

# NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ TÀU BẰNG QUAN TRẮC ĐỒNG THỜI ĐỘ CAO VÀ PHƯƠNG VỊ MẶT TRỜI

## STUDY ON THE METHOD OF DETERMINING SHIP'S POSITION BY SIMULTANEOUS OBSERVATION TO SUN'S ALTITUDE AND AZIMUTH

NGUYỄN THÁI DƯƠNG

Khoa Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email: nguyenthaiduong@vamaru.edu.vn

### Tóm tắt

Xác định vị trí tàu bằng phương vị và khoảng cách đồng thời tới một mục tiêu địa văn là phương pháp đơn giản, có độ chính xác cao và thường được áp dụng khi dẫn tàu ven bờ. Trong thiên văn, việc đo phương vị tới thiên thể tương đối phức tạp và kém chính xác. Chỉ có phương vị mặt trời là có thể đo đạc đơn giản và có độ chính xác cao. Hiện nay, phương pháp thiên văn xác định vị trí tàu vào ban ngày chủ yếu là quan trắc không đồng thời độ cao mặt trời. Phương pháp không đồng thời này có độ chính xác kém, cần phải tính toán quan trắc vào thời điểm mặt trời qua kinh tuyến người quan sát và khoảng thời gian giữa hai lần đo phương vị lớn. Bài báo nghiên cứu đề xuất phương pháp xác định vị trí tàu bằng quan trắc đồng thời độ cao và phương vị mặt trời. Đây là phương pháp thiên văn xác định vị trí tàu mới, khắc phục được các hạn chế của phương pháp quan trắc không đồng thời mặt trời, có thể xác định nhanh chóng vào ban ngày và ít phụ thuộc vào sai số của vị trí dự đoán.

**Từ khóa:** Vị trí dự đoán, cực chiếu sáng, thiên đỉnh, bình minh và hoàng hôn hàng hải, quan trắc đồng thời.

### Abstract

Determining ship's position by simultaneous distance and azimuth observation to a terrestrial object is a simple method with high accuracy and applied in coastal navigation. In celestial navigation, azimuth observation to a body is quite complicated but not very precise. Only the azimuth to a sun can be simply measured with higher accuracy. Nowadays, the celestial method for ship's position determination in daytime is non-simultaneous observation of sun's altitudes. The result of this method is poorly accurate and it can only be done when the sun across the observer's meridian and the time interval between azimuth measurements is also big. This paper suggests a new celestial method of simultaneous observation of sun's altitude and azimuth. The

proposed method can overcome the disadvantages of sun non-simultaneous observation method and determine the ship's position in a short time in daytime as well as not much depends on the error of predicted position.

**Keywords:** Dead reckoning, sub-stellar, zenith, nautical twilight, simultaneous observation.

### 1. Đặt vấn đề

Quan trắc thiên thể xác định vị trí tàu là một phương pháp truyền thống, có ưu điểm là tin cậy, độ lặp và chi phí thấp. Từ khi hệ thống định vị vệ tinh toàn cầu ra đời, với nhiều ưu thế vượt trội về độ chính xác và tính liên tục nên đã trở thành phương pháp xác định vị trí tàu chính khi hàng hải xa bờ. Tuy nhiên vị trí thiên văn vẫn là phương pháp dự phòng trong các trường hợp sự cố bất thường. Hội nghị của Tổ chức Hàng hải quốc tế năm 2010 tại Manila, Philippine đã 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, điều 19 phần B-II/1, chương II của Công ước đã bổ sung yêu cầu về huấn luyện khả năng hàng hải thiên văn đối với thuyền trưởng và sĩ quan vận hành [1]. Với chức năng là phương pháp dự phòng nên yêu cầu về độ chính xác của vị trí thiên văn không quá cao, chú trọng hơn yêu cầu về việc xác định nhanh chóng và dễ thực hiện. Phương pháp xác định vị trí tàu bằng quan trắc không đồng thời mặt trời đang áp dụng thực tế hiện nay đơn giản, có thể thực hiện ban ngày nhưng thời gian xác định vị trí lâu và sai số qui về cùng thời điểm lớn. Nhằm khắc phục hạn chế nêu trên, bài báo đề xuất phương pháp xác định vị trí tàu bằng quan trắc đồng thời độ cao và phương vị mặt trời. Đây là phương pháp mới, đáp ứng yêu cầu của phương pháp dự phòng và phù hợp với tiêu chuẩn dẫn đường an toàn trong điều kiện hàng hải hiện đại ngày nay.

