

NGHIÊN CỨU, ỨNG DỤNG MÔ HÌNH SWAN DỰ BÁO TRƯỜNG SÓNG VEN BỜ BIỂN VIỆT NAM

CN. Nguyễn Thanh Trang

ThS. Hoàng Trung Thành

Trung tâm Khí tượng Thủy văn Biển

Hoạt động thực tiễn của con người trên đại dương, biển và vùng ven bờ phụ thuộc rất nhiều vào điều kiện thời tiết, trạng thái mặt biển. Sóng biển là một trong những yếu tố động lực rất quan trọng. Sóng tác động lên tàu thuyền, công trình và các phương tiện trên biển. Đối với vùng ven biển, sóng lại càng trở lên quan trọng, là yếu tố quyết định đến địa hình đường bờ, thiết kế các công trình cảng, luồng lạch và các công trình bảo vệ bờ biển. Sóng tạo ra các dòng vận chuyển bùn cát dọc và ngang bờ làm thay đổi địa hình đáy. Do vậy, việc nghiên cứu dự báo sóng là rất quan trọng và thực sự cần thiết cho các công tác lập kế hoạch, thiết kế các công trình, quản lý dải ven bờ và phòng tránh giảm nhẹ thiệt hại.

Với điều kiện vị trí địa lý của nước ta rất đặc biệt (hơn 3.200km bờ biển) vì vậy việc dự báo sóng các vùng biển ven bờ có ý nghĩa rất lớn đối với đời sống, kinh tế của người dân vùng ven biển nói riêng và nhân dân Việt Nam nói chung. Trong bài báo này, tác giả đưa ra một số nghiên cứu ứng dụng mô hình tính sóng SWAN để dự báo trường sóng các vùng ven biển Việt Nam dựa trên nền gió dự báo từ MM5 và điều kiện biên sóng nước sâu từ mô hình WAM.

1. Giới thiệu mô hình SWAN

SWAN là mô hình tính toán sóng thế hệ ba, tính toán phổ sóng hai chiều bằng cách giải phương trình cân bằng tác động sóng (trong trường hợp không có dòng chảy có thể dùng phương trình cân bằng năng lượng sóng) có tính tới sự lan truyền sóng từ vùng nước sâu vào vùng nước nông ven bờ, đồng thời trao đổi năng lượng với gió thông qua hàm nguồn cùng với sự tiêu tán năng lượng sóng. SWAN (được viết tắt từ Simulating Waves Nearshore) cho phép tính toán các đặc trưng sóng vùng gần bờ, trong các hồ và vùng cửa sông từ các điều kiện của gió, điều kiện đáy và dòng chảy.

a. Các tính năng của mô hình

Theo quá trình truyền sóng SWAN có khả năng tính:

- Truyền sóng tuyến tính.
- Khúc xạ sóng do thay đổi độ sâu đáy và do dòng chảy.

- Bị vật chắn và phản xạ do dòng chảy ngược hướng.

- Truyền qua, bị chặn và phản xạ do dòng chảy ngược hướng.

Theo quá trình tạo sóng SWAN có khả năng tính:

- Sóng phát sinh do gió.
- Tiêu tán năng lượng.
- Tương tác giữa các sóng (tương tác bậc ba và tương tác bậc bốn).
- Tính toán sóng do các vật cản.

Ngoài ra SWAN cũng tính được quá trình dâng nước do sóng.

b. Cơ sở lý thuyết của mô hình SWAN

Trong mô hình SWAN các sóng được mô tả bằng phổ mật độ tác động sóng hai chiều. Phương trình cân bằng phổ mật độ tác động cơ bản được sử dụng trong những điều kiện phi tuyến cao. Trong mô hình SWAN phổ mật độ tác động N σ, θ được chú ý hơn bởi vì, khi có

mặt dòng chảy mật độ tác động được bảo toàn trong khi phổ mật độ năng lượng thì không. Các biến độc lập là tần số σ và hướng sóng. Mật độ tác động được tính bằng mật độ năng lượng chia cho tần số.

