

# Phân tích xác định độ sâu phân giới của kênh hở có mặt cắt ngang hình thang cân

Creating new critical depth formula of trapezoidal open channel

Nguyễn Minh Ngọc

## Tóm tắt

Độ sâu phân giới của dòng chảy có vai trò quan trọng việc vẽ đường mặt nước, xác định hiện tượng nước nhảy và phân loại trạng thái dòng chảy. Hiện tại, có nhiều công thức tính độ sâu phân giới của kênh hình thang cân, nhưng hầu hết các công thức khi cho hệ số mái dốc kênh tiến gần đến không thì công thức không còn đúng hoặc sai số tính toán khá lớn.

Bài nghiên cứu này đã phân tích mối quan hệ giữa tỷ lệ mặt cắt của kênh hình thang và kênh chữ nhật, từ đó xây dựng công thức tính độ sâu phân giới của kênh hình thang. Công thức áp dụng cho cả tính kênh chữ nhật và các kênh hình thang, có kết quả tính toán ổn định và sai số nhỏ hơn 1,96%.

**Từ khóa:** Kênh hình thang cân, kênh chữ nhật, độ sâu phân giới, năng lượng đơn vị mặt cắt

## Abstract

The flow's depth of demarcation is critical in drawing the water surface, determining the phenomenon of jumping, and classifying the flow state. There are many formulas for calculating the depth of separation of an isosceles trapezoidal channel, but most of them are incorrect or have a large calculation error when the channel slope coefficient approaches zero.

This study investigated the relationship between the cross-sectional ratio of the trapezoidal channel and the rectangular channel, resulting in the development of a formula for calculating the depth of separation of the trapezoidal channel. The formula is applicable to both rectangular and trapezoidal channels, with stable calculation results and an error of less than 1.96 percent.

**Key words:** Trapezoidal channel, rectangular channel, critical depth, specific energy.

NCS. Nguyễn Minh Ngọc

Bộ môn Cấp Nước, Khoa KHTH & MT Đô thị  
Trường ĐH Kiến Trúc Hà Nội  
ĐT: 0396050595  
Email: ngocnm@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 08/8/2019  
Ngày sửa bài: 19/3/2020  
Ngày duyệt đăng: 15/7/2021

## 1. Mở đầu

Độ sâu phân giới ( $h_k$ ) của kênh hở hình thang cân được xác định dựa trên đặc điểm biến đổi năng lượng đơn vị mặt cắt của dòng chảy, độ sâu phân giới là độ sâu dòng chảy tại vị trí có năng lượng đơn vị nhỏ nhất ( $e_{\min}$ ), khi độ sâu dòng chảy lớn hơn độ sâu phân giới sẽ có trạng thái chảy êm và nếu độ sâu dòng chảy nhỏ hơn độ sâu phân giới sẽ có trạng thái chảy xiết[4][7][8].

Trên cùng một mặt cắt ướt, mối quan hệ giữa độ sâu dòng chảy và năng lượng đơn vị mặt cắt là một đường cong có cực tiểu tại vị trí độ sâu phân giới (hình 1), với các lưu lượng khác nhau thì các điểm tọa độ của độ sâu phân giới ( $h_k$ ,  $e_{\min}$ ) sẽ nối thành đường thẳng đi qua gốc tọa độ[7], như vậy, quan hệ giữa các yếu tố thủy lực với độ sâu phân giới sẽ hình thành các quy luật tuyến tính và áp dụng được các quy luật này để xác định các công thức tính độ sâu phân giới cho từng loại kênh hở khác nhau.

Phương trình xác định năng lượng đơn vị mặt cắt:

$$e = h + \frac{\alpha Q^2}{2gA^2} \quad (1)$$

Tại độ sâu phân giới[2][7][8]:

$$\frac{\alpha V^2}{2g} = \frac{A_k}{T_k} \quad (2)$$

Trong đó:

$e$ : Năng lượng đơn vị mặt cắt (m)

$Q$ : Lưu lượng dòng chảy ( $m^3/s$ )

$\alpha$ : Hệ số sửa chữa động năng

$V$ : Lưu tốc trung bình dòng chảy (m/s)

$A_k$ : Diện tích mặt cắt ướt ứng với độ sâu phân giới ( $m^2$ )

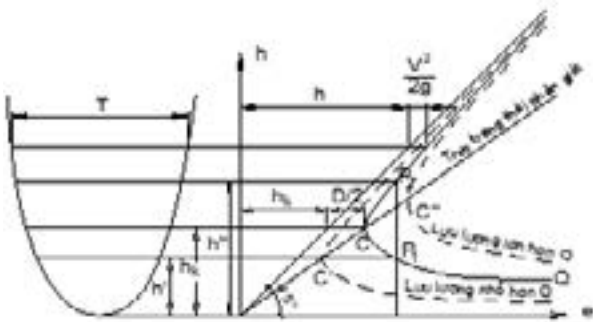
$T_k$ : Chiều rộng mặt nước ứng với độ sâu phân giới (m)

Khi tính toán độ sâu phân giới ( $h_k$ ) thì chỉ có kênh chữ nhật là xây dựng được công thức bằng phân tích lý thuyết [7][8], còn các loại kênh khác đều sử dụng công thức thực nghiệm hoặc tính thử dần từ công thức tổng quát (2). Quá trình tính thử dần thường phải sử dụng các thuật toán phức tạp, hoặc mất nhiều thời gian dò tìm nghiệm. Do vậy các công thức bán thực nghiệm ra đời giúp cho việc tính toán nhanh hơn nhưng vẫn đảm bảo kết quả tính nằm trong sai số cho phép.

