



XÂY DỰNG MÔ HÌNH TÍNH TOÁN BIẾN HÌNH LÒNG DẪN TẠI VỊ TRÍ KÈ HẠ LƯU CỦA CỤM CÔNG TRÌNH CHỈNH TRỊ SÔNG NỘI ĐỊA

Trần Văn Sung¹

Tóm tắt: Bài báo này giới thiệu mô hình hình thái một chiều dựa trên cơ sở thủy động lực học về dòng chảy và bùn cát trong sông nội địa để phân tích biến hình lòng dẫn tại khu vực lân cận phần tử kè cuối cùng ở hạ lưu của cụm kè chỉnh trị, giúp cho các nhà tư vấn dự báo hiệu quả cũng như tác động của phần tử kè này đối với lòng dẫn cũng như các công trình lân cận, từ đó có thể đề xuất các giải pháp hợp lý.

Từ khóa: chỉnh trị sông, kè mỏ hàn, xói luồng tàu

Abstract: This paper introduces one-dimensional morphological model based on hydrodynamics of flow and sediment in inland rivers to analyze the river bed transformation in the neighbouring of last groyne element of the downstream regulating groynes. The result helps the consultants to forecast the effect as well as the impact of this groyne element on the river bed and neighbouring constructions, which can propose a reasonable solution.

Keywords: river regulation, groyne, stream erosion

Nhận ngày 20/2/2013, chỉnh sửa 19/3/2013, chấp nhận đăng 30/3/2013



1. Đặt vấn đề

Trong hệ thống kè chỉnh trị, các phần tử kè thường được bố trí theo phương thức đối diện từng cặp; các cặp kè phía thượng lưu ép dòng chảy vào luồng chính đồng thời tạo ra hiệu quả dâng nước rõ rệt. Chính vì vậy, phần tử kè cuối cùng ở hạ lưu nằm trong trạng thái chuyển từ khu vực “bờ nửa cứng” sang “bờ mềm” với độ dốc mặt nước lớn hơn trước khi xây dựng cụm kè. Do đó, việc kiểm soát xói ở lòng sông sau phần tử kè này cần được quan tâm đặc biệt mà tiêu chuẩn ngành [2] hiện chưa đưa ra các yêu cầu cụ thể. Dưới đây, dựa trên các thành tựu nghiên cứu về dòng chảy và bùn cát, nhóm tác giả đề tài đã hệ thống các phương trình để xây dựng mô hình hình thái một chiều, nhằm tính toán và đưa ra được độ sâu xói trung bình của phân đoạn sông lân cận phần tử kè cuối cùng ở hạ lưu của cụm kè.



2. Hệ phương trình cơ bản

Hệ phương trình cơ bản trong mô hình hình thái cục bộ áp dụng cho đoạn sông có bố trí kè mỏ hàn theo [1] và [3] được xác định như sau.

Nghiên cứu bài toán biến hình lòng sông trong trường hợp dòng chảy ổn định, một chiều, với các giả thiết cơ bản sau:

+ Chuyển động biến đổi dần. Với giả thiết này có thể ứng dụng các quy luật sức cản và công thức tính lưu lượng bùn cát trong dòng chảy đều. Sức cản tính theo Chézy-Manning.

+ Chiều rộng bờ sông B biến đổi không đáng kể, độ sâu trung bình tính bằng ω/B .

Với 2 giả thiết đã nêu, có thể viết các phương trình sau:

+ Phương trình chuyển động :

¹ TS, Khoa Xây dựng Công trình thủy, Trường Đại học Xây dựng. E-mail: tranvansungdxd@yahoo.com.vn

$$-\frac{\partial Z}{\partial X} = \frac{Bv^2}{C^2\omega} \quad (1)$$

+ Phương trình liên tục:

$$Q = v \cdot \omega \quad (2)$$

+ Phương trình sức cản:

$$C = \frac{1}{n} \left(\frac{\omega}{B} \right)^{\frac{1}{6}} \quad (3)$$

+ Phương trình biến hình lòng sông:

$$\frac{\partial Q_s}{\partial X} + (1 - \varepsilon) \left(B \frac{\partial Z}{\partial t} - \frac{\partial \omega}{\partial t} \right) = 0 \quad (4)$$

+ Phương trình lưu lượng bùn cát:

$$Q_s = D_2 \frac{B^2 Q^6}{\omega^7} \quad (5)$$

$$D_2 = 40 \frac{K^2}{K^6_3} \left(\frac{\rho}{\rho_s - \rho} \right)^3 \left(\frac{W}{d \cdot g^3} \right) \quad (6)$$

