

THỬ NGHIỆM NGHIỆN CỨU SỐ TRỊ TƯƠNG TÁC SÓNG VÀ DÒNG CHẢY VÙNG CỬA SÔNG

PHẠM VĂN NINH, ĐỖ NGỌC QUỲNH, ĐINH VĂN MẠNH

1. MỞ ĐẦU

Việc sử dụng hợp lý vùng biển ven bờ với mật độ cửa sông khá dày đặc như ở nước ta đòi hỏi phải hiểu biết được cơ chế chi phối trường sóng ở các vùng cửa sông và dự báo sóng ở đó. Ở những vùng ấy, ngoài các yếu tố như gió, chuyển động quay của quả đất (đối với các cửa sông đủ rộng), ma sát đáy, trường sóng bị ảnh hưởng mạnh của địa hình bờ, đáy và dòng chảy sông. Do vậy, cần giải quyết bài toán tương tác giữa sóng và dòng chảy. Về mặt khoa học, đây là một hướng nghiên cứu còn khá mới và còn nhiều vấn đề cần giải quyết. Tùy theo loại chuyển động, có thể có hai loại mô hình thủy động lực khác nhau: có hoặc không có giả thuyết tồn tại thế vận tốc. Trong [1] đã xây dựng và phát triển lý thuyết sóng trên mặt dòng xoáy. Trong đó còn có thể tìm thấy tên nhiều công trình về tương tác sóng và dòng chảy có thể vận tốc. Phần lớn các công trình nói trên (theo cả 2 mô hình) đều sử dụng phương pháp giải tích, giới hạn trong một lớp các dòng chảy hoặc địa hình đã đơn giản hóa và không lưu ý được nhiều yếu tố có ảnh hưởng đến trường sóng nói trên.

Bài này trình bày một số kết quả nghiên cứu thử nghiệm theo phương pháp số trị thủy động bài toán tương tác giữa sóng và dòng chảy ở vùng cửa sông. Các kết quả này cho thấy có thể sử dụng mô hình số trị nước nông phi tuyến hai chiều ngang như một trong những công cụ hữu hiệu.

2. MÔ HÌNH SỐ TRỊ THỦY ĐỘNG

Gọi vùng cửa sông là thủy vực được giới hạn bởi một mặt cắt sông gần biển nhất nhưng lại chịu sự chi phối chủ yếu bởi chế độ dòng chảy sông, hai mặt cắt thẳng góc với hai bờ biển hai phía của sông và mặt cắt biển cùng các đoạn bờ nối mặt cắt sông với các mặt cắt thẳng góc đó. Ba mặt cắt nói trên ở đủ xa về phía phải, phía trái và phía biển sao cho chế độ sóng và dòng chảy ở đó có thể coi là thuần túy biển. (Trong trường hợp tính thử nghiệm, thủy vực có dạng hình 1)

Giả thiết chất lỏng không nén được, chỉ trao đổi động lượng rối theo phương thẳng đứng, áp suất thủy tĩnh, chuyển động của nước trong thủy vực cửa sông (gồm sóng và dòng chảy) có thể được mô phỏng bởi hệ phương trình nước nông phi tuyến hai chiều ngang quen biết sau:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv = -\frac{\partial p^a}{\rho \partial x} - g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{1}{\rho H} (\tau_x^a - \tau_x^b) \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu = -\frac{\partial p^a}{\rho \partial y} - g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{1}{\rho H} (\tau_y^a - \tau_y^b) \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial uH}{\partial x} + \frac{\partial vH}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (2.3)$$

trong đó, lần lượt u, v là các thành phần vận tốc trung bình \bar{U} theo chiều sâu, f - hệ số Coriolis, ρ - mật độ nước, p^a - áp suất khí quyển tại mặt nước, g - gia tốc trọng trường, η - độ dâng mặt nước, H - độ sâu tổng cộng, τ^a, τ^b - ứng suất ma sát do gió tại mặt nước và do đáy tại đáy. Các chỉ số x, y chỉ thành phần của đại lượng đã cho theo các trục x, y . Trong đó:

$$\bar{\tau}^a = \rho^a C_a \bar{W} |\bar{W}|, \quad \bar{\tau}^b = \rho k_1 \bar{U} |\bar{U}| \quad (2.4)$$

với các hệ số C_a, k_1 và trường gió $\bar{W}(x, y)$ được coi là cho trước. Các điều kiện biên có thể cho như sau:

