

THIẾT LẬP CÁC CÔNG THỨC TÍNH TOÁN CAO TRÌNH ĐÁY BỂ TIÊU NĂNG VÀ CÁC ĐỘ SÂU NƯỚC NHẢY TRONG BỂ

Hồ Việt Hùng¹

Tóm tắt: Hiện nay việc xác định chiều sâu bể tiêu năng được thực hiện theo phương pháp thử dần dựa trên giả thiết dòng chảy ra khỏi bể như dòng chảy qua đập tràn đỉnh rộng có ngưỡng. Các kích thước của bể được tính toán nhằm đảm bảo có nước nhảy ngập trong phạm vi bể. Với mục đích đơn giản hóa việc tính toán và đảm bảo bể tiêu năng hoạt động tốt, bài báo này đã đề xuất các công thức tính toán cao trình đáy bể, thay cho việc tính thử dần và tra bảng. Theo nghiên cứu này, tỷ số các độ sâu nước nhảy có quan hệ tuyến tính bậc nhất với số Froude trước nước nhảy và cao trình đáy bể tiêu năng có thể tính được ngay nhờ máy tính cầm tay CASIO fx-570ES.

Từ khóa: Bể tiêu năng, nước nhảy, độ sâu liên hiệp của nước nhảy.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong tính toán thiết kế bể tiêu năng sau đập tràn, chiều sâu bể được xác định bằng phương pháp thử dần vì các độ sâu trước và sau nước nhảy đều phụ thuộc vào chiều sâu bể. Hay nói cách khác, ở đây cần giải một hệ phương trình, trong đó có một phương trình bậc ba để xác định độ sâu co hẹp h_c ở sau đập tràn. Theo các sách Thủy lực tiếng Việt (Nguyễn Cảnh Cầm và nnk, 2006) và tiếng Nga (Sterenlikht D.V., 1984), (Trugaev R.R., 1975), độ sâu co hẹp h_c và độ sâu sau nước nhảy tại chỗ h_c'' được tính toán nhờ bảng tra, hoặc đồ thị. Các kích thước của bể được xác định trên nguyên tắc đảm bảo có nước nhảy ngập trong phạm vi bể tiêu năng và giả thiết rằng dòng chảy ra khỏi bể như chảy qua đập tràn đỉnh rộng có ngưỡng. Tuy nhiên, việc tra bảng để xác định độ sâu co hẹp h_c và độ sâu sau nước nhảy h_c'' sẽ phụ thuộc vào chủ quan của người tính và dễ gặp sai số. Ngoài ra, việc tính thử dần đòi hỏi nhiều thời gian hơn do phải tính lặp lại nhiều lần. Vì vậy, để việc tính toán được đơn giản, ngắn gọn và đảm bảo bể tiêu năng hoạt động tốt, bài báo này đề xuất các công thức tính toán cao trình đáy bể tiêu năng thay cho việc tính thử dần. Theo nghiên cứu này, tỷ số các độ sâu nước nhảy có quan hệ

tuyến tính bậc nhất với số Froude trước nước nhảy, từ đó cao trình đáy bể tiêu năng có thể tính được ngay với máy tính cầm tay CASIO fx-570ES, một công cụ rất phổ biến hiện nay.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Trên cơ sở nghiên cứu lý thuyết về nước nhảy và bể tiêu năng, thu thập các tài liệu về thí nghiệm nước nhảy trên mô hình vật lý các dạng bể tiêu năng, tác giả đã sử dụng Microsoft Excel để vẽ đồ thị và phân tích các mối liên hệ, từ đó thiết lập các công thức liên quan đến nội dung nghiên cứu.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

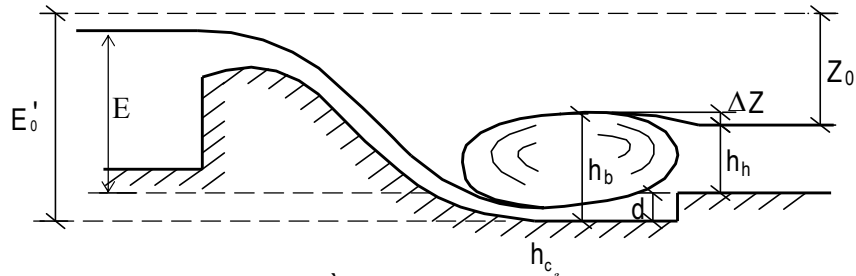
3.1. Phương pháp thử dần kết hợp tra bảng để tính toán chiều sâu bể tiêu năng

