

ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP PHỔ THỰC NGHIỆM TRONG DỰ BÁO SÓNG LỪNG Ở VÙNG BIỂN NƯỚC SÂU

CN. Trịnh Tuấn Đạt
Trung tâm Khí tượng
Thủy văn Biển

Dự báo sóng lừng trên biển là cấp thiết và cần có các phương pháp dự báo hiệu quả. Phương pháp ứng dụng phổ sóng thực nghiệm cho nghiên cứu tính toán sóng lừng là một trong những phương pháp thông dụng hiện nay. Ngoài ra, ứng dụng bộ phần mềm lập trình trên ngôn ngữ MATLAB của Dennis J. Witford để tính sóng lừng theo phương pháp này rất tiện ích.

1. Giới thiệu

Dự báo sóng lừng trên biển là vấn đề rất cần thiết, đặc biệt là các sóng lừng gây ra do bão và áp thấp nhiệt đới trên biển, để phục vụ cho giao thông vận tải biển, đánh bắt cá, phòng tránh các tai nạn trên biển. Tuy nhiên, việc nghiên cứu và dự báo sóng lừng là vấn đề rất phức tạp. Bài báo này đề cập đến các cơ chế tạo ra sóng lừng từ sóng gió và phương pháp ứng dụng phổ sóng thực nghiệm cho dự tính sóng lừng. Để tính toán trên máy tính PC cho dự tính sóng lừng theo phương pháp này, tác giả ứng dụng và giới thiệu bộ phần mềm lập trình trên ngôn ngữ MATLAB của Dennis J. Witford.

2. Các khái niệm cơ bản

a. Sóng lừng

Những sóng do gió gây nên nhưng còn duy trì được sau khi gió ngừng tác động hoặc đổi hướng được gọi là sóng

lừng. Cũng gọi là sóng lừng khi mà sóng đi từ nơi chúng được gió gây nên tới vùng đang xét hoàn toàn lặng gió. Sóng lừng là dạng đặc trưng của chuyển động sóng trong biển. Khi sóng lừng truyền ra xa hàng trăm kilô-mét khỏi vùng tác động của gió thì chu kỳ, bước sóng và vận tốc truyền sóng tăng lên rõ rệt, còn độ cao sóng lừng có thể giảm đi. Theo Titop L.F (1951), hệ thức biểu hiện sự tăng chu kỳ và vận tốc sóng lừng dưới dạng công thức thực nghiệm là:

$$\begin{aligned} \frac{T}{T_0} &= 1,6(1 - 0,375e^{-2,5 \cdot 10^{-5} t}) \\ \frac{T}{T_0} &= 1,6(1 - 0,375e^{-2,5 \cdot 10^{-5} t}) \end{aligned} \quad (1)$$

Trong đó c , T là vận tốc và chu kỳ sóng lừng, c_0 , t_0 là vận tốc và chu kỳ

sóng gió khi chuyển sang dạng sóng lừng.

Theo Suleikin, nếu sóng lừng sinh ra từ một vùng bão thì sự giảm độ cao sóng lừng khi truyền trên khoảng cách x sẽ xảy ra theo quy luật:

$$\frac{h_p}{h_k} = \left[1 + 0,0172 \frac{h_p^2 x}{\lambda_{\max}^3} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Trong đó: h_p là độ cao sóng lừng ở giai đoạn ban đầu, h_k là độ cao sóng lừng ở giai đoạn cuối của tính toán, $\lambda_{\max}$ là bước sóng cực đại trong miền bão.

b. Tán xạ tần số

Khi các sóng đơn chuyển động ra khỏi vùng biển mà chúng được hình thành phát triển bởi gió, chúng không còn chịu tác động của gió. Những sóng lừng này trở thành sóng tự do và tốc độ

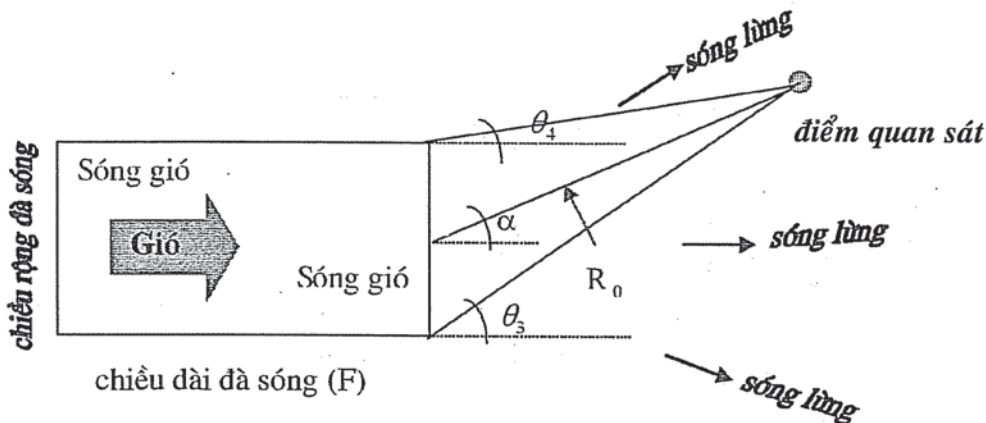
truyền sóng đơn của chúng trong biển sâu được xác định theo chu kỳ bằng công thức:

