a_{S_2}] & K & [b_{M_2} b_W] \\ \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda \\ [b_W] & [a_{M_2} b_W] & [b_{M_2} b_W] & [a_{S_2} b_W] & \Lambda & [b_W b_W] \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} A_0 \\ X_{M_2} \\ Y_{M_2} \\ K \\ Y_W \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} [Z] \\ [a_{M_2} Z] \\ [b_{M_2} Z] \\ K \\ [b_W Z] \end{vmatrix} \quad (9)$$

Trong đó: $[]$ - phép lấy tổng theo thời gian từ $t_1 \rightarrow t_n$.

Như vậy (9) có thể gọi là sơ đồ chi tiết khắc phục được những nhược điểm của các phương pháp phân tích truyền thống. Thực tế các đại lượng f và $(V_0 + u)$, do đó các hệ số a và b, trong sơ đồ này có thể tính chi tiết, tỉ mỉ ứng với từng thời điểm quan trắc độ cao mực nước Z. Thực tế có thể ghép các độ cao mực nước quan trắc lẻ tẻ ở các năm tháng khác nhau thành một chuỗi để phân tích, do đó làm tăng số phương trình dạng (6) và tăng độ chính xác phân tích. Ưu điểm này đặc biệt quan trọng đối với quan trắc dòng chảy vì dòng chảy thường khó quan trắc dài ngày, nhưng được ghi với thời gian khác nhau, thường bé hơn một giờ, một điểm trên biển có thể có vài lần quan trắc dòng chảy vào các năm khác nhau, nếu ghép tất cả các số đo lại với nhau sẽ được nhiều phương trình dạng (6) và tận dụng được thông tin.

Trong mỗi cặp các sóng triều với tần số dao động gần nhau ($K_2 - S_2, P_1 - K_1, Q_1 - O_1, N_2 - M_2$) để tách được chúng cần có chuỗi quan trắc đủ dài, có thể biểu diễn một sóng triều (ít quan

trọng hơn) theo các yếu tố của sóng triều kia xuất phát từ những mối quan hệ lý thuyết giữa chúng. Như vậy, tùy thuộc vào độ dài quan trắc có thể biểu diễn được từ 1 ÷ 4 sóng triều và kết quả là số ẩn trong hệ các phương trình (6) sẽ giảm đi 2, 4, 6 hoặc 8 ẩn.

Khi thay thế tất cả 4 sóng triều, độ dài chuỗi quan trắc theo điều kiện tách sóng triều $n \geq \frac{360^0}{q_i - q_j}$ phải không ít hơn 15 ngày, đồng thời có thể phân tích các hằng số điều hòa của 10

sóng triều cơ bản có tính đến sóng thành phần nước nông là: $M_2, S_2, N_2, K_1, O_1, P_1, Q_1, M_4, M_6$. Khi thay thế các sóng triều trong hai cặp ($K_2 - S_2, P_1 - K_1$) thì độ dài chuỗi quan trắc không ít hơn 30 ngày, đồng thời có thể phân tích các hằng số điều hòa của 11 sóng triều có tính thêm sóng triều MS_4 .

Từ quan hệ lý thuyết giữa các hằng số điều hòa của các sóng triều với tần số gần nhau nhận xét rằng: Tỉ số các biên độ trung bình của các sóng triều được chấp nhận bằng tỉ số của các hệ số trung bình các sóng triều đó trong khai triển chuỗi hàm thế vị lực tạo triều, hơn nữa các hằng số điều hòa về pha của các sóng triều tần số gần nhau chấp nhận bằng nhau [2]. Nghĩa là tồn tại các cặp quan hệ:

$$\begin{aligned} H_{K_2} &= \frac{1}{3,67} H_{S_2}, \quad g_{K_2} = g_{S_2}, \quad H_{P_1} = \frac{1}{3} H_{K_1}, \quad g_{P_1} = g_{K_1}, \\ H_{Q_1} &= \frac{1}{5} H_{O_1}, \quad g_{Q_1} = g_{O_1}, \quad H_{N_2} = \frac{1}{5} H_{M_2}, \quad g_{N_2} = g_{M_2}. \end{aligned} \quad (10)$$