- Tại mặt cắt sông cho dòng chảy

$$u = u(t), \quad v = v(t) \quad (2.5)$$

- Tại mặt cắt thẳng góc với bờ biển và mặt cắt biển cho trước dao động mực nước mô tả sóng biển $\eta(t)$. Một cách đủ tổng quát có thể cho trước sóng biển chỉ tại mặt cắt biển, còn tại hai mặt cắt thẳng góc ta cho điều kiện phóng xạ để loại trừ ảnh hưởng của sóng biển truyền qua các biên độ vùng nghiên cứu:

$$U_n = \pm \eta \sqrt{g/H} \quad (2.6)$$

- Tại bờ cứng sông và biển sử dụng điều kiện không thấm

$$U_n = 0 \quad (2.7)$$

và điều kiện ban đầu có thể lấy là chuyển động bắt đầu từ trạng thái yên tĩnh

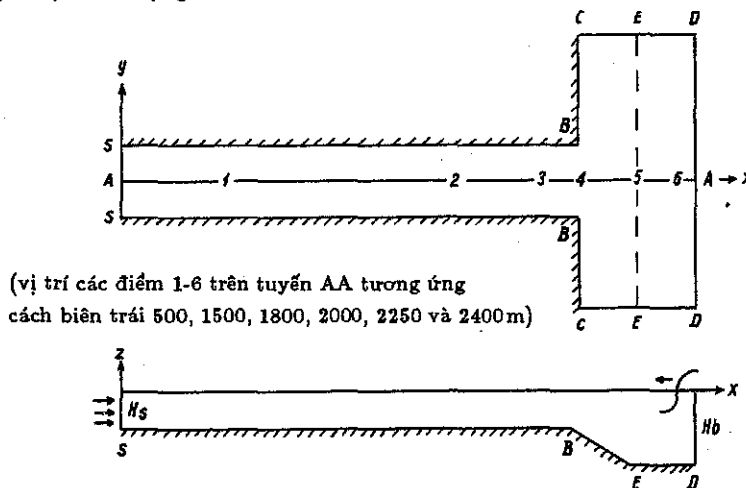
$$t = 0, \quad u = v = \eta = 0. \quad (2.8)$$

Bài toán (2.1) ÷ (2.8) là bài toán khá đầy đủ, cho phép xác định trường sóng mặt, trường dòng chảy trung bình trong vùng cửa sông có lưu ý đến dòng chảy từ sông ra, sóng biển từ ngoài vào, ảnh hưởng của địa hình đáy, ma sát do gió và do đáy, thậm chí cả lực quay của quả đất.

Theo thuật toán sai phân ẩn, truy đuổi luân hướng, một bộ chương trình đã được các tác giả xây dựng và thử nghiệm khá công phu qua nhiều trường hợp cụ thể [2]. Bộ chương trình đó cho phép sử dụng để thử nghiệm nghiên cứu số trị trường sóng và dòng chảy tại vùng cửa sông tùy ý.

3. NGHIÊN CỨU THỬ NGHIỆM

Trong các thí nghiệm toán học sau đây, để có thể đánh giá khả năng mô phỏng quá trình tương tác sóng và dòng chảy ở vùng cửa sông, bài toán được đơn giản hóa bằng cách xét vùng cửa sông giả định có dạng hình 1.