$$c = 1,56T \quad (3)$$

Trong đó T là chu kỳ sóng tính bằng giây (s). Những sóng lừng này có năng lượng đáng kể mà chúng có thể chuyển động qua các khoảng cách rất lớn.

Trong một vùng đã sóng, có nhiều sóng khác nhau với chu kỳ và bước sóng khác nhau. Mỗi sóng này có các tốc độ truyền sóng đơn khác nhau liên quan đến các chu kỳ sóng khác nhau.

Do vậy, những sóng này sẽ tự chúng phân loại bởi vận tốc truyền sóng (chu kỳ) và chuyển động ra ngoài theo các nhóm sóng đã phân loại gọi là các nhóm sóng. Quá trình phân loại này, xảy ra như là một hàm của chu kỳ hoặc tần số, được gọi là *tán xạ tần số*.



Hình1. Các mối quan hệ giữa sóng gió, sóng lừng, và đã sóng

Hình 1 mô tả các mối quan hệ giữa sóng gió, sóng lừng và đã sóng. Gió tương tác với mặt biển trong miền đã sóng tạo nên các sóng gió. Sóng lừng là những sóng này đã chuyển động rời khỏi miền đã sóng. Các góc θ_3 , θ_4 và góc truyền sóng lừng được sử dụng để

dự báo sóng lừng ở điểm dự báo. R_0 là khoảng cách từ giữa rìa lặng gió của miền đã sóng đến điểm dự báo.

c. Vận tốc nhóm

Tán xạ tần số chỉ ra rằng sóng lừng chuyển động trong các nhóm, và không chuyển động như các sóng đơn lẻ.

Những nhóm sóng này chuyển động ở các tốc độ khác so với các sóng đơn. Các sóng đơn trong nhóm sóng chuyển động nhanh hơn nhóm sóng. Vận tốc nhóm sóng (c_g) đối với các sóng trọng lực bề mặt được diễn tả như sau (Airy, 1845):

$$c_g = \frac{c}{2} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right) \quad (4)$$

Trong đó, k là số sóng ($k = \frac{2\pi}{L}$, đơn vị đo m^{-1}), L là bước sóng, h là độ sâu nước đo từ mặt nước yên tĩnh đến đáy.

Áp dụng phương trình (4) cho vùng nước sâu và kết hợp với phương trình (3) ta có:

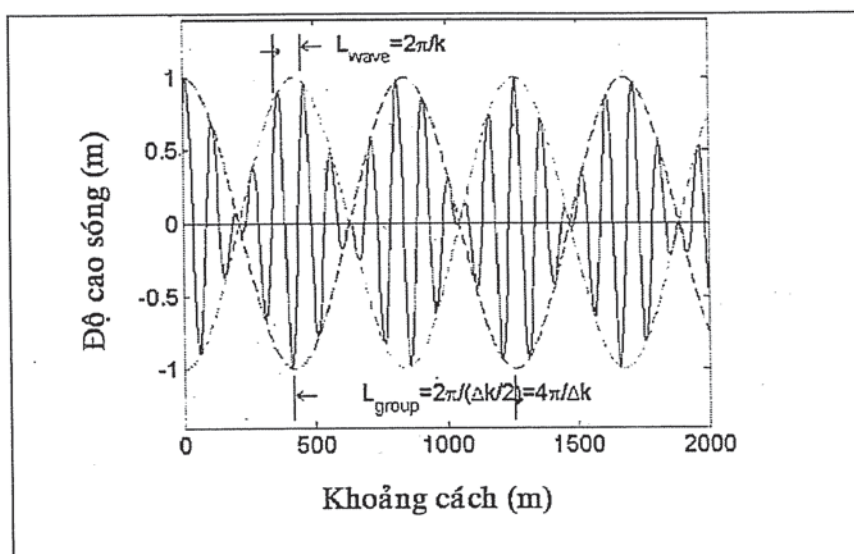
$$c_g = \frac{c}{2} = 0,78T(ms^{-1}) \quad (5)$$

