

PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH CÁC HỆ SỐ THỰC NGHIỆM TRONG CÔNG THỨC LÝ THUYẾT TÍNH TOÁN CHIỀU SÂU XÓI CỤC BỘ TẠI TRỤ CẦU

ThS. ĐẶNG VIỆT DŨNG - Sở Giao thông vận tải Đà Nẵng
GS.TSKH. NGUYỄN XUÂN TRỰC - Trường Đại học Xây dựng
GS.TS. NGUYỄN THẾ HÙNG - Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng

Tóm tắt: Công thức lý thuyết, có dạng tổng quát, xác định chiều sâu xói cục bộ tại trụ cầu được xây dựng dựa trên nguyên tắc cân bằng năng lượng của dòng chảy xuống dọc trụ cầu với năng lượng đưa hạt vật liệu ra khỏi hố xói trụ cầu. Để có thể sử dụng được công thức này trong tính toán thiết kế dự báo chiều sâu xói dưới trụ cầu cần phải xác định được giá trị các thành phần có mặt trong công thức và đưa công thức về dạng tường minh. Bài báo trình bày phương pháp để xác định các tham số ảnh hưởng đến chiều sâu xói cục bộ tại trụ cầu dựa vào các nghiên cứu hiện nay về xói cục bộ trụ cầu, vận tốc dòng chảy trên sông và số liệu đo đạc chiều sâu xói cục bộ thực tế tại trụ cầu.

Abstract: Theoretical formula identifying local scour hole's depth at bridge piers is established based on the principle of balancing energy of axial flow of the piers and energy to move material particulates out of scour hole which is in general form. In order to use this formula in calculation to design and forecast scour depth at bridge piers, it is necessary to identify the value of elements in the formula and change this formula to explicit form. This paper presents methods to identify parameters which affect the depth of local scour holes at bridge piers, empirical coefficients based on current studies on local scour at bridge piers and river flow velocity, and measured data of actual local scour depth.

1. Đặt vấn đề:

Dựa trên phương pháp cân bằng năng lượng của dòng chảy xuống dọc thân trụ cầu với năng lượng đưa hạt vật liệu ra khỏi hố xói trụ cầu, công thức lý thuyết dự báo chiều sâu xói cục bộ tại trụ cầu được xây dựng có dạng tổng quát như sau [2]:

$$\frac{h_{cb\max}}{h_{cb\max} + y} = A \cdot \left(\frac{B}{d_{50}}\right)^l \cdot \left(\frac{y}{B}\right)^n \cdot \left[\frac{U_c^2}{2gB} \cdot \left(\frac{U_{\max}^2}{U_c^2} - 1\right)\right] \quad (1)$$

Trong đó: A - Hằng số thực nghiệm phụ thuộc vào đường kính hạt vật liệu; l, n - Số mũ

$U_{day} = U_c$ - Vận tốc khởi động của hạt vật liệu (m/s)

$\left(\frac{y}{B}\right)^n$ - Độ nồng dòng chảy; $\left(\frac{B}{d_{50}}\right)^l$ - Ảnh hưởng của kích thước hạt bùn cát đáy;

$\frac{U_{\max}}{U_c}$ - Cường độ dòng chảy; $Fr_c = \frac{U_c^2}{gB}$ - Số Froude tiêu chuẩn;

Công thức (1) là công thức lý thuyết để dự báo

chiều sâu xói cục bộ lớn nhất tại trụ cầu trong điều kiện trụ cầu hình trụ tròn, dòng chảy trên sông là dòng một chiều, ổn định và đều, vật liệu dưới đáy sông là hạt thô và đồng nhất. Công thức (1) là công thức không có thứ nguyên. Dựa trên mệnh đề của lý thuyết thứ nguyên cho rằng: để cho một phương trình mô tả trạng thái vật lý là đúng thì 2 vế của phương trình phải bằng nhau cả về trị số lẫn thứ nguyên. Vì (1) đã đúng về thứ nguyên nên cần phải tiếp tục xem xét về trị số. Sau đây trình bày phương pháp xác định giá trị các thành phần trong vế phải của công thức (1) và đưa công thức (1) từ dạng tổng quát về dạng tường minh để thuận lợi cho việc sử dụng trong thiết kế.

2. Xác định các thành phần trong công thức tính xói cục bộ tại trụ cầu:

2.1. Thành phần biểu diễn sự ảnh hưởng của độ nồng dòng chảy:

Thành phần độ nồng dòng chảy biểu diễn qua tỷ số $\left(\frac{y}{B}\right)^n$ hay hệ số K_y có ảnh hưởng rất quan trọng

đến sự phát triển của chiều sâu xói cục bộ. Ảnh hưởng của thành phần độ nồng dòng chảy đến chiều sâu xói cục bộ tại trụ trong công thức (1) được thể

hiện qua mối quan hệ giữa $\frac{h_{cb\max}}{h_{cb\max} + y}$ và $\left(\frac{y}{B}\right)^n$. Để

xác định được mối quan hệ này, chúng tôi đề xuất sử dụng các số liệu đo xói cục bộ thực tế tại trụ cầu trên các sông ở Liên Xô (cũ) [6] theo bảng 1.