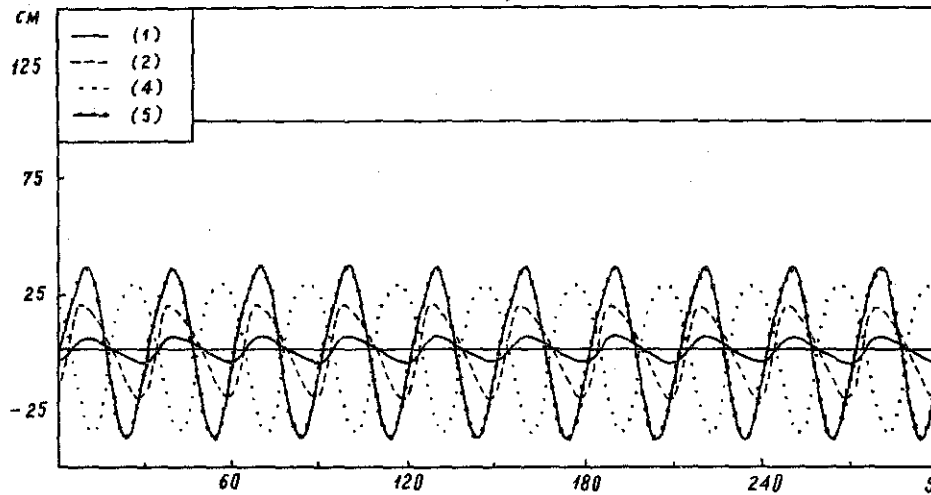


Hình 1. Sơ đồ vùng cửa sông tính thử nghiệm

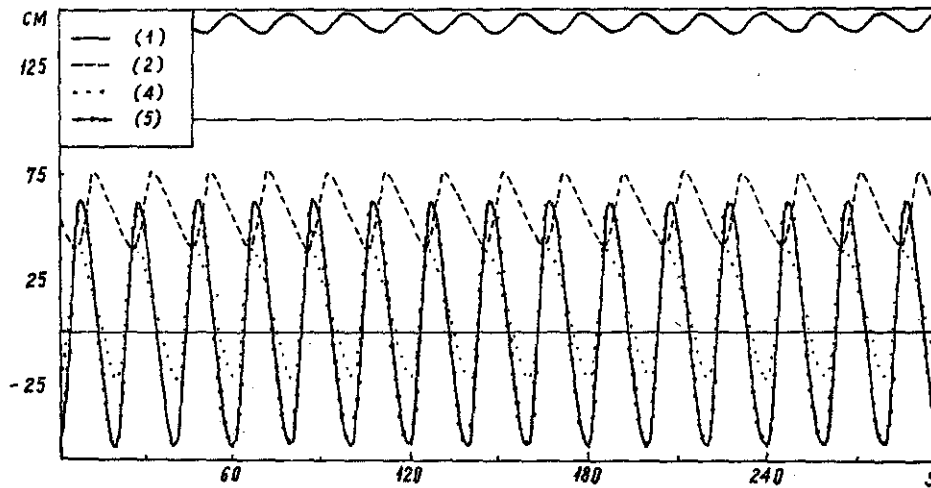
Nhìn từ trên xuống, đó là vùng cửa sông được tạo thành bởi 2 hình chữ nhật, đáy ngang trong sông và ngoài biển, thoải dần ở đoạn CE với các kích thước như sau: SS = 200 m, DD = 1000 m, SB = 2000 m, CE = 250 m, ED = 250 m, H_s = 5 m, H_b = 10 m.

Đã tính cho 5 chế độ chảy tại SS: $V_r = 0$ (không có dòng chảy), 50 cm/s, 100 cm/s, 200 cm/s, 300 cm/s và mỗi chế độ chảy tương tác với các loại sóng cho trước tại DD trong dạng $\eta = a \cos(2\pi t/T)$; với 9 chu kỳ $T = 10$ s, 12 s, 13 s, 14 s, 15 s, 20 s, 30 s, 60 s, 120 s; biên độ $a = 50$ cm và không có sóng ($a = 0$).

Để đảm bảo độ phân giải và ổn định thực tế mô hình số, đã chọn bước không gian $\Delta x = 10$ m, $\Delta y = 20$ m và thời gian $\Delta t = 0,25$ s (tương ứng với 4500 điểm tính). Mỗi phương án tính trên máy PC 386/DX40 hết 1 giờ 2 phút (chưa kể thời gian tính để thu được dòng chảy dừng khi chỉ cho dòng chảy vào tại SS) và kết quả là ta nhận được trạng thái biến đổi dừng. Hình 2a, 2b cho



Hình 2a. Mực nước tại một số điểm. $V_r = 0$, $T = 30$ s



Hình 2b. Mực nước tại một số điểm, $V_r = 50$ cm/s, $T = 20$ s

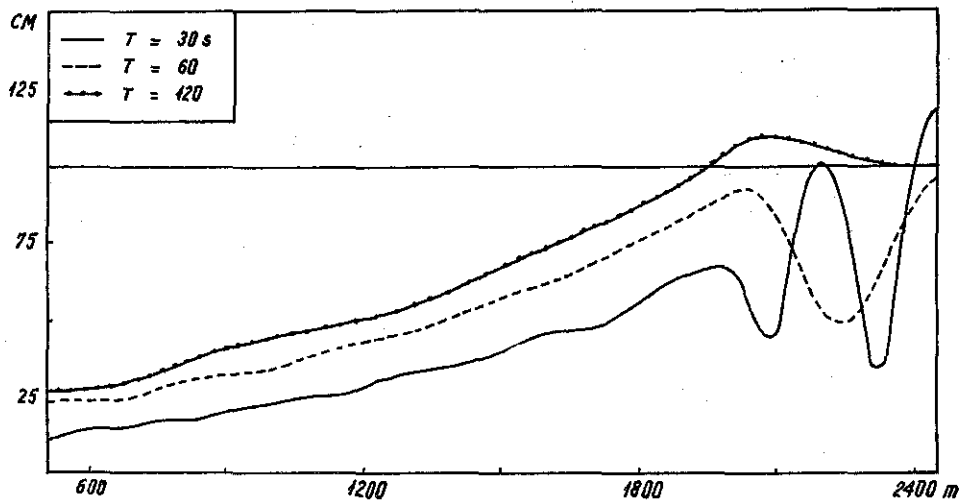
thấy thí dụ về biến thiên mực nước tại các điểm 1, 2, 4 và 5 (xem hình 1) trên tuyến AA khi $(V_r, T) = (50$ cm/s, 20 s) và $(0$ cm/s, 30 s) sau khi đạt trạng thái biến đổi dừng, với trục hoành chỉ thời gian (s) trục tung chỉ biên độ (cm). Có thể thấy sóng tại thủy vực đều có chu kỳ bằng chu