** Phương trình cân bằng tác động phổ*

Trong SWAN sự tiến triển của phổ sóng được mô tả bằng phương trình cân bằng tác động phổ được viết trong hệ tọa độ đề các:

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} C_x N + \frac{\partial}{\partial y} C_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} C_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} C_\theta N = \frac{S}{\sigma} \quad (1)$$

Thành phần đầu trong vế trái là thay đổi của phổ mật độ tác động theo thời gian. Thành phần thứ hai và thứ ba là sự lan truyền của phổ mật độ tác động trong không gian địa lý (với vận tốc truyền là C_x và C_y tương ứng trong hướng x và y). Thành phần thứ tư biểu thị sự thay đổi của tần số dưới ảnh hưởng của độ sâu và dòng chảy (với vận tốc truyền là C_σ). Thành phần thứ năm biểu thị sự tác động của độ sâu và dòng chảy đối với hiệu ứng khúc xạ. Vế phải của phương trình biểu thị các nguồn năng lượng sóng được cung cấp và tiêu tán trong quá trình truyền sóng với S là hàm nguồn.

** Năng lượng gió truyền cho sóng*

Quá trình năng lượng truyền từ gió cho sóng trong mô hình SWAN được mô tả thông qua hai cơ chế: cơ chế cộng hưởng (Phillips, 1957) và cơ chế phản hồi (Miles, 1957). Giá trị nguồn năng lượng của gió tương ứng với hai cơ chế trên được biểu thị bằng tổng của quá trình tăng tuyến tính và quá trình tăng theo hàm mũ. Giá trị hàm nguồn có dạng:

$$S_{in}(\sigma, \theta) = A + BE(\sigma, \theta) \quad (2)$$

Với A là hệ số tăng tuyến tính, B là hệ số tăng theo hàm mũ. Hệ số A và B phụ thuộc vào tần số và bước sóng đồng thời phụ thuộc vào vận tốc và hướng của gió.

** Hệ số tăng tuyến tính A*

Biểu thức của Cavaleri và Malanotile-Rizzli (1981) được sử dụng để loại bỏ sự tăng trưởng

của sóng tại các tần số thấp hơn tần số Pierson - Moskovitz.

$$A = \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{g^2 2\pi} [U \cdot \max[0, \cos(\theta - \theta_w)]]^4 H \quad (3)$$

Trong đó θ_w là hướng gió, H là giá trị để lọc

Hệ số tăng theo hàm mũ B:

Trong mô hình SWAN sử dụng biểu thức tính hệ số tăng theo hàm mũ B:

Công thức của Kome và nnk (1984):

$$B = \max \left[0, 0.25 \frac{\rho_a}{\rho_w} \left[28 \frac{U_*}{C_{ph}} \cos(\theta - \theta_w) - 1 \right] \right] \sigma \quad (4)$$

Với

C_{ph} là vận tốc pha, ρ_a và ρ_w là mật độ không khí và nước.

- Mất mát năng lượng trong khi truyền sóng (S_{ds}):

Mất mát năng lượng khi truyền sóng gây ra do ba quá trình: sự bạc đầu của sóng, ma sát đáy và sóng vỡ do ảnh hưởng của độ sâu địa hình.

** Ma sát đáy*

Mô hình ma sát đáy sử dụng trong SWAN bằng mô hình thực nghiệm của Jonswap, mô hình sức cản của Collins(1972) và mô hình nhớt rối của Madsen(1980).

$$S_{ds,b}(\sigma, \theta) = -C_{bottom} \frac{\sigma^2}{g^2 \sinh^2(kd)} E(\sigma, \theta) \quad (5)$$

Ở đây C_{bottom} là hệ số ma sát đáy, hệ số này phụ thuộc vào vận tốc quỹ đạo chuyển động sóng.

- Sóng vỡ do ảnh hưởng của độ sâu địa hình.

