

DỰ BÁO PHỔ SÓNG VÙNG NƯỚC NÔNG

Hồ Ngọc Sang

Trung tâm Khí tượng Thủy văn phía nam

Việc nghiên cứu tính toán và dự báo sóng vùng nước nông ven bờ hiện nay là một yêu cầu rất cấp bách nhằm phục vụ công tác điều tra nghiên cứu điều kiện tự nhiên, tài nguyên môi trường vùng ven bờ, phục vụ việc đánh bắt, nuôi trồng hải sản, giao thông vận tải biển, công tác an ninh quốc phòng, chống xói mòn bờ biển, xây dựng các công trình ven biển, ...

Sóng biển có những biến đổi hết sức có ý nghĩa xảy ra ở phổ bề mặt biển khi nó lan truyền từ vùng nước sâu đến nước nông. Các biến đổi này là kết quả tổng hợp của các lực ma sát đáy, gây ra gió, sự vỡ sóng, sự khúc xạ sóng, hiệu ứng bờ.

Trong bài báo này, chúng tôi giới thiệu một sơ đồ dự báo về những biến đổi đó ở vùng nước nông.

I. PHƯƠNG TRÌNH DỰ BÁO BỀ MẶT BIỂN: SỰ BẢO TOÀN NĂNG LƯỢNG

Xem xét một diện tích bất kỳ A được giới hạn bởi mặt cong kín S, có năng lượng toàn phần $E dA$.

Xét một phần tử của S là dS , có pháp tuyến đơn vị n và vận tốc truyền năng lượng qua dS và V .

Diện tích A có nguồn cường độ Q cho mỗi đơn vị diện tích.

Sự bảo toàn năng lượng đối với diện tích A là:

$$\frac{\delta}{\delta t} \int E dA + \int EV \cdot n dS + \int Q dA = 0 \quad (1)$$

Dùng định lý Green, phương trình (1) trở thành:

$$\iint \left(\frac{\delta E}{\delta t} + \nabla \cdot (EV) + Q \right) dA = 0$$

Vì A bất kỳ, nên hàm dưới dấu tích phân phải bằng không:

$$\begin{aligned} \frac{\delta E}{\delta t} + \nabla \cdot (EV) &= -Q \\ \text{hay } \frac{dE}{dt} &= -Q \end{aligned} \quad (2)$$

Phương trình (2) là sự bảo toàn năng lượng. Phương trình này được chứng minh đầu tiên bởi Longuet - Higgins khi $Q = 0$ (tức là $E = \text{const}$: không phát sinh hay tiêu tán năng lượng).

Bài toán dự báo phổ năng lượng bây giờ được quy về việc đánh giá số trị của $\frac{dE}{dt}$ và vào việc chọn các hàm thích hợp với nguồn phát sinh và tiêu tán năng lượng Q .

II. NGUỒN PHÁT SINH VÀ TIÊU TÁN

Nguồn phát sinh và tiêu tán bao gồm trong Q là sự phát sinh gió, sự tiêu tán do ma sát đáy, sự vỡ sóng và những biến đổi phi tuyến của sóng.

1. Sự phát sinh gió

Phổ ứng suất rối của gió được đối lưu trên mặt biển và tạo ra sóng (cơ chế của Phillips).

Khi mặt biển bị nhiễu loạn, lần lượt nó làm nhiễu loạn dòng không khí, dẫn đến phát sinh tiếp các sóng và gây nên sự nhiễu loạn của nước và không khí thêm nữa (cơ chế của Miles).

Do vậy, cơ chế phát sinh gió có thể diễn tả dưới dạng:

$$G = (\alpha + \beta E) \quad (3)$$

Trong đó α biểu diễn cơ chế Phillips, và β biểu diễn cơ chế Miles.

Số hạng α bao gồm phổ ứng suất rối khí quyển trên mặt biển. Nhiều dạng của α được đề nghị bởi Phillips, Hasselmann, Barnett, Snyder, Cox, Inoue,...