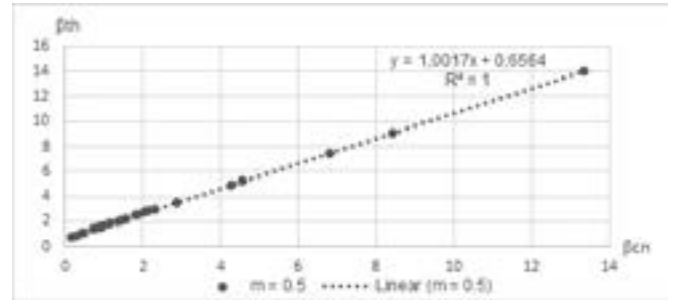
Công thức (2) là công thức cơ bản tính độ sâu phân giới cho kênh mặt cắt bất kỳ. Tùy theo các dạng mặt cắt kênh mà các công thức được phân tích tính toán cho các trường hợp riêng. Trong phạm vi nghiên cứu ở đây, tác giả nghiên cứu về kênh mặt cắt ngang hình thang cân và trường hợp riêng của là kênh chữ nhật ( $m = 0$ ).

Đối với kênh mặt cắt chữ nhật, độ sâu phân giới được xác định theo công thức phân tích lý thuyết [1][2][3][4][6][7][8]:

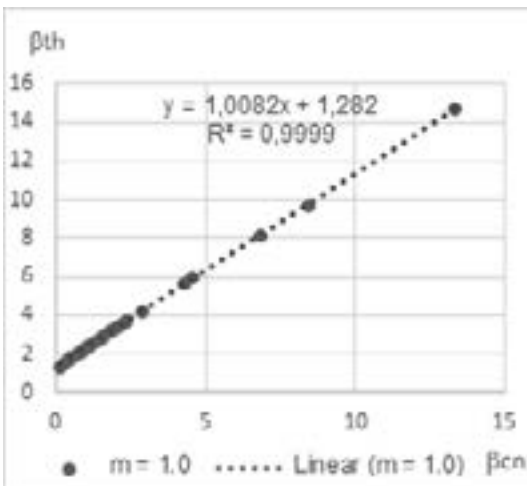
$$h_{cn} = 3 \sqrt{\frac{\alpha Q^2}{gb^2}} \quad (3)$$



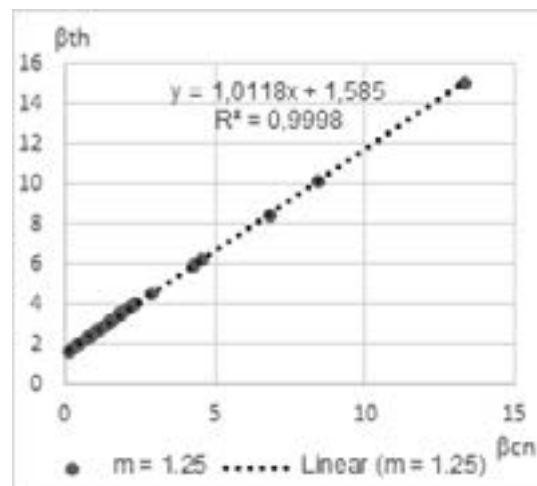
Hình 1. Biểu đồ năng lượng mặt cắt đơn vị [7]



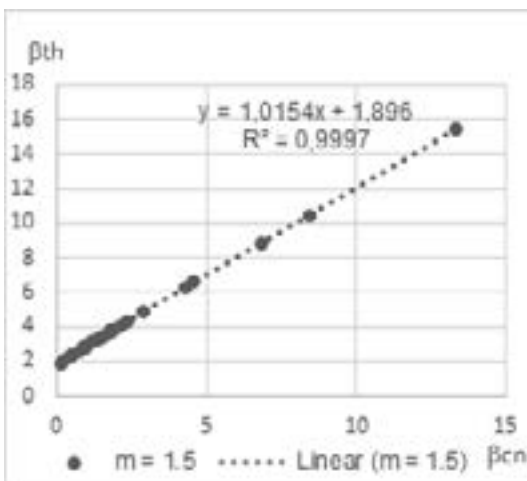
Hình 2. Biểu đồ mối quan hệ giữa  $\beta_{th} \sim \beta_{cn}$  theo hệ số mái dốc  $m = 0,5$



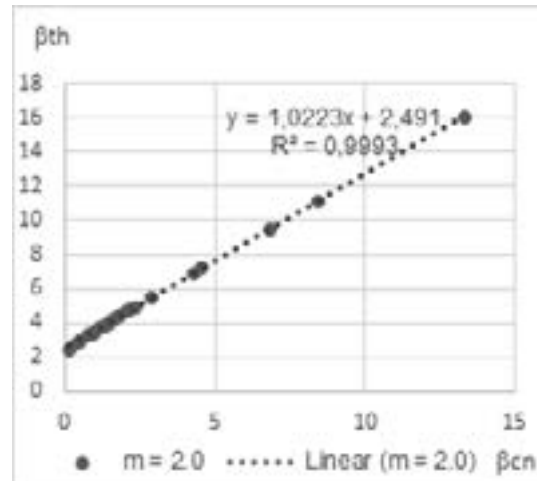
Hình 3. Biểu đồ mối quan hệ giữa  $\beta_{th} \sim \beta_{cn}$  theo hệ số mái dốc  $m = 1,0$



