

## KHOA HỌC - CÔNG NGHỆ

### XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ TÀU BẰNG PHƯƠNG PHÁP THIÊN VĂN NHỎ NHẤT HIỆU ĐỘ CAO THIÊN THỂ

#### DETERMINING THE SHIP'S POSITION BY THE CELESTIAL ALTITUDE DIFFERENCE BASED ON THE LEAST SQUARE METHOD

NGUYỄN THÁI DƯƠNG

Khoa Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email: nguyenthaiduong@vimaru.edu.vn

#### Tóm tắt

Xác định vị trí tàu bằng phương pháp thiên văn mặc dù có độ chính xác không cao nhưng là phương pháp có tính độc lập, đặc biệt khi hàng hải xa bờ. Trong xu hướng hàng hải hiện đại, trên tàu sẽ trang bị hai hệ thống thông tin và hiển thị hải đồ điện tử (ECDIS), do vậy xác định vị trí tàu bằng độ cao thiên thể sẽ là phương pháp dự phòng chính. Trong trường hợp này, yêu cầu về độ chính xác của vị trí thiên văn sẽ không cao như khi được sử dụng làm vị trí dẫn đường trong các phương pháp hàng hải trước đây. Phương pháp truyền thống, sĩ quan hàng hải sẽ đo đạc, tính toán và thao tác đường vị trí thiên văn để xác định vị trí tàu trên hải đồ. Hiện nay, đã có một số nghiên cứu đề xuất phương pháp giải bài toán thiên văn xác định kinh vĩ độ vị trí tàu ứng dụng các thuật toán phù hợp. Tuy nhiên, mỗi phương pháp đều có ưu nhược điểm và tính ứng dụng nhất định trong thực tiễn. Bài báo đề xuất phương pháp tìm kiếm giá trị bình phương nhỏ nhất hiệu độ cao thiên thể để xác định vị trí xác suất nhất.

**Từ khóa:** Phương pháp thiên văn xác định vị trí tàu, hiệu độ cao thiên thể, bình phương nhỏ nhất.

#### Abstract

Although the ship's position by the celestial navigation fix method is not very accurate, it is an independent method, especially when navigating on the open sea. In the modern maritime, the ship's position by celestial altitude is the main backup method because the ship will be equipped with two the Electronic Chart Display and Information Systems. For that, the requirement for the accuracy of the astronomical position will not be as strict as used navigation in previous navigational methods. In the traditional navigational method, the officer of watch must measure, calculate, and manipulate astronomical position lines to determine the ship's position on

the chart. Currently, there have been several studies that used appropriate algorithms for determining the ship's position by the astronomical method. However, each method has certain advantages and disadvantages and certain applicability in practice. This research proposes a method to find the minimum squared value of the difference of the celestial altitude to determine the ship's position with the most probability.

**Keywords:** The celestial navigation fix method, the difference of celestial altitude, least square method.

#### 1. Đặt vấn đề

Hàng hải dẫn đường ngày nay chủ yếu sử dụng các hệ thống định vị vệ tinh như: GPS, GLONASS, GALIEO,... Tuy nhiên, nguyên tắc an toàn hàng hải bao giờ cũng cần có một phương pháp xác định vị trí tàu dự phòng cho các trường hợp sự cố bất thường trên biển. Hội nghị của Tổ chức hàng hải quốc tế (IMO) năm 2010 tại Manila, Philippine ban hành sửa đổi Công ước Quốc tế về các tiêu chuẩn huấn luyện, cấp chứng chỉ và trực ca thuyền viên (STCW 78/2010), trong đó tiếp tục nhấn mạnh tầm quan trọng của việc đào tạo và huấn luyện khả năng xác định vị trí tàu bằng phương pháp thiên văn [1]. Sự tiếp tục nâng cao yêu cầu về kiến thức và kỹ năng xác định vị trí tàu bằng thiên thể xuất phát từ xu hướng các tàu sẽ trang bị ECDIS thay thế hải đồ giấy truyền thống. Trường hợp tàu hàng hải xa bờ, vì một lý do khách quan hay chủ quan dẫn đến không thể nhận được vị trí vệ tinh, sĩ quan trực ca phải quan trắc thiên thể để xác định vị trí tàu. Tuy nhiên, do là phương pháp dự phòng nên yêu cầu về độ chính xác của vị trí thiên văn không cao như khi được sử dụng là vị trí dẫn đường cơ bản trước đây. Để có thể xác định vị trí tàu bằng phương pháp thiên văn nhanh chóng, hạn chế ảnh hưởng của sai số vị trí dự đoán, bài báo tập trung giải quyết một số vấn đề cơ bản sau:

- Cơ sở lý thuyết của việc xác định vị trí tàu bằng phương pháp thiên văn;

- Đánh giá độ chính xác của vị trí dự đoán;
- Tính toán giá trị bình phương nhỏ nhất hiệu độ cao thiên thể;
- Xác định vị trí tàu xác suất nhất.

**2. Cơ sở xác định vị trí tàu bằng phương pháp thiên văn**

Một trong những nhiệm vụ quan trọng nhất của sĩ quan hàng hải trong công tác điều khiển tàu là xác định vị trí thật của tàu trên mặt biển và thao tác lên hải đồ. Xác định vị trí tàu trên biển là xác định kinh vĩ độ địa dư ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ) của người quan sát tại một thời điểm nhất định nào đó. Trong thiên văn hàng hải, vị trí người quan sát được xác định bằng cách tính toán vị trí thiên đỉnh trên thiên cầu, chuyển đổi sang hệ tọa độ địa dư và thao tác trực tiếp trên hải đồ. Vì thế, bước đầu tiên chúng ta phải xét đến mối quan hệ giữa tọa độ địa dư với vị trí thiên đỉnh người quan sát trên thiên cầu.

**2.1. Quan hệ giữa vị trí tàu và vị trí thiên đỉnh của vị trí tàu trên thiên cầu**

Hình 1 biểu diễn thiên cầu, từ vị trí tàu  $M(\varphi_M, \lambda_M)$  trên bề mặt trái đất, chiếu M lên thiên cầu theo hướng dây dọi ta được thiên đỉnh  $Z_M$ . Tương tự, với một điểm G trên kinh tuyến gốc, ta có thiên đỉnh của nó là  $Z_G$ . Mối liên hệ giữa vị trí tàu trên bề mặt trái đất và thiên đỉnh của nó trên thiên cầu thể hiện qua biểu thức [2]:

$$EZ_M = eM \text{ và } E_O E = e_O e \quad (1)$$

Hay:

$$\varphi_M = \delta_Z \text{ và } \lambda_M = t_L^C - t_G^C \quad (2)$$

Với:

$e$  : là giao của kinh tuyến người quan sát với xích đạo,

$e_O$  : là giao của kinh tuyến gốc với xích đạo,

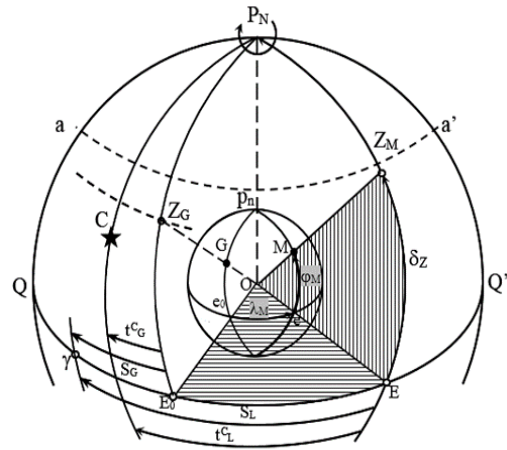
$E$  : là giao của thiên kinh tuyến người quan sát với thiên xích đạo,

$E_O$  : là giao của thiên kinh tuyến gốc với thiên xích đạo,

$\delta_Z$  : là xích vĩ của thiên đỉnh người quan sát,

$t_L^C$  : góc giờ địa phương của thiên thể C,

$t_G^C$  : góc giờ thế giới của thiên thể C.