Phillips thì xuất phát từ định nghĩa cơ bản của α :

$$\alpha = \frac{\pi P(k, \omega)}{\rho^2 c^2} \quad (4)$$

Trong đó: $c = \frac{\omega}{k}$

ρ : Mật độ nước,

P: Phổ áp suất khí quyển.

Barnett đã đề nghị một hàm phù hợp cho $P(k, \omega)$ trên cơ sở công trình của Priestley:

$$P(k, \omega) = \frac{6,13 \times 10^{-4} w^6}{\rho^2 \omega^2} \left[\frac{V_2}{V_2^2 + k^2 \sin^2 \delta} \right] \left[\frac{V_1}{V_1^2 + (k \cos \delta - H)^2} \right] \quad (5)$$

Trong đó:

ρ : Mật độ nước, kg/m^3

C: Vận tốc sóng, m/s

δ : Góc giữa vectơ gió và vectơ sóng.

W: Tốc độ gió, m/s

$\omega = 2\pi f$

$V_1 = 0,33 H^{1,28}$

$V_2 = 0,52 H^{0,95}$

$H = \frac{\omega}{k}$

Số hạng β (cơ chế Miles) thì tương đối hiển nhiên hơn.

Snyder và Cox đề nghị: $\beta = s(k \cdot w)^{-\omega}$ (6)

Barnett đề nghị: $\beta = 5 \cdot s f(w \cos \frac{\delta}{c} - 0,90)$ (7)

Trong đó: S là tỷ số của mật độ không khí và mật độ nước.

2 - Sự tiêu tán do ma sát đáy

Sự tiêu tán ma sát đáy có thể xem là công làm chống lại ứng suất trượt (biến dạng) rồi gây ra tại lớp đáy do bởi các chuyển động của phân tử nước.

Đặt U_i ($i = 1, 2$) là thành phần nằm ngang của vận tốc tại một lớp của một trường sóng trong biển:

Ma sát đáy có thể được biểu diễn bởi:

$$T_i = -\rho C_f U_i |u|$$

Sự tiêu tán toàn phần của trường sóng được cho bởi:

$$\Phi = -\langle T_i u_i \rangle = \rho C_f \langle |u|^3 \rangle \quad (8)$$

Ký hiệu $\langle \rangle$ có nghĩa là các giá trị được lấy trung bình theo tập hợp của tất cả các trường sóng theo phổ sóng.

Việc khảo sát gần đúng của hàm tiêu tán do ma sát đáy dưới đây thường được sử dụng:

$$\phi(f, \varphi) = -\frac{C_{rgkV}}{2\pi\omega^2 \cosh^2 kD} S(f, \varphi) \cdot \langle u \rangle \quad (9)$$

Trong đó:

V : Vận tốc nhóm,

D: Độ sâu biển.

$$\langle u \rangle = \left[\sum S(f) \frac{g^2 k^2}{\omega^2 \cosh^2 kD} \Delta f \right]^{1/2}$$

3. Sóng bạc đầu và sự vỡ sóng

Sóng bạc đầu và sự vỡ sóng quan trắc được bởi sự duy trì tác dụng của gió. Sóng phát triển đến một biên độ cực đại nào đó trước khi bắt đầu sự vỡ sóng. Các sóng bạc đầu là mức giới hạn năng lượng của chúng.

Như vậy, một mô hình thực tế nào đó về sự phát sinh, phát triển sóng phải xem xét nghiên cứu sự tạo thành sóng bạc đầu và sự vỡ sóng.

Hiện tượng này có thể được xử lý trong thực hành bằng cách nhân số hạng phát sinh gió G với một yếu tố phụ mà nó biến đổi từ chỗ đồng nhất tại biên độ sóng thấp và bằng không tại lúc sóng vỡ.