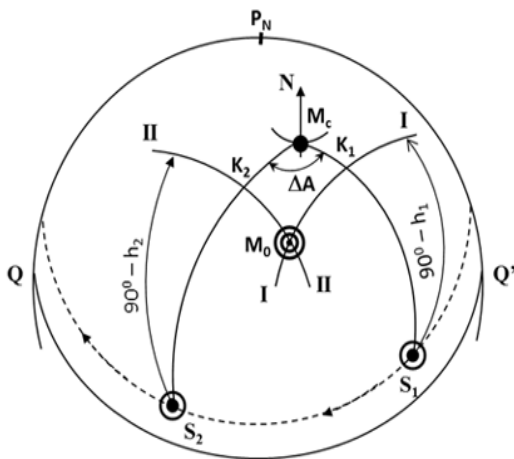
### 2. Xác định vị trí tàu bằng quan trắc mặt trời không đồng thời

#### 2.1. Cơ sở lý thuyết

Điều kiện để đo độ cao là phải quan sát được đồng

thời thiên thể và đường chân trời nhìn thấy. Vì vậy, cần tiến hành xác định vị trí tàu bằng phương pháp thiên văn vào lúc bình minh và hoàng hôn hàng hải. Ban ngày, trên tàu chỉ quan sát được mặt trời nên thường áp dụng phương pháp không đồng thời. Mặt khác, do chuyển động hàng ngày nên mặt trời liên tục thay đổi vị trí so với kinh tuyến và thiên đỉnh người quan sát. Vì vậy, để giảm sai số hình học cần tính toán thời điểm quan trắc để khoảng thời gian giữa hai lần đo phương vị mặt trời biến thiên  $\Delta A \geq 30^\circ$ .

Giả sử, đo độ cao mặt trời lần thứ nhất được  $h_1$ , vòng đẳng cao có tâm là cực chiếu sáng  $S_1$ , bán kính là đỉnh cực  $z_1 = 90^\circ - h_1$ , đường vị trí nhận được là I-I (Hình 1). Phương vị và độ cao mặt trời thay đổi, cực chiếu sáng di chuyển theo cung  $S_1S_2$  tới điểm  $S_2$ . Tiến hành đo độ cao mặt trời lần thứ hai được  $h_2$ , đường vị trí tương ứng nhận được là II-II. Giả sử tàu không di chuyển (neo hoặc buộc cầu) thì vị trí của nó sẽ là giao điểm  $M_0$  của hai đường vị trí  $M_0 = I - I \cap II - II$

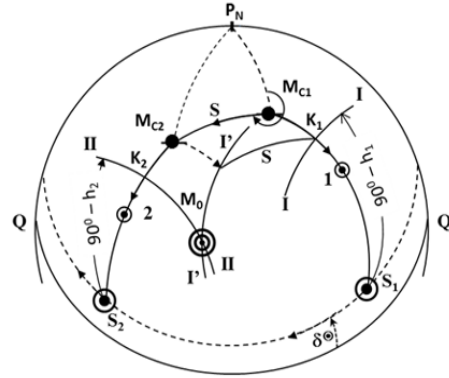


Hình 1. Trường hợp tàu đứng yên

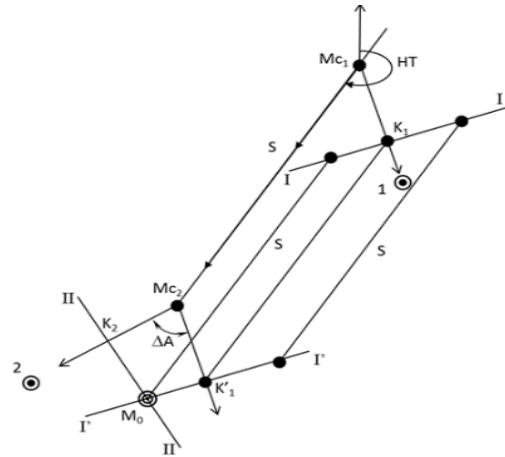
Khi hành trình, khoảng thời gian giữa hai lần quan trắc tàu sẽ di chuyển trên bề mặt trái đất một khoảng cách  $M_{C1}M_{C2} = S$  (Hình 2). Từ vị trí  $M_{C1}$ , đo được độ cao  $h_1$ , đường vị trí I-I được dựng trên cơ sở thiên đỉnh của  $M_{C1}$  và vị trí mặt trời  $S_1$  (với các yếu tố của tam giác vị trí dự đoán  $\varphi_{C1}, \lambda_{C1}, \delta_1, t_1$ ). Tương tự, từ vị trí  $M_{C2}$ , đo được độ cao  $h_2$ , đường vị trí II-II được dựng trên cơ sở thiên đỉnh của  $M_{C2}$  và vị trí mặt trời  $S_2$  (với các yếu tố của tam giác vị trí dự đoán  $\varphi_{C2}, \lambda_{C2}, \delta_2, t_2$ ).