Hình 1. Thiên đỉnh của vị trí tàu trên thiên cầu

**2.2. Nguyên lý xác định vị trí người quan sát trên trái đất**

Trên tàu, sĩ quan hàng hải tiến hành quan trắc độ cao ( $h$ ) và phương vị ( $A$ ) của thiên thể, đồng thời ghi lại giờ thời kế  $T_{TK}$ . Giải tam giác thiên văn sẽ có phương trình đường cao vị trí [3]:

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos(t_G^Y \pm \lambda_W^E) \quad (3)$$

Với:

$\delta$  : xích vĩ của thiên thể (tra lịch thiên văn hàng hải với đối số là  $T_{TK}$ ),

$t_G^Y$  : góc giờ thế giới của điểm xuân phân  $\gamma$  (tra lịch thiên văn hàng hải với đối số là  $T_{TK}$ ),

$\lambda_W^E$  : kinh độ vị trí dự đoán.

Về mặt lý thuyết, để có vị trí tàu phải quan trắc đồng thời từ hai thiên thể trở lên. Hệ phương trình xác định vị trí tàu bằng phương pháp thiên văn có dạng:

$$\begin{cases} \sin h_1 = \sin \varphi \sin \delta_1 + \cos \varphi \cos \delta_1 \cos(t_G^Y \pm \lambda_W^E) \\ \sin h_2 = \sin \varphi \sin \delta_2 + \cos \varphi \cos \delta_2 \cos(t_G^Y \pm \lambda_W^E) \\ \dots \\ \sin h_n = \sin \varphi \sin \delta_n + \cos \varphi \cos \delta_n \cos(t_G^Y \pm \lambda_W^E) \end{cases} \quad (4)$$

Hệ phương trình (4) có thể giải được bằng các phương pháp khác nhau để xác định vị trí tàu.

**3. Phương pháp đồ giải**

Quan sát hai thiên thể  $C_1$  và  $C_2$  được độ cao  $h_1$  và  $h_2$ , đỉnh cực  $Z_1$  và  $Z_2$  tương ứng tính theo công thức:

$$Z_1 = 90^\circ - h_1 \text{ và } Z_2 = 90^\circ - h_2 \quad (5)$$

Mặt cầu tâm  $C_1$ , bán kính là  $Z_1$  giao với thiên

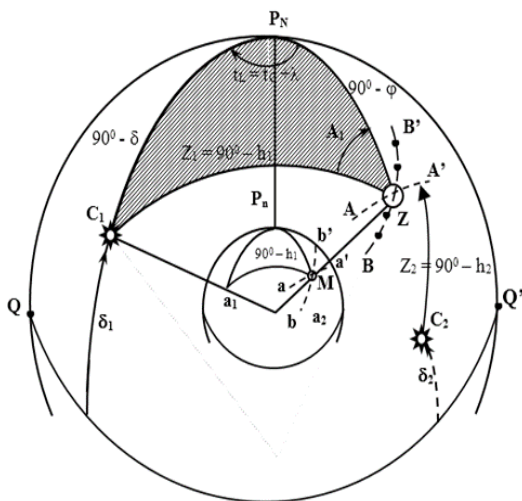
cầu cho đường vị trí là đường BB'. Tương tự, mặt cầu tâm  $c_2$ , bán kính là  $z_2$  giao với thiên cầu cho đường vị trí là AA'. Giao của hai đường vị trí AA' và BB' là thiên đỉnh người quan sát  $Z_M$  (Hình 2).

Chiều xuyên tâm thiên cầu lên bề mặt trái đất nhận được:

- Cực chiếu sáng của thiên thể  $c_1$  và  $c_2$  là  $a_1$  và  $a_2$ ,
- Cực chiếu sáng của thiên đỉnh  $Z_M$  là vị trí của người quan sát  $M$ ,
- Cạnh  $c_1Z$  của tam giác vị trí là cung  $a_1M$ ,
- Hình chiếu của đường vị trí AA' trên bề mặt trái đất là cung tròn aa', tâm  $a_1$ , bán kính  $a_1M = Z_1 = 90^\circ - h_1$ ,
- Hình chiếu của đường vị trí BB' trên bề mặt trái đất là cung tròn bb', tâm  $b_1$ , bán kính  $b_1M = Z_2 = 90^\circ - h_2$ .

