

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT

VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI VIỆT NAM

NGUYỄN MINH NGỌC

**NGHIÊN CỨU ĐẶC TRƯNG HÌNH HỌC CỦA NƯỚC NHẢY
ĐÁY TRONG LÒNG DẪN LẮNG TRỤ MẶT CẮT NGANG
HÌNH THANG**

Ngành: Kỹ thuật xây dựng công trình thủy

Mã số: 09-58-02-02

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI, NĂM 2022

Công trình được hoàn thành tại:

VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI VIỆT NAM

Hướng dẫn khoa học 1: GS.TS Hoàng Tư An

Hướng dẫn khoa học 2: PGS.TS Phạm Hồng Cường

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án Tiến sĩ cấp Viện, họp tại Viện Khoa học thủy lợi Việt Nam, vào hồigiờngàythángnăm 2022

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

- Thư viện Quốc gia Việt Nam
- Thư viện Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của luận án

Nước nhảy là một hiện tượng thủy lực của dòng chảy hở, hiện tượng này có rất nhiều áp dụng, tiêu biểu như tiêu năng dòng chảy sau công trình, xáo trộn khí vào nước...

Hầu hết các nghiên cứu nước nhảy được thực hiện trên kênh hình chữ nhật. Trong khi đó, các nghiên cứu về nước nhảy trong kênh hình thang cân còn tương đối ít, hệ thống công thức chưa được đầy đủ.

Trong thực tế, công trình tiêu năng có mặt cắt ngang hình thang vẫn thường được sử dụng, nhưng còn hạn chế về công cụ tính toán và chưa đảm bảo độ chính xác khi áp dụng.

Do vậy, “*Nghiên cứu đặc trưng hình học của nước nhảy đáy trong kênh lăng trụ mặt cắt ngang hình thang*” có nhiều ý nghĩa khoa học và là cơ sở cho tính toán thiết kế công trình có áp dụng nước nhảy.

2. Mục tiêu và nhiệm vụ nghiên cứu của luận án

Mục tiêu nghiên cứu: Nghiên cứu xây dựng các công thức xác định các đặc trưng hình học của nước nhảy trong kênh hở (gồm có độ sâu phân giới, độ sâu khu xoáy và chiều dài khu xoáy).

Nhiệm vụ nghiên cứu: Phân tích các đặc trưng hình học của nước nhảy trong kênh hở theo lý thuyết và sử dụng các dữ liệu thực nghiệm để kiểm định và xây dựng các công thức mới.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu: Hiện tượng nước nhảy trong kênh hở.

Phạm vi nghiên cứu: Nước nhảy ổn định ($Fr_{D1} = 4,0 \div 9,0$) trong kênh hình thang cân (đáy bằng, mái dốc $m = 1$, không mở rộng).

4. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu của luận án

Luận án tiếp cận theo quan điểm nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm để xây dựng công thức tính đặc trưng hình học nước nhảy.

Các phương pháp nghiên cứu cụ thể: Phương pháp kế thừa; Phương pháp phân tích và tổng hợp lý thuyết; Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm; Phương pháp phân tích thống kê; Phương pháp chuyên gia; Phương pháp phân tích thứ nguyên, Phương pháp mô hình toán.

5. Ý nghĩa khoa học và ý nghĩa thực tiễn của luận án

Ý nghĩa khoa học: Nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm để hoàn thiện công thức theo phương pháp bán thực nghiệm và thực nghiệm.

Ý nghĩa thực tiễn: Xác định bộ công thức dùng để tính toán các đặc trưng hình học cho các công trình có áp dụng hiện tượng nước nhảy trên kênh mặt cắt ngang hình thang cân.

6. Những đóng góp mới của luận án

+ Giải hệ phương trình vi phân Navier-Stokes, xác định được công thức tổng quát (3.36) về độ sâu dòng chảy sau khu xoáy và công thức (3.27) về tỷ lệ hệ số động lượng (k) trong nghiên cứu nước nhảy.

+ Xác định công thức về quy luật biến đổi chiều dài dòng chảy (3.40) theo phương trình năng lượng.

+ Nghiên cứu nước nhảy trong kênh hình thang cân, đáy bằng có mái dốc $m = 1$, xác định được các đặc trưng sau:

- Xác định được $k = 0,92$. Bảng 3.9, hình 3.5 và công thức thực nghiệm (3.39) về xác định độ sâu sau khu xoáy.
- Xác định được công thức bán thực nghiệm (3.50) và công thức thực nghiệm (3.53) về tính chiều dài khu xoáy của nước nhảy.

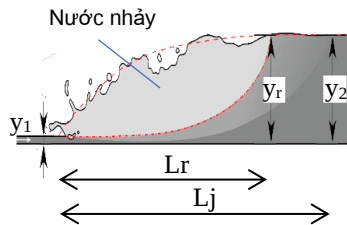
7. Nội dung và Cấu trúc của luận án

Luận án có 03 chương, ngoài phần Mở đầu và Kết luận, được minh họa bởi 46 bảng biểu, 82 hình vẽ và đồ thị, 6 công trình nghiên cứu liên quan đã công bố (một bài báo trong hệ thống Scopus), 86 Tài liệu tham khảo và phần Phụ lục

CHƯƠNG I - TỔNG QUAN VỀ NƯỚC NHẢY ĐÁY

1.1 Khái quát về nước nhảy

Khi độ sâu dòng chảy thay đổi nhanh từ mực nước thấp sang mực nước cao, sẽ dẫn đến sự thay đổi đột ngột của đường mặt nước. Hiện tượng cục bộ tại vị trí thay đổi đường mặt nước gọi là “nước nhảy”.



Hình 1.3 Cấu tạo nước

Cấu tạo nước nhảy trên kênh hình thang cân gồm có các dòng xoáy bề mặt và trên mái kênh (Wanoschek R. & Hager W.,1989). Nên mức độ phức tạp về dòng rối và sự khó khăn trong phân tích các đặc trưng thủy động của nước nhảy khó hơn so với kênh chữ nhật.

1.5 Nghiên cứu nước nhảy trên thế giới

1.5.1 Hiện tượng nước nhảy

Nước nhảy lần đầu tiên được Leonardo da Vinci (1452-1519) đề xuất, sau đó, Giorgio Bidone (1818-1819) đã mô tả sự nhảy vọt về độ sâu của dòng chảy. Đây là sự mở đầu về nghiên cứu nước nhảy.

1.5.2. Độ sâu phân giới dòng chảy ổn định không đều

Độ sâu phân giới là một thông số quan trọng trong xác định khả năng xuất hiện nước nhảy. Kênh chữ nhật, kênh tam giác thì có công thức lý thuyết, còn các dạng mặt cắt khác đều là công thức gần đúng.

Công thức về độ sâu phân giới của kênh hình thang được xây dựng theo nhiều phương pháp khác nhau, như nghiên cứu của Zhengzhong W.(1998), Tiejie C. và cs (2018), Farzin S.(2020)...

1.5.3. Nước nhảy trong kênh chữ nhật

a. Độ sâu liên hiệp nước nhảy

Bélanger (1828) xác định được công thức tính độ sâu liên hiệp nước nhảy theo lý thuyết trong kênh chữ nhật và hiện nay vẫn được sử dụng.