hoặc

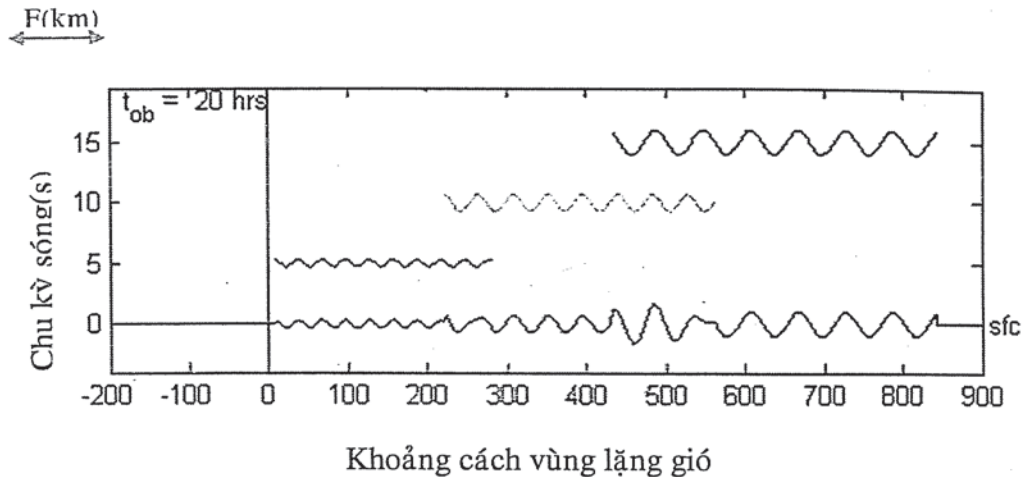
$$c_g = 2,81T(kmh^{-1})$$

Từ (5) cho thấy rằng ở trong vùng nước sâu, vận tốc nhóm sóng không những phụ thuộc vào chu kỳ sóng mà còn bằng 1/2 vận tốc sóng đơn, sự điều biến về biên độ sóng trên hình 2 thể hiện sự dịch chuyển của các sóng đơn trong nhóm sóng.

Vận tốc nhóm là vận tốc của các sóng lừng tán xạ truyền trong biển sâu. Bởi vì sự phụ thuộc vào chu kỳ này, các nhóm sóng có chu kỳ như nhau sẽ tán xạ tuyến tính như minh họa trên hình 3, ký hiệu t_{ob} là thời gian quan sát dự báo.



Hình 2. Sự dịch chuyển của các sóng đơn trong nhóm sóng ở vùng nước sâu



Hình 3. Tán xạ các sóng lừng chu kỳ 5, 10, 15s do các tốc độ khác nhau của chúng thể hiện như là hàm của thời gian và khoảng cách từ miền dầ

3. Phương pháp dự báo

a. Phổ sóng

Tính toán sóng lừng theo phương pháp phổ sóng thực nghiệm, các nhà hải dương học thường sử dụng hai phổ sóng đó là phổ Pierson-Moskowitz (1964) và phổ JONSWAP (Hasselmann et al., 1973). Trong bài báo này sử dụng

phổ JONSWAP bởi vì nó được diễn tả hiện đại hơn và phổ này cũng được dùng trong các mô hình dự báo sóng hiện đại như mô hình dự báo sóng WAM (Komen et al., 1994). JONSWAP là viết tắt của cụm từ tiếng Anh "Joint North Sea Wave Observation Project" và công thức mô tả của JONSWAP như sau:

$$S(\omega) = \frac{\alpha g^2}{\omega^5} \exp \left[-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega_p}{\omega} \right)^4 \right] \gamma^r \quad \text{với} \quad r = \exp \left[-\frac{(\omega - \omega_p)^2}{2\sigma^2 \omega_p^2} \right] \quad (6)$$

Trong đó:

$$\alpha = 0,076 \left(\frac{U_{10}^2}{Fg} \right)^{0,22}; \quad \gamma = 3,3; \quad \omega_p = 22 \left(\frac{g^2}{U_{10}F} \right)^{1/3}; \quad \sigma = \begin{cases} 0,07 & \omega \leq \omega_p \\ 0,09 & \omega > \omega_p \end{cases} \quad (7)$$

F là đà sóng, U_{10} là tốc độ gió ở độ cao 10 m.

b. Chu kỳ sóng lừng

Chúng ta định nghĩa các biến thời gian là t_{start} = thời gian đã trôi qua (tính bằng giờ) từ khi bão bắt đầu (chú ý trường hợp miền dầ tĩnh, $t_{\text{ob}} = t_{\text{start}}$),

t_{end} = thời gian đã trôi qua (tính bằng giờ) từ khi bão kết thúc. Bây giờ cần xác định các chu kỳ sóng lừng bé nhất (T_{little}) và lớn nhất (T_{big}) có thể xuất hiện ở một điểm dự báo cụ thể chỉ do thời gian và khoảng cách. Chúng ta sẽ sử dụng khái niệm tốc độ trong quá

trình xác định chu kỳ sóng lừng.