Hai đường vị trí giao nhau cho vị trí tàu:  $aa' \cap bb' = M$ .

Phương pháp đồ giải khó thực hiện được trong thực tế vì phải xây dựng quả cầu để thao tác xác định vị trí tàu. Với tỷ lệ 1mm trên quả cầu tương ứng với 1' (hay 1 hải lý), đường kính của quả cầu sẽ là:  $360 \times 60 / 3,14 = 6878,98 \text{mm} \approx 7 \text{m}$ , kích thước này không phù hợp với điều kiện tàu biển.



Hình 2. Phương pháp đồ giải

#### 4. Phương pháp đường cao vị trí

Phương pháp đường cao vị trí được áp dụng hiện nay là phương pháp Saint - Hilaire (phương pháp hiệu độ cao). Bản chất của phương pháp này là thao tác

đường cao vị trí dựa vào các yếu tố dịch chuyển của nó so với vị trí dự đoán [4]. Các yếu tố của đường cao vị trí là:

Hướng dịch chuyển:  $A_C$ ,

Lượng dịch chuyển:  $\Delta h = h_s - h_c$ .

Với:

$A_C$ : phương vị dự đoán (phương vị tính),

$\Delta h$ : hiệu độ cao,

$h_c$ : độ cao tính toán,

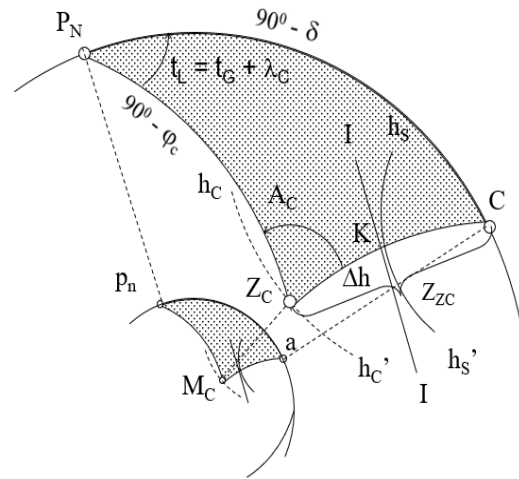
$h_s$ : độ cao thật (đo đạc),

$Z_C$ : đỉnh cự tính toán,

$Z_S$ : đỉnh cự thật.

Thời điểm xác định vị trí tàu, vị trí dự đoán là  $M_C(\varphi_C, \lambda_C)$ , thiên đỉnh người quan sát và độ cao thiên thể tính toán tương ứng là  $Z_C$  và  $h_c$  (Hình 3). Thiên đỉnh  $Z_C$  sẽ nằm trên vòng tròn đẳng cao  $h_c h'_c$ , tâm là vị trí thiên thể C, bán kính là đỉnh cự  $Z_{ZC} = 90^\circ - h_c$ .

Giả sử cùng thời điểm, vị trí thật của tàu là  $M_0(\varphi_0, \lambda_0)$ , đo và hiệu chỉnh được độ cao thật tới thiên thể C là  $h_s$ , đỉnh cự thật  $Z_S = 90^\circ - h_s$ . Vị trí thật sẽ nằm trên vòng tròn đẳng cao  $h_s h'_s$ , tâm là vị trí thiên thể C, bán kính là đỉnh cự thật  $Z_S = 90^\circ - h_s$ .