Do vậy, số hạng phát sinh gió G được nhân với μ , trong đó μ là đồng nhất suốt quá trình phát sinh, và bằng 0 tại một số giá trị cực đại riêng biệt của mỗi thành phần phổ $E(f, \varphi)$. Điều kiện này được phát biểu:

$$G = \mu (\alpha + \beta E) \quad (10)$$

Trong đó:

$$\mu = 1 \text{ đối với } E < E_{\text{saturated}}$$

$$\mu = 0 \text{ đối với } E \geq E_{\text{saturated}}$$

$$E(f, \varphi)_{\text{saturated}} = A g^2 \omega^{-5} S(\varphi) \quad (11)$$

$$S(\varphi) = \frac{8}{3\pi} \cos^4 \varphi \quad (12)$$

$$A = 0,073$$

4. Những tương tác phi tuyến

Có nhiều loại tương tác phi tuyến trong trường sóng. Cụ thể được phân thành 2 loại: mạnh và yếu. Các loại tương tác phi tuyến cũng sẽ khác nhau ở biển sâu, nông và ven bờ.

Khi sóng vỡ, thì có một tương tác phi tuyến mạnh mẽ. Năng lượng sóng ứng với tần số của sóng vỡ được biến thành năng lượng tần số cao và năng lượng tần số thấp do những sự dịch chuyển khối.

Những tương tác phi tuyến yếu là những xuất hiện từ nhiễu loạn trên sóng tuyến tính như là một kết quả của bản chất phi tuyến của các phương trình cơ bản thủy động lực chi phối chuyển động nước.

Hasselmann, Barnett đã tìm ra những quan hệ thực nghiệm những hiệu ứng tương tác sóng với sóng phi tuyến, mô phỏng hiện tượng lan truyền sóng vùng nước sâu.

Riêng những tương tác giữa sóng với sóng phi tuyến dẫn xuất từ những nhiễu loạn trong vùng nước nông thì không rõ ràng, không chứng tỏ hữu dụng nhiều trong việc mô tả sóng ở vùng nước nông.

III. TỈ SỐ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG

Mật độ năng lượng phổ là một hàm của không gian (x, y), thời gian (t), và của số sóng (k1, k2).

Biến đổi năng lượng có thể xem như là sự xuất hiện bởi các tỉ số biến đổi địa phương, của đối lưu, của khúc xạ (và của hiệu ứng bờ):

Những hiệu ứng này được diễn tả như sau:

$$\begin{aligned} \frac{dE(x, y, k1, k2, t)}{dt} &= \frac{\partial E}{\partial t} \quad (\text{hiệu ứng địa phương}) \\ + \frac{\partial E}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial E}{\partial y} \frac{dy}{dt} & \quad (\text{hiệu ứng đối lưu}) \\ + \frac{\partial E}{\partial k1} \frac{dk1}{dt} + \frac{\partial E}{\partial k2} \frac{dk2}{dt} & \quad (\text{hiệu ứng khúc xạ và hiệu ứng bờ}) \end{aligned} \quad (13)$$

Từ tính chất Hamilton:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= \frac{\partial \omega}{\partial k1} = V \cos \varphi \\ \frac{dy}{dt} &= \frac{\partial \omega}{\partial k2} = V \sin \varphi \\ \frac{dk1}{dt} &= - \frac{\partial \omega}{\partial x} \\ \frac{dk2}{dt} &= - \frac{\partial \omega}{\partial y} \end{aligned} \quad (14)$$

Trong đó $V = \frac{\partial \omega}{\partial k}$: Vận tốc nhóm.

Từ (13), (14), phương trình (2) trở thành:

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial \omega}{\partial k_1} \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial \omega}{\partial k_2} \frac{\partial}{\partial y} - \frac{\partial \omega}{\partial x} \frac{\partial}{\partial k_1} - \frac{\partial \omega}{\partial y} \frac{\partial}{\partial k_2} \right) E(x, y, k_1, k_2, t) = -Q \quad (15)$$

Chúng ta biết rằng, nếu sự định nghĩa của không gian sóng bị thay đổi thì các giá trị của mật độ năng lượng cũng sẽ khác nhau, tức là chúng ta có thể viết:

$$E(k, x, t) = \frac{V}{2\pi k} S(f, \varphi, x, y, t)$$

Và trong trường hợp $\frac{\partial}{\partial t} = 0$, phương trình (15) được dẫn về dạng:

$$\cos \varphi \frac{\partial(VCS)}{\partial x} + \sin \varphi \frac{\partial(VCS)}{\partial y} + \frac{1}{C} \left[\sin \varphi \frac{\partial C}{\partial x} - \cos \varphi \frac{\partial C}{\partial y} \right] \frac{\partial(VCS)}{\partial y} = -\frac{2\pi\omega}{V} Q \quad (16)$$

