PHƯƠNG PHÁP PHỔ SÓNG VÀ MỘT SỐ ỨNG DỤNG

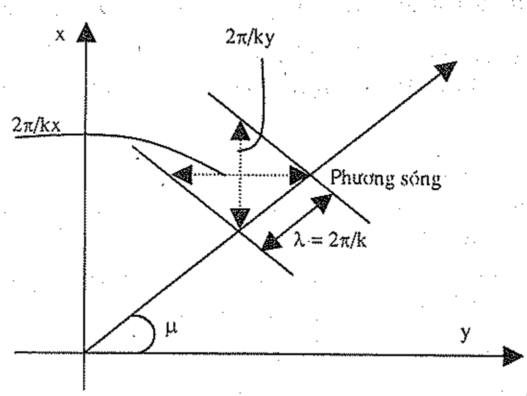
TS. **Nguyễn Doãn Toàn** - Trung tâm Khí tượng Thủy văn Biển

1. Đặc trưng của sóng ngẫu nhiên

Tính chất ngẫu nhiên của sóng được mô tả khá rõ trong công trình [1] và một số công trình khác [2,4]. Phương trình của mặt sóng tuyến tính trong trường hợp phương truyền sóng tạo một góc μ so với trục x có dạng (hình 1)

$$\xi(x,y,t) = a\exp[-j(k_x x + k_y y - \omega t)]$$

trong đó: $k_x = k\cos\mu$; $k_y = k\sin\mu$.



Hình 1. Phương trình truyền sóng lệch một góc μ

Trong thực tế sóng gây ra chủ yếu bởi gió. Gió thổi trên mặt biển yên tĩnh, do sự ma sát giữa không khí và nước kéo theo lớp nước trên mặt chuyển động và tạo ra sóng. Trong giai đoạn đầu, các sóng có biên độ bé và bước sóng ngắn. Gió tiếp tục thổi, các sóng này sẽ lớn dần, đồng thời tiếp tục xuất hiện các sóng bé khác, các sóng này kết hợp với các sóng lớn đã có trước đây. Tổ hợp nhiều sóng với các biên độ khác nhau, phương truyền khác nhau cùng với sự thay đổi của gió theo phương và cường độ, sự thay đổi của chiều sâu nước biển, của độ nhám đáy biển, địa hình làm cho sóng biển không còn là sóng điều hoà mà là một trường quá trình ngẫu nhiên.

Có thể xem sóng biển ngẫu nhiên như sự tổ hợp của vô số sóng tuyến tính với các biên độ khác nhau a_n, tần số khác nhau ω_n, các số sóng khác nhau k_{xn}, k_{yn} với các pha ban đầu khác nhau α_n phân bố đều trong khoảng $[0,2\pi]$:

$$\xi(x,y,t) = \sum_{n=1}^{\infty}\xi_n(x,y,t) =$$

$$= \sum_{n=1}^{\infty} a_n \exp[-j(k_{x_n} x + k_{y_n} y - \omega_n t + \alpha_n)] \qquad (1)$$

Vì các quá trình ngẫu nhiên thành phần ξ_n là độc lập, theo định lý giới hạn trung tâm, quá trình ngẫu nhiên ξ là một quá trình ngẫu nhiên chuẩn với mật độ xác suất

$$f_{\xi}(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi m_0}} \exp\left(-\frac{\xi^2}{2m_0}\right) \tag{2}$$

Vì ξ tính từ mặt nước tĩnh, nên ξ là một quá trình xuyên tâm, $E[\xi] = m_{\xi} = 0$ và $D_{\xi} = \sigma_{\xi}^2 = m_0$. Như vậy sóng trọng lực là một quá trình ngẫu nhiên chuẩn. Điều này không đúng với các loại sóng khác, ví dụ, sóng do mặt căng bề mặt, sóng do động đất....Loại sóng do lực căng bề mặt gây nên tải trọng không đáng kể đối với công trình biển, còn sóng do động đất thì bước sóng rất lớn và có thể khảo sát như một quá trình tiền định, xem như dòng chảy có vận tốc không đổi. Tần số của sóng nằm trong khoảng $\omega = 0,3\ s^{-1}$ đến $\omega = 2,5\ s^{-1}$, do đó sóng là một quá trình dải hẹp điển hình và có thể gần đúng xem như một quá trình dải hẹp với chiều rộng dải là $\varepsilon = 0$.