Để xác định vị trí tàu, cần quy các đường I-I và II-II về cùng một thời điểm. Việc quy về cùng một thời điểm có thể thực hiện bằng phương pháp đồ thị. Giữa hai lần đo độ cao, tàu chuyển động được một khoảng cách S theo hướng  $S_1 S_2$ , tương ứng đường vị trí I-I sẽ dịch chuyển tới vị trí I'-I'. Hình 3 cho thấy, ta có thể

vẽ đường I'-I' từ vị trí thứ hai  $M_{C2}$  với các yếu tố ( $\Delta h_1 = h_{S1} - h_{C1}$  và  $A_{C1}$ ). Kết quả nhận được vị trí tàu vào thời điểm thứ hai sẽ là giao của đường II-II và đường vị trí tịnh tiến I'-I' ( $M_0 = II - II \cap I' - I'$ ).



Hình 2. Trường hợp tàu chuyển động



Hình 3. Quy độ cao về cùng thiên đỉnh

## 2.2. Xác định vị trí tàu bằng quan trắc không đồng thời mặt trời

Chọn thời điểm quan trắc:

Biến thiên phương vị của thiên thể trong chuyển động nhìn thấy hàng ngày được tính toán theo công thức sau [2]:

$$\Delta A = (\cos A \cos \varphi \tanh - \sin \varphi) \Delta t \quad (1)$$

Phương vị thay đổi lớn nhất khi đạt giá trị  $A = 0^\circ$  hoặc  $180^\circ$ , chính là khi thiên thể qua kinh tuyến người quan sát. Vì vậy, thời điểm thích hợp nhất để quan trắc xác định vị trí tàu là trước hoặc sau khi mặt trời qua kinh tuyến thượng từ  $2^h 00^m \div 2^h 30^m$  ở vĩ độ trung bình và từ  $40^m \div 1^h 30^m$  ở vĩ độ thấp.

Quan trắc lần thứ nhất từ vị trí dự đoán  $M_{C1}(\varphi_{C1}, \lambda_{C1})$ , đo độ cao mặt trời, ghi giờ thời kế, chỉ số tốc độ kế, hướng đi, áp suất, nhiệt độ và độ cao mắt người quan sát.

Hiệu chỉnh độ cao đo [3]:

$$h_{S1} = OC_{TB1} + i + s - d + \Delta h + \Delta h_{T,B1} \quad (2)$$

Từ giờ thế giới  $T_G$ , tra lịch thiên văn xác định được xích vĩ  $\delta_1^\circ$  và góc giờ thế giới  $t_{G1}^\circ$  của mặt trời. Tính toán góc giờ địa phương của mặt trời theo công thức:

$$t_{L1}^\circ = t_{G1}^\circ \pm \lambda_w^E \quad (3)$$

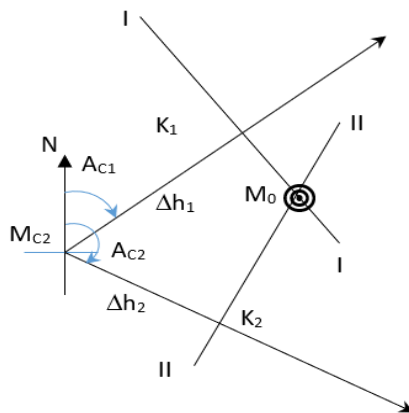
Với các đối số  $(\varphi_{C1}, \delta_1^\circ, t_{L1}^\circ)$ , tra bảng toán chuyên môn hoặc tính trực tiếp theo công thức chung, xác định được độ cao và phương vị của mặt trời  $(h_C, A_C)$ .