kỳ sóng cường bức (từ biên vào) nhưng không còn sóng hình sin thuần túy nữa: pha lên nhanh hơn pha xuống, càng xa nguồn, sóng càng mất đối xứng rõ hơn. Hình 3 cho thấy biến thiên độ cao sóng (từ đỉnh tới chân sóng) dọc tuyến AA khi không có dòng chảy với các chu kỳ $T = 30 s$, $60 s$ và $120 s$. Có thể thấy hiệu ứng thay đổi đáy đối với các sóng đó là khác nhau. Trước khi giảm dần độ cao sóng (do ma sát) theo hướng vào trong sông, sự thay đổi địa hình có thể làm thay đổi đáng kể độ cao sóng và đường biến thiên độ cao cũng có dạng sóng với số đỉnh tăng dần khi chu kỳ T giảm.

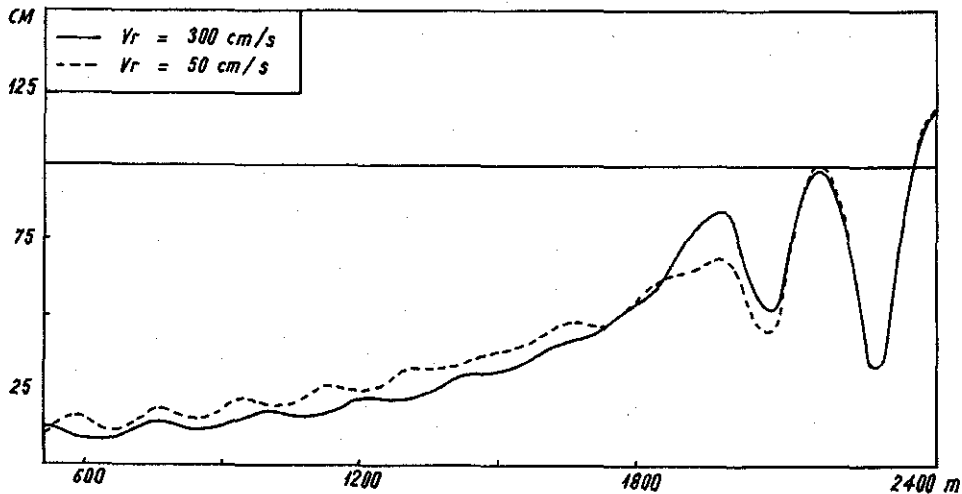
Kết quả tính toán còn cho thấy:

- Đối với cùng loại sóng (tức cùng chu kỳ), dòng chảy càng lớn càng cản khả năng truyền sóng vào sâu trong sông nhưng lại càng ảnh hưởng đến biên độ sóng ở vùng chính cửa sông (giữa các điểm 3 đến 6) và làm tăng dần chiều cao sóng tại đó (xem hình 4: $T = 30 s$, $V_r = 50 cm/s$, và $300 cm/s$).