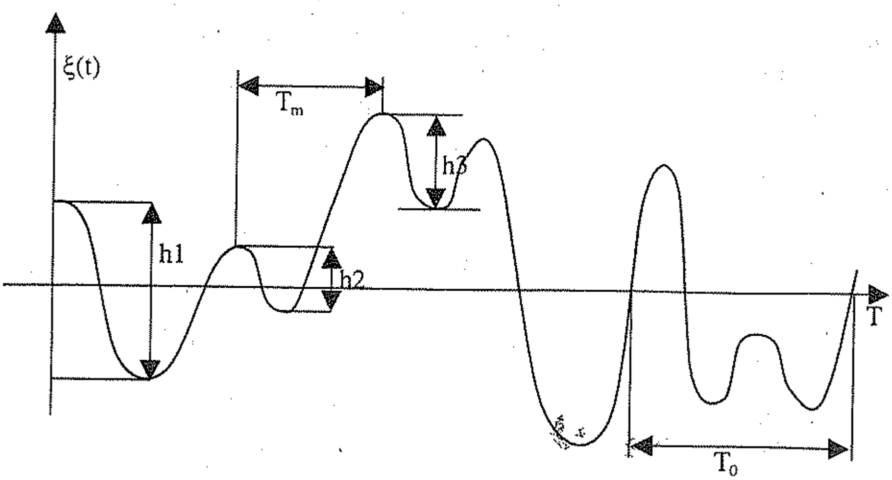
Theo lý thuyết quá trình ngẫu nhiên, một quá trình dải hẹp, phân bố chuẩn như vậy thì biên độ và chiều cao sóng gần đúng sẽ có phân bố Rayleigh.

Để đặc trưng cho trạng thái biển trong một thời gian ngắn ta ghi lại, ví dụ, sự biến thiên của chiều cao mặt nước trong một khoảng thời gian tại một điểm nhất định (hình 2).

Từ biểu đồ này ta đo được các chiều cao sóng h_n (n = 1, 2, 3,....) và chu kỳ sóng. Chiều cao này là khoảng cách theo phương thẳng đứng từ một điểm cực đại đến một điểm cực tiểu tiếp theo. Các chiều cao sóng được phân ra từng lớp, ví dụ từ 0 đến 0,5 m; 0,5 m đến 1 m; 1 m đến 1,5 m;..., và xác suất của từng lớp được vẽ thành một biểu đồ xác suất như hình vẽ 2.3, xác suất phân bố này gần đúng được xem có dạng phân bố Rayleigh. Theo lý thuyết quá trình ngẫu nhiên, biên độ a được xem như giá trị cực đại của ξ và mật độ phân bố của nó có dạng:

$$f_a(a) = \frac{a}{m_0} \exp\left(-\frac{a^2}{2m_0}\right), \qquad a \geq 0 \tag{3}$$

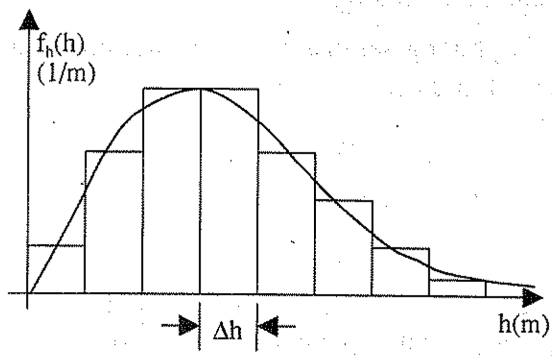
trong đó $m_0 = \sigma_{\xi}^2$ là phương sai của quá trình ngẫu nhiên chuẩn ξ(t) ở vị trí quan sát (x,y).



Hình 2, Sóng tại một điểm theo thời gian

Vì h = 2a nên chúng ta có:

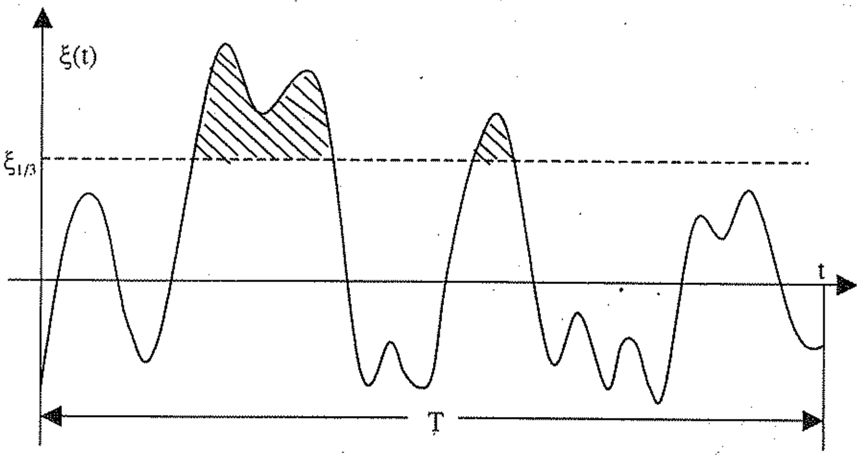
$$f_h(h) = \frac{f_a(a)}{\left|\frac{dh}{da}\right|} = \frac{h}{4m_0}\exp\left(-\frac{h^2}{8m_0}\right), \quad h \geq 0 \tag{4}$$



Hình 3. Mật độ xác suất chiều cao sóng

2. Chiều cao sóng đáng kể h_s, chu kỳ sóng, chiều cao sóng cực đại

Giả thiết đồ thị biến thiên của chiều cao mặt nước biển tại một điểm nào đó ở biển trong một khoảng thời gian T cho trên hình 4



Hình 4. Đồ thị biến thiên của chiều cao mặt nước biển

Tổng số các điểm cực đại trong đơn vị thời gian có kỳ vọng là E[N(-∞)], trong đó N(-∞) là số điểm cực đại trên mức -∞ trong một đơn vị thời gian (tất cả các điểm cực đại). Số điểm cực đại trong khoảng thời gian T bằng T.E [N(-∞)], trên hình 4 ví dụ bằng 9.

Số điểm cực đại vượt qua một mức chiều cao h_0 nào đó trong một đơn vị thời gian là $E[N(h_0,0)]$, và trong khoảng thời gian T là $T.E[N(h_0,0)]$. Ví dụ trên hình vẽ 4 là 3. Nếu

$$\frac{E[N(h_0,0)]}{E[N(\infty,0)]} = \frac{1}{n} \tag{5}$$

thì ta gọi mức $h_0 = \xi_{1/n}$ là mức mà số đỉnh vượt qua nó bằng 1/n tổng số đỉnh. Trên hình vẽ 4, $h_0 = \xi_{1/3}$. Trung bình chiều cao của các sóng mà đỉnh của nó vượt qua mức $\xi_{1/n}$ là $h_{1/n}$, nó chính bằng trung bình của 1/n sóng cao nhất. Lúc n = 3, $h_{1/3}$ được gọi là chiều cao sóng đáng kể, nó cho ta ước lượng giá trị trung bình của chiều cao sóng lúc quan sát thuần tuý bằng mắt thường.

Nếu gọi m_0 là phương sai của ξ và giả thiết phân bố của ξ là phân bố chuẩn, dải hẹp lý tưởng ($\varepsilon = 0$) thì ta có:

$$\left.\begin{aligned} h_{1/1} &= E[h_{1/1}] = 2{,}5\sqrt{m_0} \\ h_s = h_{1/3} &= E[h_{1/3}] = 4\sqrt{m_0} \\ h_{1/10} &= E[h_{1/10}] = 5{,}1\sqrt{m_0} \end{aligned}\right\} \qquad (6)$$

Quan hệ giữa chiều cao sóng đáng kể với chiều cao sóng với mức đảm bảo n% (thường được dùng trong các quy phạm của Liên Xô) là

$$h_{n\%} = \frac{h_s}{4}\sqrt{-8\ln\frac{n}{100}} \qquad (7)$$

trong đó $h_{n\%}$ được định nghĩa là $P(h > h_{n\%}) = n\%$. Với giả thiết h có phân bố Rayleigh, lúc đó hàm phân bố của h có dạng $F(h) = 1 - \exp(-h^2/8m_0)$ và với chú ý $h_s^2 = 16m_0$, ta được phương trình (7). Do đó

$$h_{3\%} = 1{,}324h_s \qquad (8)$$

Từ biểu đồ chiều cao mực nước biển $\xi(t)$ trong hình 2 ta còn đo được chu kỳ các điểm cực đại T_m. Các chu kỳ này có các giá trị trung bình bằng:

$$\left.\begin{aligned} T_0 &= 2\pi\sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \\ T_m &= 2\pi\sqrt{\frac{m_2}{m_4}} \end{aligned}\right\} \qquad (9)$$

trong đó m_0, m_2, m_4...tương ứng là phương sai của ξ, vận tốc ξ và gia tốc ξ. Đối với quá trình dừng ergodic, ta có:

$$\left.\begin{aligned} m_0 &= \int_{-\infty}^{+\infty} S_{\xi\xi}(\omega)d\omega \\ m_2 &= \int_{-\infty}^{+\infty} \omega^2 S_{\xi\xi}(\omega)d\omega \\ m_4 &= \int_{-\infty}^{+\infty} \omega^4 S_{\xi\xi}(\omega)d\omega \end{aligned}\right\} \qquad (10)$$

với $s_{\xi\xi}(\omega)$ là phổ của ξ.