Tương tự, tiến hành quan trắc lần thứ hai từ vị trí dự đoán  $M_{C2}(\varphi_{C2}, \lambda_{C2})$  khi phương vị thay đổi được từ  $30^\circ \div 45^\circ$ , tùy điều kiện thực tế [4].

Thao tác trên hải đồ với các yếu tố vẽ đường vị trí thiên văn như sau (Hình 4):

Đường I-I: vị trí dự đoán  $M_{C1}(\varphi_{C1}, \lambda_{C1})$ , phương vị tính  $A_{C1}$  và hiệu độ cao  $\Delta h_1 = h_{S1} - h_{C1}$ ,

Đường II-II: vị trí dự đoán  $M_{C2}(\varphi_{C2}, \lambda_{C2})$ , phương vị tính  $A_{C2}$  và hiệu độ cao  $\Delta h_2 = h_{S2} - h_{C2}$



Hình 4. Thao tác xác định vị trí tàu không đồng thời

### 3. Xác định vị trí tàu bằng các quan trắc đồng thời độ cao và phương vị mặt trời

Vị trí tàu xác định bằng quan trắc không đồng thời mặt trời có nhiều hạn chế như: cần tiến hành vào thời điểm mặt trời qua kinh tuyến người quan sát, chịu ảnh hưởng của sai số vị trí dự đoán và đặc biệt là sai số tịnh tiến đường vị trí. Nhằm khắc phục các hạn chế trên, bài báo giới thiệu phương pháp xác định vị trí tàu bằng quan trắc đồng thời độ cao và phương vị mặt trời, bao gồm các bước sau:

**Bước 1:** Xác định miền tìm kiếm

Mục đích của bước 1 là xác định khu vực lân cận

vị trí dự đoán có xác suất chứa vị trí thật của tàu lớn hơn 95% theo tiêu chuẩn về độ chính xác định vị [5]: Miền tìm kiếm xác định như sau:

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:

$\varphi_{\min} = \varphi_C - |\Delta\varphi_C|$ ,  $\varphi_{\max} = \varphi_C + |\Delta\varphi_C|$ ,  $\Delta\varphi_C$  sai số của vĩ độ dự đoán  $\varphi_C$ ,

$\lambda_{\min} = \lambda_C - |\Delta\lambda_C|$ ,  $\lambda_{\max} = \lambda_C + |\Delta\lambda_C|$ ,  $\Delta\lambda_C$  sai số của kinh độ dự đoán  $\lambda_C$ ,

Sai số dự đoán  $(\Delta\varphi_C, \Delta\lambda_C)$  được xác định dựa trên sai số bình phương trung bình (R) của vị trí tàu ( $|\Delta\varphi_C| = kR$ ,  $|\Delta\lambda_C| = R$ , trong đó (k) là hệ số tăng tỷ lệ xích dọc theo kinh tuyến hay độ tăng vĩ độ trên hải đồ mercator) [6]. Giá trị bán kính (R) được tính toán và lựa chọn sao cho xác suất vị trí thật của tàu nằm trong miền tìm kiếm lớn hơn 95%.

Trong thực tế dẫn tàu, bán kính sai số bình phương trung bình (R) được tính toán theo hai trường hợp cơ bản sau:

**Trường hợp 1:** Không xác định được vị trí tàu, sai số bình phương trung bình của vị trí dự đoán tính theo công thức [7]:

$$R = \sqrt{(S_{TK} \varepsilon_L)^2 + (S_{TK} \varepsilon_{TK})^2} \quad (4)$$

Với:

$S_{TK}$ : 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.

Giả sử tàu chạy được quãng đường theo tốc độ kế là 100 hải lý, sai số trong số hiệu chỉnh tốc độ kế là 0,6%, sai số trong số hiệu chỉnh la bàn  $0^05$ . Tính toán bán kính sai số bình phương trung bình (R):

$$R = \sqrt{\left(100 \frac{0.5}{57^03}\right)^2 + \left(100 \frac{0.6}{100}\right)^2} = 1.06nm$$

Để tính toán sai số dự đoán, bán kính sai số được xác định là  $3R = 3,18$  hải lý (99,7%).

**Trường hợp 2:** Xác định được vị trí tàu bằng mục tiêu địa văn. Xét trường hợp xác định vị trí tàu bằng hai đường vị trí địa văn đồng thời, đánh giá độ chính xác của vị trí xác định bằng hình tròn xác suất, bán kính tính theo công thức [8]:

$$R = \pm \sqrt{(\Delta n_1)^2 + (\Delta n_2)^2} \quad (5)$$

Với:

R: Bán kính sai số bình phương trung bình,

$\Delta n_1$ : Khoảng dịch chuyển bình phương trung bình của đường vị trí thứ nhất,

$\Delta n_2$ : Khoảng dịch chuyển bình phương trung bình của đường vị trí thứ hai.