Hình 4. Biểu đồ mối quan hệ giữa  $\beta_{th} \sim \beta_{cn}$  theo hệ số mái dốc  $m = 1,25$



Hình 5. Biểu đồ mối quan hệ giữa  $\beta_{th} \sim \beta_{cn}$  theo hệ số mái dốc  $m = 1,5$



Hình 6. Biểu đồ mối quan hệ giữa  $\beta_{th} \sim \beta_{cn}$  theo hệ số mái dốc  $m = 2,0$

$$\Rightarrow h_{cn} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}}$$

(4)

Trong đó:

$q$ : Lưu lượng đơn vị mặt cắt ( $m^3/s.m$ )

$$q = \frac{Q}{b}$$

$h_{cn}$ : Độ sâu giới của kênh mặt cắt chữ nhật (m)

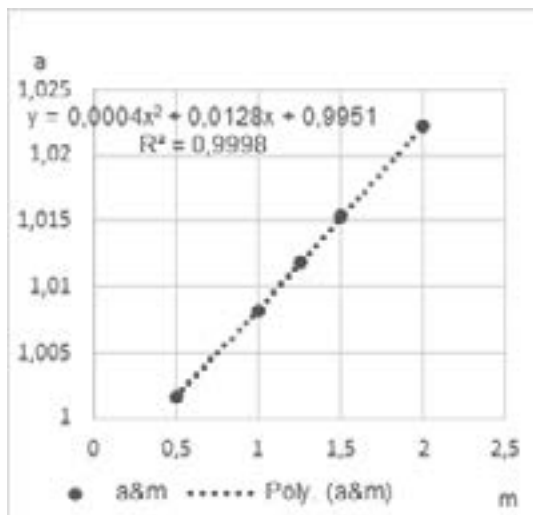
$b$ : Chiều rộng đáy kênh (m)

Đối với kênh hình thang cân độ sâu phân giới nếu giải theo giải tích của phương trình cơ bản (2) thì sẽ phải giải một phương trình bậc 6, khi đó phải tính thử dần nghiệm tương đối phức tạp, nên độ sâu phân giới được các tác giả đề xuất các công thức gần đúng:

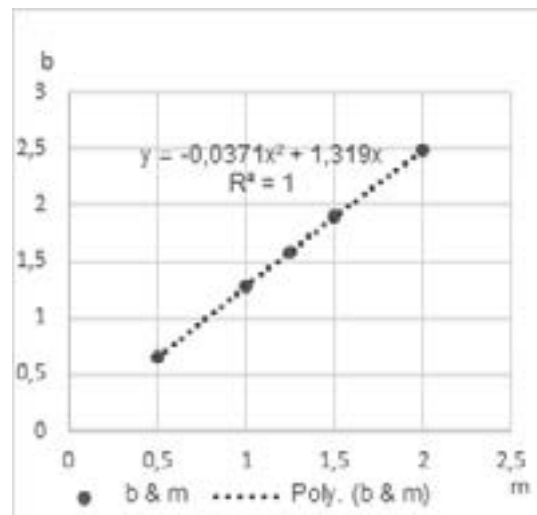
+ Công thức Agorôtskin (Liên Xô cũ)[8]:

$$h_k = \left(1 - \frac{\sigma_N}{3} + 0,105\sigma_N^2\right) h_{cn}$$

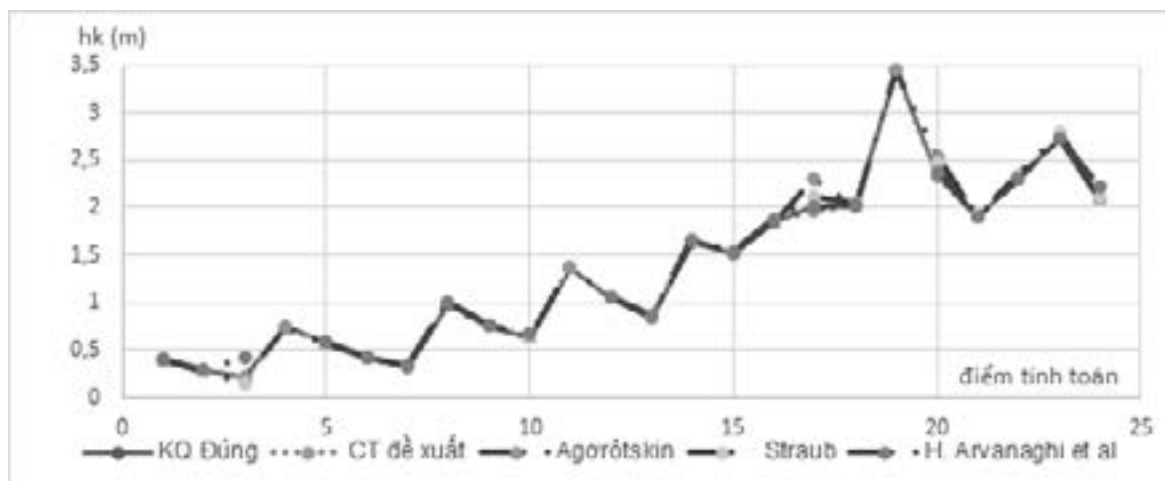
(5)



Hình 7. Tương quan giữa a và m



Hình 8. Tương quan giữa b và m



Hình 9. Biểu đồ so sánh các giá trị độ sâu phân giới theo các công thức thực nghiệm

Với:  $\sigma_N = \frac{m h_{cn}}{b}$   $h_{cn} = 3 \sqrt{\frac{\alpha Q^2}{g b^2}}$

Công thức của Agorotskin cho thấy nếu kênh hình thang cân mà  $m = 0$  thì công thức trở về công thức tính kênh chữ nhật. Tuy nhiên công thức này sau qua trình kiểm tra với thông số bất kỳ thì sai số tính toán tương đối lớn.