Chiều rộng dải qua trình $\xi(t)$ được xác định như sau:

$$\varepsilon = \sqrt{1 - \frac{T_m^2}{T_0^2}} \qquad (11)$$

Nếu T là khoảng thời gian quan sát của quá trình sóng cho trên hình 2 thì số điểm cực đại trong khoảng thời gian này là $N = T/T_m$ và kỳ vọng của chiều cao sóng lớn nhất trong khoảng thời gian này xác định theo công thức sau đây:

$$E[h_m] = 2\sqrt{m_0}\left[\sqrt{2\ln(N\sqrt{1-\varepsilon^2})} + \frac{0{,}57722}{\sqrt{2\ln(N\sqrt{1-\varepsilon})}}\right] \qquad (12)$$

Ví dụ N = 1000 (tương ứng với thời gian khoảng 5 giờ) với $\varepsilon = 0$,

$E[h_m] = 7{,}74\sqrt{m_0}$ bằng gấp hai chiều cao sóng đáng kể.

Theo tổ chức Khí tượng thế giới (WMO) [5], chiều cao sóng cực đại được đánh giá theo công thức sau:

$$h_{\max} = h_{1/3}\left\{0{,}5\ln(N)^{1/2}\right\} \qquad (13)$$

Ví dụ, với $N = 2000 \div 5000$ có: $h_{max} = 2{,}0h_{1/3}$.

3. Phổ sóng

Năng lượng của sóng không điều hoà có dạng

$$E = \rho g \int_0^{\infty}\int_{\pi/2}^{\pi/2} \Phi_{\xi\xi}(\omega,\alpha)\,d\omega\, d\alpha \qquad (14)$$

trong đó $\Phi_{\xi\xi}(\omega,\alpha)$ gọi là phổ năng lượng theo hướng α của sóng (Directional Wave Spectrum). Góc α được tính từ hướng chính của gió gây ra sóng. Gần đúng có thể biểu diễn $\Phi_{\xi\xi}(\omega,\alpha)$ dưới dạng đơn giản:

$$\Phi_{\xi\xi}(\omega,\alpha) = \Phi_{\xi\xi}(\omega)M(\alpha) \qquad (15)$$

trong đó $\Phi_{\xi\xi}(\omega)$ là phổ năng lượng của sóng đỉnh dài đơn hướng. M(α) là một hàm của góc α; nó có giá trị cực đại lúc α = 0 và giá trị cực tiểu lúc α = ± π/2. Tích phân M(α)trong giới hạn từ -π/2 đến +π/2 phải bằng 1. Theo Lloyd Germary có thể lấy:

$$M(\alpha) = \frac{2}{\pi}\cos^2\alpha \qquad (16)$$

Nếu biết chiều cao sóng đáng kể $h_s = h_{1/3}$ và chu kỳ trung bình T_0 của một trạng thái biển ngắn hạn, có thể tính toán phổ sóng đơn hướng $\Phi_{\xi\xi}(\omega)$ theo các công thức kinh nghiệm. Sau đây là ba phổ sóng thường được dùng.

a. Phổ sóng của Neumann

Theo [1] phổ Neumann có dạng:

$$\Phi_{\xi\xi}(\omega) = \frac{AB}{\omega^6}\exp\left(\frac{B}{\omega^2}\right) \qquad (17)$$