Giả sử xác định vị trí tàu bằng hai khoảng cách đồng thời tới hai mục tiêu. Bán kính sai số bình phương trung bình của vị trí xác định theo công thức:

$$R = \pm \frac{1}{\sin\theta} \sqrt{(\Delta n_1)^2 + (\Delta n_2)^2}$$

$$= \pm \frac{1}{\sin\theta} \sqrt{\left(\frac{\Delta u_1}{g_{D1}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta u_2}{g_{D2}}\right)^2} \quad (6)$$

Với:

$\theta$  : góc kẹp giữa hai đường vị trí, trong trường hợp này  $\theta = 60^\circ$ ,

$g_{D1} \approx g_{D2} = g_D$ : góc kẹp giữa hai đường vị trí, trong trường hợp này  $\theta = 60^\circ$ ,

$\varepsilon_{D1} \approx \varepsilon_{D2} \approx \varepsilon_D$ : sai số bình phương trung bình của việc đo khoảng cách bằng radar. Sĩ quan hàng hải có thể tự xác định trên tàu hoặc sử dụng giá trị thống kê trung bình trong tài liệu chuyên ngành, trường hợp này lấy  $\varepsilon_D = 0,05nm$  [9],

Với các số liệu trên, tính toán bán kính sai số (R):

$$R = \pm \frac{1}{\sin\theta} \sqrt{(\varepsilon_{D1})^2 + (\varepsilon_{D2})^2} = \pm \frac{\sqrt{2}}{\sin\theta} \sqrt{(\varepsilon_D)^2} \quad (7)$$

$$= \pm \frac{\sqrt{2}}{\sin 60^\circ} \sqrt{(0,05)^2} = 0,08nm$$

Để tính toán sai số dự đoán, bán kính sai số được xác định là  $3R = 0,25$  hải lý (99.7%).

**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  $A = \{M_{xy}(\varphi_x, \lambda_y)\}$ , với:

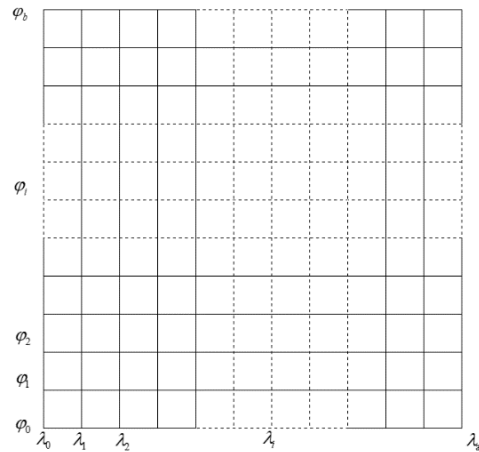
$$x = \{1, 2, \dots, b\} \text{ và } y = \{1, 2, \dots, a\}.$$

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

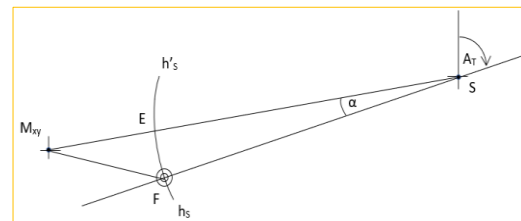
Trên tàu tiến hành đo độ cao và phương vị mặt trời đồng thời, sau khi hiệu chỉnh được ( $h_s, A_T$ ). Thao tác xác định vị trí tàu trên hải đồ mercator: Vòng đẳng cao có tâm là cực chiếu sáng  $S(\varphi_S, \lambda_S)$ , bán kính là khoảng cách thật ( $h_s$ ), giao với phương vị đo ( $A_T$ ) cho vị trí tàu là F. Tuy nhiên, vị trí thật F chỉ là giả định vì không thể vẽ được đường vị trí ( $h_s, h'_s$ ) trên hải đồ do khoảng cách  $h_s$  quá lớn.