Để xác định sóng lừng nhanh nhất (tức là T_{big}) có thể truyền tới điểm dự báo từ miền đà (hình 1), chúng ta chia khoảng cách dài nhất có thể (các sóng bị ép buộc rời từ cạnh gió của miền đà) cho lượng thời gian nhỏ nhất có thể (các sóng chuyển động đi khi bão ngừng) và sử dụng phương trình vận tốc nhóm sóng (3):

$$c_g = 2,81T = (\text{khoảng cách dài nhất có thể}) / (\text{thời gian nhỏ nhất có thể}) = \frac{R_o + F}{t_{end}} \quad (8)$$

Trong đó, R_o là khoảng cách (tính bằng km) từ tâm của cạnh lặng gió của miền đà đến điểm dự báo, F là khoảng cách (tính bằng km) từ cạnh gió đến cạnh lặng gió của miền đà, phương trình (8) có thể viết lại như sau:

$$T_{big} = \frac{R_o + F}{2,81t_{end}} \quad (9)$$

Để xác định sóng chậm nhất (tức là T_{little}) có khả năng truyền đến được điểm dự báo từ miền đà chỉ do thời gian và khoảng cách, chúng ta chia khoảng cách ngắn nhất có thể (các sóng truyền đi từ cạnh lặng gió của miền đà) cho lượng thời gian lớn nhất có thể (các sóng truyền đi khi bão bắt đầu):

$$c_g = 2,81T = (\text{khoảng cách ngắn nhất có thể}) / (\text{thời gian dài nhất có thể}) = \frac{R_o}{t_{start}} \quad (10)$$

Phương trình (10) có thể viết lại như sau:

$$T_{little} = \frac{R_o}{2,81t_{start}} \quad (11)$$

Quy ước miền chu kỳ của sóng gió có ý nghĩa là T_{lower} đến T_{upper} .

Chúng ta xác định miền của chu kỳ sóng lừng mà có khả năng truyền được đến điểm dự báo chỉ do thời gian và khoảng cách (T_{little} đến T_{big}). Về mặt logic, chúng ta sẽ lựa chọn miền của chu kỳ sóng lừng mà thực sự xuất hiện ở điểm dự báo bằng cách chọn giá trị nhỏ hơn của T_{upper} và T_{big} , giá trị lớn hơn của T_{lower} và T_{little} , ký hiệu những chu kỳ này là T_1 và T_2 . Như vậy, miền của chu kỳ sóng lừng xuất hiện ở điểm dự báo là T_1 đến T_2 .

c. Tiêu tán năng lượng

Năng lượng sóng lừng ở điểm dự báo là nhỏ hơn rất nhiều so với năng lượng ban đầu được sinh ra bởi gió và tìm thấy trong miền đà. Sự tiêu tán năng lượng này là do sự tán xạ tần số và tán xạ góc. Có thể hình dung sự tiêu tán năng lượng do tán xạ tần số bằng chú ý rằng sóng gió ban đầu chứa tất cả năng lượng giữa T_{lower} và T_{upper} , trong khi đó đối với sóng lừng chỉ chứa năng lượng giữa T_1 và T_2 (hình 5).

Tán xạ góc xảy ra khi năng lượng truyền ra ngoài hoặc bị tiêu tán trên vùng rộng lớn hơn. Chúng ta xác định sự tán xạ góc này bằng một hàm lan truyền hướng, $D(\theta)$, hàm này luôn luôn nhỏ hơn 1. Một trong những dạng ban đầu của một hàm lan truyền hướng là mối quan hệ bình phương của hàm cosin đơn giản (St. Denis và Pierson, 1953):

$$D(\theta) = \frac{2}{\pi} \cos^2(\alpha) \quad (12)$$

trong đó σ , góc truyền sóng lừng, biến đổi từ -90° đến $+90^\circ$. Hàm lan truyền hướng sóng lừng được mô tả dưới dạng phức tạp hơn là (Mitsuyasu et al, 1975):

$$D(f, \alpha) = D(s) \cos^{2s} \left(\frac{\alpha}{2} \right) \quad (13)$$

Trong đó:

$$D(s) = \frac{2^{2s-1} \Gamma^2(s+1)}{\pi \Gamma(2s+1)} \quad (14)$$

$$s = \begin{cases} s_m (f/f_p)^5 & f \leq f_p \\ s_m (f/f_p)^{-2,5} & f > f_p \end{cases}$$