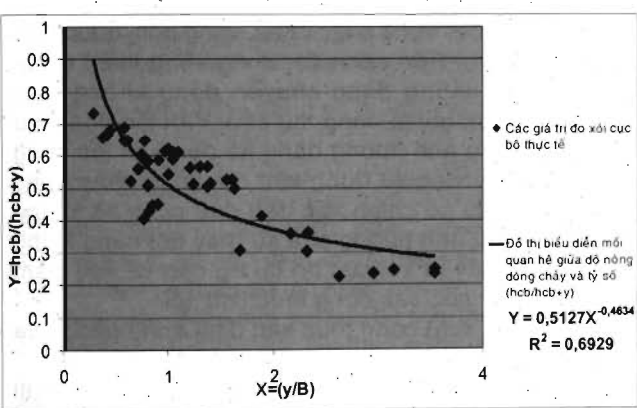
Bảng 1. Số liệu đo xói cục bộ thực tế tại trụ cầu trên các con sông ở Liên Xô

Điểm đo	Chiều sâu xói cục bộ (m)	Chiều sâu dòng chảy tới (m)	Bề rộng trụ (m)	Điểm đo	Chiều sâu xói cục bộ (m)	Chiều sâu dòng chảy tới (m)	Bề rộng trụ (m)	Điểm đo	Chiều sâu xói cục bộ (m)	Chiều sâu dòng chảy tới (m)	Bề rộng trụ (m)
	2,55	5,00	4,20	104	4,73	2,95	3,00	70	5,03	8,00	3,05
174	1,75	4,90	4,20	73	4,60	3,20	3,05	90	3,70	6,60	3,05
71	3,00	1,40	3,05	74	4,30	4,20	3,05	96	3,30	10,80	3,05
86	2,50	0,90	3,05	75	5,00	5,00	3,05	135	3,97	7,00	3,00
91	2,30	1,20	3,05	80	4,00	3,80	3,05	136	5,83	6,50	1,90
92	2,60	1,30	3,05	81	5,20	4,00	3,05	137	6,16	4,30	1,90
67	4,40	2,40	3,05	85	5,50	4,20	3,05	138	5,75	5,70	2,70
68	2,60	2,50	3,05	88	3,70	3,10	3,05	188	4,36	9,99	4,30
83	4,00	1,80	3,05	89	4,60	4,30	3,05	53	2,53	5,54	6,00
72	2,20	2,00	3,05	94	5,00	3,20	3,05	54	3,74	4,99	6,00
76	2,80	2,20	3,05	103	6,19	3,56	3,00	55	2,11	5,69	6,00
77	3,30	1,80	3,05	105	6,18	4,77	3,00	56	4,20	5,18	6,00
78	3,50	2,50	3,05	106	4,97	3,04	3,00	57	4,45	5,46	6,00
79	3,50	2,30	3,05	107	5,20	3,31	3,00	59	3,16	4,65	6,00
87	3,50	1,90	3,05	109	5,25	4,71	3,00	61	2,46	5,60	6,00
93	4,00	2,80	3,05	110	4,01	5,68	3,00	58	4,45	10,10	6,00
104	4,73	2,95	3,00	111	4,70	3,64	3,00	172	4,50	14,50	4,90
93	4,00	2,80	3,05	112	5,35	4,86	3,00	176	5,72	17,10	4,83

Từ số liệu tại bảng 1, sử dụng lý thuyết quy hoạch thực nghiệm và phần mềm Microsoft Office Excel 2003 tính được các giá trị của $\frac{h_{cbmax}}{h_{cbmax} + y}$ và $\frac{y}{B}$ đồng thời xây dựng được đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa

$\frac{h_{cbmax}}{h_{cbmax} + y}$ và $\frac{y}{B}$. Sử dụng Chart trên thanh công cụ để chuyển đổi mối quan hệ từ các điểm thực nghiệm rời rạc thành mối quan hệ dưới dạng hàm số. Lựa chọn mối quan hệ dưới dạng hàm số mũ để hệ số hồi qui R đạt giá trị cao nhất. Kết quả thể hiện trong đồ thị sau (xem Hình 1):

