

Tiến tới hoàn thiện mô hình ba chiều (3D) thủy động lực cửa sông ven biển

Đình Văn Ưu*

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN, 334 Nguyễn Trãi, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 15 tháng 7 năm 2012

Tóm tắt. Mô hình thủy động lực biển ven bờ của Trung tâm Động lực và môi trường biển (MDEC) được phát triển từ mô hình thủy động lực quy mô biển ven đã từng bước hoàn thiện cho phép ứng dụng cho các thủy vực nước nông, cửa sông, ven bờ - nơi các quá trình tương tác sóng, triều và dòng chảy nước nông quy mô nhỏ trở nên áp đảo. Trên cơ sở mô hình hệ các phương trình động lực biển nguyên thủy, trong mô hình MDEC đã tính đến ảnh hưởng sóng trên mặt biển thông qua các mô hình lớp biên khí quyển sát mặt và lớp biên đáy. Kỹ thuật chuyển đổi kép tọa độ sigma đã cho phép áp dụng mô hình ba chiều (3D) cho các thủy vực cửa sông có bãi triều rộng và lạch triều sâu. Đã sử dụng tương quan mực nước – lưu lượng vào xử lý điều kiện biên hồ sông – cửa sông cho phép áp dụng độc lập mô hình 3D cho thủy vực cửa sông ven biển có triều áp đảo. Mô hình đã được kết nối thành công vào hệ thống mô hình thủy động lực và môi trường cửa sông ven biển Hải Phòng.

1. Đặt vấn đề

Mô hình thủy động lực biển ven bờ MDEC được phát triển từ mô hình thủy động lực quy mô biển ven GHER của ĐH Liege. Với mục đích phát triển mô hình có khả năng ứng dụng cho các thủy vực nước nông, cửa sông, ven bờ - nơi các quá trình tương tác sóng, triều và dòng chảy nước nông quy mô nhỏ trở nên áp đảo.

Trên cơ sở mô hình hệ các phương trình động lực biển nguyên thủy, trong mô hình MDEC đã tính đến ảnh hưởng sóng trên mặt biển thông qua các mô hình lớp biên khí quyển sát mặt và lớp biên đáy. Với đặc thù của sự hiện diện đồng thời của lưu lượng sông và thủy triều,

đã nghiên cứu cơ sở lý thuyết cho việc triển khai kỹ thuật xử lý điều kiện biên hồ của sông có triều áp đảo, cho phép tiện dụng hơn trong áp dụng cho các thủy vực cửa sông ven biển.

2. Mô hình thủy động lực học nguyên thủy

Quá trình biến đổi theo thời gian của mực nước, dòng chảy, nhiệt độ, độ muối nước biển dưới tác động của khí quyển và nước sông đổ vào thủy vực được mô phỏng bằng mô hình Trung tâm ĐL&MT biển (MDEC) được phát triển từ mô hình GHER, ĐH Liege. Mô hình MDEC đã sử dụng hệ các phương trình thủy nhiệt động lực học nguyên thủy với sơ đồ khép kín rối được xây dựng trên cơ sở lý thuyết rối của Prandtl và Kolmogorov. Tác động của sóng

* ĐT: 84-4-38584945
E-mail: uudv@vnu.edu.vn

trên mặt biển lên các đặc trưng thủy nhiệt động lực học biển được tính đến thông qua các mô hình tương tác sóng-gió và mô hình lớp biên đáy [1-5].

Đối với thủy vực cửa sông, sự hiện diện của các bãi triều và lạch sâu thường đòi hỏi sự kết hợp các mô hình 2D và 3D với yêu cầu xử lý linh hoạt biên di động cho bài toán khô-ướt. Với việc áp dụng kỹ thuật chuyển đổi kép tọa độ sigma, chúng tôi đã áp dụng thành công mô hình 3D cho vùng cửa sông có địa hình đáy phức tạp. Theo quy trình này, toàn bộ cột nước được chia thành 2 lớp với độ dày lớp trên lấy bằng biên độ triều theo 1 tầng sigma và lớp nước dưới được chia theo số lượng tầng sigma bất kỳ phụ thuộc vào yêu cầu của bài toán (hình 1). Như vậy mô hình 3D có thể áp dụng cho toàn miền có địa hình đáy phức tạp với sự tương tác toàn diện của các quá trình thủy nhiệt động lực học sông biển.

