

KIỂM CHỨNG MÔ HÌNH DỰ BÁO TRƯỜNG SÓNG VÙNG VỊNH BẮC BỘ

Nguyễn Mạnh Hùng

Viện Cơ học

Nguyễn Thọ Sáo

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN

Trần Quang Tiến

Trung Tâm Khí tượng Thủy văn Biển

Tóm tắt: Để tiến hành dự báo trường sóng vùng vịnh Bắc Bộ trong khuôn khổ đề tài cấp nhà nước KC-09-04 giai đoạn 2001 – 2005, “*Xây dựng mô hình dự báo các trường khí tượng thủy văn vùng biển Đông*”, đã sử dụng mô hình WAM để dự báo trường sóng vùng khơi biển Đông với lưới tính $1/4 \times 1/4$ độ kinh vĩ. Đối với khu vực ven bờ đã sử dụng mô hình tính sóng STWAVE với bước lưới tính $200m \times 200m$ nhằm tính toán chi tiết trường sóng tại các khu vực ven bờ cửa sông. Trong báo cáo các tác giả đã trình bày các kết quả kiểm chứng dự báo sóng theo hai sơ đồ nêu trên. Các số liệu kiểm chứng là các kết quả đo đạc trường sóng bằng các loại máy tự ghi sóng hiện đại tại khu vực ven bờ biển Hải Hậu, Nam Định 1/2003 (ứng với trường sóng trong gió mùa đông bắc) và tại khu vực vùng biển Nghi Sơn Thanh Hoá 7/2003, ứng với trường sóng trong gió mùa tây nam. Các kết quả kiểm chứng cho thấy sai số trung bình bình phương RMS tại các trạm LT1, LT2 vùng Hải Hậu và Nghi Sơn tương ứng là 0.092, 0.138 và 0.102, tại các trạm gần bờ sai số tăng lên so với các trạm ngoài vùng nước sâu. Sai số đo đạc bao gồm cả BIAS và RMS tại Hải Hậu luôn cao hơn Nghi Sơn do trường sóng khu vực Hải Hậu trong gió mùa đông bắc chịu tác động của bãi bồi phía ngoài cửa Ba Lạt và chịu ảnh hưởng của gió địa phương. Tuy nhiên các kết quả kiểm chứng đã chứng minh hoàn toàn có thể sử dụng mô hình dự báo sóng vào dự báo phục vụ thực tế trên vùng biển Đông và ven bờ Việt Nam.

Mở đầu

Dự báo sóng là một trong các nội dung nghiên cứu chính của đề tài cấp nhà nước KC-09-04 giai đoạn 2001 – 2005, “*Xây dựng mô hình dự báo các trường khí tượng thủy văn vùng biển Đông*”. Trong khuôn khổ các nhiệm vụ nghiên cứu về dự báo sóng đã được nêu trong đề cương nghiên cứu của đề tài, đã sử dụng mô hình WAM để tính toán dự báo trường sóng vùng khơi biển Đông với lưới tính $1/4 \times 1/4$ độ kinh vĩ (tương đương với 27km). Lưới tính theo mô hình WAM bao quát toàn bộ khu vực từ $1^{\circ}S$ đến $23^{\circ}N$ và từ $99^{\circ}E$ đến $119^{\circ}E$. Đối với khu vực ven bờ đã sử dụng mô hình tính sóng STWAVE với bước lưới tính $200m \times 200m$ nhằm tính toán chi tiết trường sóng tại các khu vực ven bờ cửa sông. Các lưới tính sóng ven bờ được lập theo nguyên tắc các trục tính biên ngoài vùng nước sâu theo hướng bắc nam và trục tính từ vùng nước sâu vào bờ theo hướng đông tây. Với các lưới tính trên, trong một số các định hướng đường bờ lệch nhiều so với hướng bắc nam (ví dụ đường bờ khu vực từ Thanh Hoá đến Đà Nẵng hoặc đường bờ vùng châu thổ sông Cửu Long v.v...) sẽ không tối ưu bằng loại lưới tính có trục song song và vuông góc với bờ biển. Tuy nhiên loại lưới theo định hướng bắc nam, đông tây có ưu việt rất lớn là cho phép bao phủ toàn bộ dải ven biển nước ta mà

không có khu vực chồng chéo, ngoài ra cũng cho phép xác định dễ dàng các điểm dự báo sóng ven bờ nếu biết tọa độ của chúng. Các mô hình tính sóng WAM và STWAVE đều là loại mô hình hiện đại hiện nay đang được sử dụng rộng rãi trên thế giới, tuy nhiên để áp dụng vào các điều kiện địa phương của các khu vực vùng nước sâu và ven bờ biển Đông cần có các tính toán kiểm chứng mô hình là một phần không thể thiếu được của mọi mô hình tính toán, dự báo các yếu tố động lực biển. Trong điều kiện hiện nay, các số liệu tự ghi sóng tin cậy ở vùng ven bờ hết sức hiếm, các tác giả đã sử dụng các số liệu tự ghi sóng tại hai vùng biển thuộc vịnh Bắc Bộ. Trong bài báo này, phần đầu giới thiệu về mô hình tính sóng ven bờ STWAVE sau đó đưa ra các kết quả kiểm chứng mô hình tính sóng nhận được cho hai vùng ven bờ nêu trên và một số nhận xét đánh giá kết quả nhận được.

1. Mô hình tính sóng vùng ven bờ STWAVE

1.1. Các phương trình tính toán lan truyền sóng trong mô hình STWAVE

Tương tác giữa sóng và dòng chảy được xác định khi sóng truyền trên một nền dòng chảy. Các tham số sóng trên nền đó được ký hiệu là r gọi là tương đối với dòng chảy, còn các tham số sóng tuyệt đối là a . Phương trình khuếch tán sóng trên nền tương đối là [2]:

$$\omega_R^2 = gk \operatorname{thkd} \quad (1)$$

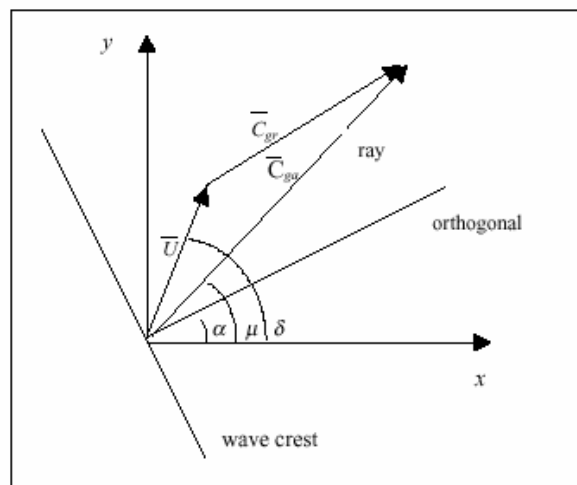
với: ω – tần số góc, g – gia tốc trọng trường, k – số sóng, d – độ sâu. Trong hệ tuyệt đối, phương trình này có dạng:

$$\omega_a = \omega_r + kU \cos(\delta - \alpha) \quad (2)$$

với: U – tốc độ dòng chảy, δ – hướng của dòng chảy so với trục x , α – hướng truyền sóng (xem hình 1).