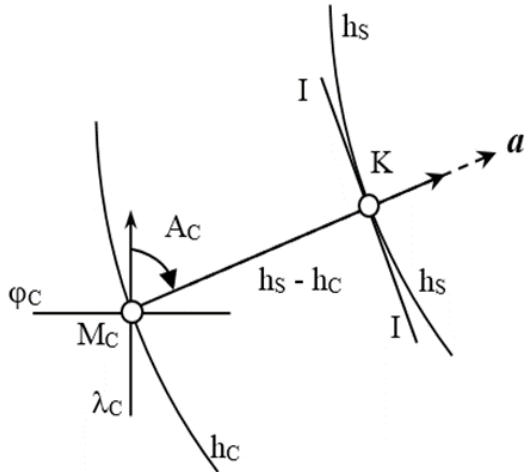
Hình 3. Phương pháp đường cao vị trí

Dựng mặt phẳng thẳng đứng đi qua thiên thể C, mặt phẳng này hợp với mặt phẳng thiên kinh tuyến người quan sát cho giá trị phương vị  $A_C$  tới thiên thể. Vòng thẳng đứng ( $Z_C C$ ) sẽ cắt vòng đẳng cao thật  $h_s h'_s$  tại điểm K gần với thiên đỉnh  $Z_C$ :

$$\Delta h = Z_C K = Z_C - Z_S = (90^\circ - h_c) - (90^\circ - h_s) \quad (6)$$

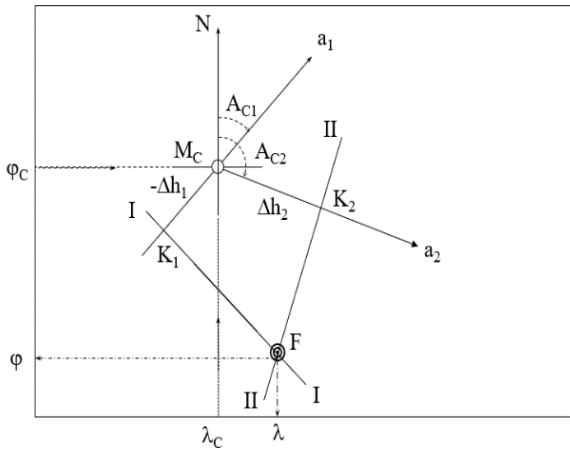
$$\Delta h = h_s - h_c$$

Đường thẳng I-I tiếp tuyến với cung của vòng đẳng cao thật  $h_s h_s'$  (I-I vuông góc với phương vị  $Z_C C$ ) là đường cao vị trí. Chiều đường vị trí từ thiên cầu lên địa cầu và thao tác trên hải đồ (Hình 4):



Hình 4. Đường cao vị trí trên hải đồ

Như vậy, để vẽ đường cao vị trí trên hải đồ cần các yếu tố: vị trí dự đoán  $M_c$ , phương vị dự đoán  $A_c$  và hiệu độ cao  $\Delta h$ . Vị trí tàu sẽ là giao của hai hay nhiều đường vị trí thiên văn tương ứng với số lượng thiên thể quan trắc.



Hình 5. Thao tác xác định vị trí tàu trên hải đồ

**5. Phương pháp thiên văn xác định vị trí tàu trên cơ sở giá trị bình phương nhỏ nhất của sai số độ cao và phương vị thiên thể**

Trên nguyên tắc tính toán vị trí xác suất nhất trong miền tìm kiếm lân cận vị trí dự đoán  $M_c$  của từng đường cao vị trí. Vị trí xác suất nhất xác định theo phương pháp bình phương trung bình của các kết quả tìm kiếm đơn. Các bước tiến hành như sau:

**Bước 1:** Xác định giới hạn miền tìm kiếm

Vĩ độ giới hạn:  $\varphi_{\min} \div \varphi_{\max}$  (giới hạn phía Nam  $\varphi_0 = \varphi_{\min}$  và giới hạn phía Bắc  $\varphi_a = \varphi_{\max}$ )

Kinh độ giới hạn:  $\lambda_{\min} \div \lambda_{\max}$  (giới hạn phía Tây  $\lambda_0 = \lambda_{\min}$  và giới hạn phía Đông  $\lambda_b = \lambda_{\max}$ )

Với:

$\varphi_{\min} = \varphi_c \mp |\Delta\varphi_c|$ ,  $\varphi_{\max} = \varphi_c \pm |\Delta\varphi_c|$ ,  $\Delta\varphi_c$  sai số của vĩ độ dự đoán  $\varphi_c$ , dấu (-) khi xác định vị trí tàu ở Bắc bán cầu, dấu (+) khi xác định vị trí tàu ở Nam bán cầu.