Trong đó Γ là hàm gamma toán học,

$$\Gamma(z) = \int_0^{\infty} t^{z-1} e^{-t} dt$$

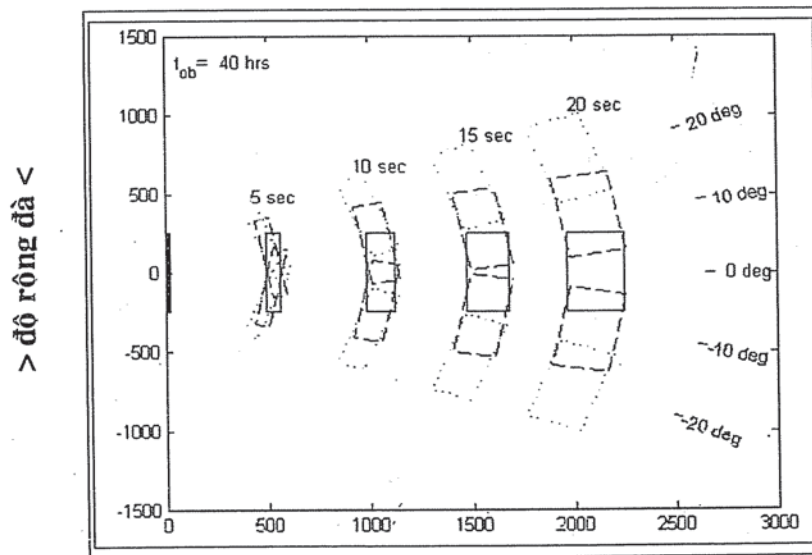
$$D(\theta_3, \theta_4) = 100 \left[\left(\frac{1}{2} + \frac{\theta_4}{180} + \frac{\sin(2\theta_4)}{2\pi} \right) - \left(\frac{1}{2} + \frac{\theta_3}{180} + \frac{\sin(2\theta_3)}{2\pi} \right) \right] \quad (15)$$

Trong đó θ_3, θ_4 được đo bằng độ từ các đường kéo dài của các cạnh miền đã sóng ra phía lạng gió đến các đường nối các góc miền đã với điểm dự báo hình 1. Các góc này có giá trị dương theo chiều kim đồng hồ (góc nằm phía trên đường kéo dài) và âm theo chiều ngược

f_p là tần số ở đỉnh phổ; s_m được cung cấp một giá trị tiêu biểu sóng gió đã xác định bởi Goda (1985) là 10. Chúng ta sẽ sử dụng một hàm lan truyền hướng phức tạp hơn mà có tính đến độ rộng của miền đã. Phương pháp này xác định phần trăm của các sóng truyền tới điểm dự báo từ mỗi góc của độ rộng miền đã phía lạng gió sử dụng (Pierson et al, 1960):

chiều kim đồng hồ (góc nằm phía dưới đường kéo dài).

Hình 4 diễn tả sự lan truyền góc của sóng lừng, các chu kỳ sóng lừng khi tán xạ góc và tán xạ tần số ra vùng lạng gió từ miền đã thể hiện như hàm của thời gian.



Khoảng cách vùng lạng gió

Hình 4. Lan truyền góc của sóng lừng, đường tô đậm phía trái hình thể hiện rìa lạng gió của miền đã

d. Độ cao sóng lừng

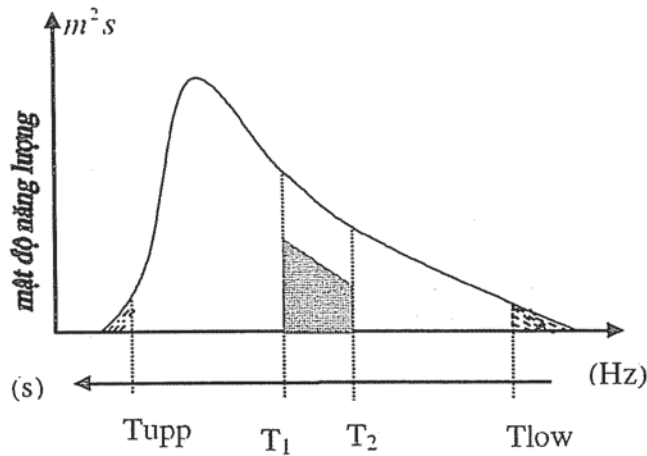
Kết hợp các hiệu ứng tán xạ tần số và tán xạ góc vào sự giảm mật độ năng lượng sóng ban đầu có thể xác định mật độ năng lượng sóng lừng như sau:

$$S_{swell} = [S(1/T_1) - S(1/T_2)] [D(\theta_3, \theta_4)] \quad (16)$$

hoặc

$$S_{swell} = [S(f_1) - S(f_2)] [D(\theta_3, \theta_4)] \quad (17)$$

Trong đó, số hạng thứ nhất ở vế phải của phương trình (16) hoặc (17) là tích phân mật độ năng lượng từ phổ mật độ năng lượng sóng gió giữa T_1 và T_2 , hoặc f_1 và f_2 tương ứng và S_{swell} là tổng cộng mật độ năng lượng sóng gió tại điểm dự báo. S_{swell} được mô tả bởi mật độ năng lượng đã tô đậm giữa T_1 và T_2 trong hình 5.



Hình 5. Phổ mật độ năng lượng sóng gió đã phát triển hoàn toàn với miền chu kỳ sóng có ý nghĩa $[T_{upper}, T_{lower}]$ trong vùng dãi; mật độ sóng lừng tại điểm dự báo (vùng tô đậm trong miền $[T_1, T_2]$)

Các độ cao sóng lừng được xác định từ mật độ sóng lừng bằng sử dụng phân bố Rayleigh (Longuet-Higgins, 1952) như sau:

$$\text{Độ cao sóng lừng xuất hiện nhiều nhất: } H_{freq} = 2,0(S_{swell})^{1/2} = 2,0\sigma \quad (18)$$

Độ cao sóng lừng trung bình:

$$H_{avg} = 2,5(S_{swell})^{1/2} = 2,5\sigma \quad (19)$$

$$\text{Độ cao sóng lừng trung bình căn phương: } H_{rms} = 2,8(S_{swell})^{1/2} = 2,8\sigma \quad (20)$$

Độ cao sóng lừng có ý nghĩa:

$$H_s = 4,0(S_{swell})^{1/2} = 4,0\sigma \quad (21)$$

Độ cao sóng lừng 1/10:

$$H_{1/10} = 5,1(S_{swell})^{1/2} = 5,1\sigma \quad (22)$$

Trong đó σ là độ lệch chuẩn của sự giảm độ dịch chuyển bề mặt nước.

4. Tính toán

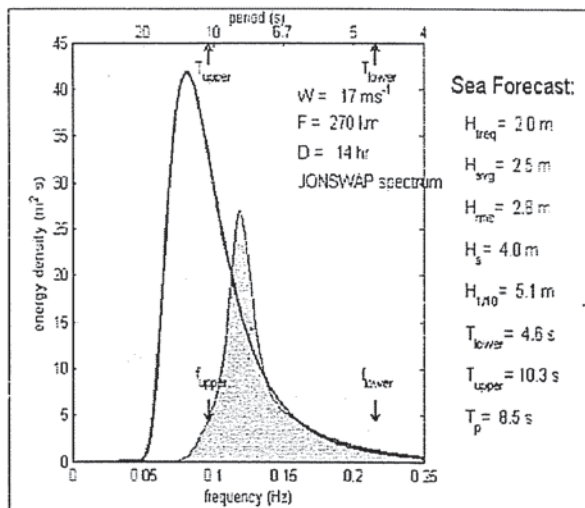
Hiện nay, trên thế giới đã phát triển rất nhiều các phần mềm hiện đại phục vụ cho tính toán sóng lừng và sóng gió, ví dụ như mô hình WAM.