+ Công thức Straub (1982) [5]:

$$h_k = 0,81 \left( \frac{\Psi}{m^{0,75} b^{1,25}} \right)^{0,27} \frac{b}{30m} \quad (6)$$

Với:  $\Psi = \frac{\alpha Q^2}{g}$

Công thức Straub thiên về thực nghiệm, kết quả tính tương đối chính xác, công thức này được tính trong điều kiện  $0,1 < \frac{Q}{b^{2,5}} < 4,0$ , nếu  $\frac{Q}{b^{2,5}} < 0,1$  lại tính như kênh chữ nhật. Công thức nếu mặt cắt tam giác cân ( $b = 0$ ) thì công thức được, nên công thức này không có tính tổng quát cho các trường hợp riêng của kênh hình thang cân.

+ Công thức Swamee (1993) [6]

$$h_k = \left[ \left( \frac{g b^2}{Q^2} \right)^{0,7} + \left( \frac{g m^2}{2 Q^2} \right)^{0,42} \right]^{-0,476} \quad (7)$$

Công thức của Swamee nếu tính cho kênh chữ nhật ( $m=0$ ) thì  $h_k$  cho số mũ  $0,224 < 1/3$ , công thức này không áp dụng cho trường hợp kênh chữ nhật

+ Công thức Vatankhah (2013) [9]

$$\eta_c = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \left( \frac{5 t_{c0}^{0,864} + 1}{6 t_{c0}^{0,720}} \right)^3 \quad (9)$$

Trong đó:

$$t_{c0} = 1 + 1,161 \varepsilon_c \left( 1 + 0,666 \varepsilon_c^{1,041} \right)^{0,734}$$

$$\eta_c = \frac{m \cdot h_k}{b} \quad \varepsilon_c = 4 \left( \frac{\alpha m^3 Q^2}{g b^5} \right)^{1/3}$$

Công thức công thức này không áp dụng cho trường hợp kênh chữ nhật, kênh tam giác cân

+ Công thức H. Arvanaghi, Gh. Mahtabi, M. Rashidi (2015) [3]

$$\lambda = -1,55K^{0,06} + 1,68K^{0,18} + 0,644 \quad (10)$$

Trong đó:

$$K = \frac{\alpha Q^2 m^3}{g b^5} \quad \lambda = \frac{m \cdot h_k}{b}$$

Công thức công thức này không áp dụng cho trường hợp kênh chữ nhật, kênh tam giác cân.

+ Công thức Tiejie Cheng, Jun Wang, Jueyi Sui (2018) [10]

$$h_{k,s+1} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2 [(m_1 + m_2) h_{k,s} + b]}{g \cdot \cos \theta}} \left/ \left[ \frac{(m_1 + m_2) h_{k,s} + b}{2} \right] \right. \quad (11)$$

Công thức này là công thức thử dần gần đúng và đưa thêm thành phần độ dốc đáy lòng dẫn để phân tích tính toán chi tiết ( $\cos \theta$ ), do đó khi tính toán không tính trực tiếp mà phải tính nhiều lần cho đến khi  $h_{k,s+1} \approx h_{k,s}$ . Nhưng công thức thức này lại tính được cho kênh hình thang mái dốc bất kỳ.

Từ các nghiên cứu trên cho thấy, độ sâu phân giới của kênh hình thang cân là một bài toán phức tạp, có nhiều cách giải khác nhau, mỗi cách giải có điều kiện giới hạn riêng và đặc thù nghiên cứu phạm vi riêng. Trong đó các công thức tính toán các tác giả chủ yếu phân tích lý thuyết, áp dụng các lý thuyết toán cao cấp để tìm nghiệm gần đúng, trường hợp còn lại của Agorótskin và Straus áp dụng phương pháp bán thực nghiệm để xây dựng công thức, do vậy các công thức này đôi khi cho sai số rất lớn, đặc biệt công thức Agorótskin được đề cập trong giáo trình môn học thủy lực công trình (Thủy lực 2) cho những kết quả sai lệch gấp nhiều lần giá trị đúng, nên cần phải có những tổng hợp và hoàn thiện để áp dụng trong giảng dạy và tính toán công trình. Để thuận lợi cho tính toán, cần phải có công thức tính đơn giản nhất và cho kết quả tương đối chính xác, điều này có thể được giải quyết bằng các phương án khác nhau.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1 Phương pháp phân tích

Kênh hình thang cân là trường hợp tổng quát của kênh hình mặt cắt ngang hình chữ nhật, do vậy nghiên cứu ở đây so sánh mối quan hệ giữa tỷ lệ mặt cắt giữa độ sâu phân giới của kênh hình thang ( $\beta_{th}$ ) và kênh hình chữ nhật ( $\beta_{cn}$ ), từ đó xây dựng công thức tính độ sâu phân giới của kênh mặt cắt ngang hình thang, với độ sâu phân giới kênh hình thang được tính thử dần dần từ công thức (2) và độ sâu phân giới của kênh chữ nhật tính theo công thức (3).