Để áp dụng cho các thủy vực cửa sông có triều áp đảo, việc thiết lập điều kiện biên trên giữa sông và cửa sông do tương tác giữa lưu lượng tổng cộng và dao động mực nước. Để giải quyết vấn đề này, thông thường cần đến sự kết hợp giữa các mô hình 1D, 2D và 3D hoặc dẫn biên đến giới hạn lan truyền triều. Để có được một mô hình đa năng có thể áp dụng cho khu vực cửa sông, chúng tôi sử dụng quan hệ mực nước-lưu lượng mực nước tại biên hở nhằm thiết lập điều kiện mực nước cho vị trí biên lựa chọn.

Mực nước thực tế trên vùng biển cửa sông sẽ bao gồm tổng mực nước do dao động triều ξ_t và gia tăng mực nước do lưu lượng sông đổ ra δ_ξ :

$$\xi = \xi_t + \delta_\xi$$

Trong đó phân gia tăng mực nước do lưu lượng sông sẽ bị triệt tiêu khi đi xa về phía biển. Mối tương quan giữa đại lượng này với

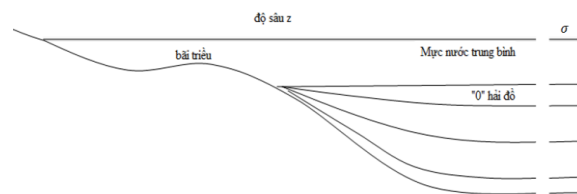
lưu lượng hoặc vận tốc tương ứng sẽ phụ thuộc vào đặc trưng hình thái cửa sông và có thể xác định thông qua thực nghiệm tương tự như đối với quan hệ lưu lượng-mực nước của các sông.

Trong điều kiện chưa có được các hàm tương quan cụ thể, chúng ta có thể thiết lập chúng thông qua thử nghiệm số.

3. Một số kết quả áp dụng cho vùng cửa sông ven biển Hải Phòng

Áp dụng mô hình 3D MDEC cho vùng cửa sông có địa hình phức tạp

Với địa hình phức tạp bao gồm hai lạch tàu chính là Nam Triệu và Lạch Tray, vùng nghiên cứu bao gồm các bãi triều lớn nằm phía nam Đình Vũ, nam Cát Hải và đông đê Đồ Sơn. Dựa trên các hải đồ tỷ lệ 1:25 000, đã xây dựng tệp số liệu địa hình đáy và đường bờ cho lưới tính 200m x 200m, lấy biên độ triều là 1,86m. Như vậy giới hạn của miền tính được xác định theo mực nước trung bình. Như vậy đã lấy độ dày lớp sigma trên được lấy bằng 1,86m. Việc thử nghiệm mô hình được triển khai với điều kiện chỉ có thủy triều cho thời gian 15 ngày tính từ 0 giờ Mặt Trời trung bình.



Hình 1. Sơ đồ đại hình và phép chuyển đổi kép tọa độ sigma (σ).

Trên hình 2, dẫn ra các kết quả mô phỏng hoàn lưu tầng mặt cho các thời điểm dao động mực nước khác nhau a: trung bình pha xuống, b: thấp, c: trung bình pha lên, d: cao. Có thể