Để tính toán sóng lừng theo phương pháp nêu trong bài báo này, tác giả đã lựa chọn ứng dụng chương trình phần mềm của Dennis J. Whitford cho tính toán, đây là bộ chương trình được biên soạn trên mã nguồn MATLAB có thể chạy với hệ điều hành Window thông

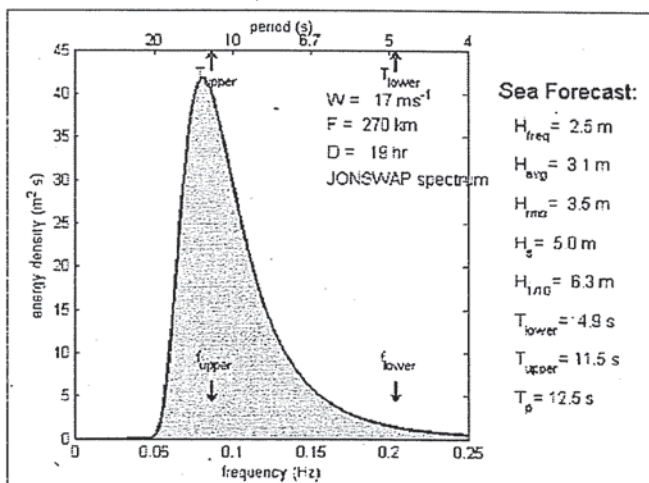
dụng trên các máy tính PC.

Tác giả đã lựa chọn hai phương án đầu vào để chạy tính toán dự báo thử như trình bày trên các hình 6, hình 7, hình 8, hình 9, hình 10, hình 11. Phương án đầu vào thứ nhất cho tính toán tương ứng với dữ liệu gió 17m/s, chiều dài đà sóng gió 270km, khoảng thời gian cho phát triển sóng gió là 14 giờ, phương án đầu vào thứ hai cho tính toán sóng lừng cũng tương ứng với dữ liệu gió 17m/s, chiều dài đà sóng gió 270km như

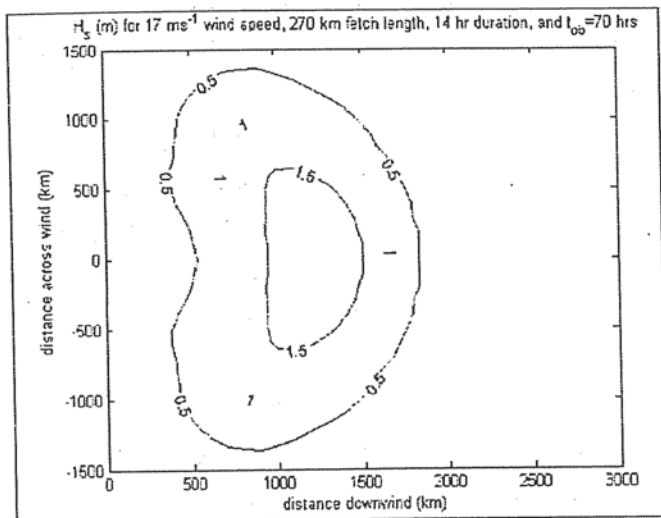
phương án thứ nhất, chỉ khác là khoảng thời gian cho phát triển sóng gió là 19 giờ. Kết quả tính toán cho thấy trên hình 7 của phương án hai, phổ sóng gió đã phát triển hoàn toàn. Trong khi đó ở phương án thứ nhất, phổ sóng gió vẫn chưa phát triển hoàn toàn. Sự thể hiện trực quan các đường đồng mức và bề mặt biển ứng với sóng lừng có ý nghĩa trong vùng lặng gió tính toán của hai phương án như trên hình 8, hình 9, hình 10 và hình 11.



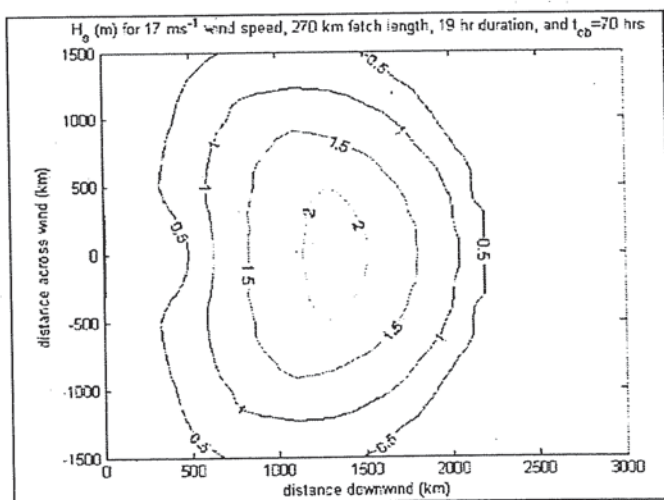
Hình 6. Phổ sóng gió của JONSWAP tính với gió 17m/s, đà 270km, khoảng thời gian phát triển 14 giờ và độ cao sóng gió tương ứng.