Dựa trên nghiên cứu thực nghiệm và lý thuyết, các tác giả khác cũng đề xuất các công thức tính độ sâu liên hiệp nước nhảy, như Sarma và Newnham (1975), Ead và Rajaratnam (2002),...

b. Chiều dài nước nhảy

Chiều dài nước nhảy là một thông số trong thiết kế công trình tiêu năng, vị trí bắt đầu hoặc chân nước nhảy đã có sự thống nhất, nhưng điểm kết thúc của nước nhảy thì chưa rõ ràng. Về xác định chiều dài nước nhảy, hầu hết các nghiên cứu đều dựa trên phân tích thực nghiệm.

Nghiên cứu về vấn đề này có thể kể đến Riegel Beebe (1917), Ludin (1927), Woycicki (1931), Simões (2008), Martin M.M và cs (2019)...

Các nghiên cứu về chiều dài nước nhảy được phân thành 2 vấn đề cơ bản: Chiều dài nước nhảy (L_j) và chiều dài khu xoáy (L_r).

Mối quan hệ giữa L_j và L_r đã được nghiên cứu, nhưng vẫn chưa được đầy đủ và xác định một cách rõ ràng.

1.5.4. Nước nhảy trên mặt cắt ngang hình thang

a. Độ sâu liên hiệp của nước nhảy

Tính độ sâu liên hiệp nước nhảy trên kênh hình thang cân đáy bằng có thể kể đến công thức thực nghiệm của A.N. Rakhmanov (1930), Hager (1992), hoặc phân tích lý thuyết như Sadiq S. M. (2012)...

b. Chiều dài nước nhảy

Các nghiên cứu về chiều dài nước nhảy chủ yếu là theo phương pháp thực nghiệm, như nghiên cứu của Silvester, R (1964); Ohtsu (1976); N. Afzal (2002); Samir K. (2014); Siad R. (2018);...

1.6 Nghiên cứu nước nhảy ở Việt Nam

Các nghiên cứu nước nhảy ở Việt Nam có thể kể đến Hoàng Tư An (2005), Nguyễn Văn Đăng (1989), Lê Thị Việt Hà (2018) ... nhưng hầu hết các nghiên cứu đều về nước nhảy phẳng hoặc nước nhảy không gian, chưa có nghiên cứu về nước nhảy trên kênh có mặt cắt ngang hình thang cân (bán không gian).

1.7 Các yếu tố ảnh hưởng đến đặc trưng hình học nước nhảy

1.7.1 Các yếu tố ảnh hưởng đến độ sâu liên hiệp nước nhảy

Từ các nghiên cứu về tính độ sâu liên hiệp nước nhảy cho thấy các yếu tố ảnh hưởng tới độ sâu của nước nhảy được gồm có:

- + Số Froude trước nước nhảy (Fr_1 hoặc Fr_{D1});
- + Độ nhám của lòng dẫn (n hoặc e);
- + Ảnh hưởng của phân bố lưu tốc;
- + Độ dốc đáy lòng dẫn...

1.7.2 Các yếu tố ảnh hưởng đến chiều dài nước nhảy

Qua phân tích các công thức tính chiều dài nước nhảy đã có trên kênh lăng trụ, cho thấy chiều dài nước nhảy phụ thuộc vào:

- + Độ sâu trước nước nhảy (y_1);
- + Độ sâu sau nước nhảy (y_2);
- + Độ cao của nước nhảy ($y_2 - y_1$);
- + Tỷ lệ độ sâu của nước nhảy (y_2 / y_1 ; y_1 / y_2);
- + Số Froude trước nước nhảy (Fr_1 hoặc Fr_{D1});
- + Độ nhám lòng dẫn...

1.8 Kết luận Chương I

Nghiên cứu cho thấy sự phong phú, mức độ quan tâm của các nhà khoa học đến hiện tượng nước nhảy và ứng dụng của nó.

Nghiên cứu đã khái quát hóa được các vấn đề ảnh hưởng đến đặc trưng hình học nước nhảy trên kênh lăng trụ (mặt cắt ngang hình chữ nhật và hình thang), đây là định hướng nghiên cứu để phân tích đầy đủ hơn về nước nhảy trên kênh hình thang và đánh giá được sự phù hợp của các công thức được xây dựng mới.

CHƯƠNG II – CƠ SỞ KHOA HỌC VÀ PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH CÁC ĐẶC TRƯNG NƯỚC NHẢY TRONG KÊNH LĂNG TRỤ MẶT CẮT HÌNH THANG

2.1 Phương trình cơ bản xác định độ sâu dòng chảy của khu xoáy

2.1.1 Phương trình vi phân cơ bản của chất lỏng chuyển động

Phương trình Navier-stokes được viết dưới dạng tổng quát như sau:

$$\overbrace{\rho \frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \nabla v}^{\text{Quán tính}} = \underbrace{-\nabla p}_{\text{Gradient áp suất}} + \underbrace{\mu \cdot \nabla^2 v}_{\text{độ nhớt}} + \underbrace{f}_{\text{Lực}} \quad (2.1)$$

Gia tốc tức thời
Gia tốc đối lưu
Gradient áp suất
độ nhớt
Lực

Phương trình (2.1) được giải gần đúng bằng các điều kiện biên.

2.1.2 Các giả thiết áp dụng cho phương trình Navier-Stokes

- + Dòng chảy ổn định, liên tục: $Q = \text{const}$;
- + Quy luật phân bố áp suất theo quy luật thủy tĩnh;
- + Lực khối là trọng lực, theo phương dòng chảy (trục x): $F_x = g$
- + Chất lỏng không nén được có $\rho = \text{const}$
- + Thành phần ma sát rời của dòng chảy tỷ lệ với cột nước lưu tốc.

2.1.3 Tích phân phương trình Navier-Stokes

Xét phương trình (2.1) trong hệ tọa độ Đề các, sau đó tích phân phương trình trong không gian chuyển động dọc theo chiều dòng chảy:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \int_A u^2 \cdot dA - u_n \frac{\partial Q}{\partial x} - u_n^2 \frac{\partial A}{\partial x} &= \int_A F_x \cdot dA - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} \\ &\quad - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial T_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial T_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial T_{xz}}{\partial x} \right) - \frac{1}{\rho} \left(\int_A \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} dA - \tau_o A \right) \end{aligned} \quad (2.14)$$

Áp dụng các giả thiết nghiên cứu vào phương trình (2.14) có:

$$A \left(\frac{\alpha_o^* \cdot V^2}{g} + z_c \right) = C_o \quad (2.17)$$

Với C_o là hằng số tích phân; α_o^* là hệ số động lượng có xét đến đặc trưng rời, ma sát dòng chảy...; z_{ci} : Độ sâu trọng tâm mặt cắt (m);

A_i : Diện tích mặt cắt ướt (m^2).

Xét (2.17) tại 2 mặt cắt (1-1) và (2-2) thu được như sau:

$$A_1 \left(\frac{\alpha_{01}^* V_1^2}{g} + z_{c1} \right) = A_2 \left(\frac{\alpha_{02}^* V_2^2}{g} + z_{c2} \right) \quad (2.18)$$

Phương trình (2.18) để xác định độ sâu khu xoáy của nước nhảy.