Số sóng được tính bằng phương pháp lặp khi thay các yếu tố của phương trình (1) vào phương trình (2).

Để tính toán các hiệu ứng khúc xạ và nước nông cần có tốc độ pha của sóng C , và tốc độ nhóm, C_g trong cả hai nền chuyển động.



Hình 1. Sơ đồ tính sóng trong trường dòng chảy

Trong nền chuyển động tương đối đối với dòng chảy ta có:

$$C_r = \frac{\omega_r}{k} \quad (3)$$

$$C_{gr} = 0,5 C_r \left(1 + \frac{2kd}{\text{sh } 2kd} \right). \quad (4)$$

Hướng của tốc độ pha và nhóm là α . Trên nền tuyệt đối ta có:

$$C_a = C_r + U \cos(\delta - \alpha) \quad (5)$$

$$(C_{gra})_i = (C_{gr})_i + (U)_i, \quad (6)$$

ở đây i biểu thị giá trị tensor của các thành phần x và y . Hướng của tốc độ pha tuyệt đối trùng với hướng tia sóng. Tốc độ nhóm tuyệt đối sẽ xác định hướng của tia sóng do vậy tia sóng trên hình 1 được xác định như sau:

$$\mu = \text{tg}^{-1} \left(\frac{C_{gr} \sin \alpha + U \sin \delta}{C_{gr} \cos \alpha + U \cos \delta} \right). \quad (7)$$

Sự khác nhau giữa hướng tia sóng và hướng vuông góc với front sóng là cơ sở để giải thích quá trình tương tác giữa sóng và dòng chảy. Nếu không có dòng chảy hai hướng này trùng với nhau, khi có dòng chảy hướng truyền năng lượng sóng sẽ dọc theo tia sóng còn hướng truyền sóng dọc theo hướng vuông góc với front sóng. Hướng này được xác định theo:

$$C_{gra} \frac{\partial \alpha}{\partial R} = - \frac{C_r}{\text{sh } 2kd} \frac{\partial \delta}{\partial n} - \frac{k_i}{k} \frac{\partial U}{\partial n}, \quad (8)$$

với R – tọa độ theo hướng của tia sóng, n – tọa độ theo hướng vuông góc với front sóng.

Phương trình bảo toàn phổ sóng ở giai đoạn sóng ổn định dọc theo tia sóng có dạng:

$$(C_{gra})_i \frac{\partial}{\partial x_i} \frac{C_a C_{gra} \cos(\mu - \alpha) E(\omega_a, \alpha)}{\omega_r} = \sum \frac{S}{\omega_r}, \quad (9)$$

với E – mật độ năng lượng sóng (chia cho $\rho_w g$) với ρ – là mật độ nước, S – phần nguồn năng lượng.

1.2. Tính khúc xạ và biến dạng sóng

Trong mô hình STWAVE tính toán khúc xạ và biến dạng trường sóng khi truyền vào vùng ven bờ dựa trên cơ sở áp dụng luật bảo toàn năng lượng dọc theo tia sóng. Hệ số biến dạng cho các thành phần phổ sóng tính dọc theo tia sóng theo phương trình (9). Trong trường hợp xuất hiện dòng chảy mạnh ngược chiều với hướng truyền sóng (ở các tuyến luồng hàng hải, cửa lạch triều vv.. trong pha triều rút), sóng có thể bị phá hủy do dòng chảy. Hiện tượng này xuất hiện khi phương trình khuếch tán không có nghiệm, hay nói một cách khác là hiện tượng phá hủy sóng xuất hiện khi tốc độ pha tương đối của sóng nhỏ hơn cường độ của dòng chảy. Ở vùng nước sâu, hiện tượng này xuất hiện khi cường độ dòng chảy lớn hơn 1/4 tốc độ pha của sóng trong trường hợp không có dòng chảy. ($0,25 g T_a / (2\pi)$), với T_a là chu kỳ tuyệt đối của sóng). Nếu trường hợp này xảy ra, năng lượng sóng sẽ bị mất.

1.3. Tính nhiễu xạ

Nhiễu xạ trong mô hình STWAVE được tính trên cơ sở sự phân tán năng lượng sóng theo nguyên lý là phẳng:

$$E_j(\omega_a, \alpha) = 0,55E_j(\omega_a, \alpha) + 0,22 [E_{j+1}(\omega_a, \alpha) + E_{j-1}(\omega_a, \alpha)], \quad (10)$$

với j là ký hiệu của điểm tính dọc bờ. Theo phương trình trên sẽ xảy ra hiện tượng là trộn năng lượng sóng ở các vùng bị che khuất.

1.4. Các nguồn truyền và mất mát năng lượng

+ Sóng đổ tại vùng ven bờ:

Chỉ tiêu sóng đổ tại vùng ven bờ là tỷ số giữa độ cao sóng và độ sâu:

$$\frac{H_{mo}}{d} = 0,64, \quad (11)$$

ở đây H_{mo} là độ cao sóng ứng với mô men bậc 0. Ở các cửa vào của luồng lạch, khi độ dốc của sóng tăng do tác động của dòng chảy, sóng sẽ dễ bị đổ hơn. Trong trường hợp này chỉ tiêu sóng đổ của Miche (1951) là phù hợp nhất:

$$\frac{H_{mo}}{\max} = 0,1 L_{thkd}. \quad (12)$$

Phương trình này được áp dụng trong mô hình để xác định giới hạn cao nhất của độ cao sóng. Năng lượng sóng trong dải phổ sóng sẽ bị giảm tại mỗi tần số và hướng tỷ lệ với số lượng năng lượng bị tiêu hao do sóng đổ trong mỗi dải tần số và hướng sóng tương ứng.