Chúng ta xét một tham số s như sau:

$$\frac{dx}{ds} = \cos \varphi \quad (17)$$

$$\frac{dy}{ds} = \sin \varphi \quad (18)$$

$$\frac{d\varphi}{ds} = \frac{1}{C} \left[\sin \varphi \frac{\partial C}{\partial x} - \cos \varphi \frac{\partial C}{\partial y} \right] \quad (19)$$

Do vậy:

$$\frac{d(VCS)}{ds} = -\frac{2\pi\omega}{V} Q \quad (20)$$

Phương trình từ (17) đến (19) được công nhận như các phương trình của sự khúc xạ sóng.

Sự biến đổi phổ dọc theo tia được cho bởi tích phân của (20):

$$VCS(f, \varphi) = V_0 C_0 S_0 - 2\pi\omega \frac{Q}{V} ds \quad (21)$$

Trong đó C_0 và V_0 là tốc độ pha và vận tốc nhóm khi giá trị phổ ban đầu S_0 được biết.

Biểu thức phổ năng lượng E có thể được rút về một biến 3 thứ nguyên $E(x, k_1, k_2)$ dọc theo tia sóng khi dịch chuyển với vận tốc $V \cos \varphi$.

Sự bảo toàn năng lượng được diễn tả như sau:

$$\frac{dE}{dt} = V \cos \varphi \frac{dE}{dx} = -Q \quad (22)$$

Dọc theo một tia cho bởi $k_2 = k \sin \varphi = \text{constant}$.

Ngoài ra, chúng ta cũng có thể biến đổi $E(x, k_1, k_2)$ thành $E(f, \varphi, x)$ khi f là tần số và φ là hướng sóng. Do vậy:

$$V \cos \varphi \frac{dE(k_1, k_2, x)}{dx} = V \cos \varphi \frac{d \left[\frac{V}{2\pi k} E(f, \varphi, x) \right]}{dx} = -Q \quad (23)$$

Khai triển (23) và sử dụng tính chất Hamilton, cuối cùng chúng ta được phương trình:

$$\frac{V \cos \varphi}{2\pi} \left\{ \frac{dE}{dx} + E \frac{dD}{dx} \frac{1}{V} \left[\frac{\partial x}{\partial D} \left(\frac{1}{k} - \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial D} \right) + \frac{\partial V}{\partial D} \right] \right\} = -\frac{2\pi k}{V} Q \quad (24)$$

Đạo hàm riêng trong (24) được xác định bởi quan hệ:

$$\omega^2 = 4\pi^2 f^2 = gk \tanh kD \quad (25)$$

Trong đó D là độ sâu biển.

Với $Q = 0$, phương trình (24) được viết lại trong dạng sai phân là:

$$\frac{\Delta E}{\Delta x} = -E \frac{\Delta D}{\Delta x} \frac{1}{V} \left[2\pi \frac{\Delta f}{\Delta D} \left(\frac{1}{k} - \frac{\Delta V}{\Delta D} \right) + \frac{\Delta V}{\Delta D} \right] \quad (26)$$

Nghiệm số trị của phương trình (26) được giải với sơ đồ Runge - Kutta bậc hai.