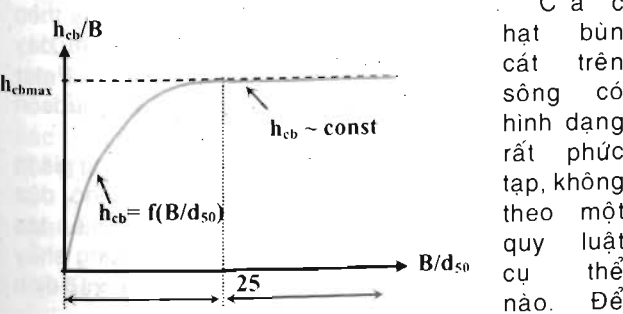
Từ đồ thị hình 1 có thể thấy rằng $\left(\frac{h_{cb}}{h_{cb} + y}\right)$ giảm khi $\left(\frac{y}{B}\right)$ tăng theo hàm mũ với giá trị của số mũ n luôn luôn âm. Từ kết quả đo đạc xói cục bộ tại trụ cầu với đường kính hạt vật liệu bùn cát đáy khác nhau và bằng phương pháp tính toán tương tự, đề nghị $n = -0,55$, tức là: $\left(\frac{h_{cbmax}}{h_{cbmax} + y}\right) \sim K_y = 0,45 \cdot \left(\frac{y}{B}\right)^{-0,55}$ (2)



Hình 1: Đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa $\left(\frac{y}{B}\right)$

và $\left(\frac{h_{cb}}{h_{cb} + y}\right)$

2.2. Thành phần biểu diễn sự ảnh hưởng của kích thước hạt bùn cát đáy:



Hình 2: Đồ thị biểu diễn ảnh của kích thước hạt bùn cát đáy tới chiều sâu xói [14]

của hạt cát, đường kính hạt, ký hiệu là d , được sử dụng. Theo cách phân loại của Liên Xô (cũ) [7], vật liệu có đường kính cỡ hạt $d < 0,2\text{mm}$ được xem là vật liệu hạt mịn có tính dính, vật liệu có cỡ hạt với $d > 0,2\text{mm}$ được xem là vật liệu hạt thô và không có tính dính. Ảnh hưởng của kích thước bùn cát đáy đến chiều sâu xói cục bộ quanh trụ cầu được biểu diễn

qua tỷ số $\left(\frac{B}{d_{50}}\right)^I$ hay hệ số K_d . Mặc dầu còn có tranh cãi nhưng đa số các nghiên cứu của các tác giả khác nhau đều cho rằng đối với vật liệu đồng nhất, khi $\frac{B}{d_{50}}$ nhỏ thì chiều sâu xói cục bộ tăng theo quan hệ logarit với $\frac{B}{d_{50}}$. Khi $\frac{B}{d_{50}}$ đạt đến giá trị nào đó, theo Ettema (1980) là 25, Chiew (1984) là 50, chiều sâu xói cục bộ không phụ thuộc vào $\frac{B}{d_{50}}$ (xem Hình 2). Căn cứ

vào các kết quả đo đạc thực nghiệm của Ettema (1980), Chiew (1984), Baker (1986) [10], trong bài báo này chúng tôi xác định thành phần ảnh hưởng của kích thước hạt bùn cát đáy đến chiều sâu xói cục bộ trong công thức (1) theo đề xuất của Melville và Sutherland (1988) [9] như sau:

- Với $\left(\frac{B}{d_{50}}\right) \leq 25$ thì $I = 0$, $K_d = 0,57 \log\left(2,24 \frac{B}{d_{50}}\right)$ (3)

- Với $\left(\frac{B}{d_{50}}\right) > 25$ thì $I = 0$, $K_d = 1$ (4)

2.3. Thành phần vận tốc khởi động hạt:

Xói bắt đầu xảy ra khi khả năng gây xói của dòng chảy vượt qua khả năng chống xói của các hạt bùn cát đáy tại điểm khởi động. Các chuyển động của hạt vật liệu tại thời điểm khởi động bao gồm: trượt, lăn hoặc nhảy cóc từng đoạn trên mặt đáy, thậm chí bị bứt hắt vào dòng chảy và được dòng chảy vận chuyển ra khỏi vị trí xói. Điều kiện làm cho các hạt bùn cát đáy bắt đầu khởi động cũng chính là điều kiện bắt đầu xói của lòng dẫn. Để xác định điều kiện bắt đầu xói của lòng dẫn, vận tốc khởi động U_c được sử dụng. Có nhiều phương pháp để xác định vận tốc khởi động của hạt vật liệu đáy như nghiên cứu của Fortier và Scobey (1926)[11], nghiên cứu của Hjulstrom (1935)[11], nghiên cứu của Yang(1973)[11] dựa trên lý thuyết của cơ học chất lỏng. Nhưng phương pháp được sử dụng phổ biến hiện nay là cân bằng các lực do dòng chảy gây ra tác động lên hạt vật liệu độc lập, trong lòng dẫn có đáy phẳng, nằm chìm trong dòng chảy chuyển động ổn định, một chiều. Các phương trình cân bằng bao gồm cân bằng trượt, cân bằng lăn. Từ các phương trình cân bằng này sẽ tìm ra đại lượng vận tốc tương ứng với điều kiện khởi động của hạt bùn cát dưới dạng tổng quát:

$U_c = C \cdot f(d^{m1} \cdot y^{m2})$ (5)

Trong đó:

C - Hằng số được xác định thông qua thực nghiệm, theo Hancu (1971), $C=4,82$, theo Laursen (1963), $C=6$, Neil (1968), $C=6,36$ [12];

m_1, m_2 - Là các số mũ xác định bằng thực nghiệm.