+ Năng lượng truyền từ gió cho sóng:

Dòng năng lượng của gió truyền cho sóng được tính theo:

$$F_{in} = \lambda \frac{\rho_a}{\rho_w} 0,85 C_m \frac{u_*^2}{g}, \quad (13)$$

với: λ – hệ số biểu thị phần năng lượng của khí quyển truyền trực tiếp cho sóng (0,75), ρ – mật độ không khí, C_m – tốc độ pha trung bình của sóng, u_* – tốc độ ma sát.

Năng lượng mà phổ sóng nhận được sẽ được tính bằng cách nhân dòng năng lượng với thời gian tương đương khi sóng truyền qua một mắt lưới:

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{\beta \bar{C}_g \cos \alpha_m}, \quad (14)$$

ở đây Δt – thời gian tương đương, Δx – bước lưới tính, $\beta \alpha$ – hằng số (=0,9 đối với sóng gió), \bar{C}_g – tốc độ nhóm trung bình của phổ sóng, α_m – hướng sóng trung bình ứng với lưới tính.

Trong mô hình STWAVE chỉ có sóng thổi theo hướng từ biển vào mới được tính gây tác động đến sóng, đối với các trường hợp gió thổi từ bờ ra hiệu ứng tác động của sóng đến gió được bỏ qua.

+ *Tác động tương tác giữa các sóng và hiệu ứng sóng đổ bậc đầu*

Năng lượng của gió truyền cho sóng được phân bố dưới tác động của hiện tượng tương tác phi tuyến giữa các sóng. Năng lượng này được phân bố từ khu vực đỉnh phổ tới các thành phần phổ với tần số thấp và tần số cao. Trong mô hình STWAVE tần số đỉnh phổ sẽ tăng lên cùng với đà sóng (hoặc là thời gian truyền tương đương dọc theo đà). Phương trình tính đến hiệu ứng thay đổi đỉnh phổ này là:

$$\left(f_p\right)_{i+1} = \left[\left(f_p\right)_i^{7/3} - \frac{9}{5} \zeta \left(\frac{u_*}{g}\right)^{4/3} \Delta t \right]^{-3/7}, \quad (15)$$

với: ζ – hệ số không thứ nguyên (Resio và Perrie 1989 [3]), i và $i+1$ là các cột trong lưới tính.

Năng lượng mà phổ sóng nhận được được phân bố trong giới hạn các tần số về phía giải các tần số thấp sao cho giữ nguyên dạng của phổ.

Năng lượng sóng sẽ bị tiêu tán chủ yếu là sự tải năng lượng về các tần số cao và tiêu tán dưới tác động của hiệu ứng sóng đổ bậc đầu và hiệu ứng rối, nhớt của nước. Tồn tại sự cân bằng động lực giữa năng lượng của gió truyền cho sóng và năng lượng tiêu hao do hiệu ứng dòng năng lượng phi tuyến của sóng phân tán vào khu vực tần số cao. Dòng năng lượng này được tính như sau:

$$\Gamma_E = \frac{\varepsilon g^{1/2} E_{tot}^3 k_p^{9/2}}{th^{3/4}(k_p d)}, \quad (16)$$

với: Γ_E – dòng năng lượng, ε – hệ số (=30), E_{tot} – tổng năng lượng của phổ sóng chia cho ($\rho_w g$), k_p - số sóng ứng với đỉnh phổ.

Năng lượng phổ sóng bị tiêu hao được tính bằng cách lấy tích của dòng năng lượng với thời gian tương đương để sóng truyền dọc theo lưới tính (Δt trong phương trình) với β cho bằng 1 đối với giải tần sóng lừng trong phổ với β cho bằng 0,9 đối với giải tần sóng gió.

1.5. Ứng suất bức xạ

Gradient của ứng suất bức xạ được tính trong mô hình STWAVE để đưa ra số liệu đầu vào cho mô hình tính dòng chảy và tính nước dâng, nước rút do sóng. Các tenzor ứng suất bức xạ sóng được tính theo lý thuyết sóng tuyến tính:

$$S_{xx} = \rho_w g \iint E(f, \alpha) \left[0,5 \left(1 + \frac{2kd}{sh 2kd} \right) (\cos^2 \alpha + 1) - 0,5 \right] df d\alpha \quad (17)$$

$$S_{xy} = \rho_w g \iint E(f, \alpha) \left[0,5 \left(1 + \frac{2kd}{sh 2kd} \right) \sin 2\alpha \right] df d\alpha \quad (18)$$

$$S_{yy} = \rho_w g \iint E(f, \alpha) \left[0,5 \left(1 + \frac{2kd}{sh 2kd} \right) (\sin^2 \alpha + 1) - 0,5 \right] df d\alpha \quad (19)$$

Gradient của ứng suất bức xạ:

$$\tau_x = -\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} - \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \quad (20)$$

$$\tau_y = -\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} - \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \quad (21)$$

1.6. Dạng của phổ sóng

Trường sóng khởi điểm vùng nước sâu gồm độ cao, chu kỳ và hướng sóng được tính toán dưới dạng phổ hai chiều $E(f, \theta)$ xác định theo phổ TMA (Texel, Marsen và Arsløe [3]) là dạng phát triển của phổ JONSWAP [3] có tính đến tác động của độ sâu ở vùng ven bờ.

Phổ JONSWAP có dạng:

$$E(f) = \frac{\alpha g^2}{(2\pi)^4 f^5} \exp \left[-1,25 \left(\frac{f}{f_p} \right)^{-4} \right] \gamma^{\exp \left(\frac{f - f_p}{2\sigma^2} \right)}, \quad (22)$$

$$f_p = 3,5 \left[\frac{g^2 F}{U_{10}^3} \right]; \quad \alpha = 0,076 \left[\frac{gF}{U_{10}^2} \right]^{-0,22}; \quad 1 \leq \gamma \leq 7, \quad (23)$$

$$\sigma = 0,07 \quad \text{khi } f \leq f_p \quad \text{và} \quad \sigma = 0,09 \quad \text{khi } f > f_p,$$

với: α – tham số tỷ lệ, γ – tham số đỉnh phổ, f_p – tần số ứng với đỉnh phổ, U_{10} – tốc độ gió tại 10 mét trên mặt biển, F – đà sóng.