$\lambda_{\min} = \lambda_c \mp |\Delta\lambda_c|$ ,  $\lambda_{\max} = \lambda_c \pm |\Delta\lambda_c|$ ,  $\Delta\lambda_c$  sai số của vĩ độ dự đoán  $\lambda_c$ , dấu (-) khi xác định vị trí tàu ở Đông bán cầu, dấu (+) khi xác định vị trí tàu ở Tây bán cầu,

Sai số vị trí dự đoán ( $\Delta\varphi_c, \Delta\lambda_c$ ) được xác định bằng phương pháp sai số bình phương trung bình tùy thuộc vào điều kiện hàng hải cụ thể sao cho xác suất vị trí thật của tàu nằm trong tập  $\{A\}$  là lớn hơn 95%. Thực tế, trong trường hợp đặc biệt phải sử dụng phương pháp thiên văn dự phòng để xác định vị trí thì chắc chắn trên tàu chỉ có vị trí dự đoán. Khi đó, bán kính sai số bình phương trung bình (R) của vị trí dự đoán theo công thức [5]:

$$M = \sqrt{(S\varepsilon_L)^2 + (S\varepsilon_{TK})^2} \tag{7}$$

Với:

S: quãng đường tàu chạy,

$\varepsilon_L$ : sai số trong số hiệu chỉnh la bàn,

$\varepsilon_{TK}$ : sai số trong số hiệu chỉnh tốc độ kế.

**Bước 2:** Thiết lập tập hợp vị trí tàu giả định trong miền tìm kiếm.

Xây dựng mạng kinh vĩ tạo thành tập hợp điểm  $A = \{F_{xy}\}$  với:  $x = \{1, 2, \dots, b\}$  và  $y = \{1, 2, \dots, a\}$ .

Vĩ độ giới hạn phía Nam  $\varphi_0 = \varphi_{\min}$  và vĩ độ giới hạn phía Bắc  $\varphi_a = \varphi_{\max}$ .

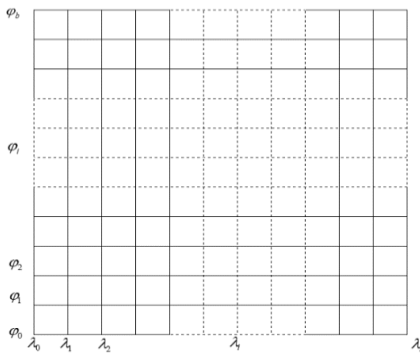
Kinh độ giới hạn phía Tây  $\lambda_0 = \lambda_{\min}$  và kinh độ giới hạn phía Đông  $\lambda_b = \lambda_{\max}$ .

Khoảng giãn cách đảm bảo:

$$\varphi_{i+1} - \varphi_i = 0^0000001 \text{ và } \lambda_{i+1} - \lambda_i = 0^0000001.$$

**Bước 3:** Tìm vị trí xác suất nhất tương ứng với một độ cao đo (vị trí xác suất đơn)

Trên tàu tiến hành quan trắc thiên thể  $C_1$ , sau khi hiệu chỉnh được độ cao đo  $h_{01}$ ,



**Hình 6. Tập hợp điểm trong miền xác định**

Xét một vị trí tàu giả định là  $F_{xy}(\varphi_x, \lambda_y)$ , độ cao tính xác định theo công thức sau:

$$h_{Cxy} = \sin^{-1}[\sin \varphi_x \sin \delta + \cos \varphi_x \cos \delta \cos(t_G \pm \lambda_{yW}^E)] \quad (8)$$

Hiệu độ cao:

$$\Delta h_{xy} = h_{Cxy} - h_{O1} \quad (9)$$

Vị trí xác suất nhất  $F_k(\varphi_k, \lambda_k)$  tương ứng với độ cao đo thiên thể  $C_1$  thỏa mãn điều kiện:

$$\begin{aligned} (\Delta h_{m_1 n_1})^2 &= \min \{(\Delta h_{xy})^2\} \\ &= \min \{(h_{Cxy} - h_{O1})^2\} \\ &= (h_{m_1 n_1} - h_{O1})^2 \end{aligned} \quad (10)$$