Trong các phương trình trên: Z là cao trình mặt thoáng; B là bề rộng lòng sông; ω là diện tích mặt cắt ướt; Q là lưu lượng dòng chảy tính toán; n là hệ số nhám lòng dẫn; C là hệ số Sêdi và Q_s là lưu lượng bùn cát cho toàn dòng; v là vận tốc trung bình mặt cắt; K là hệ số; ε là hệ số rỗng của đất đáy; ρ là khối lượng riêng của nước; ρ_s là khối lượng riêng của bùn cát; W là độ thô thủy lực; d là đường kính hạt.

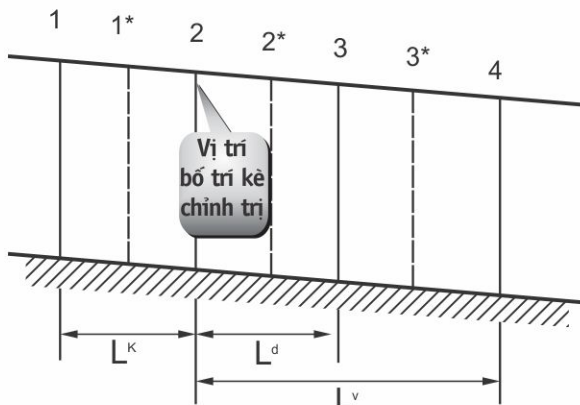
Các điều kiện biên và ban đầu như sau:

+ Điều kiện ban đầu để giải bài toán là: $Z = Z(x)$ tại thời điểm $t = 0$; $\omega = \omega(x)$ tại thời điểm $t = 0$

+ Điều kiện cho ở mặt cắt cuối của đoạn sông: $Z(L, t) = \text{const}$; $\omega(L, t) = \text{const}$

Để phân tích biến hình lòng dẫn gây ra bởi phần tử kè này chúng tôi xác định các vị trí tính toán như sau: Mặt cắt 1 tương ứng với vị trí cách điểm bố trí kè mở hàn một chiều dài kè về phía thượng lưu; Mặt cắt 1* tương ứng với vị trí cách điểm bố trí kè mở hàn một nửa chiều dài kè về phía thượng lưu; Mặt cắt 2 là nơi bố trí kè mở hàn; Mặt cắt 2* tương ứng với vị trí các điểm bố trí kè mở hàn một khoảng $L_d/2$ về phía hạ lưu; Mặt cắt 3 tương ứng vị trí mặt cắt co hẹp; Mặt cắt 3* tương ứng với vị trí cách điểm bố trí kè mở hàn một khoảng $L_d + (L_v - L_d)/2$ về phía hạ lưu; Và mặt cắt 4 tương ứng vị trí điểm giới hạn dưới của khu nước vật, nơi dòng chảy phân bố trở lại trên toàn mặt cắt sông;

Từ đó sơ đồ tính toán được thể hiện trên hình 1.



Hình 1. Sơ đồ tính toán



3. Phương pháp giải bài toán dự báo biến hình lòng dẫn

Để giải hệ các phương trình cơ bản trong Mô hình Hình thái cục bộ đã nêu, hệ phương trình trên có thể được biến đổi đưa về phương trình đặc trưng và có thể tích phân trực tiếp trong điều kiện mực nước dao động là nhỏ. Trong trường hợp mực nước dao động đáng kể nên dùng phương pháp sai phân hữu hạn. Dưới đây trình bày phương pháp thứ hai. Theo đó cần phải sai phân phương trình (4) như sau:

$$\Delta\omega = \omega\left(x + \frac{\Delta x}{2}, t + \Delta t\right) - \omega\left(x + \frac{\Delta x}{2}, t\right) = \frac{Q_s(x + \Delta x, t) - Q_s(x, t)}{(1 - \varepsilon)\Delta x} \Delta t \quad (7)$$

trong đó Δt và Δx được xác định theo tiêu chuẩn Coran.

Phương hướng giải phương trình này là: Xác định các phân đoạn tính toán theo sơ đồ ở hình 1; Tính lưu lượng bùn cát Q_s ở đầu thời đoạn cho mặt cắt đầu và mặt cắt cuối; Tính hiệu số Q_s ở hai đầu đoạn và tính $\Delta\omega$; Đưa $\Delta\omega$ vào mặt cắt cụ thể để tính diện tích mặt cắt ở cuối thời đoạn; Và chuyển sang tính toán cho thời đoạn khác.