- Đối với cùng chế độ dòng chảy sông, chu kỳ càng lớn (tức sóng càng dài) khả năng truyền sóng vào trong sông càng mạnh (xem hình 5: $V_r = 300 cm/s$, $T = 10 s$, $30 s$ và $120 s$)

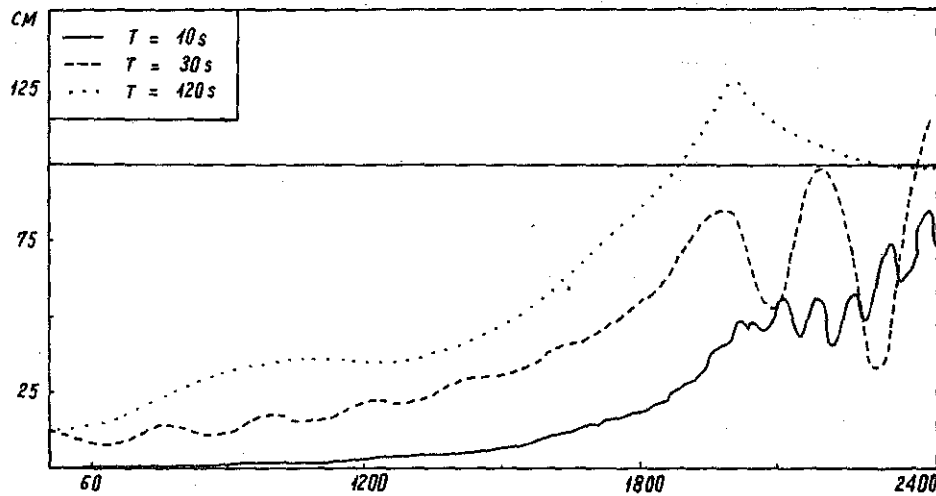


Hình 3. Biến thiên độ cao sóng dọc tuyến AA, $V_r = 0 cm/s$

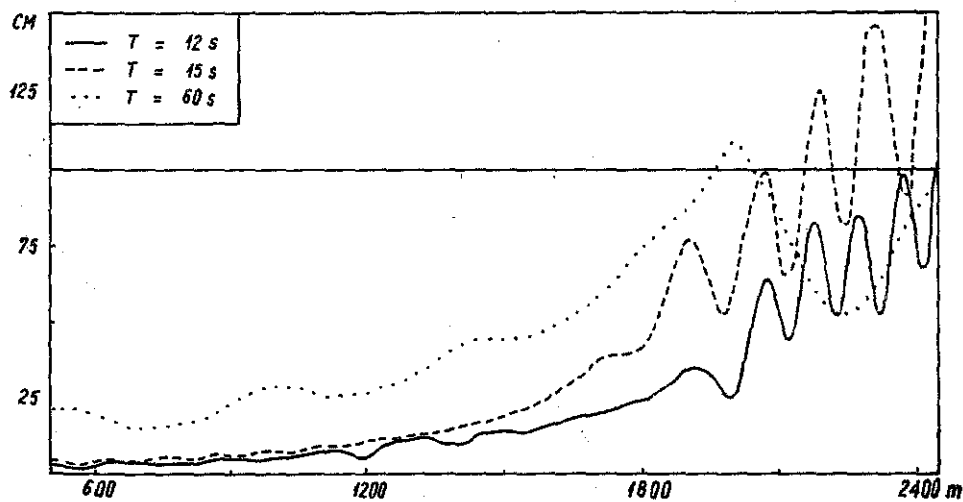


Hình 4. Biến thiên độ cao sóng dọc tuyến AA, $T = 30 s$

- Tuy nhiên, có thể có khả năng cộng hưởng, làm cho biên độ sóng tăng rất mạnh đối với một số chu kỳ sóng xác định. Trong trường hợp thủy vực có dạng như hình 1, với $V_r = 300 \text{ cm/s}$, cộng hưởng xảy ra đối với các sóng có chu kỳ cỡ 14-15 giây (xem hình 6: $V_r = 300 \text{ cm/s}$, $T = 12 \text{ s}$, 15 s , 60 s) và khả năng này cần được lưu ý thích đáng.



Hình 5. Biến thiên độ cao sóng dọc tuyến AA, $V_r = 300 \text{ cm/s}$



Hình 6. Biến thiên độ cao sóng dọc tuyến AA, $V_r = 300 \text{ cm/s}$

4. KẾT LUẬN

Các kết quả tính toán thử nghiệm cho thấy bức tranh phân bố sóng phản ánh được các đặc điểm định tính mà chúng ta có thể chờ đợi khi nghiên cứu sự tương tác giữa sóng và dòng chảy và mô hình số trị thủy động dựa trên hệ phương trình phi tuyến nước nông 2 chiều có thể sử dụng để nghiên cứu sóng ở vùng cửa sông, nhất là đối với các sóng có chu kỳ dài. Tuy nhiên, để mô phỏng tốt bức tranh sóng ở đó có thể còn cần xây dựng mô hình số trị thủy động 2 chiều đứng và theo cả hướng có thể vận tốc.

(xem tiếp trang 48)