Phổ TMA có dạng:

$$S_{TMA}(\omega, d) = S_{JONSWAP}(\omega) \phi(\omega^*, d), \quad (24)$$

$$\phi(\omega^*, d) = \frac{1}{f(\omega^*)} \left[1 + \frac{K}{\text{sh } K} \right]; \quad \omega^* = \omega \sqrt{\frac{d}{g}}, \quad (25)$$

$$f(\omega^*) = \text{th}^{-1} [k(\omega^*)d]; \quad K = 2\omega^{*2}f(\omega^*), \quad (26)$$

với $\phi(\omega^*, d)$ – hàm trọng lượng xác định từ tỷ số của năng lượng sóng tại vùng biển sâu và vùng có độ sâu d .

Phổ hai chiều $E(f, \theta)$ nhận được từ phổ tần và hàm phân bố góc:

$$E(f, \theta) = E(f) G(f, \theta), \quad (27)$$

với $G(f, \theta)$ – hàm phân bố góc. Thường hàm phân bố góc được xác định không phụ thuộc vào tần số f ($G(\theta)$) và được tính từ công thức sau:

$$G(\theta) = \frac{2}{\pi} \cos^2 \theta, \quad \text{với } |\theta| \leq 90^\circ \quad (28)$$

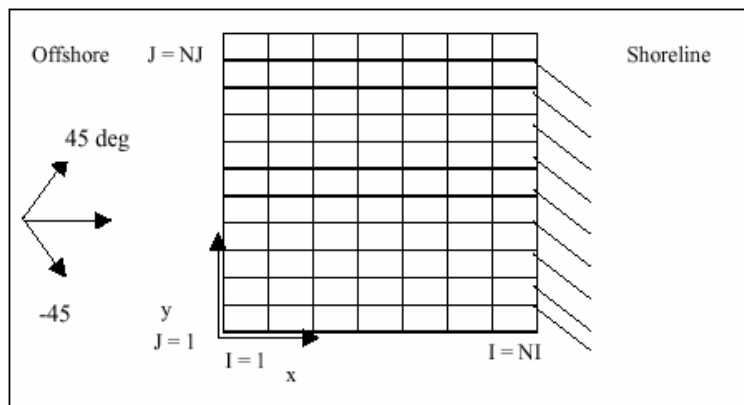
và nó được gọi là *hàm phân bố góc* theo hàm số cosin. Dạng cụ thể của hàm phân bố góc này được xác định theo:

$$G(\theta) = \frac{\sqrt{\pi}}{2\pi} \frac{\Gamma(s+1)}{\Gamma\left(s+\frac{1}{2}\right)} \cos^{2s} \frac{\theta - \bar{\theta}}{2}, \quad (29)$$

với θ – hướng trung tâm của phổ được xác định từ hướng sóng, s – tham số hiệu chỉnh của hàm phân bố góc, khi $s \rightarrow \infty$ sóng sẽ truyền theo một hướng, Γ – hàm Gama.

1.7. Sơ đồ sai phân

STWAVE sử dụng sơ đồ sai phân trên hệ lưới tọa độ Đề Các. Lưới tính theo hình vuông ($\Delta x = \Delta y$). Có thể sử dụng phương pháp lưới lồng để tính với các bước lưới tính khác nhau. Sơ đồ lưới tính được vẽ trên hình 2. STWAVE thực hiện các tính toán trong hệ lưới quy ước, với trục x theo hướng vuông góc với đường bờ (gốc tại vùng nước sâu), trục y song song với đường bờ. Hướng của trục x ($\pm 87,5$ độ) tạo ra vùng tính khoảng gần 180 độ (nửa mặt phẳng). Trục y thường có hướng vuông góc với đường đẳng sâu. Góc quy ước của sóng được xác định theo hướng ngược chiều kim đồng hồ. Các biên hông trong mô hình có thể là biên lỏng hoặc cứng bằng cách cho các điểm nút là dương (lỏng) hoặc âm (cứng). Các biên cứng làm giảm sự phát triển của sóng ở gần khu vực biên này vì nó ngăn sự lan truyền năng lượng sóng từ hướng biên. Nếu biên hông là biên lỏng thì trong mô hình chấp nhận giả thiết là không tồn tại gradient ngang qua biên, cho phép năng lượng truyền từ phía ngoài vào vùng tính hoặc từ trong vùng tính ra ngoài.



Hình 2. Lưới tính trong mô hình STWAVE

Lưới tính sóng chi tiết vùng ven bờ, các số liệu phục vụ tính toán kiểm chứng

1.7.1. Lưới tính sóng chi tiết vùng ven bờ

Hình 3 đưa ra các lưới tính sóng chi tiết vùng ven bờ theo mô hình STWAVE cho khu vực vịnh Bắc Bộ. Các lưới này được xây dựng theo nguyên lý sau:

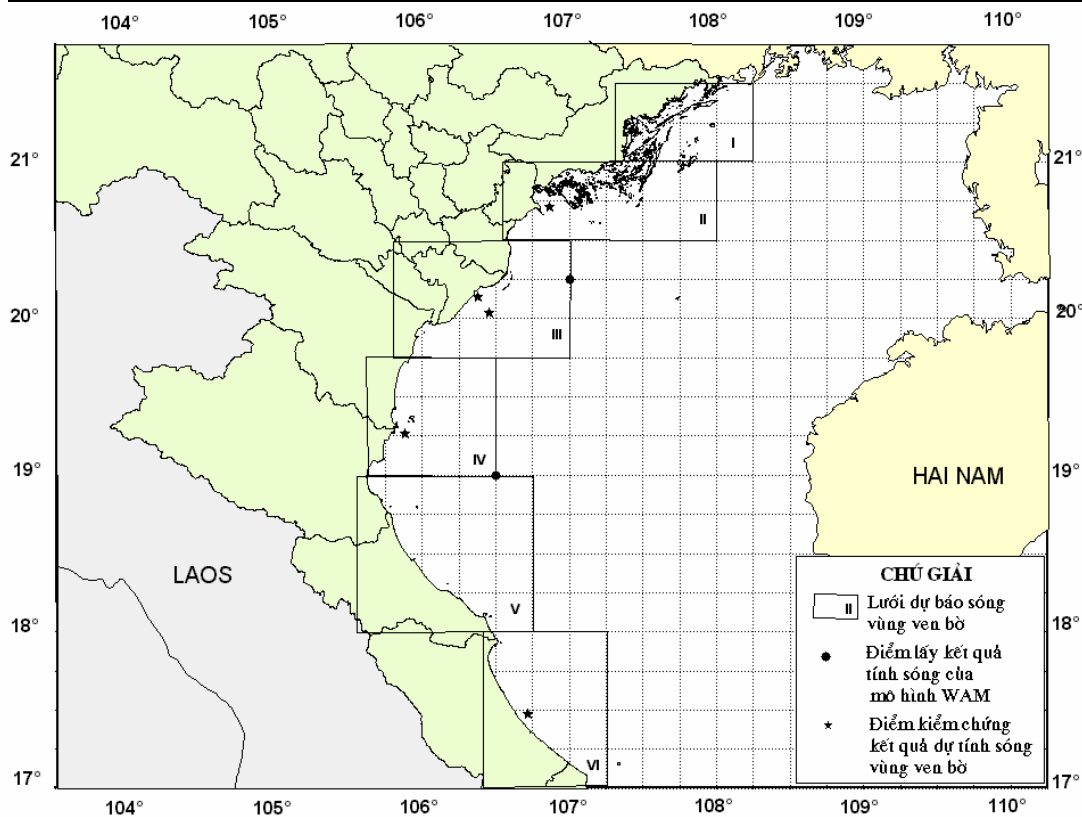
+ Các lưới được thiết kế theo hướng bắc nam và đông tây nhằm mục đích phù hợp với lưới tính sóng vùng nước sâu từ mô hình WAM và các lưới này sẽ bao phủ được toàn bộ khu vực ven bờ với các hướng đường bờ khác nhau. Tuy nhiên với loại lưới tính như trên đối với các khu vực có định hướng đường bờ lệch nhiều so với hướng bắc nam sẽ không phát huy được hiệu dụng bằng loại lưới song song với bờ (chứa nhiều nút lưới trên đất liền), ví dụ như các vùng số 5 và 6 trên hình 3.