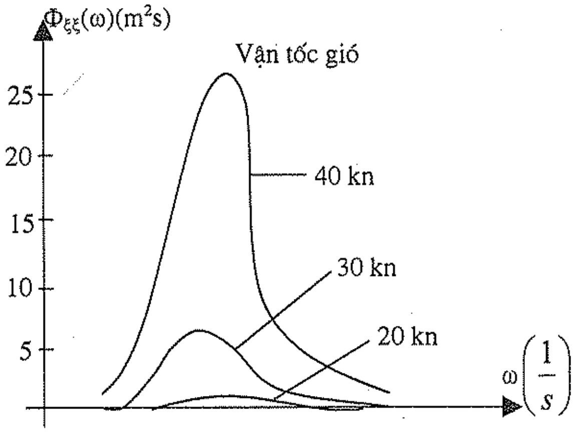
Các hằng số A, B phụ thuộc vào vận tốc gió; lúc tăng vận tốc gió, điểm cực đại của phổ chuyển dịch về phía bên trái của trục ω (về phía ω bé). Trên hình 5 là dạng phổ của Neumann. Các hằng số A, B có thể lấy bằng [1]

$$A = \alpha g^2;\; B = \beta \frac{g^4}{\bar{v}^2}$$

$$\alpha = 8{,}1.10^{-3}; \qquad \beta = 0{,}74$$

g – gia tốc trọng trường;

- vận tốc trung bình của gió ở độ cao 19,5 m



Hình 5. Phổ mặt sóng theo Neumann

(1kn = 1,852 km/h = 0,5144 m/s)

b. Phổ Pearson – Moskwitz

Một trong các phổ sóng thường được sử dụng nhiều nhất là phổ Pearson và Moskowitz nó có dạng:

$$s(f) = \frac{\alpha g^2}{(2\pi)^4 F^5} e^{-1,25(f/f_p)^{-4}} \tag{18}$$

trong đó: g – gia tốc trọng trường,

f - tần số,

$f_p = 0{,}877g/(2\pi U)$, [Hz},

U - tốc độ gió; $\alpha = 8{,}1 \times 10^{-3}$.

c. Phổ JONSWAP

Theo [3] phổ JONSWAP là sự biến đổi của phổ Pearson – Moskovitz có dạng sau:

$$E(f) = \frac{\alpha g^2}{(2\pi)^4 f^5} e^{-1.25\left(\frac{f}{f_p}\right)^4} \gamma(f) \tag{19}$$

trong đó γ là nhân tố làm tăng cường đỉnh phổ so với phổ Pearson – Moskowitz. Các ký hiệu khác như mục trên.

4. Một số ứng dụng trong công trình biển

Trong khoảng 10 năm qua, Trung tâm KTTV Biển đã có những hợp tác chặt chẽ với Ban quản lý dự án dầu khí (DK). Các tập báo cáo về "Các đặc trưng khí tượng thủy văn khu vực DK" đã được ban hành vào các năm 1991, 1996 và 2000. Trong các báo cáo đó đã thể hiện đầy đủ những kết quả nghiên cứu, tính toán và đánh giá các yếu tố KTTV biển khu vực DK* dựa trên những căn cứ khoa học đã có trình bày ở trên. Trong phần này chúng tôi chỉ điểm qua một số kết quả đo đạc, quan trắc về các yếu tố gió, sóng tại DKI-7 và lân cận.

Kết quả tổng kết cực trị tốc độ gió và độ cao sóng cho thấy tốc độ gió mạnh nhất quan trắc được ở khu vực DKI-7 là 34m/s và chiều cao sóng lớn nhất là 8,0m vào tháng XI-1997. Tại Trường Sa, nhiều năm liền gần đây quan trắc được tốc độ gió 28m/s, nhưng chiều cao sóng quan trắc được tại Trường Sa là 9,0m (tháng XII-1998 và XII-1999).

Theo số liệu tàu biển (obs ship) từ 1960 đến nay chủ quan rút được những cực trị vừa nêu trên thuộc Trường Sa và DKI-7. Ngoài ra, theo tổng kết của GS.TS. Nguyễn Xuân Hùng [1], cho biết Hogbel và Lumb đã sử dụng nhiều số liệu quan sát trong nhiều năm để xây dựng biểu đồ phân bố sóng cho khu vực biển khác nhau trên thế giới, trong đó có biển Đông từ vĩ tuyến 10^0N trở lên có 5 trường hợp trong tổng số 289828 số liệu sóng cao $9 \div 10$m, chu kỳ $7 \div 8$s và $8 \div 9$s. Ở nam biển Đông từ vĩ độ 10^0N trở xuống chỉ có 5 trường hợp sóng cao $8 \div 9$m với chu kỳ $6 \div 7$, $7 \div 8$ và $8 \div 9$s trên tổng số 108594 số liệu.