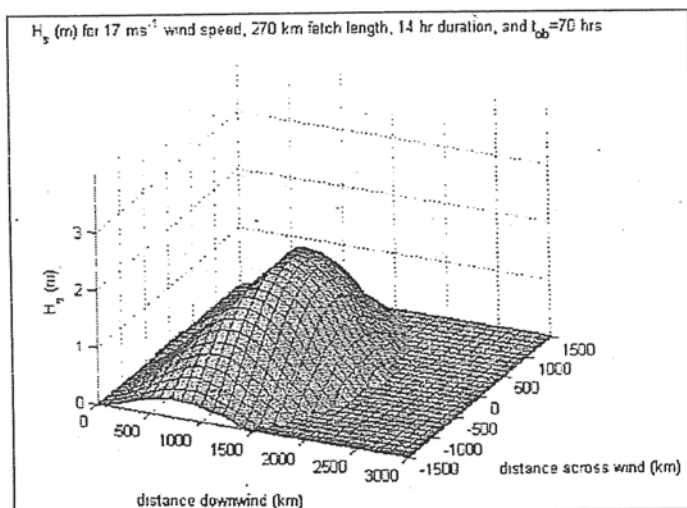
Hình 7. Phổ sóng gió của JONSWAP tính với gió 17m/s, đà 270km, khoảng thời gian phát triển 19 giờ và độ cao sóng gió tương ứng.



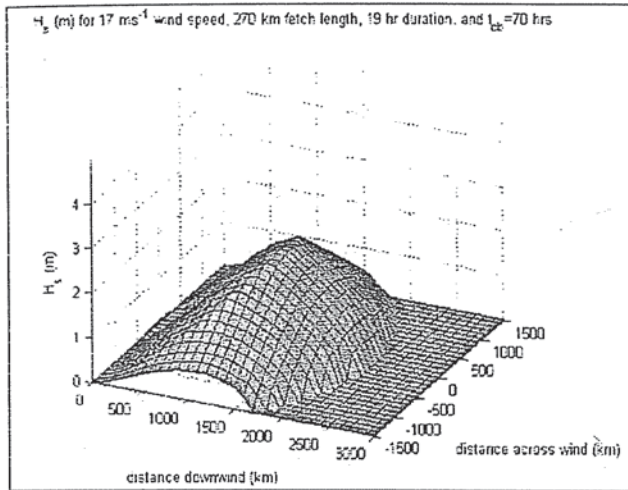
Hình 8. Đường đồng mức độ cao sóng lừng có ý nghĩa trong vùng tính tương ứng gió 17m/s, đà 270km, khoảng thời gian phát triển 14 giờ trong miền đà, thời gian dự báo 70 giờ.



Hình 9. Đường đồng mức độ cao sóng lừng có ý nghĩa trong vùng tính tương ứng gió 17m/s, đà 270km, khoảng thời gian phát triển 19 giờ trong miền đà, thời gian dự báo 70 giờ.



Hình 10. Bề mặt biển ứng với độ cao sóng lừng có ý nghĩa trong vùng tính tương ứng gió 17m/s, đà 270km, khoảng thời gian phát triển 14 giờ trong miền đà, thời gian dự báo 70 giờ.



Hình 11. Bề mặt biển ứng với độ cao sóng lừng có ý nghĩa trong vùng tính tương ứng gió 17m/s, đà 270km, khoảng thời gian phát triển 14 giờ trong miền đà, thời gian dự báo 70 giờ.

5. Kiến nghị

Phương pháp dự báo sóng lừng nêu trong bài báo này là một trong những phương pháp hiện nay trên thế giới đang sử dụng khá phổ biến. Bởi vậy, có thể ứng dụng phương pháp dự tính sóng lừng này cho vùng Biển Đông của Việt Nam.

Bộ chương trình phần mềm của Dennis J. Whitford có mã nguồn mở và có thể cải tiến để trở thành bộ chương trình dự tính sóng lừng mà có thể ứng dụng tính toán hữu ích cho vùng Biển Đông của Việt Nam, cũng như vào mục đích nghiên cứu sóng lừng.

Tài liệu tham khảo

1. WMO Guide to wave analysis and forecasting. 2nd edition. WMO No.702, Geneva, Switzerland, 47 - 52, 1998.
2. Massel S.R. Ocean surface waves: their physics and prediction. World Scientific 11, 63 - 107, 1996.
3. Stewart R.H Introduction to physical oceanography. Texas A University, 285 - 290, 2002.
4. Whitford, D.J. Teaching ocean wave forecasting using computer-generated visualization and animation - Part 2: Swell forecasting. Computers & Geosciences 28, 547 - 554, 2002.
5. Đỗ Thiên. Động lực học biển - Phần II: Sóng biển. Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Hà Nội, 99-102, 1998.