+ Biên ngoài khơi của các lưới tính phải đạt tới độ sâu khoảng 30 m trở lên và có chứa các điểm tính của lưới tính sóng vùng nước sâu từ mô hình WAM.

+ Bước tính đủ nhỏ để phục vụ cho các tính toán trường sóng, dòng chảy sóng và vận chuyển trầm tích khu vực ven bờ. Với mục tiêu phục vụ kiểm chứng mô hình đã chọn bước lưới 200 m × 200 m cho hai lưới tính số III và Số IV trên hình 3. Bảng 1 đưa ra các thông số của hai lưới tính trên sử dụng để tính sóng chu khu vực Hải Hậu và Nghi Sơn.

Bảng 1. Các thông số của các lưới tính phục vụ kiểm chứng

Lưới tính	Toạ độ điểm gốc	Số điểm tính theo trục X (bắc nam)	Số điểm tính theo trục Y (đông tây)
Số III – Hải Hậu	X = 708400 Y = 2269200	416	600
Số IV – Nghi Sơn	X = 6577270 Y = 2283330	408	488



**Hình 3. Sơ đồ lưới tính sóng chi tiết vùng ven bờ vịnh Bắc Bộ
Các điểm số liệu sóng vùng nước sâu từ mô hình WAM và các điểm kiểm chứng**

1.7.2. Các số liệu phục vụ tính toán kiểm chứng

Để kiểm chứng quy trình dự báo sóng khu vực biển Đông đã sử dụng các số liệu tự ghi sóng tại các trạm đo liên tục nhiều ngày ở khu vực Hải Hậu, Nam Định và Nghi

Sơn, Thanh Hoá. Số liệu sóng được đo bằng máy đo sóng DNW-5M (Anh) và máy đo sóng VALENPORT 730D. Các loại máy trên đo sóng theo nguyên lý áp suất. Máy được đặt tại đáy biển, trên giá đo với độ cao của màng cảm ứng áp suất cách đáy biển 0.6m. Tần số ghi được đặt theo chế độ 2Hz có nghĩa là 1 giây ghi 2 số liệu nhằm cho phép phân tích phổ sóng với các sóng có chu kỳ từ 1 giây trở lên. Thời gian của mỗi lần ghi liên tục là 10 phút tại Hải Hậu và 15 phút tại Nghi Sơn. Các kết quả tự ghi sóng được xử lý theo phần mềm WAVEAN và WAVEPOST do nhà chế tạo máy cung cấp. Do phần mềm WAVEAN chỉ đưa ra các tham số thống kê của trường sóng nên đã sử dụng chương trình xử lý số liệu sóng và tính phổ sóng của CMESRC đối với số liệu của máy DNW-5M.

a) *Đợt đo sóng trong gió mùa đông bắc, tháng 1/2003 tại khu vực Hải Hậu, Nam Định:*

Được tiến hành trong thời gian từ 2/1/2003 đến 9/1/2003. Trong thời gian đo đã ghi được các số liệu sóng khá lớn trong các ngày 5-6/1 với gió hướng đông bắc cực đại đạt tốc độ 8-10 m/s. Đã lập 2 trạm đo sóng theo mặt cắt thẳng góc với bờ biển: trạm LT1 tại độ sâu 8-10 mét nước và trạm LT2 tại độ sâu 2-4 mét nước phụ thuộc vào thủy triều. Các số liệu sóng nêu trên bao gồm:

- + Thời gian đo,
- + Số Obs ghi sóng RNO,
- + Độ cao sóng lớn H_s ,
- + Độ cao sóng cực đại số 1-H1: từ đỉnh cực đại đến bụng cực tiểu không nhất thiết phải cùng một sóng,
- + Độ cao sóng cực đại số 2-H2: từ đỉnh cực đại đến bụng cực tiểu của cùng một sóng,
- + Độ cao sóng cực đại H_{max} : trung bình của 5 sóng cao nhất,
- + Chu kỳ sóng cực đại T_{max} Tmax: trung bình của 5 sóng bên cạnh sóng cao nhất,
- + Số đỉnh sóng trong chuỗi ghi sóng N_c ,
- + Chu kỳ trung bình của tất cả các sóng có đỉnh T_c ,
- + Số đỉnh sóng cắt đường trung bình N_z ,
- + Chu kỳ trung bình của các sóng cắt đường trung bình T_z ,
- + Tham số bề rộng của phổ sóng e ,
- + Số cột nước ghi được ứng với các sóng LEN ,
- + Hệ số tắt dần sử dụng để chuyển sóng đo được từ tầng đo lên tầng mặt $ATTN$,
- + Mực nước biển trung bình trong toàn bộ loạt đo MSL .