Công thức tính tỷ lệ mặt cắt kênh được xác định như sau:

+ Tỷ lệ mặt cắt của kênh hình thang tại độ sâu phân giới:

$$\beta_{th} = \frac{T}{h_k} = \frac{b + m h_k}{h_k} \quad (12)$$

+ Tỷ lệ mặt cắt của kênh hình chữ nhật tại độ sâu phân giới:

$$\beta_{cn} = \frac{b}{h_{cn}} \quad (13)$$

**Bảng 1. Tính toán các giá trị tỷ lệ mặt cắt**

| Q (m³/s) | B (m) | $h_k$ (m) | $\beta_{th}$ | $h_{cn}$ (m) | $\beta_{cn}$ |
|----------|-------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 1        | 1     | 0.433     | 2.809        | 0.467        | 2.141        |
| 1        | 2     | 0.287     | 7.469        | 0.294        | 6.803        |
| 1        | 3     | 0.222     | 14.014       | 0.225        | 13.333       |
| 2        | 1     | 0.66      | 2.015        | 0.742        | 1.348        |
| 2        | 2     | 0.449     | 4.954        | 0.467        | 4.283        |
| 2        | 3     | 0.35      | 9.071        | 0.356        | 8.427        |
| 5        | 1     | 1.124     | 1.390        | 1.366        | 0.732        |
| 5        | 2     | 0.802     | 2.994        | 0.86         | 2.326        |
| 5        | 3     | 0.633     | 5.239        | 0.657        | 4.566        |
| 10       | 1     | 1.645     | 1.108        | 2.168        | 0.461        |
| 10       | 2     | 1.226     | 2.131        | 1.366        | 1.464        |
| 10       | 3     | 0.984     | 3.549        | 1.042        | 2.879        |
| 20       | 1     | 2.364     | 0.923        | 3.442        | 0.291        |
| 20       | 2     | 1.845     | 1.584        | 2.168        | 0.923        |
| 20       | 3     | 1.514     | 2.482        | 1.655        | 1.813        |
| 50       | 1     | 3.719     | 0.769        | 6.34         | 0.158        |
| 50       | 2     | 3.079     | 1.150        | 3.994        | 0.501        |
| 50       | 3     | 2.616     | 1.647        | 3.048        | 0.984        |
| 50       | 4     | 2.276     | 2.257        | 2.516        | 1.590        |
| 60       | 3     | 2.906     | 1.532        | 3.442        | 0.872        |
| 60       | 5     | 2.262     | 2.710        | 2.448        | 2.042        |
| 70       | 5     | 2.486     | 2.511        | 2.713        | 1.843        |
| 80       | 4     | 3.015     | 1.827        | 3.442        | 1.162        |
| 100      | 5     | 3.088     | 2.119        | 3.442        | 1.453        |

**Bảng 2. Các hệ số tương quan theo độ dốc kênh**

| TT | m    | a      | b      |
|----|------|--------|--------|
| 1  | 0.5  | 1.0017 | 0.6564 |
| 2  | 1    | 1.0082 | 1.282  |
| 3  | 1.25 | 1.0118 | 1.585  |
| 4  | 1.5  | 1.0154 | 1.896  |
| 5  | 2    | 1.0223 | 2.491  |

Trong đó:

m: Hệ số mái dốc kênh

b: Chiều rộng đáy kênh (m)

$h_k$ : Độ sâu phân giới của kênh hình thang với lưu lượng Q (m)

$h_{cn}$ : Độ sâu phân giới của kênh hình chữ nhật có độ rộng đáy b và lưu lượng Q (m)

### 2.2. Mối quan hệ giữa các tỷ lệ mặt cắt kênh và xây dựng công thức tính độ sâu phân giới

Xét trường hợp kênh có mái dốc m = 0,5, lập được bảng tính các giá trị như trong bảng 1.

Vẽ quan hệ giữa  $\beta_{th} \sim \beta_{cn}$  được như Hình 2.

Xét tương tự cho các hệ số mái dốc của kênh hình thang khác, ta có các biểu đồ quan hệ như Hình 3, 4, 5, 6.

Như vậy cho thấy mối quan hệ giữa  $\beta_{th} \sim \beta_{cn}$  có dạng tuyến tính, phương trình cơ bản được xác định như sau:

### Các ký hiệu

| Ký hiệu  | Giải thích                                       | Ký hiệu | Giải thích                                                       |
|----------|--------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------------|
| e        | Năng lượng đơn vị mặt cắt (m)                    | Q       | Lưu lượng dòng chảy (m <sup>3</sup> /s)                          |
| $\alpha$ | Hệ số sửa chữa động năng                         | V       | Lưu tốc trung bình dòng chảy (m/s)                               |
| $h_{cn}$ | Độ sâu giới của kênh mặt cắt chữ nhật (m)        | $h_k$   | Độ sâu phân giới của kênh hình thang với lưu lượng Q (m)         |
| $T_k$    | Chiều rộng mặt nước ứng với độ sâu phân giới (m) | $A_k$   | Diện tích mặt cắt ướt ứng với độ sâu phân giới (m <sup>2</sup> ) |
| b        | Chiều rộng đáy kênh (m)                          | m       | Hệ số mái dốc của kênh                                           |