Do tính chất ngẫu nhiên của quá trình dịch chuyển của hạt bùn cát dưới lòng dẫn trầm tích nên (5) chủ yếu được xác định thông qua thực nghiệm. Có nhiều công thức thực nghiệm để xác định U_c như công thức của Yang (1973)[11], công thức Gôntrarôp (1962)[3], công thức Levi - Knoroz (1955)[3], nhưng chỉ có công thức Samôp (1956)[3] là có dạng gần với (5) và tương đối dễ sử dụng. Vì vậy trong bài báo này, chúng tôi đề xuất lựa chọn công thức của Samôp (1956) để đưa vào công thức xác định chiều sâu xói cục bộ. Công thức Samôp (1956) có dạng:

$$U_c = 4,6 \cdot d_{50}^{1/3} \cdot y^{1/6} \quad (6)$$

2.4. Thành phần biểu diễn sự ảnh hưởng của cường độ dòng chảy:

2.4.1. Hạn chế của thành phần vận tốc trung bình trong tham số cường độ dòng chảy:

Thành phần cường độ dòng chảy là tỷ số giữa giá trị độ lớn của vận tốc trung bình dòng chảy đến (U)

với vận tốc khởi động của hạt (U_{c0}) ký hiệu là $\frac{U}{U_c}$

dùng để mô tả trạng thái di chuyển bùn cát đáy của

dòng chảy. Thành phần U trong $\frac{U}{U_c}$ là vận tốc dòng

chảy trung bình trên toàn mặt cắt sau khi có xói chung hoặc vận tốc bình quân thủy trực tại trụ cầu trước khi có xói cục bộ, thường được xác định theo hai dạng công thức sau:

- Vận tốc dòng chảy trung bình trên toàn bộ mặt cắt sau khi có xói chung [5]:

$$U = \frac{Q_u}{\omega_{in}} = \frac{Q_u}{L_{in} y_{in}} \quad (7)$$

Trong đó: Q_u - Lưu lượng thiết kế (m^3/s);

ω_{in} - Diện tích thoát nước dưới cầu sau xói chung (m^2);

$L_{in} = L_c + B_{tru}$ - Chiều rộng dòng chảy dưới cầu sau khi xói chung (m);

L_c - Khẩu độ cầu (m);

B_{tru} - Bề rộng tổng các trụ (m);

$y_{in} = y_{tb} + h_{xc}$ - Chiều sâu trung bình của dòng chảy dưới cầu (m);

y_{tb} - Chiều sâu trung bình của dòng chảy theo lưu lượng thiết kế trước khi có xói chung (m);

h_{xc} - Chiều sâu xói chung trung bình (m);

- Vận tốc bình quân thủy trực tại trụ cầu trước khi xói cục bộ [5]:

$$U_{tr} = \frac{q_u}{y_{tr}} \quad (8)$$

Trong đó: q_u - Lưu lượng trên 1m bề rộng cầu tại thủy trực tính toán (m^3/sm) được xác định theo công thức:

$$q_{tr} = \bar{q} \left(\frac{y_{tr}}{y} \right)^{5/3} K \quad (9)$$

$\bar{q}$ - Chiều sâu trung bình và lưu lượng trung bình trên 1 m bề rộng của dòng chủ tại mặt cắt thủy trực

tính toán;

y_{tr} - Chiều sâu lớn nhất của dòng chảy tại thủy trực tính toán;

K - Được xác định theo công thức:

$$K = \frac{y^{-5/3} L_c}{\sum_{i=1}^n y_{tr}^{5/3} \Delta L} \quad (10)$$

Các giá trị vận tốc được xác định theo công thức (7), (8) đều được tính cho vận tốc của dòng chảy đều, ổn định, một chiều và phân bố của biểu đồ vận tốc theo chiều sâu dòng chảy có dạng hình chữ nhật với giá trị của vận tốc là không đổi từ đáy dòng chảy lên mặt nước. Các ảnh hưởng của xói chung, bãi bồi và công trình cầu đã được kể đến trong lưu lượng dòng chảy tính toán. Giá trị vận tốc tính theo (8) để xác định chiều sâu xói cục bộ có độ chính xác hơn công thức (7) do đã giảm được sai số trong phép bình quân. Theo thống kê hầu hết các công thức tính xói cục bộ tại trụ cầu hiện nay đều sử dụng vận tốc dòng chảy trung bình tới trụ (U).