Tọa độ của các trạm đo tại khu vực Hải Hậu trong hệ UTM như sau:

Trạm	Toạ độ X [m]	Toạ độ Y [m]
LT1	641141	2222997
LT2	637630	2226265

b) Đợt đo sóng mùa gió tây nam, tháng 7/2003 tại khu vực Nghi Sơn, Thanh Hóa:

Thực hiện trong thời gian từ 13 giờ ngày 11/7 đến 13 giờ ngày 18/7/2003. Trong thời gian này đã đo được trường sóng có hướng đông nam – đặc trưng cho trường sóng tại khu vực vịnh Bắc Bộ trong gió mùa tây nam, khá ổn định trong toàn bộ thời gian đo. Đã tự ghi sóng tại trạm liên tục NS1 có độ sâu trong khoảng 7–9 m phụ thuộc vào độ lớn của thủy triều. Toạ độ của trạm đo sóng như sau:

Trạm	Toạ độ X [m]	Toạ độ Y [m]
NS1	587000	2135000

c) Số liệu trường sóng vùng nước sâu:

Trường sóng vùng nước sâu được tính theo mô hình WAM từ các số liệu trường gió trên bước lưới 0,25 độ \times 0,25 độ kinh vĩ do đề tài KC.09.04 cung cấp. Các kết quả tính toán trường sóng vùng nước sâu được in ra tại các điểm nút lưới tính phía ngoài khơi các điểm tính. Sau khi xem xét các kết quả tính sóng của mô hình WAM thấy rằng trường sóng khá ổn định tại vùng nước sâu phía ngoài khơi các điểm tính, đã chọn các tham số sóng tại điểm có toạ độ 20,25, 107,00 và điểm có toạ độ 19,00, 106,45 làm các tham số sóng vùng nước sâu cho hai khu vực tương ứng là Hải Hậu và Nghi Sơn (xem hình 3).

d) Thời gian và các bước tiến hành kiểm chứng mô hình tính sóng:

+ Do thời gian có số liệu tự ghi sóng quá ngắn, chúng tôi đã kiểm chứng trực tiếp với các số liệu tự ghi, bỏ qua bước hiệu chỉnh mô hình.

+ Thời gian tiến hành tính toán kiểm chứng: từ 10 h ngày 4/1/2003 đến 1 h ngày 7/1/2003 cho khu vực Hải Hậu – Nam Định và từ 13h ngày 11/7/2003 đến 1 h ngày 14/7/2003 cho khu vực Nghi Sơn – Thanh Hoá với số liệu sóng tự ghi 8 Obs/ngày tại hai trạm liên tục thuộc hai khu vực nêu trên.

+ Quy trình tính toán kiểm chứng mô hình thực hiện theo các trình tự sau:

- Tính trường sóng vùng nước sâu theo mô hình WAM.
- Tính sóng truyền từ vùng nước sâu vào khu vực các trạm liên tục theo mô hình STWAVE với bước lưới 200 m \times 200 m và miền tính không dưới 500 \times 300 điểm (dọc bờ và ngang bờ).

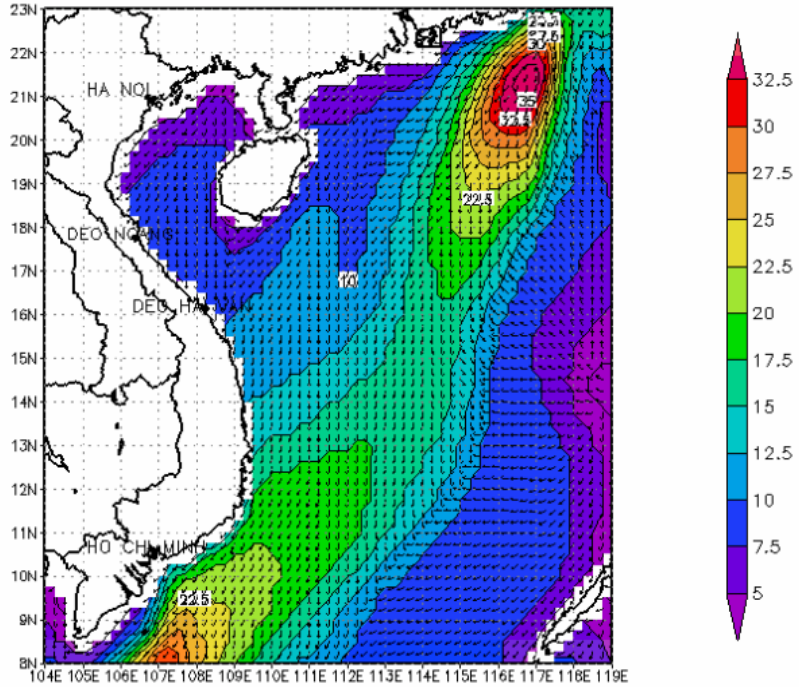
- So sánh và đánh giá giữa các số liệu sóng tính toán và thực đo tại các Obs.

2. Kết quả tính toán, kiểm chứng quy trình dự báo sóng, phân tích và đánh giá

2.1. Kết quả tính toán, kiểm chứng quy trình dự báo sóng

Kết quả tính toán là đã nhận được các bản đồ trường sóng vùng nước sâu tính toán theo mô hình WAM và các bản đồ tính sóng tại các lưới vùng ven bờ nêu trên hình 3, bao gồm các đường đẳng độ cao sóng, các vectơ hướng sóng tại các Obs kiểm chứng. Hình 4 và hình 5 đưa ra một ví dụ về trường sóng tính toán vùng khơi theo mô hình WAM và trường sóng ven bờ theo mô hình STWAVE cho Obs đo đạc 10h ngày 4/1/2003. Bảng 2 đưa ra các kết quả so sánh độ cao sóng tính toán và thực đo tại các trạm LT1 và LT2 tại khu vực ven bờ biển Hải Hậu, Nam Định trong đợt khảo sát tháng 1/2003.