Trên cơ sở các cặp quan hệ (10), phương trình (6) gồm 11 sóng triều được viết lại như sau:

$$\begin{aligned} Z_t = & A_0 + (a_{M_2N_2})_t X_{M_2} + (b_{M_2N_2})_t Y_{M_2} + (a_{S_2K_2})_t X_{S_2} + (b_{S_2K_2})_t Y_{S_2} + (a_{K_1P_1})_t X_{K_1} + (b_{K_1P_1})_t Y_{K_1} + (a_{O_1Q_1})_t X_{O_1} + \\ & + (b_{O_1Q_1})_t Y_{O_1} + (a_{M_4})_t X_{M_4} + (b_{M_4})_t Y_{M_4} + (a_{M_6})_t X_{M_6} + (b_{M_6})_t Y_{M_6} + (a_{MS_4})_t X_{MS_4} + (b_{MS_4})_t Y_{MS_4} \end{aligned} \quad (11)$$

$$\text{Trong đó: } a_{M_2N_2} = f_{M_2} \cos[q_{M_2}t + (V_0 + u)_{M_2}] + \frac{1}{5} f_{N_2} \cos[q_{N_2}t + (V_0 + u)_{N_2}];$$

$$b_{M_2N_2} = f_{M_2} \sin[q_{M_2}t + (V_0 + u)_{M_2}] + \frac{1}{5} f_{N_2} \sin[q_{N_2}t + (V_0 + u)_{N_2}];$$

$$a_{S_2K_2} = f_{S_2} \cos[q_{S_2}t + (V_0 + u)_{S_2}] + \frac{1}{3,67} f_{K_2} \cos[q_{K_2}t + (V_0 + u)_{K_2}];$$

$$b_{S_2K_2} = f_{S_2} \sin[q_{S_2}t + (V_0 + u)_{S_2}] + \frac{1}{3,67} f_{K_2} \sin[q_{K_2}t + (V_0 + u)_{K_2}];$$

$$a_{K_1P_1} = f_{K_1} \cos[q_{K_1}t + (V_0 + u)_{K_1}] + \frac{1}{3} f_{P_1} \cos[q_{P_1}t + (V_0 + u)_{P_1}];$$

$$b_{K_1P_1} = f_{K_1} \sin[q_{K_1}t + (V_0 + u)_{K_1}] + \frac{1}{3} f_{P_1} \sin[q_{P_1}t + (V_0 + u)_{P_1}];$$

$$a_{O_1Q_1} = f_{O_1} \cos[q_{O_1}t + (V_0 + u)_{O_1}] + \frac{1}{5} f_{Q_1} \cos[q_{Q_1}t + (V_0 + u)_{Q_1}];$$

$$b_{O_1Q_1} = f_{O_1} \sin[q_{O_1}t + (V_0 + u)_{O_1}] + \frac{1}{5} f_{Q_1} \sin[q_{Q_1}t + (V_0 + u)_{Q_1}].$$

Giải hệ phương trình (11) được thực hiện theo phương pháp bình phương nhỏ nhất. Những hằng số điều hòa của các sóng triều K_2, Q_1, P_1 và N_2 được tính theo (10). Khi thay thế các hằng số điều hòa ít hơn bốn cặp sóng triều, những hệ số a_i và b_i của các sóng triều nào không sử dụng các cặp quan hệ (10) thì vẫn được tính bình thường theo các công thức (5). Các hệ số của các sóng triều nước nông ($a_{M_4}, b_{M_4}, \dots, b_{M_6}$) cũng được tính bằng cách tương tự.