Sự tiêu tán năng lượng trong trường sóng ngẫu nhiên là do quá trình sóng vỡ dưới tác động của độ sâu địa hình. Trong mô hình SWAN sử dụng mô hình sóng vỡ dựa trên hiện tượng Bore của Battjes và Janssen (1987). Tỷ lệ trung bình mất mát năng lượng trên một

đơn vị bề rộng của vùng tính phụ thuộc vào hệ số phần năng lượng mất mát do sóng vỡ D_{tot}

$$D_{tot} = -\frac{1}{4} \alpha_{BJ} Q_b \left(\frac{\bar{\sigma}}{2\pi} \right) H_m^2 \quad (6)$$

Với $\alpha_{BJ} = 1$, Q_b là phân số sóng vỡ, H_m là chiều cao sóng cực đại $H_m = y.d$ ở đây y là hệ số sóng vỡ, d là độ sâu nước tổng cộng, D_{tot} là tỉ lệ tiêu tán năng lượng trung bình trên một đỉnh sóng.

Công thức hàm nguồn năng lượng sóng vỡ có dạng:

$$S_{ds,br}(\sigma, \theta) = \frac{D_{tot}}{E_{tot}} E(\sigma, \theta) \quad (7)$$

** Tương tác phi tuyến giữa các sóng*

- Tương tác sóng bậc bốn chiếm ưu thế trong sự tiến triển của phổ sóng tại vùng nước sâu. Quá trình này, truyền năng lượng sóng từ đỉnh phổ tới các tần số thấp hơn và tới các tần số cao hơn.

- Trong vùng nước nông tương tác giữa các sóng bậc ba truyền năng lượng từ tần số thấp sang tần số cao hơn.

- Tương tác sóng bậc bốn được tính với các xấp xỉ tương tác riêng (DIA) của Hassemann (1985).

Hàm nguồn được cho dưới dạng:

$$S_{n14}(\sigma, \theta) = S_{n14}^*(\sigma, \theta) + S_{n14}^{**}(\sigma, \theta) \quad (8)$$

- Tương tác sóng bậc ba được tính với các xấp xỉ bậc ba Lumped (LTA) của Eldeberky và Battjes. Hàm nguồn có dạng:

$$S_{n13}(\sigma, \theta) = S_{n13}^-(\sigma, \theta) + S_{n13}^+(\sigma, \theta) \quad (9)$$

Với α_{cb} là hệ số

** Nước dâng do sóng*

- Trong mô hình 1D, nước dâng do sóng tính bằng cách tích phân phương trình cân bằng mô men, đó là sự cân bằng giữa tác động sóng (gradient ứng suất phát xạ) và gradient áp suất thủy tĩnh.

$$F_x + gd \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x} = 0 \quad (10)$$

- Với d là độ sâu nước tổng cộng, η mực nước dâng so với mực nước trung bình.

c. Sơ đồ tính sóng của mô hình SWAN

Trong mô hình SWAN, lời giải của phương trình cân bằng tác động sóng được triển khai bằng một số sơ đồ khác nhau trong cả năm chiều (thời gian, không gian địa lý, không gian phổ). Trước tiên quá trình truyền sóng được mô tả mà không có các nguồn tạo sóng, tiêu tán và tương tác giữa các sóng. Sau đó là dạng mô tả đầy đủ với các giá trị nguồn.

Thời gian được biểu thị bằng bước thời gian xác định Δt đồng thời trong cả tích phân của phương trình truyền và hàm nguồn. Không gian địa lý được mô tả dưới dạng lưới hình chữ nhật với các cạnh Δx và Δy tương ứng các hướng x và y . Phổ trong mô hình được mô tả bằng bước xác định của hướng $\Delta \theta$ và bước tần số $\Delta \delta / \delta$.

** Sơ đồ quá trình truyền sóng*

Các sơ đồ được sử dụng trong SWAN dựa trên cơ sở có tính năng mạnh, sát thực tế và mang tính kinh tế. Do vậy, sơ đồ được sử dụng là dạng hàm ẩn trong cả không gian địa lý và không gian phổ, thêm vào đó là phép xấp xỉ trung tâm trong không gian phổ.