Hình 4. Bản đồ trường sóng vùng nước sâu tính toán theo mô hình WAM-10h ngày 4/1/2003



Bảng 2. Kết quả so sánh độ cao sóng tính toán và thực đo tại Hải Hậu [1]

Thời gian đo	LT1				LT2			
	<i>H</i> com	<i>H</i> obs	<i>H</i> com – <i>H</i> obs	$(H\ com - H\ obs)^2$	<i>H</i> com	<i>H</i> obs	<i>H</i> com – <i>H</i> obs	$(H\ com - H\ obs)^2$
4/1 – 10 h	0,35	0,40	-0,05	0,0025	0,34	0,55	-0,21	0,0441
13 h	0,41	0,40	0,01	0,0001	0,35	0,39	-0,04	0,0016
16 h	0,38	0,38	0,00	0,0000	0,43	0,33	0,10	0,0100
19 h	0,41	0,41	0,00	0,0000	0,47	0,51	-0,04	0,0016
22 h	0,37	0,46	-0,09	0,0081	0,37	0,41	-0,04	0,0016
5/1 – 1 h	0,69	0,67	0,02	0,0004	0,60	0,77	-0,17	0,0289
4 h	0,78	0,91	-0,13	0,0169	0,69	0,91	-0,22	0,0484
7 h	0,99	1,06	-0,07	0,0049	0,90	1,10	-0,20	0,0400
10 h	0,96	1,03	-0,07	0,0049	0,88	1,08	-0,20	0,0400
13 h	0,90	1,04	-0,14	0,0196	0,85	0,95	-0,10	0,0100
16 h	0,81	0,63	0,18	0,0324	0,41	0,66	-0,25	0,0625
19 h	0,63	0,77	-0,14	0,0196	0,58	0,69	-0,11	0,0121
22 h	0,68	0,76	-0,08	0,0064	0,60	0,63	-0,03	0,0009
6/1 – 1 h	0,70	0,78	-0,08	0,0064	0,60	0,76	-0,16	0,0256
4 h	0,86	0,98	-0,12	0,0144	0,57	0,60	-0,03	0,0009
7 h	0,69	0,81	-0,12	0,0144	0,39	0,68	-0,29	0,0841
10 h	0,61	0,70	-0,09	0,0081	0,46	0,40	0,06	0,0036
13 h	0,49	0,58	-0,09	0,0081	0,51	0,33	0,18	0,0324
16 h	0,33	0,37	-0,04	0,0016	0,29	0,28	0,01	0,0001
19 h	0,42	0,40	0,02	0,0004	0,32	0,34	-0,02	0,0004
22 h	0,57	0,44	0,13	0,0169	0,50	0,40	0,10	0,0100
7/1 – 1 h	0,33	0,35	-0,02	0,0004	0,28	0,29	-0,01	0,0001
	BIAS = - 0,044 ; RMS = 0,092				BIAS = - 0,076 ; RMS (LT2) = 0,138			

Để đánh giá mức độ phù hợp giữa các kết quả tính toán và thực đo đã sử dụng các sai số thống kê trung bình về độ lệch BIAS và sai số trung bình bình phương RMS theo các công thức sau:

$$\text{BIAS} = \frac{1}{N} \sum (P_i - O_i), \quad (30)$$

$$\text{RMS} = \left\{ \frac{1}{N} \sum (P_i - O_i)^2 \right\}^{1/2}, \quad (31)$$

với N là số trường hợp tiến hành kiểm chứng, P_i là giá trị độ cao sóng tính toán (tại bảng 2 là H com), O_i là giá trị độ cao sóng đo đạc (tại bảng 2 là H obs).

Bảng 3 đưa ra các kết quả so sánh độ cao sóng tính toán và thực đo tại trạm NS1 tại khu vực ven bờ biển Nghi Sơn, Thanh Hóa trong đợt khảo sát tháng 7/2003 (báo cáo hợp đồng kiểm chứng dự báo sóng 3/2004).

2.2. Phân tích và đánh giá các kết quả tính toán, kiểm chứng quy trình dự báo sóng

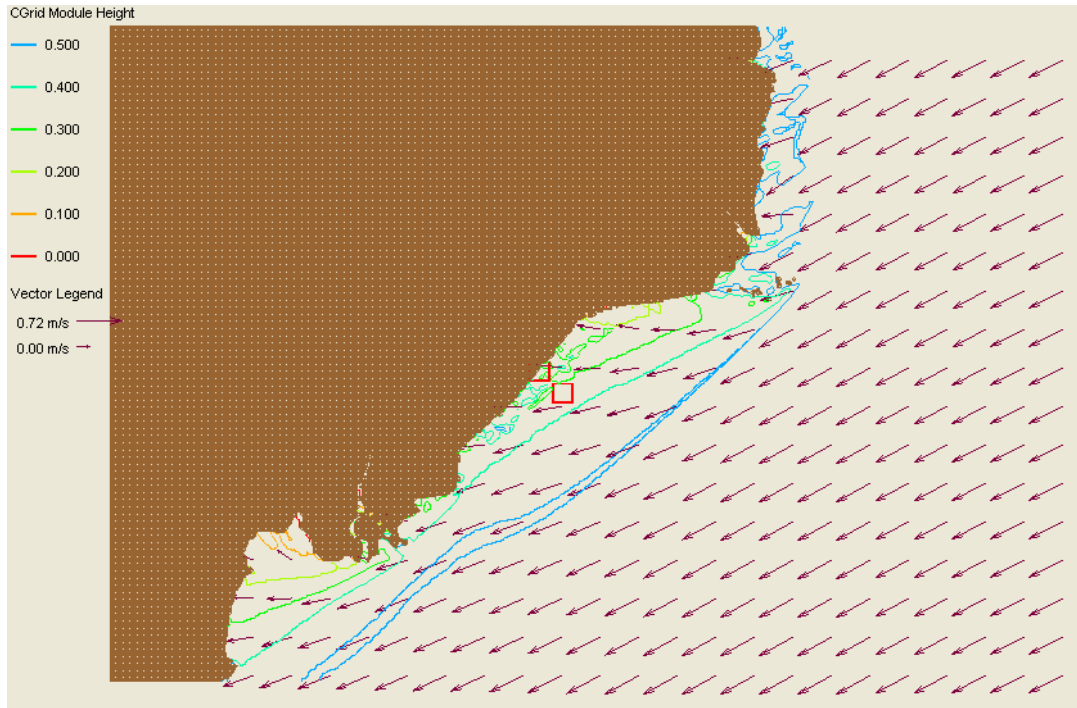
Các số liệu nhận được trên các bảng 2 và bảng 3 cho thấy:

+ Sai số thống kê trung bình về độ lệch BIAS tại các trạm LT1, LT2 vùng Hải Hậu và Nghi Sơn tương ứng là $-0,044$, $-0,076$, $-0,038$. Sai số BIAS tại các trạm tại tất cả các trạm đo đều âm có nghĩa là giá trị độ cao sóng tính toán thường nhỏ hơn so với giá trị thực tế. Tại Nghi Sơn và trạm phía ngoài khơi (LT1) Hải Hậu cùng nằm trên một khoảng độ sâu nên sai số nhỏ hơn so với trạm ven bờ LT2 tại Hải Hậu.

+ Sai số trung bình bình phương RMS tại các trạm LT1, LT2 vùng Hải Hậu và Nghi Sơn tương ứng là $0,092$, $0,138$ và $0,102$ cũng cho thấy tại trạm sát bờ có sai số lớn nhất.