Các bước tính chiều sâu bể (d) bằng Phương pháp thử dần theo (Nguyễn Cảnh Cầm và nnk, 2006) có thể tóm tắt như sau:

- Giả thiết chiều sâu bể $d = h_c'' - h_b$;
 - Khi đã có chiều sâu d, tính lại độ sâu co hẹp h_c và h_c'' bằng cách tra bảng $F(\tau_c)$;
 - Định chiều sâu nước trong bể $h_b = \sigma \cdot h_c''$;
- trong đó: hệ số ngập $\sigma = 1,05 - 1,10$;
- Tính lại chiều sâu bể $d = h_b - h_n - \Delta Z$;

Trong đó: ΔZ là chênh lệch mực nước ở cuối bể với mực nước hạ lưu (Hình 1). Với giả thiết dòng chảy ra khỏi bể như dòng chảy qua đập tràn đỉnh rộng chảy ngập, có hệ số lưu tốc φ_b của bể sẽ tính được ΔZ . Tuy nhiên, trong (Nguyễn Cảnh Cầm và nnk, 2006) các tác giả cũng chỉ ra rằng: “Giả thiết này không hoàn toàn đúng với thực tế”.

¹ Trường Đại học Thủy lợi.



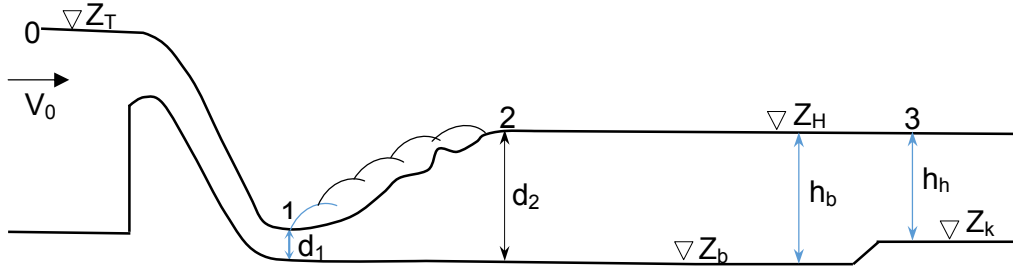
Hình 1. Sơ đồ dòng chảy qua bể tiêu năng có ΔZ

3.2. Đề xuất công thức tính trực tiếp cao trình đáy bể tiêu năng

Trong (Sternlicht D.V., 1984) và (Trugaev R.R., 1975), các tác giả đều cho rằng trong một số trường hợp có thể bỏ qua ΔZ , khi đó việc tính toán sẽ đơn giản hơn, và có thể chọn $\sigma = 1$ mà vẫn đảm bảo có nước nhảy ngập trong bể. Điều này hoàn toàn có thể giải thích được, vì nếu bỏ qua ΔZ thì chiều sâu bể sẽ tăng lên, làm tăng độ sâu dòng chảy ở cuối bể (h_b). Khi đó độ sâu cuối bể h_b sẽ lớn hơn độ sâu sau nước nhảy tại chỗ h_c và có nước nhảy ngập trong bể. Nếu bỏ qua ΔZ thì mực nước ở cuối bể tiêu năng sẽ bằng với mực nước hạ lưu.

Theo các nghiên cứu về bể tiêu năng của Cục khai hoang Hoa Kỳ (Peterka, A.J., 1984) và các nghiên cứu khác (Hager, 1992; Houghtalen, 2010; Mays, 2011), để đảm bảo an toàn cho công trình, khi tính toán cao trình đáy bể tiêu năng nên chọn mực nước hạ lưu bằng mực nước ở cuối bể tiêu năng. Khi đó, nước nhảy sẽ ở ngay chân đập tràn, trong bể tiêu năng và bể sẽ làm việc tốt với chế độ thủy lực này (Peterka, A.J., 1984).

Ngoài ra, các nghiên cứu trên cũng khuyến cáo rằng, để an toàn cho công trình cần bổ sung vào độ sâu cuối bể tối thiểu là 5% của độ sâu sau nước nhảy (Hager, 1992; Houghtalen, 2010; Peterka, 1984).