** SWAN bao gồm ba sơ đồ*

- Sơ đồ BSBT (backward space – backward time): Sơ đồ này tính cho cả trường hợp sóng ổn định và sóng không ổn định.

- Sơ đồ S&L

Sơ đồ dạng này được sử dụng trong điều kiện sóng ổn định. Thời gian có thể bỏ đi như một biến, các bước lặp vẫn được tiến hành như trước.

- Sơ đồ cấp độ gió bậc ba: Sơ đồ này được áp dụng cho điều kiện sóng không ổn định. Hai thành phần đạo hàm theo hướng x và y .

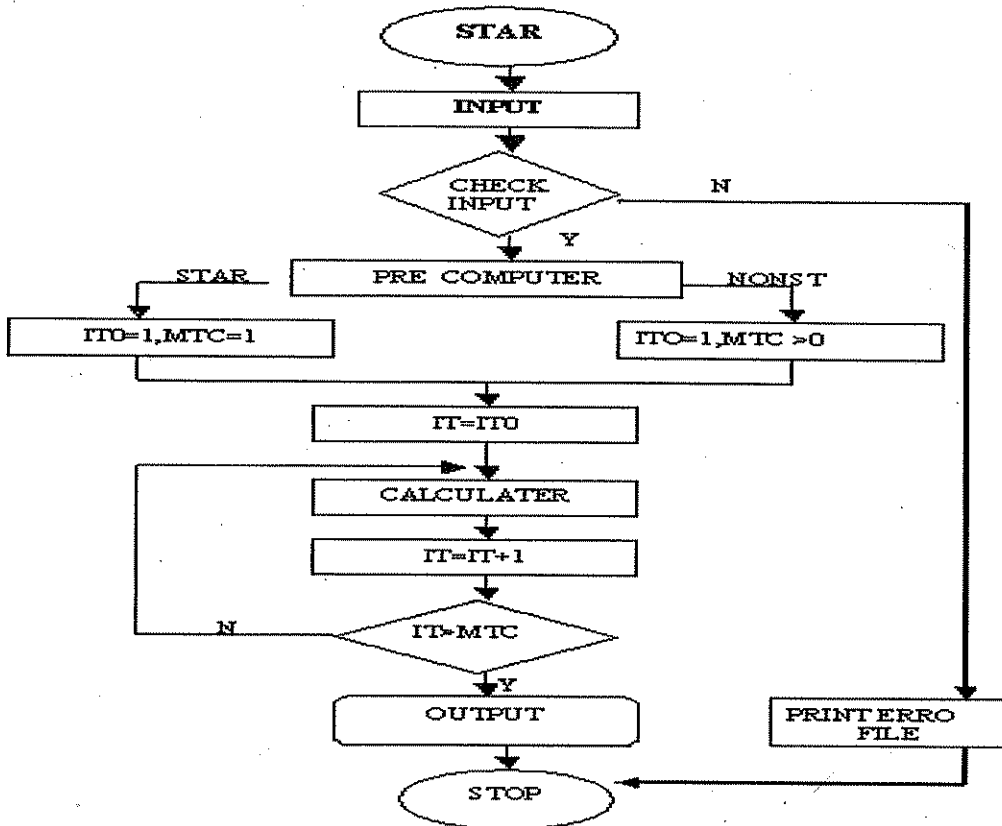
Việc số hoá quá trình khuếch tán sóng trong sơ đồ S & L được thực hiện được trong

trường hợp sóng truyền trên khoảng cách lớn. Hiệu ứng này phụ thuộc vào phổ sóng. Giá trị của hiệu ứng phụ thuộc vào dạng phổ và thời gian sóng truyền.