Tuy nhiên thực tế cho thấy vận tốc dòng chảy đến trụ sẽ thay đổi theo chiều sâu, có giá trị nhỏ nhất ở khu vực sát đáy sông và có giá trị cực đại tại vị trí cách mặt nước ở khoảng 1/3 chiều sâu dòng chảy tới. Dựa vào lý thuyết lớp biên và các phân tích về cơ cấu hình thành xói cho thấy vận tốc dòng chảy thay đổi tại vị trí gặp trụ theo các vùng khác nhau, vùng phía trước, sau và hai bên trụ. Bên cạnh đó, trong sông thiên nhiên còn tồn tại những dòng chuyển động không theo phương chung gọi là dòng thứ cấp. Vận tốc dòng thứ cấp có những ảnh hưởng đáng kể đến vận tốc dòng chính. Vì vậy việc sử dụng vận tốc dòng chảy trung bình tới trụ dù có chính xác đến đâu cũng sẽ không mô tả đầy đủ ảnh hưởng của sự thay đổi năng lượng dòng chảy gây ra xói cục bộ tại trụ cầu và làm giảm độ chính xác của các công thức tính xói.

2.4.2. Đề xuất công thức xác định ảnh hưởng của cường độ dòng chảy theo lý thuyết lớp biên:

Từ lý thuyết chiều dài xáo lộn, Prandtl (1926)[13][14] đề xuất công thức xác định phân bố vận tốc dòng chảy một chiều trong kênh hở, thành nhám như sau:

$$\frac{U_y}{U_*} = 5,75 \lg \frac{y}{k_s} + 5,5 \quad (11)$$

Trong đó: U_y - Vận tốc dòng chảy tại điểm cách đáy một khoảng y theo phương thẳng đứng (m/s);

U_* - Vận tốc tiếp tại đáy sông (m/s);

k_s - Hệ số nhám tương đương (m), được lấy theo thực nghiệm phụ thuộc vào kích thước hạt vật liệu đáy sông. Theo Einstein (1950), $k_s = k_{65}$ theo Meyer - Peter và Muller (1948), $k_s = k_{90}$, theo Simons và Richardson (1966), $k_s = k_{85}$, theo Nikuradse, $k_s = k_{50}$.

Nhằm khắc phục những hạn chế khi sử dụng giá trị vận tốc dòng chảy trung bình để tính xói cục bộ, dựa vào nghiên cứu của Prandtl (1926)[13] và nhiều tác giả khác[15], [16] về sự phân bố vận tốc dòng chảy trên kênh hở, chúng tôi đề xuất công thức để xác định

thành phần $\frac{U_{\max}}{U_c}$ trong công thức (1) như sau:

$$\frac{U_{\max}}{U_c} = 5,75 \lg \frac{y}{d_{50}} + 5,5 \quad (12)$$

Trong đó: $U_{\max}$ - Vận tốc dòng chảy lớn nhất tại điểm trên bề mặt sông (m/s);

y - Chiều sâu dòng chảy tại điểm dự kiến bố trí trụ có kể đến ảnh hưởng của xói chung (m);

U_c - Vận tốc khởi động hạt (m/s);

d_{50} - Đường kính hạt vật liệu trung bình tại lớp vật liệu dưới đáy hố xói tính toán (m);

Về mặt lý thuyết, sử dụng công thức (12) sẽ khắc phục được một phần sự thiếu chính xác trong các công thức tính xói cục bộ vì không cần phải xác định vận tốc dòng chảy trung bình. Việc thay thế vận tốc khởi động hạt U_c cho vận tốc tiếp đáy U sẽ tăng tính an toàn cho công thức tính xói do đã kể đến điều kiện bất lợi nhất. Việc xác định $k_s = d_{50}$ vì cho rằng vật liệu bùn cát đáy là đồng nhất, đồng thời nghiên cứu của Nicollet và Ramette (1971) cũng đã chỉ ra rằng chiều sâu xói cục bộ trong bùn cát không đồng nhất nhỏ hơn so với bùn cát đồng nhất.

Về mặt ứng dụng, sử dụng công thức (12) sẽ có một số thuận lợi vì giảm được số liệu đầu vào phải khảo sát, công thức tính toán đơn giản.

2.5. Xác định giá trị của hằng số thực nghiệm:

Để tiện theo dõi, chúng ta sẽ viết lại (1) sau khi đã kể đến kết quả phân tích từ (2.1) đến (2.4) như sau:

$$\frac{h_{\max}}{h_{\max} + y} = A \left(\frac{B}{d_{50}} \right)^{0,45} \left(\frac{y}{B} \right)^{-0,55} \left[\frac{4,6 \cdot (d_{50}^{1/3} \cdot y^{1/6})^2}{2gB} \left[\left(5,75 \cdot \lg \left(\frac{y}{d_{50}} \right) + 5,5 \right)^2 - 1 \right] \right] \quad (13)$$

Để xác định được hằng số thực nghiệm A chúng ta sẽ sử dụng các số liệu đo đạc chiều sâu xói cục bộ tại phòng thí nghiệm của Subhasish Dey và cộng sự (1992)[17] cho một loại vật liệu có đường kính là $d_{50} = 0,26\text{mm}$ làm ví dụ tính toán. Bằng phương pháp tính toán tương tự sẽ xác định được hằng số A theo từng loại vật liệu có đường kính khác nhau.