Cụ thể các bước như sau:

Bước 1: Xác định các thông số đầu vào:

- $Q, J, \rho, \rho_s, d, W, \varepsilon$

- Mực nước tính toán tại các vị trí ở thời điểm ban đầu;

- Xác định các đặc trưng hình học gồm: $\omega_1, \omega_1^*, \omega_2, \omega_{2+10}, \omega_{2+20}, \omega_{2+30}, \omega_{2+40}, \dots, \omega_{2+200}, B_1, B_1^*, B_2, B_{2+10}, B_{2+20}, B_{2+30}, B_{2+40}, \dots, B_{2+200}$, để phục vụ cho việc nhận dạng giá trị tại mặt cắt tính toán

Bước 2: Tính các tham số trong khu nước vật

- $L_d, L_v, B_c, L_d, L_d/2, L_v/2$ và B_2^*, B_3^* (theo phương pháp xấp xỉ).

Bước 3: So sánh và chọn vị trí để xác định (B, ω) ứng với các khoảng cách đã tính ở bước 2 gồm:

- $L_K + \frac{L_v}{2}$; $L_K + L_d$; $L_K + L_d + \frac{L_v - L_d}{2}$; $L_K + L_v$ được chỉ ra trên hình 1

Bước 4: Tính độ sâu trung bình mặt cắt cho các mặt cắt tại các vị trí 1', 2', 2'', 3', 3'':

$$h_{tb,i} = \frac{\omega_i}{B_i} \quad (8)$$

Bước 5: Tính lưu lượng bùn cát tại các mặt cắt: 1, 2, 3, 4 theo công thức:

$$Q_s = D_2 \frac{Q^6 B^2}{\omega^7} \quad (9)$$

Bước 6: Tính các giá trị $\Delta\omega$ cho các trung đoạn

$$\Delta\omega_{1-2} = \frac{(Q_{s2,t} - Q_{s1,t})}{(1 - \varepsilon)L_K} \Delta t$$

$$\Delta\omega_{2-3} = \frac{(Q_{s3,t} - Q_{s2,t})}{(1 - \varepsilon)L_d} \Delta t \quad (10)$$

$$\Delta\omega_{3-4} = \frac{(Q_{s4,t} - Q_{s3,t})}{(1 - \varepsilon)(L_v - L_d)} \Delta t$$

Bước 7: Tính các giá trị $\omega_{\text{đạt được}}$ tại mốc $(t + \Delta t)$

- $\omega_1 = \text{const}$ nơi mà hệ thống kè đang duy trì cân bằng bùn cát.

$$-\omega_2^{t+\Delta t} = \omega_2^t + \frac{\Delta\omega_{1-2} + \Delta\omega_{2-3}}{2} \quad (11)$$

$$-\omega_3^{t+\Delta t} = \omega_3^t + \frac{\Delta\omega_{2-3} + \Delta\omega_{3-4}}{2}$$

- $\omega_4 = \cos nt$ Nơi mà kết cấu dòng chảy cục bộ không còn ảnh hưởng nhiều đến biến hình đáy sông phía hạ lưu

Bước 8: Tính độ sâu tại các mặt cắt thể hiện trên hình 1 ở thời điểm $t + \Delta t$ theo công thức chung.

$$-\bar{h}_i^{t+\Delta t} = \frac{\omega_i^{t+\Delta t}}{B_i}$$

$$-h_{1*}^{t+\Delta t} = h_{1*}^t + \frac{\Delta\omega_{12}}{B_{1*}} \quad h_{2*}^{t+\Delta t} = h_{2*}^t + \frac{\Delta\omega_{23}}{B_{2*}} \quad h_{3*}^{t+\Delta t} = h_{3*}^t + \frac{\Delta\omega_{34}}{B_{3*}}$$