** Hàm nguồn*

Trong SWAN các hàm nguồn tạo sóng, tương tác sóng và tiêu tán sóng được viết dưới dạng hàm ẩn:

$$S^n \approx \Phi^{n-1} E^{n-1} + \left(\frac{S}{E}\right)^{n-1} (E^n - E^{n-1}) \quad (11) \quad \text{với} \quad S = \phi E$$

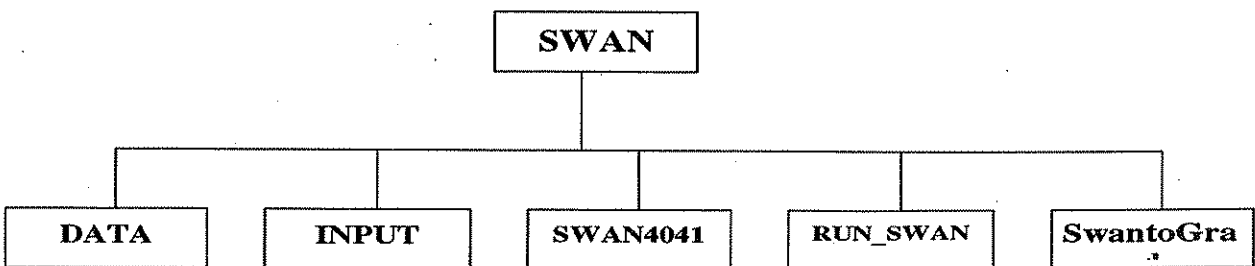


Hình 1. Sơ đồ khối mô hình SWAN

2. Ứng dụng mô hình SWAN dự báo trường sóng các vùng ven bờ biển Việt Nam

a. Hệ thống mô hình sóng SWAN

Để thuận tiện trong việc triển khai áp dụng mô hình sóng SWAN vào dự báo sóng các vùng ven bờ biển Việt Nam, hệ thống mô hình SWAN được cài đặt như sau:



Hình 2. Hệ thống mô hình SWAN

Thư mục con RUN_SWAN: chứa file điều khiển chạy hệ thống mô hình SWAN. File này gồm các câu lệnh gọi các chương trình con thực hiện từng bước chính làm việc của hệ thống.

- Gọi chương trình chiết xuất trường gió tầng 10 mét dự báo từ kết quả của mô hình MM5 (windMM5toSWAN)

- Gọi chương trình tính sóng của mô hình (SWAN.exe)

- Gọi chương trình chuyển số liệu dự báo của mô hình về format của phần mềm Grads.

Thư mục con DATA: chứa file số liệu độ sâu, các file trường gió tầng 10 mét, các file kết quả của mô hình.

Thư mục con INPUT: chứa file khai báo thông tin cần thiết cho mô hình (swan.input), file ghi lại quá trình chạy của mô hình

(SWAN_print.out) và file khai báo các câu lệnh cú pháp nhận các cài đặt đầu vào và ra của mô hình (SWAN.edit).

Thư mục con SWAN4041: chứa các file chương trình nguồn của SWAN viết trên ngôn ngữ FORTRAN.

Thư mục con SWANtoGrads: chứa file chuyển đổi số liệu kết quả của SWAN sang format của Grads và file hiển thị các trường bản đồ sóng dự báo của SWAN với giao diện đồ họa của Grads.

b. Số liệu đầu vào cho mô hình

Số liệu địa hình: File số liệu địa hình cung cấp cho mô hình SWAN là giá trị độ sâu tại mỗi nút lưới với miền tính ($1^{\circ}00'S - 23^{\circ}00'N$; $99^{\circ}00'E - 119^{\circ}00'E$, bước lưới: $0,25 \times 0,25$ độ kinh vĩ) được chiết xuất từ bản đồ địa hình đáy Biển Đông (hình 3), các điểm lưới trên đất liền được gán là -999.



Hình 3. Địa hình khu vực Biển Đông

Số liệu gió: Số liệu gió được đưa vào mô hình là trường gió dự báo từ mô hình MM5 tầng 10 mét và được lưu vào 13 file (wind00.dat, wind06.dat, ... wind72.dat) file là số liệu trường gió tại từng thời điểm cách đều nhau 6 giờ.

**** Điều kiện biên***

Biên của SWAN là các giá trị phổ sóng tại biên của miền tính được chiết suất từ kết quả tính toán của mô hình WAM thông qua chương trình chiết suất phổ sóng (SwapWAMtoSWAN).

* Khai báo các tham số và lệnh làm việc của mô hình.