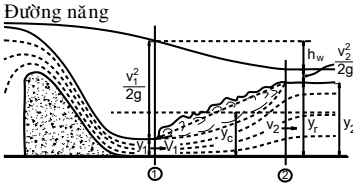
2.2 Phương trình xác định chiều dài khu xoáy của nước nhảy

2.2.1 Các giải thiết cơ bản

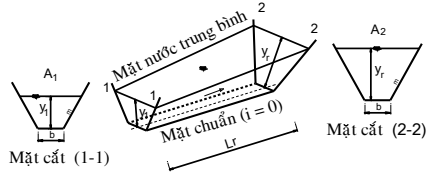
+ Chất lỏng không nén được, chuyển động liên tục; Dòng chảy ổn định thay đổi dần; Kênh đáy bằng (độ dốc đáy $i = 0$).

+ Các đặc trưng thủy lực xác định theo tính chất trung bình từ độ sâu y_1 đến y_r (đường mặt nước, đường năng...).)

2.2.2 Phương trình xác định chiều dài dòng chảy



Hình 2.3 Sơ đồ nước nhảy



Hình 2.4 Mặt cắt viết phương trình

Từ phương trình cân bằng năng lượng dòng chảy của chuyển động từ mặt cắt (1-1) sang mặt cắt (2-2), với các tổn thất cục bộ và dọc đường, biến đổi như sau:

$$L = \frac{\Delta E - (1 - A_1 / A_2)^2 (V_{tb}^2 / 2g)}{(Q / K_{tb})^2} \quad (2.23)$$

trong đó:

h_{tb} là độ sâu trung bình giữa 2 mặt cắt trước và sau nước nhảy

V_{tb} , K_{tb} là vận tốc và Môđun lưu lượng tính theo h_{tb} ($K_{tb} = A_{tb} C_{tb} \sqrt{R_{tb}}$)

A_{tb} , C_{tb} và R_{tb} là diện tích, số Chezy và bán kính thủy lực theo h_{tb} .

ΔE là tiêu năng trong nước nhảy (m), được thể hiện như sau:

$$\Delta E = (y_1 + \alpha_1 V_1^2 / 2g) - (y_r + \alpha_2 V_2^2 / 2g) \quad (2.24)$$

Công thức (2.23) là chiều dài dòng cho chảy ổn định thay đổi dần, được dùng làm cơ sở để nghiên cứu chiều dài khu xoáy của nước nhảy.

2.3 Ứng dụng quy hoạch thực nghiệm trong nghiên cứu nước nhảy

2.3.1 Độ sâu dòng chảy khu xoáy của nước nhảy

Từ phương trình (2.18), phân tích theo lý thuyết Pi và Lý thuyết phân tích thứ nguyên, ảnh hưởng đến độ sâu dòng chảy khu xoáy:

$$y_r/y_1 = \Psi(m.b/y_1, Fr_1, \sum \xi) = \Psi(M_1, Fr_1, \sum \xi) \quad (2.42)$$

Nếu $m = 0$, bỏ qua tổn thất thì (2.42) còn lại là $y_r/y_1 = \Psi(Fr_1)$ tương tự như công thức Belanger (1882). Phương trình (2.42) đã thể hiện các tác động tương tự như phân tích tại mục 1.7.

2.3.2 Chiều dài khu xoáy của nước nhảy

Áp dụng phương trình (2.23), phân tích theo lý thuyết Pi và Lý thuyết phân tích thứ nguyên, hàm ảnh hưởng đến chiều dài khu xoáy được thể hiện công thức (2.56):

$$\frac{L_r}{y_1} = \Phi\left(\frac{y_r}{y_1}, \frac{my_1}{b}, Fr_1, \frac{e}{y_1}\right) \quad (2.46)$$

Đối với kênh chữ nhật (mái dốc $m = 0$) có đáy nhẵn (độ nhám tuyệt đối $e = 0$), thì quan hệ (2.46) còn lại: $L_r/y_1 = \Psi(y_r/y_1, Fr_1)$, phương trình này phù hợp với một số nghiên cứu. Phương trình (2.46) có các yếu tố ảnh hưởng tương tự như mục 1.7

2.4 Cấu tạo mô hình thí nghiệm

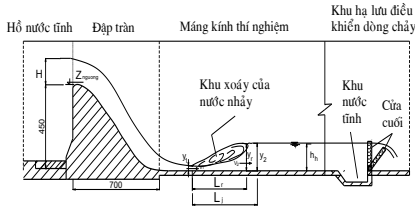
Mô hình thí nghiệm đặt tại Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.

2.4.1 Thiết kế mô hình thí nghiệm

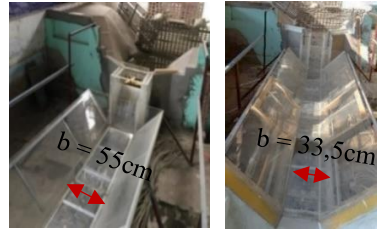
Mô hình thí nghiệm được xây dựng bằng thủy tinh hữu cơ bao gồm:

+ Một đập tràn mặt cắt thực dụng. Một kênh hình thang cân ở chân đập, kênh có hệ số mái dốc $m = 1$, chiều rộng đáy kênh là $b = 0,55m$ và $b = 0,335m$, chiều dài kênh $L = 4m$.

+ Các thiết bị đo mực nước và khống chế mực nước hạ lưu.



Hình 2.11 Sơ đồ thí nghiệm



Hình 2.13 Các mặt cắt ngang

Hình 2.15 Hoàn thiện mô hình

2.4.2 Thí nghiệm mô hình và xử lý số liệu

2.4.2.1 Các trường hợp nghiên cứu thí nghiệm mô hình

Khi cho nước chảy qua đập tràn, điều chỉnh “cửa cuối” để tạo nước nhảy ổn định trên kênh hình thang, khi đó các đại lượng cần xác định trong một thí nghiệm được thể hiện tại Bảng 2.4:

Bảng 2.4 Các thông số đo đạc trên mô hình thí nghiệm vật lý

TT	Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Vị trí đo
1	Lưu lượng dòng chảy	Q	m ³ /s	Máng lường
2	Độ sâu trước nước nhảy	y ₁	m	Trên mô hình
3	Độ sâu sau khu xoáy	y _r	m	
4	Chiều dài khu xoáy	L _r	m	

2.4.2.2 Dữ liệu thí nghiệm mô hình

Tổng hợp các kết quả đo đạc số liệu thực nghiệm như Bảng 2.5:

Bảng 2.5 Dữ liệu đo đạc đặc trưng nước nhảy trong thí nghiệm

Giá trị	Kim đo (cm)	Q (m ³ /s)	b (m)	Thông số của nước nhảy		
				y ₁ (cm)	y _r (cm)	L _r (m)
Max	47.55	0.201	0.55	0.092	0.488	2.1
Min	30.2	0.04	0.335	0.04	0.182	0.8

Nhận xét: Tại Bảng 2.5 cho thấy, lưu lượng $Q = 40 \text{ l/s} \div 201 \text{ l/s}$ với $Fr_{D1} = 4,0 \div 8,4$ và chiều dài khu xoáy trong phạm vi kênh nghiên cứu (kênh dài $L = 4\text{m}$), bộ dữ liệu phù hợp điều kiện có 34 trường hợp.