+ Sai số đo đạc bao gồm cả BIAS và RMS tại Hải Hậu luôn cao hơn Nghi Sơn do trường sóng khu vực Hải Hậu trong gió mùa đông bắc chịu tác động của bãi bồi phía ngoài cửa Ba Lạt. Mặc dù trong mô hình STWAVE đã tính đến tác động của gió địa phương tới trường sóng khi lan truyền (xem công thức 13) nhưng trong các trường hợp trường sóng thực tế là sóng hỗn tạp (nhiều hệ sóng gió hoặc sóng gió và sóng lừng) sai số tính toán, dự báo thường lớn hơn so với các trường hợp trường sóng đơn thuần là sóng gió (1 hệ) hoặc sóng lừng.

+ Đánh giá chung về chu kỳ sóng cho thấy thường chu kỳ sóng dự báo nhỏ hơn so với chu kỳ sóng đo đạc thực tế, đặc biệt là tại khu vực Hải Hậu, khi trường gió lệch về phía bắc, ảnh hưởng của cửa Ba Lạt sẽ tạo ra hai trường sóng với các chu kỳ khác nhau rõ rệt. Càng vào gần bờ sự xuất hiện trường sóng địa phương và ảnh hưởng của nó đến phổ sóng càng rõ rệt.



Hình 5. Bản đồ trường sóng vùng ven bờ tính toán theo mô hình STWAVE – 10 h ngày 4/1/2003

Bảng 3. Kết quả so sánh độ cao sóng tính toán và thực đo tại Nghi Sơn

Thời gian	$H_{com} [m]$	$H_{obs} [m]$	$H_{com} - H_{obs}$	$(H_{com} - H_{obs})^2$
11/7 – 16h	0,5	0,38	0,12	0,0144
19h	0,61	0,59	0,02	0,0004
22h	0,54	0,61	-0,07	0,0049
12/7 – 1h	0,29	0,37	-0,08	0,0064
4h	0,62	0,49	0,13	0,0169
7h	0,73	0,63	0,1	0,01
10h	0,5	0,65	-0,15	0,0225
13h	0,45	0,59	-0,14	0,0196
16h	0,43	0,46	-0,03	0,0009
19h	0,41	0,31	0,1	0,01
22h	0,44	0,47	-0,03	0,0009
13/7 – 1h	0,54	0,49	0,05	0,0025
4h	0,8	0,85	-0,05	0,0025
7h	0,88	0,9	-0,02	0,0004
10h	0,77	0,88	-0,11	0,0121
13h	0,66	0,87	-0,21	0,0441
16h	0,59	0,73	-0,14	0,0196
19h	0,55	0,64	-0,09	0,0081
22h	0,52	0,55	-0,03	0,0009
14/7 – 1h	0,57	0,68	-0,11	0,0121

$BIAS = -0,038 ; RMS = 0,102$

Kết luận

Dựa trên các kết quả kiểm chứng quy trình dự báo sóng khu vực vịnh Bắc Bộ có thể đưa ra các kết luận sau:

1. Việc sử dụng mô hình WAM để tiến hành dự báo sóng cho khu vực vịnh Bắc bộ nói riêng và khu vực biển Đông nói chung phù hợp với các yêu cầu về số liệu sóng trên các vùng biển khơi của nước ta. Độ chính xác của kết quả dự báo sóng phụ thuộc hoàn toàn vào độ chính xác của trường gió dự báo.

2. Có thể sử dụng quy trình dự báo sóng theo mô hình WAM phục vụ các tính toán chế độ sóng vùng biển khơi, là một yếu tố động lực biển hết sức cần thiết cho các tính toán, thiết kế công trình ven bờ và các công trình bảo vệ bờ biển của sông trên toàn dải ven biển nước ta.

3. Để tính toán dự báo trường sóng ven bờ có thể sử dụng mô hình STWAVE với các bước lưới tính phù hợp theo các yêu cầu cụ thể của người sử dụng. Mô hình STWAVE cũng cho phép chọn các điểm dự báo cụ thể (các điểm monitoring). Tại các điểm này sẽ tính được các tham số sóng, phổ sóng theo các Obs dự báo, ví dụ như dự báo sóng phục vụ tại các giàn khoan, thăm dò khoáng sản vùng ven biển v.v...

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Phạm Văn Ninh, *Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu cấp Trung tâm KHTN&CNQG*, Nghiên cứu cơ chế bồi xói bờ biển khu vực châu thổ sông Hồng, Viện cơ học, Hà Nội 12/2003.
2. STWAVE: Steady-State Spectral Wave Model. *User's manual for STWAVE, Version 3.0. US Army Corps of Engineers*. Jane McKee Smith, Ann R. Sherlock, and Donald T. Resio 2/2001.
3. Coastal Engineering Manual (CEM), *Chapter 1 water wave Mechanics*, Coastal Engineering Research Center, US Navy, 2001.

VNU. JOURNAL OF SCIENCE, Nat., Sci., & Tech., T.XXI, N₃AP., 2005

VERIFICATION RESULTS OF WAVE FORECASTING MODELS IN BAC BO GULF

Nguyen Manh Hung

Institute of Mechanics

Nguyen Tho Sao

*Department of Hydro-Meteorology & Oceanography
College of Science, VNU*

Tran Quang Tien

Centre Marine Hydro - Meteorology

In the frame of the state project 2001–2005, KC.09.04 “Study of Hydrometeorological and Oceanological forecasting for East Sea”, the global wave forecasting model WAM have been used for the depth sea areas with the grid size of $1/4 \times 1/4$ longitudinal and latitudinal degrees. For the coastal zones, STWAVE model is chosen with the grid of $200\text{m} \times 200\text{m}$. In these paper, some results of verification of

these two wave models are presented by the authors. The wave data set obtained by modern wave recorders at Hai Hau, Nam Dinh 1/2003 and at Nghi Son, Thanh Hoa 7/2003 (corresponding to northeast and southeast monsoons respectively) in Bac Bo gulf are used. According to the verification results, the RMS errors for the station LT1, LT2 in Hai Hau and Nghi Son are 0.092, 0.138 and 0.102 respectively. The errors increase in the near shore stations in comparing with the station in the deeper zones and the errors including BIAS and RMS in Hai Hau are higher than in Nghi Son because of the complex bathymetry at Balat river mouth and of the local wind field. Nevertheless the verification results support the application of wave forecasting models in the operational forecasting for East Sea and coastal areas of Vietnam.