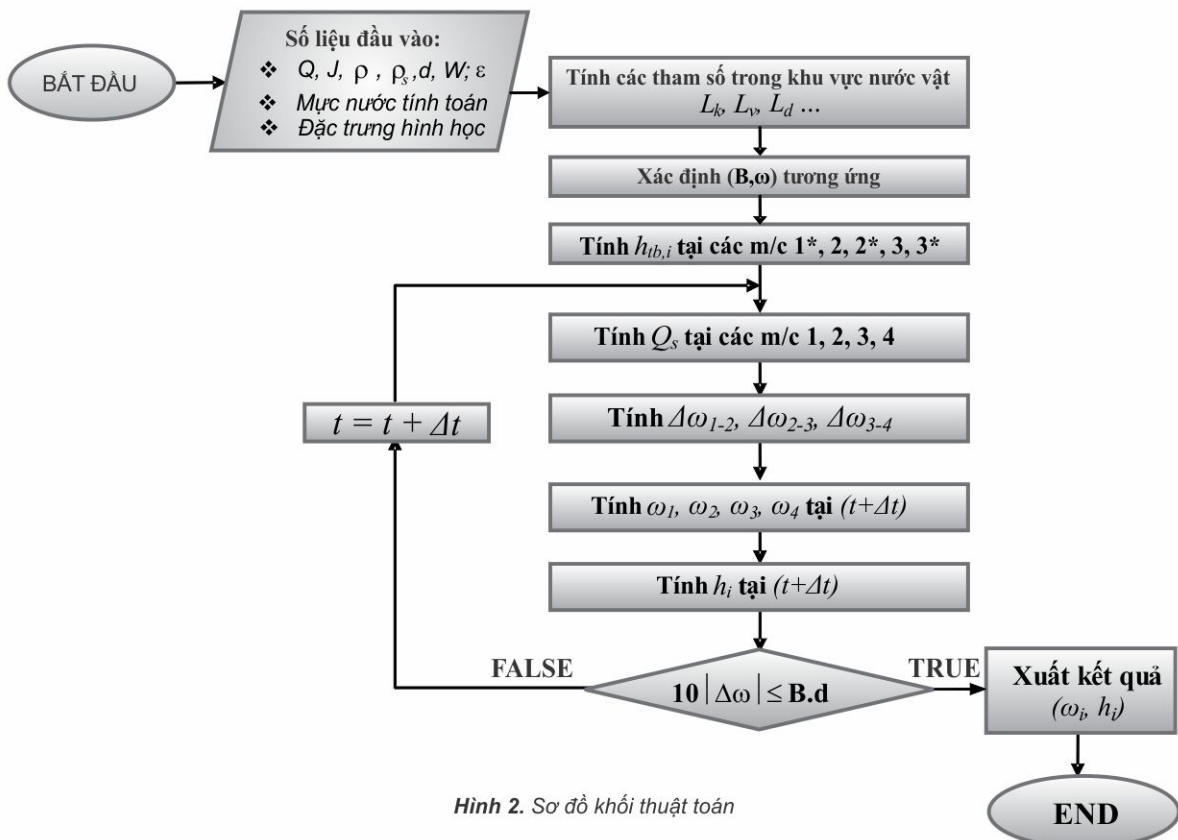
Bước 9: Để tính cho các bước tiếp theo ($t+2\Delta t$) ta đưa các giá trị ω mới trở lại bước 5

Bước 10: Trong khi lặp lại các mục từ bước 5 đến bước 8 giá trị $Q_s \neq 0$; còn Q có thể nhận giá trị dương, âm hoặc bằng 0; kiểm tra điều kiện dừng chương trình là $10|\Delta\omega| \leq B.d$ với điều kiện đó ta xuất ra kết quả cuối cùng

Bước 11: Xuất ra $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_1^*, \omega_2^*, \omega_3^*$; với các giá trị h cuối cùng.

Bước 12: Phân tích kết quả: Với các số liệu đã xuất có thể đánh giá được: Khoảng thời gian đáy sông đạt tới tiệm cận xói; Và thời điểm luồng tàu đạt độ sâu chạy tàu

Việc thực hiện các bước tính toán nói trên đã được tự động hóa và được xây dựng thành chương trình **KMH 2.0** theo sơ đồ khối sau:

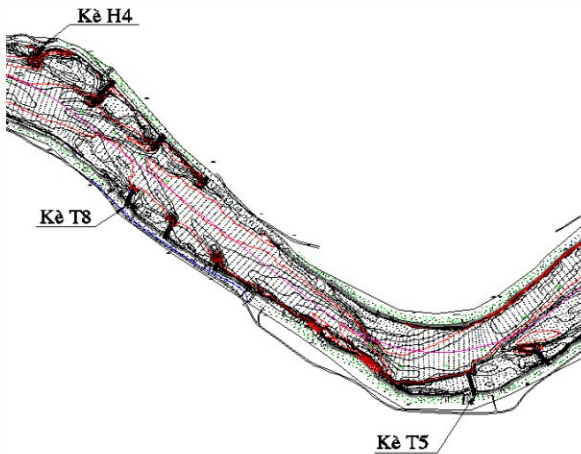


Hình 2. Sơ đồ khối thuật toán

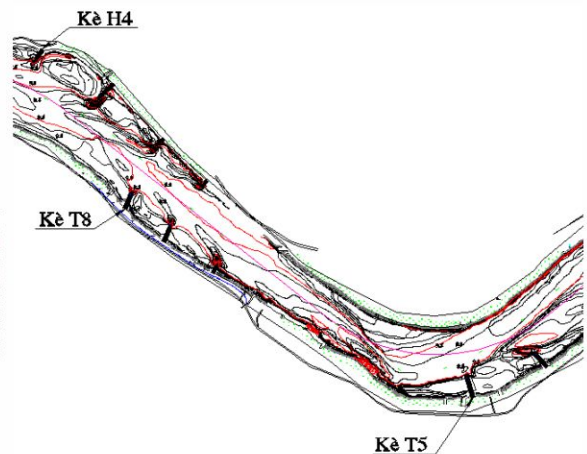


4. Áp dụng tính toán

Trong khuôn khổ nghiên cứu, chúng tôi đã áp dụng tính toán cho đoạn sông Lão Hoàng trên sông Lô, nơi đã được xây dựng các cụm kè chỉnh trị phục vụ vận tải thủy. Tài liệu cơ bản gồm có địa hình lòng dẫn sau khi xây dựng xong hệ thống công trình chỉnh trị tháng 5/2010 (hình 3), địa hình lòng dẫn sau mùa lũ tháng 8/2010 (hình 4), các tài liệu về thủy văn bùn cát được lấy theo dự án “Cải tạo nâng cấp tuyến vận tải thủy Việt Trì – Tuyên Quang”.