Căn cứ vào những số liệu cực trị quan trắc tại DKI – 7 và Trạm Trường Sa, dựa vào công thức (12) và (13) có thể ước lượng những giá trị độ cao sóng cực đại trong trạng thái biển tháng XII-1998, là thời điểm sóng vượt sàn công tác 3 lần như sau:

Trong hai ngày 12 và 13 tháng XII-1998, tại Trạm Trường Sa quan sát được gió có tốc độ 28 m/s hướng NNW và NW, chiều cao sóng là 9,0 m, hướng NW. Với trạng thái mặt biển những ngày đó, tồn tại độ cao sóng cực đại h_{max}. Độ cao sóng cực đại được xác định theo số liệu sóng quan trắc như sau:

$$h_{max} \approx 2{,}0\ h_{1/3} \approx 2{,}0\ h_s = 2{,}0 \times 9{,}0 = 18 \text{ m}$$

Loại sóng này rất hiếm, phải có điều kiện quan trắc liên tục trong vòng $5 \div 6$ giờ tại một điểm cố định thì mới gặp loại sóng cực đại đó, với điều kiện trạng thái mặt biển ổn định trong nhiều giờ.

5. Kết luận

1. Trong khoảng 10 năm qua, khi nghiên cứu về các điều kiện KTTV biển khu vực DK, nhiều phương pháp và cơ sở khoa học trong đó có phương pháp phổ đang được áp dụng rộng rãi ở nhiều nước trên thế giới cũng đã được ứng dụng cho vùng DK.

(xem tiếp trang 32)

NGHIÊN CỨU QUY LUẬT THỐNG KÊ VÀ THỬ NGHIỆM TÍNH TRỊ SỐ CỰC ĐẠI NHIỆT ĐỘ NƯỚC BIỂN

Nguyễn Tài Hợi -Trung tâm Khí tượng Thủy văn Biển

1. Đặt vấn đề

Trong công tác thiết kế các công trình biển, nhiều trường hợp liên quan đến các yếu tố vật lý và môi trường nước biển, các giới hạn biến đổi của chúng cũng như xác suất xuất hiện các yếu tố ở vị trí số nào đó cần quan tâm. Thường thì các công trình ít khi nằm ở khu vực có các quan trắc dài ngày các yếu tố vật lý thuỷ văn và môi trường. Vì vậy, ngoài việc cần thiết phải có các quan trắc, các thông số thiết kế loại này cần thiết phải thông qua bằng con đường tính toán.

Đối với nhiệt độ và độ muối nước biển, việc tính toán các trị số cực đại với suất bảo đảm khác nhau được tiến hành theo hướng của các phương pháp thống kê[2,3]. Ở Việt Nam, việc tính toán các đặc trưng khí tượng thuỷ văn biển phục vụ các mục tiêu thiết kế xây dựng công trình biển đã được đề cập gần đây nhất trong đề tài cấp Nhà nước[1]. Theo hướng này, việc tính toán bao gồm các bước sau:

a) Xây dựng các đường cong tần suất và suất bảo đảm,

b) Lựa chọn phân bố lý thuyết và tiến hành xác định các thông số,

c) Ước lượng phân bố thực nghiệm,

d) Kiểm chứng giả thuyết thống kê về quy luật phân bố,

e) Tính các đại lượng nhiệt độ với các tần suất bảo đảm khác nhau.

Hiện nay các trạm khí tượng hải văn dọc bờ biển và hải đảo nước ta đã thu thập được chuỗi số liệu nhiều năm có điều kiện thực hiện các tính toán.Trong khuôn khổ bài báo này, chúng tôi đặt vấn đề xem xét quy luật phân bố thống kê và tính thử nghiệm đối với nhiệt độ nước biển tại trạm hải văn cố định.

2. Cơ sở phương pháp

Các hàm phân bố thực nghiệm các trị số tính theo tháng tại các khu vực ven bờ thường được mô phỏng hoặc bằng quy luật đối xứng hoặc quy luật phân bố bất đối xứng [2,3].

a. Phân bố đối xứng

Hàm lý thuyết của phân bố có dạng sau:

$$m' = \frac{NK}{\sigma}\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) \tag{2.1}$$

Trong đó: m' - tần suất xuất hiện các quan trắc trong chuỗi theo các khoảng; N- số quan trắc của chuỗi; K - trị số khoảng chia; σ - độ lệch quân phương trung bình; t - độ lệch được chuẩn hoá.

$$t = \frac{T-\overline{T}}{\sigma}$$