Độ chính xác của phương pháp được đánh giá bằng biểu thức $\frac{V}{k} E(f, \varphi)$ từ cách như sau:

Lấy tích phân phương trình (23) khi $Q = 0$, ta được:

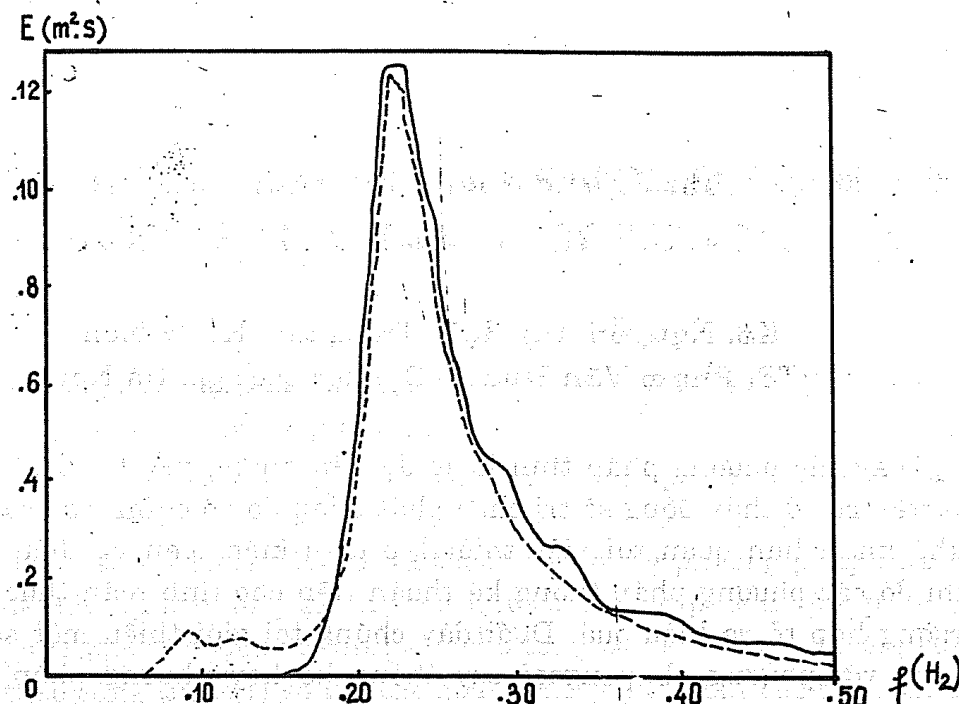
$$\frac{V}{k} E(f, \varphi) = \text{constant} \quad (27)$$

Do đó, tại một vị trí đã cho, V và k có thể được xác định chính xác. Sự thay đổi của giá trị "constant" tính toán trong phương trình (27) là sai số của $E(f, \varphi)$.

IV. TÍNH TOÁN THỬ NGHIỆM

Chúng tôi đã tính toán thử nghiệm một trường hợp tại vùng biển Vịnh Gành Rái (Cần Giờ - TP. Hồ Chí Minh) và so sánh với kết quả đã tính toán trước đây (sử dụng biểu thức phổ năng lượng sóng ở vùng biển ven bờ).

Kết quả, nhận được giá trị của phổ năng lượng nói chung là tốt, ngoại trừ đối với những tần số thấp (hình 1).



Hình 1: Mật độ năng lượng phổ theo tần số f

- Đường liền nét: Mật độ năng lượng phổ (theo mô hình)
- Đường chấm : Mật độ năng lượng phổ (theo công thức)

Có thể nhận xét rằng, tại những tần số thấp:

- + Số hạng α trong cơ chế phát sinh ($G = \alpha + \beta E$) chi phối mạnh mẽ.
- + Hàm $P(k, \omega)$ theo Priestley đề nghị thì khá phù hợp, nhưng rõ ràng cũng không tốt đối với những tần số thấp.

Nhìn chung, kết quả tính toán phổ trong mô hình này khá phù hợp với những kết quả đã tính toán trước đây, ngoại trừ vùng tần số lân cận quanh 0,1Hz.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Davidan - The wave prediction model. 1988.
2. Nguyễn Mạnh Hùng - Phương pháp dự báo sóng. 1992.
3. Phạm Văn Hoạc, Hồ Ngọc Sang - Tính toán và dự báo sóng ở Biển Đông Việt Nam. 1990.
4. Hồ Ngọc Sang - Mô hình tính toán và dự báo sóng ở biển Nam Việt Nam. 1994.
5. Hồ Ngọc Sang - Động lực sóng vùng biển Cần Giờ và Vịnh Gành Rái. 1995.