Số liệu đo chiều sâu xói cục bộ của Subhasish Dey và cộng sự (1992) được lấy theo bảng 2 như sau:

Bảng 2. Số liệu đo xói của Subhasish Dey và cộng sự (1992)

STT	Ký hiệu thí nghiệm	Chiều sâu dòng chảy tới y (m)	Đường kính trụ cầu B (m)	Đường kính hạt vật liệu đáy d_{50} (mm)	Vận tốc dòng chảy tới trung bình U (m/s)	Chiều sâu xói cục bộ tại trụ h_{cb} (m)	Vận tốc tiếp tới U _c (m/s)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	D1	0,050	0,076	0,26	0,232	0,093	0,013
2	D2	0,050	0,065	0,26	0,232	0,084	0,013
3	D3	0,050	0,057	0,26	0,232	0,076	0,013
4	D4	0,041	0,076	0,26	0,205	0,070	0,012
5	D5	0,041	0,065	0,26	0,205	0,063	0,012
6	D6	0,041	0,057	0,26	0,205	0,056	0,012
7	D8	0,035	0,065	0,26	0,172	0,056	0,010
8	D9	0,035	0,057	0,26	0,172	0,052	0,010

Để xác định giá trị của A chúng ta sẽ sử dụng bảng tính Excel 2003 theo trình tự như sau:

- Nhập số liệu đầu vào bao gồm các số liệu trong các cột (1), (2), (3), (4), (5), (7) của bảng 3.2 vào các cột (1), (2), (3), (4), (5), (6) của bảng Excel.

- Đổi đơn vị đo của đường kính hạt vật liệu ra (m) đưa vào cột (7).

- Tính giá trị $\frac{B}{d_{50}}$ đưa vào cột (8) nếu $\frac{B}{d_{50}} \leq 25$ thì

tính giá trị của $\frac{B}{d_{50}}$ theo công thức (3) và đưa vào cột

(9), nếu $\frac{B}{d_{50}} > 25$ thì cho $\frac{B}{d_{50}} = 1$ và đưa vào cột (9).

- Tính giá trị của $\frac{y}{B}$ theo công thức (2) đưa vào cột (10).

- Tính giá trị của U_c theo (6) đưa vào cột (11) và thành phần $\frac{U_c^2}{2gB}$ trong công thức (1) đưa vào cột (12).

- Tính giá trị của $\frac{U_{\max}}{U_c}$ theo công thức (12) đưa

vào cột (13) và thành phần $\left(\frac{U_{\max}}{U_c} \right)^2 - 1$ trong công

thức (1) đưa vào cột (14).

- Nhân giá trị của các cột (9).(10).(12).(14).và đưa vào cột (15).

- Tính giá trị của $\frac{h_{cb}}{h_{cb} + y}$ đưa vào cột (16)

- Xác định tỷ số giữa cột (16) và cột (15) và kết quả được ghi vào cột (17)

- Giá trị của A được xác định thông qua trị số trung bình của 8 trị số ghi trong cột (17)

- Kết quả tính toán thể hiện qua bảng 3 như sau:

Bảng 3. Kết quả tính toán giá trị của hằng số A

ST T	Số hiệu thí nghiệm	Chiều sâu xói (m)	Chiều sâu dòng chảy (m)	Bề rộng trụ (m)	Đường kính hạt (mm)	Kết quả tính toán											
						7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
1	D1	0,093	0,05	0,076	0,26	0,00026	292,3	1	0,567	0,178	0,021	18,633	346,188	4,177	0,650	0,156	
2	D2	0,084	0,05	0,065	0,26	0,00026	250,0	1	0,520	0,178	0,025	18,633	346,188	4,481	0,627	0,140	
3	D3	0,076	0,05	0,057	0,26	0,00026	219,2	1	0,484	0,178	0,028	18,633	346,188	4,754	0,603	0,127	
4	D4	0,07	0,041	0,076	0,26	0,00026	292,3	1	0,632	0,172	0,020	18,137	327,966	4,131	0,631	0,153	
5	D5	0,063	0,041	0,065	0,26	0,00026	250,0	1	0,580	0,172	0,023	18,137	327,966	4,432	0,606	0,137	
6	D6	0,056	0,041	0,057	0,26	0,00026	219,2	1	0,539	0,172	0,027	18,137	327,966	4,702	0,577	0,123	
7	D8	0,056	0,035	0,065	0,26	0,00026	250,0	1	0,633	0,168	0,022	17,742	313,789	4,388	0,615	0,140	
8	D9	0,052	0,035	0,057	0,26	0,00026	219,2	1	0,588	0,168	0,025	17,742	313,789	4,655	0,598	0,128	
Hằng số A																	
0,138																	

Kết quả các giá trị tại cột (17) cho thấy mặc dù các mẫu thí nghiệm có giá trị khác nhau về chiều sâu dòng chảy tới, bề rộng đường kính trụ nhưng chênh lệch giữa giá trị nhỏ nhất và giá trị trung bình là 10,8%, giữa giá trị lớn nhất với giá trị trung bình là 13%. Đây là kết quả chấp nhận được.