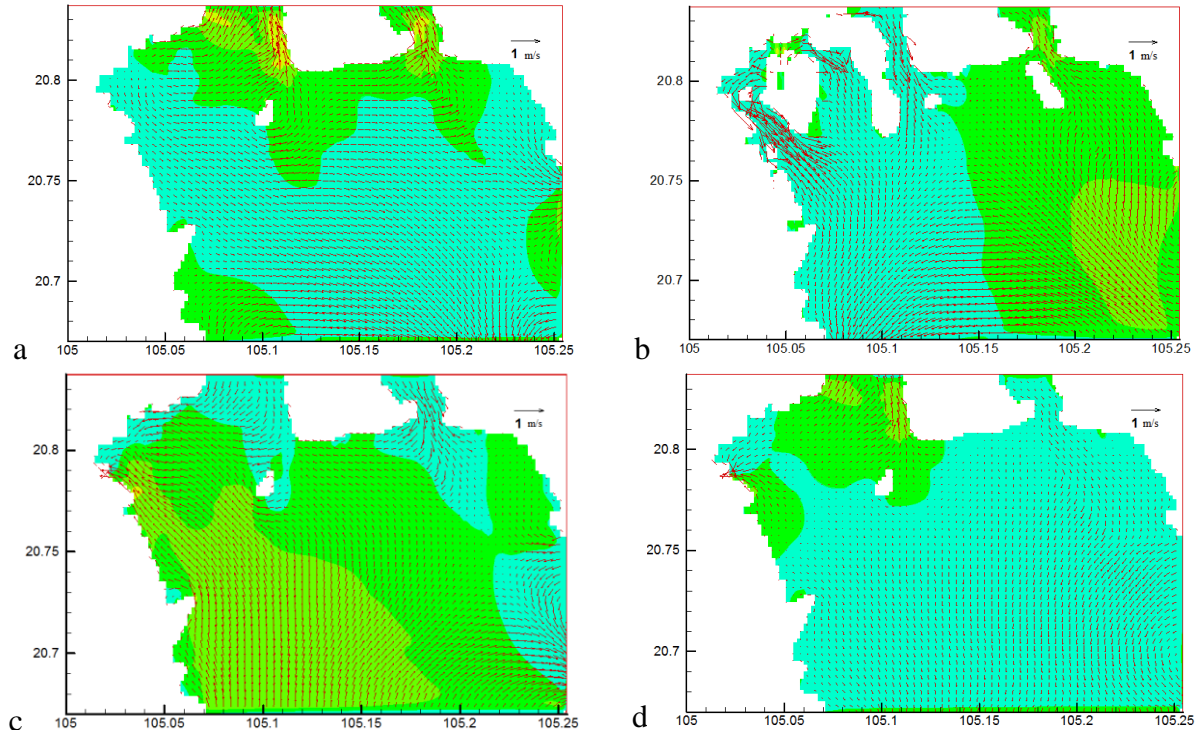
nhận thấy tại các khu vực các cửa Nam Triệu và Lạch Huyện có sự lệch pha của dòng chảy, dẫn tới hiện tượng nước đi ra tại cửa Nam Triệu và đi vào tại Lạch Huyện khi triều thấp (b) và ngược lại khi triều cao (d). Điều này dẫn tới sự hình thành chế độ dòng chảy thuận nghịch dọc theo bờ biển Cát Hải.

Hiện tượng lệch pha của dòng triều tại các khu vực cửa sông cũng đã được quan tâm trong một số công trình khác nhau khi nghiên cứu quá trình lan truyền triều và mặn vào trong sông. Đối với vùng nghiên cứu, một số kết quả đo đạc tại chỗ cũng đã phát hiện có sự lệch pha này. Trên hình 3a dẫn ra kết quả phân tích số liệu dòng chảy tại trạm Hoàng Châu (HC) trên cửa Nam Triệu và tại trạm Bến Gót (BG) trên cửa Lạch Huyện thu được từ 10h ngày 25/2/2006 đến hết 12h ngày 27/2/2006 được Công ty Tư vấn Khảo sát Cảng Đường thủy (TEDI-Port) cung cấp [6]. Bên cạnh đó cũng dẫn ra biểu trình mực nước tại trạm Hòn Dấu (hình 3b) để xác định các pha triều. Dễ dàng nhận thấy sự

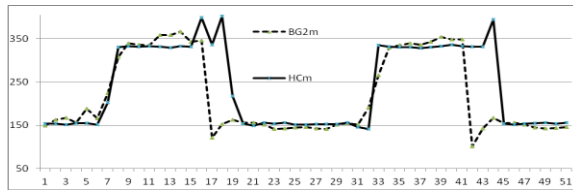
tương đồng kết quả đo đạc và quy luật mô phỏng lệch hướng dòng chảy tại 2 cửa đối trường hợp pha triều cao. Sự khẳng định của dòng chảy dọc bờ Cát Hải cũng được khẳng định qua kết quả khảo sát của TEDI ngày 19/2/2006.

Về độ lệch pha và thời gian xuất hiện so với pha mực nước triều còn phụ thuộc vào lưu lượng sông, đối với khu vực nghiên cứu, nước sông đi vào qua các cửa Nam Triệu và Lạch Tray đóng vai trò chính trong hình thành và biến đổi trường hoàn lưu chung của nước. Để làm rõ các quy luật cụ thể, bên cạnh thử nghiệm mô hình số với các phương án lưu lượng sông và trường gió khác nhau đã và đang tiến hành, công tác khảo sát thực địa chuyên đề cũng sẽ được triển khai trong thời gian tới.

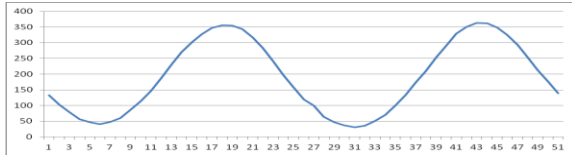
Trong phần tiếp theo chúng tôi sẽ trình bày một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm số đối với điều kiện biên mực nước xác định mối tương quan mực nước-lưu lượng cho cửa sông Nam Triệu.