Trong nghiên cứu ở đây, các thí nghiệm là tổ hợp của các thông số: Q , y_1 , y_2 và L_r . Phân tích thực nghiệm theo yếu tố toàn phần, số thí nghiệm tối thiểu phải là $2^m = 2^4 = 16 < 34$ (m là số yếu tố ảnh hưởng).

Như vậy, bộ dữ liệu đã thí nghiệm đáp ứng được quá trình phân tích về biến đổi các đặc trưng hình học của nước nhảy ổn định.

2.5 Môi quan hệ giữa các đặc trưng thủy động trong nước nhảy

Từ dữ liệu thực nghiệm, đánh giá được như sau:

+ Ảnh hưởng đến độ sâu khu xoáy: Số Froude có ảnh hưởng sâu sắc đến độ sâu dòng chảy khu xoáy, có thể thấy qua hệ số tương quan cao ($R^2 = 0,95$), điều này phù hợp với các nghiên cứu.

+ Ảnh hưởng đến chiều dài khu xoáy: Các yếu tố như tỷ lệ độ sâu khu xoáy, số Froude, năng lượng dòng chảy... có mối quan hệ đến chiều dài khu xoáy, thể hiện qua $R^2 > 0,9$ (tương quan mạnh). Phân tích cũng cho thấy tỷ số L_r/y_1 được dùng để nghiên cứu chiều dài khu xoáy (L_r) là phù hợp và đảm bảo sự ổn định về sai số.

2.6 Kết luận Chương II

Trong chương này đã thể hiện được cơ sở nghiên cứu các đặc trưng hình học nước nhảy từ các phương trình cơ bản.

Xây dựng được mô hình thí nghiệm, đo đạc và thu thập dữ liệu đảm bảo điều kiện nghiên cứu về xu thế biến đổi các đặc trưng hình học của nước nhảy trên kênh hình thang.

CHƯƠNG III – XÂY DỰNG CÔNG THỨC XÁC ĐỊNH CÁC ĐẶC TRƯNG HÌNH HỌC CỦA NƯỚC NHẢY TRONG KÊNH LĂNG TRỤ MẶT CẮT NGANG HÌNH THANG

3.1 Xây dựng công thức xác định độ sâu phân giới

Nghiên cứu đã xây dựng được công thức xác định độ sâu phân giới (y_c) của dòng chảy trên kênh hình thang cân ($m \neq 0$):

$$y_c = \frac{13.b}{10.m} \left(\sqrt{1 + \frac{20m}{13b} \cdot y_{cCN}} - 1 \right) \quad (3.8)$$

trong đó: y_{cCN} là độ sâu phân giới của kênh chữ nhật (m)

Các chỉ tiêu thống kê tính theo công thức (3.8) tại Bảng 3.2 và 3.3:

Bảng 3.2 Tính toán độ sâu phân giới của kênh hình thang

Giá trị	Giá trị mẫu thử					Tính toán theo (3.8)		
	Q (m ³ /s)	b (m)	m	y_c (m)	y_{cCN} (m)	M_c	y_c tính (m)	ε (%)
Max	100	10	2	2.727	3.442	0.481	2.727	0.37
Min	1	1	0.5	0.28	0.294	0.019	0.279	0

Bảng 3.3 Phân tích kết quả tính toán theo chỉ tiêu thống kê

Công thức	MAE	MSE	RMSE	R^2	MAPE (%)
CT 3.8	0.002	0.000	0.003	0.999	0.188

Nhận xét: Từ kết quả cho thấy, tính y_c theo công thức (3.8) cho kết quả tốt, với sai số nhỏ hơn 0,37%, giá trị $R^2 \approx 1$ và các chỉ tiêu thống kê khác xấp xỉ hoặc bằng không.

3.2 Xây dựng công thức xác định độ sâu dòng chảy sau khu xoáy

3.2.1 Công thức tổng quát xác định độ sâu dòng chảy sau khu xoáy

Biến đổi toán học (2.18) đối với trường hợp nước nhảy trên kênh hình thang cân, thu được:

$$M_1^2 Y^4 + (M_1^2 + \frac{5}{2} M_1) Y^3 + (M_1^2 + \frac{5}{2} M_1 + \frac{3}{2}) Y^2 + \left[-3Fr_{D1}^2 \cdot \frac{(M_1 + 1)^2}{2M_1 + 1} \cdot M_1 + M_1 + \frac{3}{2} \right] Y - 3kFr_{D1}^2 \cdot \frac{(M_1 + 1)^3}{2M_1 + 1} = 0 \quad (3.32)$$

trong đó:

M_1 : Hệ số mở rộng mặt cắt trước nước nhảy, $M_1 = m \cdot y_1 / b$

Y : Tỷ lệ độ sâu dòng chảy sau và trước khu xoáy, $Y = y_r / y_1$

k : Tỷ lệ hệ số động lượng khu xoáy của nước nhảy, $k = \alpha_{02}^* / \alpha_1$

Công thức (3.32) nếu lấy $M_1 = 0$, $k \approx 1$ thì sẽ trở thành công thức nghiên cứu của Bélanger (1828).

Nghiệm của phương trình (3.32) là quan hệ giữa độ sâu dòng chảy trước và sau khu xoáy của nước nhảy, xác định theo công thức sau:

$$Y = \frac{-a}{4} + \frac{1}{2} \sqrt{f + v + z} + \frac{1}{2} \sqrt{f - v - z + \frac{q}{4\sqrt{f + v + z}}} \quad (3.36)$$

$$\text{Trong đó: } a = (1 + \frac{5}{2M_1}) \quad c = -3Fr_{D1}^2 \cdot \frac{(M_1 + 1)^2}{(2M_1 + 1)M_1} + \frac{1}{M_1} + \frac{3}{2M_1^2}$$

$$b = 1 + \frac{5}{2M_1} + \frac{3}{2M_1^2} \quad d = -3kFr_{D1}^2 \cdot \frac{(M_1 + 1)^3}{(2M_1 + 1)M_1^2} \quad f = \frac{a^2}{4} - \frac{2b}{3}$$

$$w = b^2 - 3ac + 12d \quad q = -a^3 + 4ab - 8c \quad s = 2b^3 - 9abc + 27c^2 + 27a^2d - 72bd$$

$$v = \frac{2^{1/3} \cdot w}{3(s + \sqrt{-4 \cdot w^3 + s^2})^{1/3}} \quad z = \left(\frac{s + \sqrt{-4 \cdot w^3 + s^2}}{54} \right)^{1/3}$$

Công thức (3.36) là công thức tổng quát xác định độ sâu dòng chảy sau khu xoáy của nước nhảy trên lòng dẫn mặt cắt ngang hình thang cân, đáy bằng.

Tỷ lệ độ sâu dòng chảy trước và sau khu xoáy theo công thức (3.36) với $M_1 = (0 \div 1)$, $k = 1$ và số $Fr_{D1} = (4,0 \div 9,0)$, thể hiện ở Hình 3.4.