Bảng 4. Hằng số thực nghiệm A

Loại vật liệu đáy	Cỡ hạt	Đường kính hạt (mm)	Hằng số thực nghiệm A (K_A)
Cát	nhỏ	0,05 - 0,25	0,7
	vừa	0,25 - 1,00	0,1
	lớn	1,00 - 2,50	0,08
Sỏi	nhỏ	2,50 - 5,0	0,05
	vừa	5,0 - 10	0,035
	lớn	10 - 15	0,025
Cuội	nhỏ	15 - 25	0,025
	vừa	25 - 40	0,025
	lớn	40 - 75	0,015

Bằng phương pháp tính toán tương tự, sử dụng rộng rãi các số liệu thu thập được từ việc đo đạc chiều sâu xói cục bộ tại trụ cầu trên các con sông của Mỹ [18] các số liệu thực nghiệm (17), các số liệu đo đạc trên các con sông của Nga [6], giá trị hằng số thực nghiệm A được xác định

cho từng nhóm cỡ hạt khác nhau theo phương pháp phân loại bùn cát của Liên Xô (cũ). Tổng hợp kết quả tính toán được trình bày trong bảng 4.

Như vậy các thành phần trong công thức (1) đã được xác định đầy đủ và có thể sử dụng để tính toán. Tuy nhiên do công thức tổng quát (1) chỉ xét cho điều kiện trụ cầu có dạng trụ tròn nên chưa kể đến ảnh hưởng của sức cản hình dạng của trụ. Vì vậy cần bổ sung tham số ảnh hưởng của sức cản hình dạng trụ đến chiều sâu xói cục bộ vào công thức (1).

2.6. Thành phần biểu diễn sự ảnh hưởng của sức cản hình dạng của trụ để nghị bổ sung vào công thức tính xói:

Khi bố trí trụ trên sông, trụ sẽ cản dòng chảy tới. Mức độ cản dòng chảy tới của trụ tùy thuộc vào cao độ của hệ trụ so với đáy sông và bề mặt dòng chảy, phụ thuộc vào hình dạng của các bộ phận thuộc hệ trụ bố trí ngập trong nước, phụ thuộc vào hướng dòng chảy tới các bộ phận này. Mức độ cản dòng chảy tới của trụ ảnh hưởng đến chiều sâu xói tại trụ được gọi là sức cản hình dạng. Ảnh hưởng của sức cản hình dạng (K_c) đến chiều sâu xói cục bộ bao gồm các hệ số ảnh hưởng của hình dạng mũi trụ (K_s), hệ số ảnh hưởng của hướng dòng chảy đến trụ (K_θ), hệ số đồng đều của kích thước thân trụ (K_p), hệ số ảnh hưởng của cao độ hệ trụ (B_e), và hình thức bố trí trụ trong nhóm (K_{gr}) và được xác định theo công thức chung:

$$K_c = K_s \cdot K_\theta \cdot K_p \cdot K_{gr} \quad (14)$$

Các hệ số K_s , K_θ , K_p , K_{gr} , [9] được tổng hợp trong bảng 5 dưới đây.

Bảng 5. Các hệ số ảnh hưởng của sức cản hình dạng đến tính toán chiều sâu xói cục bộ tại trụ cầu

Tham số đặc trưng	Giá trị		Hệ số	Phương pháp tính			
Hình dạng trụ	Hình dạng		K_s	Giá trị			
	Tròn			1.0			
	Chữ nhật			0.99-1.22			
	Chữ nhật mũi bán nguyệt			0.9			
	Chữ nhật với mũi nhọn			0.65-0.76			
	Mũi chữ nhật và đuôi nhọn			0.86			
	Elip			0.6-0.8			
Hột đậu		0.7-0.8					
Nhóm trụ		1.0					
Sự đồng đều của kích thước thân trụ	Thân trụ biến đổi đều		K_p	Giá trị?			
	Kích thước đều			1.0			
	Trên to dưới nhỏ			1.2			
	Trên nhỏ dưới to			0.76			
	Thân trụ biến đổi không đều		B_e	Giá trị			
	Trường hợp I			B			
	Trường hợp II			$B \left(\frac{y + \gamma}{y + B'} \right) + B' \left(\frac{B' - \gamma}{B' + \gamma} \right) \quad \gamma \leq B', -\gamma \leq y$			
Trường hợp III		B^*					
Trường hợp IV		B^*					
Hình thức bố trí nhóm cọc hình trụ	Kiểu	a/b	K_{gr}	$\theta < 5^\circ$	$\theta = 5^\circ$?	45°	$\theta = 90^\circ$
		2		1.12	1.40	0.20	
		4		1.12	1.20	1.10	
		6		1.07	1.16	1.08	
		8		1.04	1.12	1.02	
	Hàng đơn	10		1.00	1.00	1.00	
		2		1.50	1.80	-	
		4		1.35	1.50	-	
		Hàng đôi					
Hướng dòng chảy đến trụ	Trụ không tròn		K_θ	$K_\theta = \left(\frac{L}{B} \sin \theta + \cos \theta \right)^{0.62}$			
	Trụ tròn			$K_\theta = 1.0$			