Hình 2. Kết quả mô phỏng trường hoàn lưu nước tầng mặt sau 1h, 8h, 14h và 21h.



a)



b)

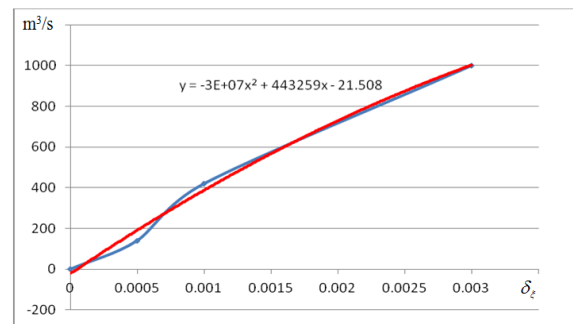
Hình 3. Biến trình hướng dòng chảy (a) và mực nước (b) tại Hoàng Châu và Bến Gót từ 10 giờ ngày 25/2 đến 12 giờ ngày 27/2/2006.

Kết quả thử nghiệm số trị điều kiện biên theo quan hệ mực nước - lưu lượng

Mối quan hệ mực nước lưu lượng thường được đánh giá trên cơ sở số liệu quan trắc mực nước và lưu lượng trên các trắc ngang cụ thể của sông và cửa sông, tuy nhiên đối với khu vực cửa sông Hải Phòng cũng như phần lớn cửa sông ở Việt Nam có rất ít số liệu thực tế. Để thử nghiệm số trị, chúng tôi tiến hành đồng thời cho các giá trị gia tăng mực nước do lưu lượng sông đổ ra δ_ξ khác nhau và đánh giá lưu lượng sông thông qua biên từ kết quả mô hình. Căn cứ kết quả so sánh giữa lưu lượng sông tính toán với giới hạn lưu lượng sông thực tế, chúng ta có sẽ xác định được các giá trị gia tăng mực nước do lưu lượng cần sử dụng trong mô hình. Trên hình 4 dẫn ra kết quả xác định tham số đó và tương quan lưu lượng-mực nước cho cửa Nam Triệu. Tương tự các kết quả đánh giá thực tế trên thế giới [...], mối quan hệ này có thể xấp xỉ thông qua đa thức bậc 2. Với lưu lượng cực đại đối với cửa Nam Triệu khoảng $1000 \text{ m}^3/\text{s}$, tham số δ_ξ có thể biến đổi đến 0,003. Giá trị này có thể

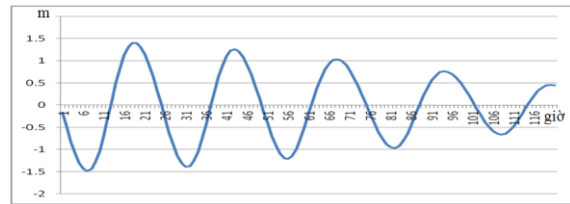
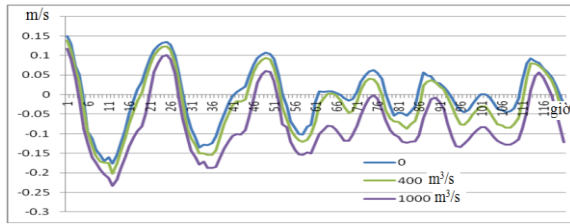
lấy bằng 0,001 đối với lưu lượng trung bình khoảng $400 \text{ m}^3/\text{s}$.

Trên hình 5 dẫn ra biến trình kết quả tính toán thành phần kinh tuyến của vận tốc tương ứng hướng pháp tuyến biên Nam Triệu theo các giá trị lưu lượng sông khác nhau. Kết quả so sánh cho thấy, ảnh hưởng của lưu lượng sông lên dòng chảy tổng cộng có mức độ khác nhau đối với từng pha triều. Với sự biến đổi của dòng chảy tổng cộng như trên hình vẽ, có thể nhận thấy quy luật lệch pha của dòng triều giữa cửa sông Nam Triệu và Lạch Huyện cũng sẽ biến đổi theo do lưu lượng và tương quan mực nước-lưu lượng giữa chúng là khác nhau.



Hình 4. Kết quả thử nghiệm số xác định tương quan lưu lượng – mực nước tại cửa Nam Triệu.