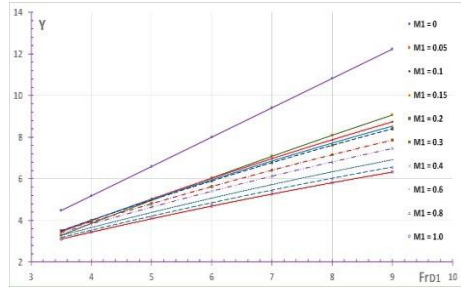
Phân tích tỷ số độ sâu sau khu xoáy theo công thức (3.36) với điều kiện số $M_1 \geq 0,2$ có quy luật biến đổi phù hợp (tương tự nghiên cứu của Wanoscheck R. và cs (1989) và Hager W. (1992)). Khi $M_1 < 0,2$

thì quy luật biến đổi của công thức (3.36) đã không phù hợp cho tính toán độ sâu dòng chảy khu xoáy của nước nhảy.

3.2.2 Xác định hệ số tỷ lệ động lượng khu xoáy của nước nhảy

Để xác định hệ số k , sử dụng bộ dữ liệu thực nghiệm và của Wanoschek R. và cs (1989) để nghiên cứu với điều kiện:

$$\{4,0 \leq Fr_{D1} \leq 9,0; \quad M_1 \geq 0,2; \quad y_1 \geq 3\text{cm}; \}$$



Hình 3.4 Quan hệ giữa Y theo M_1 và Fr_{D1}

Sau khi lọc bỏ, còn lại 22 bộ dữ liệu (đảm bảo điều kiện về số thí nghiệm tối thiểu phân tích tại Chương 2), dữ liệu thể hiện Bảng 3.6:

Bảng 3.6 Dữ liệu thực nghiệm về độ sâu dòng chảy khu xoáy

Giá trị	Q (m ³ /s)	y ₁ (m)	y _r (m)	Fr _{D1}	M ₁	Y _{td} = y _r /y ₁
Max	0.158	0.092	0.448	8.681	0.406	7.922
Min	0.0242	0.0405	0.17	3.636	0.2	3.556

Từ cơ sở của phương trình (3.36), tính tỷ lệ độ sâu dòng chảy khu xoáy với các trường hợp sau:

$$\begin{cases} Fr_{D1} = 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10. \\ M_1 = 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0. \\ k = 0,9; 0,91; 0,92; 0,94; 0,95; 0,97; 1; 1,045; 1,56. \end{cases} \quad (3.37)$$

Như vậy, mỗi một tổ hợp (Fr_{D1} , M_1) ở Bảng 3.6 và một giá trị k ở điều kiện (3.37) sẽ xác định được một giá trị tính toán (Y_{tt}) theo công thức (3.36), sau đó đánh giá giữa giá trị (Y_{td}) với giá trị (Y_{tt}). Kết quả phân tích thể hiện tại Bảng 3.6 và các chỉ tiêu thống kê ở Bảng 3.7.

Bảng 3.7 *Tính toán độ sâu sau khu xoáy theo công thức (3.36)*

Giá trị	Fr_{D1}	M_1	Y_{td}	$k = 1$		$k = 0.92$		$k = 0.91$	
				Y_{tt}	$\varepsilon \%$	Y_{tt}	$\varepsilon \%$	Y_{tt}	$\varepsilon \%$
Max	8.681	0.406	7.922	7.980	5.3	7.856	4.0	7.840	3.8
Min	3.636	0.200	3.556	3.524	0.3	3.463	0.3	3.455	0.1

Bảng 3.8 *Các chỉ tiêu phân tích thống kê trong nghiên cứu hệ số k*

TT	k	MAE	MSE	RMSE	R^2	MAPE (%)
1	1	0.111	0.021	0.146	0.982	2.034
2	0.93	0.078	0.011	0.106	0.990	1.453
3	0.92	0.079	0.011	0.104	0.991	1.498
4	0.91	0.081	0.011	0.105	0.990	1.546
Max	1	0.111	0.021	0.146	0.991	2.034
Min	0.9	0.078	0.011	0.104	0.982	1.441

Từ Bảng 3.8 cho thấy, khi $k = 0,92$ sẽ cho kết quả tính toán của công thức lý thuyết (3.36) là tốt nhất (so sánh ở tham số R^2 và RMSE).

3.2.3 Phương pháp xác định độ sâu khu xoáy của nước nhảy

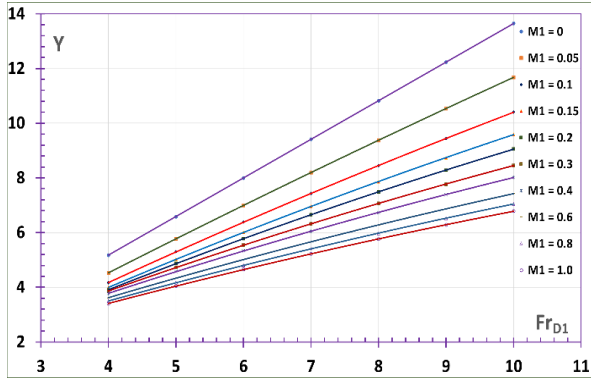
Công thức (3.36) cho kết quả phù hợp với $M_1 \geq 0,2$. Khi $M_1 = (0,0 \div 0,2)$ sẽ phân tích theo phương pháp nội suy, thể hiện tại Bảng 3.9:

Bảng 3.9 *Giá trị tỷ số độ sâu dòng chảy khu xoáy với $k = 0,92$*

Fr_{D1}	M_1											
	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1
4	5.18	4.53	4.17	3.99	3.90	3.86	3.77	3.69	3.62	3.55	3.49	3.40
5	6.59	5.78	5.30	5.03	4.87	4.73	4.58	4.45	4.34	4.25	4.17	4.05
6	8.00	7.00	6.38	6.01	5.78	5.55	5.33	5.16	5.02	4.90	4.81	4.65
7	9.41	8.20	7.43	6.96	6.65	6.32	6.05	5.84	5.66	5.52	5.41	5.22
8	10.82	9.38	8.45	7.86	7.48	7.06	6.73	6.48	6.28	6.11	5.98	5.76
9	12.24	10.54	9.44	8.74	8.28	7.77	7.39	7.10	6.86	6.68	6.52	6.28

Bảng 3.9 được thể hiện trên biểu đồ Hình 3.5.

Như vậy, khi xác định tỷ lệ độ sâu dòng chảy khu xoáy của nước nhảy ổn định, sử dụng Bảng 3.9 hoặc Hình 3.5 sẽ phù hợp hơn.



Hình 3.5 Mối quan hệ giữa Y và Fr_{D1} , M_1 theo $k = 0,92$

3.2.4 Công thức thực nghiệm về độ sâu sau khu xoáy

Từ công thức (2.42) và (3.36), đã phân tích và xác định được công thức thực nghiệm về tính độ sâu sau khu xoáy của nước nhảy:

$$\frac{y_r}{y_1} = 0,959M_1^{-0,12}Fr_1^{0,936} \quad (3.39)$$

Đánh giá kết quả tính toán theo công thức lý thuyết (3.36) và công thức thực nghiệm (3.39) đối với dữ liệu nghiên cứu, các chỉ tiêu phân thống kê khi phân tích dữ liệu thực đo và kết quả tính theo công thức thực nghiệm thể hiện ở Bảng 3.15 như sau:

Bảng 3.15 Các chỉ tiêu thống kê về độ sâu dòng chảy khu xoáy

TT	Công thức	MAE	MSE	RMSE	R ²	MAPE (%)
1	Lý thuyết	0.006	0.000	0.008	0.991	1.725
2	Thực nghiệm	0.009	0.000	0.012	0.978	2.776

Từ các chỉ tiêu thống kê cho thấy quan hệ tương quan giữa giá trị thực đo và tính toán theo công thức lý thuyết rất cao (hệ số $R^2 > 0,9$), bên cạnh đó các chỉ số thống kê khác cũng rất nhỏ, tiến gần đến không

đã đảm bảo cho độ chính xác của phương pháp tính toán và sai số MAPE rất nhỏ đối với cả 2 phương pháp tính.