Hình 2. Sơ đồ dòng chảy qua bể tiêu năng, không có ΔZ

Trong bài báo này, tác giả sẽ sử dụng những đề xuất trên đây để thiết lập công thức tính cao trình đáy bể tiêu năng, đó là: $\Delta Z = 0$ và $\sigma = 1,05$.

Khi tính toán chiều sâu bể tiêu năng sẽ xét trường hợp có nước nhảy tại chỗ ở ngay sau mặt cắt cắt co hẹp 1 (Hình 2), lúc đó độ sâu trước nước nhảy chính là độ sâu co hẹp và được ký hiệu là d_1 ; độ sâu sau nước nhảy được ký hiệu là d_2 . Các độ sâu của nước nhảy được xác định theo phương trình cơ bản của nước nhảy trong kênh chữ nhật (xét bài toán phẳng). Tỷ số giữa độ sâu trước nước nhảy và độ sâu sau nước nhảy

phụ thuộc vào số Froude trước nước nhảy, F_1 , và được tính theo công thức (1).

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right) \quad (1)$$

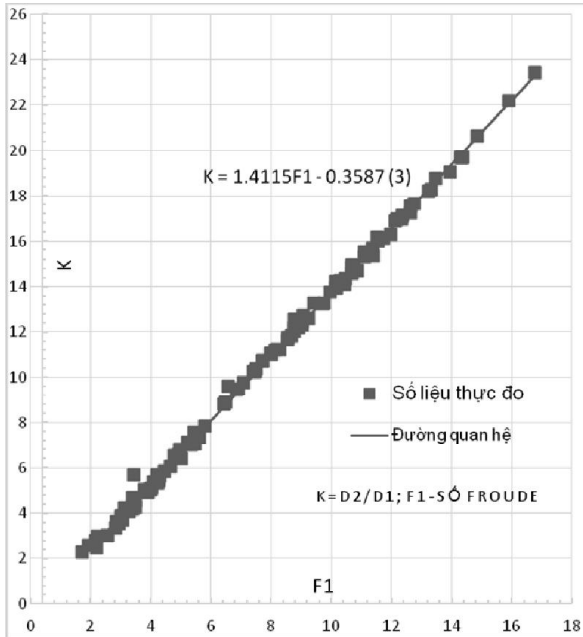
trong đó:

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gd_1}} = \frac{q}{d_1 \sqrt{gd_1}} \quad (2)$$

V_1 – vận tốc trước nước nhảy; q – lưu lượng đơn vị; g – gia tốc trọng trường.

Theo (Hager, 1992), khi số $F_1 > 2$ tỷ số d_2/d_1 và F_1 có quan hệ tuyến tính bậc nhất. Đây là cơ

sở để tìm ra công thức thể hiện mối liên hệ giữa các độ sâu trước và sau nước nhảy. Dựa trên số liệu đo đạc các độ sâu trước và sau nước nhảy trong thí nghiệm của Peterka (Peterka, A.J., 1984), tác giả bài báo này đã vẽ đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa tỷ số d_2/d_1 với số F_1 , ký hiệu $K = d_2/d_1$.



Hình 3. Quan hệ giữa tỷ số các độ sâu nước nhảy với số Froude trước nước nhảy

Đồ thị trên hình 3 cho thấy đường quan hệ là một đường thẳng, từ đó có thể biểu diễn mối liên hệ giữa K và F_1 bằng một phương trình bậc nhất (3).

$$K = 1,4115F_1 - 0,3587 \quad (3)$$

$$\text{hay } d_2 = (1,4115F_1 - 0,3587)d_1 \quad (3')$$

Phương trình (3') biểu diễn mối liên hệ giữa các độ sâu d_1 và d_2 của hai mặt cắt 1 và 2. Tiếp theo viết Phương trình năng lượng cho mặt cắt 0 ở thượng lưu và mặt cắt 1 sau tràn (Hình 2). Sau khi rút gọn thu được phương trình (4) dưới đây.

$$q = \varphi d_1 \sqrt{2g(Z_0 - Z_b - d_1)} \quad (4)$$

$$Z_0 = Z_T + \frac{V_o^2}{2g} \quad (5)$$

Trong đó: Z_0 – mực nước thượng lưu bao gồm cả cột nước lưu tốc tới gần; Z_T – mực nước thượng lưu tràn; Z_b – cao trình đáy bể tiêu năng; φ – hệ số lưu tốc của đập tràn.