**Bảng 3. Tính độ sâu phân giới theo một số công thức thực nghiệm**

| Q<br>(m <sup>3</sup> /s) | b (m) | m    | Giá trị độ sâu phân giới $h_k$ (m) |                          |                         |            |                       |            |
|--------------------------|-------|------|------------------------------------|--------------------------|-------------------------|------------|-----------------------|------------|
|                          |       |      | $h_k$ thử dần theo CT (2) (m)      | $h_{cn}$ theo CT (3) (m) | $h_k$ tính theo CT (18) | Sai số (%) | CT (5) của Agorotskin | Sai số (%) |
| 1                        | 1     | 1    | 0.405                              | 0.467                    | 0.405                   | 0.047      | 0.405                 | 0.001      |
| 1                        | 2     | 1    | 0.28                               | 0.294                    | 0.278                   | 0.800      | 0.280                 | 0.093      |
| 1                        | 3     | 0.5  | 0.222                              | 0.225                    | 0.221                   | 0.512      | 0.222                 | 0.099      |
| 2                        | 1     | 0    | 0.742                              | 0.742                    | 0.742                   | 0.000      | 0.742                 | 0.000      |
| 2                        | 1     | 1.25 | 0.58                               | 0.742                    | 0.581                   | 0.247      | 0.580                 | 0.065      |
| 2                        | 2     | 1.5  | 0.418                              | 0.467                    | 0.417                   | 0.324      | 0.418                 | 0.118      |
| 2                        | 3     | 2    | 0.33                               | 0.356                    | 0.324                   | 1.965      | 0.330                 | 0.018      |
| 5                        | 1     | 1    | 0.988                              | 1.366                    | 0.973                   | 1.503      | 1.012                 | 2.338      |
| 5                        | 2     | 1    | 0.754                              | 0.86                     | 0.755                   | 0.184      | 0.753                 | 0.076      |
| 5                        | 3     | 0.5  | 0.633                              | 0.657                    | 0.631                   | 0.241      | 0.634                 | 0.134      |
| 10                       | 2     | 0    | 1.366                              | 1.366                    | 1.366                   | 0.000      | 1.366                 | 0.000      |
| 10                       | 2     | 1.5  | 1.048                              | 1.366                    | 1.051                   | 0.326      | 1.050                 | 0.196      |
| 10                       | 3     | 2    | 0.856                              | 1.042                    | 0.859                   | 0.394      | 0.854                 | 0.291      |
| 20                       | 2     | 1    | 1.645                              | 2.168                    | 1.638                   | 0.428      | 1.652                 | 0.431      |
| 20                       | 3     | 0.5  | 1.514                              | 1.655                    | 1.518                   | 0.235      | 1.516                 | 0.135      |
| 50                       | 5     | 1.25 | 1.845                              | 2.168                    | 1.852                   | 0.378      | 1.843                 | 0.098      |
| 50                       | 3     | 2    | 2.011                              | 3.048                    | 1.977                   | 1.703      | 2.305                 | 12.753     |
| 50                       | 4     | 1.25 | 2.024                              | 2.516                    | 2.033                   | 0.450      | 2.020                 | 0.202      |
| 60                       | 3     | 0    | 3.442                              | 3.442                    | 3.442                   | 0.000      | 3.442                 | 0.000      |
| 60                       | 3     | 1.5  | 2.364                              | 3.442                    | 2.320                   | 1.882      | 2.538                 | 6.851      |
| 60                       | 5     | 2    | 1.895                              | 2.448                    | 1.909                   | 0.723      | 1.895                 | 0.023      |
| 70                       | 5     | 1    | 2.309                              | 2.713                    | 2.318                   | 0.392      | 2.306                 | 0.122      |
| 80                       | 4     | 1    | 2.727                              | 3.442                    | 2.731                   | 0.148      | 2.722                 | 0.172      |
| 100                      | 10    | 0.5  | 2.092                              | 2.168                    | 2.084                   | 0.362      | 2.092                 | 0.016      |

$$\beta_{th} = a \cdot \beta_{cn} + b \quad (14)$$

Với a, b là hệ số phụ thuộc theo hệ số mái dốc m

Phân tích mối quan hệ giữa a, b theo hệ số mái dốc như trong bảng 2.

Vẽ biểu đồ quan hệ xác định quy luật biến đổi a, b theo m (Hình 7, 8)

Như vậy xác định các hệ số theo mái dốc của kênh như sau:

$$a \approx 0.004m^2 + 0.0128m + 1 \quad (15)$$

$$b \approx -0.037m^2 + 1.32m \quad (16)$$

Thay (15, 16) vào công thức (14) có:

$$\beta_{th} = (0.004m^2 + 0.0128m + 1) \beta_{cn} - 0.037m^2 + 1.32m \quad (17)$$

Công thức xác định mối qua hệ của độ sâu phân giới của kênh hình thang:

$$\frac{b + m h_k}{h_k} = (0.004m^2 + 0.0128m + 1) \frac{b}{h_{cn}} - 0.037m^2 + 1.32m$$

$$\Rightarrow h_k = \frac{b}{(0.004m^2 + 0.0128m + 1) \frac{b}{h_{cn}} - 0.037m^2 + 1.32m} \quad (18)$$