3.3 Xây dựng công thức xác định chiều dài nước nhảy trong kênh lắng trụ đáy bằng có mặt cắt ngang hình thang

3.3.1 Phân tích và đánh giá công thức tính chiều nước nhảy

Chia 2 vế của phương trình (2.23) cho y_1 , tỷ lệ chiều dài khu xoáy (L_r) theo độ sâu trước nước nhảy (y_1) được xác định:

$$M_n = \frac{L}{y_1} = \frac{1}{y_1} \frac{\Delta E - (1 - A_1 / A_2)^2 (V_b^2 / 2g)}{(Q / K_b)^2} \quad (3.40)$$

Phương trình (3.40) biểu thị quan hệ chiều dài nước nhảy và độ sâu dòng chảy trước nước nhảy. Giá trị M_n là hệ số không thứ nguyên.

Biến đổi công thức (3.40), thu được:

$$M_n = \frac{1}{(Q / K_b)^2} \left[\left(1 - \frac{y_r}{y_1} \right) + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{A_1^2}{A_2^2} \right) \left(\frac{M_1 + 1}{2M_1 + 1} \right) Fr_{D1}^2 - \frac{1}{y_1} \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \frac{V_b^2}{2g} \right] \quad (3.49)$$

Công thức (3.40) và (3.49) là chiều dài dòng chảy theo trạng thái ổn định đều và thay đổi dần. Do vậy, giá trị M_n sẽ lớn gấp nhiều lần giá trị thực đo về chiều dài khu xoáy (L_r/y_1), nên mối quan hệ này sẽ dựa vào nghiên cứu thực nghiệm để phân tích.

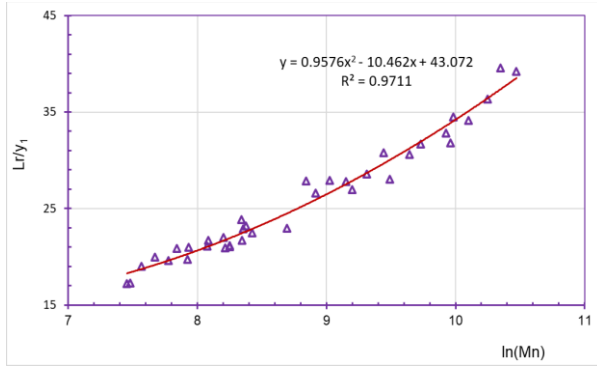
3.3.2 Thiết lập công thức bán thực nghiệm về chiều dài khu xoáy

Từ số liệu thực nghiệm tại Bảng 2.5 và số liệu của Wanoschek R. & Hager W. (1989), dữ liệu nghiên cứu tập hợp thành bộ dữ liệu phân tích công thức và dữ liệu kiểm định. Từ công thức (3.40), tính toán các thành phần cơ bản theo chuỗi dữ liệu thể hiện tại Bảng 3.17:

Bảng 3.17 Phân tích dữ liệu thực nghiệm về chiều dài khu xoáy

TT	y_1 (m)	L_r (m)	L_r/y_1 đo	K_b (m ³ /s)	ΔE (m)	M_n	$\ln(M_n)$
Max	0.092	2.1	39.583	6.824	1.475	35267	10.471
Min	0.04	0.7	17.263	0.517	0.173	1729	7.455

Mối quan hệ giữa $\ln(Mn)$ với Lr/y_1 theo Bảng 3.16 thể hiện trong Hình 3.9 như sau:



Hình 3.9 Mối quan hệ giữa $\ln(Mn)$ với tỷ lệ (Lr/y_1)

Công thức chiều dài khu xoáy của nước nhảy ổn định như sau:

$$\frac{Lr}{y_1} = 0,9576[\ln(Mn)]^2 - 10,462 \ln(Mn) + 43,072 \quad (3.50)$$

trong đó: Mn được tính theo công thức (3.49)

Công thức (3.50) là công thức xác định chiều dài khu xoáy của nước nhảy ổn định ($Fr_{D1} = 4,0 \div 9,0$) trong kênh hình thang cân, đáy bằng có mái dốc $m = 1$.

3.3.3 Công thức thực nghiệm về chiều dài khu xoáy trong nước nhảy

Từ công thức (2.46) và (3.50), đã nghiên cứu rút gọn công thức bán thực nghiệm về chiều dài khu xoáy cho kênh hình thang cân, mái dốc $m = 1$, được thể hiện như sau:

$$\frac{Lr}{y_1} = 3,038 \left[\left(\frac{y_r}{y_1} \right)^{0,94} + \left(1 - \frac{A_1^2}{A_2^2} \right) Fr_1^{0,683} + 0,578 \right] \quad (3.53)$$

với điều kiện: $e/y_1 = 1/120 \div 1/80$.

Phân tích các chỉ tiêu thống kê theo công thức (3.50) và (3.53), thể hiện ở Bảng 3.22:

Bảng 3.22 Phân tích chỉ tiêu thống kê về chiều dài khu xoay

TT	Công thức	MAE	MSE	RMSE	R ²	MAPE (%)
1	Bán thực nghiệm	0.064	0.005	0.072	0.962	4.365
2	Thực nghiệm	0.070	0.006	0.075	0.959	4.628

Nhận xét: Từ Bảng 3.22, cho thấy các chỉ tiêu đánh giá thống kê rất tốt, hệ số $R^2 \approx 0,96$, các chỉ tiêu đánh giá khác tiến gần không.

3.4 Xác định các đặc trưng hình học nước nhảy bằng mô hình học máy “Rừng ngẫu nhiên”

3.4.1 Cấu trúc mô hình học máy

Quá trình ước lượng tham số dựa trên hai bước chính:

- Bước 1: Huấn luyện mô hình Rừng ngẫu nhiên.
- Bước 2: Ước lượng tham số dựa trên mô hình đã huấn luyện.



Hình 3.12 Sơ đồ khối xây dựng mô hình Học máy

ALGORITHM 2 (LS Boost).
 $F_0(\mathbf{x}) = \bar{y}$
 For $m = 1$ to M do:
 $\tilde{y}_i = y_i - F_{m-1}(\mathbf{x}_i), \quad i = 1, N$
 $(\rho_m, \mathbf{a}_m) = \arg \min_{\rho, \mathbf{a}} \sum_{i=1}^N [\tilde{y}_i - \rho h(\mathbf{x}_i; \mathbf{a})]^2$
 $F_m(\mathbf{x}) = F_{m-1}(\mathbf{x}) + \rho_m h(\mathbf{x}; \mathbf{a}_m)$
 endFor
 end Algorithm

Hình 3.13 Thuật toán Least-Squares Boost của Friedman (2001)

Mô hình Rừng ngẫu nhiên được xây dựng từ thuật toán của Friedman (2001) và viết trên môi trường Matlab 2019b.