Với:

$$m_1 = \{1, 2, \dots, b\} \text{ và } n_1 = \{1, 2, \dots, a\}$$

Như vậy, đo độ cao thiên thể  $C_1$ , tìm được vị trí xác suất đơn tương ứng là  $F_{m_1 n_1}(\varphi_{m_1 n_1}, \lambda_{m_1 n_1})$ .

**Bước 4:** Xác định vị trí tàu xác suất nhất

Để có vị trí tàu, cần đo độ cao ít nhất là hai thiên thể.

Xét trường hợp tổng quát, đo độ cao nhiều thiên thể:  $\{C_1, C_2, \dots, C_k\}$ , các vị trí xác suất đơn tương ứng là:  $\{F_{m_1 n_1}, F_{m_2 n_2}, \dots, F_{m_k n_k}\}$

Vị trí tàu xác suất nhất  $F(\varphi, \lambda)$  có tọa độ tính theo phương pháp sai số bình phương trung bình [8]:

$$\varphi = \sqrt{\frac{\sum_1^k (\varphi_{m_i})^2}{k}} \text{ và } \lambda = \sqrt{\frac{\sum_1^k (\lambda_{m_i})^2}{k}} \quad (11)$$

Tên của  $\varphi$  và  $\lambda$  lấy theo tên của  $\varphi_c$  và  $\lambda_c$  trong trường hợp tổng quát. Trường hợp đặc biệt, miền xác định nằm ở hai phía của đường xích đạo, cần xác định tên theo từng bán cầu riêng biệt.

## 6. Kết luận

Bài báo đã đề xuất phương pháp tìm kiếm giá trị bình phương nhỏ nhất hiệu độ cao thiên thể để xác định vị trí tàu xác suất nhất. Phương pháp mới phù hợp với yêu cầu về việc xác định vị trí thiên văn dự phòng cho hệ thống thông tin và hiển thị hải đồ điện tử theo sửa đổi Công ước STCW 78/2010. Điểm mạnh của phương pháp là vị trí tàu nhận được không phụ thuộc vào độ chính xác của vị trí dự đoán. Cơ sở toán học của phương pháp đơn giản, phù hợp với trình độ của sĩ quan hàng hải hiện nay. Trong nghiên cứu tiếp theo, tác giả đang xây dựng một chương trình xác định vị trí tàu tự động, ứng dụng bảng tính Excel. Chương trình sẽ được thử nghiệm trên tàu biển, so sánh với phương pháp truyền thống và triển khai áp dụng vào thực tế.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] International Maritime Organization. *International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW 78/2010)*.
- [2] B. Krasavtsev, B. Khlyustin, *Nautical Astronomy*, Mir Publishers, Moscow, 1970.
- [3] Nathaniel Bowditch, LL.D, *The American Practical Navigator*, National Imagery and Mapping Agency, Bethesda, Maryland, 2002.
- [4] David Burch, *Celestial Navigation*, Starpath Publications, 2010.
- [5] Phạm Kỳ Quang, Nguyễn Thái Dương, Nguyễn Phùng Hưng. *Địa văn hàng hải 2*. NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2012.
- [6] Thai Duong Nguyen. *Evaluation of the accuracy of the ship location determined by GPS global positioning system on a given sea area*. Journal of Physics: Conference Series. Vol.1515, 2020.
- [7] В. И. Дмитриев, В.Л. Григорян, В.А. Катенин. *Навигация и Лоция*. Учебник для вузов. - Москва «Моркнига», 458 с. 2009.
- [8] Steven J. Miller. *The Method of Least Squares Mathematics*. Department Brown University Providence, RI 02912.

Ngày nhận bài:	27/10/2020
Ngày nhận bản sửa:	30/11/2020
Ngày duyệt đăng:	09/12/2020