**Bảng 4. Tính độ sâu phân giới theo một số công thức thực nghiệm (Tiếp)**

| Q<br>(m <sup>3</sup> /s) | b (m) | m    | Giá trị độ sâu phân giới $h_k$ (m) |                   |            |                                |            |
|--------------------------|-------|------|------------------------------------|-------------------|------------|--------------------------------|------------|
|                          |       |      | $h_k$ thử dần theo CT (2) (m)      | CT (6) của Straub | Sai số (%) | CT (10) của H. Arvanaghi et al | Sai số (%) |
| 1                        | 1     | 1    | 0.405                              | 0.404             | 0.267      | 0.406                          | 0.309      |
| 1                        | 2     | 1    | 0.28                               | 0.279             | 0.221      | 0.286                          | 2.149      |
| 1                        | 3     | 0.5  | 0.222                              | 0.147             | 50.746     | 0.426                          | 47.854     |
| 2                        | 1     | 0    | 0.742                              | -                 | -          | -                              | -          |
| 2                        | 1     | 1.25 | 0.58                               | 0.581             | 0.172      | 0.582                          | 0.354      |
| 2                        | 2     | 1.5  | 0.418                              | 0.419             | 0.248      | 0.419                          | 0.224      |
| 2                        | 3     | 2    | 0.33                               | 0.331             | 0.402      | 0.331                          | 0.231      |
| 5                        | 1     | 1    | 0.988                              | 1.009             | 2.121      | 0.993                          | 0.465      |
| 5                        | 2     | 1    | 0.754                              | 0.759             | 0.603      | 0.755                          | 0.190      |
| 5                        | 3     | 0.5  | 0.633                              | 0.628             | 0.772      | 0.671                          | 5.692      |
| 10                       | 2     | 0    | 1.366                              | -                 | -          | -                              | -          |
| 10                       | 2     | 1.5  | 1.048                              | 1.061             | 1.211      | 1.052                          | 0.417      |
| 10                       | 3     | 2    | 0.856                              | 0.859             | 0.394      | 0.859                          | 0.326      |
| 20                       | 2     | 1    | 1.645                              | 1.678             | 1.962      | 1.652                          | 0.448      |
| 20                       | 3     | 0.5  | 1.514                              | 1.551             | 2.369      | 1.516                          | 0.150      |
| 50                       | 5     | 1.25 | 1.845                              | 1.874             | 1.555      | 1.851                          | 0.322      |
| 50                       | 3     | 2    | 2.011                              | 2.119             | 5.081      | 2.020                          | 0.448      |
| 50                       | 4     | 1.25 | 2.024                              | 2.058             | 1.644      | 2.032                          | 0.406      |
| 60                       | 3     | 0    | 3.442                              | -                 | -          | -                              | -          |
| 60                       | 3     | 1.5  | 2.364                              | 2.470             | 4.288      | 2.374                          | 0.436      |
| 60                       | 5     | 2    | 1.895                              | 1.931             | 1.851      | 1.903                          | 0.396      |
| 70                       | 5     | 1    | 2.309                              | 2.352             | 1.832      | 2.316                          | 0.305      |
| 80                       | 4     | 1    | 2.727                              | 2.785             | 2.100      | 2.738                          | 0.390      |
| 100                      | 10    | 0.5  | 2.092                              | 2.114             | 1.054      | 2.221                          | 5.805      |

### 2.3. Kiểm định công thức tính toán

So sánh kết quả tính toán của công thức (18) với một số công thức tính độ sâu phân giới khác, các công thức lựa chọn tính toán là các công thức thực nghiệm sử dụng phổ biến, hoặc tính toán đơn giản, đặc biệt công thức áp dụng được cho kênh hình thang với mọi loại mái dốc. (Bảng 3, 4)

Ghi chú: Công thức tính sai số:

$$\varepsilon = \frac{|h_{ki} - h_{k2}|}{h_{ki}} \cdot 100 \quad (\%)$$

Trong đó:

$h_{k2}$ : Độ sâu phân giới tính thử dần theo công thức (2)

$h_{ki}$ : Độ sâu phân giới tính theo công thức thứ i

### 3. Kết luận và bàn luận

Dựa trên mối quan hệ so sánh giữa tỷ lệ mặt cắt của kênh hình thang và kênh chữ nhật, tính theo các hệ số mái dốc khác nhau cho thấy tương quan giữa ( $\beta_{th} \sim \beta_{cn}$ ) rất chặt chẽ (hệ số tương quan  $R^2$  rất gần 1), điều này cho thấy phương hướng phân tích của nghiên cứu tương đối rõ ràng và kết quả có sai số nhỏ.

Dựa trên phân tích dữ liệu thực có đã phân tích và rút ra công thức tính độ sâu phân giới của kênh hình thang cân (18), công thức (18) nếu lấy  $m = 0$  (kênh chữ nhật) thì độ sâu phân giới của kênh hình thang cân ( $h_k$ ) sẽ bằng độ sâu

phân giới của kênh hình chữ nhật ( $h_{cn}$ ), điều này cho thấy công thức (18) áp dụng cho tất cả các loại kênh lăng trụ hình thang cân.

Xem xét các nghiên cứu đã có, chỉ có công thức (5) của Agorotskin và công thức (18) đề xuất ở trên là tính được cho tất cả các kênh hình thang cân có hệ số mái dốc biến đổi từ  $m = 0$  trở lên, các kênh khác đều không áp dụng được cho kênh hình chữ nhật ( $m = 0$ ).

So sánh kết quả tính toán giữa công thức đề xuất (18) với một số công thức thực nghiệm khác của Agorotskin (5), Straub (6) và H. Arvanaghi và cộng sự, cho thấy sai số của công thức (18) nhỏ nhất (sai số lớn nhất 1,96%), các công thức khác cho sai số khá lớn, chuỗi kết quả tính toán không ổn định (sai số lớn nhất của Agorotskin là 12,75%, Straub là 50,75% và H. Arvanaghi là 47,85%).