Các tham số của mô hình và các lệnh làm việc được khai báo trong file SWAN.edit và được gọi vào chương trình nhờ khai báo trong file SWAN.input.

c. Kết quả của mô hình

Kết quả dự báo sóng của mô hình SWAN gồm 2 file chính:

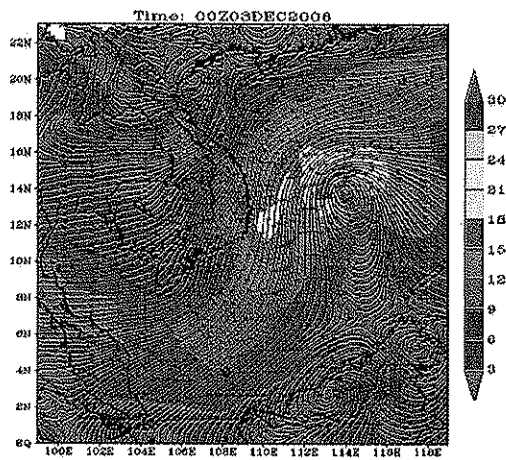
File trường các yếu tố sóng dự báo trên toàn miền tính được khai báo trong câu lệnh

“TABLE” trong file SWAN.edit.

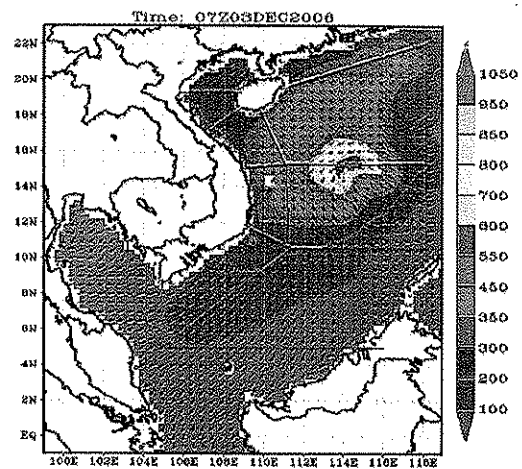
File đưa ra các yếu tố sóng dự báo (được khai báo trong câu lệnh “BLOCK” trong file SWAN.edit) tại các vị trí cần quan tâm được xác định trong file local.loc

Kết quả dự báo của SWAN được chuyển đổi sang số liệu thích hợp với phần mềm đồ họa Grads và hiển thị bản đồ sóng trên giao diện thuận lợi cho người sử dụng, nghiên cứu.

Một số kết quả dự báo trong cơn bão Durian thời gian tính theo giờ Hà Nội.



Hình 4. Bản đồ trường gió tầng 10 mét lúc 07 giờ ngày 03/12/2006



Hình 5. Bản đồ trường sóng 7 giờ ngày 03/12/2006

3. Kết luận

Sau một thời gian nghiên cứu và thử nghiệm tác giả đã áp dụng thành công mô hình tính sóng SWAN cho Biển Đông nói chung và các vùng ven biển Việt Nam nói riêng.

Kết quả tính sóng của SWAN cho trường sóng phù hợp khi so sánh với trường sóng dự báo của một số nước trong khu vực: Thái Lan, Philippin.

Trong một số cơn bão của mùa bão năm 2006 SWAN được kết hợp với mô hình sóng WAM để thiết lập quy trình dự báo sóng cho các vùng ven biển Việt Nam và các vùng biển ngoài khơi.

Tuy nhiên, để nâng cao độ chính xác của mô hình cần phải tiếp tục được nghiên cứu, thử nghiệm trên lưới tính tinh hơn và đánh giá sự ảnh hưởng của dòng chảy đến trường sóng.

Tài liệu tham khảo

1. L.H. Holthuijsen, N. Booij, R.C. Ris, J. G.Haagsma, A.T.M.M. Kieftenburg, E.E. Kriez, SWAN Cycle III Version 40.41
2. Mesoscale and Microscale Meteorology Division National Center for Atmospheric Research, PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and User's Guide: MM5 Modeling System Version 3.