3.4.2 Xác định độ sâu khu xoay của nước nhảy

Từ (2.42), xây dựng được các trường dữ liệu của phương pháp Học máy tại Bảng 3.23 và Bảng 3.24:

Bảng 3.23 Dữ liệu độ sâu khu xoáy của nước nhảy

STT	Thông số	Max	Min	Ghi chú
1	y_r/y_1	9.396	3.847	Biến mục tiêu
2	$M_1 = my_1/b$	0.406	0.073	Biến phân tích
3	Fr_1	9.315	3.639	

Bảng 3.24 Kết quả phân tích độ sâu khu xoáy

TT	Dữ liệu thực đo			Giá trị dự báo			
	Fr_1	M_1	y_r/y_1	Cây quyết định		Rừng ngẫu nhiên	
				y_r/y_1	ε (%)	y_r/y_1	ε (%)
Max	6.30	0.41	6.82	6.52	8.3	6.35	7.9
Min	3.99	0.11	4.26	4.4	1.5	4.19	0.4

Sai số dữ liệu kiểm định lớn nhất 7,9%, giá trị này cao hơn so với tính toán theo lý thuyết (5,4%) và công thức thực nghiệm (6,8%).

Bảng 3.27 Phân tích các chỉ tiêu thống kê dự báo độ sâu khu xoáy

MAE	MSE	RMSE	R^2	MAPE (%)
0.190	0.058	0.242	0.905	3.681

Như vậy, mô hình học máy Rừng ngẫu nhiên đã cho hiệu quả tốt trong phân tích độ sâu khu xoáy của nước nhảy.

3.4.3 Xác định chiều dài nước nhảy

Từ (2.46), xây dựng được trường dữ liệu nghiên cứu được đề nghiên cứu trong mô hình học máy tại Bảng 3.25:

Bảng 3.25 Dữ liệu chiều dài khu xoáy của nước nhảy

STT	Thông số	Max	Min	Ghi chú
1	Lr/y_1	39.583	17.263	Biến mục tiêu
2	M_1	0.406	0.073	Biến ảnh hưởng
3	Fr_1	9.32	3.64	
4	y_r/y_1	9.396	3.847	

Bảng 3.26 Kết quả chạy mô hình về chiều dài nước nhảy

Giá trị	Dữ liệu thực đo				Giá trị dự báo	
	L_r/y_1	Fr_1	M_1	y_r/y_1	L_r/y_1	ε (%)
Max	27.69	6.30	0.41	6.82	28.08	7.03
Min	17.74	3.99	0.11	4.26	16.94	0.11

Kết quả dự báo với dữ liệu thực đo của các mô hình vật lý có sai số lớn nhất 7,0% (sai số của công thức bán thực nghiệm và thực nghiệm lần lượt là 8,0% và 7,5%).

Bảng 3.27 Các chỉ tiêu thống kê về dự báo chiều dài khu xoáy

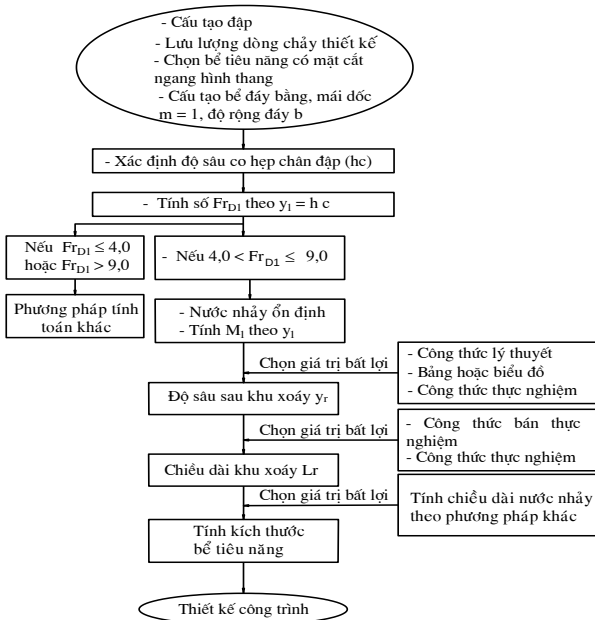
MAE	MSE	RMSE	R^2	MAPE (%)
0.802	0.884	0.940	0.900	3.527

Các chỉ tiêu thống kê đối với dữ liệu kiểm tra theo mô hình học máy, cho thấy $R^2 \approx 0,9$ (tương quan mạnh), các chỉ số thống kê khác cũng gần 0, đảm bảo dự báo của mô hình tốt. Nhưng phạm vi dữ liệu nghiên cứu còn nhỏ, cần mở rộng và đánh giá sâu hơn.

3.5 Quy trình xác định các đặc trưng thủy lực cho công trình áp dụng nước nhảy

Kết hợp các phân tích, nghiên cứu và các bước tính toán đặc trưng hình học của nước nhảy trong kênh có mặt cắt ngang hình thang cân có mái dốc $m = 1$.

Quy trình xác định kích thước hình học của nước nhảy trong thiết kế bề tiêu năng có mặt cắt ngang hình thang cân thể hiện trong Hình 3.24.



Hình 3.24 Quy trình xác định đặc trưng hình học của nước nhảy ổn định

3.6 Ứng dụng các công thức đề xuất tính toán nước nhảy sau đập tràn của hồ chứa Nà Sản – Sơn La

3.6.1 Giới thiệu công trình

- + Tên công trình: Hệ thống thủy lợi Nà Sản
- + Địa điểm: Huyện Mai Sơn, tỉnh Sơn La;
- + Mục tiêu: Đảm bảo cấp nước cho sản xuất nông nghiệp và kết hợp tạo nguồn cấp nước sinh hoạt cho cao nguyên Nà Sản.

Bảng 3.30 Thông số đập tràn hồ chứa Chiềng Dong

TT	Đập tràn có cửa van	Mặt cắt thực dụng	
1	Hình thức đập	Đập bê tông trọng lực	
2	Cao trình đỉnh đập	m	+762,0
3	Lưu lượng lũ thiết kế Q_{tk} 1%	m ³ /s	426,3

3.6.2 Xác định các thông số thiết kế công trình tiêu năng

Căn cứ tài liệu thiết kế công trình, các thông số đầu vào như sau:

Bảng 3.31 Bảng các thông số cơ bản để tính tiêu năng sau đập tràn

TT	Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị	Ghi chú
1	Lưu lượng thiết kế	Q	m ³ /s	426,3	Tần suất 1%
2	Độ sâu cơ hẹp	h_c	m	0,84	Tại chân đập
3	Kênh tiêu năng		Mặt cắt ngang hình thang cân		
4	Hệ số mái dốc	m		1	
5	Chiều rộng đáy	b	m	20,5	
6	Vật liệu				Bê tông
7	Hệ số Manning	n		0,018	Bê tông không nhẵn

3.6.3 Tính toán thông số hình học của nước nhảy trong công trình tiêu năng sau đập tràn Nà Sản

3.6.3.1 Xác định độ sâu dòng chảy sau khu xoáy

Các thông số cơ bản tại chân đập được xác định theo bảng sau:

Bảng 3.32 Các thông số thủy lực của dòng chảy trước nước nhảy

Q (m ³ /s)	B (m)	m	y_1 (m)	M_1	Fr_1	Fr_{D1}
426.3	20.5	1	0.84	0.041	8.29	8.45

Với $Fr_{D1} = 8,45$, nước nhảy sau đập trong kênh lắng trụ hình thang cân đáy bằng là nước nhảy hoàn chỉnh (nước nhảy ổn định).