Công thức (11) của Tiejie Cheng và cộng sự là trường hợp tính thử dần tương tự như áp dụng công thức tổng quát (2), để đảm bảo nghiệm chính xác, thì công thức (11) cần phải tính thử dần lặp lại từ 4 đến 5 lần.

Như vậy, cho thấy rằng công thức đề xuất (18) có hiệu quả tính toán tốt, so với công thức (5) thì cả hai đều có thể tính cho mọi loại kênh hình thang nhưng sai số của công thức (18) nhỏ hơn và ít biến đổi hơn so với công thức (5), các công thức còn lại không áp dụng được cho kênh chữ nhật (như công thức (7) của Swamee nếu áp dụng cho kênh chữ



nhật ( $m = 0$ ) thì sai về số mũ) hoặc tính toán thử dần lặp lại mất nhiều thời gian (như công thức Tiejie Cheng et al). Công thức (18) thuận tiện cho áp dụng tính toán độ sâu phân giới của kênh hình thang cân với mọi loại độ mái dốc kênh khác

nhau, đồng thời đảm bảo tính chính xác của kết quả tính toán (sai số tương đối nhỏ 1,96%), công thức (18) áp dụng tốt cho giảng dạy và tính toán công trình thực tế./.

#### Tài liệu tham khảo

1. Das. A. Flooding probability constrained optimal design of trapezoidal channels. *J Irrig Drain Eng*, 2007;133(1):53–60
2. Ivan E. Houk. Calculation of flow in open channel, Miami Conservancy District, Technical Report, Pt. IV, Dayton, Ohio, 1918.
3. H. Arvanaghi, Gh. Mahtabi, M. Rashidi. New solutions for estimation of critical depth in trapezoidal cross section channel. *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (9), 2015 2453-2460.
4. Havey E. Jobson, David C. Froehlich. Basic hydraulic principles of open-channel flow. Reston, Virginia, 1988.
5. Straub W.O (1982), *Civil Engineering, ASCE*, pp 70 - 71.
6. Swamee, P. K. Critical depth equations for irrigation canals. *J. Irrig. and Drain. Engrg.*, ASCE, 119(2), 1993, pp400–409.
7. Ven Te Chow. *Open-Channel hydraulics*. McGraw-Hill, 1958.
8. Vũ Văn Tảo, Nguyễn Cảnh Cẩm. Thủy lực – Tập 1, 2, NXB Nông nghiệp, 2006.
9. Vatankhah A. R. Explicit solution for critical depth and normal depth in trapezoidal and parabolic open channels, *Ain Shams Eng. J. Vol 4, Issue 1 (2013)*, pp17-23.
10. Tiejie Cheng, Jun Wang, Jueyi Sui. Calculation of critical flow depth using method of algebraic inequality. *J. Hydrol. Hydromech.* 2018, p316–322.

## Tính toán chi tiết chân cột nhà công nghiệp nhẹ...

(tiếp theo trang 44)

Chiều cao đường hàn yêu cầu trên bản cánh (hai bên)

$$h_f = T_f / (2 \cdot b_f \cdot f_w) \quad (52)$$

Chiều cao đường hàn yêu cầu trên bản bụng (hai bên)

$$h_f = V / (2 \cdot b_f \cdot f_w) \quad (53)$$

Chú ý: chiều cao đường hàn tối thiểu là 5mm; tăng thêm 33% ứng suất sinh ra do tải trọng gió.

### 3.3. Tính toán đường kính bu lông neo (Hình 9)

Lực kéo lớn nhất tác dụng lên bu lông T dưới tác dụng của lực nhỏ  $P_t$  và mô men uốn  $M_t$  có thể được tính toán với giả thiết rằng hợp lực nén có điểm đặt tại trọng tâm của phần bu lông về phía chịu nén:

$$T = \frac{M_t + P_t}{L_b} \quad (54)$$

diện tích bu lông cho mỗi bên là  $A_b = T / F_t$  (55)

Chú ý: tăng thêm 3mm khi chọn đường kính bu lông để kể đến sự ăn mòn.

### 3.4. Tính toán chiều dài neo cho bu lông neo

T - lực kéo lớn nhất trong một bu lông

$$u = \frac{0,16 \sqrt{f'c}}{d_b} \leq 0,138 (kN/cm^2) \quad (56)$$

$$\text{Chiều dài neo: } L = \frac{T}{\pi u d_b} \quad (57)$$

### 3.5. Kiểm tra sườn gia cường (Hình 9)

Nếu  $k < 30\text{mm}$  thì sẽ bổ sung thêm dầm để  $k > 30\text{mm}$ . Chiều dày của dầm để lấy như chiều dày của cánh cột  $t_f$ .

## 4. Kết luận và kiến nghị

+ Bài báo đã trình bày cách tính toán chân cột thép tiết diện chữ H cho nhà công nghiệp nhẹ với các trường hợp chân cột liên kết với móng là khớp, ngàm.

+ Làm sáng tỏ các vấn đề mà trong tiêu chuẩn Việt Nam chưa đề cập đến.

+ Có thể vận dụng cho việc tính toán chân cột nhà công nghiệp nhẹ ở Việt Nam./.

#### Tài liệu tham khảo

1. American Institute of Steel Construction, Inc (2010) "Specification for Structural Steel Buildings", American Society of Civil Engineers.
2. American Institute of Steel Construction, Inc (2011) "Steel Construction Manual", American Society of Civil Engineers.
3. Zamil steel buildings design manual.
4. American Institute of Steel Construction, Inc (2003) "Steel Design Guide Series 1 Column Base Plates".