**Hình 5. Tập hợp điểm trong miền tìm kiếm**

Tính toán khoảng cách từ điểm bất kỳ  $M_{xy} \in \{A\}$  tới F, do khoảng cách FS rất lớn nên coi gần đúng:

$$EF \approx \widehat{EF} \text{ và } EF \perp M_{xy}S \quad (8)$$



**Hình 6. Xác định vị trí xác suất nhất**

Xét tam giác vuông  $M_{xy}EF$ , ta có:

$$(M_{xy}F)^2 = (M_{xy}E)^2 + (EF)^2 \quad (9)$$

Trong đó:

$M_{xy}F$  : Sai số của vị trí giả định  $M_{xy}$ ,

$$EF \approx \widehat{EF} = FS * \alpha = h_s * \alpha$$

$$\alpha = A_T - K$$

$$M_{xy}F^2 = (M_{xy}E)^2 + (EF)^2$$

K là hướng từ  $M_{xy} \rightarrow S$  trên hải đồ Mercator, tính theo công thức [10]:

$$K = \tan^{-1}\left(\frac{H\lambda}{HD}\right) = \frac{\lambda_S - \lambda_y}{D_{\varphi_S} - D_{\varphi_x}} \quad (10)$$

Với:

Vĩ độ tiến của  $\varphi_x$ :

$$D_{\varphi_x} = a \ln \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_x}{2} \right) \left( \frac{1 - e \sin \varphi_x}{1 + e \sin \varphi_x} \right)^{\frac{e}{2}} \quad (11)$$

Vĩ độ tiến của  $\varphi_S$ :

$$D_{\varphi_s} = a \ln \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_s}{2} \right) \left( \frac{1 - e \sin \varphi_s}{1 + e \sin \varphi_s} \right)^{\frac{e}{2}} \quad (12)$$

Trong đó:

a: bán trục lớn của elip kinh tuyến trái đất,

e: độ lệch tâm của elip kinh tuyến trái đất.

$$M_{xy} E = SM_{xy} - SE = h_s - h_{xy} \quad (13)$$

Với:

$$h_{xy} = \sin^{-1} [\sin \varphi_x \sin \delta + \cos \varphi_x \cos \delta \cos(t_G \pm \lambda_{yW}^{yE})] \quad (14)$$

Vị trí tàu xác suất nhất ( $M_{mn}$ ) thỏa mãn điều kiện:

$$(M_{mn} F)^2 = \min \{ (M_{xy} F)^2 \} \quad (15)$$

#### 4. Kết luận

Bài báo đã trình bày phương pháp xác định vị trí tàu bằng quan trắc mặt trời không đồng thời truyền thống. Phân tích, đánh giá ưu nhược điểm theo tiêu chuẩn về độ chính xác dẫn đường và đặc điểm của phương pháp dự phòng theo yêu cầu của Công ước STCW. Nghiên cứu mới đề xuất phương pháp xác định vị trí tàu bằng quan trắc đồng thời độ cao và phương vị mặt trời. Vị trí tàu được xác định trên cơ sở phương pháp bình phương nhỏ nhất. Đây là phương pháp mới, thực hiện đơn giản nhanh chóng vào thời điểm bất kỳ vào ban ngày, hầu như không phụ thuộc vào vị trí dự đoán. Trên cơ sở toán học đã trình bày, trong các nghiên cứu tiếp theo tác giả sẽ xây dựng chương trình tính toán tự động, hoàn toàn có thể triển khai áp dụng trên tàu biển.

#### Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số **DT20-21.03**.

#### 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] IMO. Resolution A. 529 (13). *Accuracy standards for navigation*, 1983.

[6] Nguyễn Thái Dương, *Ảnh hưởng của độ biến dạng của phép chiếu hải đồ Mercator tới công tác dẫn tàu an toàn*, Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, Số 60 (11/2019).

[7] Phạm Kỳ Quang, Nguyễn Thái Dương, Nguyễn Phùng Hưng. *Địa văn hàng hải 2*. NXB Khoa học và kỹ thuật, 2012.

[8] *Admiralty manual of navigation*. London her majesty's stationery office, 1987.

[9] В. И. Дмитриев, В.Л. Григорян, В.А. Катенин. *Навигация и Лоция*. Учебник для вузов. - Москва «Моркнига», 2009 - 458 с.

[10] Daniel Daners. *The Mercator and stereographical projections and many in between*. The University of Sydney Australia, 2016.

Ngày nhận bài:	22/11/2020
Ngày nhận bản sửa:	04/01/2021
Ngày duyệt đăng:	10/01/2021