Như vậy, để xét đến điều kiện trụ cầu không có dạng trụ tròn, ảnh hưởng của sức cản hình dạng K_c đến chiều sâu xói cục bộ xác định theo (14) cần đưa được vào công thức (13) và (13) được viết lại như sau:

$$h_{cbmax} = A \cdot K_c \cdot \left(\frac{B}{d_w} \right)^{0.45} \cdot 0.45 \cdot \left(\frac{y}{B} \right)^{0.55} \cdot \left\{ \frac{4.6 \cdot \left(\frac{y}{d_w} \right)^{0.55}}{2gB} \left[\left(5.75 \cdot \log \left[\frac{y}{d_w} \right] + 5.5 \right)^{-1} - 1 \right] \right\} \quad (15)$$

Thay thế hằng số thực nghiệm A bằng hệ số K_A , sự ảnh hưởng của kích thước hạt bùn cát đáy bằng hệ số K_d , độ nông dòng chảy bằng hệ số K_y vào công thức (15), công thức để tính toán chiều sâu xói cục bộ lớn nhất tại trụ cầu có dạng như sau:

$$\frac{h_{cbmax}}{h_{cbmax} + y} = K_A \cdot K_d \cdot K_y \cdot K_c \cdot \left\{ \frac{U_c^2}{2gB} \left(\frac{U_{max}^2}{U_c^2} - 1 \right) \right\} \quad (16)$$

Trong đó: h_{cbmax} - Chiều sâu xói cục bộ lớn nhất tại trụ cầu (m);

y - Chiều sâu dòng chảy tại vị trí dự kiến bố trí trụ có kể đến ảnh hưởng của xói chung (m);

B - Bề rộng hay đường kính trụ (m);

K_A - Hệ số thực nghiệm phụ thuộc vào đường kính hạt vật liệu lấy theo bảng 3;

K_d - Hệ số kể đến ảnh hưởng của kích thước hạt vật liệu đáy xác định theo công thức (3) và (4);

K_y - Hệ số kể đến ảnh hưởng của độ nông dòng chảy xác định theo công thức (2);

K_c - Hệ số kể đến ảnh hưởng của sức cản hình dạng của trụ được lấy theo bảng 5 và công thức (14);

U_c - Vận tốc khởi động của hạt vật liệu (m/s) xác định theo công thức (6);

$\frac{U_{max}}{U_c}$ - Cường độ dòng chảy xác định theo công

thức (12);

Như vậy chúng ta đã xây dựng được công thức dự báo chiều sâu xói trụ cầu dưới dạng tường minh. Công thức (16) là công thức bán thực nghiệm, được xây dựng trên cơ sở phân tích lý thuyết về phân bố vận tốc dòng chảy một chiều trên sông thiên nhiên, sự biến đổi của các thành phần dòng chảy quanh trụ cầu, cơ cấu gây xói và sự hình thành và phát triển của hố xói và kết quả phân tích số liệu đo xói thực tế.

3. Kết luận

Việc xác định ở dạng tường minh các hệ số trong công thức tính xói cục bộ trụ cầu đã được chúng tôi thiết lập theo lý thuyết [2], bằng cách dựa vào nhiều số liệu thực nghiệm, cho phép tăng độ tin cậy của việc xác định các hệ số này; mặt khác việc đề xuất sử dụng quan hệ (12) trong tính toán độ sâu xói cục bộ cho phép tránh việc sử dụng vận tốc U_{max} trong tính toán, do đó sẽ tránh được sai số lớn khi xác định không chính xác giá trị này, đặc biệt ở các mặt cắt lòng dẫn trước cầu phức tạp, không đối xứng, có bãi...

Hiện tượng xói cục bộ tại trụ cầu rất phức tạp, không những liên quan đến hình dạng trụ, địa chất lòng dẫn, nồng độ bùn cát dòng chảy, độ sâu dòng chảy trước trụ cầu, mà còn ảnh hưởng bởi trường vận tốc thật của dòng chảy đã phân bố lại trước trụ cầu, hướng của nó so với trụ cầu... mặt khác, các số liệu đo đạc thu thập được cần phải đủ nhiều để đáp ứng các yêu cầu của thống kê toán học.

Do đó, việc xác định các thông số trong công thức tính xói cần được tiếp tục nghiên cứu, hoàn chỉnh □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Nguyễn Cảnh Cẩm, Vũ Văn Tảo (2007). *Thủy lực*. NXB Xây dựng. Hà Nội, tập 1.

[2]. Đặng Việt Dũng, Nguyễn Xuân Trúc, Nguyễn Thế Hùng (2011) "*Sử dụng phương pháp cân bằng*

(Xem tiếp trang 62)