Độ sâu dòng chảy khu xoáy theo các phương pháp như sau:

Bảng 3.33 Các giá trị độ sâu sau khu xoáy của nước nhảy

Q (m ³ /s)	y_1 (m)	PP lý thuyết		CT thực nghiệm		MH Học Máy	
		(y_r/y_1)	y_r (m)	(y_r/y_1)	y_r (m)	(y_r/y_1)	y_r (m)
426.3	0.84	10.18	8.55	10.18	8.55	9.4	7.9

Độ sâu dòng chảy sau khu xoáy lựa chọn là: $y_r = 8,55$ (m)

3.6.3.2 Tính chiều dài dòng chảy khu xoáy của nước nhảy

Từ các giá trị độ sâu dòng chảy khu xoáy của nước nhảy đã tính ở trên, các kết quả tính toán chiều dài khu xoáy như Bảng 3.34:

Bảng 3.34 Tính chiều dài dòng chảy khu xoáy của nước nhảy

CT bán thực nghiệm			CT thực nghiệm		MH Học máy	
Ln(Mn)	Lr/y ₁	Lr (m)	Lr/y ₁	Lr (m)	Lr/y ₁	Lr (m)
10.35	39.21	32.9	39.78	33.42	39.52	33.2

Chiều dài khu xoáy được xác định: $L_r \approx 34(\text{m})$

3.7.3.3 Tiêu năng của công trình

Năng lượng tiêu năng bằng nước nhảy trên kênh hình thang cân (mái dốc $m = 1$) được xác định như Bảng 3.36 sau:

Bảng 3.36 Bảng tính tiêu năng cho nước nhảy sau đập

Q (m ³ /s)	y ₁ (m)	y _r (m)	F _{rD1}	E ₁ (m)	E ₂ (m)	ΔE% (%)
426.3	0.84	8.55	8.45	29.666	8.707	70.6

Nước nhảy ổn định sau đập có hiệu suất tiêu năng lớn (đạt tới 70,6%) và đạt tới phạm vi tiêu năng của nước nhảy mạnh.

3.7 Kết luận Chương III

Xây dựng được công thức lý thuyết xác định độ sâu dòng chảy sau khu xoáy của nước nhảy. Với kênh hình thang cân, đáy bằng có mái dốc $m = 1$, đã xác định được giá trị $k = 0,92$ và công thức thực nghiệm về độ sâu sau khu xoáy, công thức bán thực nghiệm và thực nghiệm về chiều dài khu xoáy (L_r).

Bước đầu áp dụng học mô hình Học máy “Rừng ngẫu nhiên” cho kết quả tốt trong phân tích các đặc trưng nước nhảy.

Xây dựng được quy trình xác định kích thước hình học trong thiết kế bể tiêu năng và áp dụng cho công trình thủy lợi Nhà Sản – Sơn La.

KẾT LUẬN

1. Các kết quả đạt được của luận án

+ Tổng quan được các kết quả nghiên cứu về nước nhảy kênh chữ nhật và kênh hình thang.

+ Đề xuất công thức xác độ sâu phân giới mới (3.8).

+ Giải hệ phương trình Navier-Stokes, đã xác định được phương trình (3.36) về độ sâu sau khu xoáy (y_r) và tỷ lệ hệ số động lượng (k).

+ Nghiên cứu thực nghiệm cho nước nhảy trong kênh hình thang cân, đáy bằng, mái dốc $m = 1$:

- Xác định được $k = 0,92$ sẽ cho kết quả từ công thức (3.36) tốt nhất. Xây dựng Bảng 3.9, và Hình 3.5 để xác định độ sâu dòng chảy khu xoáy của nước nhảy ổn định.

- Xây dựng được công thức bán thực nghiệm (3.50) về xác định chiều dài khu xoáy của nước nhảy.

- Xây dựng được công thức thực nghiệm mới về tính độ sâu sau khu xoáy (3.39) và chiều dài khu xoáy (3.53).

- Áp dụng mô hình Học máy “Rừng ngẫu nhiên” cho các đặc trưng hình học của nước nhảy trên kênh hình thang, kết quả phân tích có sai số tương đương với các phương pháp nghiên cứu khác.

+ Xây dựng quy trình sử dụng các công thức đề xuất về xác định các đặc trưng hình học của nước nhảy trên kênh hình và áp dụng cho một công trình thực tế.

2. Tồn tại và định hướng nghiên cứu tiếp theo

+ Nghiên cứu mới chỉ được tiến hành trên một kiểu mô hình vật lý, nên các kết quả tính toán vẫn còn những giới hạn nhất định.

+ Nghiên cứu tiếp theo xác định hệ số k phù hợp cho mọi loại kênh.

+ Nghiên cứu mối quan hệ giữa y_r , L_r với y_2 và L_j của nước nhảy;

+ Ứng dụng mở rộng mô hình học máy vào nghiên cứu nước nhảy.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. Lê Văn Nghi, **Nguyễn Minh Ngọc** (2019). *Nghiên cứu xác định chiều dài nước nhảy trong mô hình kênh dẫn mặt cắt hình thang cân*. Hội nghị khoa học Cơ thủy khí toàn quốc lần thứ 22. NXB Thanh Niên. ISBN 978-604-979-703-3, trang 606-617.
2. **Nguyen Minh Ngọc**, Le Van Nghi, Pham Hong Cuong (2020). *Application correlation algorithm to create a new critical depth equation for gradually varied flow in trapezoidal channel using teaching-learning and studying*. J. Hydraul. Struct., 2020; 6(2):80-94. DOI: 10.22055/jhs.2020.34372.1141 (hệ thống Publons của WOS).
3. Phạm Hồng Cường, **Nguyễn Minh Ngọc**, Lê Quang Hưng (2020). *Nước nhảy và các yếu tố ảnh hưởng đến đặc trưng hình học của nước nhảy tự do trên lòng dẫn lăng trụ*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Thủy Lợi. Số 62, trang 70 – 76.
4. **Nguyễn Minh Ngọc** (2021). *Phân tích xác định độ sâu phân giới của kênh hở mặt cắt ngang hình thang cân*. Tạp chí khoa học Kiến trúc và Xây dựng. Số 42 – 08.2021, trang 45 – 51.
5. **Ngoc, N. M.**, Cuong, P. H., Son, T. T, Nam, N. V., Phong, N. T. (2022). *Experimental study of the hydraulic jump length in a smooth trapezoidal channel*. Scientific Review Engineering and Environmental Sciences. Vol 31 (1), p.63–76; <https://doi.org/10.22630/srees.2334> (Scopus, IF 0.9, Q4).
6. **Nguyen Minh Ngọc**, Pham Hong Cuong, Bui Hai Phong (2022). *Prediction of the conjugate depth of the hydraulic jump in the trapezoidal channel using Random Forest regression*. Journal of Military Science and Technology (JMST) – Đã chấp nhận đăng.