Theo giả thiết $\Delta Z = 0$, mực nước cuối bể bằng mực nước hạ lưu tại mặt cắt 3 (Hình 2), sẽ có công thức (6) tính cao trình đáy bể

$$Z_b = Z_H - d_2 \quad (6)$$

Để đảm bảo có nước nhảy ngập trong bể, an toàn cho công trình, cần tăng thêm độ sâu ở cuối bể, khi đó sẽ tính Z_b theo công thức (7)

$$Z_b = Z_H - \sigma d_2 \quad (7)$$

Trong đó: Z_H – mực nước hạ lưu; h_b – độ sâu ở cuối bể; $\sigma = 1,05$.

Kết hợp tất cả các phương trình từ (2) đến (6), sau khi rút gọn thu được phương trình (8) để tìm độ sâu d_1 .

$$1,359d_1^3 - (Z_o - Z_H)d_1^2 - \frac{1,412q}{\sqrt{g}}d_1^{1,5} + \frac{q^2}{2g\varphi^2} = 0 \quad (8)$$

Đây là phương trình bậc ba, có thể dùng máy tính bấm tay CASIO fx-570ES để tìm d_1 . Điều kiện của độ sâu d_1 là: $0 < d_1 < h_k$; trong đó: h_k là độ sâu phân giới ở sau tràn.

Kết hợp công thức (3') với công thức (2) thu được công thức (9) để tính độ sâu d_2

$$d_2 = \frac{1,412q}{\sqrt{gd_1}} - 0,359d_1 \quad (9)$$

và cuối cùng, theo phương trình (7) sẽ có công thức để tính cao trình đáy bể tiêu năng

$$Z_b = Z_H - \frac{1,483q}{\sqrt{gd_1}} + 0,377d_1 \quad (10)$$

Cần chú ý rằng, trong công thức (10) độ sâu của bể đã được tăng thêm để đảm bảo an toàn. Nếu xét trường hợp có nước nhảy tại chỗ trong bể thì cao trình đáy bể được tính theo các công thức (6) và (9).

3.3. Ứng dụng công thức đề xuất để tính toán

Khi ứng dụng công thức đã đề xuất trên đây, các bước tính toán bể tiêu năng được thực hiện như sau:

- Xác định hình thức nối tiếp hạ lưu sau tràn trên cơ sở tính các độ sâu h_c , h_c'' , h_k , h_h theo các công thức đã biết;
- Tính độ sâu trước nước nhảy khi đã có bể, d_1 , theo phương trình (8), d_1 cần thỏa mãn điều kiện: $0 < d_1 < h_k$;
- Tính độ sâu sau nước nhảy khi đã có bể, d_2 , theo công thức (9);
- Tính cao trình đáy bể theo công thức (10);

- Tính chiều dài bể tiêu năng theo các công thức đã có.

Áp dụng quy trình trên, tính toán cao trình đáy bể tiêu năng cho một ví dụ trong (Nguyễn Cảnh Cầm và nnk, 2006), với các số liệu như sau: Đập tràn thực dụng hình cong có chiều cao $P = 7,4m$; cột nước toàn phần $H_0 = 2m$; hệ số lưu tốc $\varphi = 0,9$; lưu lượng đơn vị ở hạ lưu $q = 8m^2/s$; mực nước hạ lưu $Z_H = 3,2m$; cao trình đáy kênh hạ lưu $Z_k = 0m$.

Kết quả tính toán:

Độ sâu hạ lưu $h_h = Z_H - Z_k = 3,2m$

Độ sâu phân giới sau tràn $h_k = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = 1,87m$

Độ sâu co hẹp tính được từ Phương trình cơ bản của nổi tiếp chảy đáy

$q = \varphi h_c \sqrt{2g(E_0 - h_c)}$; $E_0 = H_0 + P = Z_0 = 9,4m$
 $\rightarrow h_c = 0,68m$

Độ sâu sau nước nhảy tại chỗ được tính theo công thức (1): $h_c'' = 4,06m$

Sau đập tràn sẽ có nước nhảy xa ($h_c'' > h_h$), cần làm bể tiêu năng. Tiếp theo, tính toán cao trình đáy bể tiêu năng.

Độ sâu trước nước nhảy khi đã có bể được tính theo phương trình (8).