Trên cơ sở các kết quả thu được thông qua thử nghiệm số lựa chọn mối quan hệ mực nước - lưu lượng cho cửa Nam Triệu, chúng tôi cũng đã bước đầu triển khai các bước tương tự cho cửa Lạch Tray. Bộ tham số này đã được sử dụng cho mô hình thủy động lực học đầy đủ mô phỏng trường mực nước và hoàn lưu tổng hợp do tác động của triều, nước sông và gió trên mặt biển. Việc đưa gió còn cho phép triển khai kết hợp mô hình lớp biên có tính đến tác động của sóng trên mặt biển.



Hình 5. Biến trình thành phần kinh tuyến vận tốc dòng chảy (trên) đi qua biên tính toán theo các giá trị lưu lượng khác nhau và mực nước tại cửa Nam Triệu.

4. Kết luận

Với kỹ thuật chuyển đổi kép tọa độ sigma đã cho phép áp dụng mô hình ba chiều (3D) thủy nhiệt động lực cho các thủy vực cửa sông có bãi triều rộng và lạch triều sâu. Thông qua thí nghiệm số, đã xác định được mối tương quan mực nước – lưu lượng tại cửa sông Nam Triệu và sử dụng để xử lý điều kiện biên hở sông - cửa sông. Các kết quả triển khai thử nghiệm mô hình và so sánh với kết quả thực đo đã chứng minh khả năng áp dụng độc lập mô hình 3D MDEC cho thủy vực cửa sông ven biển có triều áp đảo. Mô hình đã được kết nối thành công vào hệ thống mô hình thủy động lực và môi trường cửa sông ven biển Hải Phòng.

Lời cảm ơn

Các kết quả trình bày trong báo cáo này là một phần sản phẩm của đề tài trọng điểm ĐHQG Hà Nội QGTD 11.04. Tác giả cảm ơn về sự hỗ trợ đó.

Tài liệu tham khảo

- [1] Đinh Văn Ưu, “Các kết quả phát triển và ứng dụng mô hình 3 chiều (3D) thủy nhiệt động lực học biển ven và nước nông ven bờ Quảng Ninh”, *Tạp chí Khoa học, Đại học Quốc Gia Hà Nội*, XIX, 2003.
- [2] Dinh Van Uu, Ha Thanh Huong, Pham Hoang Lam (2006), Development and Application of the Environmental Hydrodynamic 3D Model for Computation and Forecasting of Oil Pollutions in Coastal Marine Environment, Annual Report of FY 2006 of CUP between JSPS and VAST, Hanoi, Osaka, pp. 191-200.
- [3] Dinh Van Uu, Ha Thanh Huong, Pham Hoang Lam, Development of system of Hydrodynamic-environmental models for coastal area (Case study in Quangninh-Haiphong region), *Journal of Science, Earth Sciences*, T. XXIII, No.1 (2007) pp. 59-68.
- [4] Đinh Văn Ưu (2009). Xây dựng mô hình vận chuyển bùn cát và biến đổi địa hình vùng ven bờ Cát Hải, Hải Phòng phục vụ công tác bảo vệ đê và công trình bờ biển, Báo cáo tổng kết đề tài QGTD 07.04.
- [5] Đinh Văn Ưu (2011). *Tiến tới xây dựng hệ thống mô hình dự báo và kiểm soát môi trường Biển Đông*. Hội nghị Khoa học và Công nghệ Biển toàn quốc lần thứ 5, Quyển 2: Khí tượng Thủy văn và Động lực học biển,
- [6] TEDI-PORT, *Hồ sơ lưu trữ về các báo cáo khảo sát, mô hình hoá, tài liệu thiết kế phục vụ công trình Dự án luồng Lạch Huyện*, 2006 (12 tài liệu).

Toward performing the three-dimensional hydrodynamic model for coastal estuaries

Dinh Van Uu

VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Hanoi, Vietnam

The Marine Hydrodynamic model for coastal area of Marine Dynamics and Environment Centre (MDEC) developed from coastal ocean model was performed for shallow coastal estuarine waters, where the interaction between different microscale processes due to tide, wave and current become dominant. Using a system of hydrodynamic primitive equations, in the MDEC model, the impact of surface wave was taken in count via the models for near surface atmospheric and bottom boundary layer. The double sigma transformation technique allows application 3D model to estuarine waters including big intertidal area with deep tidal channel. The stage-discharge relationship has been used in performing the open boundary condition between river and estuary. The model was successfully connected into hydrodynamic and environmental system for Haiphong estuary.