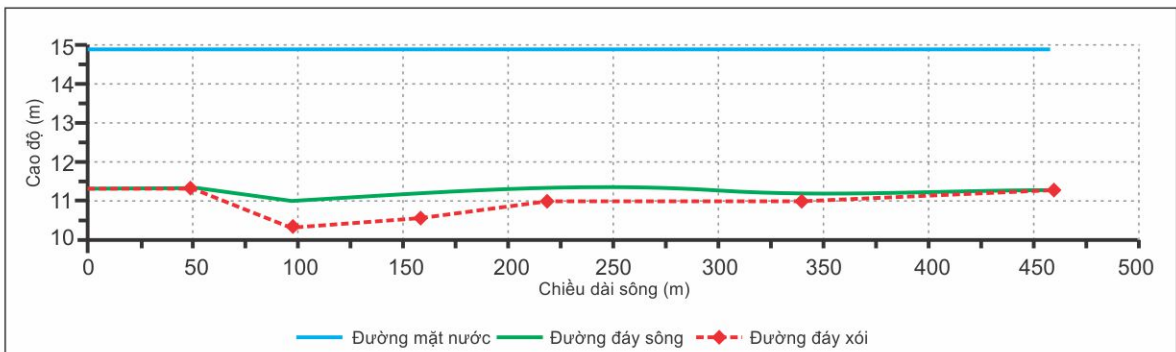
Hình 3. Bình đồ đo hoàn công 05/2010



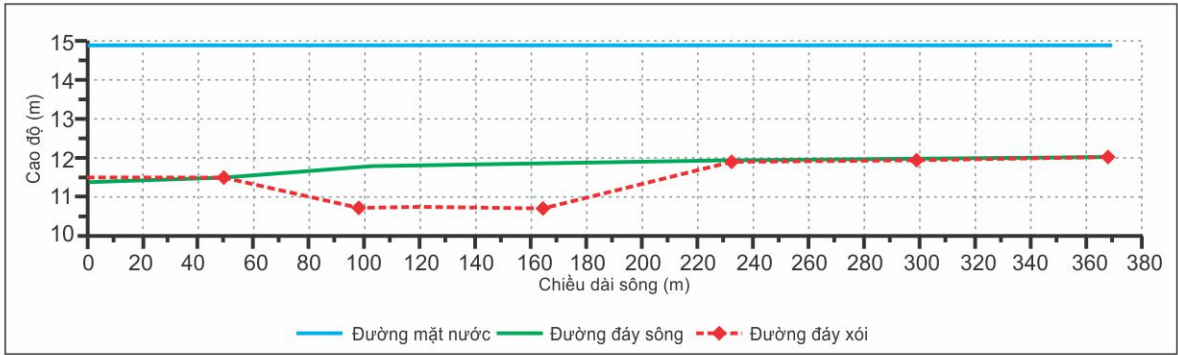
Hình 4. Bình đồ đo sau lũ 08/2010

Kết quả tính toán được tổng hợp trong bảng sau

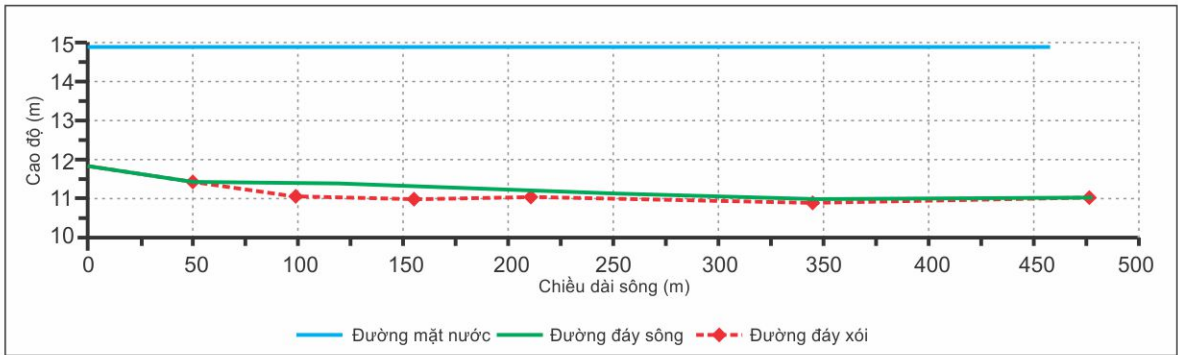
Tuyến kè	Vị trí mặt cắt	1	1*	2	2*	3	3*	4	% max
T5	$\Delta h_{ks}(m)$	0.000	0.000	0.668	0.732	0.312	0.278	0.000	17%
	$\Delta h_{tt}(m)$	0.000	0.000	0.625	0.690	0.265	0.231	0.000	
T8	$\Delta h_{ks}(m)$	0.000	0.000	1.107	1.296	0.090	0.083	0.000	16%
	$\Delta h_{tt}(m)$	0.000	0.000	1.069	1.260	0.078	0.070	0.000	
H4	$\Delta h_{ks}(m)$	0.000	0.000	0.411	0.452	0.143	0.142	0.000	15%
	$\Delta h_{tt}(m)$	0.000	0.000	0.366	0.407	0.122	0.120	0.000	



Hình 5. Biểu đồ biến hình xói lòng dẫn lân cận kè T5



Hình 6. Biểu đồ biến hình xói lòng dẫn lân cận kè T8



Hình 7. Biểu đồ biến hình xói lòng dẫn lân cận kè H4

Nhận xét kết quả: Biến hình lòng dẫn do các kè tạo ra đều có dạng hình phễu; Phạm vi xói, độ sâu xói phụ thuộc chủ yếu vào độ choán tương đối của kè so với lòng dẫn; Và giá trị tính toán dự báo so với giá trị đo đạc thực tế sai khác trong phạm vi từ 15% ÷ 17% tuy nhiên sai số tuyệt đối chỉ nằm trong phạm vi từ 1 ÷ 6cm, đây là giá trị có thể chấp nhận được vì đều nhỏ hơn sai số nạo vét cho phép.



5. Kết luận

- Việc tính toán dự báo tác động của kè hạ lưu trong cụm kè chỉnh trị sông nội địa đã được tự động hóa dưới dạng mô hình hình thái một chiều.
- Với chương trình đã xây dựng, có thể phân tích và dự báo biến đổi độ sâu trung bình của đoạn sông lân cận kè hạ lưu của cụm kè chỉnh trị trong sông nội địa.
- Mô đun này có thể được ghép nối với mô đun phân tích biến hình lòng dẫn trong phạm vi cụm kè để xây dựng phần mềm chuyên dụng phục vụ cho tính toán dự báo biến đổi độ sâu luồng vận tải thủy dưới tác động của hệ thống kè chỉnh trị.

Tài liệu tham khảo

1. Lương Phương Hậu (1992), *Động lực học dòng sông*, Hà Nội.
2. Bộ Giao thông vận tải (1998), *Tiêu chuẩn ngành 22 TCN 241-98: Công trình chỉnh trị luồng chạy tàu sông*, Hà Nội.
3. Van Rijn, L.C. (1985), *Mathematical Models for Sediment Concentration Profiles in Steady Flow*, Munich, Germany