3. Kết luận

Trên cơ sở kết quả phân tích chi tiết hàng số điều hòa thủy triều theo phương pháp bình phương nhỏ nhất chỉ ra rằng:

- Có thể tính ra bộ hàng số điều hòa thủy triều từ $30 \div 114$ sóng triều áp dụng cho những trạm mực nước quan trắc từng giờ liên tục từ một năm tới nhiều chục năm hơn nữa tính ra bộ hàng số điều hòa thủy triều hoặc dòng triều gồm 11 sóng áp dụng đối với các chuỗi quan trắc mực nước hoặc dòng chảy ngắn hạn. Sai số bình phương trung bình thực nghiệm theo phương pháp này khoảng 10 cm, nhỏ hơn rất nhiều so với các phương pháp dự tính khác. Ngoài ra, còn những tiện ích khác như: đảm bảo an toàn hàng hải, trợ giúp nhập lưu số liệu thành định dạng quy ước, kiểm tra dữ liệu, chuyển dữ liệu mực nước sang định dạng của các trung tâm mực nước quốc tế, phân tích kiểm tra, dự tính mực nước, lập bảng thủy triều, tính toán các độ cao thủy triều cực trị, quản lý các bộ hàng số điều hòa của hệ thống trạm mực nước, phân tích thống kê nước dâng rút trên cơ sở số liệu mực nước quan trắc, v.v.

- Xây dựng phần mềm tính toán chuyên dụng và mở rộng khả năng phân tích đối với nhiều loại chuỗi quan trắc, khắc phục những nhược điểm cơ bản của các phương pháp truyền thống. Việc tính đến sự biến thiên của các tham số thiên văn ứng với từng thời điểm ghi độ cao mực nước hay dòng chảy làm tăng độ chính xác của phân tích và tận dụng thông tin quan trắc. Những bộ hàng số điều hòa thủy triều đầy đủ nhận được từ những chuỗi mực nước nhiều năm có thể dùng tham khảo trong nghiên cứu khoa học và nhiều tính toán thực tiễn quan trọng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Thái Dương, Phạm Kỳ Quang, Nguyễn Phùng Hưng. *Giáo trình Địa văn Hàng hải*, tập 3. Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, 2010.
- [2]. Phạm Văn Huấn, Hoàng Trung Thành. *Sơ đồ chi tiết phân tích điều hòa thủy triều*. Tạp chí Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, số 25, 2009, tr. 66-75.
- [3]. NP 203 - Admiralty Tide Tables (ATT). [Hydrographic Dept](#), [Great Britain. Hydrographic Office](#).

Người viết nhận xét: TS. Nguyễn Thanh Sơn

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO THIẾT BỊ TỰ ĐỘNG ĐÁNH GIÁ TÌNH HUỐNG GIAO THÔNG (AATS) - MỘT PHƯƠNG TIỆN CHO ĐÀO TẠO VÀ HUẤN LUYỆN A STUDY ON DESIGNING AN AUTOMATIC ASSESSING TRAFFIC SITUATIONS (AATS) EQUIPMENT - A TOOL FOR EDUCATION AND TRAINING

TS. PHẠM VĂN THUẦN
Phòng KH-CN, Trường ĐHHH

Tóm tắt

Qui tắc quốc tế về phòng ngừa đâm va tàu thuyền trên biển 1972 (Colreg72) được áp dụng cho mọi hành động của hải viên trong công tác dẫn tàu. Việc áp dụng đúng Colreg72 sẽ làm giảm các tai nạn trên biển. Để làm được việc đó, hải viên cần phải phát hiện các tàu mục tiêu, đánh giá nguy cơ đâm va và đưa ra hành động tránh va tuân thủ theo Colreg72 (nếu tồn tại nguy cơ đâm va). Tuy nhiên, đây là việc khó đối với các sinh viên, các thuyền viên trẻ khi phải đánh giá tình huống giao thông và áp dụng đúng luật để tránh đâm va. Thật không dễ cho họ có thể đưa ra hành động tránh va phù hợp chỉ sau thời gian học ngắn ngủi Colreg72 trên lớp. Họ cần thực hành thêm nhiều. Vấn đề này sẽ được giải quyết với AATS. Bằng việc sử dụng thiết bị này, các tàu mục tiêu sẽ được tự động dò giải và đánh giá nguy cơ đâm va. Các hướng dẫn về hành động theo Colreg72 cũng được thiết bị đưa ra. Trong bài viết này, công tác nghiên cứu chế tạo AATS được giới thiệu.

Abstract

The International Regulations for Preventing Collisions at Sea 1972 (Colreg72) is applied for all actions taken by seamen in handling the ships. The correct application of the Colreg72 will reduce accidents at sea. In order to do that, mariners should detect the