$1,359d_1^3 - (Z_0 - Z_H)d_1^2 - \frac{1,412q}{\sqrt{g}}d_1^{1,5} + \frac{q^2}{2g\varphi^2} = 0$
 $1,359(d_1)^3 - 6,2(d_1)^2 - 3,607(d_1)^{1,5} + 4,027 = 0$
 $\rightarrow d_1 = 0,64m$

Độ sâu sau nước nhảy khi đã có bể được tính theo công thức (9).

$d_2 = \frac{1,412q}{\sqrt{gd_1}} - 0,359d_1 = 4,28m$

Cao trình đáy bể được tính theo công thức (10).

$Z_b = Z_H - \frac{1,483q}{\sqrt{gd_1}} + 0,377d_1 = -1,29m$

Chiều sâu của bể là $D = Z_k - Z_b = 1,29m$.

Theo công thức trong (Nguyễn Cảnh Cầm và nnk, 2006), chiều dài bể tiêu năng tính được là $L_b = 0,8 \times 4,5 \times d_2 = 15,41m$.

Vậy có thể chọn: $Z_b = -1,3m$ và $L_b = 15,5m$.

4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở phân tích các số liệu thí nghiệm đã thu thập được, tác giả bài báo này đã tìm ra mối liên hệ giữa tỷ số các độ sâu nước nhảy với số Froude trước nước nhảy. Đây là một phương trình bậc nhất. Sử dụng giả thiết rằng, bỏ qua chênh lệch mực nước ở cuối bể với hạ lưu, kết hợp với phương trình năng lượng, tác giả đã thiết lập được công thức tính cao trình đáy bể tiêu năng. Ứng dụng các công thức này giúp cho việc tính toán được nhanh chóng và chính xác, tránh các sai số khi tra bảng trong Phương pháp thử dần. Kết quả tính toán một ví dụ thực tế theo các công thức trong bài báo này là phù hợp với kết quả tính theo các phương pháp khác. Khi bỏ qua chênh lệch mực nước ΔZ thì chiều sâu bể tiêu năng tăng lên. Đồng thời, nếu chọn hệ số ngập $\sigma = 1,05$ thì sẽ có nước nhảy ngập trong bể, đảm bảo an toàn cho công trình. Các công thức mà bài báo này đề xuất có thể áp dụng trong tính toán thiết kế bể tiêu năng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Hager, Willi H. (1992). “Energy Dissipators and Hydraulic Jump”, Water Science and Technology Library, Volume 8. ISBN 0-7923-1508-1, the Netherlands.
 Houghtalen, Robert J. (2010). “Fundamentals of Hydraulic Engineering Systems”, Fourth Edition. ISBN-13: 978-0-13-601638-0. Pearson Higher Education, Inc. USA.
 Mays, Larry W. (2011). “Water Resources Engineering” - second edition. ISBN 978-0-470-46064-1. John Wiley & Sons, Inc. USA.
 Nguyễn Cảnh Cầm và nnk (2006). “Thủy lực”, Nhà xuất bản Nông nghiệp, Hà Nội, Việt Nam.
 Peterka, A.J. (1984). “Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators”, United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Engineering Monograph No.25, Denver, Colorado, USA.

Sterenlikht D.V. (1984). “*Thủy lực*”, sách tiếng Nga. Nhà xuất bản Năng lượng Nguyên tử, Matxcova, Liên bang Nga.

Trugaev R.R. (1975). “*Thủy lực*”, sách tiếng Nga. Nhà xuất bản Năng lượng, Leningrad, Liên bang Nga.

Abstract:

DEVELOP EXPRESSIONS TO CALCULATE BOTTOM ELEVATION OF STILLING BASIN AND CONJUGATE DEPTHS OF HYDRAULIC JUMP

Currently the determination of stilling basin depth is done by iteration method based on the assumption that outflow from the basin occurs as the flow over broad crested weir. The dimensions of stilling basin are determined in order to guarantee there will be submerged hydraulic jump within the basin. With the aim of simplifying the calculation and ensuring the basin works well, this paper has proposed the formulas instead of iteration method for calculating bottom elevation of stilling basin. According to this study, the ratio of sequent depths and the Froude number before the hydraulic jump are linearly related, and bottom elevation of stilling basin can be promptly calculated by calculator CASIO fx-570ES.

Keywords: Stilling Basin, The Hydraulic Jump, Conjugate depths.

BBT nhận bài: 24/2/2016

Phản biện xong: 12/3/2016